



ANAS S.p.A.

Direzione Generale

DG 41/08

LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA - CAT. B -
DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)

PROGETTO ESECUTIVO

DOCUMENTAZIONE SICUREZZA

GALLERIA SCHIAVI

Progetto della sicurezza

04-Analisi di Rischio

CONTRAENTE GENERALE:

Società di Progetto

SIRJO S.C.p.A.

Presidente:

Dott. Arch. Maria Elena Cuzzocrea

PROGETTAZIONE :



Il progettista:
Dott. Ing. S.Lieto

Consulenti:

- STE - Progetto stradale ed Idraulica
- ROCKSOIL - Opere in sotterraneo
- ITALCONSULT/SETECO - Strutture
- GEODATA - Geologia e Idrogeologia
- GES - Geotecnica
- CINIGEO - Gallerie grisutose
- ECOPLAME - Ambiente
- LAND - Archeologia
- PROMETEOENGINEERING.IT - Sicurezza ed Impianti
- Ing. F.GATTO - Interferenze
- TECO - Espropri

Il coordinatore per la sicurezza:
ing. L.A. Gargiulo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Ing. R. Lapenta



Rep.: P/19-01

Scala di rappresentazione: -:----

Codice Progetto:

Codice Elaborato:

L	O	7	1	6	C	E	1	9	0	1	T	0	3	S	I	0	2	S	I	C	R	E	0	5	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	15.04.2019	Emissione	Ing G. Greco	Ing M. Salcuni	Ing A. Focaracci



ANAS S.p.A.

GALLERIA SCHIAVI

S.S. 106 JONICA – 3° MEGALOTTO

PROGETTO DELLA SICUREZZA

04-Analisi di Rischio

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: DG 41/08


Data	Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
15/04/2019	0	Prima emissione	GG	MS	AF

Indice

1	Premessa.....	5
2	Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)	6
2.1	Diagramma di flusso IRAM.....	9
2.2	Eventi critici iniziatori.....	10
2.2.1	Caratterizzazione energetica scenari incendio.....	13
2.2.2	Caratterizzazione probabilistica	15
2.3	Albero degli eventi.....	22
2.4	Caratterizzazione prestazionale dei sistemi di sicurezza	22
2.5	Flusso del pericolo	24
2.6	Formazione delle code e processi di esodo	27
2.7	Quantificazione del rischio	32
2.7.1	Criteri di accettazione del rischio.....	32
3	Il rischio.....	34
3.1	Calcolo delle frequenze di accadimento.....	34
3.2	Albero degli eventi.....	35
3.3	Calcolo delle conseguenze	36
3.4	Calcolo del rischio	38
4	Ipotesi di calcolo.....	39
4.1	Traffico	39
4.1.1	Tasso di accadimento degli eventi critici	40
4.1.2	Frequenze di accadimento degli eventi critici.....	40
4.2	Efficienza dei sistemi di sicurezza	41
4.2.1	Monitoraggio-rilevazione	41
4.2.2	Comunicazione.....	42
4.2.3	Ventilazione.....	42
4.2.4	Illuminazione	42
4.2.5	Erogazione idrica.....	43
4.2.6	Drenaggio.....	44
5	Risultati	45

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

5.1	Curve Cumulate Complementari	46
5.2	Valore atteso del danno	47
6	Conclusioni	48
	Allegato A – Albero degli eventi.....	52
	Fornice Nord	52
	Fornice Sud.....	60

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

1 Premessa


La presente relazione concerne l'Analisi di Rischio della galleria artificiale "Schiavi" facente parte dei lavori di costruzione del 3° Megalotto della S.S. 106 Jonica.

Si riporta la in particolare la descrizione della metodologia di analisi di rischio adottata e la valutazione quantitativa del rischio.

La relazione costituisce una parte del Progetto della Sicurezza della galleria, così strutturato:

PROGETTO DELLA SICUREZZA	
00	Documento introduttivo
01	Studio di traffico
02	Analisi di vulnerabilità
03	Relazione descrittiva e della sicurezza
04	Analisi di Rischio
05	Fascicolo della galleria

Struttura progetto della sicurezza

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

2 Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)

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.

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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

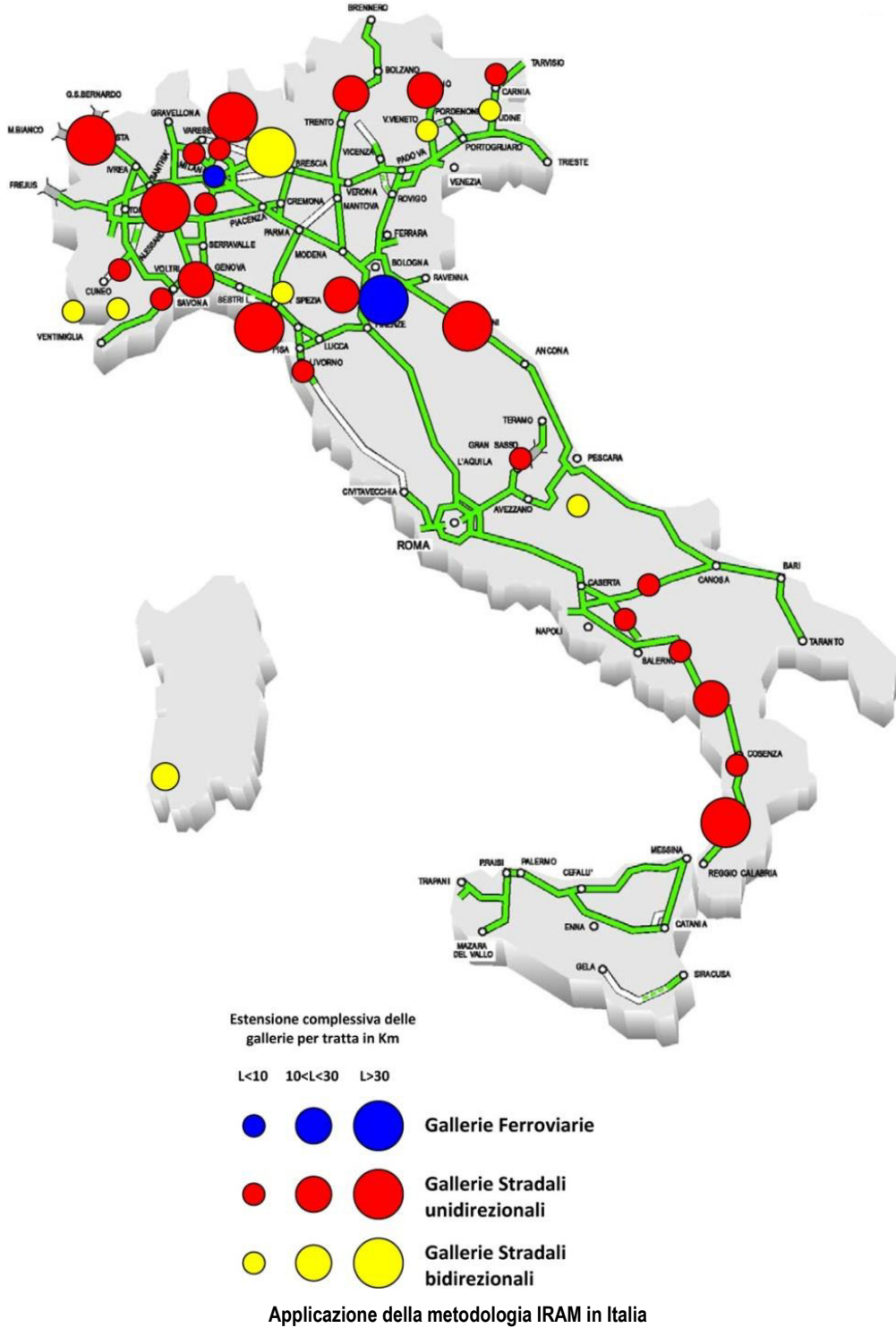
consente la Determinazione del Livello di Rischio ad esso proprio in funzione delle Misure di Sicurezza Strutturali e delle Prestazioni dei Sistemi di Sicurezza che realizzano le Misure Impiantistiche.

La Determinazione del Livello di Rischio, in accordo al modello adottato, si ottiene come Convoluzione 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:

- 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.



2.1 Diagramma di flusso IRAM

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

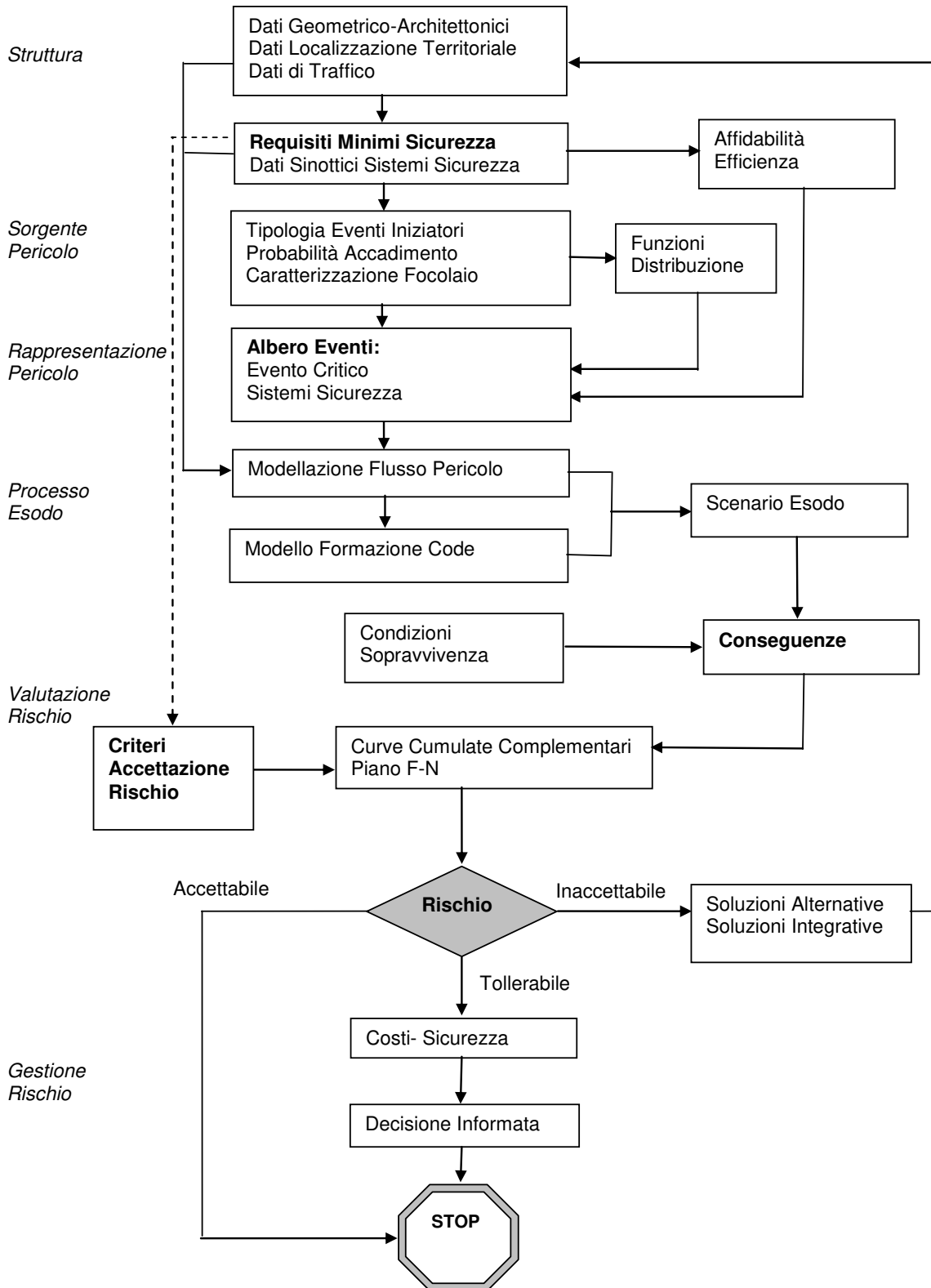



Diagramma di flusso IRAM

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

2.2 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.”*

Gli insiemi di eventi critici rilevanti per la valutazione del livello di sicurezza del sistema galleria stradale sono così identificati:

- gli eventi di incendio,
- gli eventi di collisione che degenerano in eventi di incendio,
- gli eventi di sversamento di combustibili liquidi infiammabili,
- gli eventi di detonazione e deflagrazione,
- gli eventi di rilascio di sostanze tossiche e nocive.

Sulla base di quanto indicato nelle Linee Guida Anas 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.

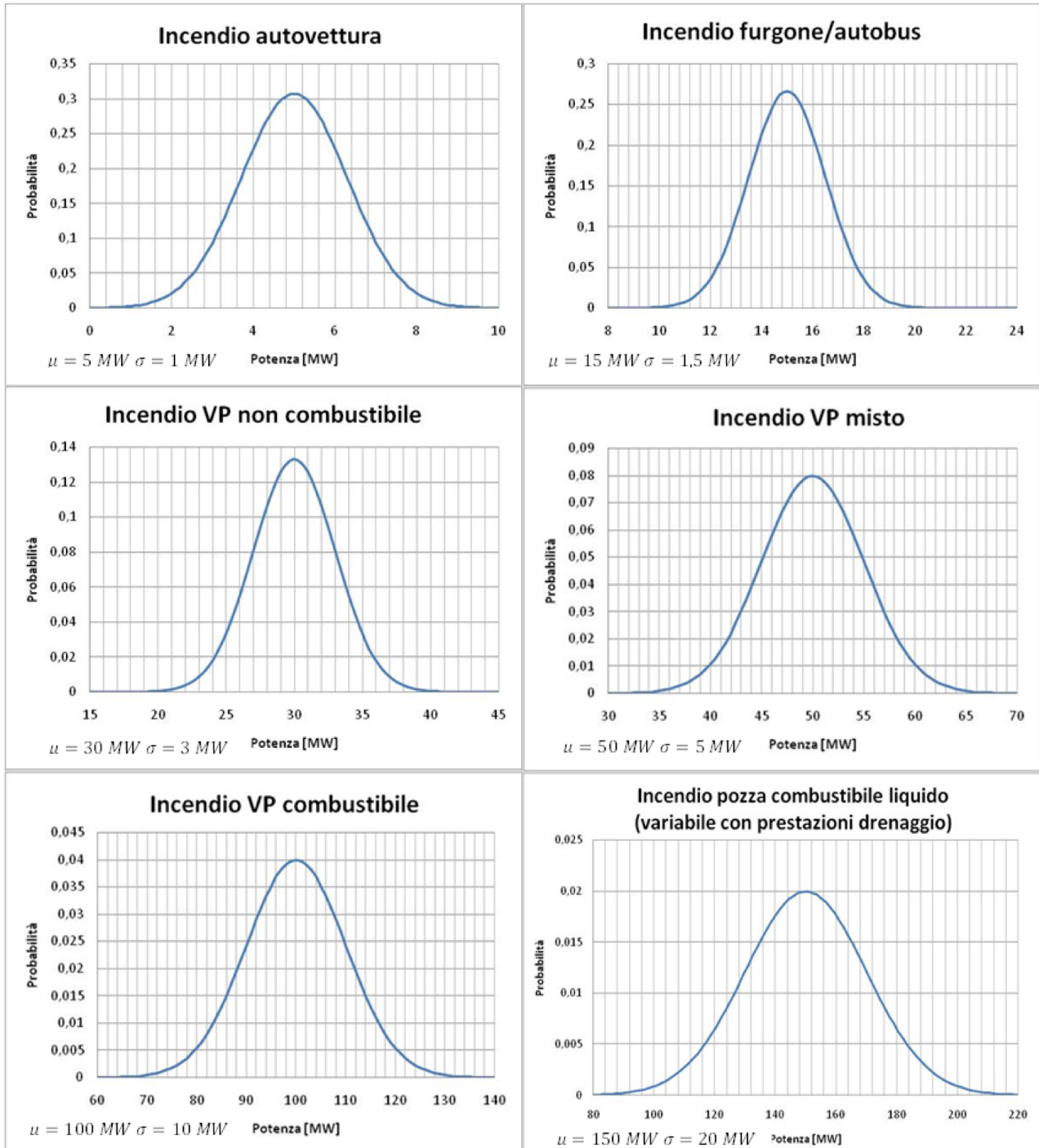
Le potenze associate agli scenari di incendio sono da considerarsi come valore medio di potenza di funzioni di distribuzione gaussiane.

Relativamente ai 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.

