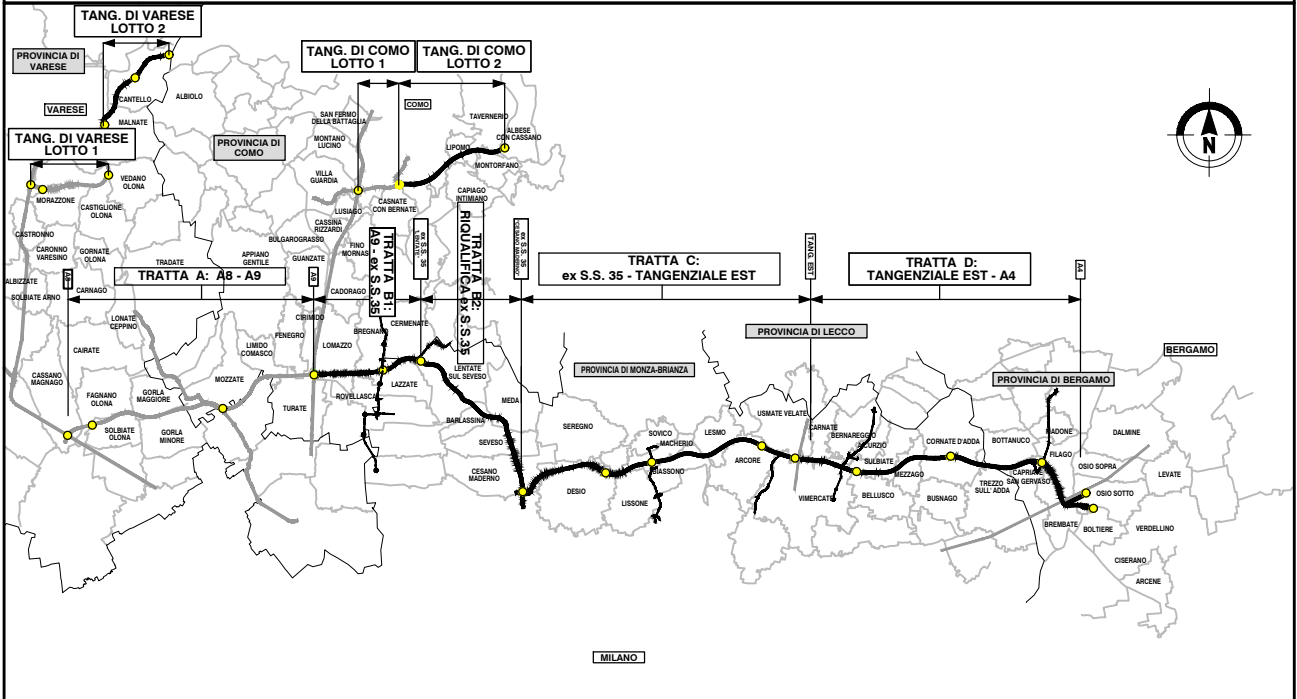


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE

DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO ESECUTIVO GENERALE

SICUREZZA STRADALE PROGETTO DELLA SICUREZZA PROGETTO DELLA SICUREZZA GALERIA MACHERIO 2

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
E	SC	GE	A030000		127	AR	003	A

DATA 20 Agosto 2023
SCALA 1:500

CONCEDENTE



CONTRAENTE GENERALE

PEDELOMBARDA NUOVA S.c.p.A.

DATA

20 Agosto 2023

REVISIONE

Emissione

A

ELABORAZIONE PROGETTUALE



Redatto
G. Brambilla

PROGETTISTI
RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Carlo Listorti

Visto
S. Di Bitetto

Approvato
E. D'Argenzio

CONCESSIONARIO



PROGETTISTA



Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto di Autostrada Pedemontana Lombarda S.p.A. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge. This document may not be copied, reproduced or published either in part or entirely without the written permission of Autostrada Pedemontana Lombarda S.p.A. Unauthorized use will be persecuted by law.

