



Società Autostrada Tirrenica p.A.

AUTOSTRADA (A12) : LIVORNO – CIVITAVECCHIA

TRATTO: LIVORNO – SAN PIETRO IN PALAZZI

PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEGLI INTERVENTI MIRATI

ALL'ADEGUAMENTO DELLA GALLERIA RIMAZZANO

AL D.Lgs. N. 264/06 – FASE 1


PROGETTO ESECUTIVO

DOCUMENTAZIONE DI SICUREZZA ANALISI DI RISCHIO

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE E DIRETTORE TECNICO

Ing. Alessandro Focaracci
Ord. Ing. Roma n°A28894

RIFERIMENTO ELABORATO											DATA:	REVISIONE												
DIRETTORIO			FILE								GIUGNO 2015	n.	data											
Codice	Commessa	Anno	Progetto	Disciplina	Opera	Parte Op.	Elaborato	Progressiva	Rev.	A		GIUGNO 2015												
S	A	T	0	4	1	4	P	E	D	S	G	N	0	0	0	0	A	R	0	0	1	B	B	MARZO 2017
											SCALA:	VARIE												

 PROMETEOENGINEERING.IT SRL Viale Mazzini, 11 - 00195 Roma tel. 06 33.22.53.50 fax 06 96.04.36.48 www.prometeoengineering.it info@prometeoengineering.it	REDATTO	Giacomo Greco
	VERIFICATO	Ing. Marco Salcuni
	APPROVATO	Ing. Alessandro Focaracci

	VISTO DEL COMMITTENTE  Responsabile Unico del Procedimento Ing. Giovanni Luca Guadagno	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, SISTEMI INFORMATIVI E STATISTICI DIREZIONE GENERALE PER LA VIGILANZA SULLE CONCESSIONI AUTOSTRADALI</small>
---	--	--




SAT Società Autostrada Tirrenica p.A.

GALLERIA RIMAZZANO
AUTOSTRADA A12 Livorno – Rosignano Marittimo

PROGETTO DELLA SICUREZZA
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” ed alle “Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali”.

				PROMETEOENGINEERING.IT Srl Viale Mazzini 11 - 00195 Roma			
				Commessa:			
Data	Rev.	Redatto		Verificato		Approvato	
Luglio 2013	0	M. Macilletti		L. Stantero		A. Focaracci	
Novembre 2013	1	D. Coticella		L. Stantero		A. Focaracci	
Giugno 2015	2	M. Macilletti		L. Stantero		A. Focaracci	
Marzo 2017	3	G. Greco		M. Salcuni		A. Focaracci	

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

INDICE

Premessa	4
Introduzione	7
Riferimenti	10
1 Analisi di Sicurezza	12
1.1.1 Caratterizzazione della struttura.....	12
1.1.2 Dotazione impiantistica “ante operam”.....	20
1.1.3 Dotazione impiantistica attuale.....	20
1.1.4 Prima fase di adeguamento: interventi impiantistici e misure gestionali.....	20
1.1.4.1 Centro di controllo.....	20
1.1.4.2 By pass pedonali e carrabili.....	21
1.1.4.3 Illuminazione di evacuazione.....	23
1.1.4.4 Impianto di videosorveglianza.....	23
1.1.4.5 Alimentazione elettrica di emergenza.....	23
1.1.4.6 Illuminazione di emergenza.....	23
1.1.4.7 Caratteristiche di resistenza al fuoco dei componenti degli impianti.....	23
1.1.4.8 Impianto S.O.S.....	23
1.1.4.9 Misure gestionali.....	23
1.1.5 Caratterizzazione dell'ambiente.....	24
1.1.6 Caratterizzazione del traffico.....	27
1.1.7 Transito VTMP.....	30
1.1.8 Tasso di occupazione dei veicoli.....	33
1.2 Analisi di Vulnerabilità.....	33
1.2.1 Parametri di Sicurezza della galleria Rimazzano.....	33
1.2.2 Individuazione del Gruppo di requisiti minimi.....	34
1.2.3 Fattori di Pericolo.....	35
1.2.4 Tasso di Accadimento degli Eventi Incidentali in galleria.....	38
1.2.5 Frequenza di Accadimento degli Eventi Incidentali.....	42
1.3 Analisi di conformità.....	43
1.3.1 Identificazione delle Anomalie nei Parametri di Sicurezza.....	43
1.3.2 Identificazione dei Deficit rispetto ai Requisiti Minimi di Sicurezza.....	44
1.4 Risultati dell'Analisi di Sicurezza.....	47

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2	Analisi di Rischio	48
2.1	Caratterizzazione Probabilistica degli Scenari di Pericolo.....	49
2.1.1	Tassi di accadimento degli eventi critici.....	49
2.1.2	Caratterizzazione eventi critici.....	53
2.1.2.1	Incendio	53
2.1.2.2	Rilascio di sostanze pericolose	57
2.1.2.3	Caratterizzazione energetica.....	60
2.2	Caratterizzazione Probabilistica dell’Albero degli Eventi.....	62
2.2.1	Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza e delle misure strutturali.....	63
2.3	Flusso del Pericolo	65
2.3.1	Quantificazione del Flusso del Pericolo	67
2.3.2	Simulazione statistica degli scenari di esodo.....	69
2.4	Valutazione del Rischio	73
2.4.1	Curve Cumulate Complementari	74
2.4.2	Valore atteso del danno	75
3	Conclusioni	76

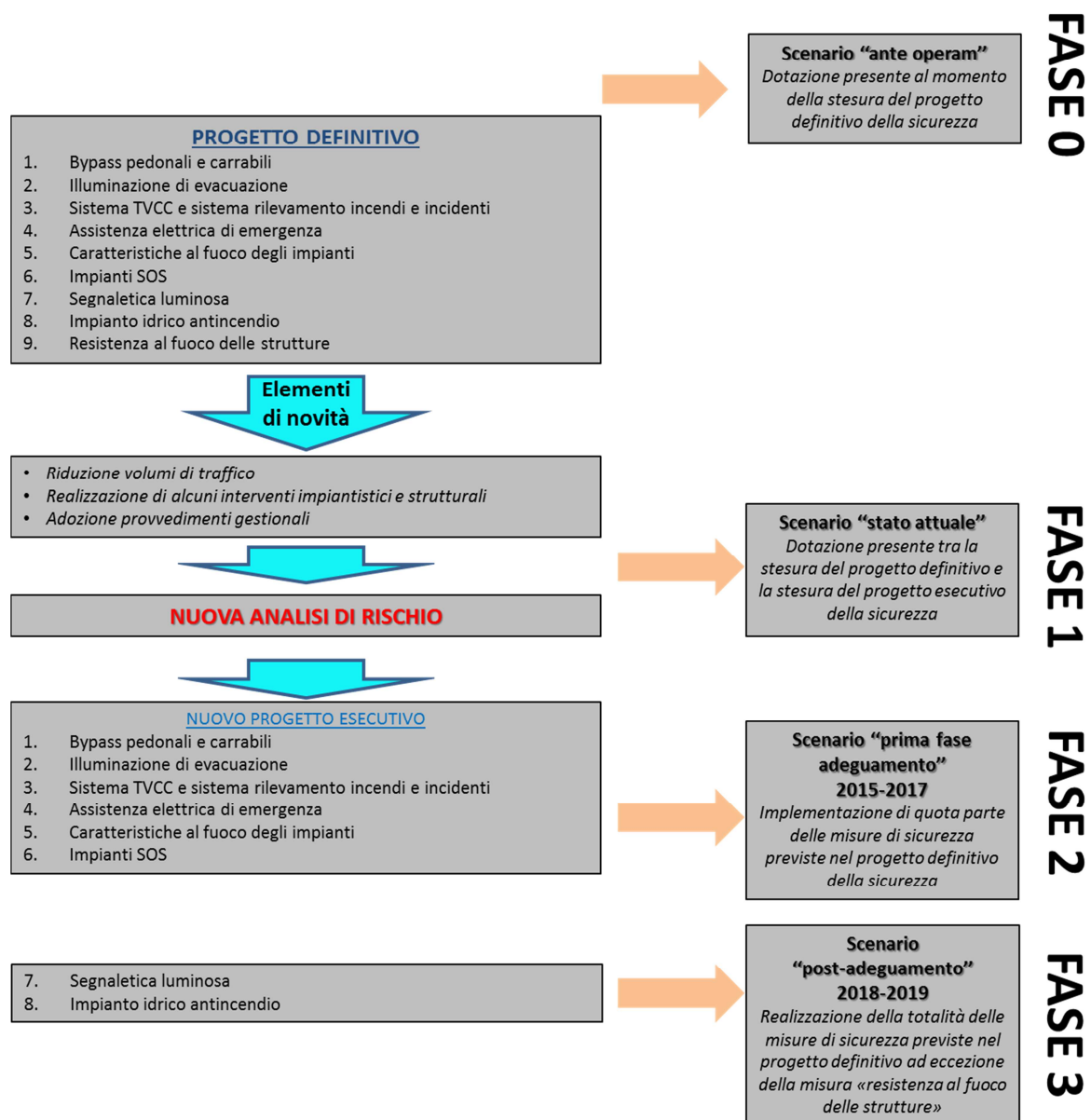
Premessa


La presente relazione concerne una nuova Analisi di Rischio finalizzata ad un aggiornamento del Progetto della Sicurezza della galleria Rimazzano, ubicata sulla Autostrada A12 in gestione diretta a Società Autostrada Tirrenica p.A.

La Galleria Rimazzano ricade nel tratto A12 Livorno-Rosignano Marittimo, che fa parte della rete stradale transeuropea e pertanto è soggetta all'applicazione del D.Lgs. 264/2006.

La galleria Rimazzano è a doppio fornice a traffico unidirezionale, la canna direzione Livorno è lunga 920 m, la canna direzione Rosignano Marittimo è lunga 924 m.

La successiva figura illustra l'iter progettuale per la definizione del Progetto della Sicurezza della galleria Rimazzano ai sensi del D.Lgs 264/06.



	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

L'iter progettuale è composto dai seguenti 4 scenari:

1. scenario "ante operam"
2. scenario "stato attuale"
3. scenario "prima fase di adeguamento"
4. scenario "post adeguamento"

Lo scenario "ante operam" si riferisce allo stato della galleria e delle dotazioni presenti al momento della stesura del progetto di adeguamento della sicurezza sviluppato a livello di progetto definitivo.

Il Gestore nel 2008 ha trasmesso alla CPG la "Relazione tecnica complessiva" relativa al Progetto della Sicurezza della galleria Rimazzano, contenente l'analisi di sicurezza, l'analisi di rischio, la tipologia e le caratteristiche delle dotazioni di sicurezza integrative.

Il Gestore, a seguito della nota della CPG n°397 del 25 gennaio 2008, nel luglio 2009 ha trasmesso alla CPG il progetto di adeguamento della sicurezza sviluppato a livello di progetto definitivo. Il progetto definitivo aveva individuato i seguenti interventi di adeguamento:

- bypass pedonali e carrabili,
- illuminazione di evacuazione,
- sistema TVCC e sistema rilevamento incendi ed incidenti,
- assistenza elettrica di emergenza,
- caratteristiche di resistenza al fuoco degli impianti,
- impianto SOS,
- segnaletica luminosa,
- impianto idrico antincendio,
- resistenza al fuoco delle strutture.

La CPG con provvedimento n°741 del 19/01/2012 ha approvato il progetto di adeguamento di cui sopra ed ha chiesto al Gestore la trasmissione del relativo progetto esecutivo.


Lo scenario "stato attuale" si riferisce quindi allo stato della galleria nel periodo compreso tra l'avvenuta approvazione del progetto di adeguamento e la stesura del progetto esecutivo, attualmente in corso.

In questo periodo il Gestore ha previsto e realizzato i seguenti interventi di adeguamento allo scopo di migliorare nell'immediato il livello di sicurezza della galleria:

- chiusura dei varchi presenti nello spartitraffico ai due imbocchi della galleria con sistemi amovibili,
- rifacimento dell'impianto di illuminazione permanente con tecnologia SAP ad alta efficienza,
- installazione di pannelli a messaggio variabile agli imbocchi ed in galleria,
- installazione di indicatori di corsia (freccia-croce) agli imbocchi ed in galleria,
- messa a punto di procedure per la gestione dell'emergenza attraverso il centro di controllo di Rosignano.

In questo periodo si è inoltre verificata una sensibile riduzione del volume di traffico.

Pertanto, a seguito della realizzazione dei descritti interventi impiantistici e strutturali finalizzati a migliorare nell'immediato il livello di sicurezza della galleria ed in considerazione della riduzione del volume di traffico, il Gestore ha ritenuto opportuno effettuare una nuova analisi del rischio, che costituisce il presente documento, mirata a rivalutare il piano di adeguamento, ridimensionando gli interventi previsti, sulla base delle effettive condizioni di esercizio.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

La presente analisi di rischio approfondisce tutti gli aspetti connessi ai parametri di sicurezza al fine di ridurre le incertezze sulle analisi svolte nella precedente fase di progetto definitivo consentendo l'ottimizzazione del progetto esecutivo in fase di stesura.


La presente analisi di rischio è dunque di supporto al Piano di Adeguamento che è attualmente in corso di progettazione esecutiva e che è composta da un primo "scenario" che riguarda una prima fase di adeguamento e da un secondo "scenario" che riguarda la seconda fase di adeguamento.

La prima fase di adeguamento comprende una serie di interventi strutturali ed impiantistici integrati da misure di sicurezza gestionali. L'avviamento dei lavori della prima fase di attuazione del piano di adeguamento è previsto entro il 2015, essa riguarda i seguenti interventi già previsti nel progetto definitivo approvato dalla CPG:

- sigillatura dei bypass pedonali ed allestimento del by-pass carrabile;
- implementazione dell'impianto TVcc per sorveglianza della galleria;
- illuminazione di evacuazione lato corsie di sorpasso;
- impianto SOS basato sulla tecnologia SOS in galleria;
- alimentazione mediante UPS ed adattamento layout delle cabine per garantire i servizi minimi.

Gli interventi ipotizzati sono oggetto della presente analisi di rischio al fine di verificarne l'efficacia e comprovare la conformità al D.Lgs 264/06.

In attesa dell'aggiornamento degli standard di intervento, anche sulla base delle innovazioni tecnologiche tese a migliorare il livello qualitativo delle opere, il Gestore si riserva di prevedere una seconda fase di adeguamento che completerebbe la realizzazione delle misure di sicurezza entro i termini previsti dal D.Lgs 264/06.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Introduzione

L'Analisi di Rischio è stata redatta con riferimento alla metodologia di progettazione della sicurezza IRAM (Italian Risk Analysis Method) che segue le prescrizioni del D.Lgs n.264/2006. I dati di base sono stati forniti dal Committente e si riferiscono alla configurazione della galleria in esercizio.


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.”*

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

La metodologia 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 di 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.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

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

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

La Determinazione del Livello di Rischio, in accordo al modello adottato, si ottiene come 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 italiana per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, oggi disponibile anche in software EURAM 1.1 reperibile presso www.psoftware.eu, è stata già applicata nella valutazione del rischio associato ad oltre 300 gallerie in esercizio/progettazione ed in particolare è stata adottata per lo studio della sicurezza delle gallerie gestite da Autostrade per l'Italia SpA.

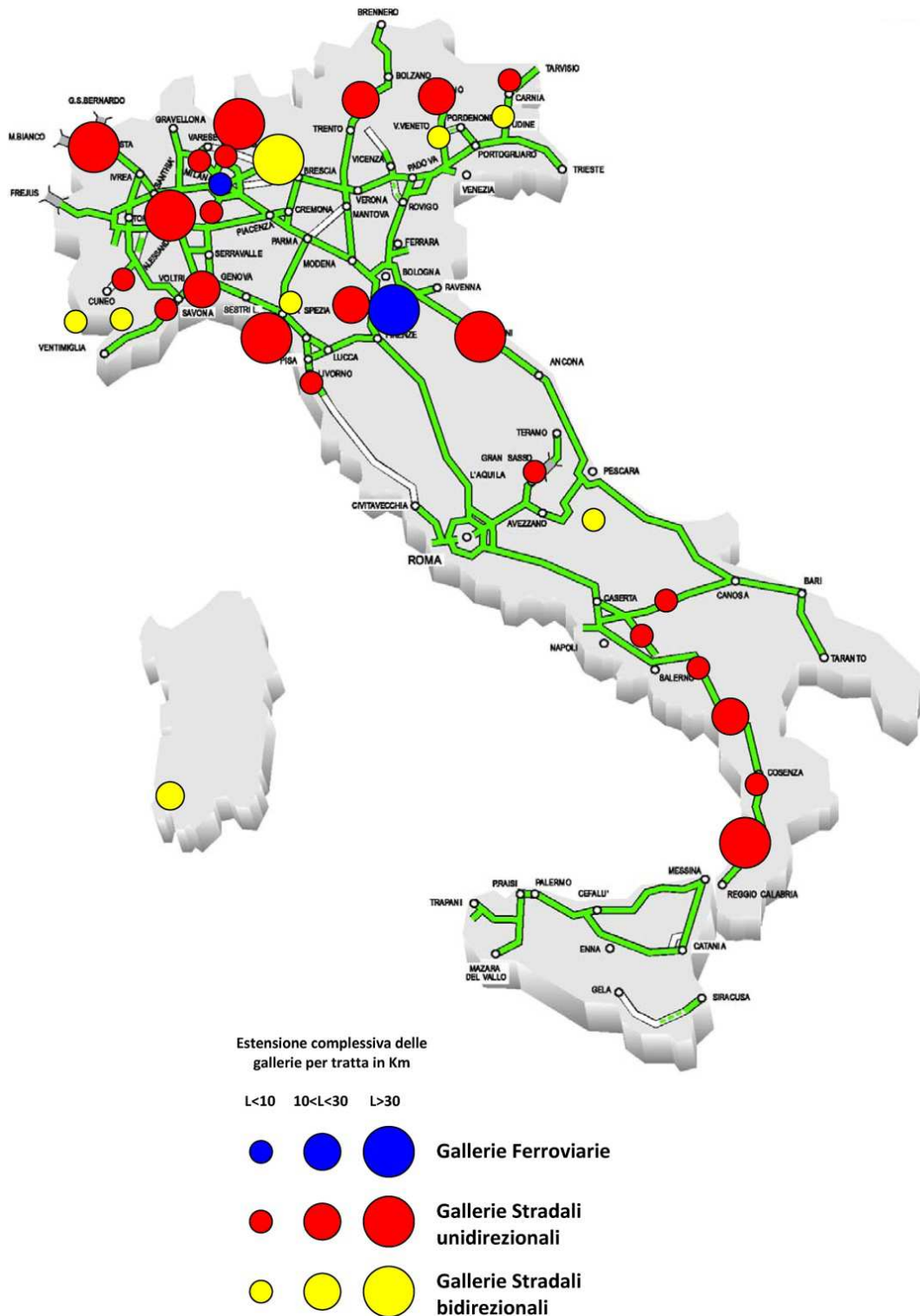



Figura 0-1: Applicazione della metodologia IRAM in Italia

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Riferimenti

Riferimento Normativo

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

Documenti Collegati

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

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

Note:

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

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

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

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

Documenti Complementari

Legge n.226 13/07/1999: *Interventi urgenti in materia di protezione civile.*

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

Decreto Ministeriale 5/6/2001: *Sicurezza nelle gallerie stradali.*

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

Decreto Ministeriale 14/09/2005: *Norme Tecniche per le Costruzioni.*

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


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

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

Decreto Ministero dell’Interno 9/5/2007: “*Direttive per l’attuazione dell’approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio*”

PIARC Committee on Road Tunnels:

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

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

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

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

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

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

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

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

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

E. Cafaro, A. Focaracci, m. Guarascio, I. Stantero - Quantitative Risk Analysis for Tunnels - Tunnel Management International Conference Torino, Maggio 2006.