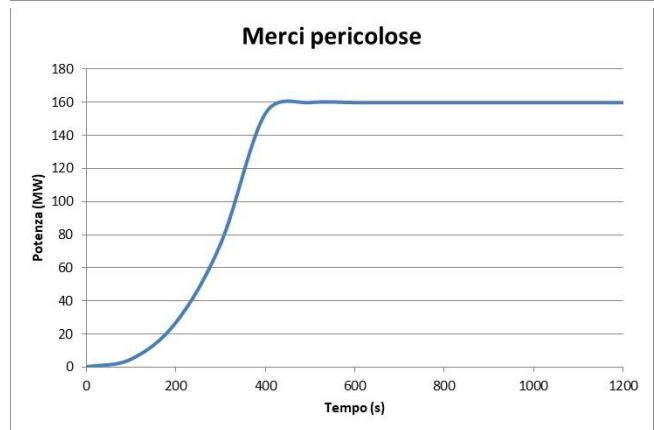
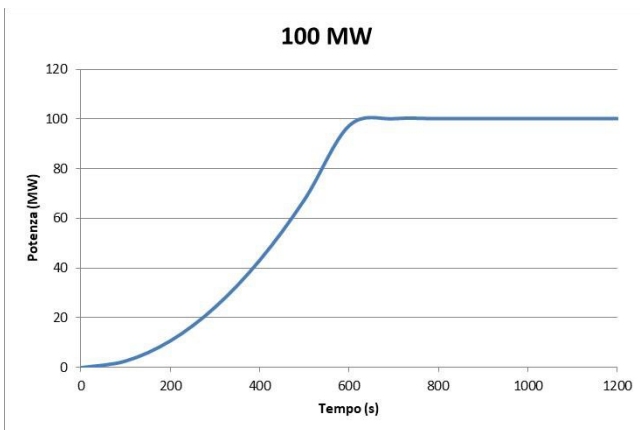
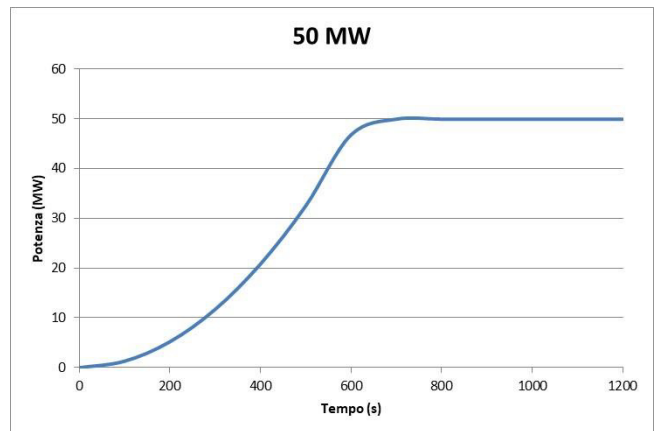
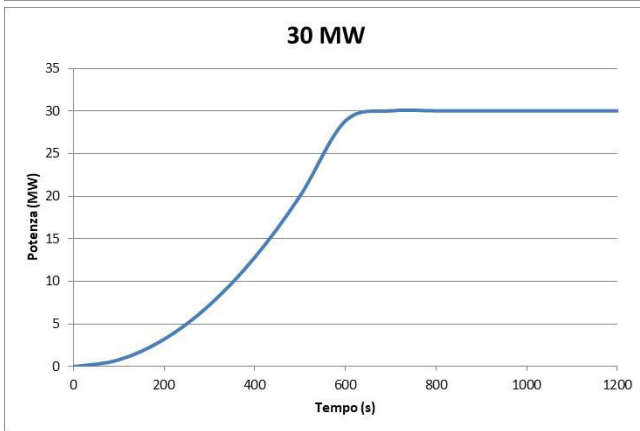
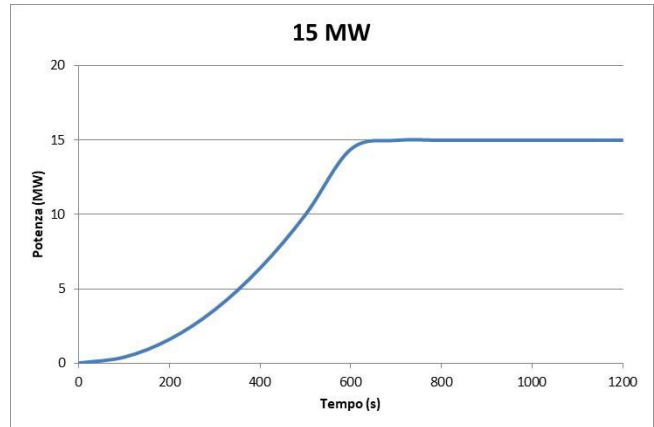
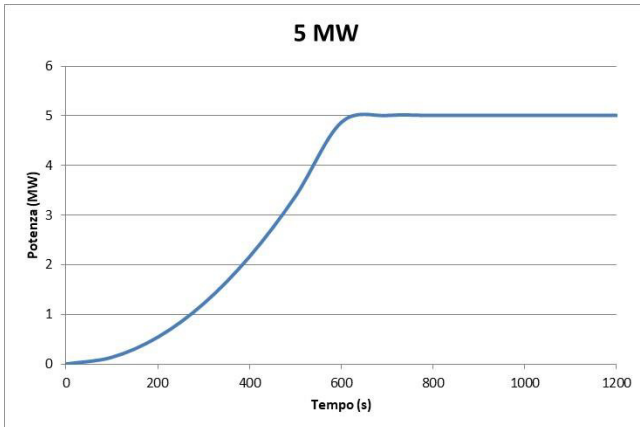
Relativamente ai veicoli pesanti, vista l'elevata pericolosità, si aggiunge una funzione di distribuzione di probabilità incentrata su una potenza di incendio pari a 50 MW, mantenendo distribuzioni di probabilità di accadimento coerenti con i valori delle Linee Guida ANAS.

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.



Potenze associate agli eventi incendio



Curve di rilascio termico associate agli eventi incendio

2.2.1 Caratterizzazione energetica scenari incendio

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 nell'ambito del Progetto EUREKA e riportata nell'Allegato 5 delle Linee Guida ANAS, correlando i dati sperimentali ottenuti nell'ambito di prove condotte su scala reale, in condizioni di ventilazione naturale. 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 è stata pertanto condotta adottando i parametri sintetizzati in tabella, in accordo con quanto previsto dall'Allegato 5 delle Linee Guida ANAS.

Tipologia della sorgente	E [MJ]	\dot{Q}_M [MW]	t_c [min]	t_{max} [min]	t_e [min]	v_a [m/s]	\dot{G}_f [m ³ /s]	\dot{G}_f^* [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
1veicolo 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

E è l'energia attribuita ai singoli componenti costituenti il focolaio;

\dot{Q}_M è la potenza massima generata dal focolaio;

t_c è il tempo di crescita dell'incendio,

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,

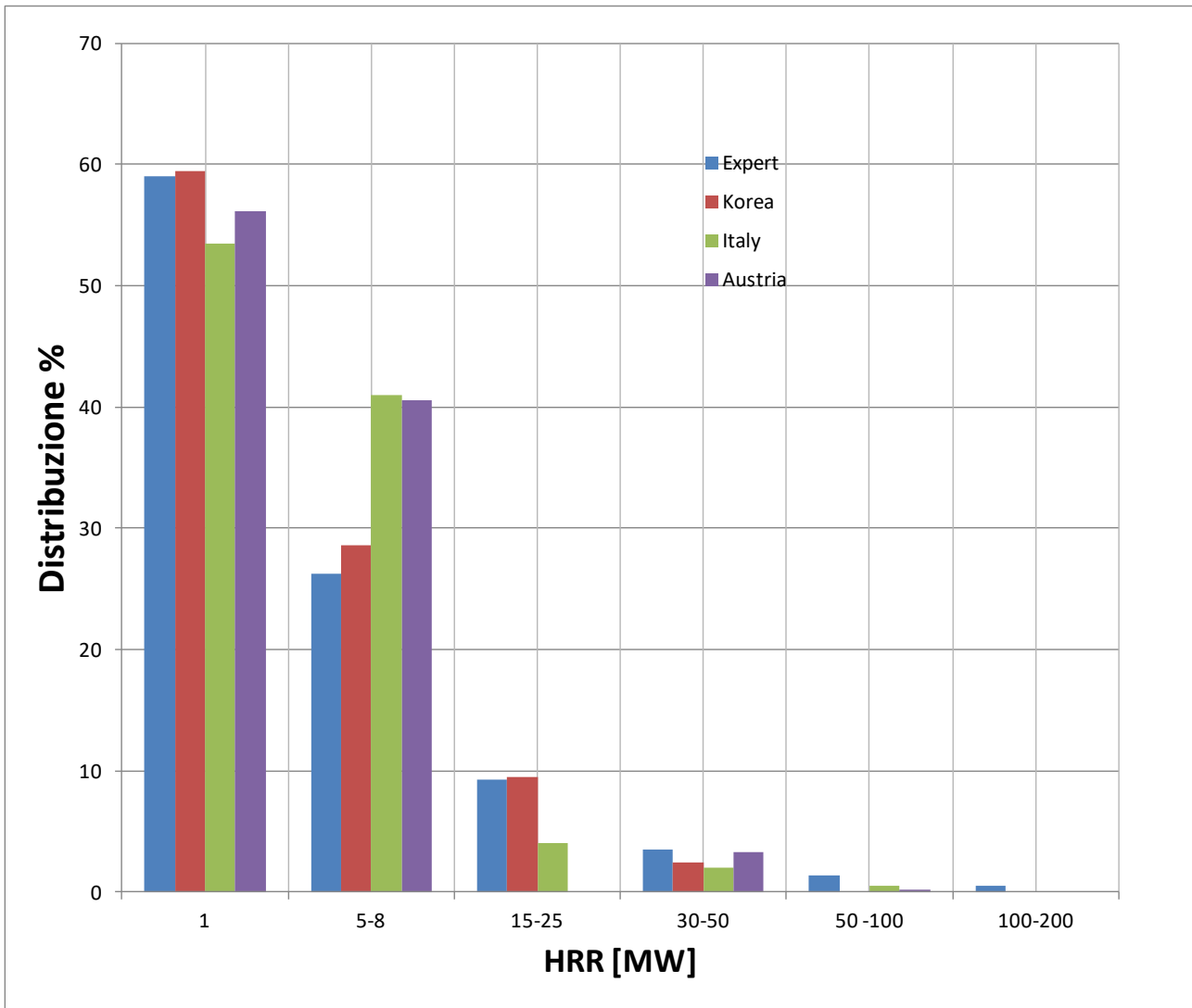
\dot{G}_f^* è la portata della miscela aria-fumi in galleria.

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.



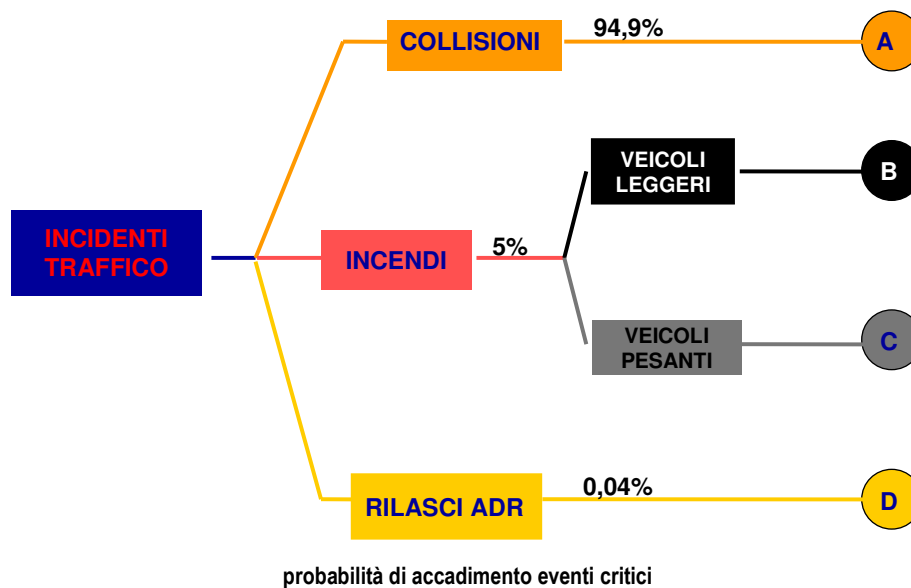
Distribuzione delle potenze d'incendio

2.2.2 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.

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:

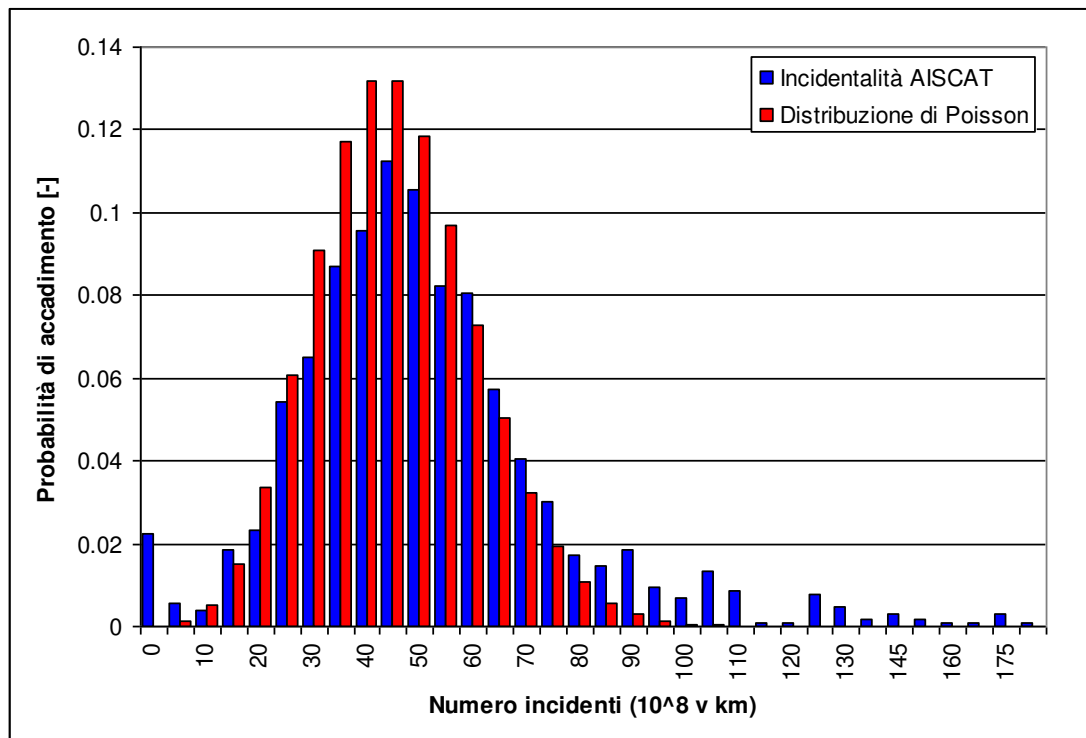
$$f = ((at)^\lambda / \lambda!) \times e^{-at}$$

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 coinvolgono 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 (frequenza di accadimento) = FDP (tasso di accadimento) * volume medio di traffico * 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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	DG41/08
		Rev. A

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.

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.

2.2.2.1 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:

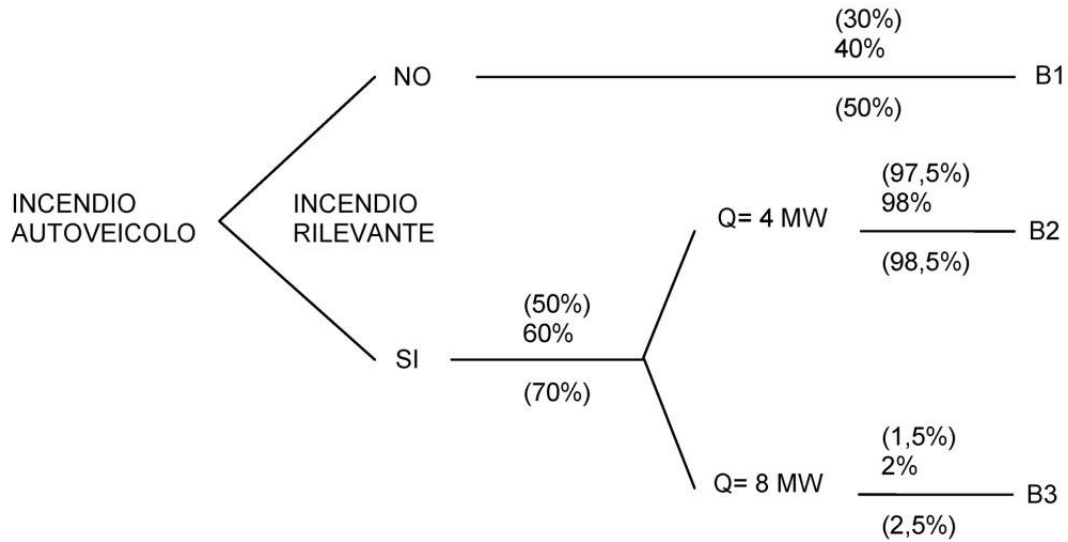
- surriscaldamento del motore,
- surriscaldamento dei freni,
- incendio del carico del veicolo,
- etc.