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

ESCGEA030000127AR003 rev A

IMPIANTI - RELAZIONI

PROGETTO DELLA SICUREZZA

GALLERIA MACHERIO 1

STRUTTURA DOCUMENTO:

PARTE 01-SCHEDATURA SISTEMA GALLERIA	pag. 01-17
PARTE 02-STUDIO TRAFFICO	pag. 18-34
PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'	pag. 35-52
PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO	pag. 53-73
PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI	pag. 74-78

PARTE 01-SCHEDATURA GALLERIA

Sommario

1	LOCALIZZAZIONE GALLERIA MACHERIO 2.....	3
1.1	DESCRIZIONE	3
1.2	SCOPO DELL'INTERVENTO PREVISTO	3
2	SCHEDATURA DEL SISTEMA GALLERIA	3
2.1	IDENTIFICAZIONE DEL PROGETTO (scheda 1, Linee Guida ANAS).....	3
2.2	IDENTIFICAZIONE DELLA GALLERIA (scheda 2, linee guida ANAS)	4
2.3	CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLA GALLERIA (scheda 3, linee guida ANAS)	4
2.4	CARATTERISTICHE AMBIENTALI (scheda 4, linee guida ANAS)	6
2.5	Caratteristiche del traffico (schede 5.1-5.4, linee guida ANAS).....	7
2.6	SISTEMI D'ILLUMINAZIONE (scheda 6.1, Linee Guida ANAS)	9
2.7	SISTEMA DI VENTILAZIONE (scheda 6.1, Linee Guida ANAS)	9
2.8	SISTEMI DI COMUNICAZIONE E TRASMISSIONE DATI (scheda 6.2, Linee Guida ANAS)	11
2.9	EROGAZIONE IDRICA E IMPIANTI ESTINZIONE INCENDIO (scheda 6.3, Linee Guida ANAS).....	12
2.10	IMPIANTI PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO (scheda 6.4, Linee Guida ANAS)	13
2.11	ALIMENTAZIONE ELETTRICA E CIRCUITI ELETTRICI (scheda 6.4, Linee Guida ANAS).....	13
2.12	RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE (scheda 7.1, Linee guida ANAS).....	14
2.13	RESISTENZA E REAZIONE AL FUOCO DEGLI IMPIANTI (scheda 7.2, Linee Guida ANAS).....	16
2.14	SEGNALETICA STRADALE.....	17

Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
Giugno 2023	F.J. Caputo P. Marassi	S. Di Bitetto	E. D'Argenzio	EMISSIONE PER CONDIVISIONE RSG

1 LOCALIZZAZIONE GALLERIA MACHERIO 2

La galleria Macherio 2 fa parte della tratta C del collegamento autostradale Dalmine-Como-Varese.

