

Lavori di razionalizzazione della viabilità di S. Giovanni Rotondo e realizzazione dell'asta di collegamento da San Giovanni Rotondo al capoluogo dauno - 4° Stralcio - S.S. 693 SVV del Gargano - S.S. 89 Garganica - Collegamento Vico del Gargano - Mattinata Tratto Vico del Gargano - Vieste

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COD. BA322

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - SIPAL - TECNIC - GDG - ICARIA - AMBIENTE

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Elena Bartolucci
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A3217

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Domenico Belcastro
Ordine dei Geologi della Regione Calabria n°218

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

IL RESPONSABILE DI PROGETTO

Dott. Ing. Marianna Grisolia

IL COLLABORATORE DEL R.U.P.

Dott. Ing. Alberto Sanchirico

IL R.U.P.

Dott. Ing. Rocco Lapenta

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Ing. T.Berti Nulli
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Ing. L.Spaccini
Dott.Ing. L.Casavecchia
Dott.Geol. G.Cerquiglioni
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. M.Abram
Dott.Arch. C.Presciutti
Dott. Agr. F.Berti Nulli
Dott. M. De Tursi

MANDANTI:



Dott. Ing. A.Turso
Dott. Ing. J.Turaglio
Dott. Ing. F.Stoppa
Dott. Ing. A.Dipierro



GEOTECHNICAL DESIGN GROUP
Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. C.Consorti
Dott. Ing. E.Loffredo
Dott. Ing. S.Sacconi



TECNIC Consulting Engineers
Prof. Ing. S.Canale
Dott. Ing. C.Sanna
Dott. Ing. C.Nardi
Dott. Ing. F.Volonnino
Dott. Ing. M.Schinco



ICARIA società di ingegneria
Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. V.Piunno



ambiente s.p.a.
consulenza e ingegneria
esperienza per l'ambiente
Dott. Ing. A.Lucioni
Dott.Arch. M. Paglini
Dott.Arch. F.Marsiali
Dott. M.Pizzato
Agr. M.T. Colacresi



ELABORATI GENERALI

Analisi di rischio comparativa

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00-EG00-GEN-RE05-A			
BA322	F 22	CODICE ELAB.	T00EG00GENRE05	A	-
A	Emissione	11/2022	P.Marassi	E.Bartolucci	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	PREMESSA	5
1.1.	GALLERIE OGGETTO DI INTERVENTO	7
3	APPROCCIO METODOLOGICO.....	10
4	DOCUMENTAZIONE ACQUISITA ED ESAMINATA	11
5	CARATTERISTICHE DELLA GALLERIA PADULA	12
5.1	VIE DI FUGA E USCITE E SCITE DI EMERGENZA	14
5.2	DOTAZIONI IMPIANTISTICHE PREVISTE A PROGETTO	15
5.2.1	Configurazione di PFTE.....	15
5.2.2	Galleria virtuale (secondo norma).....	16
5.3	VOLUMI DI TRAFFICO	16
5.4	DISTRIBUZIONE ORARIA DEL TRAFFICO	17
5.5	SPETTRO DI TRAFFICO	18
5.5.1	Dati di traffico ADR.....	18
5.6	INCIDENTALITÀ	19
5.7	REGIME DI CIRCOLAZIONE.....	20
5.8	CONDIZIONI AMBIENTALI E VENTILAZIONE DELLA GALLERIA.....	20
6	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E ANALISI PROBABILISTICA	23
6.1	TASSO DI GUASTI.....	23
6.2	TASSO DI INCIDENTI	23
6.3	TASSI DI INCIDENTALITÀ ADR.....	25
6.4	TASSO DI INCENDI	25
6.4.1	Scenari incidentali rappresentativi	26
6.4.2	Ripartizione traffico ADR	27
6.4.3	Frequenze di accadimento degli scenari incidentali rappresentativi.....	28

6.4.4	Distribuzione oraria del traffico.....	30
6.4.5	Coefficienti di occupazione di veicoli.....	31
6.4.6	Localizzazione degli incidenti.....	32
6.4.7	Condizioni ventilazione in galleria	32
6.4.8	Sistemi di rilevamento e controllo e di comunicazione	36
6.4.9	Evacuazione degli utenti.....	36
7	ANALISI DELLE CONSEGUENZE E VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL RISCHIO	39
7.1	CRITERIO DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO ALARP.....	39
7.2	SINTESI DEI PRINCIPALI DATI UTILIZZATI	40
7.3	CONDIZIONI DI SOPRAVVIVENZA	41
7.4	RISULTATI DELL’ANALISI DELLE CONSEGUENZE	42
7.5	RAPPRESENTAZIONE DEL RISCHIO.	44
7.5.1	Rappresentazione del rischio della galleria virtuale	44
7.5.2	Rappresentazione del rischio in galleria in configurazione di PFTE	45
7.5.3	Confronto del rischio calcolato nelle diverse configurazioni	46
8	CONCLUSIONI	47
9	BIBLIOGRAFIA	48

ANALISI DI RISCHIO COMPARATIVA

Lavori di razionalizzazione della viabilità di S. Giovanni Rotondo e realizzazione dell'asta di collegamento da San Giovanni Rotondo al capoluogo dauno - 4° Stralcio - S.S. 693 SVV del Gargano - S.S. 89 Garganica - Collegamento Vico del Gargano – Mattinata.

Tratto: Vico del Gargano – Vieste

Gallerie presenti lungo la tratta:

- GN01- Galleria Padula L= 800 m
- GN02 – Galleria Costa Vecchia L=267m
- GN03 - Galleria Colle di Nunzio L=315m
- GN04 - Galleria Stregone L=654m
- GN05 - Galleria Moresco L=848m
- GN06 - Galleria Citrigno L=350m
- GN07 - Galleria Marzo L=886m
- GN08 - Galleria Piano Piccolo L=362m
- GA01 - Galleria della Corte L=77m

1 INTRODUZIONE

Il progetto dei “Lavori di razionalizzazione della viabilità di S. Giovanni Rotondo e realizzazione dell'asta di collegamento da San Giovanni Rotondo al capoluogo dauno - 4° Stralcio - S.S. 693 SVV del Gargano - S.S. 89 Garganica - Collegamento Vico del Gargano – Mattinata, Tratto Vico del Gargano – Vieste”, redatto a livello di progetto di fattibilità tecnica ed economica (PFTE), comprende n. 9 gallerie, di cui n. 8 gallerie naturali ed una galleria artificiale.

Di queste, n. 4 gallerie hanno lunghezza superiore di 500 m.

La strada in progetto non rientra nella rete stradale Transeuropea (TERN) e pertanto queste gallerie non rientrano nel campo di applicazione del D.Lgs 264/2006 di “Attuazione della Direttiva 2004/54/CE relativa ai requisiti di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”.

Le gallerie sono state progettate secondo i criteri definiti nelle “Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente”, ANAS 2009 (di seguito “linee guida ANAS”).

Tanto premesso, a seguito dell'istruttoria ANAS sul progetto è stata redatta la presente analisi del rischio anche se non dovuta da normativa vigente, finalizzata a quantificare e valutare le prestazioni in termini di sicurezza delle caratteristiche geometriche e funzionali delle dotazioni infrastrutturali ed impiantistiche previste in fase di progettazione, in relazione ai parametri di sicurezza specifici delle gallerie.

Le principali caratteristiche delle gallerie 4 gallerie di lunghezza superiore di 500 m oggetto di intervento sono riportate di seguito.

Tabella 1 – Principali caratteristiche delle gallerie con L>500m

DATO	Galleria Padula	Galleria Stregone	Galleria Moresco	Galleria Marzo
	Dati di traffico			
TGM (previsione anno 2045)	1.917 veicoli/giorno (Le previsioni a 15 anni evidenziano un traffico inferiore ai 2.000 veicoli corsia/giorno)			
% PESANTI	1.41 %			
Percorrenza	Bidirezionale			
Velocità massima	90km/h			
	Dati geometrici			
Lunghezza galleria	800	654	848	886
Pendenza longitudinale massima	4%	4,5%	0,69%	2,5%
Pendenza longitudinale media	4%	1,5%	0,69%	2,5%

Date le caratteristiche delle gallerie, tutte simili dal punto di vista geometrico e di esercizio previsto, si è scelto di effettuare l'analisi per la sola galleria ritenuta potenzialmente più vulnerabile delle altre. Allo scopo è stata individuata la galleria Padula, ritenuta più vulnerabile per la frequenza attesa degli eventi critici e per l'entità delle possibili conseguenze, in ragione delle caratteristiche plano-altimetriche del tracciato.

In particolare, la galleria Padula ha lunghezza prossima alla lunghezza massima (propria della galleria Marzo) ed ha pendenza longitudinale superiore a quella delle gallerie più lunghe (gallerie Moresco e Marzo) nonché superiore alla soglia limite del 3% assunta a riferimento dalle linee guida ANAS per questo parametro di sicurezza.

2 PREMESSA

Il progetto prevede lo sviluppo dei primi 18.5 km di tracciato per la nuova viabilità di progetto “Garganica”, sviluppata in parte in variante ed in parte come adeguamento in sede della attuale SS 89.

Tale intervento ha inizio a Vico del Gargano e termina a Vieste.

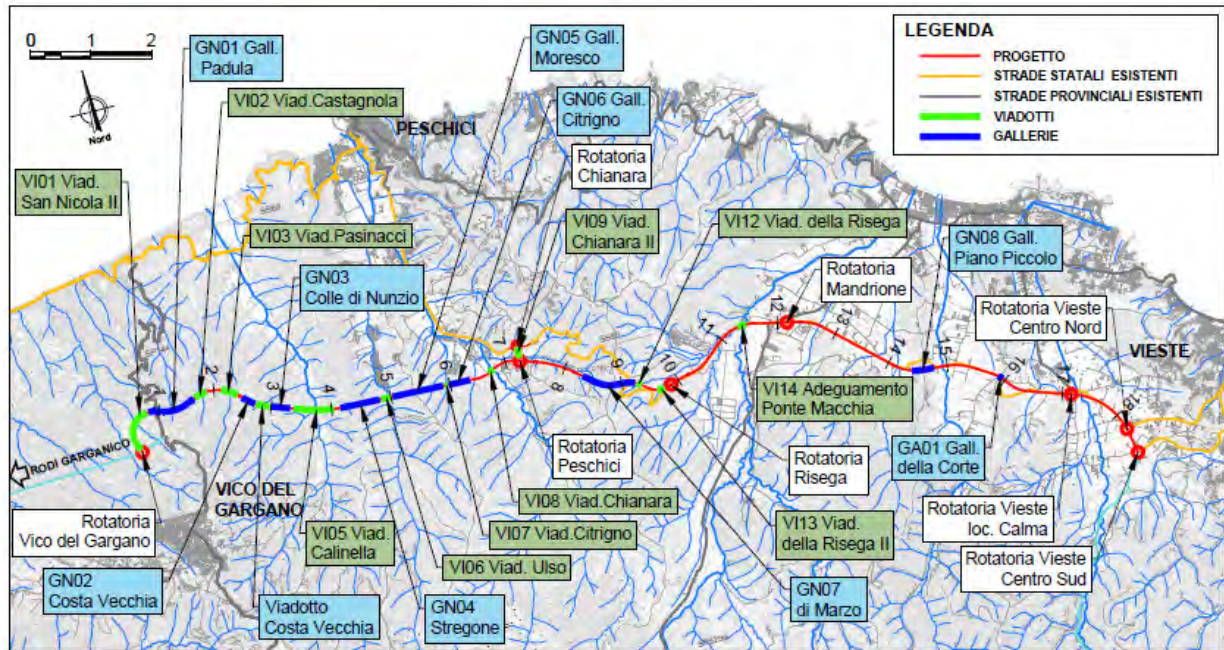


Figura 1: Inquadramento geografico territoriale del progetto

La nuova viabilità di connessione tra Vico del Gargano e Vieste, denominata “Garganica”, ha origine con la rotatoria “Vico del Gargano” da realizzarsi in sede alla SS 693 (ex SSV del Gargano – “dei Laghi di Lesina e Varano”) proveniente da Lesina. Il tracciato presenta nella parte iniziale di circa 7 km, completamente in nuova sede, un’alternanza di gallerie e viadotti di seguito elencati:

- VI01- Viadotto San Nicola L= 730 m
- GN01- Galleria Padula L= 800 m
- VI02 – Viadotto Castagnola L= 200 m
- VI03 – Viadotto Pasinacci L=270m
- GN02 – Galleria Costa Vecchia L=267m
- VI04 - Viadotto Costa Vecchia L=210m
- GN03 - Galleria Colle di Nunzio L=315m
- VI05 - Viadotto Calinella L=660m
- GN04 - Galleria Stregone L=654m
- VI06 - Viadotto Ulso L=150m
- GN05 - Galleria Moresco L=848m
- VI07 - Viadotto Citrigno L=40m

- GN06 - Galleria Citrigno L=350m
- VI08 Viadotto Chianara L=600m

Al km 7+250 è ubicata la seconda intersezione “Peschici”, che costituisce il punto di accesso al nucleo abitato principale di Peschici ed alle sue frazioni, realizzata attraverso la connessione tra la nuova viabilità e la SS 89 “Garganica” costituita da una rotonda a 3 bracci a cui si raccorda un’asta di collegamento su un viadotto a due campate di 160 m totali di lunghezza “VI09 - Viadotto Chianara II” ad una ulteriore rotonda sempre a 3 bracci, posizionata in corrispondenza dell’asse esistente della SS 89. Il tracciato, quindi, prosegue nuovamente in nuova sede a mezzacosta bypassando un tratto particolarmente tortuoso e acclive della SS 89 con questa sequenza di opere d’arte:

- VI10 - Viadotto Cerreglia L= 60 m
- VI11 - Viadotto Cerreglia II L= 80 m
- GN07 - Galleria di Marzo L= 886 m
- VI12 - Viadotto della Risega L= 70 m
- VI13 - Viadotto della Risega II L= 110 m

Al km 9+850 è ubicata la terza intersezione “Risega” a rotonda nel Comune di Vieste sulla SS 89, da questo punto in poi è previsto l’adeguamento in sede per quasi 9 km; si prevede il mantenimento del viadotto esistente VI14 - Viadotto Ponte Macchio al km 11+400 opportunamente adeguato; dal km 12+150 si prevede una quarta intersezione “Mandrione” punto di connessione con la SP 52 bis “del Mandrione”, che rappresenta nel suo ramo verso la costa l’accesso a tutti i villaggi turistici e spiagge posti lungo la SP 52 litoranea tra Peschici e Vieste dalla località Sfinalicchio, passando per Santa Maria di Merino, Torre di Porticello, Palude Mezzane e fino alla Defensola. Nella direzione contraria verso l’entroterra la SP 52 bis “del Mandrione” attraversa la Foresta Umbra fino a connettersi con la SP 52b nel territorio del Comune di Monte Sant’Angelo.

Tra il km 14+100 e il km 14+850, si ha una prima variante di tracciato che comporta la realizzazione di una galleria naturale di 362 m GN08 – Galleria Piano Piccolo, successivamente il tracciato torna in sede fino al km 15+100.

Tra il km 15+100 e il km 15+400, a seguito di una piccola rettifica della curva esistente, nasce la seconda variante locale, l’asse di tracciato si allontana in destra rispetto al tracciato attuale, altimetricamente trattasi prevalentemente di un tratto in rilevato.

La terza variante piano altimetrica si trova tra il km 15+900 e km 16+600 dove la rettifica del tracciato elimina una grande curva ma determina la nascita di una breve galleria artificiale di 77 m di lunghezza GA01 – Galleria della Corte.

Al km 17+750 è presente la quinta intersezione “Vieste – loc. Calma” a rotonda all’incrocio con SP 52 ter – in questo caso proprio raccogliendo una delle proposte emerse nel Dibattito Pubblico.

Le ultime due intersezioni rispettivamente ai km 18+250 e km 18+700 rappresentano i due accessi al nucleo storico di Vieste in particolare la sesta intersezione definita “Vieste – Centro Nord” e la settima intersezione definita “Vieste – Centro Sud” entrambe a rotonda in località Fugeredda/Focareta alle porte del centro abitato di Vieste dove terminare l’intervento che si sviluppa all’esterno del perimetro della Zona 1 del Parco Nazionale del Gargano.

Dall’ultimo caposaldo si potrà proseguire per la tratta terminale fino a Mattinata.

In tutto l'itinerario che si appoggia su l'esistente SS 89 la maggior parte degli accessi alle proprietà confinanti con la strada oggi esistenti, vengono ripristinati tramite la realizzazione di viabilità locali di servizio a quella principale.

Le sezioni tipo adottate si rifanno ai minimi di legge previsti dal DM 05/11/2001: "Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade" e dal successivo DM 19/04/2006, in termini di larghezza della piattaforma stradale, pendenze trasversali e dimensione minima degli elementi marginali. Le sezioni utilizzate per le viabilità di progetto sono le seguenti:

- Asse principale: Strada tipo C1 – Extraurbana Secondaria;
- Viabilità di ricucitura di ampiezza sezione trasversale pari a 6.5m;
- Viabilità di ripristino degli accessi "strada podereale" con sezione di 4m.