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

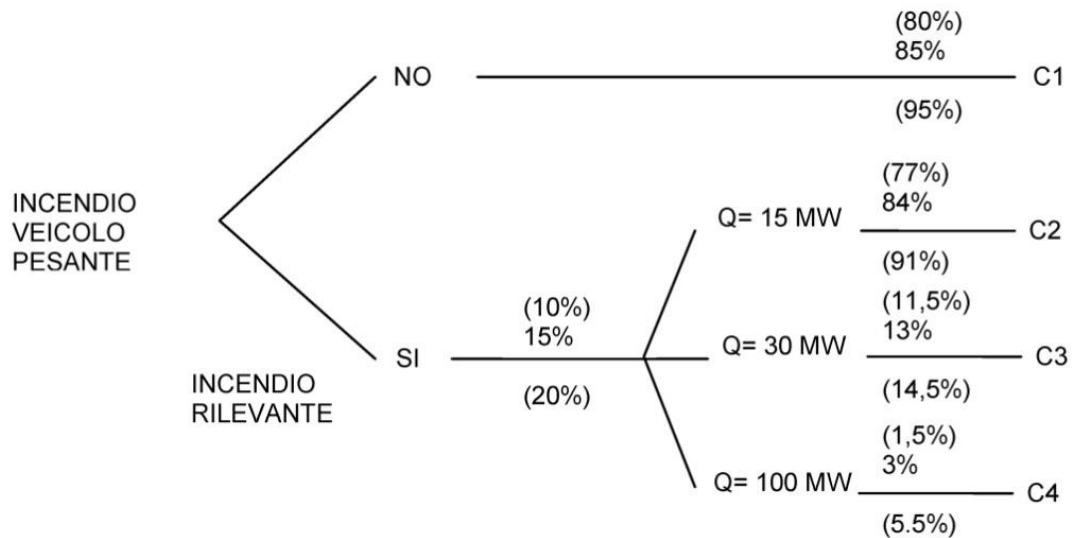
- mancanza di rispetto del Codice della Strada (velocità, interdistanza),
- perdita di controllo del veicolo (guida pericolosa, difetto meccanico),
- incontro di un ostacolo sulla carreggiata,
- collisione con veicolo fermo sulla carreggiata,
- etc.

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

2.2.2.2 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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

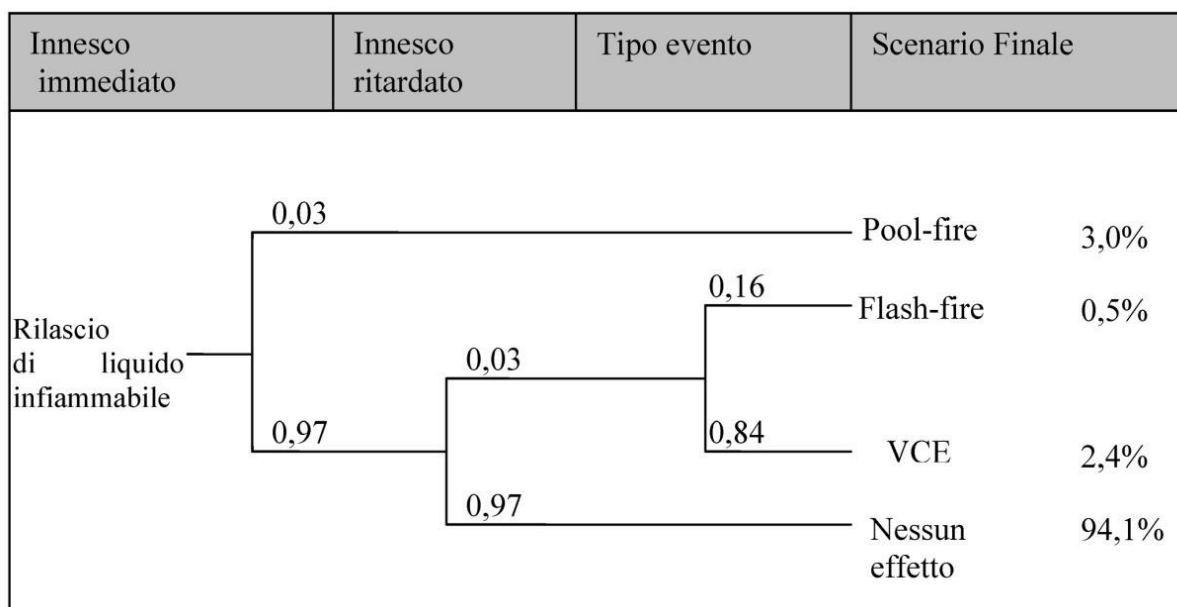
I dati di frequenza dedotti dalle Linee Guida ANAS riportanti le percentuali di incidenti in galleria caratterizzati da evento critico “rilascio ADR” sono i seguenti.

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

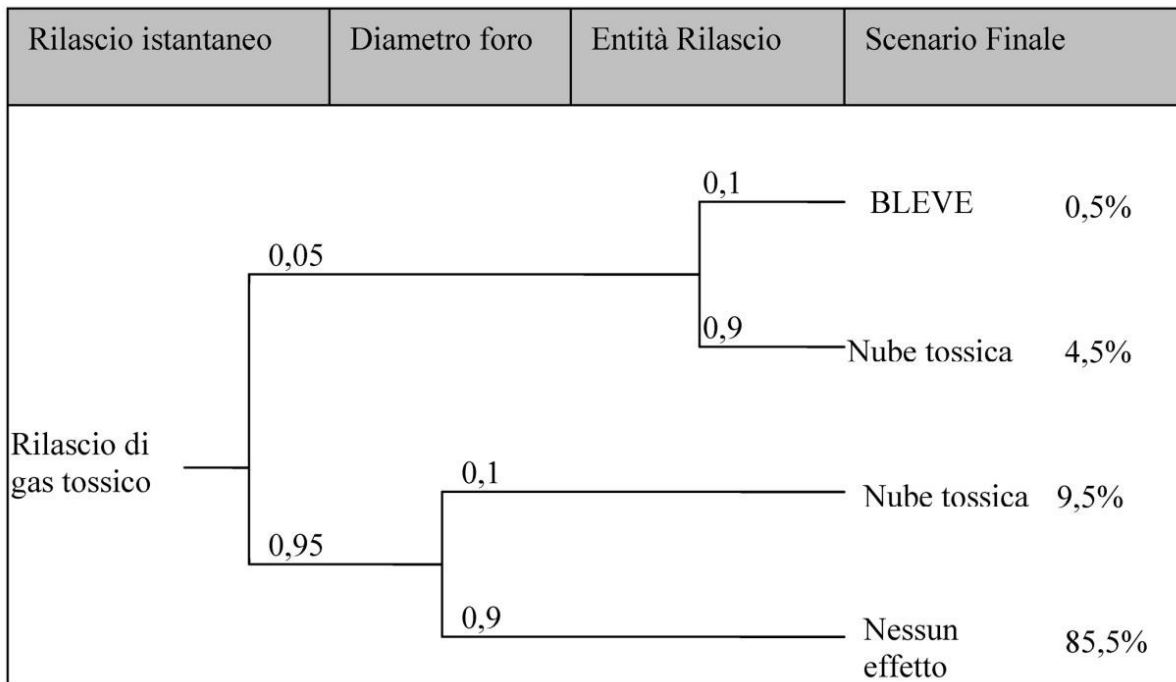
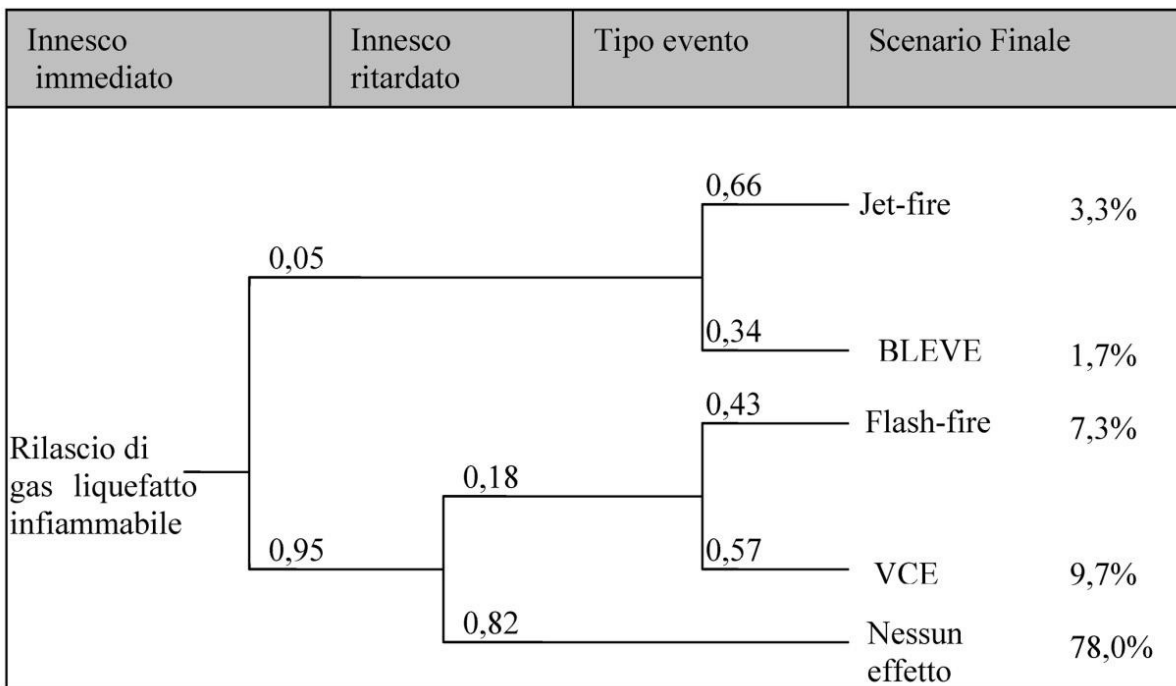
Ripartizione rilasci ADR


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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

2.3 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.

L'Albero degli eventi è caratterizzato in termini di probabilità di accadimento degli eventi critici iniziatori e di probabilità condizionate di evoluzione lungo i singoli rami come espressione dell'affidabilità e dell'efficienza delle misure di sicurezza.


In Allegato sono riportati gli alberi degli eventi per i due forni per ciascun evento critico considerato.

2.4 Caratterizzazione prestazionale dei sistemi di sicurezza

All'Allegato 1 del D.Lgs 264/06 lo scenario è definito come *“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”* ed al par.3 dell'Allegato 3 richiede che gli *“scenari incidentali e la loro evoluzione in galleria in termini di pericolosità”* siano *“rappresentati mediante modelli che includano l'albero delle cause, l'evento critico iniziatore e l'albero degli eventi. [...] L'albero degli eventi è caratterizzato in termini di probabilità di accadimento degli eventi critici iniziatori e di probabilità condizionate di evoluzione lungo i singoli rami, come espressione dell'affidabilità e dell'efficienza delle misure di sicurezza installate o previste”*. Pertanto, nella redazione dell'analisi di rischio si è tenuto conto delle misure di sicurezza di cui è dotata la galleria nell'ambito di un Event Tree Analysis le cui probabilità di biforcazione associate a ciascun ramo sono determinate dall'efficienza delle misure di sicurezza stesse.

Per ciascuno degli eventi critici iniziatori precedentemente individuati ($i=1, \dots, 8$), per ciascun sottoscenario j , le seguenti condizioni al contorno saranno determinate attraverso il metodo Monte Carlo e il valore di ciascun fattore sarà assegnato secondo le funzioni di distribuzioni caratteristiche ad esso associate:

- Potenza dell'incendio (distribuzione Gaussiana)
- Posizione del focolaio (distribuzione Uniforme, ovvero in ogni simulazione la posizione dell'incendio varia casualmente all'interno della galleria)
- Tasso di generazione dei fumi (distribuzione Gaussiana)
- Velocità dei fumi (distribuzione Gaussiana)
- Differenza di pressione ai portali (distribuzione Gaussiana)
- Velocità del vento (distribuzione Gaussiana)
- Tempi di intervento dei sottosistemi di sicurezza (distribuzione Gaussiana)
- Numero di veicoli coinvolti negli scenari di pericolo - funzione del volume di traffico e formazione delle code (distribuzione Gaussiana)
- La localizzazione spaziale dei veicoli nella struttura, posizione in galleria della popolazione esposta, distanza relativa dalle uscite di emergenza (distribuzione Gaussiana)
- Tempo di psicoreazione della popolazione esposta (distribuzione Gaussiana)
- Velocità di esodo della popolazione esposta (distribuzione Gaussiana)

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

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 associate a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono determinate dall'affidabilità e efficienza della misura di sicurezza in esame.

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 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.

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) 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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

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

2.5 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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

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.

In ottemperanza al par. 3 dell'Allegato 3 che prescrive che *“La salvabilità degli utenti in una specifica galleria è determinata attraverso la quantificazione del flusso del pericolo all'interno della struttura. La modellazione del flusso del pericolo è attuata con livelli di dettaglio diversi a seconda delle necessità ed utilizzando le migliori tecniche note e disponibili. I risultati della modellazione del flusso del pericolo costituiscono i dati di ingresso per la simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura”*, il flusso del pericolo è stato modellizzato attraverso un modello termofluidodinamico associato a un modello di formazione delle code e di esodo, tarati sulle misure di sicurezza della specifica galleria.

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.

La modellazione del flusso del pericolo si differenzia a seconda delle necessità con livelli di dettaglio diversi, attraverso i seguenti modelli termofluidodinamici sviluppati dagli estensori del metodo IRAM:

- un modello termofluidodinamico a parametri concentrati per la simulazione statistica del flusso del pericolo in una struttura dotata di un sistema di ventilazione longitudinale con traffico monodirezionale;
- un modello termofluidodinamico a parametri concentrati a due zone con un sotto-modello di rimescolamento tra due strati di aria, per la simulazione statistica del flusso del pericolo in una struttura dotata di un sistema di ventilazione longitudinale, o con traffico bidirezionale, o in assenza di ventilazione forzata per la valutazione dell'effetto della stratificazione dei fumi.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

La caratteristica essenziale del modello termodinamico a parametri concentrati è che 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 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.

I modelli sviluppati si configurano come strumenti idonei alla simulazione dell'evoluzione degli eventi critici in galleria e per la verifica delle prestazioni dei sistemi di sicurezza consentendo di analizzare in tempi ridotti una moltitudine di scenari di pericolo.

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 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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

I principali parametri considerati nella simulazione del flusso del pericolo attraverso i modelli descritti e funzione delle misure di sicurezza (impiantistiche, strutturali e gestionali) di cui è dotata la galleria, 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,
- 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.

Le simulazioni del flusso del pericolo sono effettuate 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.

2.6 Formazione delle code e processi di esodo

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:

- 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:

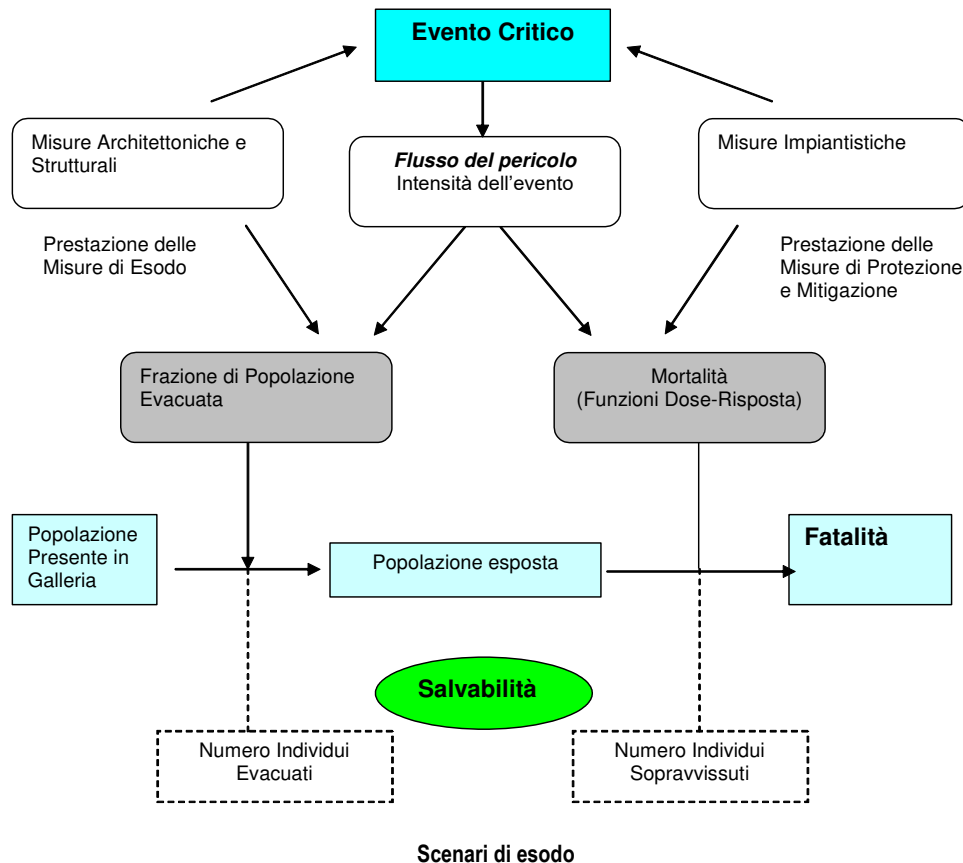
- la distribuzione per età,
- la distribuzione per genere,
- le condizioni fisiche degli individui,
- i tempi di reazione,
- la velocità di movimento degli individui.