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


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

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

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

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

Focaracci A.; Cafaro E. - Strade & Autostrade 1-2009 - Lo studio del livello di rischio di una galleria

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio	Commessa:
	Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Rev. 3

1 Analisi di Sicurezza

1.1.1 Caratterizzazione della struttura


I risultati della schedatura della galleria Rimazzano inerenti la caratterizzazione della struttura sono stati individuati al fine di evidenziare i parametri rilevanti e propedeutici alla formulazione dell'analisi di rischio e di seguito riportati nelle successive tabelle:

Tipologia	Autostradale
Costruzione	Naturale
Numero fornic	2
Direzionalità	Unidirezionale

Tabella 1-1: dati caratteristici geometrici e strutturali - galleria Rimazzano

Fornice direzione	Rosignano Marittimo
Lunghezza	924 m
Pendenza longitudinale	0,78 %
Tracciato	curvilineo
Forma della sezione	ad arco
Area della sezione	58,16 m ²
Altezza in asse galleria	6,6 m
Larghezza tra i piedritti	9,9 m
Numero corsie	2
Larghezza corsie	0,95 m marciapiede lato marcia + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 0,95 m marciapiede lato sorpasso
By-pass	n.3 (di cui 1 anche carrabile)
Interdistanze by-pass	~230 m

Tabella 1-2: dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice direzione Rosignano Marittimo

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Fornice direzione	Livorno
Lunghezza	920 m
Pendenza longitudinale	-0,78 %
Tracciato	curvilineo
Forma della sezione	ad arco
Area della sezione	58,16 m ²
Altezza in asse galleria	6,6 m
Larghezza tra i piedritti	9,9 m
Numero corsie	2
Larghezza corsie	0,95 m marciapiede lato marcia + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 0,95 m marciapiede lato sorpasso
By-pass	n.3 (di cui 1 anche carrabile)
Interdistanze by-pass	~230 m

Tabella 1-3: dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice direzione Livorno

Di seguito sono indicate le progressive degli imbocchi e dei bypass:

- Imbocco ingresso dir. Rosignano Marittimo: pk 188+400
- Imbocco uscita dir. Rosignano Marittimo: pk 189+324
- Imbocco ingresso dir. Livorno: pk 189+320
- Imbocco uscita dir. Livorno: pk 188+400
- Bypass pedonale n.1: pk 189+086
- Bypass carrabile/pedonale n.1: pk 188+856
- Bypass pedonale n.2: pk 188+626



Figura 1-1: Planimetria galleria Rimazzano

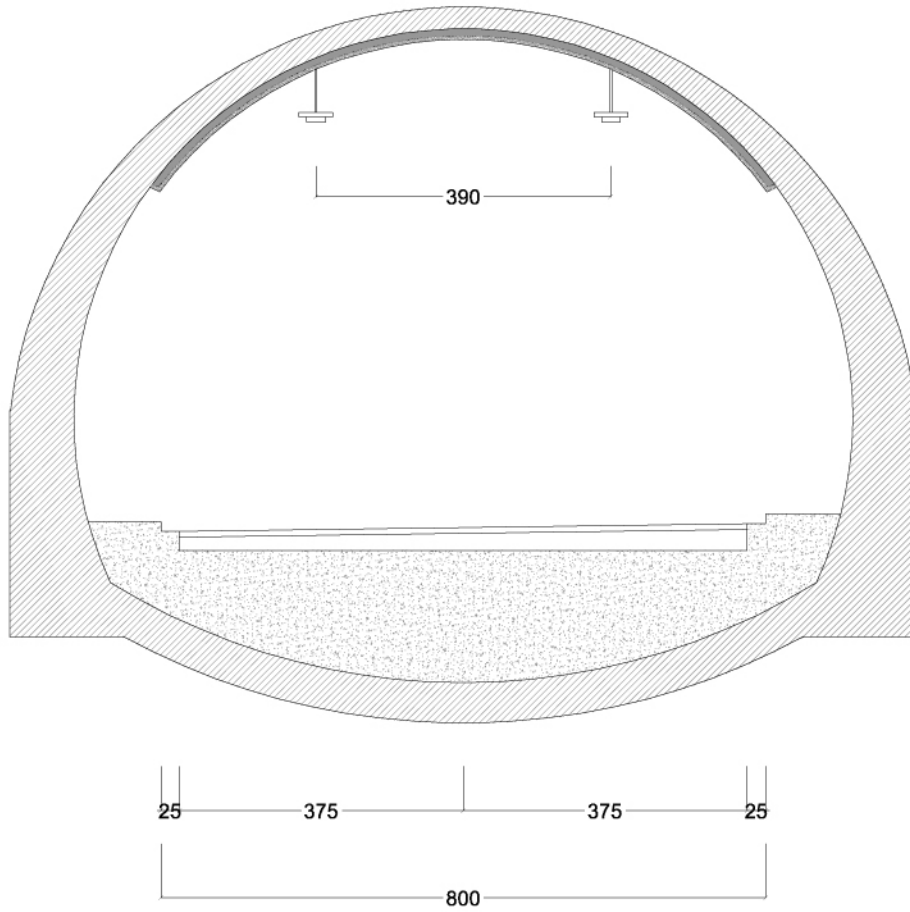
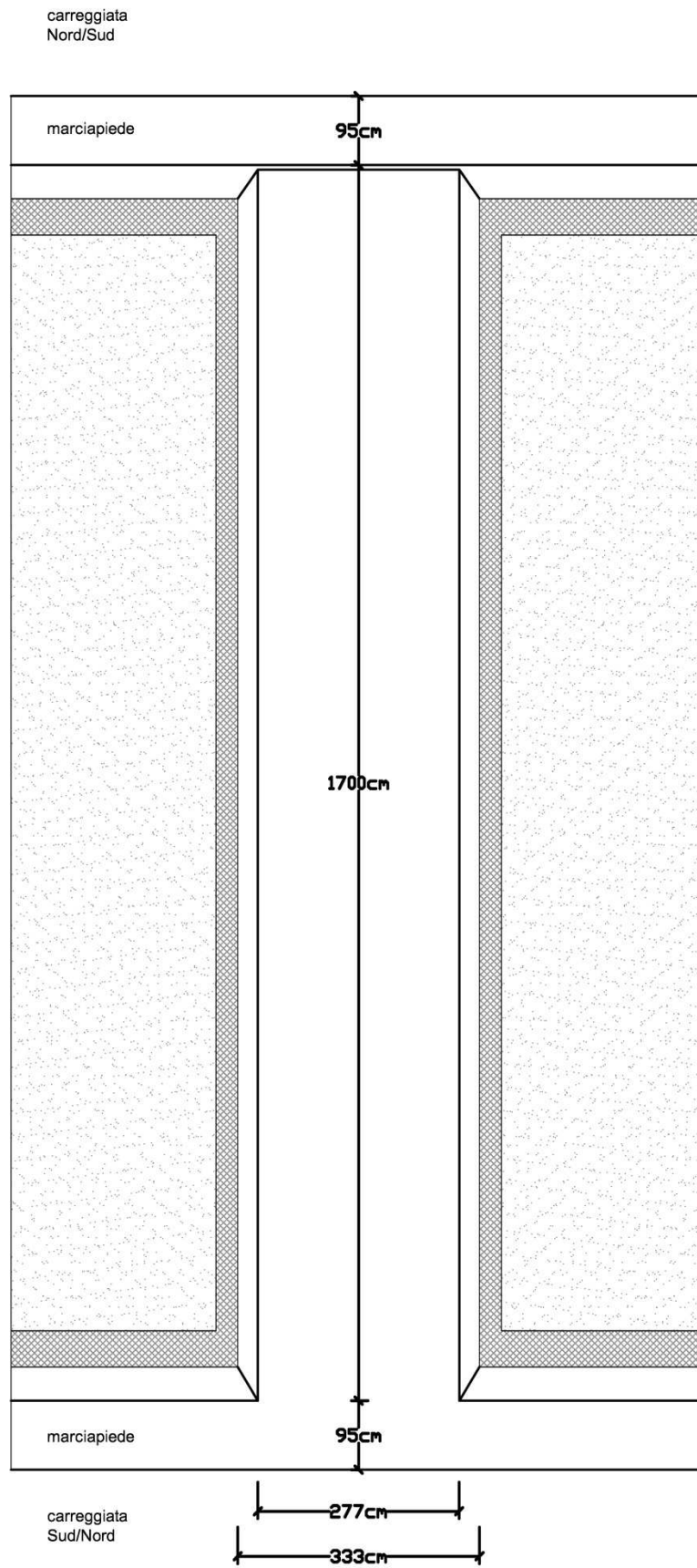
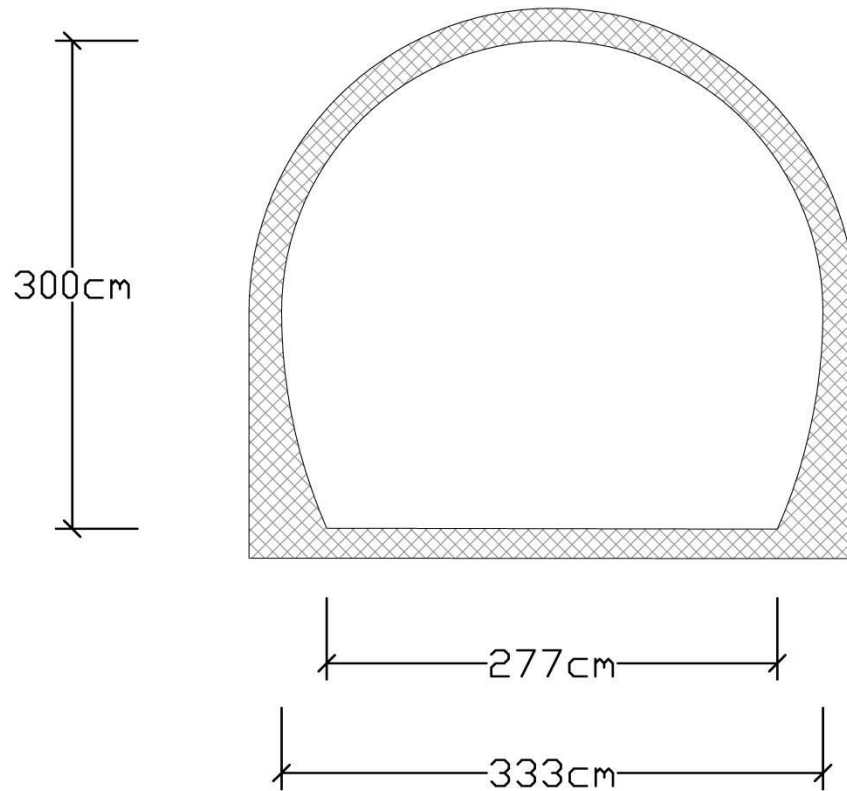
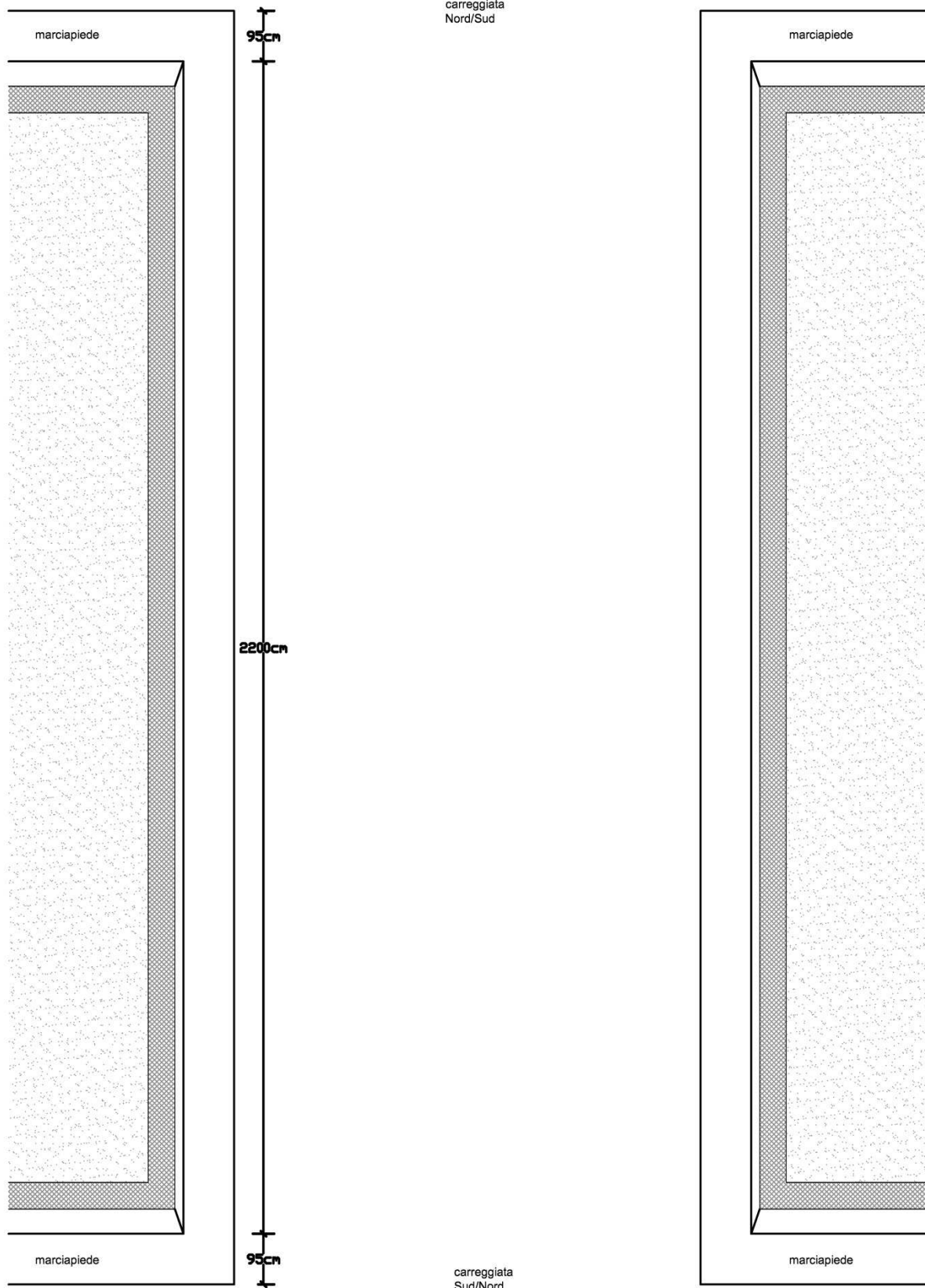


Figura 1-2: Sezione trasversale corrente galleria Rimazzano







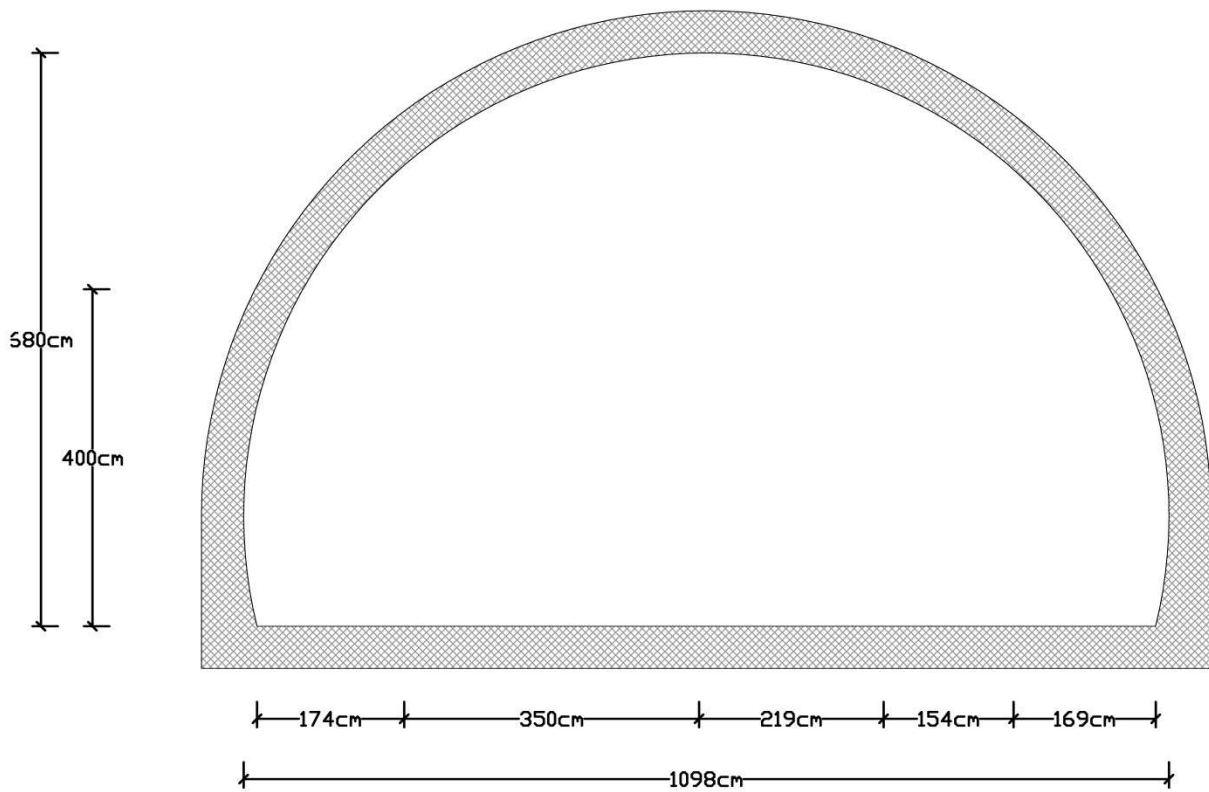



Figura 1-3: piante e sezioni by-pass pedonali e carrabili

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

1.1.2 Dotazione impiantistica “ante operam”

La dotazione impiantistica presente al momento della stesura del progetto definitivo è costituita da:

- Impianto di illuminazione ordinaria (permanente e di rinforzo) con lampade ai vapori di sodio ad alta pressione;
- Cavo fessurato per la ritrasmissione radio ad i servizi di pronto intervento (Polizia Stradale, Gestore)
- Sistema di videosorveglianza con telecamere agli imbocchi e centro di controllo.

1.1.3 Dotazione impiantistica attuale

Come descritto in premessa nel periodo compreso tra la stesura del progetto definitivo e la stesura del progetto esecutivo sono stati effettuati dal Gestore una serie interventi impiantistici allo scopo di migliorare nell'immediato il livello di sicurezza della galleria.

Gli interventi impiantistici costituiscono un'integrazione alle dotazioni impiantistiche “ante operam” descritte nel paragrafo precedente e sono di seguito elencate:

- rifacimento dell'impianto di illuminazione permanente con tecnologia SAP ad alta efficienza;
- installazione di segnaletica a messaggio variabile con semafori “freccia-croce” agli imbocchi ed all'interno della galleria.

Inoltre si è proceduto alla chiusura dei varchi presenti nello spartitraffico ai due imbocchi della galleria con sistemi amovibili.

1.1.4 Prima fase di adeguamento: interventi impiantistici e misure gestionali

Di seguito si riporta una sintetica descrizione degli interventi impiantistici e delle misure gestionali previste nella prima fase di adeguamento.