1.1. GALLERIE OGGETTO DI INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di 8 gallerie naturali monofornice a doppio senso di marcia; la Tabella di seguito riepiloga le denominazioni delle stesse, le progressive di inizio e fine, la lunghezza totale, L_{tot} (comprensiva, quindi, dei tratti in artificiale), la copertura massima, H_{max} .

Id galleria		inizio GA	inizio GN	fine GN	fine GA	L_{tot} (m)	H_{max} (m)
GN01	Padula	0+832	0+870.5	1+580	1+632	800	30
GN02	Costa Vecchia	2+458	2+500	2+700	2+725	267	30
GN03	Colle di Nunzio	3+000	3+035	3+267	3+315	315	22
GN04	Stregone	4+156	4+194	4+782	4+810	654	85
GN05	Moresco	5+030	5+055	5+843	5+878	848	80
GN06	Citrigno	5+980	6+025	6+240	6+330	350	20
GN07	Marzo	8+330	8+385	9+184	9+216	886	90
GN08	Piano Piccolo	14+414	14+500	14+660	14+776	362	22

Tabella 1 – Elenco gallerie e principali caratteristiche geometriche

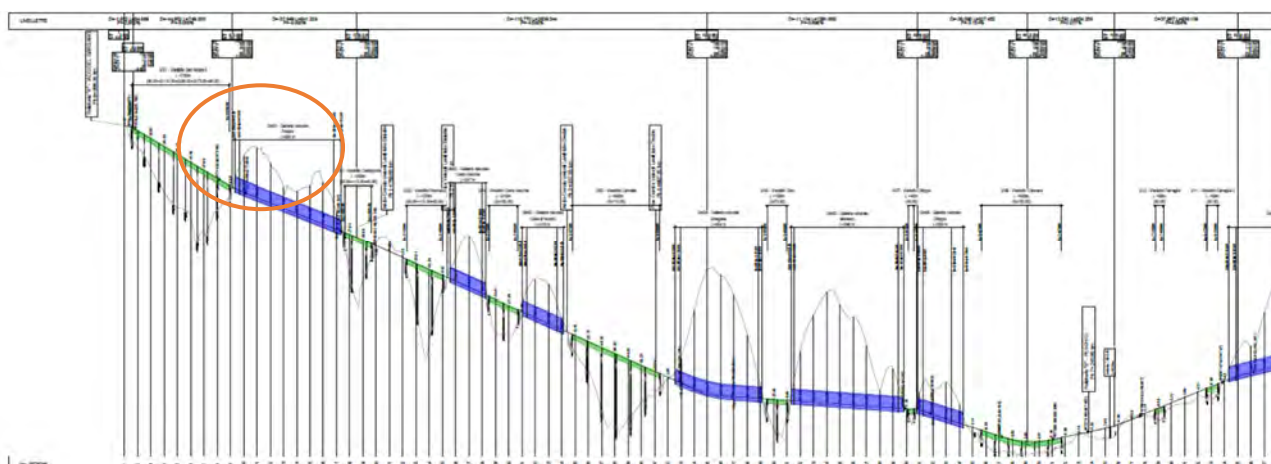


Figura 2 – Profilo di progetto – tratta Vico-Vieste

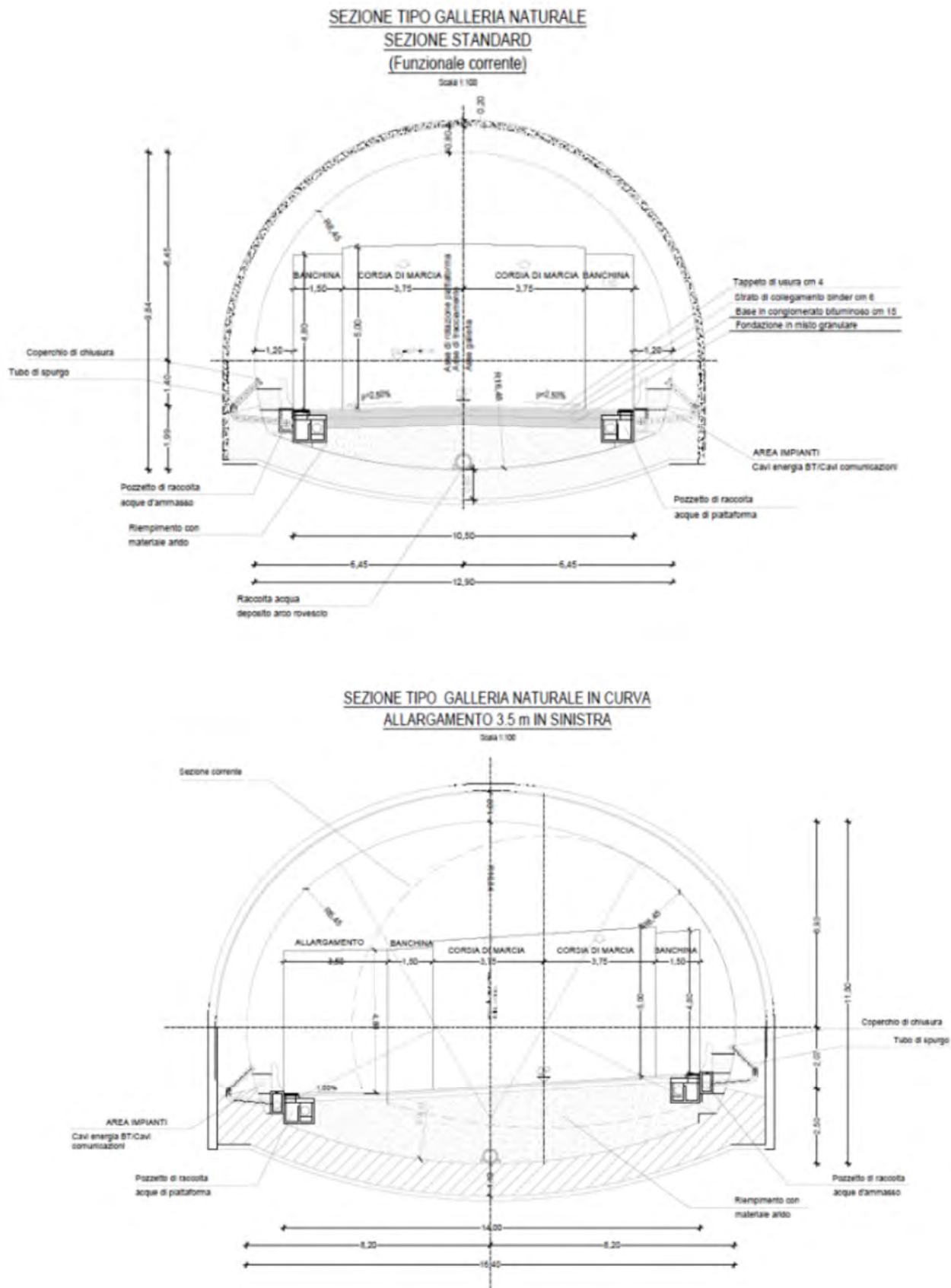


Figura 3 – Sezione tipo corrente e sezione con piazzola di sosta

Le pendenze longitudinali delle gallerie oggetto di intervento, con lunghezza superiore ai 500m, sono di seguito riportate (v. Figura):

- la Galleria Moresco è tutta con pendenza dello 0.698 %;
- la Galleria Stregone presenta una pendenza del 0.698 % tranne che per un tratto di 200 m dove la pendenza è del 4.5 %;
- la Galleria di Marzo presenta una pendenza del 2,5 % tranne che per un tratto di 100 m dove la pendenza è del 4 %;
- la Galleria Padula presenta un'unica pendenza pari al 4%.

La sezione trasversale in galleria è del tipo C1 del DM 5.11.2001, come rappresentato in Figura .

Alle gallerie di lunghezza superiore a 500 m si applicano le linee guida ANAS e pertanto il progetto è stato sviluppato considerato gli apprestamenti previsti dalle Linee Guida come di seguito rappresentato nel Gruppo VI.

Parametri di Sicurezza	Misure	Gruppo VI		Parametri di sicurezza caratteristici delle gallerie di progetto				
		Sistemi di Sicurezza	Requisiti Minimi di Sicurezza	Galleria Padula L=800m	Galleria Stregone L= 654 m	Galleria Moresco L= 848 m	Galleria di Marzo L= 886 m	
Bidirezionale VT ≤ 2000 [Veic/corsia] L (500 - 1000) [m]	Misure Strutturali		Dislivelli <5%	p ≤ 4.000%	0,698% ≤ p ≤ 4.500%	p ≤ 0,698%	2,500% ≤ p ≤ 4,056%	
			Banchine pedonabili di emergenza	Banchine laterali a raso larghe 1,50 m				
			Attraversamento spartitraffico imbrocchi	Strada a singola carreggiata (nessun spartitraffico presente)				
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici	Presente Pozzetti tagliafiamma e dispositivi per il trattamento di liquidi infiammabili e tossici				
		Resistenza al fuoco delle strutture	Secondo normativa vigente					
	Misure Impiantistiche	Illuminazione		Illuminazione Ordinaria	Presente con tecnologia a LED			
				Illuminazione Sicurezza	Presente con tecnologia a LED			
				Illuminazione Emergenza	Presente con tecnologia a LED sul lato delle uscite di emergenza			
		Comunicazione		Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite	Presente			
				Messaggi radio agli utenti	Presente			
				Stazioni di emergenza	Presente agli imbrocchi e ad una interdistanza ≤ 150 m Dotazione: Pulsante di allarme, idrante, 2 estintori (polvere e schiumogeno), un telefono SOS			
		Rilevazione		Rilevamento automatico incidenti	Impianto di TVCC per la rilevazione automatica degli incidenti			
				Rilevamento automatico incendi	Presente			
				Telecamere	Impianto TVCC con telecamere ogni 150 m			
		Gestione Incendio		Estintori	Presenti agli imbrocchi e ad una interdistanza ≤ 150 m nelle Stazioni di emergenza			
				Erogazione idrica	Presente con idranti			
				Idranti ogni 250 m	Presenti agli imbrocchi e ad una interdistanza ≤ 150 m nelle Stazioni di emergenza			
	Gestione Traffico		Segnaletica stradale	Presente				
		Alimentazione Elettrica		Alimentazione elettrica Ordinaria	Presente cabina per ogni galleria con n°2 trasformatori MT/BT			
			Alimentazione elettrica di Emergenza	Presente Gruppo elettrogeno + Gruppo di continuità (UPS)				
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza	Conforme alla Norma Tecnica vigente				

Tabella 2 – Gruppo VI – Dotazioni di sicurezza

3 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi è stata svolta per la sola galleria Padula, ritenuta potenzialmente più vulnerabile delle altre gallerie.

L'analisi del rischio ha l'obiettivo di fornire il livello di sicurezza della galleria in termini quantitativi, rappresentato graficamente con curva di rischio cumulato complementare sul piano FN (curva FN) e quantificato con il Valore Atteso del Danno (VAD).

L'analisi di rischio è stata svolta secondo i criteri specificati nel Decreto Legislativo 264/06, assunto a riferimento tecnico sebbene di valore non cogente per la galleria in esame.

Per valutarne le diverse prestazioni di rischio in esercizio, l'analisi ha considerato le seguenti diverse configurazioni di galleria:

- A. Galleria in configurazione di Progetto (di seguito "Configurazione di PFTE")
- B. Galleria "virtuale".

Con il termine di galleria "virtuale" al punto "B" in elenco s'intende una galleria dotata di tutti i requisiti minimi di sicurezza di normativa cogente per il caso in esame, mutuando la terminologia adottata dal D.Lgs 264/2006¹.

In particolare, si considerano applicabili i requisiti di sicurezza di norma cogente sulla rete stradale generale, non TERN, quali il D.Lgs 30 Aprile 1992 n.285 "Nuovo Codice della Strada", il DPR 16 dicembre 1992 "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada", il DM 5.6.2001 "Sicurezza nelle gallerie stradali", il DM 5.11.2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", il DM 14.09.2005 "Norme di illuminazione delle gallerie stradali".

L'analisi di rischio è stata svolta con riferimento alle condizioni di traffico previsto di lungo periodo (anno 2045).

L'analisi è stata svolta con il codice di calcolo PIARC DG QRAM 4.04. Tenuto conto dei limiti del software DG QRAM nella rappresentazione degli scenari d'incendio ordinario, l'analisi proposta ha valore di analisi di supporto alle decisioni progettuali, preliminare rispetto allo sviluppo di successivi approfondimenti nell'ambito dell'avanzamento del progetto.

La relazione illustra i dati ed i parametri adottati nell'analisi di rischio ed i risultati ottenuti, con la valutazione del rischio nelle diverse configurazioni esaminate secondo il criterio presentato dal D.Lgs 264/2006.

¹ Nell'Allegato 1 al D.Lgs 264/2006 viene definita "galleria virtuale" la "Galleria che possiede tutte le misure di sicurezza corrispondenti ai requisiti minimi obbligatori previsti dall'ALLEGATO 2 non affette da malfunzionamento".

4 DOCUMENTAZIONE ACQUISITA ED ESAMINATA

L’analisi è stata svolta sulla base dei dati contenuti nei seguenti documenti, nonché delle ipotesi condivise con il Committente:

- “Relazione illustrativa e tecnica” (cod.: T00-EG00-GEN-RE02-A);
- “Progetto di fattibilità tecnica ed economica, Studio di traffico e Analisi costi benefici” (cod.: T00-EG00-GEN-RE03-A);
- “Planimetria e profilo di progetto tratto Vico del Gargano-Vieste” (cod.: T00-EG02-GEN-PL01-A);
- “GALLERIE NATURALI - Sezioni di carpenteria” (cod.: T00-GN01-OST-SZ04-A);
- “Opere di drenaggio e presidio del corpo stradale - Elementi di drenaggio - Opere tipo e particolari galleria” (cod.: T00-ID01-IDR-DT02-A);
- “Relazione descrittiva generale impianti tecnologici elettrici”. (cod.: T00-IM00-IMP-RE01-A);
- “Impianti galleria - Indicazione impianti tecnologici previsti” (cod.: T00-IM00-IMP-DIO1-A).

5 CARATTERISTICHE DELLA GALLERIA PADULA

La galleria Padula è una galleria a singolo fornice bidirezionale, di lunghezza pari a 800m.

La galleria ha una sezione trasversale policentrica. La sezione stradale adottata è del tipo “C1” delle norme funzionali e geometriche di cui al D.M. 05.11.2001, pertanto la piattaforma ha larghezza totale di 10,50m, organizzata con 2 corsie di marcia di larghezza 3,75m e banchine laterali di larghezza 1,50m.

Ai margini della piattaforma sono previsti dei profili redirettivi (v. *Figura*).

Sulle banchine è previsto un franco verticale minimo di 4,80 m, mentre sulla carreggiata il franco disponibile è superiore a 5,00 m.

Il progetto prevede la realizzazione di 2 piazzole di sosta in galleria, disposte a quinconce.

La sezione libera del vano di traffico è di circa 83m², con perimetro idraulico di 37m.

Il sistema di drenaggio dei liquidi di piattaforma (acque nere) sarà realizzato mediante l’adozione di pozzetti sifonati con funzione tagliafiamma, posti ai margini di piattaforma ogni 50 m.

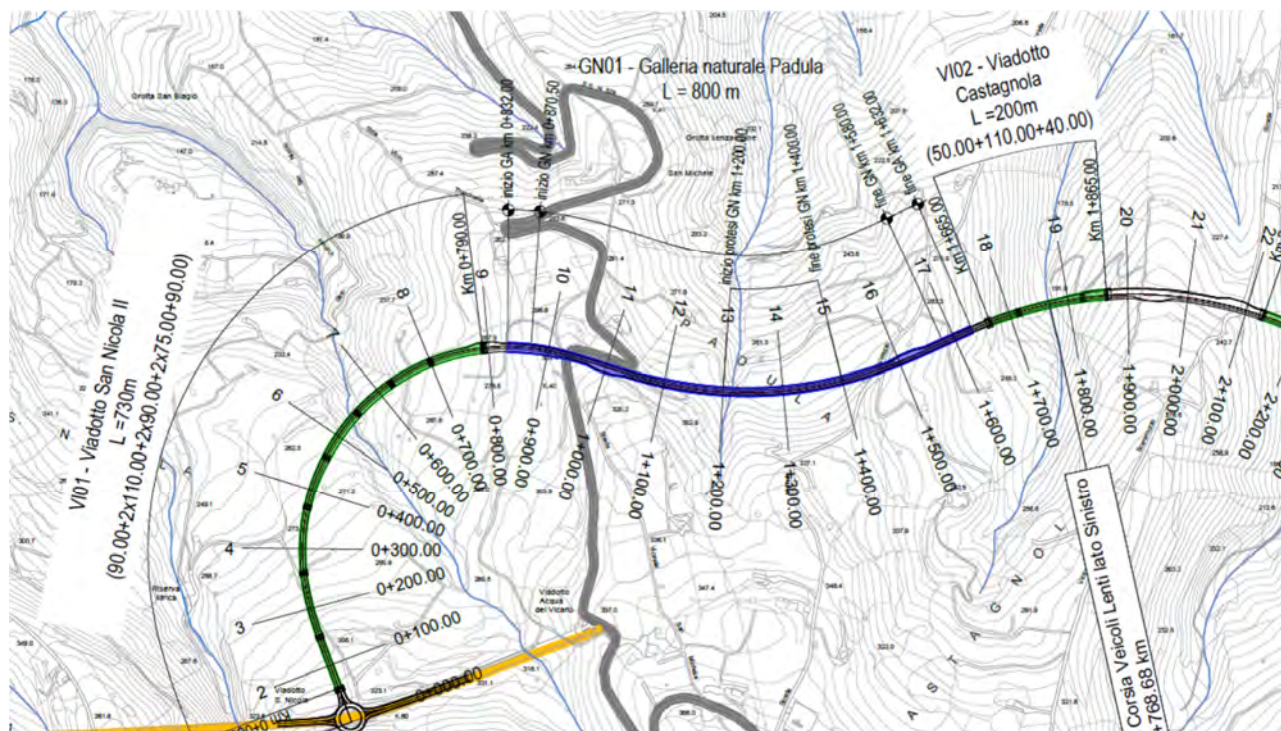


Figura 4 – Planimetria semi tratta galleria Padula - T00-PS01-TRA-PF01-A



Figura 5 – Planimetria galleria Padula - T00-PS01-TRA-PF01-A_plano-profilo-progetto.pdf

Dal punto di vista planimetrico, seguendo il verso delle progressive crescenti (in direzione Peschici/Vieste) il tracciato della galleria Padula presenta l'imbocco in curva destrorsa ($R = 340$ m), seguita da un flesso planimetrico e da una curva in sinistra ($R = 650$ m), cui segue un flesso planimetrico presso lo sbocco della galleria verso una curva destrorsa sul tratto successivo allo sbocco. Tutte le curve sono collegate mediante raccordi planimetrici (clotoidi).