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.




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.

Poiché il par. 3 dell'Allegato 3 richiede che "Il numero degli utenti coinvolti nel processo di esodo" sia "determinato attraverso la formulazione e la soluzione di idonei modelli di formazione delle code nella galleria analizzata", 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, 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),

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

- 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,
- 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, a partire dai quali è possibile simulare il processo di esodo 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:

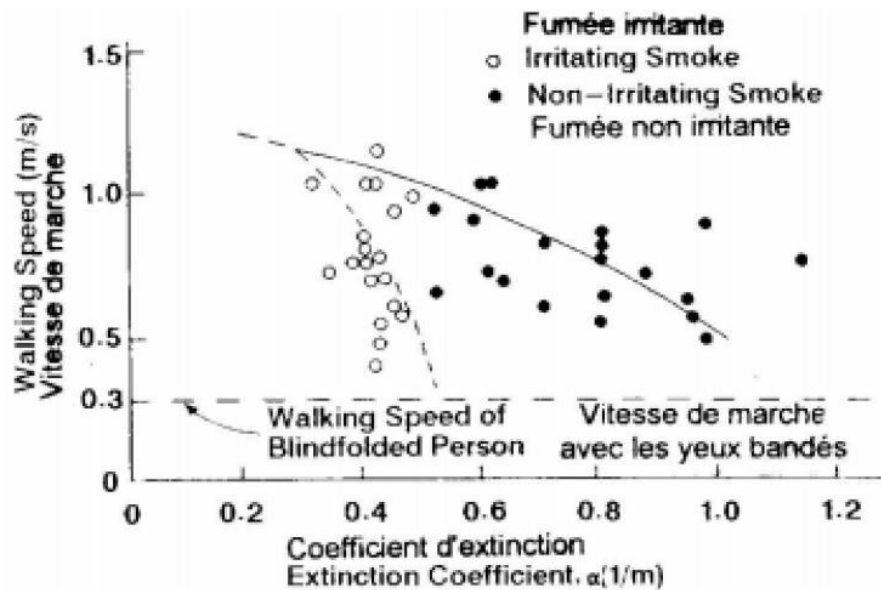
- la posizione del focolaio rispetto alle vie di fuga,
- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti,
- la velocità di esodo degli utenti nella struttura,
- il comportamento e le traiettorie degli utenti lungo i percorsi di esodo,
- l'orientamento degli utenti verso i luoghi sicuri.

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 240 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.



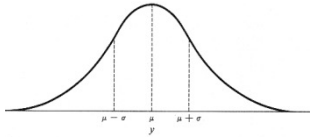

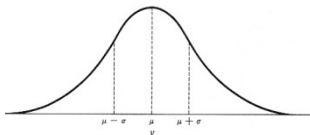

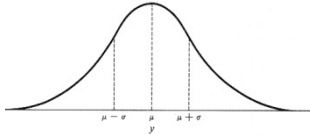

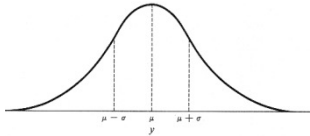

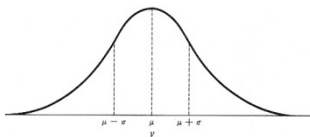

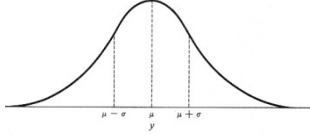
L'approccio utilizzato per determinare il numero di fatalità associato agli scenari di esodo da un sistema galleria, affatto analogo all'approccio utilizzato nell'ambito della Fire Safety Engineering per determinare il numero di fatalità associato al processo di esodo dagli edifici, si basa sul calcolo 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.

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.

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

2.7 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.

2.7.1 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).

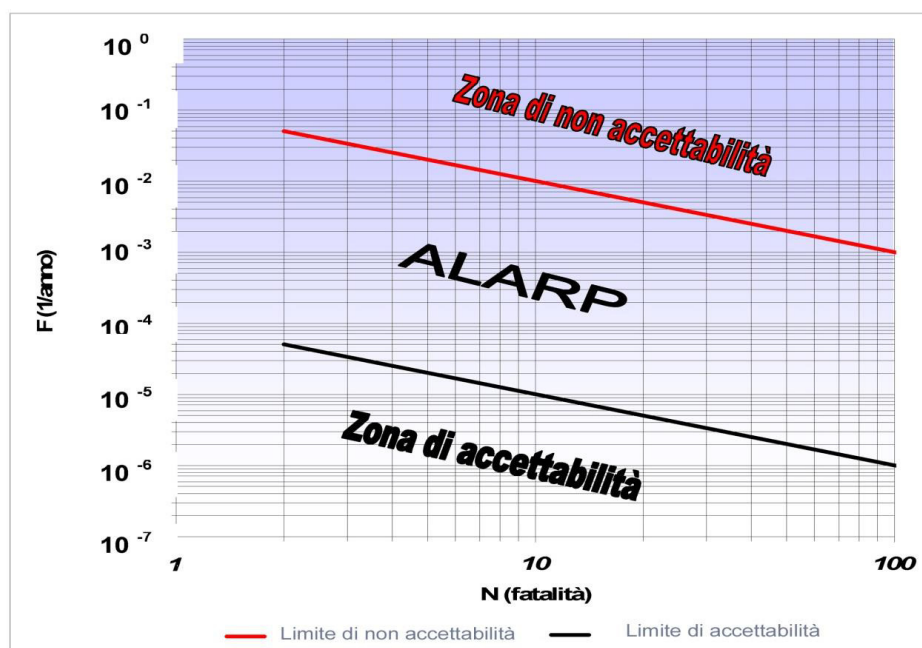




Diagramma ALARP

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	DG41/08
		Rev. A

3 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.

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.

3.1 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 :

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

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.

3.2 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.

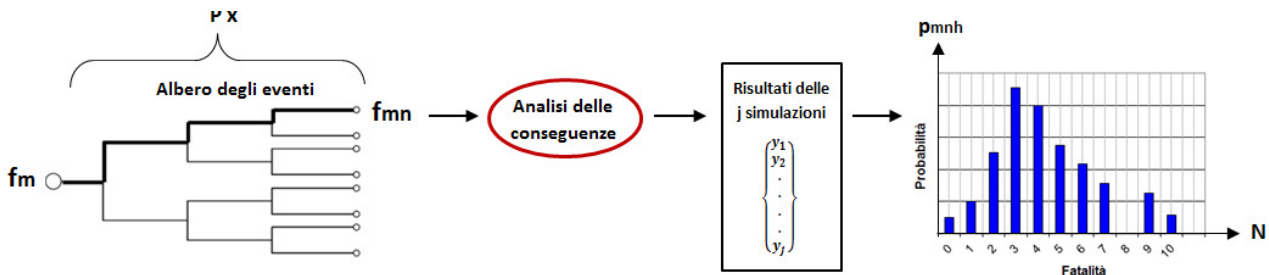
La **frequenza di accadimento di ciascun ramo n** dell'albero degli eventi si calcola a partire dalla frequenza di accadimento con la seguente relazione:

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

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.



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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

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.

3.3 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,
- 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:

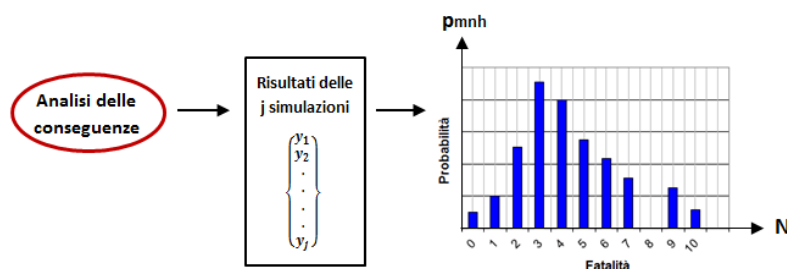
$$(3) p_{mnh} = h / j$$

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:

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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

3.4 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_{N_h} , 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:


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

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.

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

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

4 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.

4.1 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.

Nella seguente tabella si riportano le variabili di traffico assunte nella quantificazione del livello di rischio della galleria, come riportate nel documento "01 – Studio di traffico":

Natura del traffico	Monodirezionale
TGM dir. Nord	10000 [veicoli/giorno]
TGM dir. Sud	10000 [veicoli/giorno]
V leggeri / V pesanti dir. Nord	80,0% / 20,0%
V leggeri / V pesanti dir. Sud	80,0% / 20,0%
VTMP	6,3% [%VP]
Traffico congestionato	15 [min/g] – ipotesi cautelativa
Stagionalità	1,5 [TGM _{alta stagione} /TGM _{annuale}]
Flusso di traffico per corsia	600 [veicoli / h]
Deviazione standard flusso di traffico per corsia	200 [veicoli / h]
Velocità massima	110 km/h
Tasso di occupazione dei veicoli	n. 2 persone per i veicoli leggeri n. 2 persone per i veicoli pesanti, incrementato nelle simulazioni per considerare la presenza di pullman

4.1.1 Tasso di accadimento degli eventi critici

Il tasso di accadimento degli eventi incidentali è assunto in conformità a quanto previsto nelle Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, che per gallerie autostradali (unidirezionali) risulta pari a:


$$Tasso_{Medio} = 10,0 \left[\frac{\text{eventi}}{10^8 \text{ veic} * \text{km}} \right]$$

4.1.2 Frequenze di accadimento degli eventi critici

Nelle tabelle successive si riportano i valori delle frequenze di accadimento per la galleria, determinate con riferimento alla previsione dei volumi di traffico in galleria.

Fornice	Tipologia	Lunghezza
Nord	Unidirezionale	690
Evento	Frequenza [eventi/anno]	Tempo di ritorno [anni]
Incidenti	5,04E-01	2,0
Incendi	2,52E-02	39,7
Incendi VP	1,01E-02	99,3
Incendi rilevanti	1,51E-03	661,8
Eventi merci pericolose	6,35E-03	157,6
Nube tossica	2,13E-04	4689,4
BLEVE	3,57E-05	28036,3
Pool fire	6,28E-05	15915,6
Flash fire	1,31E-04	7637,6
Jet fire	5,45E-05	18364,1
VCE	2,10E-04	4754,5

Fornice	Tipologia	Lunghezza
Sud	Unidirezionale	690
Evento	Frequenza [eventi/anno]	Tempo di ritorno [anni]
Incidenti	5,04E-01	2,0
Incendi	2,52E-02	39,7
Incendi VP	1,01E-02	99,3
Incendi rilevanti	1,51E-03	661,8
Eventi merci pericolose	6,35E-03	157,6
Nube tossica	2,13E-04	4689,4
BLEVE	3,57E-05	28036,3
Pool fire	6,28E-05	15915,6
Flash fire	1,31E-04	7637,6
Jet fire	5,45E-05	18364,1
VCE	2,10E-04	4754,5

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

4.2 Efficienza dei sistemi di sicurezza

4.2.1 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 Sala Operativa Compartimentale.

4.2.1.1 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 della Sala Operativa. 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, influenzati dalle dotazioni di sicurezza in galleria.

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche della galleria sopra elencate, associate alle diverse configurazioni.

Dotazioni impiantistiche	Telecamere AID con rilevazione automatica incendi e incidenti con copertura completa galleria Fibrolaser per rilevazione automatica incendi Centro Radio Informativo
Misure gestionali	Ausiliari alla viabilità sulla tratta
Utenti	SOS in galleria interdistanza 150 m e presso i portali

Rilevazione di un evento

4.2.1.2 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 della Centro Radio Informativo nonché una mirata opera di formazione ed addestramento del personale addetto.

4.2.1.3 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.

Prestazione stimata	Tempo Risposta 90 s
Efficacia	0,95

Efficacia sistema di monitoraggio-rilevazione

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

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.

4.2.2 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.

Misure di blocco del traffico	IDC e PMV sui portali in ingresso galleria
Sistemi di comunicazione	Copertura GSM multi operatore Altoparlanti nelle uscite di emergenza

Sistemi di comunicazione

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

Prestazione stimata	Tempo Risposta 90 s
Efficacia	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.


4.2.3 Ventilazione

Galleria di lunghezza minore di 1000 m, impianto di ventilazione non previsto.

Nel calcolo si ipotizza una differenza di pressione ai portali media di 15 Pa, con varianza di 5 Pa.

4.2.4 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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

La tabella successiva sintetizza le caratteristiche dell'impianto di illuminazione.

Illuminazione ordinaria	Presente secondo DM 3476/05
Illuminazione di sicurezza	Presente
Illuminazione di evacuazione	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.

Prestazione stimata	Illuminamento esodo 2 lux
Efficacia	0,95

Efficacia sistema di illuminazione


L'efficacia dell'impianto di illuminazione è assunta nel calcolo tramite una distribuzione gaussiana.

4.2.5 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 tabella successiva sintetizza i valori di efficacia nelle varie configurazioni di galleria analizzate:

Tempo di intervento [s]		2700
Efficacia	5 MW	0,95
	15 MW	0,95
	30 MW	0,85
	50 MW	0,85
	100 MW	0,85
	Pool	0,85
	Toxic	0,85
	Explosion	0,85

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

4.2.6 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 difatti 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 associate alle diverse configurazioni.

Drenaggio	Pozzetti sifonati ad interdistanza 25 m
------------------	---


Impianto di drenaggio

Sulla base delle ipotesi adottate si riportano le prestazioni ed i valori di efficacia nelle varie configurazioni, assunti secondo la buona pratica ed a favore di sicurezza.

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.

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	DG41/08 Rev. A

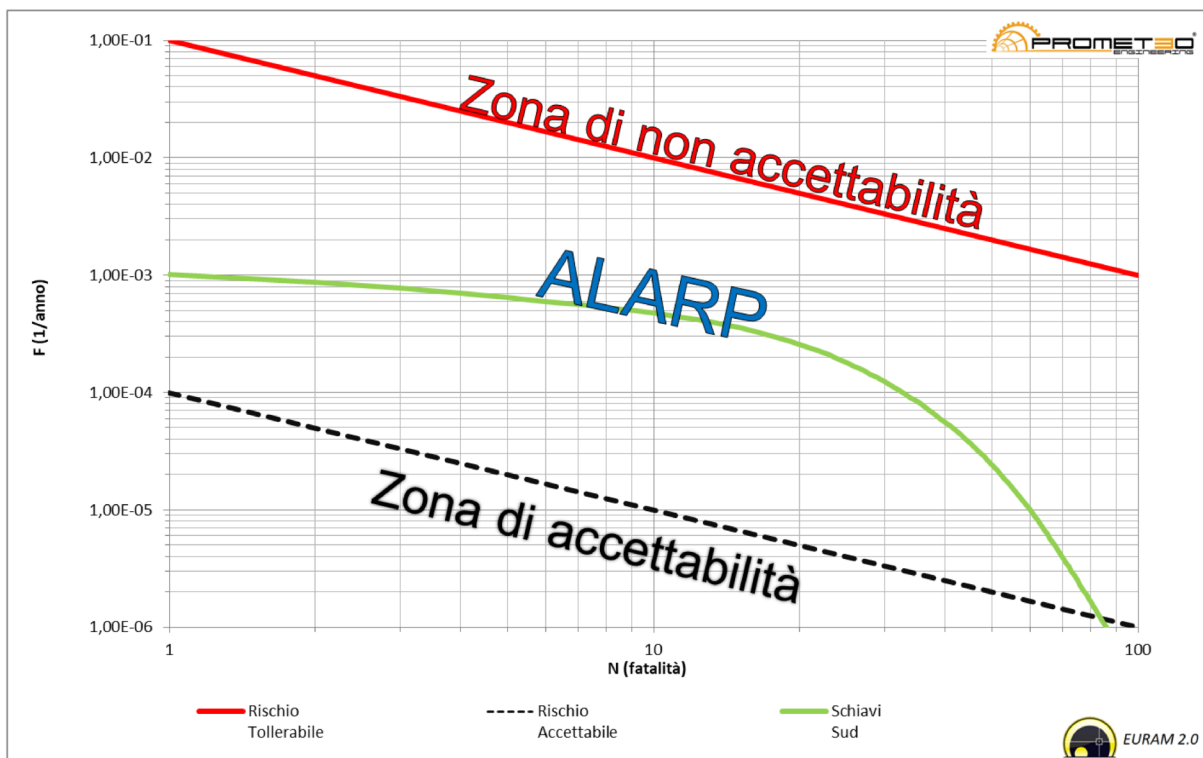
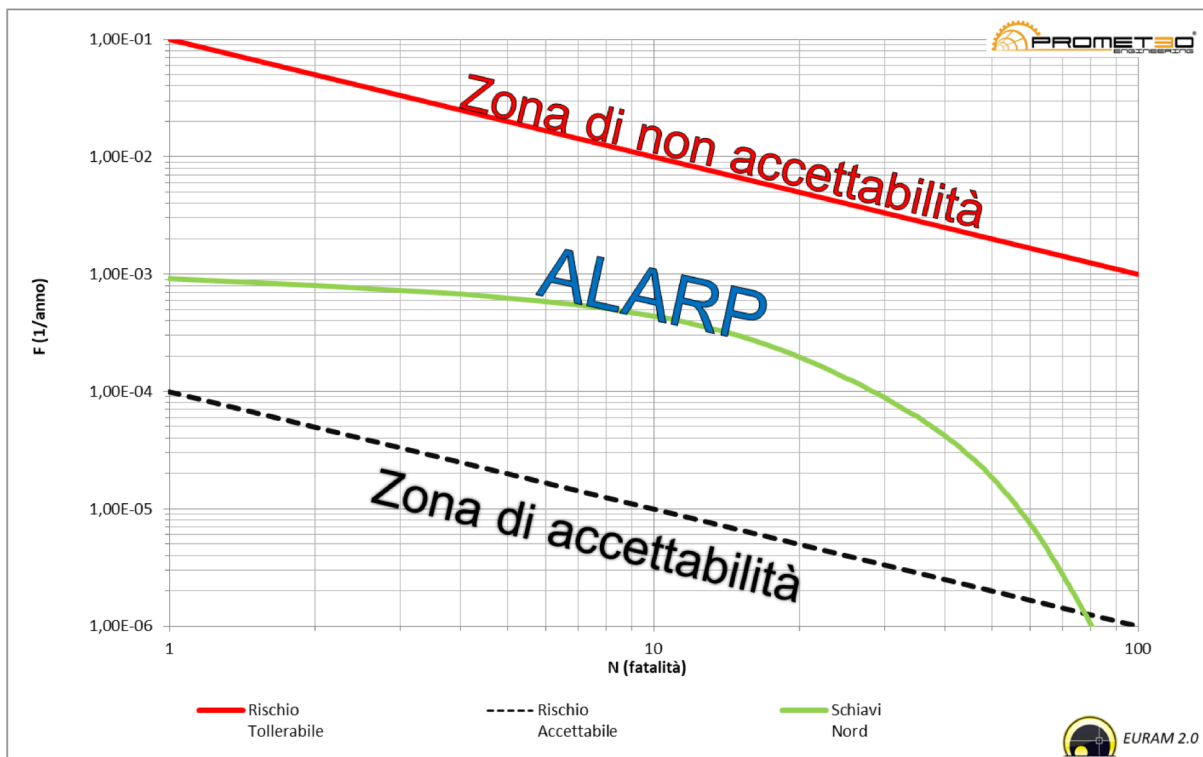
5 **Risultati**

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.