1.1.4.1 Centro di controllo

La tratta prevede una sala radio (Centro Radio Informativo) localizzata presso lo svincolo di Rosignano avente funzione di centro di controllo presidiato h24. Il centro di controllo è una misura integrativa ai sensi del D.Lgs 264/06 in quanto obbligatorio solo per gallerie di lunghezza superiore a 3000 m.

Gli uffici operativi del Gestore posti presso lo svincolo di Rosignano distano circa 18 km dalla galleria Rimazzano che può essere raggiunta in circa 10 min. Nei pressi del centro di controllo, ed ad esso direttamente collegato, sono presenti il Posto di Manutenzione e le strutture di esercizio comprendenti gli addetti alla viabilità. E' pertanto possibile monitorare la galleria ed intervenire tempestivamente in caso di emergenza in galleria.

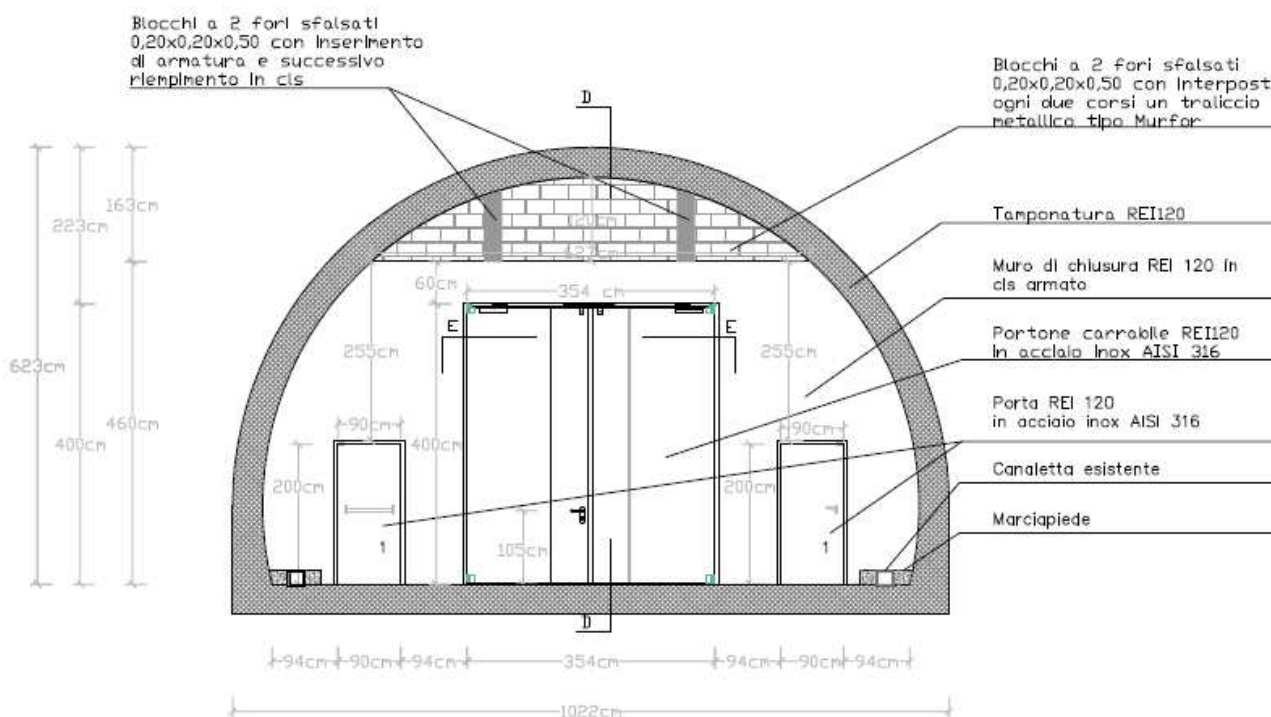
1.1.4.2 By pass pedonali e carrabili

Allo stato attuale la galleria non è dotata di uscite di emergenza che sono in grado di limitare la propagazione di fumo e calore verso le vie di esodo in quanto i by-pass presenti sono aperti mettendo direttamente in comunicazione le due canne.

La norma richiede che per le gallerie esistenti sia valutata mediante analisi di rischio la necessità di nuove uscite di emergenza che, devono avere interdistanza non inferiore a 500 m.

La galleria Rimazzano è lunga 920 m ed è presente un by-pass carrabile-pedonale a circa 475 m dal portale più distante, che risulta quindi in grado di soddisfare i 500 m previsti dalla norma. La galleria presenta inoltre altri due by-pass pedonali intermedi.

In questa fase di intervento i due by-pass pedonali sovrabbondanti, ai fini delle uscite di emergenza, saranno sigillati per limitare la propagazione di fumo e calore verso le vie di esodo, mentre il by-pass carrabile-pedonale presente sarà dotato di tamponature con porte REI che separino le due canne tali da consentire l'esodo nelle due direzioni, e sarà opportunamente illuminato, corredato di un sistema elettrico di emergenza (UPS), postazione SOS, n.2 estintori e n.2 telecamere. Nel by-pass saranno presenti in ambo le parti, sull'uscita alla parte soggetta al traffico, una catena di impedimento e di protezione dei pedoni dal traffico. Le successive figure schematizzano l'allestimento del by-pass carrabile-pedonale.



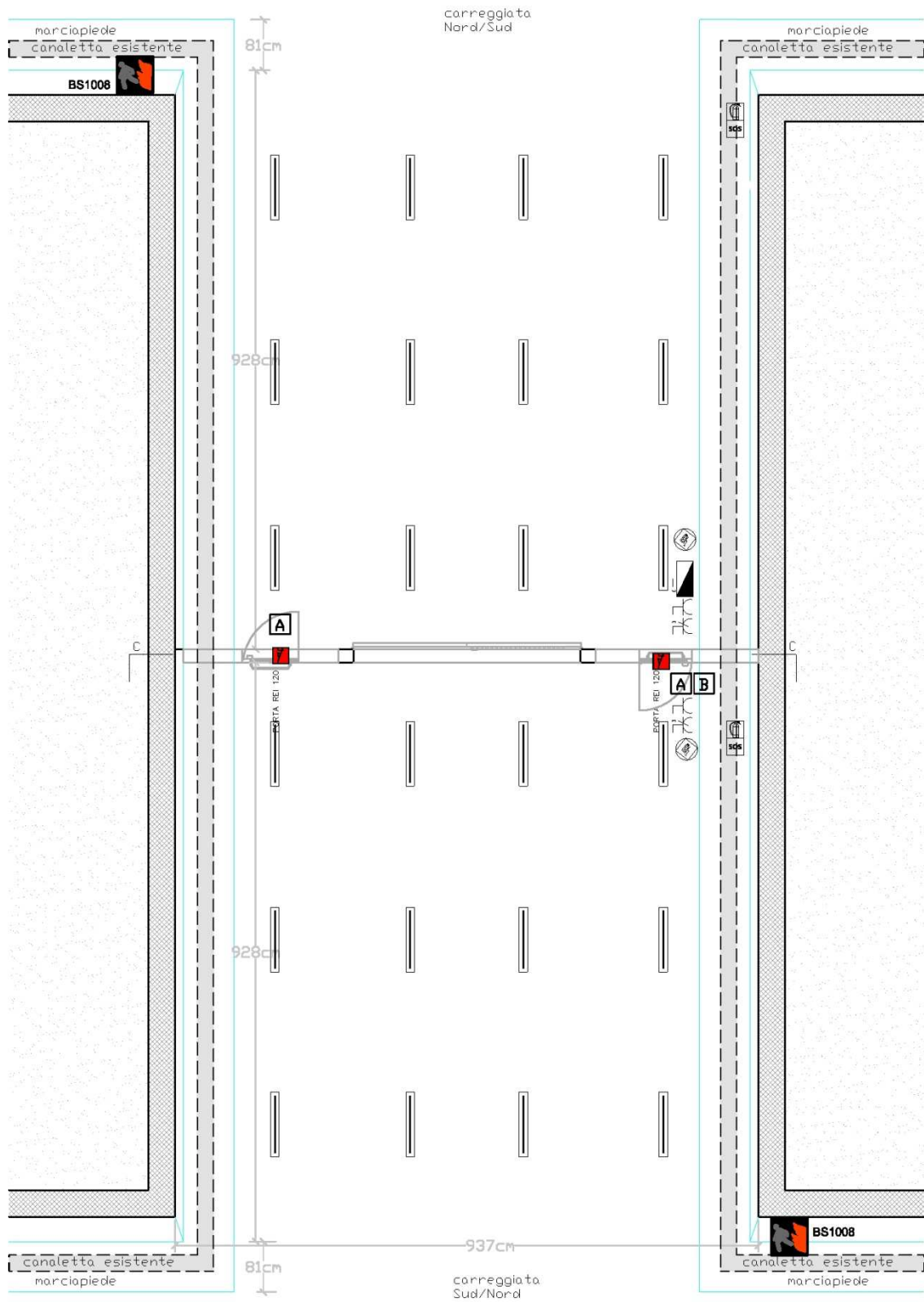



Figura 1-4: prima fase - piante e sezioni by-pass carrabile-pedonale

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

1.1.4.3 Illuminazione di evacuazione.

Si prevede di realizzare l'impianto di illuminazione di sicurezza solo lungo le corsie di sorpasso in accordo agli standard del gestore al fine di meglio indirizzare gli utenti verso il by-pass carrabile-pedonale di cui al punto precedente.

1.1.4.4 Impianto di videosorveglianza

Per questa prima fase di intervento saranno installate delle telecamere finalizzate alla sorveglianza in caso di incidente ed avranno un interdistanza compatibile con la rilevazione automatica di incidente. Le telecamere saranno ubicate in modo da puntare ad una maggiore copertura possibile dello sviluppo di galleria. Il sistema di rilevazione automatica degli incidenti, non obbligatorio per la tipologia di galleria, ma richiesto in presenza di centro di controllo, sarà installato entro i termini di legge.

Le telecamere saranno visibili dal centro di controllo che potrà così acquisire un maggior numero di informazioni in caso di emergenza e gestire in modo più efficace i sistemi per la chiusura delle gallerie.

1.1.4.5 Alimentazione elettrica di emergenza

In questa prima fase di intervento si prevederà un UPS che sarà predisposto per essere servito, a sua volta, anche da un gruppo elettrogeno portatile. L'UPS servirà le linee per l'illuminazione di evacuazione ed il sistema TVCC di cui sopra, servirà inoltre l'illuminazione del bypass, quella stradale di "emergenza".

1.1.4.6 Illuminazione di emergenza

Si prevede che il 50% dell'impianto di illuminazione ordinaria sia alimentato in continuità assoluta mediante UPS.

1.1.4.7 Caratteristiche di resistenza al fuoco dei componenti degli impianti

L'adeguamento riguarderà gli impianti che saranno interessati dalla prima fase di intervento e prevede l'adozione di cavi resistenti al fuoco ed a basse emissioni.


1.1.4.8 Impianto S.O.S.

Al fine di favorire le comunicazioni tra gli utenti in galleria e nel tratto all'aperto con il centro di controllo e consentire, in caso di emergenza, un tempestivo intervento delle squadre di soccorso, verrà installato in tutte le gallerie e lungo l'asse stradale un impianto di SOS basato sulla tecnologia GSM.

1.1.4.9 Misure gestionali

L'implementazione delle misure gestionali, possibili grazie alla presenza del centro di controllo attivo h24 e delle dotazioni impiantistiche descritte nei paragrafi precedenti, saranno basate:

- sul monitoraggio costante della galleria attraverso le telecamere;
- sull'utilizzo dei PMV e dei freccia-croce già installati ed attivabili da centro operativo e di controllo, in caso di incidente, per la chiusura di entrambe le carreggiate e per la predisposizione di opportune comunicazioni all'utenza;

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

- sulla tempestiva predisposizione di una segnaletica provvisoria per la deviazione del traffico da effettuarsi al momento opportuno;
- sul monitoraggio costante delle strutture portanti della galleria.

1.1.5 Caratterizzazione dell'ambiente


La galleria Rimazzano si trova lungo l'autostrada A12, nel territorio della Provincia di Livorno, ad una quota sul livello del mare di circa 60 m.

I dati climatologici sono forniti dalla Stazione Meteorologica di Livorno.

Di seguito è riportata la tabella con le medie climatiche e i valori massimi e minimi assoluti registrati nel periodo 1961-1990.

LIVORNO ISTITUTO NAUTICO (1961-1990)	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	10,8	12,0	14,3	17,2	21,0	24,9	27,7	27,5	24,8	20,2	15,3	11,8	11,5	17,5	26,7	20,1	19
T. min. media (°C)	4,8	5,4	7,5	10,2	13,7	17,4	20,0	19,9	17,3	13,3	9,1	6,1	5,4	10,5	19,1	13,2	12,1
Giorni di gelo ($T_{min} \leq 0$ °C)	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	0	5
Precipitazioni (mm)	68	60	69	60	54	40	18	31	73	104	102	80	208	183	89	279	759
Giorni di pioggia	8	8	9	8	7	4	2	3	6	9	10	10	26	24	9	25	84
Vento (direzione-m/s)	NE 3,4	NE 3,4	SW 3,6	SW 3,6	SW 3,3	W 3,1	W 3,1	W 3,2	W 3,0	NE 3,4	E 3,6	NE 3,6	3,5	3,5	3,1	3,3	3,4

Tabella 1-4: clima della provincia di Livorno

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

La successiva tabella riporta i dati relativi agli eventi di nebbia rilevati dal gestore negli esercizi 2011 e 2012.

Tratta elementare	SAT_Collesalveti - Rosignano Svincolo
-------------------	---------------------------------------

Dati di riepilogo

Anno	Numero eventi (minuti/anno)	Durata evento (minuti/giorno)
2011	2389	6,5
2012	5047	13,8
Anno	Numero eventi	Durata media evento (minuti/evento)
2011	8	298,6
2012	17	296,9

Dati di dettaglio

	Data inserimento evento	Tipo evento	Durata evento (minuti)
1	2011-01-14	Nebbia a Banche	175
2	2011-01-16	Nebbia a Banche	886
3	2011-03-18	Nebbia a Banche	521
4	2011-03-25	Nebbia a Banche	200
5	2011-03-31	Nebbia a Banche	241
6	2011-04-04	Nebbia a Banche	191
7	2011-10-05	Nebbia a Banche	4
8	2011-10-06	Nebbia a Banche	171
9	2012-03-03	Nebbia a Banche	330
10	2012-03-15	Nebbia	95
11	2012-03-17	Nebbia a Banche	91
12	2012-04-06	Nebbia	406
13	2012-05-02	Nebbia	286
14	2012-05-24	Nebbia a Banche	123
15	2012-09-11	Nebbia a Banche	102
16	2012-09-12	Nebbia	332
17	2012-10-13	Nebbia a Banche	237
18	2012-11-23	Nebbia	705
19	2012-11-24	Nebbia a Banche	472
20	2012-11-26	Nebbia a Banche	199
21	2012-12-08	Nebbia	372
22	2012-12-17	Nebbia a Banche	732
23	2012-12-24	Nebbia a Banche	25
24	2012-12-26	Nebbia a Banche	336
25	2012-12-27	Nebbia	204

Tabella 1-5: Eventi nebbia

Dall'analisi statistica dei dati è stato derivato il successivo istogramma che riporta il numero di giorni tra due eventi successivi di nebbia e la frequenza relativa. Emerge che il valore più probabile relativo all'accadimento dell'evento è dell'ordine dei 20 giorni che corrisponde a circa il 5% del tempo (in un anno).

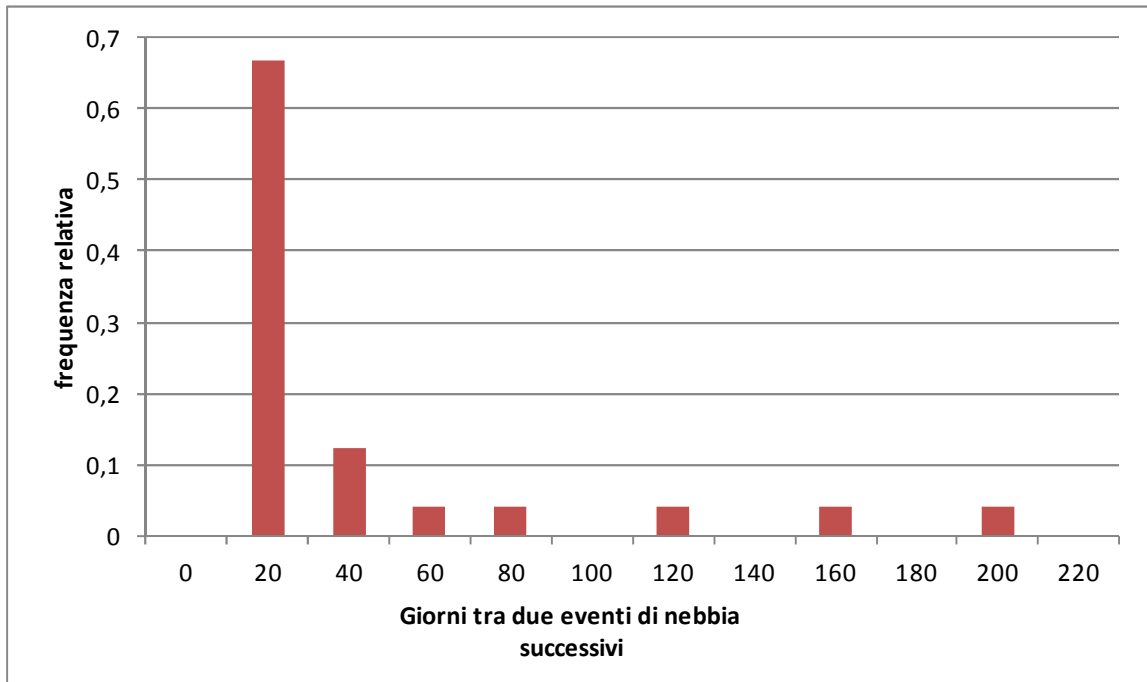


Figura 1-5: frequenza nebbia

Considerando che la durata media dell'evento di nebbia è pari a 300 minuti, ovvero 5 ore, la frequenza associata in un anno è sicuramente inferiore al 5%.

Il fattore nebbia incide sull'incidentalità prima dell'ingresso in galleria.

I risultati dell'analisi sono stati elaborati nella successiva analisi di vulnerabilità al paragrafo 1.2.

1.1.6 Caratterizzazione del traffico

La galleria Rimazzano è ubicata lungo l'Autostrada A12, è composta da n.2 fornici a traffico monodirezionale con n.2 corsie per senso di marcia da 3,75 m. I dati relativi alla caratterizzazione del traffico della tratta su cui insiste la galleria Rimazzano sono stati forniti dal Committente ed elaborati ai fini della redazione dell'analisi di rischio, per gli anni 2008, 2012 (ultima rilevazione disponibile) e 2019:

	TGM (veicoli/giorno)	Traffico pesante (%)
Direzione Livorno - Rosignano Marittimo	9.708	19,5
Direzione Rosignano Marittimo - Livorno	9.708	19,5
TOTALE	19.416	19,5

Tabella 1-6: caratterizzazione del traffico dell'anno 2008

	TGM (veicoli/giorno)	Traffico pesante (%)
Direzione Livorno - Rosignano Marittimo	8.702	18,1
Direzione Rosignano Marittimo - Livorno	8.702	18,1
TOTALE	17.404	18,1

Tabella 1-7: caratterizzazione del traffico dell'anno 2012

	TGM (veicoli/giorno)	Traffico pesante (%)
Direzione Livorno - Rosignano Marittimo	9.724	18,1
Direzione Rosignano Marittimo - Livorno	9.724	18,1
TOTALE	19.448	18,1

Tabella 1-8: caratterizzazione del traffico dell'anno 2019

L'analisi di rischio relativa alla galleria con le dotazioni di sicurezza attualmente presenti è stata effettuata sulla base degli ultimi dati di traffico disponibili e relativi all'anno 2012.