A circa 800 m dal portale lato Ovest si trova l'intersezione a rotatoria di Vico del Gargano.

Dal punto di vista altimetrico, il tracciato della galleria Padula è integralmente in discesa (v. Figura), con pendenza longitudinale al -4%.

5.2 DOTAZIONI IMPIANTISTICHE PREVISTE A PROGETTO

5.2.1 Configurazione di PFTE

Il progetto prevede per tutte le gallerie con lunghezza compresa tra i 500 e i 1.000 (Padula L=800 m, Stregone L=654 m, Moresco L=848 m e Di Marzo L=886 m) le seguenti dotazioni impiantistiche.

Impianto	Dotazioni previste a Progetto	Tipo di misura
Impianto illuminazione ordinario e di riserva	Previsto (Tipologia a LED)	
Impianto illuminazione di sicurezza (evacuazione)	Previsto (Tipologia a LED)	
stazioni di emergenza SOS	Presenti ogni 150 m con sistema di chiamata (full-duplex) ed estintori	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Impianto idrico antincendio	Presenti idranti ogni 150 m	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Impianto semaforico a tre luci agli imbocchi	Previsto	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Impianto PMV alfanumerico agli imbocchi con pannelli freccia/croce	Previsto	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Segnaletica di emergenza	Prevista	
Impianto rilevazione incendio	Previsto con cavo sensore a fibra ottica	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Impianto TVCC	Previsto con telecamere ogni 150 m in galleria e DOME agli imbocchi	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente
Collegamento al Centro di Controllo Anas (h24)	Previsto	Dotazioni migliorativa eccedente la norma cogente

Di seguito si riporta un estratto dell’elaborato di progetto cod. T00-IM00-IMP-DI01-A (v. Figura).

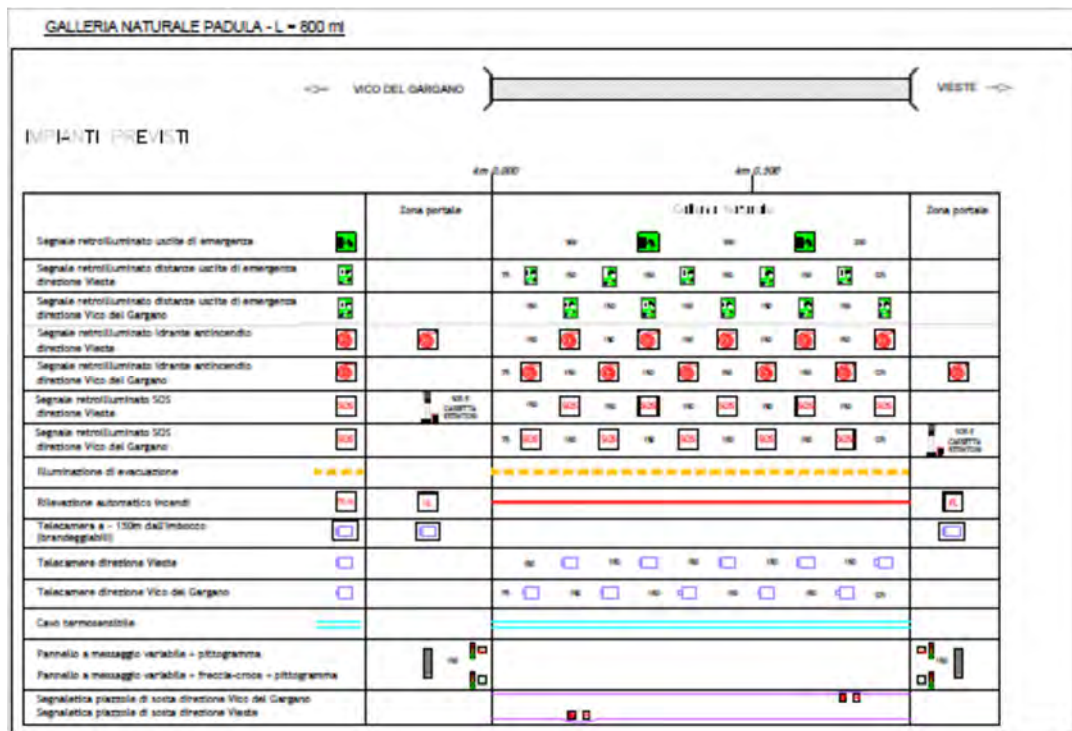


Figura 7: Galleria Padula– Dotazioni Impiantistiche di progetto

La galleria dispone di un impianto di illuminazione, di un sistema di comunicazione con postazioni di chiamata nelle stazioni di emergenza, di un sistema idrico antincendio a servizio del Vigili del Fuoco, di semafori agli imbocchi e di un impianto di comunicazione agli utenti mediante PMV alfanumerico e freccia/croce agli imbocchi, di segnaletica luminosa di sicurezza ed evacuazione, di un sistema di rilevamento lineare d’incendi in galleria, di un sistema di monitoraggio (TVCC) con telecamere a copertura totale del tracciato.

Gli impianti di galleria sono attrezzati per la gestione da Centro di controllo remoto, che nella presente analisi si assume operativo h. 24 (7 giorni su 7).

Tutti gli impianti di sicurezza saranno sottesi ad alimentazione di emergenza.

La galleria in Configurazione di PFTE dispone di una serie di dotazioni impiantistiche integrative rispetto ai requisiti della norma cogente (v. § 3) nonché rispetto ai requisiti minimi di sicurezza previsti anche per le gallerie della rete TERN (v. D.Lgs 264/2006, non cogente nel caso in esame) con TGM inferiore ai 2.000 veicoli/giorno corsia, come nel caso in esame.

5.2.2 Galleria virtuale (secondo norma)

Nella configurazione di galleria virtuale, a parità di caratteristiche geometriche, sono stati considerati gli impianti di seguito riportati, richiesti come requisiti di norma cogente nelle gallerie su rete esterna alla rete TERN.

Impianto	Dotazioni previste galleria Virtuale	Tipo di misura
Impianto illuminazione ordinario e di riserva	Previsto (Tipologia a LED)	
Impianto illuminazione di sicurezza	Previsto (Tipologia a LED)	
stazioni di emergenza SOS	assente	
Impianto idrico antincendio	assente	
Impianto semaforico a tre luci agli imbocchi	assente	
Impianto PMV alfanumerico agli imbocchi con pannelli freccia/croce	assente	
Segnaletica di emergenza	Prevista	
Impianto rilevazione incendio	assente	
Impianto TVCC	assente	
Collegamento al Centro di Controllo Anas (h24)	assente	

5.3 VOLUMI DI TRAFFICO

I volumi di traffico relativi alla tratta che comprende la galleria sono stati estratti dallo *Studio di traffico e Analisi costi benefici* del Progetto di fattibilità tecnica ed economica, in termini di TGM di veicoli leggeri e pesanti.

I dati assunti per l’analisi sono riferiti all’orizzonte previsionale del 2045, per lo *Scenario di progetto limitato all’itinerario Vico del Gargano - Vieste*, in cui si considera completato il progetto limitatamente alle tratte 1 e 2, ovvero tra Vico del Gargano e Vieste. La galleria Padula ricade nella “Tratta 1”.

Tabella 2 – Dati previsionali di traffico – Anno 2045

PARAMETRO	CLASSE VEIC.	UdM	TRATTA (ITINERARIO 1)		TOTALE
			1	2	
Lunghezza	-	Km	7,3	2,6	9,9
TGMA	Leggeri	veic/g	1.890	2.851	2.144
	Pesanti	veic/g	27	29	27
	Totale	veic/g	1.917	2.880	2.171

La ripartizione del traffico nei due versi di marcia viene considerata equilibrata.

L’analisi di rischio è stata svolta con riferimento al TGM stimato di:

- 1.917 veicoli/giorno (bidirezionali);
- 959 veicoli/giorno per direzione.

5.4 DISTRIBUZIONE ORARIA DEL TRAFFICO

Ai fini della rappresentazione delle oscillazioni orarie del traffico, sono stati assunti dati di rilievo sulla rete stradale dell’area di studio, dalla Relazione di *Studio di traffico e Analisi costi benefici*.

In particolare, è stato assunto il profilo orario del traffico (veicoli totali) nel giorno feriale medio del II trimestre (periodo 2015-2019) da dati di rilievo della postazione di conteggio 292 sulla SS89 (Peschici – Vieste).

Questo profilo orario, infatti, è indicato in relazione come una *buona approssimazione delle condizioni di utilizzo prevalente dell’asse stradale oggetto di intervento nel corso dell’intera annualità*, dal momento che i valori rilevati non si discostano in maniera significativa dai valori del traffico giornaliero medio annuo.

Il profilo orario di traffico di riferimento è rappresentato in Figura 83.

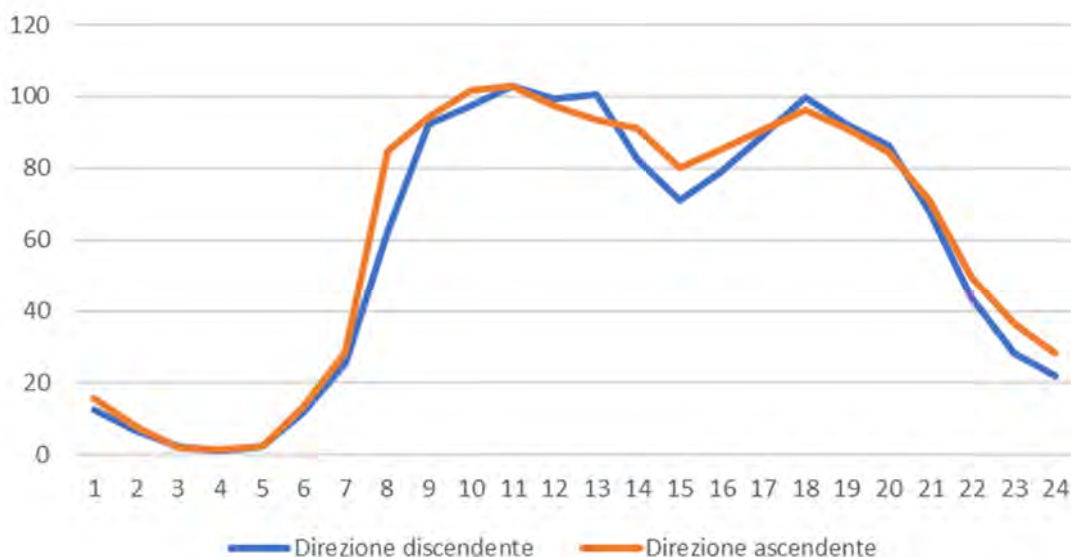


Figura 83– Variazione giornaliera del traffico (periodo 2015-2019).

Dalla figura risulta un volume di traffico totale piuttosto uniforme nelle ore diurne (h. 8.00 – 21.00) e molto inferiore nelle ore notturne. Le punte di traffico si registrano tra le 10.00 e le 14.00 ed alle 18.00, in misura di poco superiore al 7% del traffico totale giornaliero.

5.5 SPETTRO DI TRAFFICO

Dai dati previsionali di 5.3 risulta una frazione di veicoli pesanti (VP) sul traffico pari a:

$$(27 \text{ VP/giorno}) / (1.917 \text{ veicoli/giorno}) = 0,0141$$

corrispondente al 1,41% di VP.

Per quanto riguarda il numero di autobus circolanti sulla tratta stradale, non essendo disponibili a oggi dati specifici, l'analisi ha considerato una presenza di bus pari al 2,9% del traffico di VP³.

Pertanto, ai fini del calcolo del rischio, la ripartizione dei veicoli transitanti nella galleria risulta così distribuita:

- Veicoli leggeri: 98,59%;
- Veicoli pesanti (esclusi Bus): 1,37%;
- Autobus: 0,04%.

5.5.1 Dati di traffico ADR

Nell'anno 2015 il Politecnico di Milano ha concluso uno studio sul trasporto Merci Pericolose nel Nord Italia che, in condivisione con la concessionaria si è ritenuto rappresentativo in assenza di rilievi da parte della concessionaria stessa.

Lo studio, denominato PROGETTO DESTINATION, è stato svolto mediante una serie diffusa di rilievi di traffico svolti in prossimità dei principali nodi di transito STRADALE / del Nord Italia con la finalità di rilevare i transiti di veicoli adibiti al trasporto merci pericolose ADR⁴

A seguito della campagna di indagine, è stato possibile stimare la percentuale di veicoli ADR e la ripartizione della tipologia di merce trasportata sul totale dei rilievi effettuati. Questi dati sono stati assunti a riferimento per l'analisi.

5.5.1.1 Merci pericolose - % sul traffico

- 0,62 % sul traffico totale.

Per valutare dell'opportunità di adottare dati di letteratura al caso specifico in esame, è stata svolta una ricognizione sui siti a rischio di incidente rilevante ai sensi del D.Lgs 105/2015 (fonte: ISPRA), da cui risulta che nella Provincia di Foggia sono presenti 5 siti a rischio di incidente rilevante che trattano materie pericolose (gas infiammabile GPL e materiali esplosivi o pirotecnici). Tuttavia, la loro localizzazione lascia ritenere che non comportino significative interferenze sull'area oggetto dell'intervento di progetto, tanto da poter ritenere validi (in assenza di dati locali) un dato medio di letteratura.

³ Valore medio della % di Bus presenti nella mix di traffico di "Strade extraurbane secondarie" secondo il CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche – BU 178/95 "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali".

⁴ ADR - acronimo di European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, è l'accordo europeo relativo ai trasporti internazionali di merci pericolose su strada, firmato a Ginevra il 30 settembre 1957 e ratificato in Italia con legge 12 agosto 1962 n. 1839.



Inventario Seveso D.Lgs. 105/2015

Notifica	Codice Univoco	Soglia	Ragione Sociale	Attività	Regione Stabilimento	Provincia Stabilimento	Comune Stabilimento
Notifica Pubblica DR007		D.Lgs 105/2015 Stabilimento di Soglia Inferiore	CI.BAR.GAS S.R.L.	(14) Stoccaggio di GPL	PUGLIA	FOGGIA	CERIGNOLA
Notifica Pubblica NR017		D.Lgs 105/2015 Stabilimento di Soglia Superiore	ULTRAGAS C.M. S.P.A.	(13) Produzione, imbottigliamento e distribuzione all'ingrosso di gas di petrolio liquefatto (GPL)	PUGLIA	FOGGIA	FOGGIA
Notifica Pubblica NR039		D.Lgs 105/2015 Stabilimento di Soglia Inferiore	MES S.P.A.	(11) Produzione, distruzione e stoccaggio di esplosivi	PUGLIA	FOGGIA	SAN GIOVANNI ROTONDO
Notifica Pubblica NR077		D.Lgs 105/2015 Stabilimento di Soglia Inferiore	GARGANDGAS SRL	(14) Stoccaggio di GPL	PUGLIA	FOGGIA	SAN NICANDRO GARGANICO
Notifica Pubblica NR079		D.Lgs 105/2015 Stabilimento di Soglia Inferiore	STAR COMET FIREWORKS S.R.L.	(12) Produzione e stoccaggio di articoli pirotecnici	PUGLIA	FOGGIA	SAN SEVERO

Figura 9– Siti a rischio d’incidente rilevante (ISPRa)

Si rileva, infine, che l’aver assunto un dato medio di frazione di merci pericolose sul totale dei veicoli definito da letteratura sulla tratta in esame, in cui si stima una presenza di veicoli pesanti molto più bassa della media, porta a considerare una elevata frazione di veicoli trasportanti merci pericolose sulla componente di veicoli pesanti. Questo approccio ha comunque valore cautelativo.