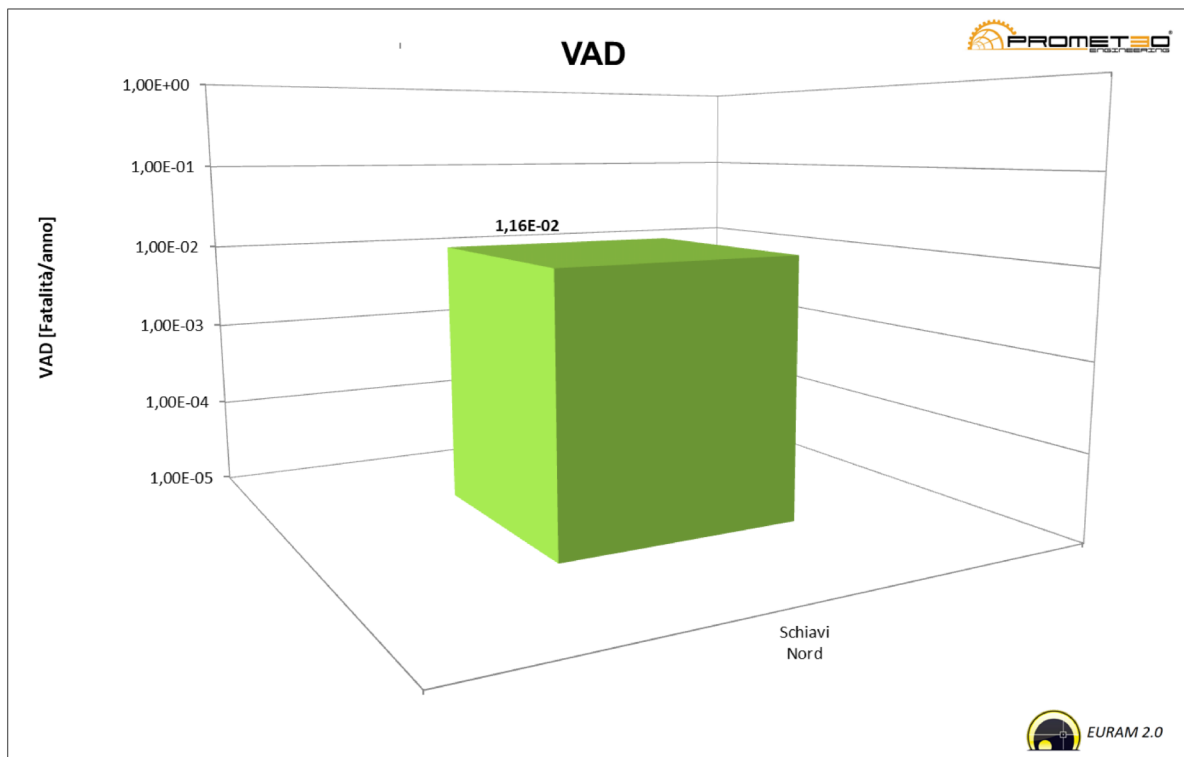
Sono riportati di seguito i risultati della quantificazione del rischio attraverso gli indicatori stabiliti dal Decreto Legislativo n. 264/2006:

- 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.

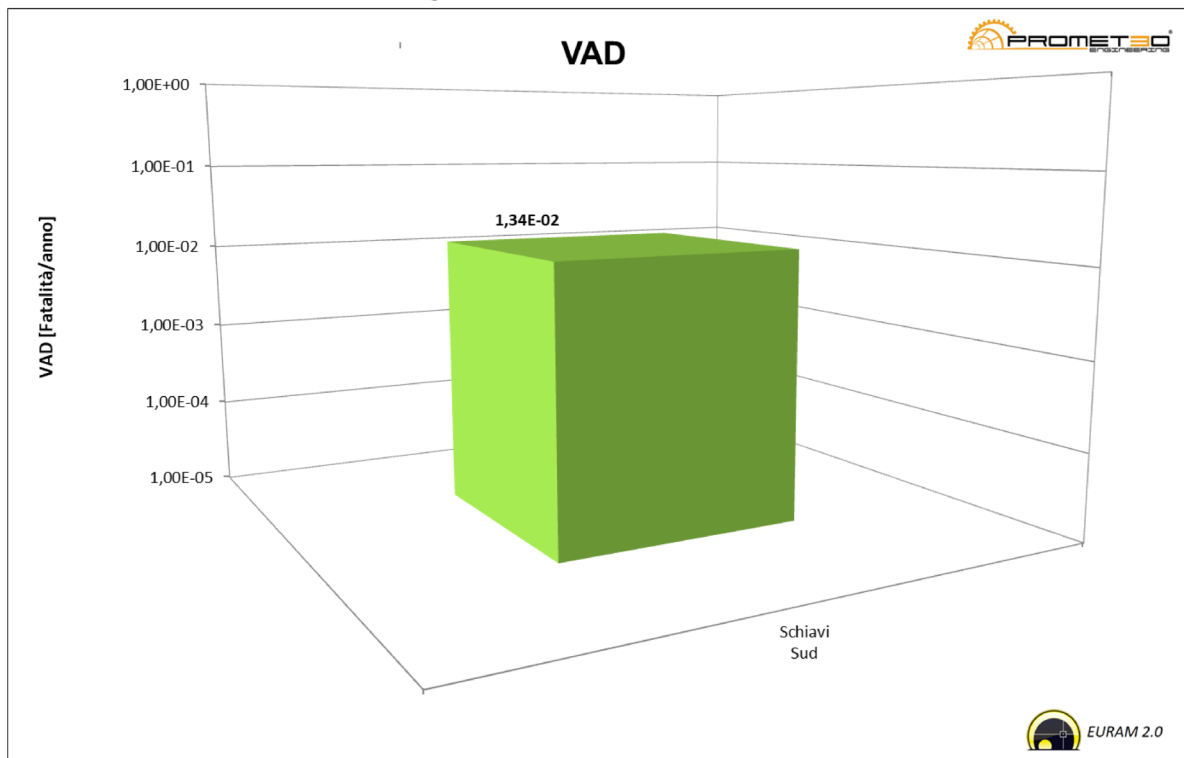
5.1 Curve Cumulate Complementari




5.2 Valore atteso del danno



Confronto configurazioni: Valore Atteso del Danno fornice dir. Nord



Confronto configurazioni: Valore Atteso del Danno fornice dir. Sud

	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio	Commessa:
	Galleria Schiavi	DG41/08
	3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Rev. A

6 Conclusioni

La presente relazione ha lo scopo di verificare e validare le proposte progettuali per la realizzazione della galleria Schiavi, ubicata sulla Strada Stata e106 Jonica.

E' stata adottata la metodologia di progettazione della sicurezza IRAM (Italian Risk Analysis Method), che segue le prescrizioni del Decreto Legislativo n. 264 del 5 ottobre 2006 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea" e le indicazioni delle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" emesse da ANAS SpA con la circolare n 17/06 del 28/11/2006 e rimesse con circolare n.CDG0179431-P del 09/12/2009.

L'analisi di rischio è stata svolta per le seguenti motivazioni:

1. transito di veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose;
2. galleria a caratteristiche speciali.

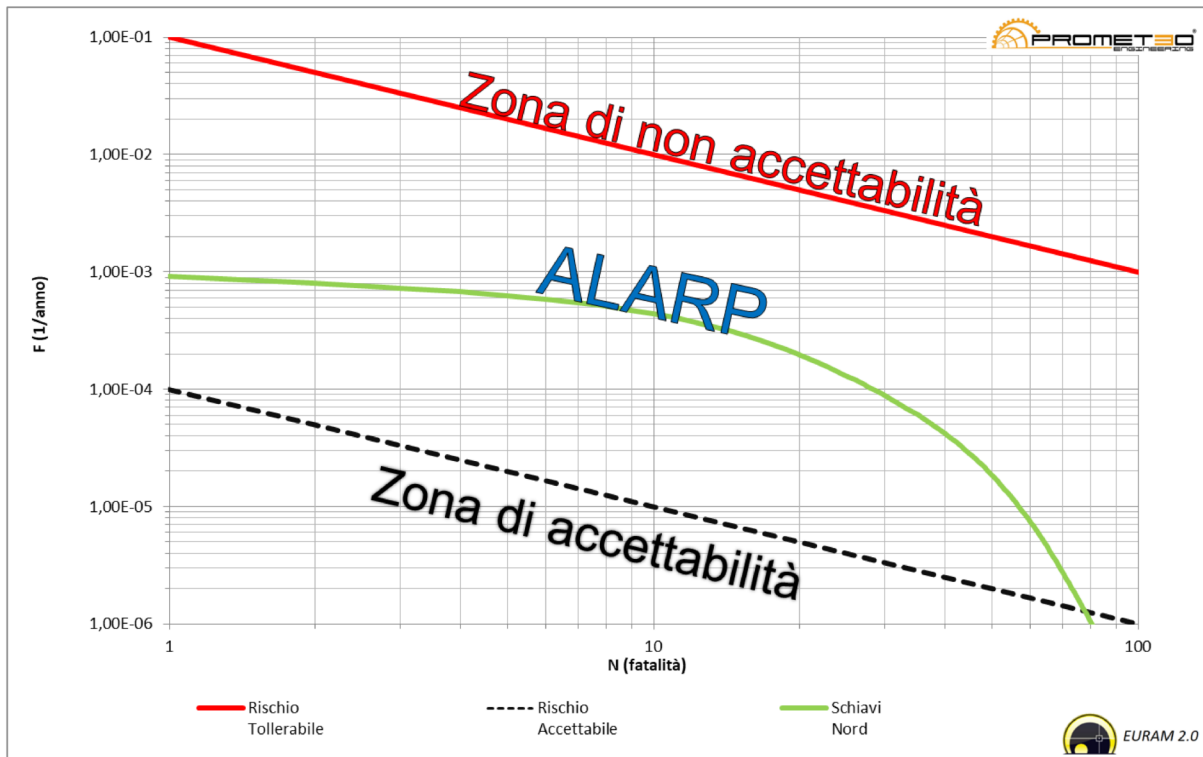
L'analisi di rischio ha permesso di calcolare gli Indicatori previsti dalla norma e cioè l'indicatore di rischio sociale rappresentato sul piano F-N dalle Curve Cumulate Complementari ed il Valore Atteso del Danno.

Per effetto degli interventi impiantistici e strutturali proposti le Curve Cumulate Complementari relative alla galleria si collocano al di sotto del livello di rischio tollerabile all'interno della zona ALARP del piano F-N.

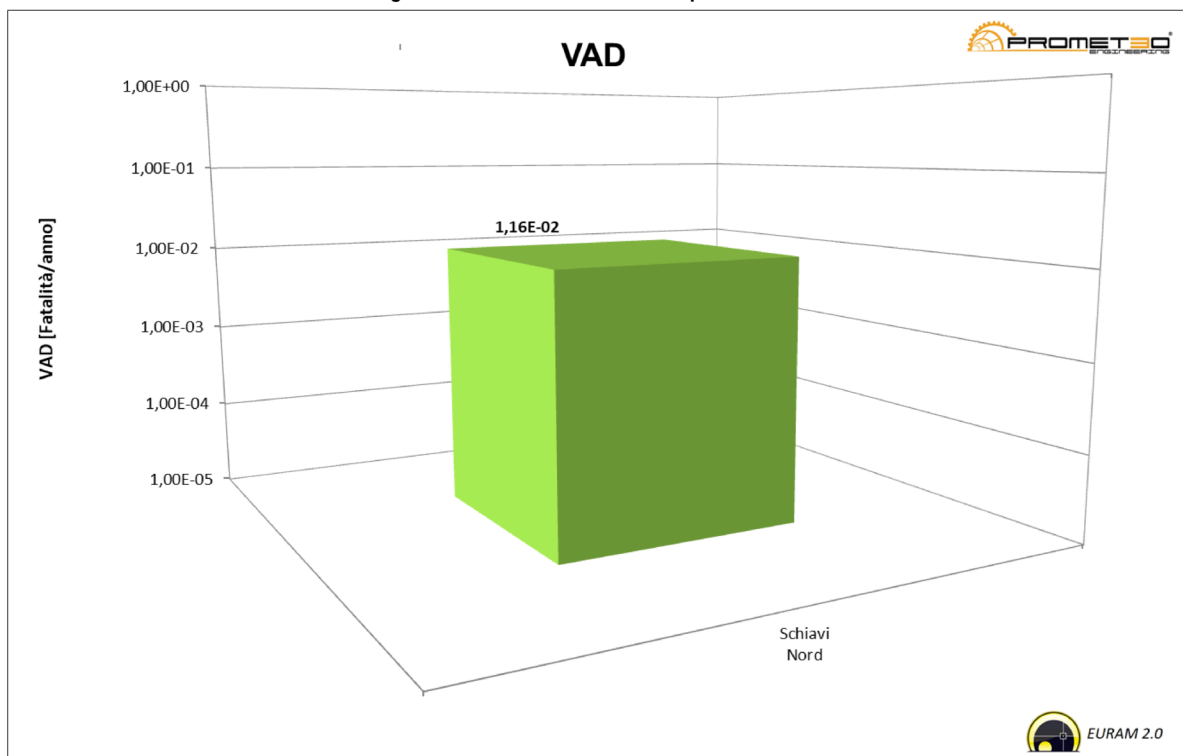
L'insieme dei risultati sopra commentati conferiscono alla galleria caratteristiche pienamente congruenti con le prestazioni alle dotazioni richieste ed in linea con gli standard nazionali.