L'analisi rischio relativa alla galleria con la configurazione adeguata in Fase 1 è stata effettuata sulla base dei dati di traffico forniti dal committente ipotizzando una proiezione all'anno 2019 derivata con un apposito studio.

L'analisi di rischio relativa alla situazione "ante operam" è stata effettuata con i dati di traffico utilizzati per l'analisi di rischio relativa al progetto definitivo.

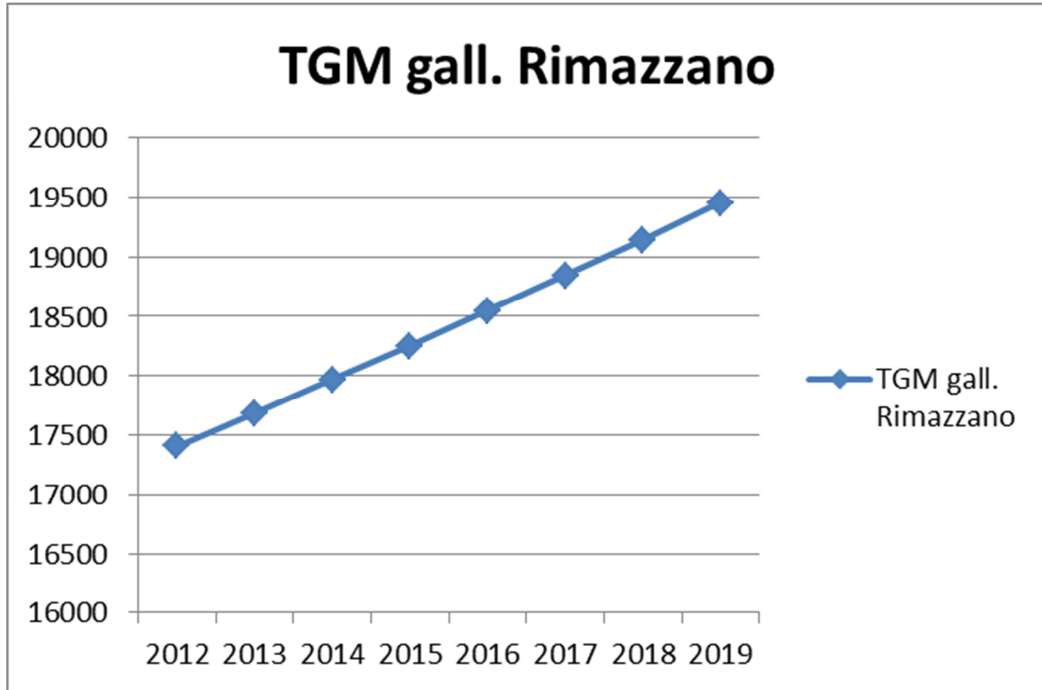



Figura 1-6: studio sulla previsione di traffico

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Le successive tabelle riportano i dati forniti dal gestore relativi agli eventi di congestione rispettivamente per le direzioni Sud e Nord.

Tratta elementare	SAT_Collesalveti - Rosignano Svincolo direzione Sud
-------------------	---

Dati di riepilogo

Anno	Durata evento (minuti/anno)	Durata evento (minuti/giorno)
2011	24	0,1
2012	659	1,8
Anno	Numero eventi	Durata media evento (minuti/evento)
2011	2	12,0
2012	10	65,9

Dati di dettaglio

Data inserimento evento	Tipo evento	Durata evento (minuti)
2011-05-18	Traffico Bloccato	1
2011-06-01	Traff. Rallentato	23
2012-06-17	Traff. Rallentato	286
2012-06-19	Coda	28
2012-06-19	Traffico Bloccato	23
2012-06-22	Traffico Bloccato	17
2012-06-22	Traff. Rallentato	2
2012-07-07	Coda	28
2012-07-07	Traff. Rallentato	82
2012-07-13	Traff. Rallentato	17
2012-08-23	Traff. Rallentato	154
2012-12-19	Traffico Bloccato	22

Tratta elementare	SAT_Collesalveti - Rosignano Svincolo direzione Nord
-------------------	---

Dati di riepilogo

Anno	Durata evento (minuti/anno)	Durata evento (minuti/giorno)
2011	560	1,5
2012	371	1,0
Anno	Numero eventi	Durata media evento (minuti/evento)
2011	6	93,3
2012	6	61,8

Dati di dettaglio

	Data inserimento evento	Tipo evento	Durata evento (minuti)
1	2011-04-03	Traff. Rallentato	190
2	2011-04-10	Coda	134
3	2011-05-18	Traff. Rallentato	14
4	2011-07-10	Traff. Rallentato	115
5	2011-07-17	Traff. Rallentato	82
6	2011-08-27	Traff. Rallentato	25
7	2012-06-19	Coda	22
8	2012-06-19	Traffico Bloccato	23
9	2012-06-25	Coda	94
10	2012-06-25	Traffico Bloccato	96
11	2012-07-25	Traff. Rallentato	1
12	2012-09-09	Traff. Rallentato	135

Tabella 1-9: eventi di congestione

L'analisi dei dati ha consentito di determinare il successivo istogramma dove è riportata la frequenza relativa al numero di giorni che intercorrono tra due eventi di congestione-rallentamenti o traffico bloccato.

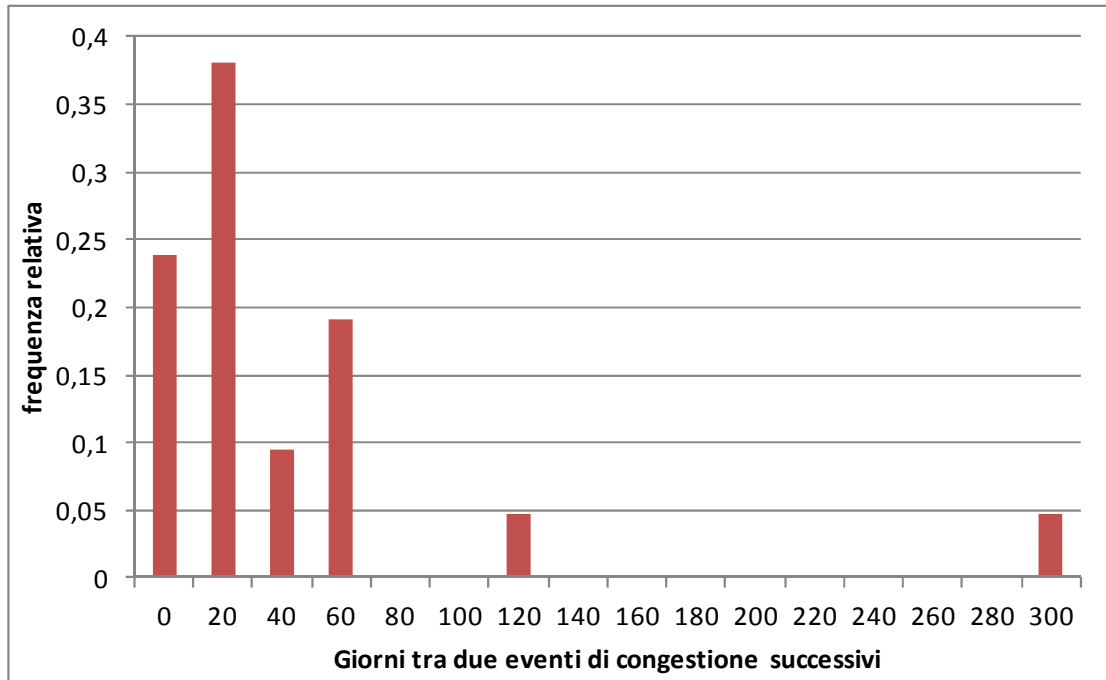


Figura 1-7: frequenze di congestione

Dal grafico si evince che il valore più probabile dell'intervallo tra due eventi di congestione è pari a 20 giorni e dai dati precedentemente analizzati emerge che la durata media dell'evento è di circa 75 minuti che riportati su base annua portano ad un valore inferiore a 5 min/giorno.

Minore è la congestione del traffico e minore sarà il numero di veicoli in galleria che precedono o seguono un veicolo incendiato in galleria e che vengono quindi coinvolti nell'emergenza. Inoltre una minore congestione del traffico diminuisce le probabilità di incidente.

I risultati dell'analisi sono stati elaborati nella successiva analisi di vulnerabilità al paragrafo 1.2.

1.1.7 Transito VTMP

Non esistono dati disponibili relativi al transito di VTMP sulla tratta autostradale di competenza, per cui si è ritenuto opportuno utilizzare valori su scala nazionale.

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

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

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

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

nd = non disponibile

c =confidenziale

trasporto complessivo di merci pericolose sul territorio nazionale - 2013

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In conclusione si ritiene opportuno considerare per la galleria Rimazzano una percentuale dei veicoli ADR in linea con il valore medio su scala nazionale pari al 6,3%.

1.1.8 Tasso di occupazione dei veicoli

La percentuale di occupazione media dei veicoli è funzione della loro tipologia. I valori adottati sono:

- n.2 persone per i veicoli leggeri,
- n.2 persone per i veicoli pesanti.

La presenza di pullman viene considerata aumentando il numero di utenti.

1.2 Analisi di Vulnerabilità

Una prima fase di elaborazione dei dati raccolti attraverso la schedatura della galleria consiste nell'analisi di vulnerabilità che si occupa dei seguenti aspetti:

- individuazione dei parametri di sicurezza della galleria come definiti dal D.Lgs n.264/2006 e ripresi nelle Linee Guida;
- individuazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza di appartenenza della galleria;
- individuazione dei fattori di pericolo connessi alla galleria Rimazzano dall'analisi delle anomalie che la galleria presenta rispetto ai parametri di sicurezza;
- valutazione della vulnerabilità della galleria;
- valutazione dei tassi di accadimento degli eventi incidentali;
- determinazione della frequenza di accadimento degli eventi incidentali.

1.2.1 Parametri di Sicurezza della galleria Rimazzano

Le misure di sicurezza da realizzare in una galleria devono basarsi su una considerazione sistematica di tutti gli aspetti del sistema consistenti nell'infrastruttura, l'esercizio, gli utenti e i veicoli. I parametri per decidere sulle misure di sicurezza sono distinti nelle Linee Guida in:

- Parametri di sicurezza principali;
- Parametri di sicurezza caratteristici.

I valori dei Parametri di Sicurezza Principali della galleria Rimazzano sono stati riportati nella tabella seguente.

GALLERIA	Tratta	Tipologia	Lunghezza (m)	TGM (veicoli/giorno)	VT (veicoli/giorno corsia)
Rimazzano	A12	unidirezionale	924	19.448	4.862

Tabella 1-10: parametri di sicurezza principali

I parametri caratteristici costituiscono un riferimento per l'individuazione dei pericoli e per la verifica di conformità relativamente delle caratteristiche della galleria condotte nei successivi paragrafi 1.2.3 ed 1.3.1.

I valori dei Parametri di Sicurezza Caratteristici della galleria Rimazzano sono stati riportati nella tabella seguente.

Parametro di Sicurezza Caratteristico		Rimazzano
Numero di corsie per senso di marcia		2
Larghezza corsie [m]		3,75
Pendenza [%]		0,78%
Raggio di Curvatura [m]		1700÷1800
Frazione veicoli pesanti [%]		18,1
Congestione Traffico [min/giorno]		<5
Stagionalità traffico		2
meteo	Nebbia [% annua]	<5
	Precipitazioni [% annua]	20


Tabella 1-11: parametri di sicurezza caratteristici

1.2.2 Individuazione del Gruppo di requisiti minimi

I parametri di sicurezza principali permettono di identificare i requisiti minimi obbligatori corrispondenti ad intervalli di valori indicati nell'allegato 2 del decreto legislativo n.264/2006 dei parametri di sicurezza principali. Tali valori soglia individuano i gruppi di gallerie, riportati nella tabella che segue, a cui corrispondono determinati requisiti minimi di sicurezza.

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

Tabella 1-12: gruppi di requisiti minimi di sicurezza

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

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

Gruppo III				
<i>Parametri di Sicurezza</i>	<i>Misure</i>	<i>Sistemi di sicurezza</i>	<i>Requisiti Minimi di Sicurezza</i>	
Unidirezionale V T > 2000 [Veic/corsia] L (500 - 1000) [m]	Misure Strutturali		Dislivelli $\leq 5\%$	
			Banchine pedonabili di emergenza	
			Attraversamento spartitraffico imbocchi	
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici	
	Misure Impiantistiche	Illuminazione		Illuminazione Ordinaria
				Illuminazione Sicurezza
				Illuminazione Emergenza
		Comunicazione		Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
				Messaggi radio agli utenti
				Stazioni di emergenza
		Rilevazione		Rilevamento automatico incidenti
				Rilevamento automatico incendi
				Telecamere
		Gestione Incendio		Estintori
				Erogazione idrica
		Gestione Traffico		Idranti ogni 250 m
	Segnaletica stradale			
Alimentazione elettrica		Alimentazione elettrica Ordinaria		
		Alimentazione elettrica di emergenza		
		Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza		

Tabella 1-13: requisiti minimi di sicurezza - gruppo III

1.2.3 Fattori di Pericolo

Gli eventi critici connessi al sistema galleria identificati all'allegato 3 al D.Lgs 264/06 sono: incendi, collisioni con incendio, rilasci di sostanze tossiche e nocive.

I fattori di pericolo sono le caratteristiche strutturali, ambientali e del traffico che possono portare ad eventi critici e determinarne l'entità conseguenze.

I fattori di pericolo sono stati raggruppati per categorie all'interno delle quali sono stati definiti dei parametri associati a diversi livelli di pericolo secondo una scala.

I Fattori di Pericolo individuati per la galleria Rimazzano sono sintetizzati nella tabella successiva e sono ordinati per importanza e peso relativo delle caratteristiche specifiche dei fattori di pericolo stessi, le frecce indicano pericolo crescente.

Caratteristiche dei Fattori Di Pericolo	Categoria	Rimazzano	
Struttura-Tipologia costruttiva			
Unidirezionale + Corsia di emergenza		↓	
Unidirezionale			X
Bidirezionale			
Struttura-Corsie			
>2 Corsie	L>3.5 m	↓	
	3,5<L<3 m		
	L<3 m		
1-2 Corsie	L>3.5 m		X
	3,5<L<3 m		
	L<3 m		
Struttura-Tracciato			
Pendenza < 3%	Dritta	↓	
	Curva – Imbocchi dritti		
	Dritta – Imbocchi curvi		
	Curva – Imbocchi curvi		X
Pendenza > 3%	Dritta		
	Curva – Imbocchi dritti		
	Dritta – Imbocchi curvi		
	Curva – Imbocchi curvi		
Traffico-Composizione			
% Veicoli Pesanti	≤ 15%	↓	
	>15%<30%		X
	>30%		
Veicoli ADR		X	
Traffico-Velocità			
Limiti di velocità	50 km/h	↓	
	70 km/h		
	90 km/h		
	100 km/h		
	≥110 km/h		X
Traffico-Congestione			
Durata (min/giorno) Vel Media < 20 km/h	0-15 min	X	
	≥15 min		
	>30 min		
	>60 min		
Traffico-Stagionalità			
TGM (Medio mensile max) / TGM (Medio annuo)	< 1,25	↓	
	1,25 ÷ 2		X
	>2		

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

Tabella 1-14: fattori di pericolo per la galleria Rimazzano

I fattori di pericolo sopra riportati e pesati con la scala di pericolo messa a punto attraverso l'elaborazione dei dati statistici di incidentalità in funzione delle caratteristiche del tracciato e aggiornati sulla base delle numerose analisi di rischio svolte dallo scrivente permettono la valutazione della vulnerabilità della galleria Rimazzano, rappresentata nel grafico seguente.

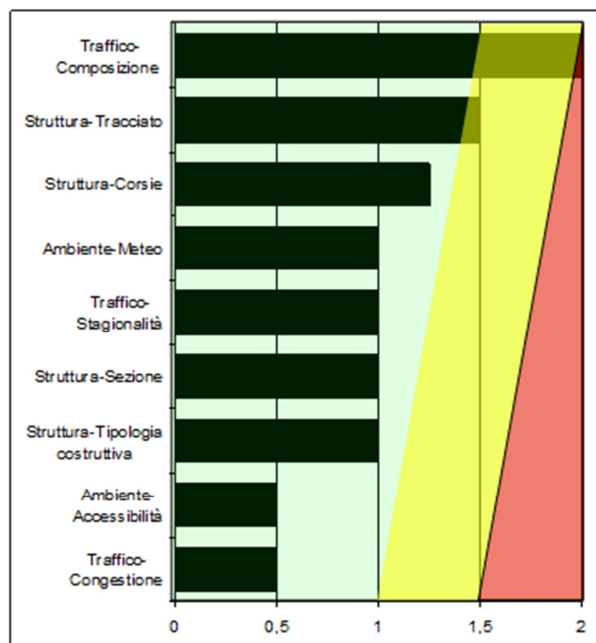



Figura 1-8: vulnerabilità della galleria Rimazzano

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

La vulnerabilità fornisce una prima indicazione sulle pericolosità della galleria ed è propedeutica all'individuazione delle anomalie nei parametri di sicurezza per la galleria Rimazzano.

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

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

Nel caso specifico si evidenzia che:

- il parametro composizione del traffico, che si attesta al limite della zona rossa, con una frazione di veicoli pesanti superiore al 15% e la presenza di merci pericolose risulta il più influente sulla vulnerabilità della struttura,
- la presenza di curvature in galleria che si attesta nella parte bassa della zona gialla ed agli imbocchi costituisce il secondo maggior pericolo,
- la presenza di due sole corsie risulta il terzo fattore di pericolo, che si attesta nella zona verde e pertanto può essere in questa analisi preliminare considerato come trascurabile,
- i restanti fattori di pericolo quali, le condizioni meteo climatiche prevalenti, la stagionalità del traffico, la sezione trasversale della galleria, la tipologia unidirezionale, l'accessibilità alla galleria, e la ridotta probabilità di congestione, risultando nella zona verde possono essere preliminarmente considerati trascurabili.

1.2.4 Tasso di Accadimento degli Eventi Incidentali in galleria

Al fine di determinare il tasso di incidentalità connesso all'esercizio della galleria Rimazzano sono stati analizzati con metodi statistici i dati incidentali messi a disposizione dal gestore per la galleria oggetto di studio.

I dati incidentali sono stati suddivisi in incendi, incidenti con danni alle persone ed incidenti con danni alle persone, essi sono stati trattati statisticamente al fine di calcolare il tasso di incidentalità da utilizzare per la successiva analisi di rischio.

Considerato il ridotto numero di incidenti verificatisi all'interno della galleria, al fine di rendere maggiormente significativi i risultati è stato successivamente applicato un modello che tiene conto dei dati di incidentalità sulla rete e delle caratteristiche della galleria.

I valori dei tassi calcolati sono stati quindi confrontati per determinare un valore di riferimento.

La successiva tabella sintetizza i dati incidentali comunicati dal gestore alla Commissione Permanente per le Gallerie per gli anni compresi tra il 2006 ed il 2012.