5.5.1.2 Merci pericolose - % sulla tipologia di merce trasportata

In Figura 0 è riportato il numero di rilevamenti totali nell’area interessata dallo studio per le 10 sostanze più transitate e la percentuale sul totale dei transiti di queste sostanze e sul totale dei transiti rilevati di veicoli trasportanti merci pericolose.

Si osserva che benzina, gasolio e GPL occupano rispettivamente le prime tre posizioni in termini di numero di transiti.

Ripartizione veicoli - spettro di traffico					
Pr.	K-ONU	Materiale	transiti	% (su 10 maggiori transiti)	% (sul totale dei transiti ADR)
1	33-1203	Benzina	198.203	38,83%	29,44%
2	30-1202	Carburante diesel o gasolio o olio da ri	105.066	20,58%	15,60%
3	23-1965	Idrocarburi gassosi in miscela	90.525	17,74%	13,44%
4	90-3082	Materia inquinante per l’ambiente	3.526	0,69%	0,52%
5	22-1977	Azoto liquido refrigerato	30.157	5,91%	4,48%
6	99-3257	Liquido trasportato a caldo, n.a.s.	25.907	5,08%	3,85%
7	225-1073	Ossigeno liquido refrigerato	23.034	4,51%	3,42%
8	30-1863	Carburante per motori a turbina	17.256	3,38%	2,56%
9	80-1830	Acido solforico	8.622	1,69%	1,28%
10	22-2187	Diossido di carbonio liquido refrigerato	8.124	1,59%	1,21%
Totale 10 maggiori transiti			510.420	100,00%	75,80%
Totale ADR			673.353		

Figura 10 – Rilevamenti 10 sostanze più transitate nell’area di rilevamento – Anno 2015.

5.6 INCIDENTALITÀ

Non sono disponibili dati storici d’incidentalità.

L’analisi di rischio è stata svolta assumendo i risultati di una analisi d’incidentalità previsionale (sviluppata nel capitolo 6).

5.7 REGIME DI CIRCOLAZIONE

La galleria è progettata su strada extraurbana secondaria, percorsa da traffico bidirezionale, su una corsia per senso di marcia.

La galleria viene considerata soggetta a limite di velocità generalizzato per strade le extraurbane secondarie di 90 km/h (art. 142 del Codice della strada).

Non vengono considerate ulteriori limitazioni al traffico.

5.8 CONDIZIONI AMBIENTALI E VENTILAZIONE DELLA GALLERIA

Per lo sviluppo dell’analisi sono stati acquisiti dati meteorologici per il Comune di Vico del Gargano, prossimo al sito di realizzazione della galleria.

In assenza di stazioni di rilievo meteo sul posto, sono stati adottati dati stimati mediante modelli climatici meteorologici calibrati localmente sulla base delle stazioni di rilievo presenti in prossimità del luogo di simulazione, tra cui si richiama la stazione di rilievo di Monte S. Angelo, distante 22 km da Vico del Gargano.

In Figura 4 è rappresentato l’andamento nelle temperature minime e massime mensili e l’entità delle precipitazioni nel mese. Le temperature oscillano nell’anno tra 1°C e 30°C.

Nell’analisi è stata considerata una temperatura ambientale media di riferimento di 18°C.

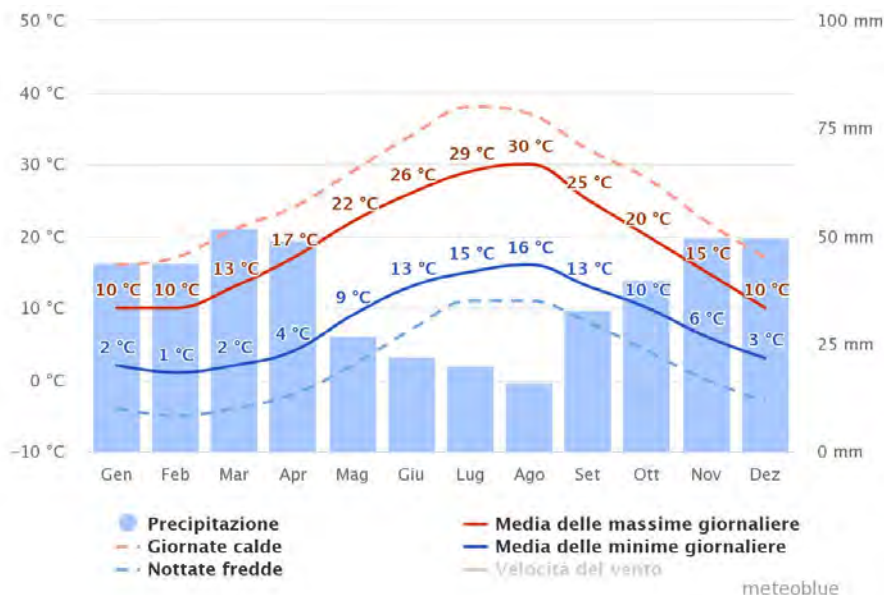


Figura 41 – Temperatura ambiente – Vico del Gargano (stima)

In Figura 5 è rappresentato un dettaglio relativo alle precipitazioni atmosferiche, per numero di giorni al mese in cui si manifesta pioggia o diverse condizioni ambientali, nonché il numero di giorni di pioggia con la corrispondente misura di entità delle precipitazioni. Non si rileva una significativa presenza di precipitazioni nevose.

Analisi di Rischio comparativa

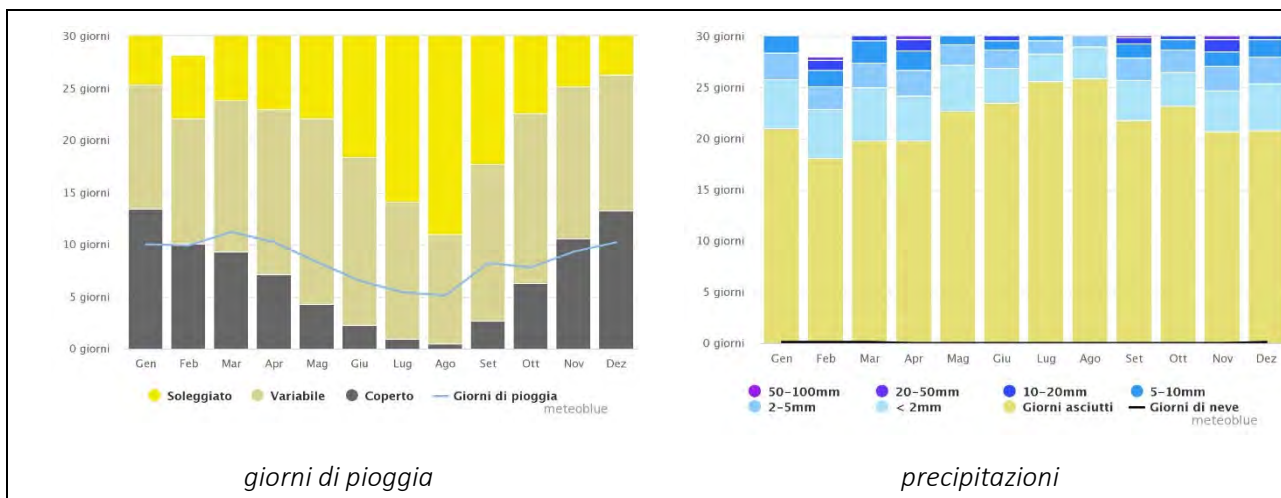
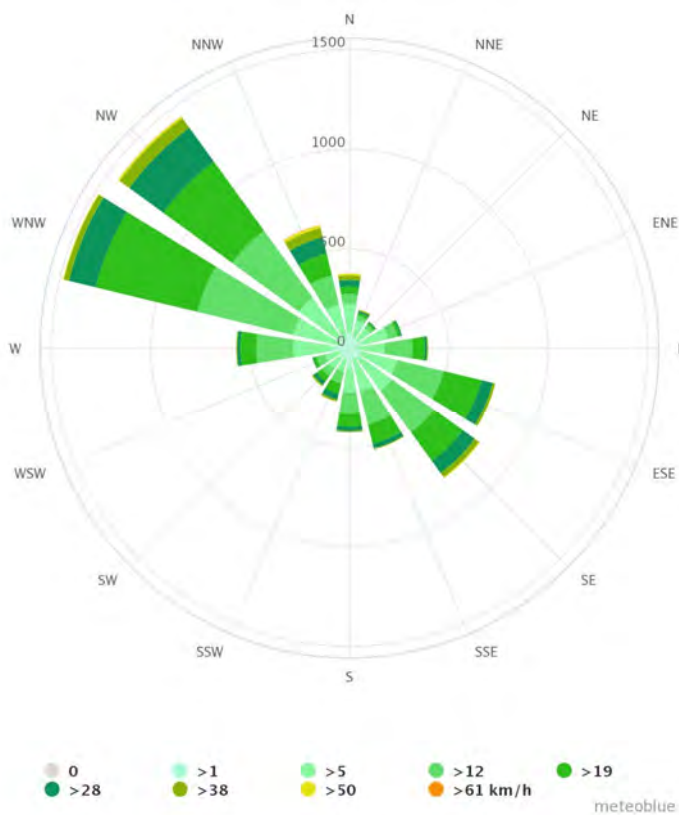


Figura 52 – Precipitazioni – Vico del Gargano (stima)

In Figura è rappresentata la rosa dei venti, in cui è rappresentato su diagramma polare il numero di giorni stimati per ogni verso e classe di velocità del vento.

Dal diagramma emerge che la direzione prevalente del vento è proveniente da Ovest - Nord Ovest / Ovest (WNW/NW), o specularmente da Sud Est / Est - Sud Est / Sud Est (SE/ESE), rispettivamente per 2.925 e 1.566 ore/anno (totali 4.191 h/anno, corrispondenti al 51% del totale), con velocità media del vento intorno a 5 m/s e velocità di 95° percentile⁵ intorno a 6,5 ÷ 7,0 m/s.



⁵ Valore di velocità superato solo nel 5% dei casi.

Figura 13– Rosa dei venti – Vico del Gargano (stima)

Ai fini dell’analisi di rischio, l’azione del vento incidente sui portali è stata considerata come una sovrappressione applicata sul portale sulla base di quanto indicato in letteratura⁶, assumendo il vento in direzione:

- incidente sui due portali della galleria in analisi, con la frequenza corrispondente al numero di ore sopra indicato;
- una velocità di 7 m/s;
- inclinazione di circa 30° rispetto all’asse della galleria⁷.

Da questi assunti è stata calcolata una sovrappressione di riferimento sui due portali di pari intensità e pari a circa 12Pa.

Si è, inoltre, voluto tener conto delle oscillazioni di gradiente barometrico tra i portali indotto da variazioni di pressione sui due versanti del rilievo attraversato dalla galleria. Questo è stato stimato indicativamente, sulla base di dati di letteratura (CETU) nella misura di circa 5Pa, di entità modesta giustificata dal limitato sviluppo della galleria e dalla ridotta copertura, nonché dalla configurazione orografica del rilievo.

Considerato che questo effetto di gradiente barometrico può alternativamente sovrapporsi o opporsi alla sovrappressione di origine anemometrica, si è assunta cautelativamente una sovrapposizione che approssima il gradiente di pressione massimo a $12 + 5 = 17\text{Pa} \cong 20\text{Pa}$.

Ai fini dell’analisi di rischio sono state considerate le seguenti condizioni di gradiente barometrico:

- 20Pa applicati al portale di “monte” (Ovest, lato Vico del Gargano), con probabilità del 33%;
- 20Pa applicati al portale di “valle” (Est, lato Peschici/Vieste), con probabilità del 18%;
- 0Pa (equilibrio di pressione), con probabilità del 49%.

⁶ PIARC, Committee on Road Tunnels Operation (C3.3) “Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels”, 2007.

⁷ L’effetto del vento viene valutato come sovrappressione tra i portali con la formula:

$$P_{\text{vento}} = 0.5 \cdot \varepsilon_{\text{vento}} \cdot \rho \cdot u_{\text{vento}}^2$$

dove “ ρ ” è la densità dell’aria, “ u ” è la velocità del vento (in modulo) e “ $\varepsilon_{\text{vento}}$ ” è un coefficiente funzione dell’angolo di inclinazione della direzione del vento rispetto all’asse longitudinale del tunnel sul piano orizzontale e della configurazione del portale della galleria, che assume indicativamente valore di 0,2 con inclinazione del vento di 25° ÷ 45° rispetto all’asse longitudinale della galleria, come nei casi in esame.

6 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI E ANALISI PROBABILISTICA

Nello sviluppo dell'analisi di rischio è necessario stimare la frequenza di accadimento di scenari tipici di eventi critici rappresentativi del caso in esame.

La stima della probabilità che si verifichino gli scenari individuati per la Galleria Padula deriva dalla combinazione delle frequenze di accadimento degli eventi iniziatori all'interno dell'infrastruttura e delle probabilità di accadimento dei singoli scenari.

I dati utilizzati per determinare l'albero degli eventi connesso agli scenari rappresentativi per la Galleria Padula provengono dall'insieme dei riferimenti forniti dal Committente, dalle Linee Guida ANAS o estrapolati da documentazione di letteratura tecnica internazionale.

6.1 TASSO DI GUASTI

In assenza di dati storici relativi a guasti avvenuti in galleria si è fatto ricorso a modelli previsionali.

Fonti di letteratura PIARC offrono un modello previsionale del tasso di guasto meccanico ai veicoli in gallerie stradali in funzione della pendenza longitudinale (p) del tracciato stradale:

$$T_g = (93 \times p + 290) \times 10^{-8} \text{ veic. km}$$

Nelle gallerie bidirezionali, percorse in entrambi i versi di marcia, si considera il tasso medio tra i due tassi calcolati per i due versi di marcia.

Nel caso specifico risulta:

$$T_{g \text{ discesa}} = 48 \times 10^{-8} \text{ guasti/veic.km};$$

$$T_{g \text{ salita}} = 662 \times 10^{-8} \text{ guasti/veic.km};$$

da cui il valore medio

$$T_g = 355 \times 10^{-8} \text{ guasti/veic.km};$$

cui corrispondono, con riferimento ai dati di traffico di cui al § 5.3:

$$1,99 \text{ guasti/anno totali};$$

$$0,03 \text{ guasti/anno di VP.}$$

6.2 TASSO DI INCIDENTI

I dati di incidentalità sono alla base della stima della frequenza attesa degli scenari critici analizzati dall'analisi di rischio.

In particolare, la frequenza di incidenti viene stimata per:

- caratterizzare il fenomeno dell'incidentalità;
- stimare la frequenza di eventi critici di sversamento di merci pericolose, comunemente dipendenti da incidenti o, comunque, correlati all'incidentalità secondo letteratura;
- stimare la frequenza della quota parte di incendi conseguente a un incidente.

Nel caso in esame, la stima dei tassi di incidenti è stata svolta mediante l'applicazione di un modello previsionale, trattandosi di galleria di nuova realizzazione.

La stima previsionale dell'incidentalità è stata svolta secondo l'approccio proposto dal Highway Safety Manual (HSM) americano, in base al quale il tasso di incidentalità predetto è esprimibile come prodotto:

$$T_{pre\ detto} = T_{base} \cdot \prod_i CMF_i$$

dove:

T_{base} è il tasso di incidenti "base" definito per una galleria tipo avente caratteristiche geometriche e funzionali equivalenti a quelle della galleria in esame;

CMF_i è l'i-simo fattore correttivo di incidentalità (o "Crash Modification Factor", CMF) che tiene conto della i-sima caratteristica specifica per la galleria in esame e distintiva rispetto alla galleria tipo.

Un modello previsionale per la stima degli incidenti è quello proposto dall'Ufficio Svizzero per la Prevenzione degli Infortuni (UPI)⁸. Questo modello viene assunto per la definizione del T_{base} .

Calcolo del Tasso base (T_{base})

Il valore del numero di incidenti "base" in galleria, espressi in termini di tasso di incidente e numero di incidenti attesi per anno sono i seguenti⁹:

$$T_{base} = 0,09 \text{ incidenti} \cdot 10^{-6} / \text{veicoli} \cdot \text{km};$$

$$N_{base} = 0,05 \text{ incidenti/anno.}$$

Calcolo dei fattori correttivi di incidentalità (CMF_i)

Come fattori correttivi di incidentalità (CMF) per il caso in esame si è tenuto conto di un CMF finalizzato a valorizzare la presenza di una pendenza longitudinale accentuata.

Allo scopo è stato adottato il seguente CMF:

CMF_{pend} il CMF tiene conto della pendenza in galleria mediante la seguente relazione di letteratura¹⁰

$$CMF_{pend} = e^{(p\% - 2)0,081}$$

Essendo "p" la pendenza longitudinale della galleria (4%).

Dal calcolo risulta:

$$CMF_{dev} = 1,176.$$

Calcolo del Tasso predetto ($T_{predetto}$)

⁸ Salvisberg, U., Allenbach, R., Hubacher, M., Cavegn, M. & Siegrist, S. (2004), "Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes", Report n. 51, Swiss office for accident prevention, UPI, Bern.