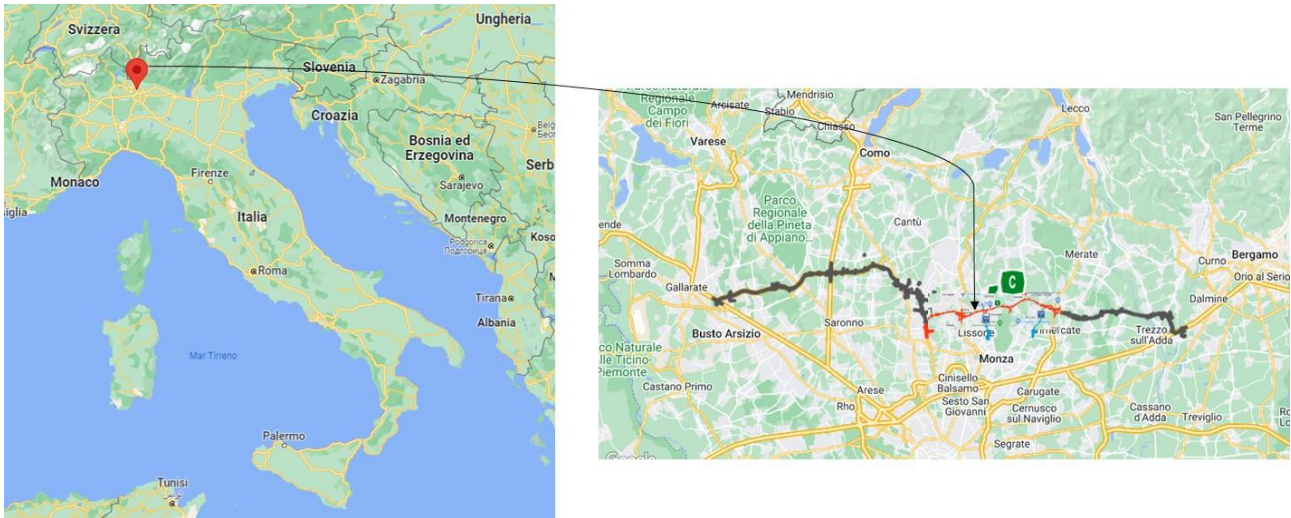


Figura 1: localizzazione

1.1 DESCRIZIONE

La galleria Macherio 2 è una galleria nuova, in fase di progettazione.

1.2 SCOPO DELL'INTERVENTO PREVISTO

La galleria Macherio 2 rientra tra le opere del progetto dell'Autostrada Pedemontana Lombarda che collega le province di Bergamo, Lecco, Monza e Brianza, Milano, Como e Varese.

2 SCHEDATURA DEL SISTEMA GALLERIA

2.1 IDENTIFICAZIONE DEL PROGETTO (scheda 1, Linee Guida ANAS)

Nome Tratta Stradale	Autostrada Pedemontana Lombarda – Tratta C		
Nome della Galleria	Macherio 2		
Anno di costruzione	-	Anno di inizio gestione	-
Società di Gestione	-		
Numero gallerie presenti sulla tratta	18		
Tipologia progetto	Affidamento	Consegna/versione	
<input type="checkbox"/> Studio fattibilità	/	/	
<input type="checkbox"/> Progetto preliminare	/	/	
<input checked="" type="checkbox"/> Progetto definitivo	/	/	
<input type="checkbox"/> Progetto definitivo per appalto integrato	/	/	
<input type="checkbox"/> Progetto esecutivo	/		
<input type="checkbox"/> Revisione di progetto	/	/	
<input type="checkbox"/> Progetto di adeguamento al DLgs 264/2006	/	/	
Tipologia progetto	Galleria di nuova realizzazione	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Galleria esistente	<input type="checkbox"/>	
	Galleria in corso di realizzazione	<input type="checkbox"/>	
	Altro:	<input type="checkbox"/>	
Osservazioni:			

Regime di Circolazione in galleria:

- Limiti di velocità: 130km/h (veicoli leggeri), 100km/h (veicoli pesanti)

2.2 IDENTIFICAZIONE DELLA GALLERIA (scheda 2, linee guida ANAS)

Nome Galleria		Macherio 2	
Anno di costruzione		-	
Nome Tratta Viaria		Autostrada Pedemontana Lombarda – tratta C	
Classe tratta viaria (DM 05/11/2001)		A	
Tipologia		Costruzione	
Autostradale	<input checked="" type="checkbox"/>	Naturale	<input type="checkbox"/>
Stradale urbano	<input type="checkbox"/>	Artificiale	<input checked="" type="checkbox"/>
Stradale extra-urbano	<input type="checkbox"/>	Trincea coperta	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/>	Sottomarina	<input type="checkbox"/>
Numero canne		2	
Direzionalità		Unidirezionale	<input checked="" type="checkbox"/> Bidirezionale <input type="checkbox"/>
Fornice est			
Direzione: Lesmo			
Progressiva Chilometrica*	progressivo inizio:	PM: 6+144.28	
	Lunghezza:	920m	
Coordinate UTM		-	
Localizzazione Portale d'ingresso		Lato Desio	Orientamento -
Quota m s.l.m.		195.8	
Localizzazione Portale di uscita		Lato Lesmo	Orientamento
Quota m s.l.m.		200.9	
Fornice ovest			
Direzione: Desio			
Progressiva Chilometrica	progressivo inizio:	PM: 7+064.00	
	Lunghezza:	920m	
Coordinate UTM		-	
Localizzazione Portale d'ingresso		Lato Lesmo	Orientamento -
Quota m s.l.m.		200.9	
Localizzazione Portale di uscita		Lato Desio	Orientamento -
Quota m s.l.m.		195.8	
Trasporto ADR	NO		
	SI	Libero	X
		Scortato	-
		Limitato nel tempo	-
Limitato nella tipologia		-	
Accessibilità ai fornici		Fornice Est	Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Fornice ovest
			Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