Galleria Rimazzano: Incidenti				
Anno	Totale Incidenti	Incendi	Incidenti con danni alle persone	Incidenti senza danni alle persone
2006	1	0	0	1
2007	3	0	0	3
2008	1	0	1	0
2009	2	0	0	2
2010	0	0	0	0
2011	1	0	0	1
2012	2	0	0	2
Totale	10		1	9

La successiva tabella sintetizza il calcolo del tasso di incidentalità effettuato sulla base dei dati di traffico forniti dal gestore.

Galleria Rimazzano: tasso di incidentalità				
Anno	TGM Totale	Incidenti	Tasso incidentalità	
2006	19,417	1	15 E-08	
2007	19,566	3	46 E-08	
2008	19,129	1	16 E-08	
2009	19,003	2	31 E-08	
2010	18,725	0	0	
2011	18,298	1	16 E-08	
2012	17,404	2	34 E-08	
			Media	23 E-08
			Dev. St	15 E-08

Si noti come il valore della deviazione standard sia molto prossimo al valore della media per cui si può ipotizzare una distribuzione di Poisson.

Nella successiva figura si riposta l'analisi statistica dei dati ipotizzando che siano distribuiti con una Poisson, l'analisi regressiva ha evidenziato che il parametro della Poisson idoneo a descrivere i dati analizzati è dell'ordine di 2,5-3 da cui deriva un tasso di incidentalità compreso tra $25 \cdot 10^{-8}$ e $30 \cdot 10^{-8}$ eventi per veicolo km, leggermente superiore al valore calcolato come media.

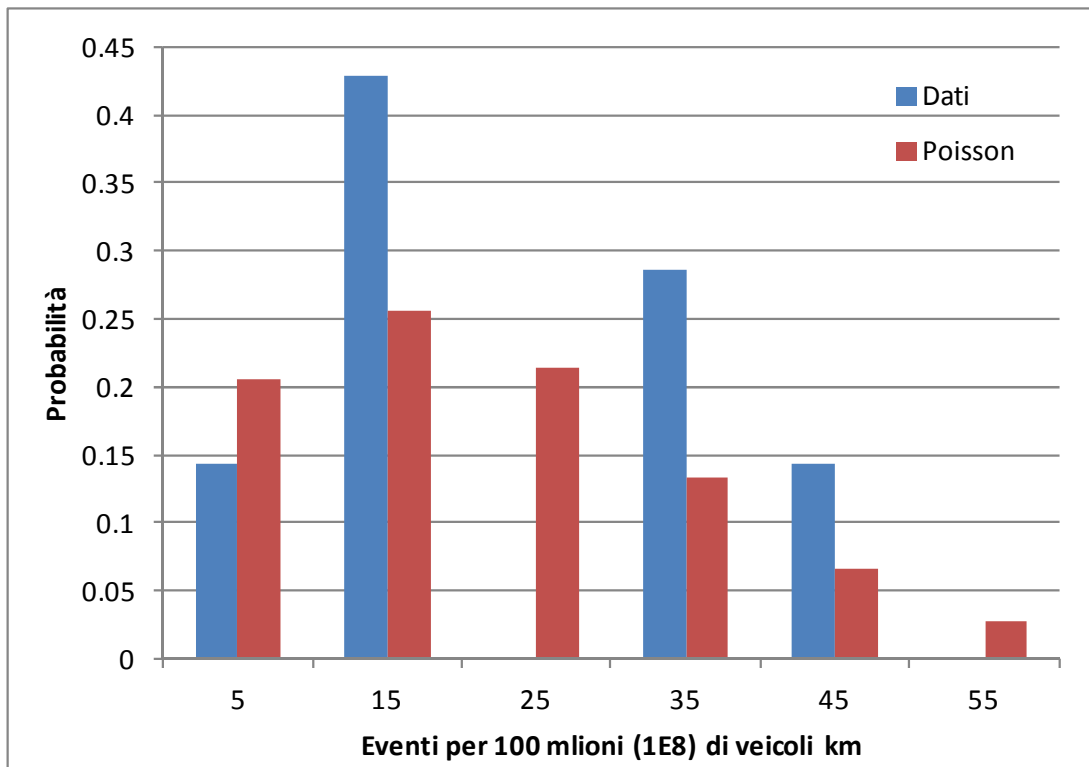


Figura 1-9: analisi dei dati della galleria Rimazzano

Al fine di stimare e confrontare i risultati ottenuti con il resto delle gallerie della rete è stato applicato un modello di inferenza statistica basato sulla banca dati incidentali a disposizione dello scrivente e sulle funzioni di correlazione con i parametri di sicurezza della galleria Rimazzano:

- lunghezza 924 m;
- TGM di 19.448 veicoli/giorno;
- andamento curvilineo;
- tipologia di traffico unidirezionale;
- sezione trasversale fornice di 58 m².

Il modello consente di determinare un tasso di accadimento medio pari a 30 incidenti a km per 10⁸ veicoli che è in linea con quanto stimato per la galleria Rimazzano.

I risultati dell'applicazione del modello statistico di analisi di incidentalità finalizzata alla determinazione della funzione di distribuzione del tasso di accadimento degli eventi incidentali sono mostrati nel grafico di seguito riportato.

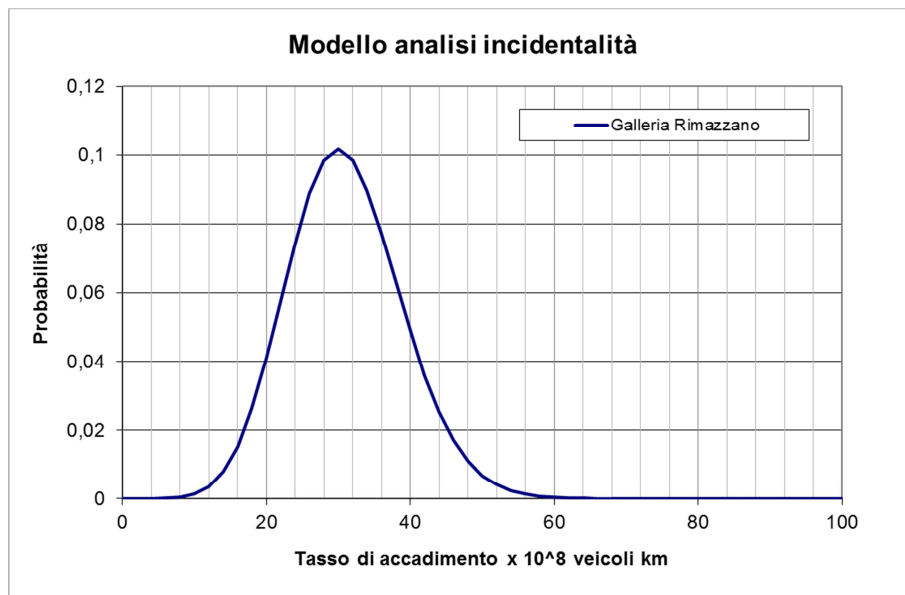



Figura 1-10: modello analisi di incidentalità

Sulla base degli studi precedentemente riportati il valore di riferimento adottato per le successive analisi è stato assunto pari a pari a 30 incidenti a km per 10^8 veicoli.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commissa:
		Rev. 3

1.2.5 Frequenza di Accadimento degli Eventi Incidentali

La Frequenza di Accadimento degli Eventi Incidentali è un Indicatore del Livello di Sicurezza di una galleria. La frequenza di accadimento degli eventi incidentali è connessa al tasso di accadimento degli eventi incidentali e all'indice di ordinalità base attraverso la relazione:

$$f_i = 365 \cdot T_i \cdot I_{ord}$$

L'Indice Ordinalità è definito come:

$$I_{ord} = L \cdot TGM$$

L'indice Ordinalità Base della galleria Rimazzano è:

$$I_{ord} = 17.970 \text{ v/km g}$$

I risultati del calcolo della Frequenza di Accadimento degli Eventi Incidentali per la galleria Rimazzano sono stati sintetizzati come segue:

Nome galleria	Tratta	TGM	L(km)	I ord	Tasso accadimento (Incidenti a Km per 10 ⁸ veicoli)	Frequenza accadimento [incidenti/anno]
Rimazzano	A12	19.448	0,924	17.970	30	1,97

Tabella 1-15: Frequenza di Accadimento degli Eventi Incidentali

1.3 Analisi di conformità


1.3.1 Identificazione delle Anomalie nei Parametri di Sicurezza

L'analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria mirata all'identificazione dei legami funzionali tra frequenza di accadimento e parametri di sicurezza caratteristici, ha permesso di individuare valori soglia dei parametri di sicurezza di una galleria per i quali non si verificano variazioni significative nel tasso di accadimento degli eventi incidentali. Nella successiva tabella vengono posti a confronto i valori dei Parametri di Sicurezza Caratteristici della galleria Rimazzano con i valori di riferimento così come riportati nelle Linee Guida che per la tratta in esame confermiamo.

Parametro di Sicurezza Caratteristico		Riferimento unidirezionale	Rimazzano
Numero di corsie per senso di marcia		3	2
Larghezza corsie [m]		3,5	3,75
Pendenza [%]		5	0,78
Raggio di Curvatura [m]		1000	1700÷1800
Frazione veicoli pesanti [%]		15*	18,1
Congestione Traffico [min/giorno]		30	5
Stagionalità traffico		2	2
meteo	Nebbia [% annua]	20	5
	Precipitazioni [% annua]	20	20

Tabella 1-16: anomalie dei parametri di sicurezza caratteristici

** Il valore indicato non considera la frazione di veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose e delle modalità in cui viene regolamentato il trasporto delle stesse. Nella galleria Rimazzano è previsto il libero transito delle merci pericolose.*

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

1.3.2 Identificazione dei Deficit rispetto ai Requisiti Minimi di Sicurezza

Nella tabella successiva sono riportati i risultati della verifica effettuata sui Requisiti Minimi di Sicurezza della galleria Rimazzano ai sensi dell'all.2 del D.Lgs n.264/2006.

La verifica evidenzia l'adempimento ai vari requisiti durante le diverse fasi dell'iter progettuale della sicurezza, in particolare distinguendo le diverse fasi:

FASE 0: scenario “ante operam”

FASE 1: scenario “stato attuale”

FASE 2: scenario “prima fase adeguamento”

FASE 3: scenario “post adeguamento”

REQUISITO	TIP.(1)	RIF.TO	Note
OBBLIGATORIO			
Misure supplementari per pendenza long. >3%	S	2.2.3	Non previsto
Misure supplementari per larghezza della corsia < 3,5 m con traffico pesante	S	2.2.4	Non previsto
Illuminazione ordinaria	I	2.8.1	Soddisfatto in FASE 1
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2	Soddisfatto in FASE 2
Illuminazione di evacuazione	I	2.8.3	Soddisfatto in FASE 2
Ventilazione meccanica	I	2.9.2-4	Non previsto
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale	I	2.9.5	Non previsto
Stazioni di emergenza	I	2.10.2-3	Soddisfatto in FASE 2
Erogazione idrica	I	2.11	Soddisfatto in FASE 3
Segnaletica stradale	I	2.12	Soddisfatto in FASE 2
Centro di controllo	I	2.13.1	Soddisfatto in FASE 0 Anche se non richiesto
Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio	I	2.14.1	Soddisfatto in FASE 2 anche se non richiesto
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	I	2.15.1	Soddisfatto in FASE 1 Anche se non richiesto
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento	I	2.16.1	Soddisfatto in FASE 0 Anche se non richiesto
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria	I	2.16.2	Soddisfatto in FASE 0 Anche se non richiesto
Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1	Soddisfatto in FASE 2
Caratteristiche di resistenza e reazione al fuoco dei componenti degli impianti	I	2.18	Soddisfatto in FASE 1

REQUISITO	TIP.(1)	RIF.TO	Note
OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI			
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.2	Soddisfatto in FASE 0
Uscite di emergenza	S	2.3.7-8	Soddisfatto in FASE 2 Anche se non richiesto
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice)	S	2.4.1	Soddisfatto in FASE 2 Anche se non richiesto
Punti attraversamento spartitraffico (G. a doppio fornice)	S	2.4.2	Soddisfatto in FASE 0
Piazzole di sosta	S	2.5.2-3	Non previsto
Drenaggio	S	2.6.2	Soddisfatto in FASE 0*
Resistenza al fuoco delle strutture	S	2.7	Da verificare in FASE 3
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio	I	2.14.2	Non previsto
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	I	2.16.3	Soddisfatto in FASE 3
RACCOMANDATO			
Impianto per chiudere la galleria**	I	2.15.2	Soddisfatto in FASE 1 Anche se non richiesto

(1) S:Strutturale I:Impiantistico

Tabella 1-17: verifica dei requisiti minimi di sicurezza

*La galleria Rimazzano è dotata di un impianto di drenaggio con pozzetti di captazione sifonati a bocca di lupo e due vasche di raccolta da 45 mc.

**La galleria è dotata di indicatori di corsia freccia croce con Pannello a Messaggio Variabile agli imbocchi.


1.4 Risultati dell'Analisi di Sicurezza

L'analisi di sicurezza è stata condotta con riferimento alla metodologia di progettazione della sicurezza IRAM (Italian Risk Analysis Method) che segue le prescrizioni del D.Lgs n.264/2006 e le indicazioni delle Linee Guida ANAS, nell'ambito specifico delle gallerie stradali. L'analisi di sicurezza riportata nei paragrafi precedenti ha consentito di individuare l'assenza di deficit nei Requisiti minimi.

Nella successiva tabella sono sintetizzate le anomalie rispetto ai parametri di sicurezza:

Galleria	Anomalie
Rimazzano	1. Percentuale veicoli pesanti con presenza veicoli ADR

Tabella 1-18: Anomalie rispetto ai parametri di sicurezza

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2 Analisi di Rischio

Sulla base delle risultanze dell'analisi di sicurezza condotta nei paragrafi precedenti, nel presente paragrafo viene riportata l'analisi di rischio quantitativa svolta attraverso la metodologia IRAM e finalizzata a verificare il livello di sicurezza raggiunto nelle diverse configurazioni individuate.


L'Analisi di Rischio condotta adottando il Modello di Rischio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze Aleatorie ed Epistemiche caratteristico dell'IRAM consente di:

1. quantificare i livelli di rischio propri del sistema galleria per diverse configurazioni, rappresentati dalle curve cumulate complementari ad essi corrispondenti;
2. valutare i livelli di rischio globali associati alle diverse configurazioni, rappresentati in termini di valore atteso del danno, definito come area sottesa dalla curva cumulata complementare;
3. verificare per una galleria il soddisfacimento dei criteri di accettazione del rischio;
4. individuare soluzioni progettuali che consentano una riduzione del rischio compatibile con il criterio ALARP.

Nei paragrafi successivi vengono riportati in sintesi i risultati dell'applicazione della metodologia IRAM per ciascuna delle fasi da essa previste ovvero:

- la caratterizzazione probabilistica degli scenari di pericolo in funzione dei dati incidentali della tratta stradale sulla quale insiste la galleria e dei dati di traffico;
- la formulazione dell'albero degli eventi sulla base delle caratteristiche dei sistemi di sicurezza;
- la simulazione del flusso del pericolo conseguente ad uno scenario incidentale;
- la determinazione delle conseguenze attese sulla base della simulazione statistica del processo di esodo;
- la combinazione delle funzioni di distribuzione delle frequenze di accadimento e delle conseguenze attese per determinare le misure di rischio richieste dalla normativa Italiana.

I risultati delle elaborazioni svolte per la quantificazione del livello di rischio della galleria sono rappresentati attraverso la curva cumulata complementare ed il valore atteso del danno (VAD) ed utilizzati per la verifica dei criteri di accettazione del rischio come richiesto dal Decreto Legislativo n.264/2006.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2.1 Caratterizzazione Probabilistica degli Scenari di Pericolo

Gli eventi critici devono essere considerati, per legge, eventi incidentali pericolosi per gli utenti e gli addetti quando si verificano in una galleria, a causa delle caratteristiche geometriche ed architettoniche dell'ambiente nel quale accadono. Gli eventi critici sono eventi statistici, ovvero, eventi incidentali che non possono essere previsti in modo deterministico, ma che possono essere caratterizzati solo in termini probabilistici.

Gli eventi critici sono caratterizzati, dal punto di vista probabilistico, 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 proposta per il calcolo del rischio di una 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.


2.1.1 Tassi di accadimento degli eventi critici

Le modalità di accadimento nel tempo di un evento critico sono caratterizzate in termini della grandezza tasso di accadimento. Il tasso di accadimento è una grandezza statistica che quantifica la probabilità che un evento critico si verifichi in un sistema di trasporto od in una porzione specifica del sistema.

Il tasso di accadimento di un evento critico è riferito all'unità di attività del sistema considerato che, per un sistema di trasporto, è costituita dai Veicoli * Chilometro.

Le funzioni distribuzione di probabilità rappresentative dei tassi di accadimento degli eventi critici sono determinate nei seguenti modi:

- analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità pertinenti al sistema di trasporto nel suo complesso, ovvero, una porzione specifica del sistema (tratti a cielo aperto, gallerie, tratti in curva, tratti in rettilineo);
- analisi statistica dei risultati forniti dalla modellazione statistica del flusso di traffico, condotta includendo le prestazioni delle misure di sicurezza installate con funzione preventiva al fine di assicurare la realizzazione della missione propria del sistema di trasporto, ovvero, la realizzazione delle missioni pertinenti a porzioni specifiche del sistema di trasporto.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Le funzioni distribuzione di probabilità pertinenti agli eventi critici determinate attraverso l'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità includono gli effetti determinati dall'adozione di specifiche misure di sicurezza preventive sul livello di sicurezza posseduto dal sistema di trasporto o porzioni specifiche del sistema.

Gli effetti sul livello di sicurezza di un sistema di trasporto o sul livello di sicurezza di porzioni del sistema, conseguenti all'adozione di specifiche misure di sicurezza, individuate attraverso la tecnica albero delle cause, sono determinati dalle prestazioni possedute od attribuite alle misure di sicurezza installate con funzione preventiva.

Le prestazioni dei sistemi tecnologici che realizzano le misure di sicurezza impiantistiche installate con funzione preventiva sono espresse in termini delle seguenti grandezze:

- livello di confidenza (probabilità di malfunzionamento),
- efficienza.

Le funzioni distribuzione di probabilità dei tassi di accadimento degli eventi critici, quando determinate attraverso l'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità, possono essere identificate, assimilato il sistema di trasporto ad una scatola nera, con le funzioni di trasferimento ad esso pertinenti, stimate in modo indiretto; viceversa, le funzioni distribuzione di probabilità dei tassi di accadimento degli eventi critici, quando determinate attraverso l'analisi statistica dei risultati forniti dalla simulazione statistica del traffico, condotta includendo le prestazioni delle misure di sicurezza installate con funzione preventiva, possono essere identificate con le funzioni di trasferimento ad esso pertinenti, determinate in modo diretto.

Le funzioni distribuzione di probabilità dei tassi di accadimento degli eventi critici, quando determinate attraverso l'analisi statistica dei risultati forniti dalla simulazione statistica del traffico, condotta includendo le prestazioni delle misure di sicurezza installate con funzione preventiva (funzioni di trasferimento determinate in modo diretto) sono affette, per costruzione, dalle incertezze aleatorie e dalle incertezze epistemiche proprie delle variabili scelte per la rappresentazione del fenomeno traffico e dei modelli di simulazione adottati.

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

La funzione distribuzione di probabilità di Poisson è definita come:


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

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.

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

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

Dove l'acronimo FDP individua la Funzione Distribuzione di Probabilità, mentre il simbolo * individua l'operazione prodotto di convoluzione tra la funzione distribuzione di probabilità del tasso

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

di accadimento dell'evento critico considerato ed i numeri rappresentativi del volume di traffico e della lunghezza della galleria. L'operazione prodotta di convoluzione degenera nell'operazione prodotta 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.