Nella seguente tabella e nelle successive figure si riepiloga il livello di sicurezza dei due forni della galleria

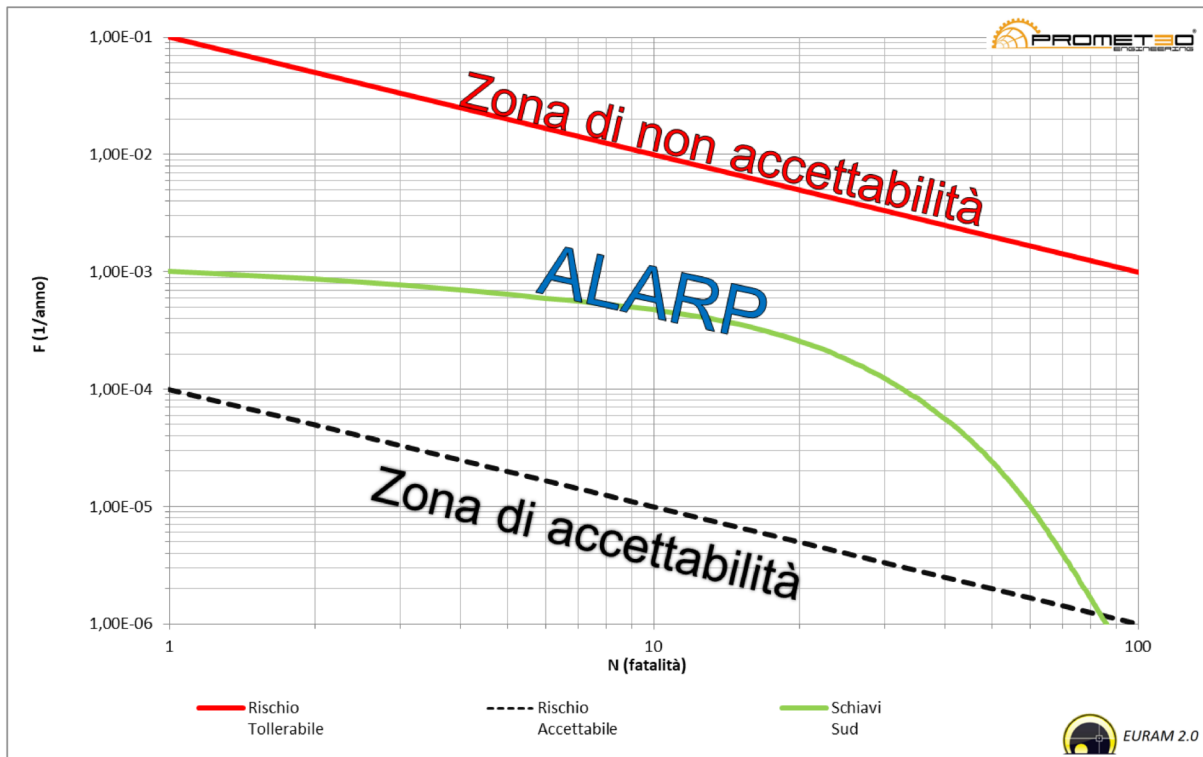
VAD (fatalità/anno) Fornice Nord	0,011
VAD (fatalità/anno) Fornice Sud	0,013



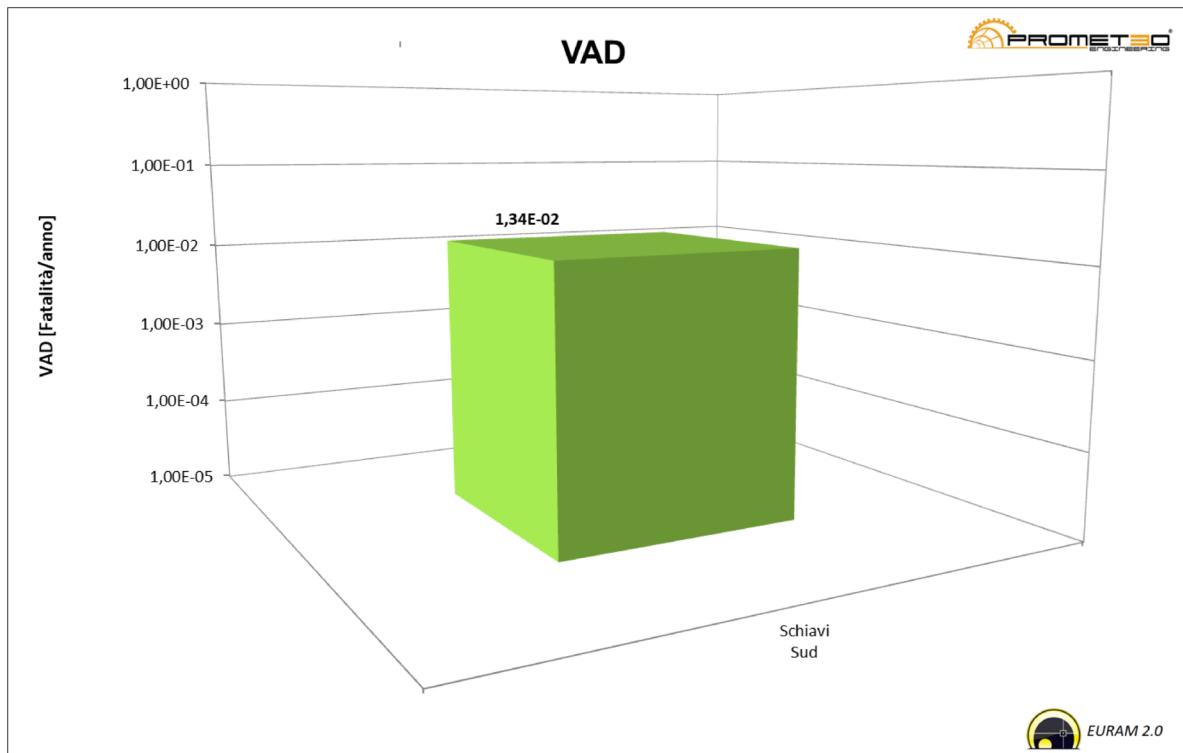
Confronto configurazioni: Curva Cumulata Complementare fornice dir. Nord




Confronto configurazioni: Valore Atteso del Danno fornice dir. Nord



Confronto configurazioni: Curva Cumulata Complementare fornice dir. Sud



Confronto configurazioni: Valore Atteso del Danno fornice dir. Sud

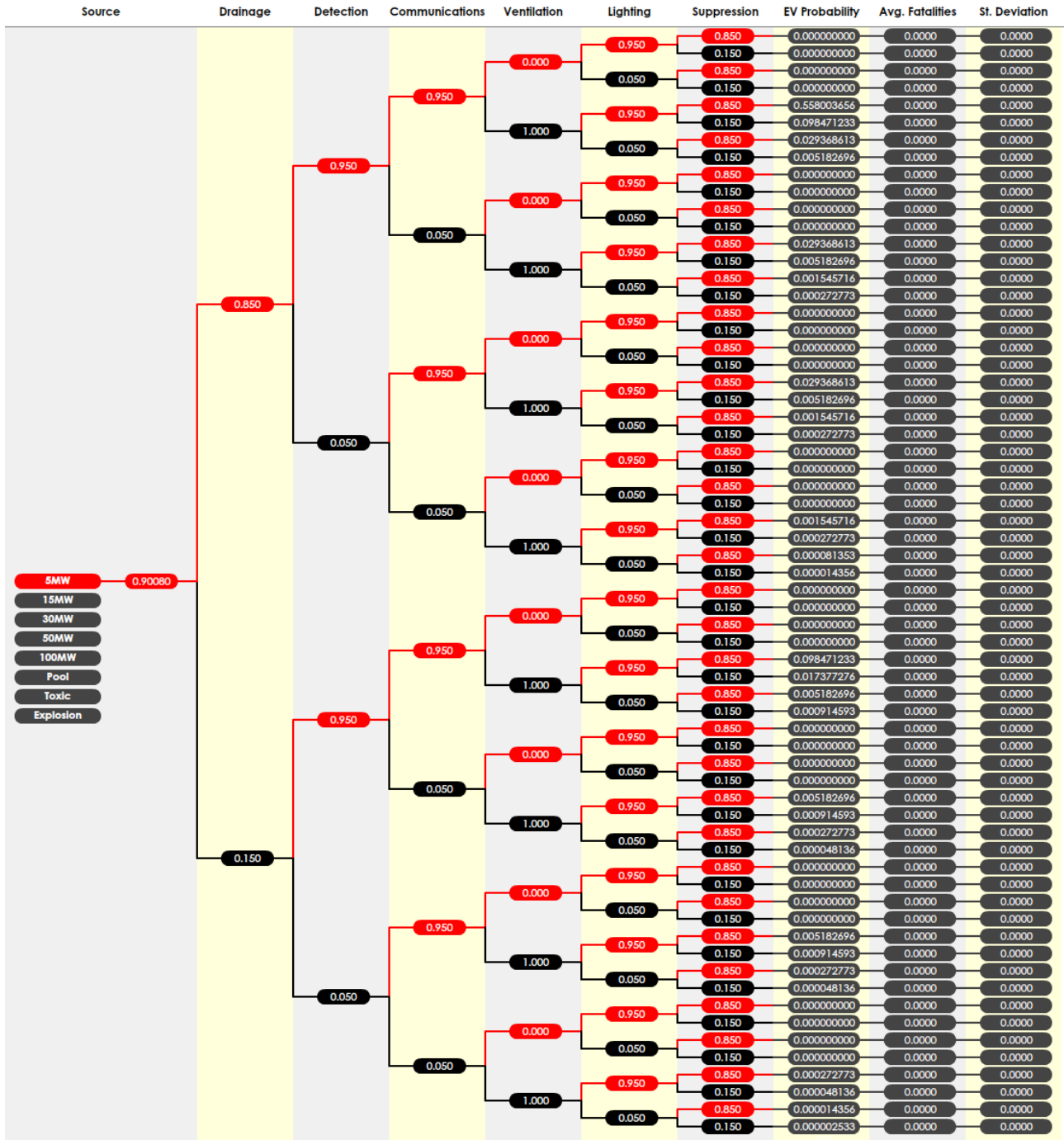
	Progetto della Sicurezza – 04-Analisi di Rischio Galleria Schiavi 3°Megalotto S.S. 106 Jonica	Commessa: DG41/08
		Rev. A

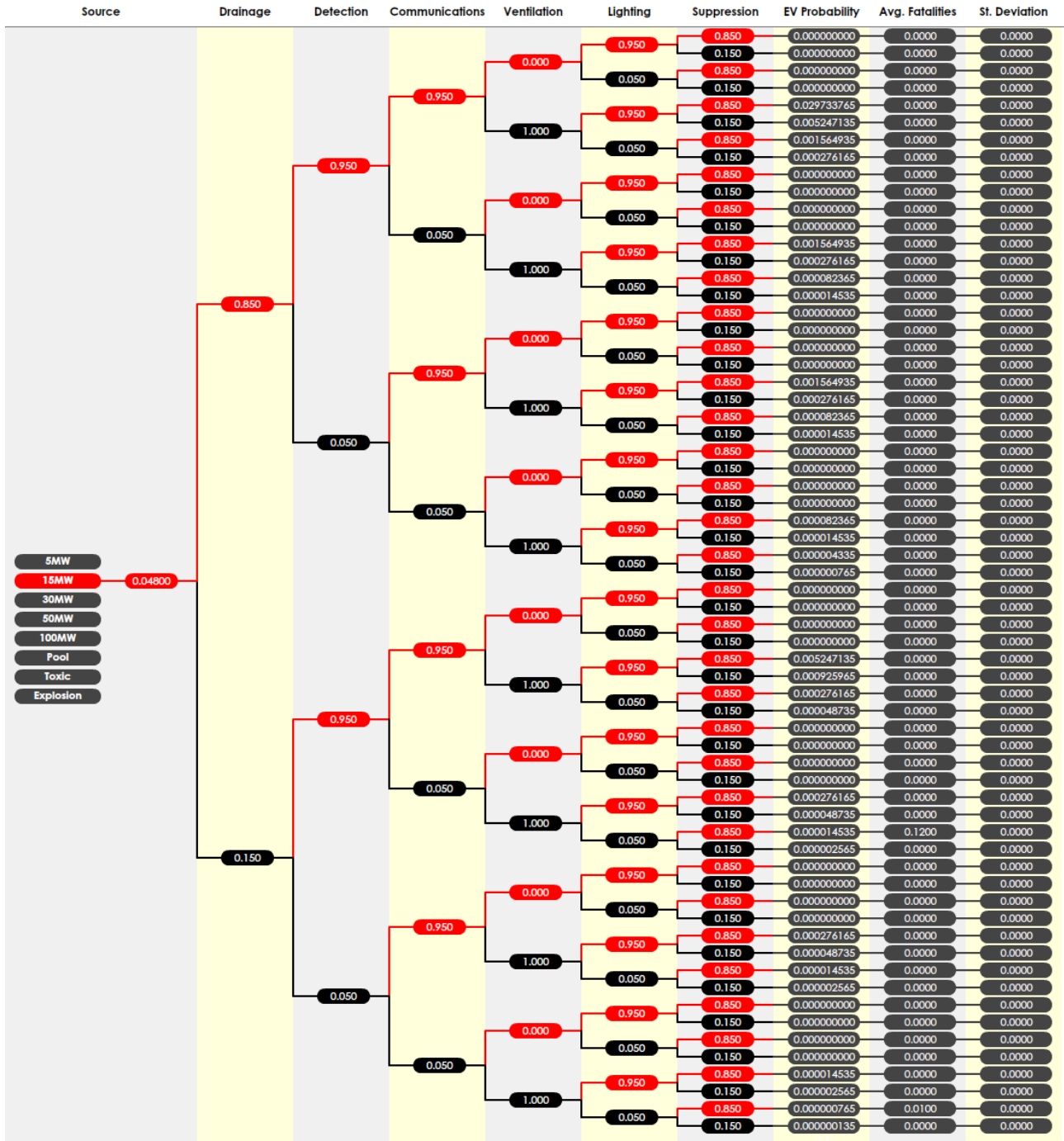
I risultati ottenuti, considerando le incertezze derivanti dai modelli e dai fenomeni aleatori, sono attendibili e validi nella misura in cui:

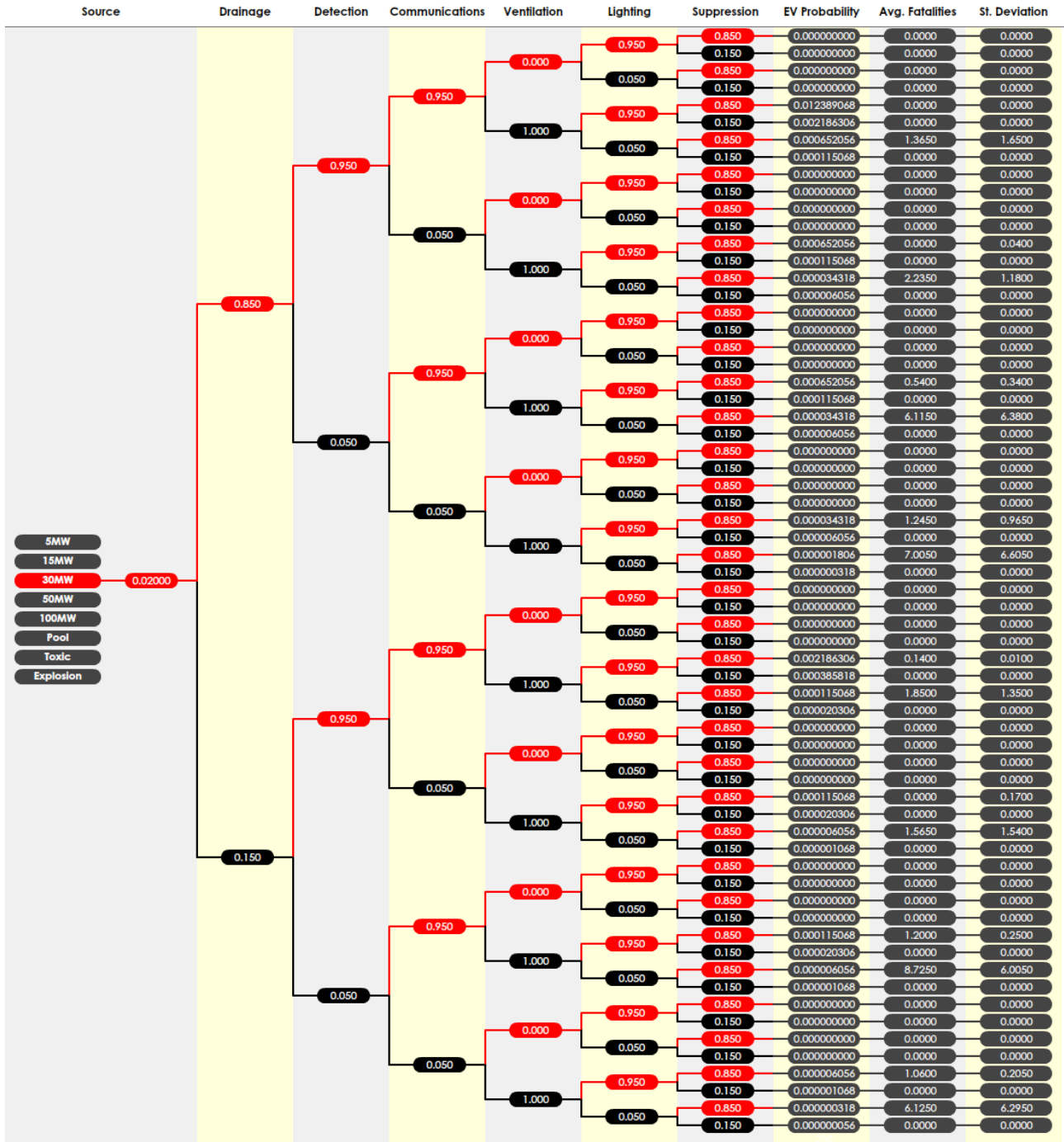
- le misure di sicurezza siano realizzate e collaudate per essere conformi ai requisiti di progetto e garantiscano prestazioni compatibili con i dati utilizzati per la presente analisi, considerate le incertezze,
- sia messo in atto il piano di monitoraggio della galleria con le migliori tecnologie disponibili verificando che non vi siano condizioni tali da portare al superamento dei livelli di rischio fissati dalla norma,
- siano attuati i piani di gestione dell'emergenza con le procedure in essi contenute che devono essere rese operative da parte di tutti i soggetti coinvolti,
- siano attuati i piani di manutenzione come da progetto assicurando un idoneo livello di servizio dei sistemi di sicurezza,
- la struttura del gestore sia correttamente dimensionata e gli addetti formati per attuare i piani come definiti nella documentazione di sicurezza in modo efficiente,
- siano messe in atto idonee campagne preventive di informazione all'utenza come previsto dalla norma.