2.3 CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLA GALLERIA (scheda 3, linee guida ANAS)

Fornice Est	Direzione: Lesmo
--------------------	------------------

Dimensioni Lineari	Lunghezza		920m		
	Larghezza		18.6m (media)		
	Altezza		7.2m (media)		
Pendenza media	+0.6%				
Forma della Sezione	Rettangolare				
Contro soffitto	-	N° vani	-	Area sezione [m ²]	-
Cunicolo sottotraccia	-	N° vani	-	Area sezione [m ²]	-
N° Corsie	3				
N° Corsie emergenza	1				
Area della Sezione	124.3m ² - 127.9m ² -136.6m ² - 138.4m ²				
Fornice Ovest	Direzione: Desio				
Dimensioni Lineari	Lunghezza		920m		
	Larghezza		19.3m (media)		
	Altezza		7m (media)		
Pendenza media	-0.6%				
Forma della Sezione	Rettangolare				
Contro soffitto	-	N° vani	-	Area sezione [m ²]	-
Cunicolo sottotraccia	-	N° vani	-	Area sezione [m ²]	-
N° Corsie	3				
N° Corsie emergenza	1				
Area della Sezione	120.6m ² - 128.8m ² -136.6m ² - 138.4m ²				
Numero by-pass / gallerie solo pedonali	-		Interdistanza	-	
Numero by-pass / gallerie pedonali e carrabili	-		Interdistanza	-	
Numero svincoli interni	-		Interdistanza	-	
Altezza sagoma limite [m]	-				
Marciapiedi	N° per carreggiata	-	Larghezza	-	
Caratteristiche delle Vie di Accesso	Pendenza ($\leq 10\%$) [%]		-		
	Resistenza al Carico (≥ 20 t) [T]		-		
	Altezza Libera (≥ 4 m) [m]		-		
	Raggio di Volta (≥ 3 m) [m]		-		
Tracciato	Imbocchi in curva	sì			
	Numero curve in galleria	1			
	Raggio di curvatura	Max:	min:	med: 1580m	
	Restringtoni di carreggiata in galleria			-	
	Svincoli o incroci in galleria			-	
Percorsi di Esodo			Lunghezza [m]	Sezione [m ²]	
	Interno Galleria	sì	306 (media)	Media: 130.8 (est) Media: 138 (ovest)	
	Canna Parallela	-	-	-	
	Galleria di fuga	-	-	-	
	Canale Ventilazione	-	-	-	
Luoghi sicuri	Dinamici*		N°	-	
	Rifugi	N°		-	
		Capacità [n° persone]		-	

	Classe REI		-	
	Filtro antifumo		-	
	Dimensioni [m]		-	
	Spaziatura [m]		-	
	Impianto Ventilazione		-	
	Impianto Trasmissioni		-	
	Aria esterna		-	
	Videocamera/TV		-	
Uscite d'emergenza	Uscite Luoghi Sicuri Statici [n°]	-	Uscite Dirette Esterno [n°]	2
	Uscite Luoghi Sicuri Dinamici [n°]	-	Uscite By-pass [n°]	-
	Uscite Canale Ventilazione [n°]	-	Uscite Galleria Servizio [n°]	-
Piazzole di sosta	-	Interdistanza [m]	-	
Attraversamento all'esterno portali	Portale 1	-	Portale 2	-
Osservazioni				