Per la determinazione del rischio associato alla galleria Rimazzano, si è adottata la funzione di distribuzione dei tassi di accadimento degli eventi incidentali al paragrafo 1.2.4. La determinazione della funzione di distribuzione del tasso di accadimento degli eventi critici a partire dalla funzione di distribuzione del tasso di accadimento degli eventi incidentali è stata condotta applicando tecniche di analisi statistica a partire dalle indicazioni fornite al paragrafo 1.4.5.4 delle Linee Guida ANAS rev. 2009.

La determinazione dei tassi di accadimento consente la stima delle frequenze di accadimento degli eventi critici. Le Frequenze di Accadimento degli Eventi Critici calcolate per l'effettuazione dell'Analisi di Rischio della galleria Rimazzano sono sintetizzate di seguito:

Galleria	TGM	Lunghezza
Rimazzano	19448 v/giorno	924 m
	Frequenza [eventi/anno]	Tempo di ritorno [anni]
Incidenti	1,97E+00	0,5
Incendi	9,84E-02	10,2
<i>Incendi veicoli pesanti</i>	1,78E-02	56,2
<i>Incendi rilevanti</i>	2,67E-03	374,4
Eventi merci pericolose	9,15E-04	1092,9
<i>Nube tossica</i>	1,10E-05	91076,2
<i>BLEVE</i>	5,14E-06	194468,7
<i>Pool fire</i>	9,06E-06	110395,4
<i>Flash fire</i>	1,89E-05	52976,9
<i>Jet fire</i>	7,85E-06	127379,3
<i>VCE</i>	2,38E-05	42035,2

Tabella 2-1: frequenze di accadimento degli eventi critici

2.1.2 Caratterizzazione eventi critici

2.1.2.1 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:

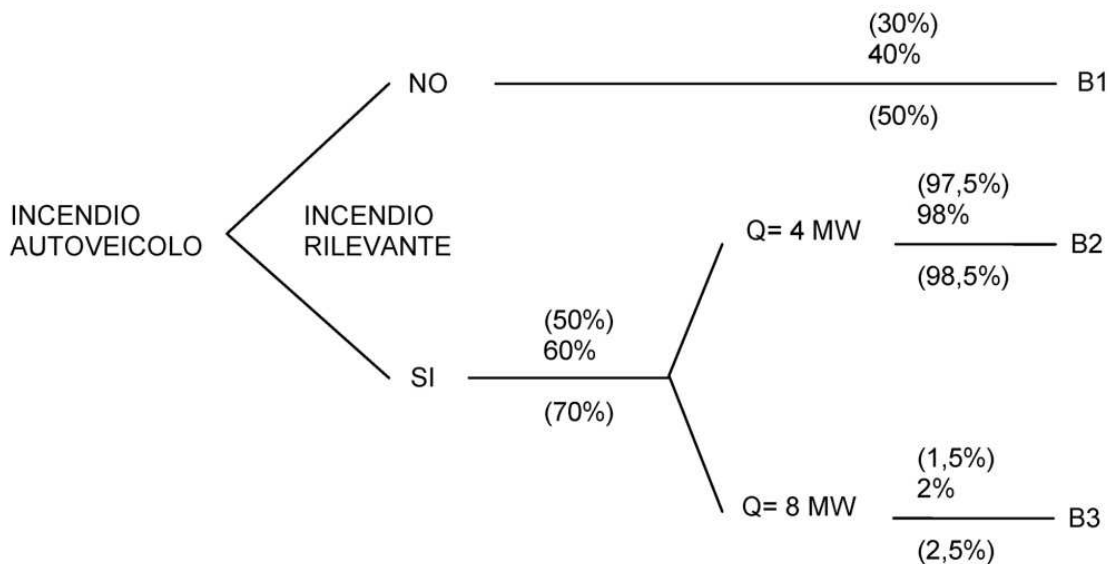
- surriscaldamento del motore,
- surriscaldamento dei freni,
- incendio del carico del veicolo,
- etc.

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

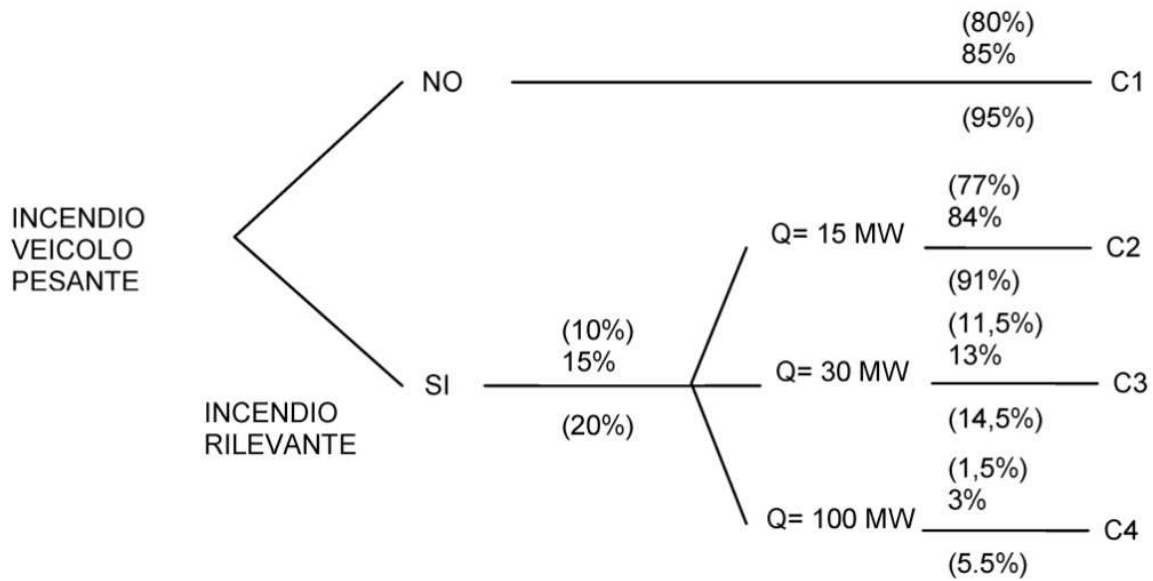
- mancanza di rispetto del Codice della Strada (velocità, interdistanza),
- perdita di controllo del veicolo (guida pericolosa, difetto meccanico),
- incontro di un ostacolo sulla carreggiata,
- collisione con veicolo fermo sulla carreggiata,
- etc.

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.

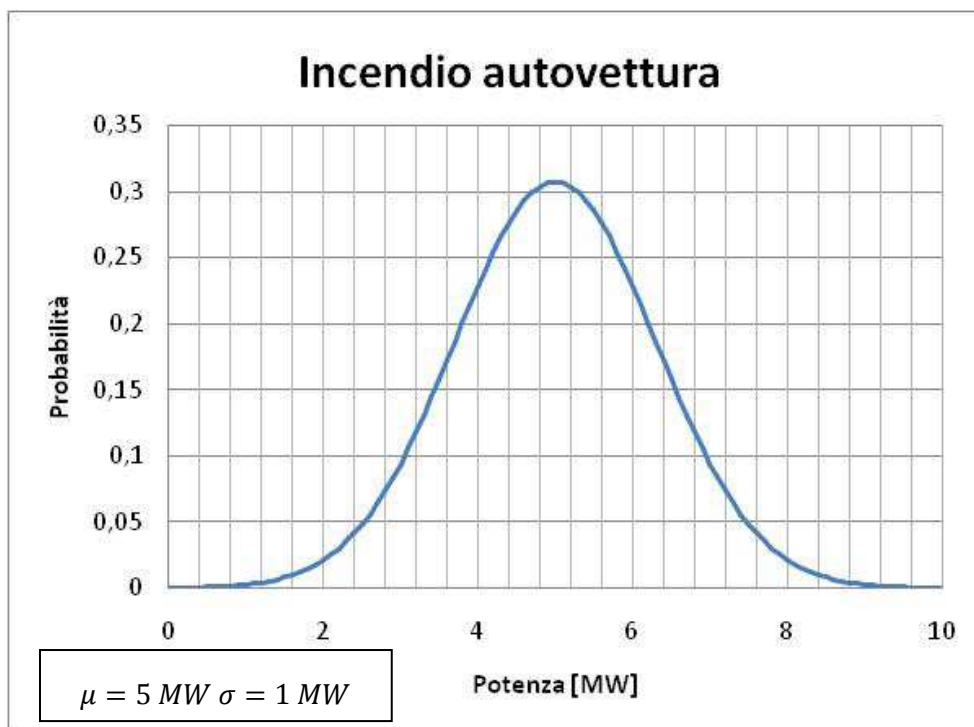


Probabilità di accadimento: incendio veicolo leggero



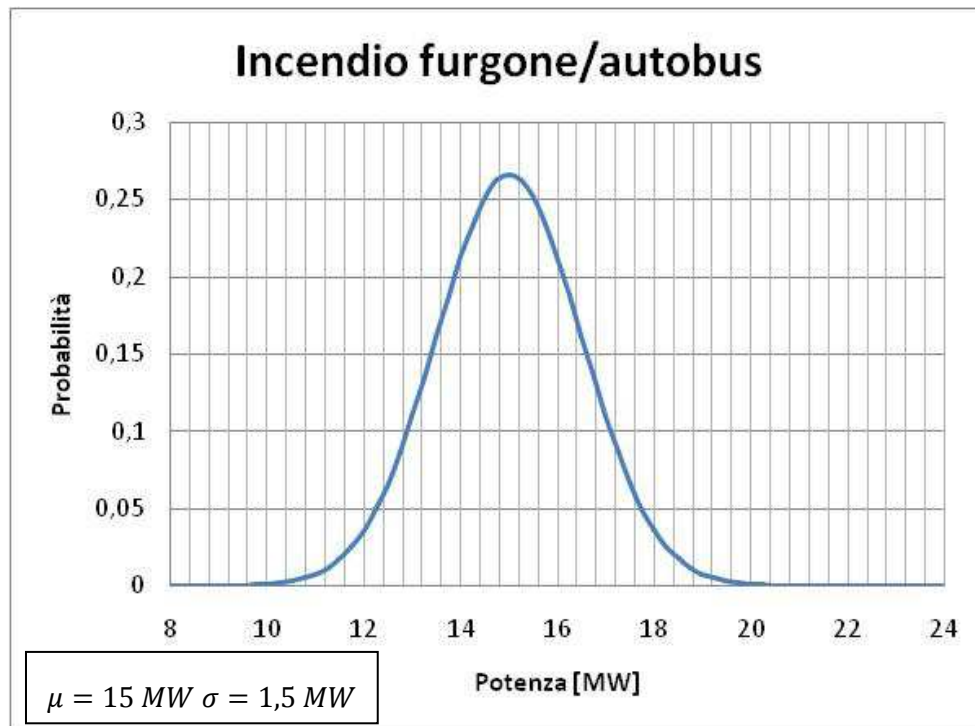
Probabilità di accadimento: incendio veicolo pesante

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

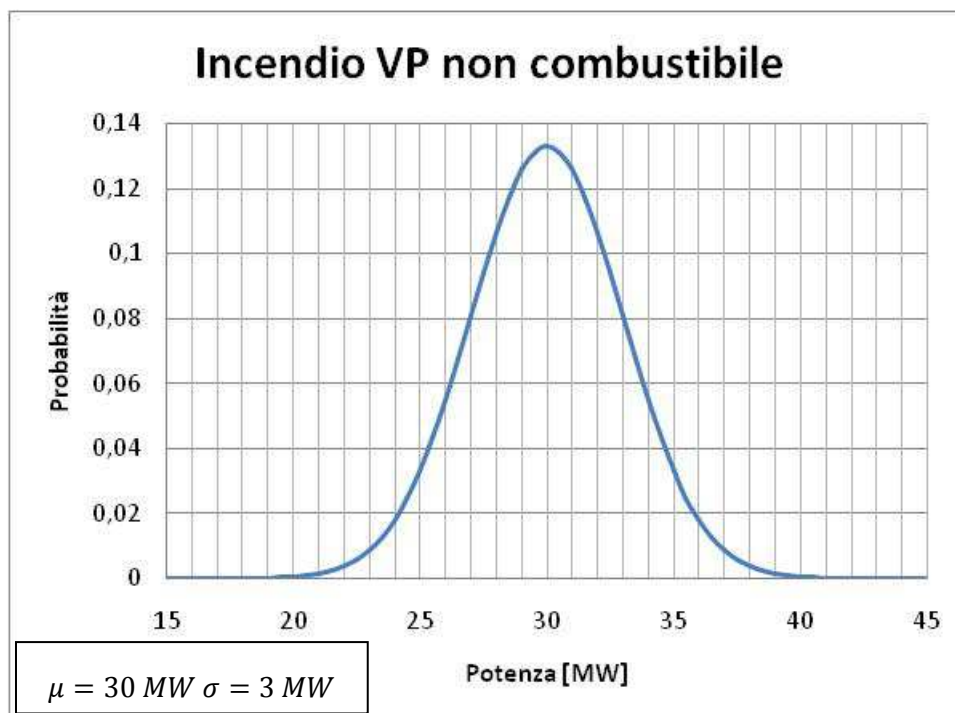


funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 5MW

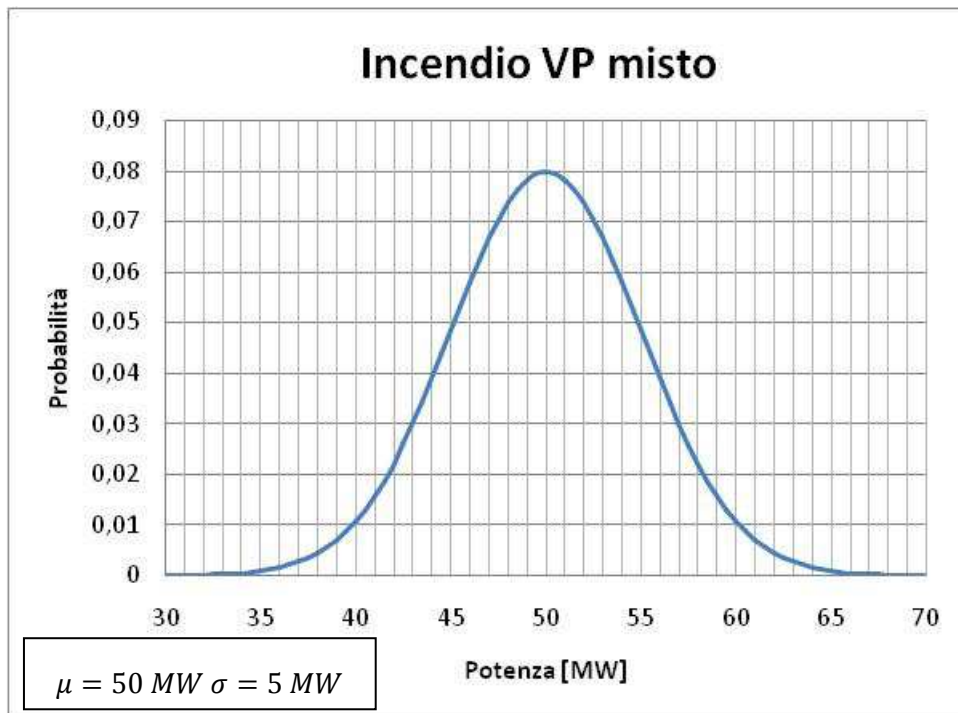
Relativamente ai veicoli pesanti, vista l'elevata pericolosità, si aggiunge una funzione di distribuzione di probabilità incentrata su una potenza di incendio pari a 50 MW, mantenendo distribuzioni di probabilità di accadimento coerenti con i valori delle Linee Guida ANAS.



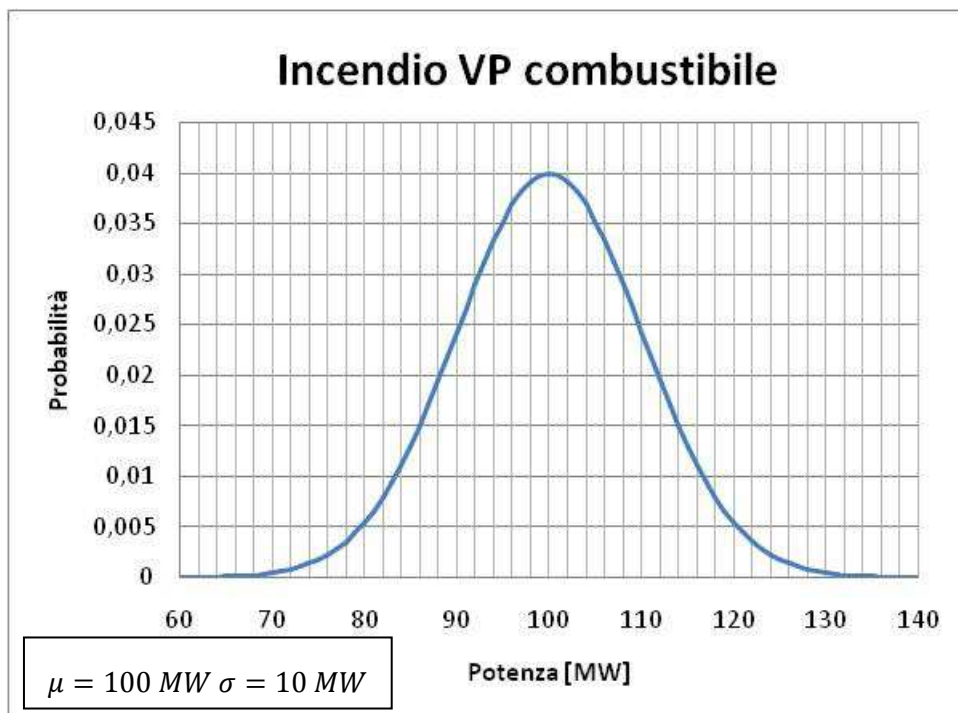
funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 15 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 30 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 50 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 100 MW

2.1.2.2 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.

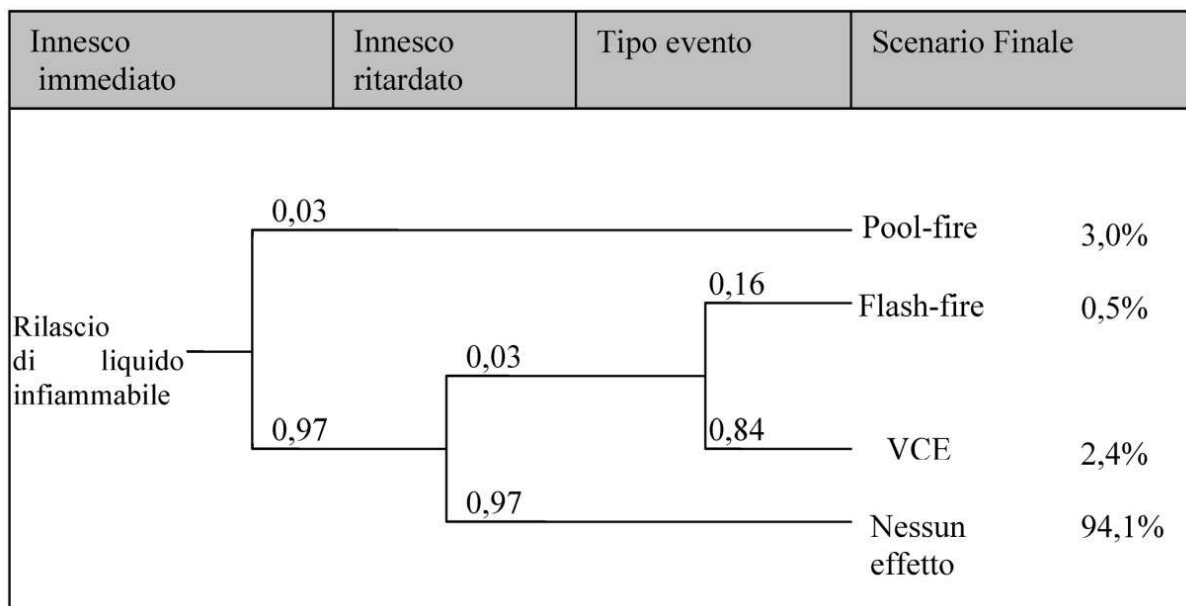
I dati di frequenza dedotti dalle Linee Guida ANAS riportanti le percentuali di incidenti in galleria caratterizzati da evento critico “rilascio ADR” sono i seguenti.