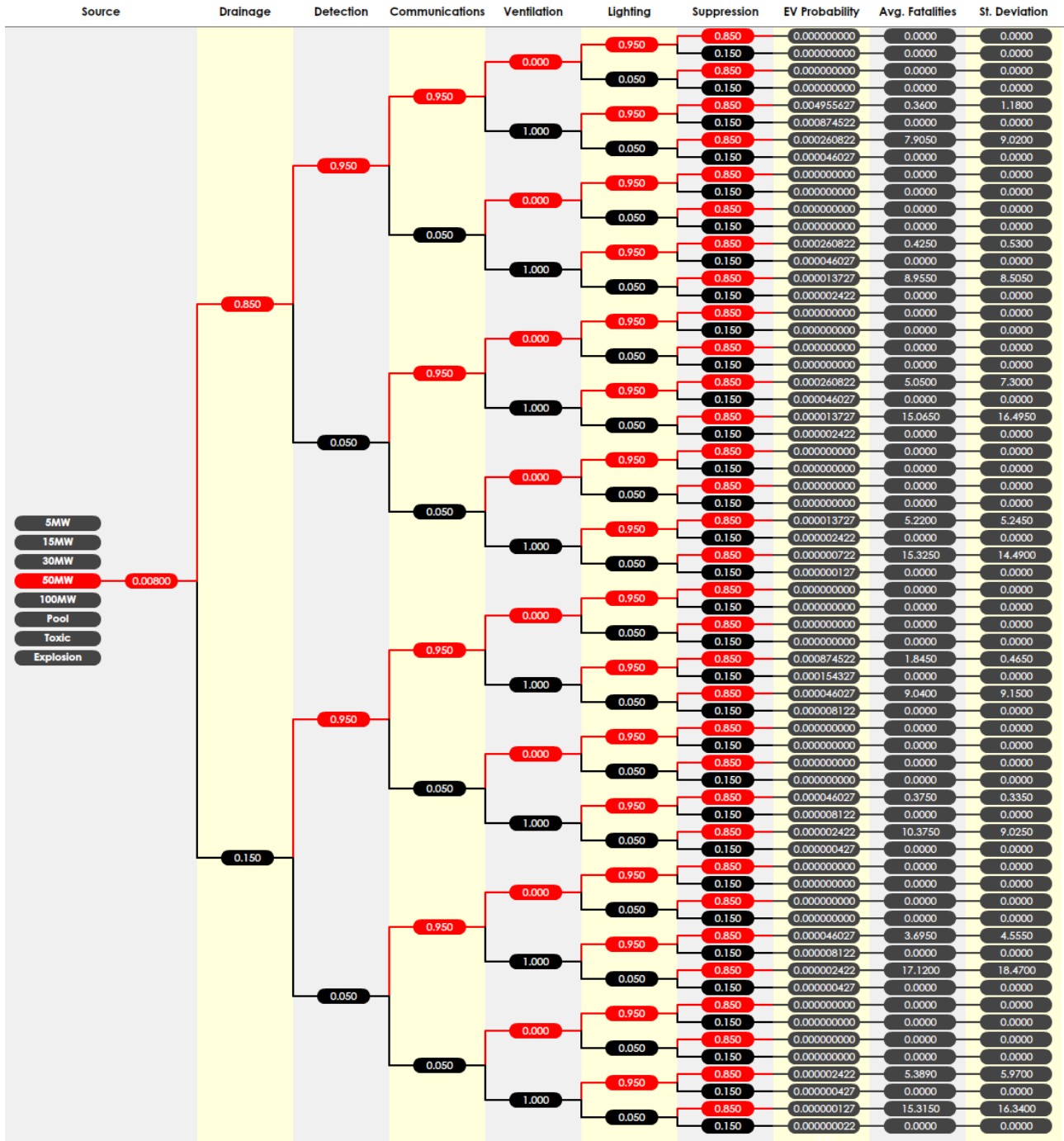
Allegato A – Albero degli eventi

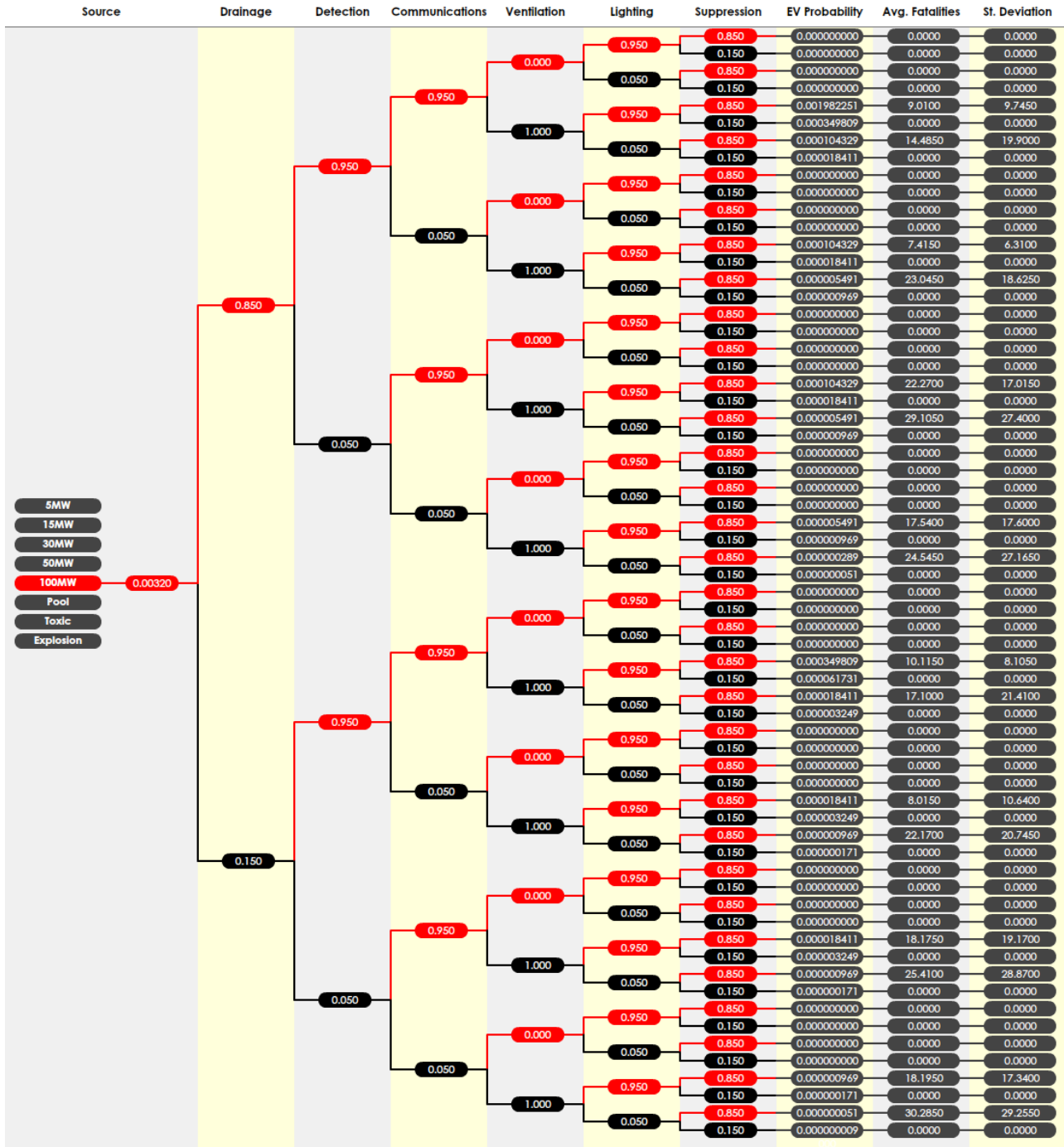
Fornice Nord



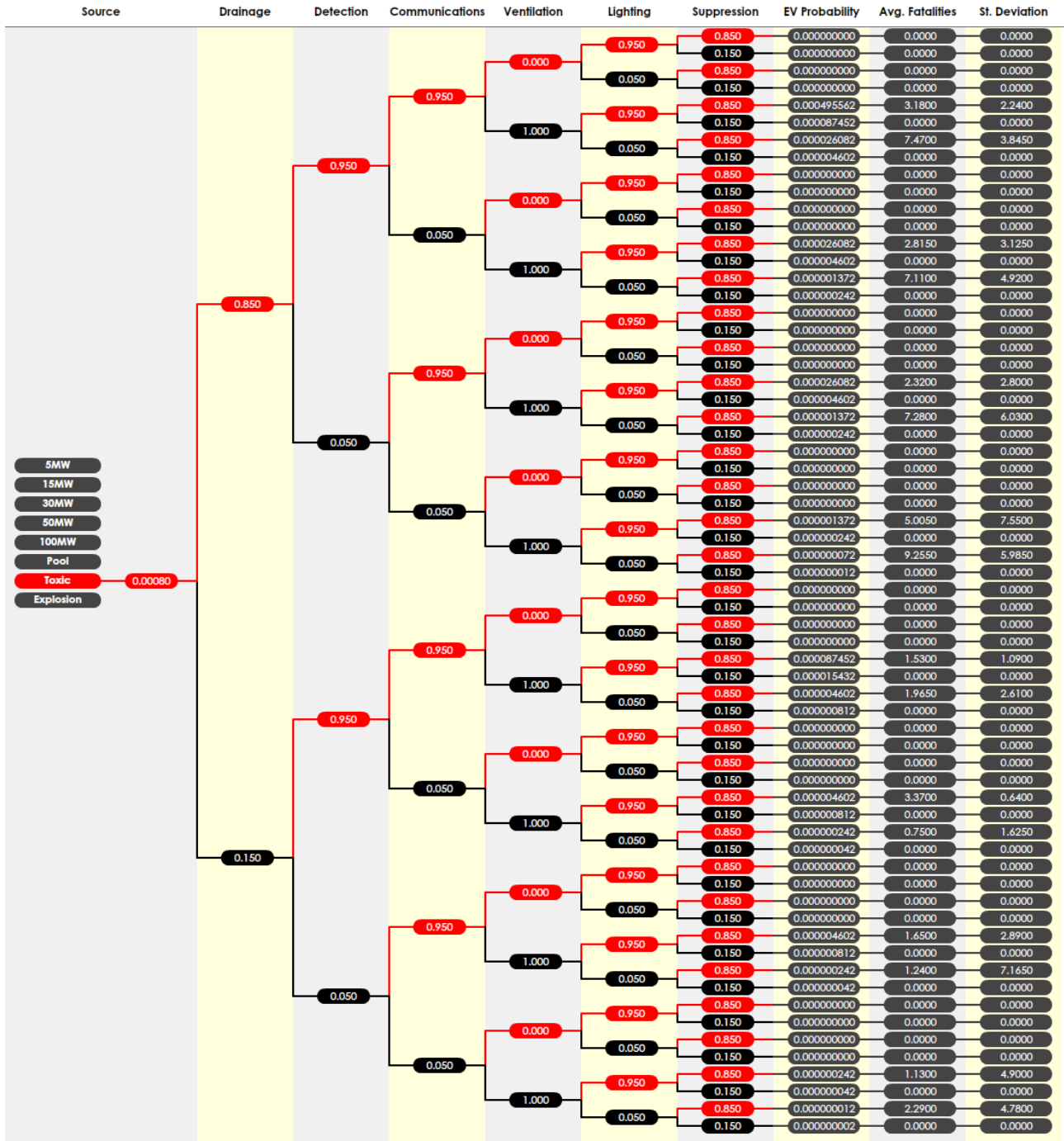






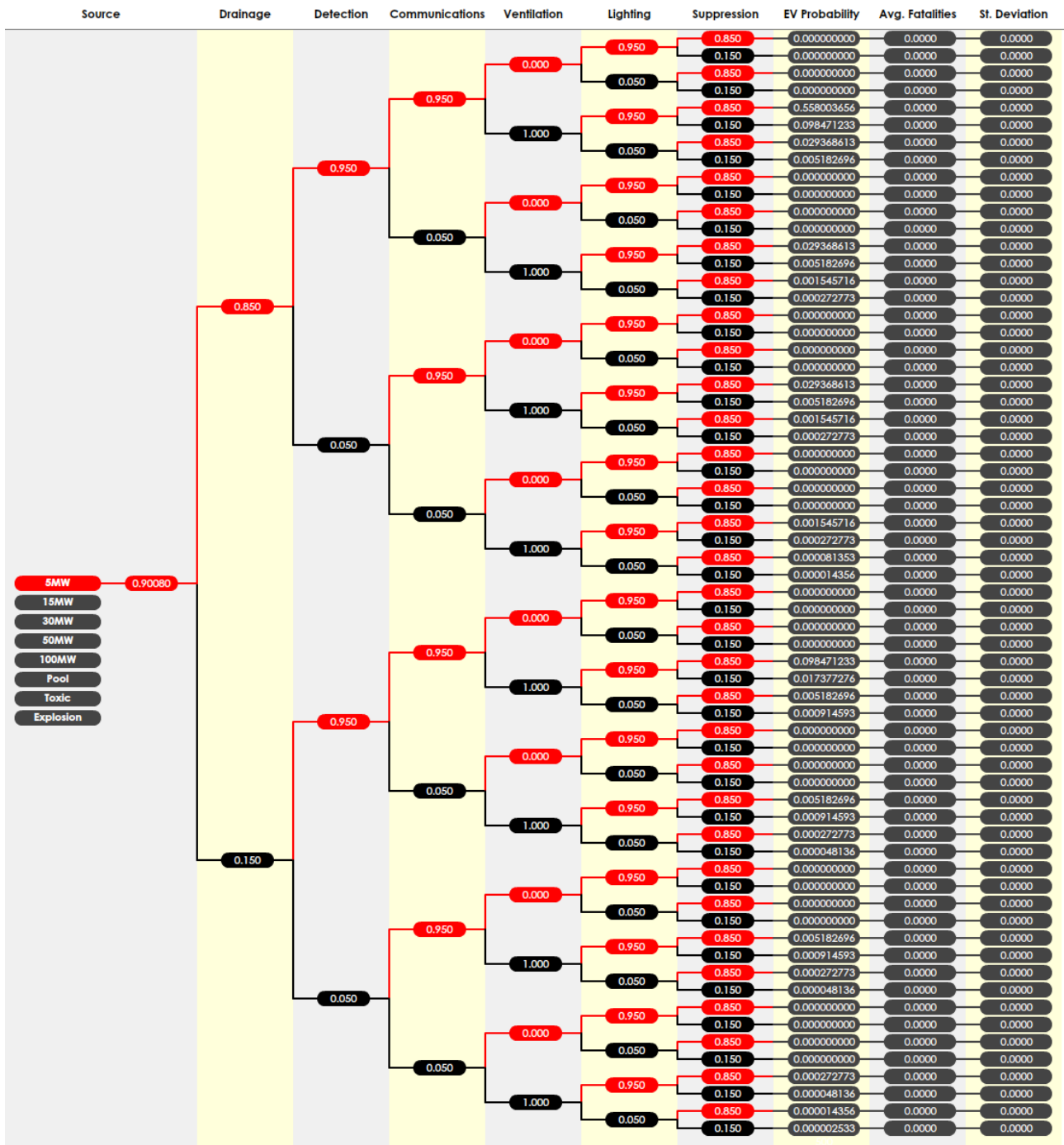


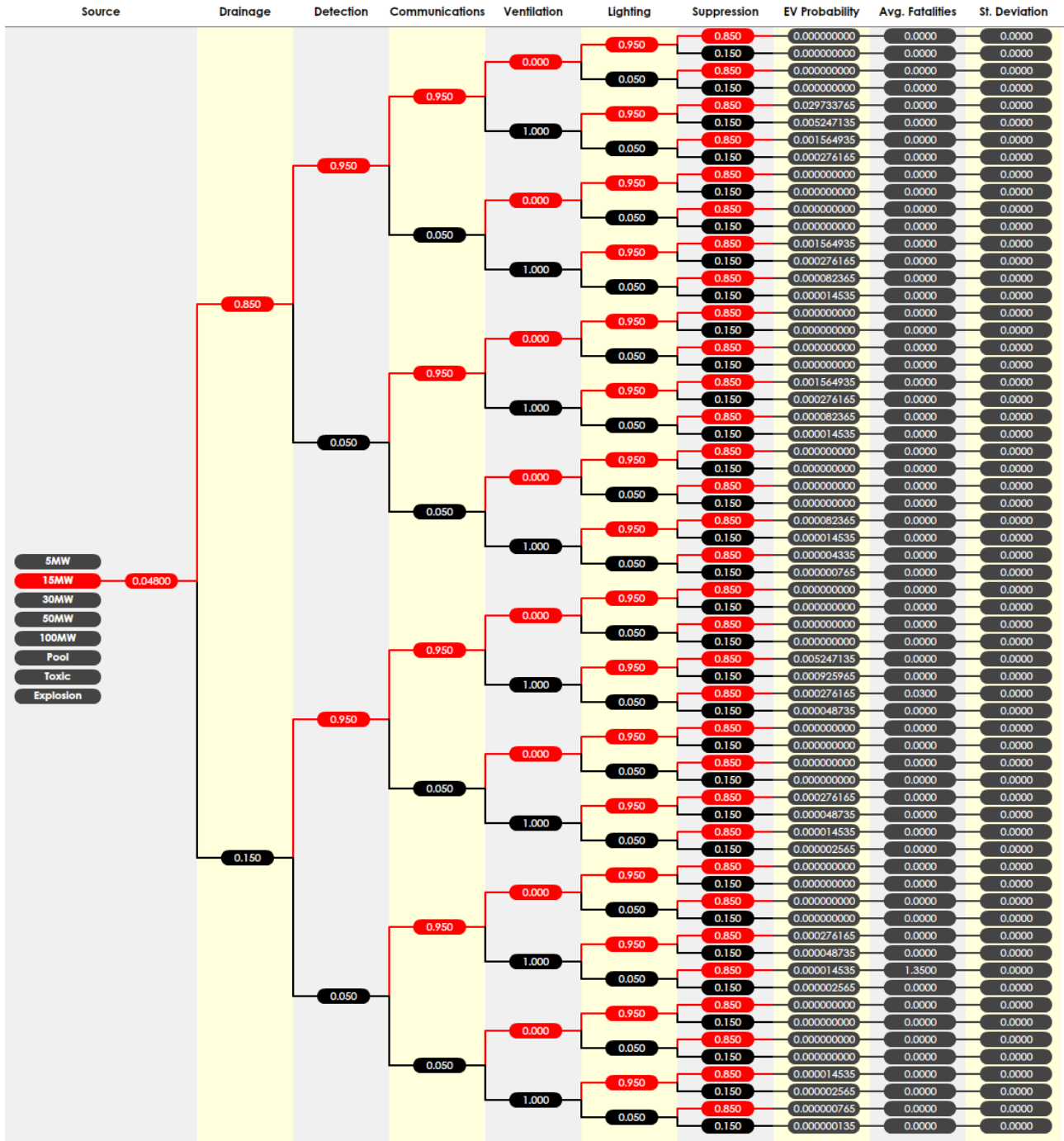
Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool 0.00110 Toxic Explosion 	0.850	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.000681398	18.6700	21.1700
				1.000	0.150	0.150	0.000120246	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.000035863	27.0300	25.5800
				0.050	0.150	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.000035863	20.5650	20.1850
				1.000	0.150	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.00001887	31.3800	27.2650
				0.050	0.150	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.000035863	29.2050	28.9950
				1.000	0.150	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.00001887	35.0050	38.3400
				0.050	0.150	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.00001887	31.3900	27.2850
				1.000	0.150	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.00000099	37.5900	35.8600
				0.050	0.150	0.150	0.00000017	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.000120246	17.1450	17.2400
				1.000	0.150	0.150	0.000021220	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.00006328	26.4300	23.5500
				0.050	0.150	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				1.000	0.950	0.850	0.00006328	15.6900	14.0700
				1.000	0.150	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000
				0.050	0.850	0.150	0.00000333	23.8100	25.5550
				0.050	0.150	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000
				0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
1.000	0.950	0.850	0.00006328	23.3000	29.3300				
1.000	0.150	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000				
0.050	0.850	0.150	0.00000333	36.5950	32.6700				
0.050	0.150	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000				
0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
0.050	0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
1.000	0.950	0.850	0.00000333	25.5900	24.8000				
1.000	0.150	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000				
0.050	0.850	0.150	0.00000017	29.8050	26.0400				
0.050	0.150	0.150	0.00000003	0.0000	0.0000				



Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation				
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool Toxic Explosion 0.00060 	0.850	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
				1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000				
				0.050	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
					1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000				
			0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000371672	17.4050	15.6750		
						1.000	0.150	0.150	0.000065589	0.0000	0.0000		
					0.050	0.950	0.850	0.000019561	34.7850	26.6350			
						1.000	0.150	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000		
				0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
							1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000019561	24.7500	23.7800
								1.000	0.150	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000
				0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000001029	34.6950	35.4200	
							1.000	0.150	0.150	0.00000181	0.0000	0.0000	
					0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
								1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000019561	23.9800	23.9200	
							1.000	0.150	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000	
					0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000001029	36.1650	36.0400
								1.000	0.150	0.150	0.00000181	0.0000	0.0000
		0.050		0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
						1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
				0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000001029	38.2550	34.3400	
							1.000	0.150	0.150	0.00000181	0.0000	0.0000	
		0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000054	36.8700	40.7850			
					1.000	0.150	0.150	0.00000009	0.0000	0.0000			
			0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
						1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
		0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000065589	18.1500	13.9750			
					1.000	0.150	0.150	0.000011574	0.0000	0.0000			
			0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00003452	31.6100	24.0150		
						1.000	0.150	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000		
		0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
					1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
			0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00003452	24.3550	24.5000		
						1.000	0.150	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000		
		0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00000181	34.4900	35.6350			
					1.000	0.150	0.150	0.00000032	0.0000	0.0000			
			0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
						1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00003452	21.8800	20.4350					
			1.000	0.150	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000					
	0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00000181	32.8300	39.7900				
				1.000	0.150	0.150	0.00000032	0.0000	0.0000				
0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
			1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
	0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
				1.000	0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000				
0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.00000181	33.5700	31.3350					
			1.000	0.150	0.150	0.00000032	0.0000	0.0000					
	0.050	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000009	37.7000	38.8850				
				1.000	0.150	0.150	0.000000001	0.0000	0.0000				

Fornice Sud



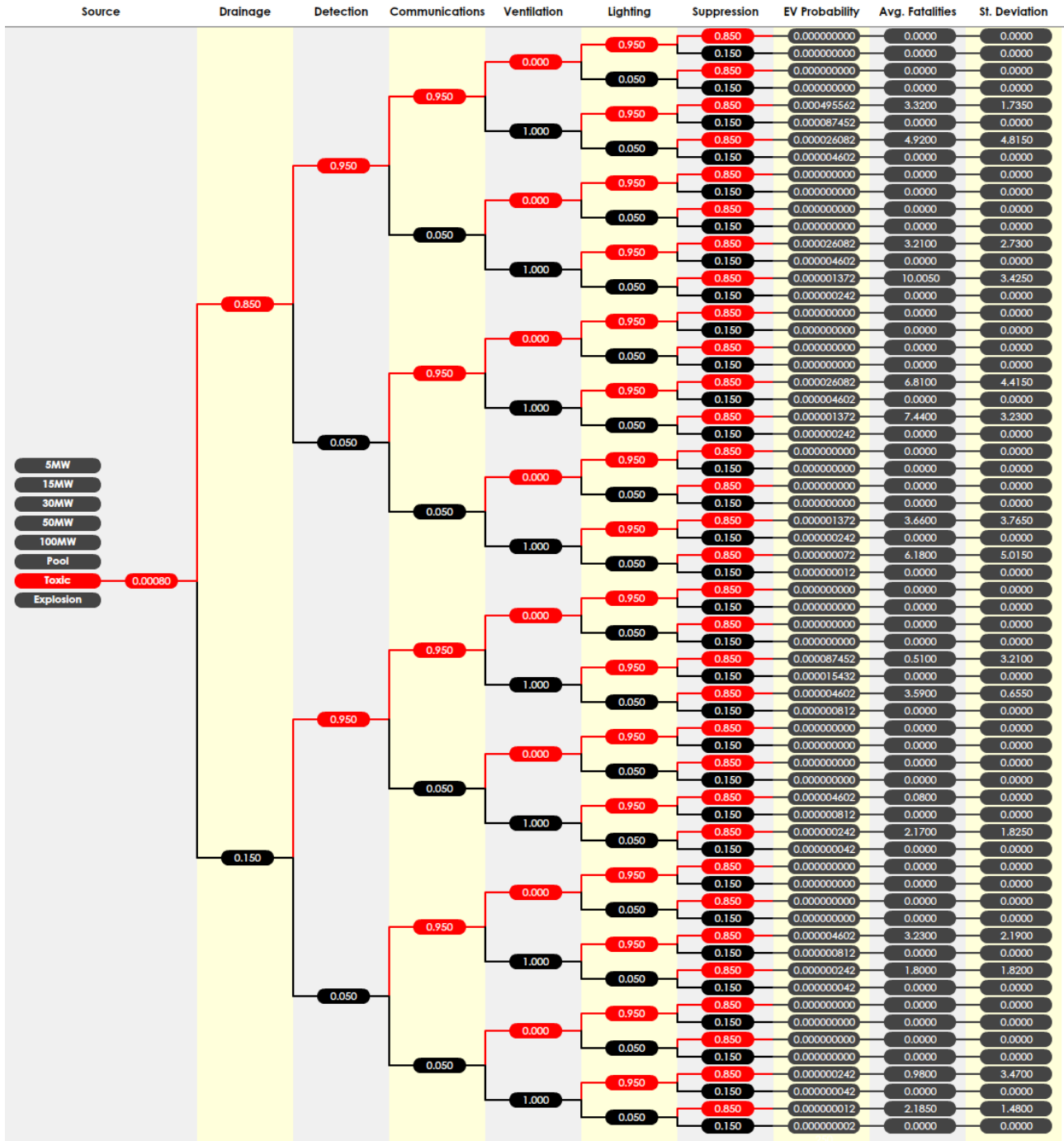


Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool Toxic Explosion 	0.02000	0.850	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.950	0.150	0.012389068	0.0000	0.0000
					1.000	0.950	0.002186306	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000652056	1.0350	2.1950
					0.000	0.150	0.000115068	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					1.000	0.950	0.000652056	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000115068	0.0000	0.0000
		0.950	0.850	0.000034318	1.7700	1.3100			
		0.150	0.850	0.000006056	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000652056	0.1150	0.4000			
		0.050	0.150	0.000115068	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000034318	5.5750	7.3950			
		0.150	0.850	0.000006056	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000034318	0.3350	0.3800			
		0.050	0.150	0.000006056	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000001806	6.8850	5.1350			
		0.150	0.850	0.00000318	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.002186306	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000385818	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000115068	2.3800	1.7200			
		0.150	0.850	0.000020306	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000115068	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000020306	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000006056	2.0250	1.8600			
		0.150	0.850	0.000001068	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000115068	0.0100	1.2500			
		0.050	0.150	0.000020306	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000006056	7.0800	5.7100			
		0.150	0.850	0.000001068	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000006056	0.8050	0.1000			
		0.050	0.150	0.000001068	0.0000	0.0000			
0.950	0.850	0.00000318	3.7850	6.1500					
0.150	0.850	0.000000056	0.0000	0.0000					

Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool Toxic Explosion 	0.00800	0.850	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					1.000	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.004955627	0.9000	0.5550
					0.050	0.150	0.000260822	8.6300	9.3850
					0.000	0.850	0.00046027	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000260822	0.8350	0.5250
					1.000	0.150	0.00046027	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00013727	8.2050	11.5200
					0.150	0.150	0.00002422	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000260822	6.1200	6.9000