⁹ Considerato che la frazione di veicoli pesanti in galleria (%VP) è inferiore rispetto al valore minimo presente nel campione statistico adottato per la creazione del modello UPI (2,5%), la stima è stata svolta assumendo come %VP il valore di 2,5% > 1,4% previsto in galleria. Questo approccio ha valore cautelativo.

¹⁰ Norwegian Public Roads Administration, "Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels", August 2012.

I risultati dell’incidentalità predetta in galleria, espressi in termini di tasso di incidente e numero di incidenti attesi per anno, sono i seguenti:

$$T_{\text{predetto}} = T_{\text{base}} \cdot CMF_{\text{pend}} = 0,11 \text{ incidenti} \cdot 10^{-6} / \text{veicoli} \cdot \text{km};$$

$$N_{\text{predetto}} = 0,06 \text{ incidenti/anno.}$$

A titolo di riferimento, le Linee guida ANAS¹¹ per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali del 2009 pubblicano i seguenti dati di riferimento, per gallerie extraurbane bidirezionali:

- Incidenti con soli danni materiali: 20-100 incidenti per 10⁸ veicoli/km;
- Incidenti con danni alle persone: 0-20 incidenti per 10⁸ veicoli/km;
- Feriti: 0-20 incidenti per 10⁸ veicoli/km;
- Morti: 0-2 incidenti per 10⁸ veicoli/km.

Da questi dati risulta che il tasso di incidenti di tutti i tipi in galleria varia nell’intervallo 0,20-1,20 incidenti per 10⁶ veicoli/km.

Nel caso specifico risulta che il tasso d’incidentalità stimato in galleria risulta inferiore al limite inferiore dell’intervallo di riferimento, prevalentemente in virtù del modesto volume di traffico che impegnerà la galleria.

6.3 TASSI DI INCIDENTALITÀ ADR

Il tasso di incidentalità stimato nel paragrafo precedente è riferito alla totalità dei veicoli (leggeri e pesanti).

La maggior attenzione alla guida degli operatori del trasporto merci pericolose e l’adozione di sistemi ed equipaggiamenti finalizzati alla sicurezza di tale attività (abilitazioni specifiche del conducente), possono determinare una riduzione del tasso di incidentalità del traffico ADR.

Nonostante ciò, per la presente analisi di rischio non è stato adottato alcun fattore di riduzione del tasso di incidentalità dei veicoli ADR, secondo un approccio cautelativo.

6.4 TASSO DI INCENDI

La frequenza di incendi viene stimata mediante l’applicazione di strutture di albero degli eventi a partire dagli eventi iniziatori “guasto” o “incidente”, descritte nel seguito.

I presupposti assunti alla base della stima degli incendi sono i seguenti:

- solo una parte modesta degli incidenti evolve in un incendio; nell’analisi si è assunta una percentuale del 5% indicata dalle Linee Guida ANAS del 2009;
- parte degli incendi deriva da guasti ai veicoli; nell’analisi si è assunta una percentuale del 0,99% indicata da rilevazioni svolte sulla rete autostradale svizzera nell’anno 2014¹². Questo dato risulta

¹¹ ANAS S.p.A., “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente”, Circolare n° 179431/2009

¹² Rattei G., Lentz A., Kohl B. “How frequent are fires in tunnels – Analysis from Austrian Tunnel Accident Statistics”, 7thInternational Conference ‘Tunnel Safety and Ventilation’ 2014, Graz.

concorde e cautelativo rispetto all’indicazione “di massima” riportata in letteratura secondo cui si ha un incendio ogni 100-500 guasti¹³.

Da queste valutazioni risultano i seguenti tassi di incendio:

- $T_{\text{fire-self}} = 3,52 \cdot 10^{-8}$ incendi/veicoli·km;
- $T_{\text{fire-acc}} = 0,53 \cdot 10^{-8}$ incendi/veicoli·km;
- $T_{\text{fire-totale}} = 4,05 \cdot 10^{-8}$ incendi/veicoli·km;

Si nota che il tasso di incendi complessivo stimato in galleria è prevalentemente dovuto a guasti, coerentemente con quanto risulta anche da statistiche internazionali sull’incidentalità nelle gallerie stradali.

A titolo di riferimento, la guida del CETU allo Studio Specifico dei Rischi¹⁴ propone, a fronte dei limiti delle fonti statistiche disponibili, che le frequenze degli incendi siano calcolate a partire dai tassi tipici di incendio (senza distinzione di causa) riportati in Tabella

	Minimo	Massimo	Fuori norma
Veicoli Leggeri	2	2	2
Mezzi pesanti e autocarri	1,5	4,5	13,5
<i>Di cui incendi non domati</i>	<i>0,5</i>	<i>1,5</i>	<i>4,5</i>

Tabella 3: Tassi tipici di incendio in galleria per 108 veic.km (fonte CETU)

Per i veicoli leggeri, il tasso non dipende dalla natura della galleria, contrariamente al tasso d’incendi di automezzi pesanti.

Nel caso specifico risulta un tasso di incendi stimato congruente con i dati di riferimento CETU, all’interno dell’intervallo di riferimento $1,5 \div 4,5 \cdot 10^{-8}$ incendi/veic.km.

Gli incendi attesi sono stati considerati equidistribuiti lungo la galleria. Nel computo degli incendi derivanti da guasto sono stati scorporati quelli attesi negli ultimi 200m in prossimità dello sbocco della galleria, assumendo che il conducente sia in grado di portare il veicolo all’esterno dell’opera, secondo le indicazioni del CETU.

6.4.1 Scenari incidentali rappresentativi

L’analisi di rischio non ha come obiettivo quello di analizzare tutti i possibili scenari di eventi che possono accadere in galleria ma bensì gli eventi più rappresentativi, potenzialmente critici nell’ambiente confinato della galleria, la cui analisi consenta di mettere in evidenza l’idoneità delle dotazioni di cui dispone la galleria per garantire un livello accettabile di sicurezza.

Di contro, gli eventi riguardanti incidenti stradali senza conseguenze aggravanti, per i quali l’ambiente confinato della galleria non comporta un incremento della gravità delle conseguenze stesse, richiedono soltanto attrezzature e un’organizzazione in grado di gestire il traffico in queste situazioni (videosorveglianza, colonnine SOS, sistemi di chiusura della galleria al transito veicolare, piani di intervento delle squadre di

¹³ NCHRP Synthesis 415, “Design Fires in Road Tunnels, A Synthesis of Highway Practice”, Transportation Research Board, Washington D.C. 2011.

¹⁴ CETU, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers – Fascicule 4 : Les études spécifiques des dangers (ESD), Septembre 2003.

servizio e di soccorso) così da evitare l'accadimento di eventi critici secondari, e non sono pertanto da comprendere nella stima del rischio.

Gli eventi maggiormente significativi in termini di potenziali conseguenze che possono verificarsi all'interno delle gallerie sono costituiti dall'evento incendio e dagli eventi coinvolgenti merci pericolose. In relazione a queste due tipologie di eventi vengono condotte le analisi successive, che non fanno pertanto riferimento a incidenti stradali le cui conseguenze non risultino aggravate dall'ambiente confinato delle gallerie, in accordo con le finalità ultime dell'analisi di rischio.

Gli scenari assunti come significativi sono quelli riportati di seguito in Figura 6.

id.	Descrizione	Capacità serbatoio	Dimensioni foro [mm]	Flusso di massa [kg/s]
1	Incendio VP da 30 MW	-	-	-
2	Incendio VP da 100 MW	-	-	-
3	BLEVE da LPG (gas infiammabile) in bombole (*)	50 kg	-	-
4	"Pool fire" da combustibile liquido (benzina) (*)	28 t	100	20.6
5	VCE da combustibile liquido (benzina) (*)	28 t	100	20.6
6	Rilascio di cloro (gas tossico)	20 t	50	45
7	BLEVE da LPG in serbatoio (*)	18 t	-	-
8	VCE da LPG in serbatoio (*)	18 t	50	36
9	"Torch fire" da LPG in serbatoio (*)	18 t	50	36
10	Sversamento di ammoniaca (gas tossico)	20 t	50	36
11	Sversamento di acroleina (liquido tossico) in serbatoio	25 t	100	24,8
12	Sversamento di acroleina in bombole	100 l	4	0,02

(*) Bleve: "Boiling liquid expanding vapour explosion" - Esplosione dei vapori generati dalla rapida ebollizione di un gas liquefatto
Pool fire: Incendio della superficie di una pozza di liquido infiammabile
VCE: "Vapour Cloud Explosion": Esplosione dovuta all'accensione di una miscela di vapori infiammabili e aria
Torch fire: Fiamma relativa alla combustione di un ingente efflusso gassoso da un foro

Figura 64 - Scenari analizzati.

Gli scenari in tabella rappresentano il totale degli scenari di eventi critici considerati nell'analisi di rischio.

6.4.2 Ripartizione traffico ADR

Le sostanze ADR sono coinvolte in 9 dei 12 scenari critici definiti al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** con riferimento a liquidi infiammabili (più o meno volatili), gas infiammabili (v. GPL), liquidi tossici (v. acroleina), gas tossici (v. cloro e ammoniaca).

Le proporzioni della sostanza *i-esima* considerata negli scenari di rischio sul traffico totale di merci pericolose adottate nell'analisi di rischio sono state assunte dalla composizione del traffico di merci pericolose rilevata nello studio del Politecnico di Milano nel 2015 e riportata nel § 5.5.1.

Per quanto riguarda la componente di gas e liquidi tossici, non rilevata nello studio tra le frazioni maggiormente presenti nel traffico, sono stati assunti dati dal Conto Nazionale Trasporti del 2004, assumendo la percentuale di veicoli trasportanti queste merci nella mix di traffico corrispondente alla percentuale di massa trasportata di queste merci sulla massa totale di merci pericolose trasportate.

Sostanza ADR	ADR _i /ADR _{tot}
Liquidi infiammabili (in cisterna) [%]	47,60
Gas infiammabili (GPL) – Trasporto in bombole [%]	6,72
Gas infiammabili (GPL)– Trasporto in cisterna [%]	6,72
Gas tossici nei veicoli ADR [%]	0,632
Liquidi tossici – Trasporto in bombole [%]	0,084
Liquidi tossici – Trasporto in cisterna [%]	0,084
Cloro (Gas tossico) [%]	0,10
Altro (non aggravante le condizioni di rischio in galleria, e pertanto trascurato)	38,16

Figura 7 – Proporzione di ogni sostanza i-esima sul traffico ADR totale.

Nell'analisi si è assunta l'ipotesi che i veicoli trasportanti i liquidi infiammabili maggiormente volatili, suscettibili di generare un VCE, siano presenti in misura del 50% del totale dei veicoli trasportanti liquidi infiammabili.

Nell'analisi di rischio è stato assunto che i veicoli trasportanti le merci pericolose abbiano le caratteristiche indicate in Figura 6 e viaggino a pieno carico, trascurando la circostanza che parte dei veicoli rilevati viaggia scarico al termine di un percorso di distribuzione della merce trasportata. Questo assunto ha evidentemente natura cautelativa.

La quota parte di merci classificato come "altro" e non considerata nell'analisi di rischio (38,16%) si riferisce a sostanze classificate come pericolose ma non suscettibili di generare scenari in galleria più critici per gli utenti di quanto possano esserlo all'aperto (es. sostanze inquinanti l'ambiente, sostanze corrosive, etc.).

6.4.3 Frequenze di accadimento degli scenari incidentali rappresentativi

Le frequenze di accadimento degli scenari incidentali rappresentativi presi in esame sono conseguenza della concatenazione di una serie di eventi connessi agli eventi critici in galleria. Di seguito si riporta la rappresentazione con alberi degli eventi utilizzate per il calcolo delle probabilità di accadimento di tali eventi, con riferimento alla condizione di progetto (v. Figura).

Le frequenze di accadimento di ciascuno scenario rappresentativo derivano da dati di letteratura e dai dati forniti dal committente, comprendenti, tasso di incidentalità, frazione di veicoli pesanti sul totale e percentuale di veicoli ADR sui pesanti caratteristici della galleria.

Analisi di Rischio comparativa

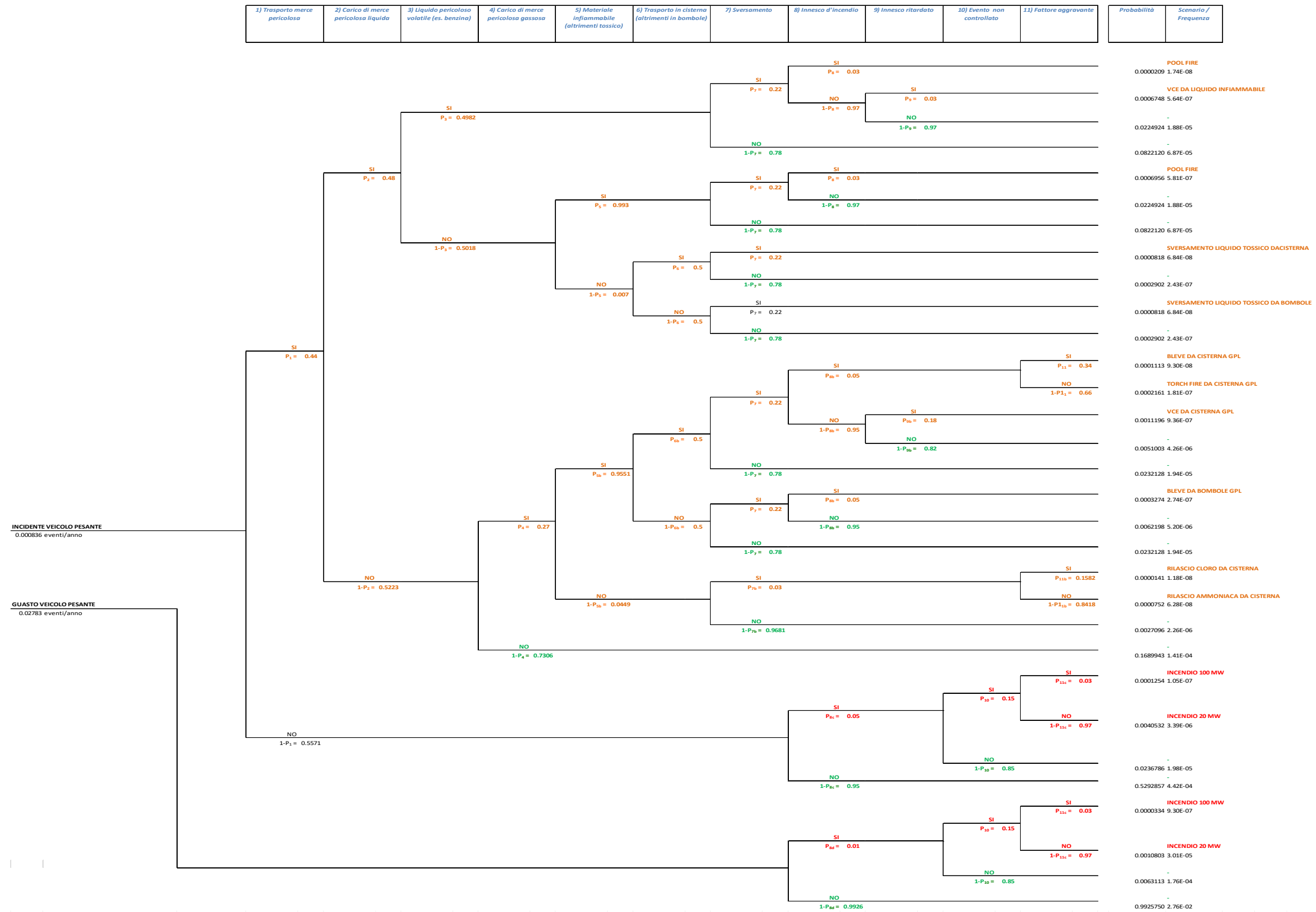


Figura 16 - Alberi degli eventi in galleria.

Analisi di Rischio comparativa

Considerando i tassi di incidente e di guasti, il TGM, la lunghezza della galleria e la struttura di albero degli eventi sopra descritta, sono state determinate le frequenze di accadimento degli scenari rappresentativi nel fornice della galleria, riportate in Figura 178.

N° Scenario	Scenario	Frequenza di accadimento [eventi/anno]
1	Incendio VP da 30 MW	3.35E-05
2	Incendio VP da 100 MW	1.03E-06
3	BLEVE da LPG in bombole	2.74E-07
4	“Pool fire” da combustibile liquido (benzina)	5.99E-07
5	VCE da combustibile liquido (benzina)	5.64E-07
6	Rilascio di cloro	1.18E-08
7	BLEVE da LPG in serbatoio	9.30E-08
8	VCE da LPG in serbatoio	9.36E-07
9	“Torch fire” da LPG in serbatoio	1.81E-07
10	Sversamento di ammoniaca	6.28E-08
11	Sversamento di acroleina in serbatoio	6.84E-08
12	Sversamento di acroleina in bombole	6.84E-08

Figura 178 - Frequenze di accadimento degli scenari incidentali rappresentativi della galleria.