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

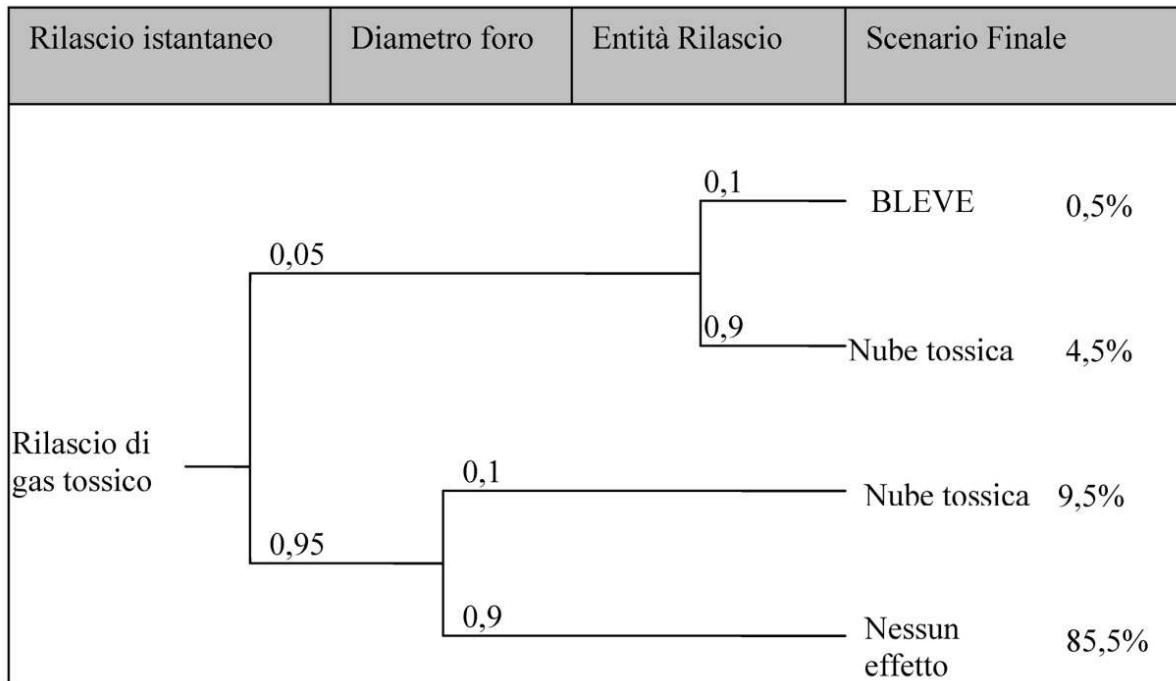
Ripartizione rilasci ADR

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.

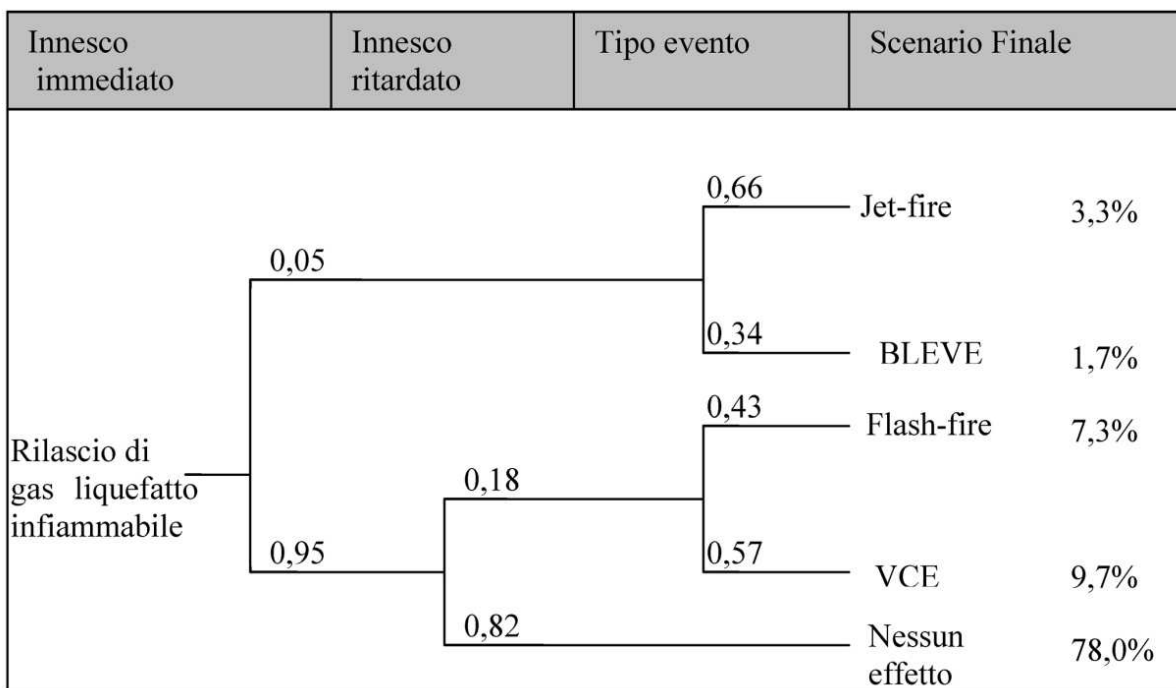
Le probabilità riportate negli alberi degli eventi derivano dall’elaborazione statistica dei dati contenuti nella banca dati MIDHAS (Major Hazard Incident Data Service, OHS_ROM Luglio 2004) riportata nelle Linee Guida ANAS.



Scenario rilascio liquido infiammabile



Scenario rilascio gas tossico



Scenario rilascio gas liquefatto infiammabile

2.1.2.3 Caratterizzazione energetica

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

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

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

Potenze termiche generate

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

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

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

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

Caratterizzazione evoluzione dei focolai

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

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

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

dove A è la sezione trasversale della galleria.

2.2 Caratterizzazione Probabilistica dell'Albero degli Eventi

L'Albero degli Eventi adottato per condurre l'analisi di rischio tiene conto delle dotazioni di sicurezza presenti nella galleria Rimazzano caratterizzati ognuno con i valori di efficienza e di affidabilità:

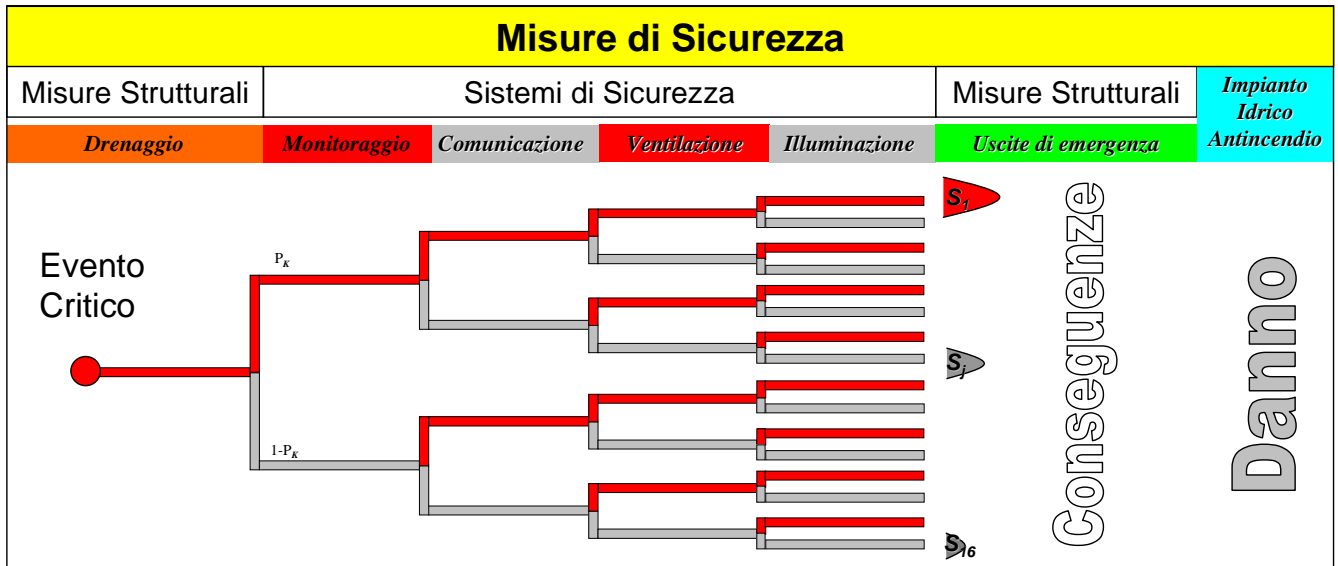


Figura 2-1: Albero degli eventi

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.

2.2.1 Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza e delle misure strutturali

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. Di seguito si riportano le prestazioni da associare ai singoli sottosistemi presenti nella galleria Rimazzano, considerando la specificità progettuale e la mutua interazione.

	Monitoraggio	Comunicazione	Illuminazione
Prestazione	Tempo Risposta 2'12" min Distribuzione Gaussiana	Tempo Risposta 2'45" min Distribuzione Gaussiana	Illuminamento 2,3lux Distribuzione Gaussiana
Affidabilità	0.99 Poisson	0.99 Poisson	0.97 Poisson
Efficacia	0,85 Distribuzione Gaussiana	0,85 Distribuzione Gaussiana	0,85 Distribuzione Gaussiana

Tabella 2-2: prestazioni dei sottosistemi

La determinazione dei tempi di risposta è stata ottenuta mediante l'analisi statistica dei dati derivati dall'analisi delle prestazioni dei sistemi di monitoraggio previsti per la galleria Rimazzano. 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.

La determinazione delle prestazioni del sistema di illuminazione è stata condotta risolvendo un modello che sulla base della configurazione dell'impianto, delle prestazioni dei corpi illuminanti e delle informazioni contenute nella segnaletica determina la velocità di esodo punto per punto lungo le vie di fuga in funzione della visibilità adottando come parametri statistici il coefficiente di manutenzione delle lampade e la percezione degli ostacoli da parte degli utenti ed assumendo come funzione a priori una distribuzione gaussiana.

L'affidabilità e l'efficienza attribuite ai singoli sistemi di sicurezza sono determinate sulla base dell'applicazione di modelli di inferenza statistica adottando la tecnica dei reticoli bayesiani assumendo come dati in ingresso le prestazioni dei sistemi di sicurezza sopra descritti e tarati durante le elaborazioni delle analisi di rischio svolte per contesti analoghi.

In fase di esercizio della galleria i dati prestazionali stimati utilizzando i modelli analitici e numerici sopra richiamati dovranno essere verificati e validati attraverso i risultati derivanti dalle esercitazioni periodiche che il Gestore è tenuto ad effettuare, dalle prove di collaudo, dalle certificazioni, dal monitoraggio dei funzionamenti e dei malfunzionamenti dei sottosistemi, dal monitoraggio dei tempi di risposta ai singoli eventi del sistema galleria.

In particolare per quanto attiene le prestazioni delle dotazioni impiantistiche ed altri parametri significativi sono stati adottati i valori riportati in tabella.

PARAMETRO	VALORE
Efficacia sistema di drenaggio	Media 0,85 dev standard 0,02
Efficacia sistemi di sicurezza	Media 0,85 dev standard 0,02 per tutti ad eccezione ventilazione 0,5 per pozza e 0 per esplosione
Differenza di pressione barometrica	25 Pa Media dev. standard 5 Pa
Velocità del vento	5 m/s Media dev.st 0,5 m/s
Densità di traffico bloccato	100 v/km

Tabella 2-3 Prestazioni delle dotazioni impiantistiche e parametri significativi

2.3 Flusso del Pericolo

Il processo logico di evoluzione del flusso del pericolo e del processo di esodo all'interno della galleria nel caso in cui si verifichi un evento incidentale, condizionato dalle caratteristiche strutturali della galleria, dalle caratteristiche dell'ambiente circostante e dalle dotazioni di sicurezza presenti, è rappresentato in maniera sintetica in figura:

Scenari di esodo (simulazione metodo Monte-Carlo)

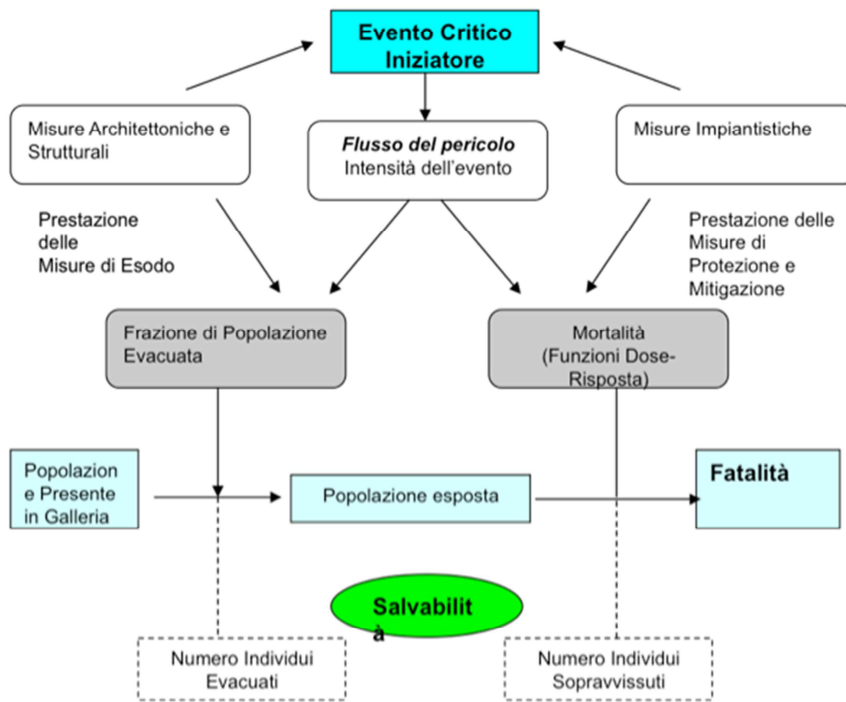
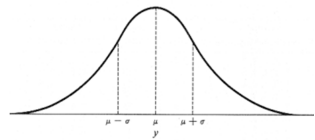


Figura 2-2: rappresentazione schematica del processo di esodo

Le variabili di rappresentazione degli scenari di esodo 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	→	

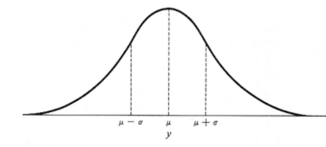
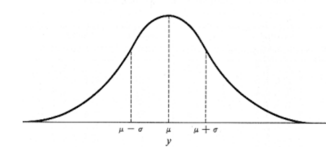
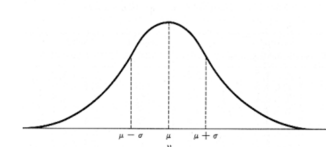
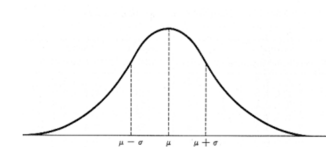
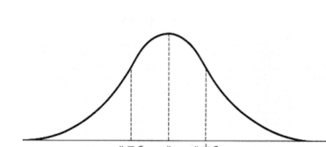

Popolazione esposta	Formazione delle code (in funzione dei volumi di traffico)	→	
	Tempo di psicoreazione (della popolazione esposta)	→	
	Velocità di esodo (popolazione esposta)	→	
	Distanza vie di esodo	→	
	Velocità dei fumi (Sistema di ventilazione)	→	

Tabella 2-4: variabili statistiche degli scenari di esodo

I parametri di tali funzioni di distribuzione sono riportati all'interno della Tabella 2-3 e della Tabella 2-5. In particolare la velocità dell'aria nella struttura è calcolata per ogni singolo scenario sulla base dei seguenti fattori: condizioni meteo ai portali (differenza di pressione barometrica e velocità del vento), numero e tipo di veicoli fermi in galleria, caratteristiche idrauliche della galleria, effetto camino.

Tempo di rilevazione degli eventi	180 s
Tempo di attivazione dei sistemi di sicurezza	120 s
Tempo di attivazione utenti	Distribuzione gaussiana media 150 s dev.standard = 25 s
Distanza via di esodo	Distribuzione gaussiana media 500 m dev.standard = 50 m
Tempo inizio operazioni di spegnimento da parte dei VVF	60 min

Tabella 2-5 Parametri significativi flusso del pericolo

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2.3.1 Quantificazione del Flusso del Pericolo

Il flusso del pericolo è stato determinato per eventi critici che si verificano all'interno della galleria Rimazzano considerando le caratteristiche geometrico-strutturali, ambientali e dei sistemi di sicurezza adottando modelli formulati in modo specifico per l'applicazione della metodologia di analisi di rischio. I modelli adottati sono di tipo termodinamico non stazionario e consentono la valutazione nello spazio e nel tempo dei fattori che influenzano la salute umana condizionando gli scenari di esodo.

Le simulazioni del flusso del pericolo effettuate sono relative ad eventi critici incendio ai quali sono stati assimilati anche gli eventi critici rilascio di sostanze tossiche e nocive nell'ambito di una caratterizzazione energetica delle sorgenti.

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

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


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

Le simulazioni del flusso del pericolo sono state effettuate utilizzando il codice EURAM che utilizza un modello di tipo Monte Carlo effettuando un numero di simulazioni superiore a 51200 variando le condizioni al contorno e l'effetto dei sistemi di sicurezza sull'evoluzione del flusso del pericolo.

Le caratteristiche del modello di simulazione del flusso del pericolo adottato sono sintetizzate di seguito.


Simulazione in regime transitorio mediante modello di evoluzione del flusso del pericolo.