					1.000	0.150	0.00046027	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00013727	12.0100	17.3150
					0.150	0.150	0.00002422	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.00013727	5.5240	6.5200
					1.000	0.150	0.00002422	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00000722	15.5400	14.3700
					0.150	0.150	0.00000127	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000874522	0.4500	0.1500
					1.000	0.150	0.000154327	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00046027	11.1650	12.2550
					0.150	0.150	0.00008122	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.00046027	0.4350	0.1300
					1.000	0.150	0.00008122	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00002422	10.0900	9.6200
					0.150	0.150	0.00000427	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.00046027	5.7500	6.5050
					1.000	0.150	0.00008122	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00002422	17.4750	16.8400
					0.150	0.150	0.00000427	0.0000	0.0000
					0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.000	0.850	0.00002422	4.5600	5.1850
					1.000	0.150	0.00000427	0.0000	0.0000
					0.050	0.850	0.00000127	18.2350	15.9750
					0.150	0.150	0.00000022	0.0000	0.0000

Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW (0.00320) Pool Toxic Explosion 	0.850	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.001982251	12.0400	9.8450	
					0.000349809	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000104329	20.4050	19.6700	0.0000	
					0.000018411	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000104329	9.4100	9.0850	
					0.000018411	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.00005491	26.1800	22.9950	
					0.000000969	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000104329	20.6700	24.0750	
					0.000018411	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000969	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000005491	24.8150	22.6200	
					0.000000969	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.00000289	35.9250	30.0550	
					0.000000051	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000349809	10.5850	9.8450	
					0.000061731	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000018411	22.6100	20.8300	0.0000	
					0.000003249	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000018411	9.3550	9.5350	
					0.000003249	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000969	19.6500	21.7650	0.0000	
					0.000000171	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000018411	20.5350	20.0500	
					0.000003249	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000969	31.3700	34.8250	0.0000	
					0.000000171	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.000000000	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
					0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
					0.850	0.000000969	24.2500	19.4800	
					0.000000171	0.0000	0.0000	0.0000	
					0.050	0.850	0.000000051	29.2900	32.5350
					0.000000009	0.0000	0.0000	0.0000	

Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool 0.00110 Toxic Explosion 	0.850	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.000	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
				0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
				0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
				1.000	0.950	0.000681398	24.7300	23.7600	
				1.000	0.150	0.000120246	0.0000	0.0000	
				0.050	0.850	0.000035863	33.4750	35.2100	
				0.050	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000	
				0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000	
				0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
				0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
				1.000	0.950	0.000035863	22.2900	25.2350	
			1.000	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000		
			0.050	0.850	0.00001887	30.2300	34.8500		
			0.050	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000		
			0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
			1.000	0.950	0.000035863	36.4650	36.1100		
			1.000	0.150	0.00006328	0.0000	0.0000		
			0.050	0.850	0.00001887	41.1350	36.4200		
			0.050	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000		
			0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.00001887	31.2300	37.1400			
		1.000	0.150	0.00000333	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.00000099	40.8300	41.0550			
		0.050	0.150	0.00000017	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.000120246	17.6100	17.0000			
		1.000	0.150	0.000021220	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.00006328	25.2900	29.7000			
		0.050	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.00006328	16.3250	18.0100			
		1.000	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.00000333	31.1050	22.3150			
		0.050	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000			
		0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.00006328	26.4400	32.2400			
		1.000	0.150	0.00001116	0.0000	0.0000			
0.050	0.850	0.00000333	39.3400	35.2400					
0.050	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000					
0.000	0.950	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
1.000	0.950	0.00000333	28.3200	28.7000					
1.000	0.150	0.00000058	0.0000	0.0000					
0.050	0.850	0.00000017	38.4400	38.1300					
0.050	0.150	0.00000003	0.0000	0.0000					



Source	Drainage	Detection	Communications	Ventilation	Lighting	Suppression	EV Probability	Avg. Fatalities	St. Deviation
<ul style="list-style-type: none"> 5MW 15MW 30MW 50MW 100MW Pool Toxic Explosion 0.00060 	0.850	0.950	0.950	0.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000
				0.000	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000	
				0.050	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
				1.000	0.950	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000
			0.950	0.850	0.000371672	18.4050	18.6750		
			0.050	0.150	0.000065589	0.0000	0.0000		
			0.000	0.850	0.000019561	34.6800	29.9450		
			0.050	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000		
			0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
			1.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
			0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.950	0.850	0.000019561	23.3050	21.3250		
			0.050	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000		
			0.950	0.850	0.00001029	32.8550	39.2500		
			0.050	0.150	0.000000181	0.0000	0.0000		
			0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
			0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
			1.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000	
			0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000		
		0.950	0.850	0.000019561	28.9200	25.9000			
		0.050	0.150	0.00003452	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.00001029	40.2700	31.2650			
		0.050	0.150	0.000000181	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000		
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.00001029	32.1500	34.8600			
		0.050	0.150	0.000000181	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000054	42.3250	42.7600			
		0.950	0.850	0.000000009	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000			
		0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000			
		1.000	0.950	0.850	0.000065589	15.6700	15.9600		
		0.050	0.150	0.000011574	0.0000	0.0000			
		0.950	0.850	0.000003452	26.0450	28.6750			
		0.050	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000			
0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
1.000	0.950	0.850	0.000003452	24.9650	24.2700				
0.050	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000181	32.8250	30.5800					
0.050	0.150	0.000000032	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
1.000	0.950	0.850	0.000003452	25.0850	24.2450				
0.050	0.150	0.00000609	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000181	33.4450	36.9900					
0.050	0.150	0.000000032	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
1.000	0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000				
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000000	0.0000	0.0000					
0.050	0.150	0.000000000	0.0000	0.0000					
1.000	0.950	0.850	0.000000181	33.1950	27.5750				
0.050	0.150	0.000000032	0.0000	0.0000					
0.950	0.850	0.000000009	40.5050	40.8800					
0.050	0.150	0.000000001	0.0000	0.0000					