6.4.4 Distribuzione oraria del traffico

Nel presente studio sono stati ipotizzati tre periodi temporali in cui viene ripartito il Traffico Giornaliero Medio (TGM) determinato nel § 5.3:

- Ore di punta;
- Ore di morbida diurna;
- Ore notturne.

Per ciascuno dei tre periodi temporali è stata fatta una schematizzazione di durata e di ripartizione del traffico giornaliero, come riportato in Figura 9.

Analisi di Rischio comparativa

PERIODI	FLUSSO VEICOLARE ORARIO COME % DEL TGM	% DI DURATA TEMPORALE DEL FLUSSO VEICOLARE ORARIO INDICATO	% DI TGM TRANSITANTE CORRISPONDENTE AL FLUSSO VEICOLARE ORARIO INDICATO
Punta	7,00%	20,8% (5 ore)	35%
Morbida	6,00%	37,5% (9 ore)	54%
Notte	1,10%	41,7% (10 ore)	11%

Figura 9 – Periodi di ripartizione flusso veicolare nelle 24h

In Figura viene rappresentato l’andamento percentuale schematico di riferimento del TGM.

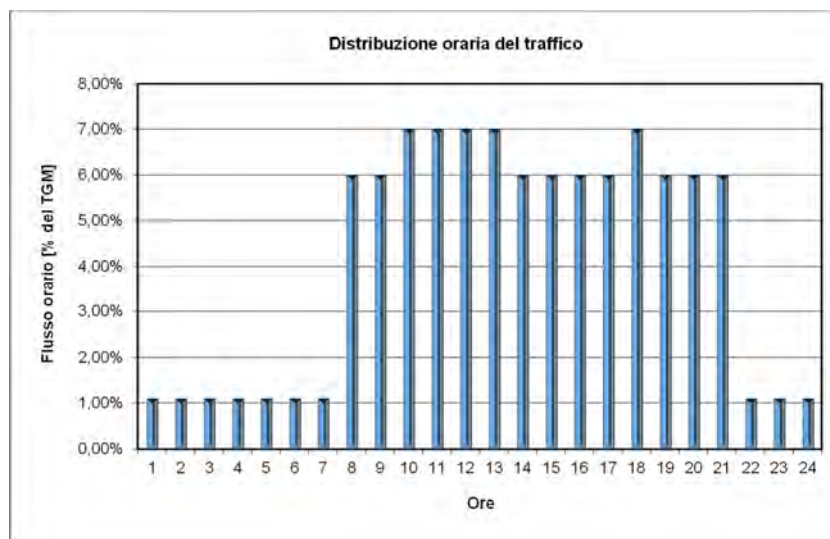


Figura 18– Schema di ripartizione giornaliera del TGM.

6.4.5 Coefficienti di occupazione di veicoli

I dati relativi ai coefficienti di occupazione dei veicoli assunti a riferimento nella presente analisi sono stati definiti da letteratura tecnica, nella seguente misura:

- Numero medio di persone in un veicolo leggero: 1,5;
- Numero medio di persone in un veicolo pesante: 1;
- Numero medio di persone in un autobus: 27.

Nelle simulazioni di esodo svolte per gli scenari d’incendio ordinari con il software Evac Tunnel 3.0, che definisce il numero di utenti sui veicoli in modo aleatorio con distribuzione uniforme in un intervallo, sono stati assunti i seguenti valori di minimo e di massimo d’intervallo:

- Numero di persone in un veicolo leggero: minimo = 1; massimo = 2;
- Numero di persone in un veicolo pesante: minimo = 1; massimo = 2;
- Numero di persone in un autobus: minimo = 16; massimo = 40.

Nelle simulazioni di esodo svolte per gli scenari di merci pericolose con il software DG QRAM 4.04, che definisce il numero di utenti sui veicoli in modo deterministico, sono stati assunti i valori sopra indicati come riferimento.

Analisi di Rischio comparativa

A questi coefficienti di riempimento, e con riferimento ai volumi di traffico previsti (v. § 5.3), corrisponde un numero di veicoli attesi su ciascun lato del punto di blocco (incidente o incendio) non superiore a 5, cui corrisponde un numero di utenti stimato inferiore o pari alle 8 unità.

Fa eccezione l’eventuale caso di presenza di un bus, cui corrisponde un maggior numero di utenti (dell’ordine di 30 ÷ 35 utenti in coda), che è un caso considerato comunque possibile ma poco probabile

6.4.6 Localizzazione degli incidenti

Il numero delle vittime conseguente ad uno scenario incidentale in galleria è funzione della posizione dell’incidente stesso.

L’analisi di scenario d’incendi ordinari (30MW o 100MW) è stata svolta considerando sempre l’incendio al centro della galleria, ossia a distanza di 400 m dai due portali.

L’analisi degli scenari di merci pericolose ha preso in considerazione 5 localizzazioni differenti in galleria (Vedi figura di seguito) per le quali sono state effettuate le valutazioni di rischio atteso.

Le cinque posizioni di localizzazione degli scenari sono state assunte equidistanziate, secondo un approccio che si ritiene garantisca una maggior rappresentatività statistica dei risultati e considerato perciò il più opportuno per il tipo di analisi sviluppata (analisi di tipo sistemico).

	POSIZIONE 1	POSIZIONE 2	POSIZIONE 3	POSIZIONE 4	POSIZIONE 5
Posizione – espressa come percentuale della lunghezza della galleria	17%	33%	50%	67%	83%
Posizione nel fornice – progressiva (*) [m]	136	264	400	536	664
(*) Per “progressiva” s’intende la distanza progressiva dall’imbocco di “monte” della galleria (secondo il verso delle progressive crescenti).					

Figura 19 – Localizzazione degli incidenti nella galleria.

6.4.7 Condizioni ventilazione in galleria

Per definire le condizioni di ventilazione naturale in galleria in condizioni di circolazione normale (v. affetti anemometrici ed effetto pistone) ed in caso di incendio (v. effetto camino) è stata svolta una specifica analisi aeraulica della galleria.

L’analisi aeraulica è stata svolta con l’uso del software di fluidodinamica computazionale (CFD) 1D CAMATT 2.20 adottando i seguenti dati di input:

- area della sezione libera della galleria = 83 m²;
- perimetro = 37 m;
- coefficiente d’attrito = 0,025;
- altitudine media = 300 m s.l.m.;
- temperatura esterna = 18 °C;
- densità dell’aria = 1,17 kg/m³;

Analisi di Rischio comparativa

- contropressione agli imbocchi =
 - 20 Pa, applicati al portale di “monte”;
 - 0 Pa (assenza di gradiente barometrico tra i portali);
 - 20 Pa, applicati al portale di “valle”;
- velocità media dei veicoli = 90 km/h;
- area sezione trasversale dei VL = 2,1 m²;
- C_x per VL = 0,35;
- area sezione trasversale dei VP = 5,0 m²;
- C_x per VP = 0,8.

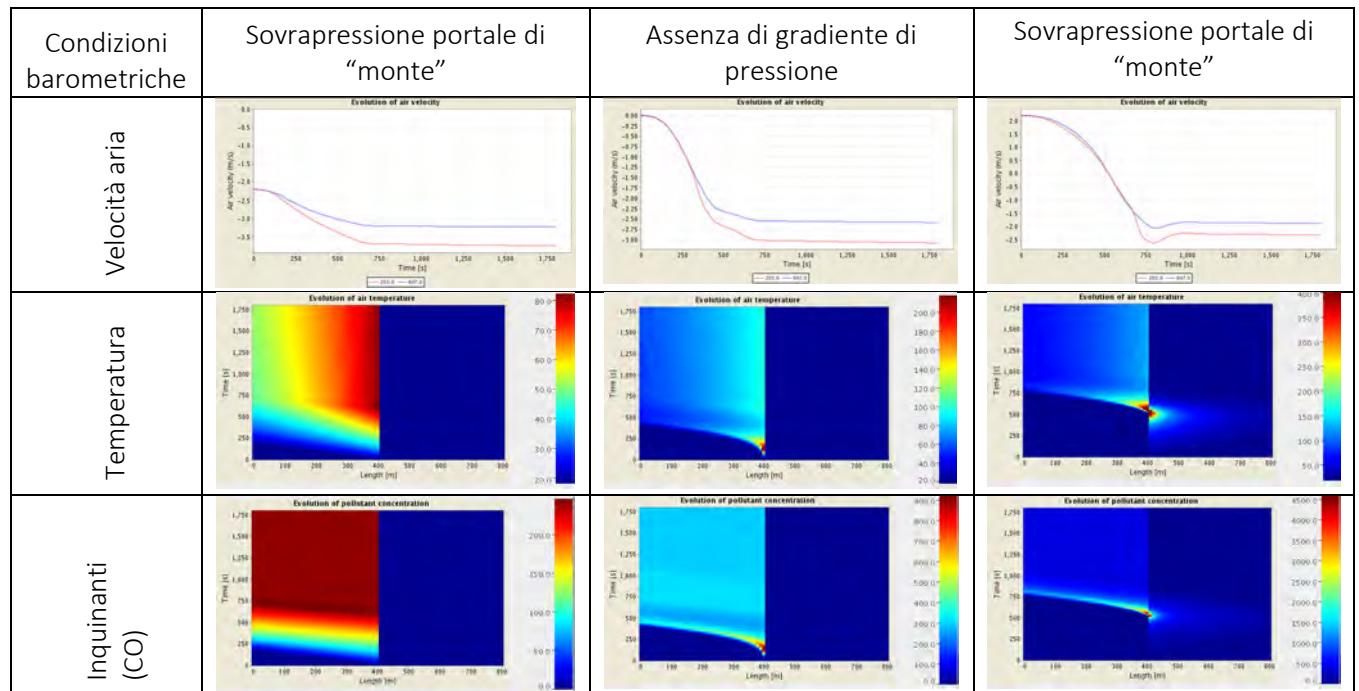
L’analisi è stata svolta considerando le condizioni di traffico dell’ora di morbida (cfr. § 5.3 e 5.5) e l’accadimento di uno scenario di incendio di VP con carico ordinario di potenza termica pari a 30 MW e 100 MW, localizzato al centro della galleria.

L’analisi è stata svolta in regime di circolazione monodirezionale, con traffico equilibrato nei due versi di marcia.

Le simulazioni sono state svolte considerando le seguenti prestazioni degli impianti di rilevamento e controllo:

- rilevamento d’incendio dopo 1,5’ dall’istante dell’innesco;
- chiusura della galleria al traffico veicolare (semafori rossi) dopo 5’ dall’istante dell’innesco.

I risultati dell’analisi sono rappresentati graficamente nelle immagini raccolte nella seguente Figura 10 con riferimento allo scenario di incendio da 30MW.



Analisi di Rischio comparativa

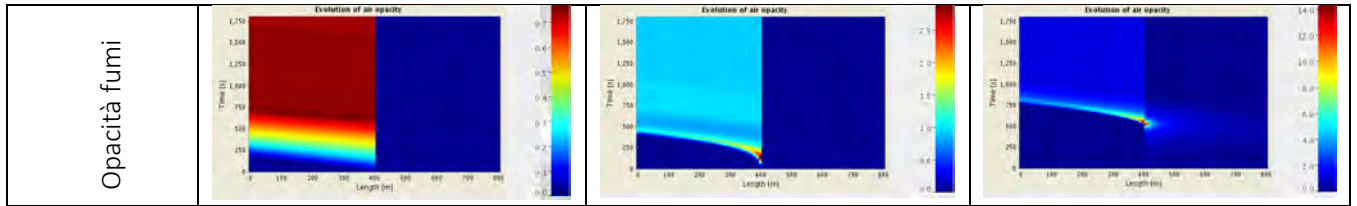


Figura 100: Velocità dell’aria e flusso del pericolo - incendio da 30 MW¹⁵

I termini “monte” o “valle” sono riferiti alla posizione rispetto al focolaio d’incendio, intendendo rispettivamente a quote superiori o a quote inferiori.

I risultati dell’analisi sono rappresentati graficamente nelle immagini raccolte nella seguente Figura 11 con riferimento allo scenario di incendio da 100MW.

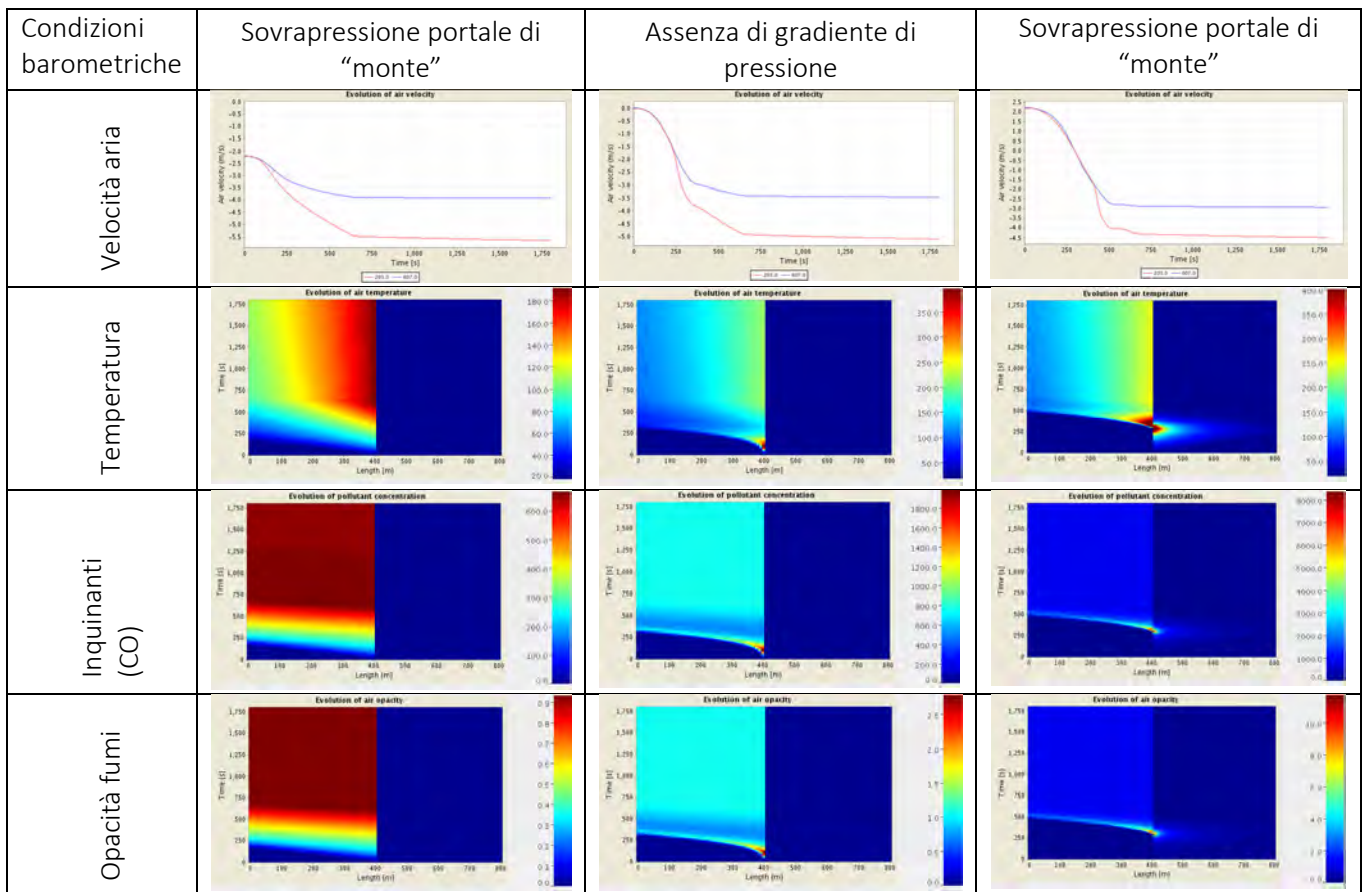


Figura 111: Velocità dell’aria e flusso del pericolo - incendio da 100 MW

¹⁵ Si rappresenta che le scale cromatiche dei grafici sono attribuite in automatico dal software di calcolo e pertanto differiscono tra i diversi grafici: di ciò si deve tenere conto nel confronto tra grafici omologhi, avendo cura di verificare la scala cromatica posta a destra di ogni grafico.

Analisi di Rischio comparativa

Il risultato di questa analisi ha mostrato che il traffico veicolare, assunto equilibrato nei due versi di marcia, mantiene equilibrato l’ “effetto pistone” delle due correnti di traffico senza generare una corrente d’aria prevalente in condizioni normali di circolazione. In tali condizioni si manifesta una corrente d’aria in galleria solo in presenza di un gradiente barometrico tra i portali. Assumendo un gradiente barometrico di 20 Pa si ha una corrente d’aria in galleria con velocità di circa 2,2 m/s.

In presenza d’incendio, si manifesta un “effetto camino” progressivamente crescente che induce un moto dell’aria nel verso delle quote crescenti. L’effetto camino prevale sull’effetto del gradiente barometrico e tale da fare in modo che in tutti gli scenari d’incendio si abbia una corrente d’aria nel verso delle quote crescenti, con velocità variabili in relazione al gradiente barometrico, indicativamente tra 2,5 e 3,5 m/s in presenza d’incendio di potenza 30 MW, e tra 4,0 e 5,0 m/s in presenza d’incendio di potenza 100 MW.