2.4 CARATTERISTICHE AMBIENTALI (scheda 4, linee guida ANAS)

Località	Macherio (MI)		
Zona climatica	E (secondo D.P.R. 412/93 allegato A)		
Temperatura media invernale	5°C (stazione metereologica Milano-Linate)		
Temperatura media estiva	27°C (stazione metereologica Milano-Linate)		
Precipitazioni	-		
Nebbia	-		
Velocità media del vento ai portali	-		
Direzione prevalente del vento	-		
Differenza di pressione barometrica tra i portali	-		
Fenomeni anemologici anomali storici catalogati	-		
Categoria di stabilità atmosferica prevalente	-		
Distanza comando VVF [km]	<10km (Seregno)*		
Distanza comando servizi di pubblica sicurezza [km]	In loco *		
Distanza servizi di pronto intervento sanitario [km]	<10km (Desio)*		
Distanza struttura sanitaria attrezzata per l'emergenza [km]	<10km (Desio)*		
Distanza eliporto – aeroporto [Km]	<35km *		
Viabilità alternativa	sì		
Tipologia viabilità alternativa	autostradale	X	
	Urbana	X	
	Extraurbana	X	
Presenza di intersezioni a valle dei portali di uscita	Precedenza	-	
	Semaforo	-	
	Rotonda	X	
Centro abitato prossimo alla struttura	Macherio		
Distanza centro abitato	<10km		

Densità media di popolazione nella zona di influenza dei portali	Portale 1 (abitanti/km ²)	Portale 2 (abitanti/km ²)
Portale 1		
Distanza recettore sensibile prossimo al portale	<10km *	
Tipologia recettore	Scuole ospedale *	
Zonizzazione acustica	classe	
Portale 2		
Distanza recettore sensibile prossimo al portale	<10km *	
Tipologia recettore	Scuole ospedale *	
Zonizzazione acustica	<10km *	
<i>PRESENZA DI IMPIANTI DI PROCESSO, SISTEMI DI TRASPORTO DELL'ENERGIA, TERMINALI SISTEMI DI TRASPORTO</i>		
Impianti chimici	Distanza km	<35km *
Impianti petrolchimici	Distanza km	<35km *
Impianti di produzione industriale	Distanza km	<35km *
Porto marittimo	Distanza km	<35km *
Dogana	Distanza km	<35km *
Terminal-nodo intermodale	Distanza km	<35km *
Centri smistamento merci	Distanza km	<35km *
Oleodotti	Distanza km	<35km *
Gasdotti	Distanza km	<35km *

(*) da piano di emergenza provinciale Milano approvato il 29/01/2004

2.5 Caratteristiche del traffico (schede 5.1-5.4, linee guida ANAS)

<i>Traffico Fornice Est</i>				
Tipologia di Traffico	Leggero	X	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	X	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	X	% su traffico totale:	%su tratta:
Composizione traffico	Veicoli Leggeri [%]	81.71% (al 2035)	dev. standard	-
	Veicoli Pesanti [%]	18.29% (al 2035) (Autobus: 12,2% di VP)	dev. standard	-
Regime di Traffico	Rado	-	Frequenza	Sulla tratta
	Scorrevole	X	Frequenza	Sulla tratta
	Congestionato	-	Frequenza	Sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:
Trasporto ADR	No	Sulla tratta		Al casello di prossimità
	Si	Libero	X	
		Scortato	-	
		Limitato nel tempo	-	
		Limitato nella tipologia	-	
Traffico Giornaliero Medio (media annua) [veicoli/g]	60236 veicoli/giorno (al 2035)			

Traffico Giornaliero Medio (massimo mensile) [veicoli/g]	-
Stagionalità	-
Traffico di Punta [veic/h]	3750
Ora/e di punta	-

<i>Traffico Fornice Ovest</i>				
Tipologia di Traffico	Leggero	X	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	X	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	X	% su traffico totale:	%su tratta:
Composizione traffico	Veicoli Leggeri [%]	81.71% (al 2035)	dev. standard	-
	Veicoli Pesanti [%]	18.29% (al 2035) (Autobus: 12,2% di VP)	dev. standard	-
Regime di Traffico	Rado	-	Frequenza	Sulla tratta
	Scorrevole	X	Frequenza	Sulla tratta
	Congestionato	-	Frequenza	Sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:
Trasporto ADR	No		Sulla tratta	Al casello di prossimità
	Si		Libero	X
			Scortato	-
			Limitato nel tempo	-
			Limitato nella tipologia	-
Traffico Giornaliero Medio (media annua) [veicoli/g]	60236 veicoli/giorno (al 2035)			
Traffico Giornaliero Medio (massimo mensile) [veicoli/g]	-			
Stagionalità	-			
Traffico di Punta [veic/h]	3750			
Ora/e di punta	-			