Codice	EURAM 1.0
Cardinalità	1D
Dimensioni cella	Variabile 1m -10 m
Porzione di galleria simulata	924 m
Numero celle	924
Sottomodello di combustione	Macromodello focolaio
Condizioni al contorno	dP ai portali variabile, vento variabile

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

Potenza termica generata	Variabile da 5 MW-200 MW
Tempo di crescita	Variabile da 1 min a 10 min
Regime	Transitorio

Tabella 2-6: modello di evoluzione del flusso del pericolo

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2.3.2 Simulazione statistica degli scenari di esodo

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

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

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

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

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

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

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

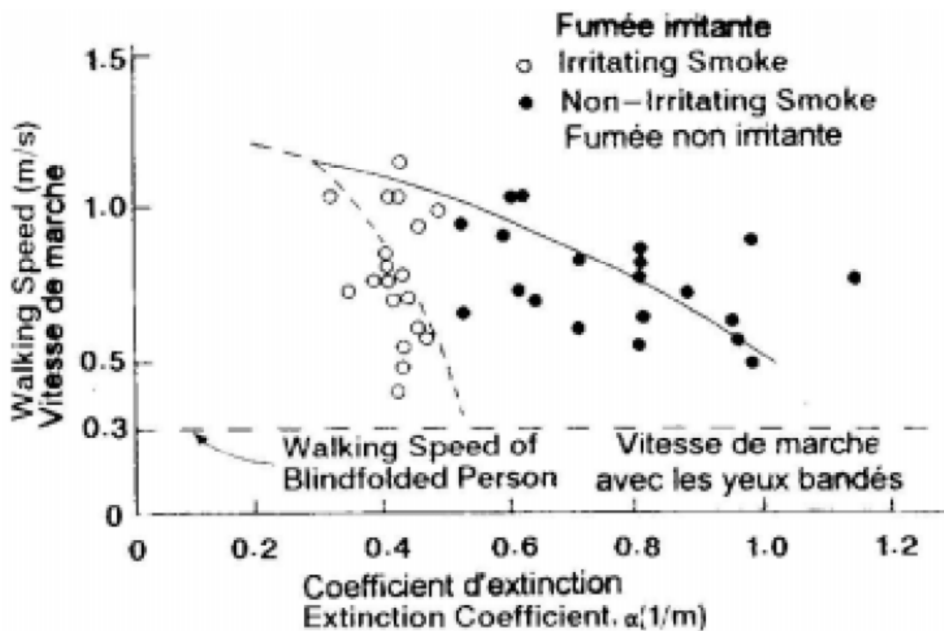
- la posizione del focolaio rispetto alle vie di fuga,
- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti,
- la velocità di esodo degli utenti nella struttura,
- il comportamento e le traiettorie degli utenti lungo i percorsi di esodo,
- l'orientamento degli utenti verso i luoghi sicuri.

I parametri assunti come fondamentali nel modello di simulazione del processo di esodo sono trattati come variabili aleatorie e caratterizzati in termini di funzioni di distribuzione. Valori massimi per i tempi di abbandono dei veicoli utilizzati nelle simulazioni sono pari a 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.

I risultati della simulazione statistica di uno scenario di esodo condotto formulando un modello in geometria monodimensionale sviluppato adottando l'approccio lagrangiano risolto con una tecnica statistica tipo Monte-Carlo sono rappresentati nella successiva figura.

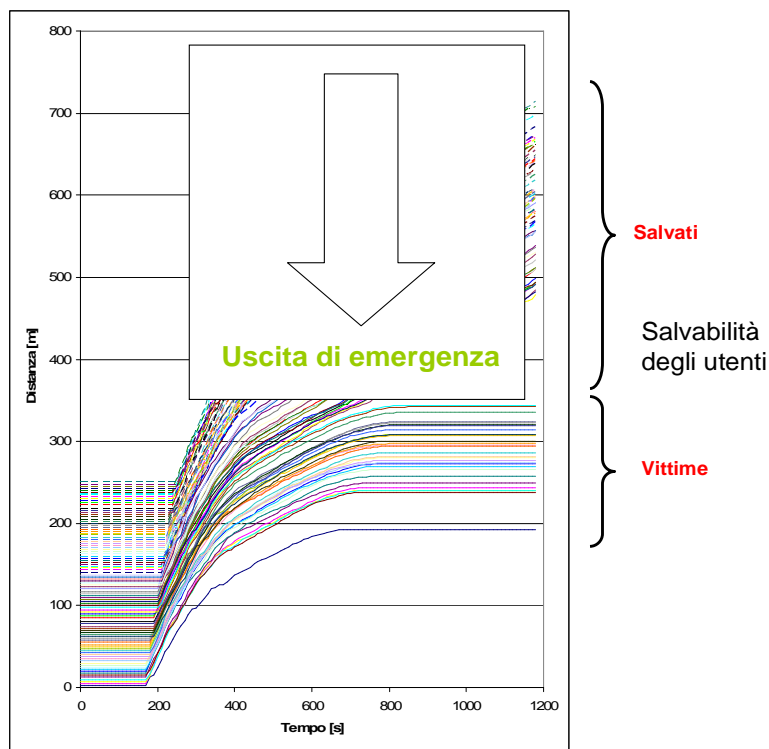


Figura 2-3: simulazione statistica di uno scenario di esodo

Uno scenario è rappresentato con una serie di curve che rappresentano ciascuna la posizione nel tempo di un singolo utente, all'estrema sinistra, all'intersezione con l'asse delle ordinate si vede la posizione iniziale di ogni singolo utente.

Le linee orizzontali rappresentano utenti fermi mentre i tratti di curva rappresentano il movimento degli utenti la cui velocità è data dall'inclinazione (tangente) della curva stessa.

Muovendosi da sinistra a destra si vede che gli utenti necessitano di un determinato tempo per attivarsi ed iniziare a dirigersi verso le uscite, successivamente si verifica che la pendenza delle

curve decresce per via della riduzione di visibilità e del peggioramento delle condizioni di salute fono a raggiungere un tratto orizzontale nel il quale l'utente è più in grado di muoversi.

Se una curva interseca la linea orizzontale denominata "Uscita di emergenza" significa che è giunto all'uscita, mentre le linee parallele sulla sinistra rappresentano gli utenti che non hanno raggiunto l'uscita, questi ultimi si ipotizza che rappresentino le fatalità.

Per ogni scenario simulato, oltre alle prestazioni dei sistemi di sicurezza come definite dall'albero degli eventi si ipotizzano una serie di parametri variabili tra i quali i principali sono: la posizione dell'incendio rispetto alle vie di fuga, la posizione dell'incendio rispetto all'imbocco della galleria, le condizioni meteo ai portali, il flusso di traffico, le caratteristiche della popolazione in termini di capacità di sopravvivenza.

La corretta implementazione del modello di rischio contenuto nel Decreto Legislativo n.264/2006 e meglio definito nelle Linee Guida ANAS richiede, al fine di ottenere risultati sufficientemente affidabili, siano effettuate almeno 3000 simulazioni per ogni sistema di sicurezza previsto nella galleria. Per la galleria Rimazzano sono state effettuate 12800 simulazioni ed è stata verificata, mediante analisi dei dati da parte di utente esperto, la correlazione tra i risultati delle simulazioni e le funzioni di distribuzione del danno ad esse associate come determinate dai modelli di inferenza statistica.


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

Incendio							
1)Veicolo leggero	Efficacia 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							

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.

I risultati delle simulazioni di tutti gli scenari sono analizzati statisticamente al fine di determinare una distribuzione di probabilità che associ ad un determinato numero di fatalità la relativa probabilità di accadimento. Successivamente le probabilità di accadimento sono opportunamente combinate con la frequenza di accadimento calcolata sulla base dei dati di incidentalità ottenendo la distribuzione di frequenza cumulata delle fatalità (Curva F-N). La distribuzione di frequenza cumulata complementare indica la frequenza di superamento di una determinata soglia di danno.

La curva cumulata complementare, mostrata nei successivi capitoli, è rappresentata sul piano FN al fine di essere confrontata con le curva limite necessarie alla valutazione del rischio secondo il principio ALARP.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

2.4 Valutazione del Rischio

Nell'ambito della procedura di analisi di rischio codificata nell'IRAM, le misure di rischio sociale per la galleria Rimazzano sono determinate attraverso la combinazione 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.

Vengono di seguito illustrati i risultati dei calcoli ottenuti per le seguenti configurazioni del Sistema galleria Rimazzano:

- galleria “ante operam” alla data di redazione del progetto definitivo,
- galleria allo stato attuale con le misure realizzate dal gestore,
- galleria con tutte le misure di sicurezza previste nella prima fase di adeguamento e descritte nel paragrafo 1.1.4.

I risultati della quantificazione del rischio sono riportati 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.

2.4.1 Curve Cumulate Complementari

Le curve cumulate complementari sul piano F-N derivate dall'applicazione del modello di rischio bayesiano classico con analisi delle incertezze per le diverse configurazioni della galleria Rimazzano sono mostrate nella successiva figura.

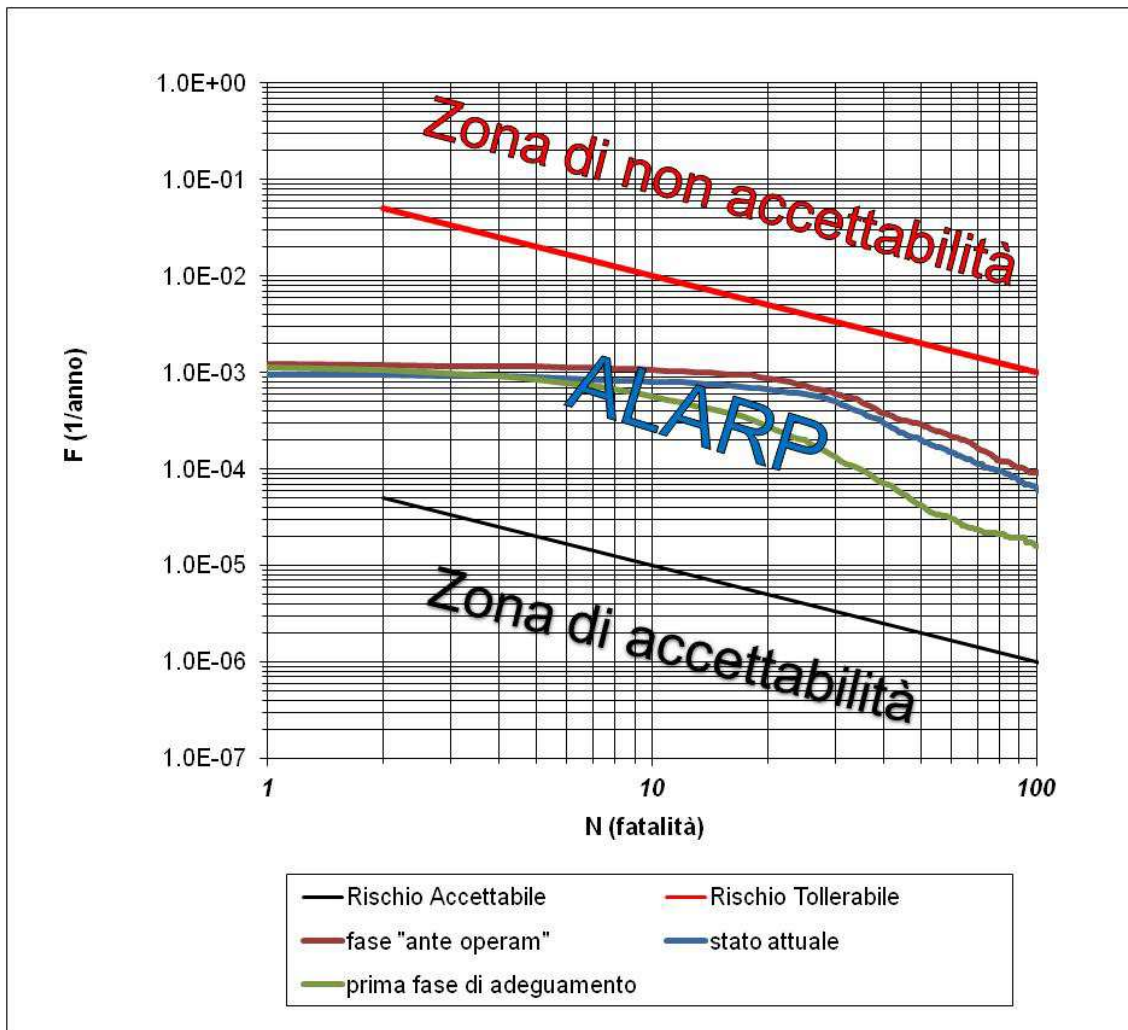


Figura 2-4: Curva Cumulata Complementare sul piano F-N

La valutazione del rischio prevede le seguenti verifiche:

- ogni punto della la curva cumulata deve essere al di sotto del limite di tollerabilità, in caso contrario è necessario prevedere misure integrative,
- se la curva si trova tutta al di sotto del limite di accettabilità non è necessario effettuare valutazioni ulteriori,
- se la curva si trova nella zona intermedia, detta zona ALARP, è possibile valutare ulteriori misure di sicurezza anche di tipo gestionale per ridurre quando più possibile il rischio che può essere stimato come Valore atteso del Danno.

Come si evince dal grafico sopra riportato, le Curve Cumulate Complementari associate alla galleria nelle varie configurazioni considerate ricadono tutte in zona ALARP, vale a dire in zona di

accettabilità condizionata del rischio. Le curve cumulate complementari hanno un andamento diverso rispetto a quelle presenti nell'analisi di rischio precedente dovuto a nuovi metodi di calcolo relativi ai veicoli con merci pericolose.

2.4.2 Valore atteso del danno

Il Valore Atteso del Danno (VAD) è un indicatore rappresentativo del rischio globale associato alla galleria. Esso può essere utilizzato per confrontare soluzioni progettuali diverse per una galleria quando le curve cumulate complementari (curve F-N) ricadono nella zona ALARP. I VAD (Valore Atteso del Danno) riferiti alle diverse configurazioni individuate per la galleria Rimazzano sono di seguito rappresentati.

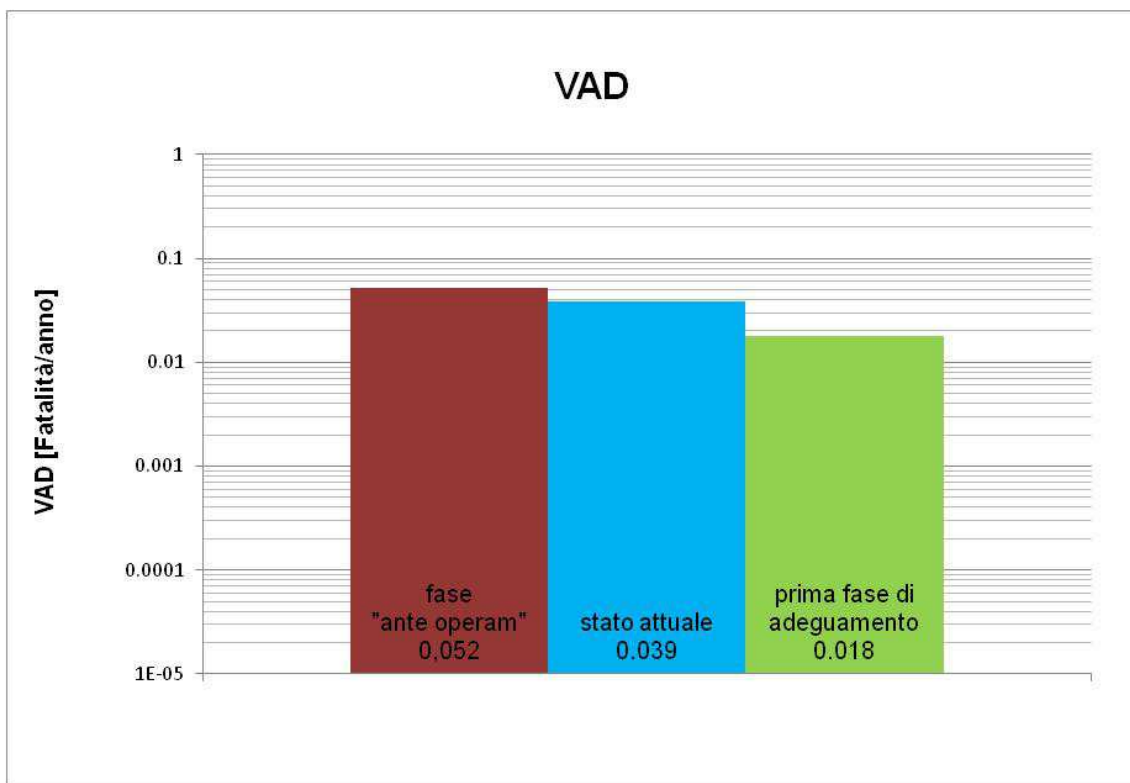



Figura 2-5 grafico del valore atteso del danno

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

3 Conclusioni

L'analisi di rischio è stata condotta adottando il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method) formulato dallo scrivente in accordo al Decreto Legislativo n.264/2006 ed alle Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali. La corretta applicazione della metodologia in conformità alla normativa vigente ha richiesto l'analisi dei dati di incidentalità e delle prestazioni dei sistemi di sicurezza a partire da basi dati pubbliche e proprietarie nonché la soluzione di modelli statistici che consentano di quantificare il rischio per il sistema galleria considerando le incertezze aleatorie ed epistemiche. Il modello di rischio adottato dal metodo IRAM è implementato nel pacchetto software EURAM 1.0 che è stato utilizzato per l'analisi della galleria Rimazzano. I risultati dei modelli adottati sono caratterizzati da elevata qualità in quanto verificati e continuamente aggiornati nel corso dell'analisi di più di 300 gallerie.

I parametri di sicurezza che potrebbero far sì che la galleria Rimazzano sia considerata a caratteristiche speciali da parte della Commissione Permanente per le Gallerie sono:

- percentuale di veicoli pesanti del 18,1% con presenza di veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose.

Allorquando la galleria Rimazzano possiede caratteristiche speciali, è necessario effettuare un'analisi di rischio di tipo prestazionale per verificare le misure di sicurezza integrative da adottare.

Al fine di valutare l'effetto delle variazioni del traffico e dell'introduzione graduale delle misure di sicurezza l'analisi di rischio è stata effettuata nelle seguenti configurazioni:

- galleria nella configurazione di esercizio al momento della stesura del progetto definitivo (anno 2008);
- galleria con tutte le misure di sicurezza presenti attualmente (anno 2013);
- galleria con tutte le misure di sicurezza previste nella prima fase di adeguamento e descritte nel paragrafo 1.1.4 previste per l'anno 2015.

L'analisi di rischio relativa alla galleria con le dotazioni di sicurezza attualmente presenti è stata effettuata sulla base degli ultimi dati di traffico disponibili e relativi all'anno 2012.


L'analisi rischio relativa alla galleria con la configurazione adeguata in prima fase è stata effettuata sulla base dei dati di traffico forniti dal committente ipotizzando una proiezione all'anno 2019 derivata con un apposito studio.

L'analisi di rischio relativa alla situazione "ante operam" è stata effettuata con i dati di traffico utilizzati per l'analisi di rischio relativa al progetto definitivo.

I risultati dell'analisi di rischio hanno evidenziato come:

- il livello di rischio associato alla galleria nella prima fase di adeguamento ricade all'interno della zona di accettabilità condizionata del rischio,

Essendo previste ulteriori misure di sicurezza, ovvero essendo previsto il completamento e l'affinamento delle misura impiantistiche e gestionali già previste, il livello di rischio associato alla galleria in fase di post adeguamento non può che essere migliorativo anche se non analizzato nel documento, quindi ricade all'interno della zona di accettabilità condizionata del rischio.

	Progetto della Sicurezza – Analisi di rischio Autostrada A12 Galleria Rimazzano	Commessa:
		Rev. 3

I risultati dei calcoli effettuati per la prima fase di adeguamento, considerando le incertezze connesse ai dati di base ed ai modelli di calcolo adottati, considerando le evidenti migliorie rispetto allo stato attuale ed il periodo di tempo limitato entro il quale devono essere effettuati tutti gli interventi di adeguamento, suggeriscono che le misure di sicurezza adottate per questa prima fase possano essere considerate sufficienti.

L'analisi di rischio deve essere costantemente aggiornata durante le successive fasi di progettazione e durante l'esercizio per la verifica del mantenimento nel tempo degli obiettivi di sicurezza al variare dei fattori di pericolo e dei parametri di sicurezza al fine di adeguare le procedure e gestione e di manutenzione ed eventualmente delle dotazioni di sicurezza considerando anche nuove tecnologie disponibili.