Dall’analisi risulta, inoltre, che:

- in presenza di sovrappressione applicata al portale di “valle”, il gradiente barometrico si sovrappone al “effetto camino” comportando una maggiore velocità della corrente d’aria dal portale di “valle” al portale di “monte” (quote crescenti). Alla maggiore velocità della corrente d’aria, cui corrisponde un maggior apporto di aria fresca, corrisponde anche una maggiore diluizione dei fumi.
- In presenza di sovrappressione applicata al portale di “monte”, il gradiente barometrico si contrappone al “effetto camino”, senza tuttavia equilibrarlo, ad eccezione delle prime fasi seguenti l’innesco. Ciò comporta comunque la presenza di una corrente d’aria dal portale di “valle” al portale di “monte” (quote crescenti), ma con una minore velocità. Alla minore velocità della corrente d’aria corrisponde una minore velocità di diffusione del fumo in galleria, ma caratterizzato da una maggiore concentrazione degli agenti di danno. Inoltre, nelle prime fasi di incendio si manifesta la diffusione dei fumi verso l’imbocco di “valle”, per un breve intervallo di tempo.
- In assenza di gradiente di pressione, si manifesta una corrente d’aria dal portale di “valle” al portale di “monte” (quote crescenti) con condizioni di velocità e di concentrazione del fumo intermedie tra quelle dei due casi precedenti.

La velocità dell’aria si mantiene bassa, e tale da consentire la stratificazione dei fumi in volta, solo per un breve intervallo di tempo nelle condizioni di assenza di gradiente barometrico o di sovrappressione sull’imbocco di “monte”. In ogni caso, oltre 10 minuti circa dall’innesco dell’incendio, la velocità della corrente d’aria eccede 1,5 m/s ed è tale da indurre moto turbolento dei fumi.

La schematizzazione delle condizioni di ventilazione adottata nell’analisi di rischio secondo le esigenze del software di calcolo QRAM 4.04 è riportata in Figura.

Gradiente di pressione	Velocità iniziale dell’aria [m/s]	Tempo di modifica del regime di ventilazione [min.]	Velocità finale dell’aria in condizioni di emergenza [m/s]
$\Delta P = 20\text{Pa}$ / portale di “valle”	- 2,2	5,8	- 3,3
$\Delta P = 0\text{Pa}$	0	5,3	- 2,8

Analisi di Rischio comparativa

$\Delta P = 20\text{Pa}$ / portale di “monte”	+ 2,2	6,5	- 2,1
---	-------	-----	-------

Figura22: Schematizzazione delle condizioni di ventilazione in galleria adottate nell’analisi di rischio

Il segno positivo in tabella indica un flusso d’aria nel verso delle progressive crescenti (dall’imbocco di “monte” all’imbocco di “valle”), mentre il segno negativo indica un flusso d’aria nel verso delle progressive decrescenti.

I risultati ottenuti evidenziano che la quota di utenti in coda “a monte” dell’incendio, devono abbandonare la galleria dirigendosi verso l’imbocco di “monte” in presenza di fumo, in una condizione più o meno pericolosa in relazione alla posizione dell’incendio, poiché a questa corrisponde una maggiore (o minore) lunghezza del percorso d’esodo e di permanenza in galleria: quanto più l’incendio è prossimo all’imbocco di valle, tanto più lunga e potenzialmente gravosa è l’esposizione di questi utenti agli agenti di danno.

Di contro, gli utenti in coda “a valle” dell’incendio, devono abbandonare la galleria dirigendosi verso l’imbocco di “valle” in una tratta di galleria generalmente libera dal fumo, risultando esposti agli agenti di danno solo in presenza di una sovrappressione sul portale di “monte”. In tal caso, l’esposizione ha durata limitata ed in condizioni di velocità dell’aria mediamente contenuta e tale da consentire la stratificazione in volta del fumo.

6.4.8 Sistemi di rilevamento e controllo e di comunicazione

Per la stima della prestazione dei sistemi di rilevamento, controllo e comunicazione è stata considerata, in accordo con il software QRAM 4.04, una scala di valutazione a quattro livelli [0; 3] dove il valore 0 equivale all’assenza di impianti e 3 alla prestazione ottima¹⁶.

Configurazione di PFTE

Nella galleria in configurazione di PFTE, la valutazione della prestazione è stata assunta al livello 3, tenuto conto della disponibilità di sistemi di allarme automatico e rapido (v. rilevamento d’incendio con cavo fibrolaser con allarme rinviato al Centro di Controllo, o possibilità di allarme da utente da postazioni SOS) e sistemi di comunicazione diretta agli utenti (con PMV).

Galleria virtuale

Nella configurazione di galleria virtuale, la valutazione della prestazione è stata assunta al livello 0, tenuto conto dell’assenza di sistemi di rilevamento e di comunicazione dell’allarme tra i requisiti di sicurezza della normativa cogente applicabile al caso in esame.

6.4.9 Evacuazione degli utenti

6.4.9.1 Tempi di evacuazione

Il tempo impiegato dagli utenti per allontanarsi dalla galleria verso un luogo sicuro, per la presente analisi di rischio, è definito come funzione di un *tempo di pre-movimento* e un *tempo di movimento* propriamente detto.

¹⁶ Presenza di Centro di controllo con monitoraggio TVCC della galleria e possibilità di fornire comunicazioni circostanziate agli utenti.

Analisi di Rischio comparativa

Il primo è il tempo che intercorre tra un allarme o un segnale di pericolo e il reale movimento di evacuazione degli occupanti verso un'uscita di sicurezza. Il secondo è il tempo impiegato effettivamente per spostarsi dal veicolo verso un'uscita di emergenza o un luogo sicuro e dipende dalla posizione dell'utente rispetto alla via di fuga: nel caso della galleria Padula, in assenza di uscite di sicurezza in galleria, gli utenti devono percorrere la distanza che li separa dal portale della galleria.

Il tempo di pre-movimento viene stimato in funzione del sistema di rilevamento e comunicazione agli utenti di cui è dotata la galleria, della distanza degli utenti dall'incidente e della dimensione dell'area di impatto.

Configurazione di PP

Per il caso della galleria in configurazione di PFTE, il valore del tempo di pre-movimento è stato assunto:

- nelle simulazioni di esodo svolte nell'analisi degli scenari d'incendio ordinario, come variabile aleatoria con distribuzione di Gauss di valore medio 90" (1,5 minuti) e deviazione standard 17,5";
- nelle analisi effettuate con software QRAM per gli scenari di merci pericolose, con valore variabile nell'intervallo 80"÷97", in relazione alla distanza degli utenti dal luogo dell'incidente, e mediamente di circa 90" (1,5 minuti).

Galleria virtuale

Per il caso della galleria virtuale, il valore del tempo di pre-movimento è stato assunto:

- nelle simulazioni di esodo svolte nell'analisi degli scenari d'incendio ordinario, come variabile aleatoria con distribuzione di Gauss di valore medio 440" (7,3 minuti) e deviazione standard 17,5";
- nelle analisi effettuate con software QRAM per gli scenari di merci pericolose, con valore variabile nell'intervallo 400"÷486", in relazione alla distanza degli utenti dal luogo dell'incidente, e mediamente di circa 440" (7,3 minuti).

6.4.9.2 Velocità di evacuazione

Nelle simulazioni di esodo svolte nell'analisi degli scenari d'incendio ordinario, la velocità di evacuazione è stata assunta come variabile aleatoria.

Nelle analisi effettuate con software QRAM per gli scenari di merci pericolose, la velocità di evacuazione è stata assunta costante e pari al valore medio adottato nelle simulazioni d'esodo degli scenari d'incendio ordinario.

In particolare, le valutazioni di rischio effettuate per la Galleria sono state condotte assumendo una velocità di fuga degli utenti come specificato di seguito.

Configurazione di PFTE

Per il caso della galleria in configurazione di PFTE, è stata considerata una velocità di fuga degli utenti:

- nelle simulazioni di esodo svolte nell'analisi degli scenari d'incendio ordinario, come variabile aleatoria con distribuzione di Gauss di valore medio 0,7 m/s e deviazione standard 0,32 m/s;
- Nelle analisi effettuate con software QRAM per gli scenari di merci pericolose con valore costante pari a $v_{\text{evac}}=0,7$ m/s.

Analisi di Rischio comparativa

Questi valori sono stati assunti in considerazione del fatto che la galleria dispone dell'ausilio all'esodo fornito dalla guida luminosa d'esodo (illuminazione di sicurezza) e dalla segnaletica luminosa di evacuazione e della possibilità di comunicazioni (SOS + PMV) con il Centro di controllo che sorveglia la galleria da remoto.

Galleria virtuale

Per il caso della galleria virtuale, è stata considerata una velocità di fuga ridotta degli utenti:

- nelle simulazioni di esodo svolte nell'analisi degli scenari d'incendio ordinario, come variabile aleatoria con distribuzione di Gauss di valore medio 0,3 m/s e deviazione standard 0,32 m/s;
- nelle analisi effettuate con software QRAM per gli scenari di merci pericolose con valore costante pari a $v_{\text{evac}}=0,3$ m/s.

Questi valori sono stati assunti in considerazione dell'assenza di sistemi di controllo e comunicazione.

7 ANALISI DELLE CONSEGUENZE E VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL RISCHIO

Nel presente capitolo si illustrano i risultati dell'analisi quantitativa del rischio per la galleria con riferimento alle dotazioni strutturali e impiantistiche presenti, sviluppati con approccio di tipo prestazionale secondo quanto specificato nell'allegato 3 del D.Lgs 264/2006.

L'analisi di rischio in galleria, svolta ai sensi dell'Art. 13 del D.Lgs. n. 264 del 5.10.2006, viene sviluppata con riferimento ai livelli di prestazione delle dotazioni di sicurezza definite in fase di progetto ed implicitamente tiene conto delle ridondanze e dell'affidabilità degli impianti considerati in fase di progetto. L'analisi di rischio viene quindi svolta con riferimento alla condizione nominale di esercizio della galleria.

7.1 CRITERIO DI ACCETTABILITÀ DEL RISCHIO ALARP

Il principio ALARP – *As Low As Reasonable Practicable* – considera i rischi valutandone l'impatto sulla safety e i costi associati per la loro riduzione.

Tale principio prevede tre possibili livelli di rischio:

- Rischio inaccettabile. Il rischio non può essere giustificato se non in straordinarie circostanze.
- Rischio ALARP ad accettabilità condizionata. Il rischio è tollerabile se la sua riduzione è impraticabile o se il costo per ridurlo è sproporzionato in relazione ai benefici ottenibili.
- Rischio accettabile.

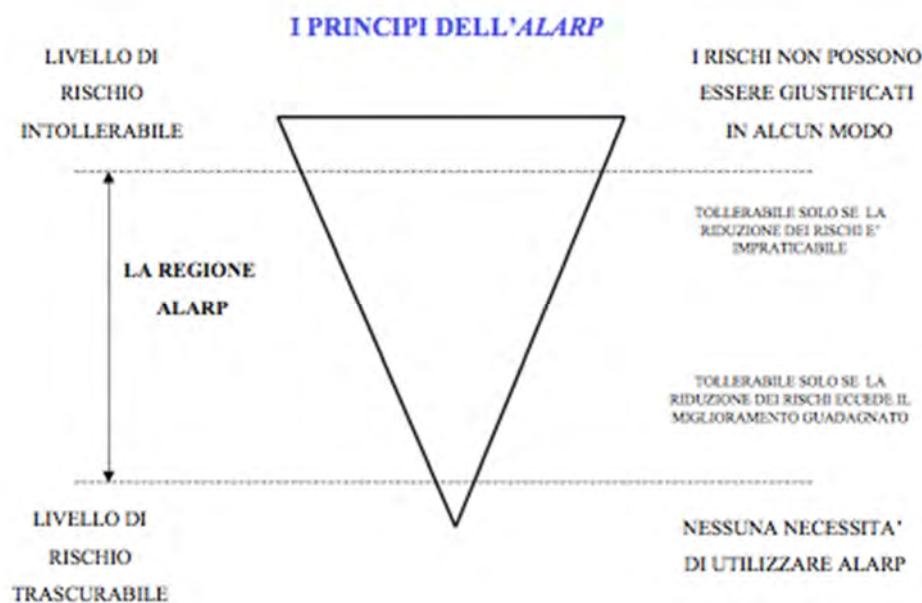


Figura 12 - Schema principio ALARP.

Il criterio di Rischio Sociale di una galleria stradale connesso a un evento incidentale prevede che il decesso di un numero di individui maggiore/uguale a 50 in un singolo evento, deve essere considerato non tollerabile se la frequenza è stimata essere superiore ad 1/500 per anno. Tale affermazione identifica il punto di coordinate $F = 2 \cdot 10^{-3}$ per anno e $N = 50$.

Analisi di Rischio comparativa

La retta passante per il punto di coordinate F-N indicate, con una pendenza pari a “-1”, definisce il livello di Rischio Tollerabile.

La retta ottenuta traslando in modo rigido 3 decadi al di sotto la retta rappresentativa del livello di Rischio Massimo Tollerabile, definisce il Livello di Rischio Accettabile corrispondente quindi a “1 fatalità” (N=1) in 1/10000 per anno definendo il punto F = 10⁻⁴ per anno.

La retta passante per il suddetto punto, con pendenza pari a -1, analogamente, interseca la coordinata N=100 e F = 10⁻⁶ per anno.

La zona compresa tra la curva di Rischio Tollerabile e la curva di Rischio Accettabile definisce la zona ALARP-As Low As Reasonably Practicable.

7.2 SINTESI DEI PRINCIPALI DATI UTILIZZATI

DATI DI INPUT	VALORE	
	Galleria di progetto	Galleria “virtuale”
Lunghezza galleria [m]	800	
Sezione [mq]	83	
Numero di corsie di marcia	2 (una per verso di marcia)	
Profilo pendenza [%]	-4,0 (in discesa nel verso delle progressive crescenti, dir. Peschici/Vieste)	
Pendenza trasversale [%]	var. 7,0 / 2,50 / 5,43 riferimento = 5,43 (sviluppo L = 650 m > 80% dello sviluppo della galleria)	
Tasso di incidentalità [incidenti/(km*veic)]	0,11E-06	
TGM bidirezionale [veic/giorno]	1.917	
Flusso orario di picco [veic/h]	134	
N° di periodi di ripartizione del TGM	3 (4x7,0% del TGM, 9x6,0% del TGM, 10x1,1% del TGM)	
Percentuali transito veicoli leggeri [%]	98,59	
Percentuali transito veicoli pesanti [%]	1,41	
Percentuali transito bus [%]	0,04	
Traffico ADR rispetto al traffico pesante [%]	44,02	
Velocità media dei veicoli leggeri [km/h]	90	
Velocità media dei veicoli pesanti/bus [km/h]	75	
Numero medio di persone in un veicolo leggero [n° persone/veicolo]	1,5	
Numero medio di persone in un veicolo pesante [n° persone/veicolo]	1	
Numero medio di persone in un bus [n° persone/bus]	27	
Uscite di sicurezza	n. 0	

Analisi di Rischio comparativa

Drenaggio: interdistanza caditoie [m]	50	800
Drenaggio: area di ogni caditoia [m ²]	0,008	
Sistema di rilevazione e controllo(*)	SI (W3 “TVCC + Centro di controllo”)	NO (W0 “assenza di sistemi di allarme”)
Tempo per arresto traffico [min]	5'	> 60'
Flusso d’aria lungo il tunnel – naturale [m/s]	-2,2 (ΔP = 20Pa / portale di “valle”) 0 (ΔP = 0Pa) +2,2 (ΔP = 20Pa / portale di “monte”)	
Flusso d’aria lungo il tunnel – emergenza [m/s]	-3,3 (DP = 20Pa / portale di “valle”) -2,8 (DP = 0Pa) -2,1 (DP = 20Pa / portale di “monte”)	
Intervallo di tempo per attivazione ventilazione di emergenza [min]	5,8 (DP = 20Pa / portale di “valle”) 5,3 (DP = 0Pa) 6,5 (DP = 20Pa / portale di “monte”)	
(*) Il codice "W" identifica il livello di sistemi di allarme in una scala di 4 valori, da W0 a W3 secondo la codifica adottata dal software QRAM 4.04		

Figura 134 – Principali dati utilizzati per elaborazione delle curve di rischio.

Tutti i 12 scenari indicati al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** sono stati considerati nelle tre diverse condizioni ambientali di § 5.8.

Gli scenari d’incendio ordinario (id. n. 1 e 2 di § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) sono stati analizzati considerando una posizione d’incendio in galleria (v. § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), nelle condizioni di traffico d’ora media diurna (v. § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), per totali 6 scenari di calcolo d’incendio ordinario.

Gli scenari coinvolgenti merci pericolose (id. da n. 3 a n. 12) sono stati analizzati considerando 5 posizioni d’incidente (v. § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), nelle tre diverse condizioni di traffico d’ora di punta, di media diurna e notturna (v. § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), per totali 450 scenari di calcolo d’incidenti con sversamento di merci pericolose.

Complessivamente l’analisi ha quindi considerato 456 scenari di calcolo.