<i>Traffico ambiente circostante-viabilità alternativa</i>				
Tipologia di Traffico	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:
Composizione traffico	Veicoli Leggeri [%]	-	dev. standard	-
	Veicoli Pesanti [%]	-	dev. standard	-
Regime di Traffico	Rado	-	Frequenza	Sulla tratta
	Scorrevole	-	Frequenza	Sulla tratta
	Congestionato	-	Frequenza	Sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:

Trasporto ADR	No	Sulla tratta	Al casello di prossimità
	--	Libero	-
		Scortato	-
		Limitato nel tempo	-
Limitato nella tipologia	-		
Traffico Giornaliero Medio (media annua) [veicoli/g]	-		
Traffico Giornaliero Medio (massimo mensile) [veicoli/g]	-		
Stagionalità	-		
Traffico di Punta [veic/h]	-		
Ora/e di punta	-		

<i>Traffico ambiente circostante-accesso servizi di soccorso</i>				
Tipologia di Traffico	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:
Composizione traffico	Veicoli Leggeri [%]	-	dev. standard	-
	Veicoli Pesanti [%]	-	dev. standard	-
Regime di Traffico	Rado	-	Frequenza	Sulla tratta
	Scorrevole	-	Frequenza	Sulla tratta
	Congestionato	-	Frequenza	Sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	Leggero	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Misto	-	% su traffico totale:	%su tratta:
	Pesante	-	% su traffico totale:	%su tratta:
Traffico Giornaliero Medio (media annua) [veicoli/g]	-			
Traffico Giornaliero Medio (massimo mensile) [veicoli/g]	-			
Stagionalità	-			
Traffico di Punta [veic/h]	-			
Ora/e di punta	-			

2.6 SISTEMI D'ILLUMINAZIONE (scheda 6.1, Linee Guida ANAS)

Sistema di Illuminazione	Ordinario	sì		
	Sicurezza	Linea Preferenziale Cabina	X	
		Linea Preferenziale G.E.	X	
		Batterie Tampone	-	
	Evacuazione	Picchetti luminosi	X	
		Altezza [m]	1	

2.7 SISTEMA DI VENTILAZIONE (scheda 6.1, Linee Guida ANAS)

Tipologia	Naturale	No		
	Longitudinale	Sì		
	Semi trasversale	Invertibile		-

		Non Invertibile		-
		Ibrido		-
	Trasversale	-	Ibrido	-
Configurazione	Numero centrali	-	Numero camini	-
	Numero tratti	-	Lunghezza max tratto	-
Fornice est	Numero acceleratori	18		
	Diametro acceleratori [mm]	1000		
	Spinta acceleratori [N]	900		
Fornice ovest	Numero acceleratori	18		
	Diametro acceleratori [mm]	1000		
	Spinta acceleratori [N]	900		
<i>Circuito di estrazione</i>				
Portata volumetrica	Totale [m ³ /s]	-		
	Singolo canale [m ³ /s]	-		
Numero bocchette	-	Apertura indipendente	-	
Dimensioni bocchette	Lunghezza [m]	-		
	Altezza [m]	-		
	Area [m ²]	-		
Spaziatura bocchette [m]	-			
Densità areica bocchette	Area/spaziatura [m ² /m]	-		
<i>Circuito di estrazione</i>				
Portata volumetrica	Totale [m ³ /s]	-		
	Singolo canale [m ³ /s]	-		
Numero bocchette	-			
Dimensioni bocchette	Lunghezza [m]	-		
	Altezza [m]	-		
	Area [m ²]	-		
Spaziatura bocchette [m]	-			
<i>Controllo velocità longitudinale</i>				
Con acceleratori	X			
Push-pull	-			
Tempo di controllo [s]	-			
Adattativi	-			
Tipo di logica	Booleana:			
	Fuzzy:			
	Neurale:			
Controllo	Anello aperto			
	Anello chiuso:			
Modello	Mappatura:			
	CFD:			
	Regressivo			
Impianto di depurazione	Numero centrali	-		
	Portata singola centrale [m ³ /s]	-		
	Filtrazione meccanica	-		
	Precipitazione elettrostatica	-		

	Abbattimento Nox	-	
	Abbattimento CO	-	
Ventilazione delle vie di fuga e dei rifugi	Aria esterna	-	
	Portata per singolo rifugio	-	
	Portata complessiva centrale	-	
	Numero ricambi ora	-	
	Sovrappressione [Pa]	-	
	Velocità aria attraverso le porte [m/s]	Esodo	Intervento
	Filtrazione aria	-	
	Serrande tagliafiamma	-	

2.8 SISTEMI DI COMUNICAZIONE E TRASMISSIONE DATI (scheda 6.2, Linee Guida ANAS)

Segnalazione Acustica	Altoparlanti nelle vie di fuga	X		
	Guida sonora	-		
Segnalazione Ottica	TV-CC	X		
	Pannelli a Messaggio Variabile			
	<i>Ai portali</i>	X		
	<i>Interdistanza in galleria [m]</i>	-		
	Semafori			
	<i>Ai portali</i>	X		
	<i>Interdistanza in galleria [m]</i>	-		
	Segnaletica di Sicurezza	X		
Segnalazione Radio	Cavo fessurato	-		
	Messaggi agli utenti	-		
	Frequenze Attive	PS	X	
		VVF	X	
Sistema servizi ausiliari	Circuito compressa aria	-		
	Altro	-		
Stazioni di emergenza	Interdistanza	Max: 150m		
	Telefono	X	Estintori X	
	Pulsante allarme	X	Armadio/nicchia Armadio SOS	
Monitoraggio parametri Ambientali	Anemometri	X		
	Sensori CO ₂	X		
	Sensori CO	X		
	Opacimetri	X		
	Sensori NOx	X		
Sistema di Rivelazione Segnalazione Incendio	Rivelatori fumi	X		
	Opacimetri	X		
	Sensori CO	X		
	Rivelatori Gas Tossici	-		
	Sensori CO ₂	X		
	Telecamere (TV-CC)	X		
	Sensori Termici	Interni	-	

		Esterni	-
		Lineari	X
Sistema di Allarme Incendio	Manuale		-
	Automatico		X

2.9 EROGAZIONE IDRICA E IMPIANTI ESTINZIONE INCENDIO (scheda 6.3, Linee Guida ANAS)

Sistema di spegnimento fisso	Tipologia rete	Ad anello: sì	A pettine: -	
	Portata Volumetrica [l/min]	120		
	Diametro collettore principale [DN]	140		
	Volume Vasca Accumulo [m ³]	80m ³		
	Pressione massima in rete [bar]	-		
	Attacchi di mandata VVF	-		
	Sezionamenti	-		
Idranti	Manichetta	-		
	UNI 45	sì		
	UNI 70	Sì-ai portali		
	Spaziatura [m]	<150		
	Portata	UNI 70 : >300 l/min UNI 45 : >120 l/min		
	Pressione Bocchello [Mpa]	-		
Sistema di mitigazione	Ugelli parete-soffitto (altezza) [m]	-		
	Ugelli marciapiede	-		
	Densità scarica [l/m m ²]	-		
	Acqua	-		
	Acqua nebulizzata	-		
	Schiuma	-		
	Pressione [bar]	-		
Mobile (estintori)	Estintore Carrellato	-		
	Estintore Portatile	X		
	Interdistanza [m]	150		
Postazione Antincendio	Autorespiratore [n°]	ARO	-	
		ARA	-	
	Maschere a Filtro [n°]	-		
	Tute Antifiamma [n°]	-		
	Spaziatura [m]	-		
Squadra Aziendale	APS	-		
	Mezzo Polivalente	-		
<i>Sistema di drenaggio</i>				
Fognatura (acque di piattaforma)	X			
Vasca di Raccolta	Presso la Piazzola Idraulica TA05	Capacità [m ³]	40mc	
Caditoie sifonate	Canalette grigliate con scarico sifonato	Interdistanza caditoie [m]	25	
Portata [l/s]	40			
Stazioni di pompaggio e Miscelazione	Numero stazioni pompaggio	1		