7.3 CONDIZIONI DI SOPRAVVIVENZA

Con riferimento all’analisi degli scenari d’incendio di tipo ordinario, sono state assunte a riferimento le seguenti condizioni di stato critico per la sicurezza della vita umana, intendendo con questo ciascuna delle condizioni limite alle quali può essere esposta una persona in galleria in caso di incendio:

- esposizione delle persone a temperature $\geq 60^\circ \text{C}$;
- livello di FED (Fractional Effective Dose) non superiore a FED = 1, calcolata considerando solo il contributo del monossido di carbonio;
- visibilità, riferita alla percezione di segnali luminosi in galleria, pari a 15 m.

La verifica del raggiungimento delle condizioni di stato critico è stata svolta in sezioni distanti 5 m tra loro, a partire dalla posizione dell’incidente e fino al portale della galleria.

Analisi di Rischio comparativa

L’istante in cui si raggiunge almeno una delle condizioni di stato critico in una sezione determina il tempo limite disponibile di esodo da quella sezione di galleria (ASET). Sono computati come vittime tutti gli utenti che non hanno ancora abbandonato la stessa sezione entro il tempo limite disponibile ($RSET > ASET$)¹⁷.

Con riferimento all’analisi degli scenari di eventi critici coinvolgenti merci pericolose, sono state assunte le condizioni predefinite nel software QRAM. Il software definisce le condizioni di sopravvivenza mediante funzioni “probit” che pongono in relazione, a seconda dell’agente tossico, il tempo di esposizione con la concentrazione raggiunta da ciascun agente tossico in corrispondenza della posizione occupata da ciascun utente.

7.4 RISULTATI DELL’ANALISI DELLE CONSEGUENZE

La gravità delle conseguenze attese per ogni singolo scenario elencato nel § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** risultate dalle analisi svolte è sintetizzata in Tabella 1, con riferimento alle due configurazioni di PFTE e di galleria “virtuale”.

Tabella 1: Magnitudo delle conseguenze degli scenari di eventi critici

N° Scenario	Scenario	Magnitudo delle conseguenze [n. vittime/evento]	
		Configurazione di PFTE	Configurazione di galleria “virtuale”
1	Incendio VP da 30 MW	0 ÷ 2	5 ÷ 6
2	Incendio VP da 100 MW	2 ÷ 7	5 ÷ 11
3	BLEVE da LPG in bombole	0	0
4	“Pool fire” da combustibile liquido (benzina)	4 ÷ 6	4 ÷ 6
5	VCE da combustibile liquido (benzina)	5 ÷ 7	5 ÷ 7
6	Rilascio di cloro	1 ÷ 4	1 ÷ 4
7	BLEVE da LPG in serbatoio	1 ÷ 3	2 ÷ 16
8	VCE da LPG in serbatoio	1 ÷ 7	1 ÷ 7
9	“Torch fire” da LPG in serbatoio	1 ÷ 16	2 ÷ 16
10	Sversamento di ammoniaca	1 ÷ 4	1 ÷ 4
11	Sversamento di acroleina in serbatoio	1 ÷ 3	1 ÷ 4

¹⁷ RSET = “Required safe escape time” > “Available safe escape time” = ASET

Analisi di Rischio comparativa

12	Sversamento di acroleina in bombole	0	0
----	-------------------------------------	---	---

Gli scenari d’incendio ordinario di minore potenza (30MW) non provocano vittime o ne provocano solo per parte degli utenti in esodo verso l’imbocco di “monte” della galleria. Ciò in virtù della limitata emissione di fumo, diluito dalla corrente d’aria fresca richiamata in galleria dall’effetto camino e dall’eventuale gradiente barometrico, e dal ridotto tempo di esodo, che consente l’uscita degli utenti entro la prima fase di sviluppo dell’incendio.

Gli scenari d’incendio ordinario di maggiore potenza (100 MW) provocano vittime per la gran parte o la totalità degli utenti in esodo verso l’imbocco di “monte” della galleria, in conseguenza della massiccia emissione di fumo, già dalla prima fase di sviluppo dell’incendio quando si svolge l’esodo degli utenti.

Lo scenario più grave si manifesta in presenza di sovrappressione applicata all’imbocco di “monte”, che porta ad una prima diffusione dei fumi verso l’imbocco di valle, investendo la coda a “valle” dell’incendio, e successivamente all’inversione della corrente d’aria con diffusione dei fumi verso l’imbocco di “monte”, investendo la coda a “monte” dell’incendio con fumi concentrati per effetto della minore velocità dell’aria e del conseguente ridotto apporto d’aria fresca in galleria. In questo caso, con incendio da 100MW, si manifestano vittime su entrambi i lati dell’incendio, in misura stimata fino a 11 vittime.

Gli scenari coinvolgenti merci pericolose portano a conseguenze anche molto gravi (fino a 16 vittime, in relazione al tipo di scenario) ma con probabilità di accadimento estremamente basse.

7.5 RAPPRESENTAZIONE DEL RISCHIO.

7.5.1 Rappresentazione del rischio della galleria virtuale

Di seguito viene riportata sul piano FN la curva cumulata complementare di Rischio sociale relativa all’insieme degli scenari considerati (Figura 6) per la galleria virtuale.

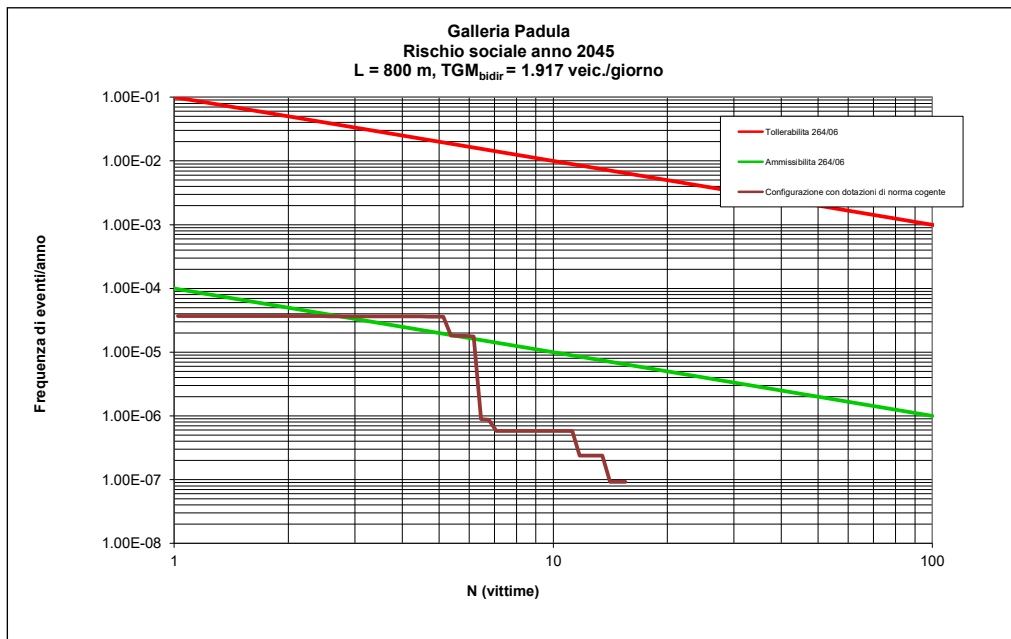


Figura 14 – Curva di rischio F/N – Galleria virtuale.

L’area sottesa alla Curva di Rischio sociale, definita come valore atteso del danno, costituisce un indicatore di rischio globale ed assume valore:

$$\text{VAD} = 2,10 \cdot 10^{-4} \text{ vittime/anno}$$

Il profilo di rischio della galleria virtuale si presenta a ridosso del limite di rischio accettabile definito dal D.Lgs 264/2006.

7.5.2 Rappresentazione del rischio in galleria in configurazione di PFTE

Di seguito viene riportata sul piano FN la curva cumulata complementare di Rischio sociale relativa all’insieme degli scenari considerati (Figura 6) per la galleria in configurazione di PFTE.

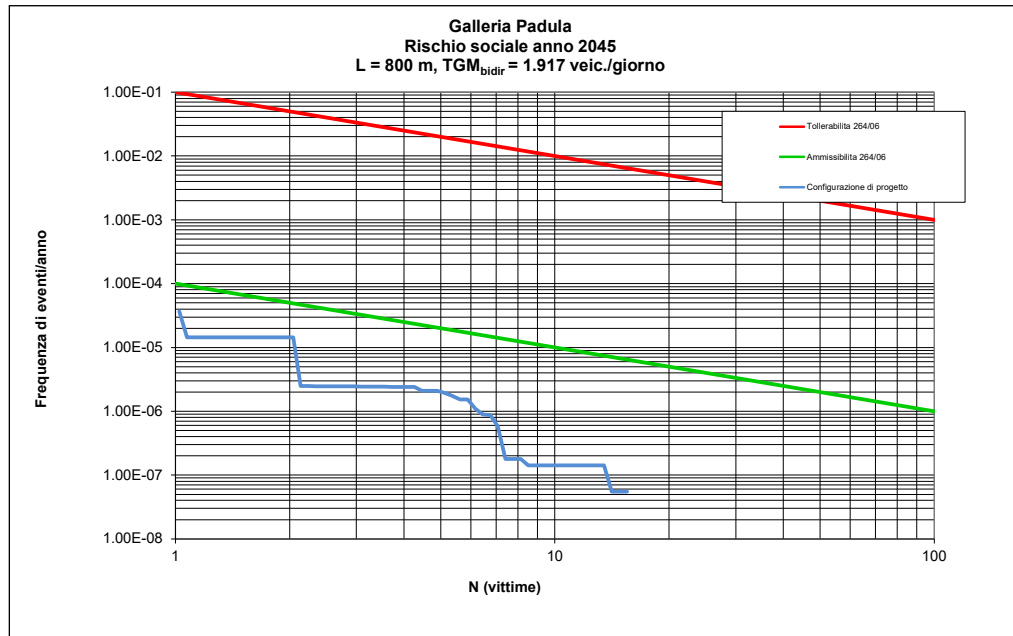


Figura 15 – Curva di rischio F/N – Configurazione di PFTE.

L’area sottesa alla Curva di Rischio sociale definita come valore atteso del danno, assume valore:

$$VAD = 6,27 \cdot 10^{-5} \text{ vittime/anno}$$

Il rischio della galleria di progetto risulta entro il limite di rischio accettabile definito dal D.Lgs 264/2006.

Si rileva, inoltre, che dato il limitato numero di utenti esposti agli agenti di danno in presenza d’incendio (cfr. § 6.4.5), non ci si aspetta variazioni di risultato significative dall’eventuale adozione di sistemi di analisi caratterizzati da maggior dettaglio nella definizione della diffusione del flusso del pericolo e nella simulazione d’esodo degli utenti, tali da poter alterare il giudizio di ammissibilità del rischio della galleria.

7.5.3 Confronto del rischio calcolato nelle diverse configurazioni

Di seguito vengono rappresentate sul piano FN le curve cumulate complementari di Rischio sociale relative alle diverse configurazioni esaminate, per confronto.

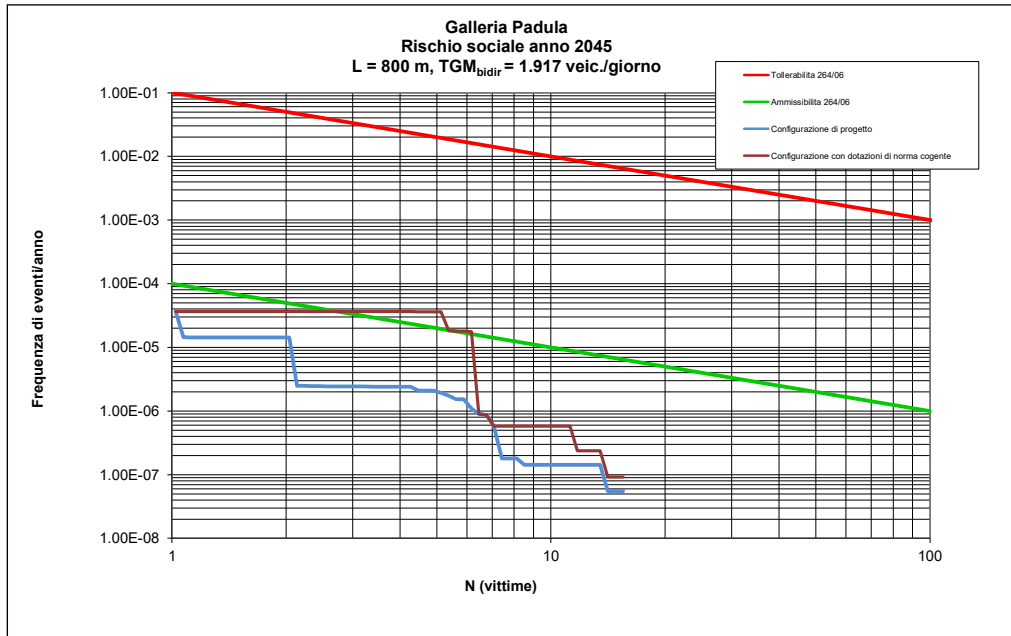


Figura 16 – Curva di rischio F/N - Confronto.

Il valore atteso del danno delle due configurazioni è riportato nella successiva tabella, con indicazione anche della variazione percentuale rispetto al valore atteso del danno della galleria virtuale.

CONFIGURAZIONE DI GALLERIA		VAD [VITTIME/ANN O]	VARIAZIONE VAD (RISPETTO AD "A") [%]
A	Galleria "virtuale"	2.10E-04	0.00%
B	Configurazione di PROGETTO	6.27E-05	-70.15%

Figura 17 – VAD relativo alle diverse configurazioni di galleria - confronto.

8 CONCLUSIONI

Dall'analisi di rischio svolta risulta che il profilo di rischio della galleria in configurazione di PFTE rientra nella zona di rischio accettabile.

Il profilo di rischio della galleria in configurazione virtuale si colloca a ridosso della soglia limite di accettabilità del rischio, intendendo con questa una galleria ideale che adotta i requisiti di sicurezza minimi disposti dalla normativa cogente per la galleria in esame.

In entrambi i casi, quindi, il livello di rischio è piuttosto contenuto, in ragione del ridotto livello di traffico previsto e delle buone caratteristiche geometriche dell'opera. Ciò vuol dire che le dotazioni di sicurezza presenti in galleria consentono di contrastare sufficientemente i fattori di potenziale pericolo cui la galleria è soggetta, senza necessità di valutare l'adozione di ulteriori misure di sicurezza.

Le configurazioni di progetto offre un livello di rischio ridotto (-70% circa) rispetto a quello della galleria virtuale; questo risultato positivo è da attribuire alla maggiore rapidità di allarme ed intervento offerta dai sistemi controllo della galleria ed alle misure di protezione offerte, attive nel rilevamento e nella chiusura della galleria.

In particolare, risulta ammissibile la soluzione di progetto con le sole uscite di emergenza costituite dai portali della galleria, senza la realizzazione di uscite di emergenza intermedie.

Le considerazioni tratte dai risultati dell'analisi svolta per la galleria Padula, per similitudine, possono essere estese anche alle altre gallerie della tratta, considerata la minore vulnerabilità al rischio di queste gallerie rispetto alla galleria Padula.

9 BIBLIOGRAFIA

- [1] D.Lgs 30 Aprile 1992 n.285, “Nuovo Codice della Strada”
- [2] DPR 16 dicembre 1992 “Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada”
- [3] D.M. 5.6.2001 “Sicurezza nelle gallerie stradali”
- [4] D.M. 5.11.2001 “Norme funzionali e geometriche per la Costruzione delle strade”
- [5] DM 14.9.2005, “Norme di illuminazione delle gallerie stradali”
- [6] ADR 2007 - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road – UNECE United Nation Economic Commission for Europe, 2007.
- [7] Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio 2004/54/CE: Requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
- [8] Decreto Legislativo 5 Ottobre 2006 n. 264: “Attuazione della Direttiva 2004/54/CE relativa ai requisiti di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”.
- [9] ANAS, Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente, 2009.
- [10] Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Anno 2004.
- [11] Progetto PTA-DESTINATION “Elaborazione dati dai Gate di progetto – Anno 2015”, Versione Italiana, – Politecnico di Milano, 2015;
- [12] Salvisberg, U., Allenbach, R., Hubacher, M., Cavegn, M. & Siegrist, S. (2004), “Verkehrssicherheit in Autobahn- und Autostrassentunneln des Nationalstrassennetzes”, Report n. 51, Swiss office for accident prevention, UPI, Bern.
- [13] Rattei G., Lentz A., Kohl B. “How frequent are fires in tunnels – Analysis from Austrian Tunnel Accident Statistics”, 7thInternational Conference ‘Tunnel Safety and Ventilation’ 2014, Graz.
- [14] AASHTO, Highway Safety Manual, 1st Ed., Vol. 1 ÷ 3, 2010.
- [15] PIARC, “Road Safety in Tunnels”, Committee on Road Tunnels - 1995.
- [16] CETU, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers – Fascicule 4 : Les études spécifiques des dangers (ESD), Septembre 2003.
- [17] OECD/PIARC/EU „Transport of Dengerous Goods Through Road Tunnels Quantitative Risk Assessment Model – Version 4.04“.