	Potenza elettrica installata [kW]	-
	Superficie in pianta locali stazione [m ²]	-
	Battente vasca accumulo/invaso [m]	-
	Distanza dal portale più vicino [m]	-
	Portata volumetrica [l/min]	-
	Volume vasca di accumulo [m ³]	80
	Volume serbatoio schiumogeno [m ³]	-

2.10 IMPIANTI PER LA GESTIONE DEL TRAFFICO (scheda 6.4, Linee Guida ANAS)

Blocco del traffico	Barriere	semaforo all'imbocco	Interdistanza [m]	-		
Monitoraggio traffico	Telecamere [n°]	12 videoanalisi automatica del traffico + 4 lettura targhe + 2 DOME di videosorveglianza + 2 mini DOME videosorveglianza US (su ciascun fornice)	Interdistanza [m]	75m (videoanalisi automatica traffico) Ai portali (DOME e lettura targhe)		
					Rilevazione automatica incidente	X
					Conteggio veicoli	X
					Velocità media del traffico	X
					Tipologia veicoli	X
Centro di controllo	Remoto		X			
	In loco		-			
	Outsourcing		-			
Sistema di gestione della galleria	Assente		-			
	Automatico		X			
	Operatore		-			
	Ridondanza		-			
	Client/server		-			
	Numero postazioni locali		-			
	Procedura emergenza standard		-			
	Procedure emergenze diversificate		-			
	Comunicazione servizi soccorso		-			

2.11 ALIMENTAZIONE ELETTRICA E CIRCUITI ELETTRICI (scheda 6.4, Linee Guida ANAS)

<i>ALIMENTAZIONE ELETTRICA</i>	
Tipologia rete	MT
N° punti fornitura	1
Potenza complessiva installata [kW]	1600
Potenza elettrica gruppo elettrogeno [kVA]	1350
Numero gruppi elettrogeni	1

Potenza elettrica UPS [kVA]	160
Durata prevista UPS [min]	60
<i>Dispositivi sotto gruppo elettrogeno</i>	
impianto di alimentazione di emergenza	X
impianto di ventilazione della galleria per la gestione dei fumi generati da un evento di incendio	X
impianto di ventilazione delle vie di fuga	X
impianto idrico antincendio	X
impianto Illuminazione diurna e notturna della galleria	-
<i>Dispositivi sotto CPSS (UPS)</i>	
impianto di illuminazione notturna e di sicurezza	X
impianto di illuminazione delle vie di fuga	X
impianto di illuminazione Sala di controllo e locali tecnici, segnaletica in galleria e nei tratti in prossimità degli imbocchi	X
impianto di sorveglianza	X
impianti di rilevazione incidenti ed incendio	X
sistema di gestione della galleria	X
impianti di comunicazione	X
<i>Sistema servizi ausiliari</i>	
Circuito aria compressa	-
<i>Studi simulazione</i>	
Esistenti	-
Modelli adottati (a zone, campo)	-
Suggerimenti	-

2.12 RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE (scheda 7.1, Linee guida ANAS)

Rivestimento	Tipo calcestruzzo	C28/35		
	Resistenza a compressione [Mpa]	35 (cubica)		
	Porosità	-		
	Additivi speciali [Fibre]	Non previsti		
	Materiale di rivestimento	Calcestruzzo (solo sulle paratie)		
	Spessore rivestimento [mm]	20cm pareti centrali 30cm pareti laterali		
	Materiale armatura	Acciaio B450C		
	Carico di rottura [Mpa]	540		
	Carico di rottura residuo [%]	-	Temperatura [°C]	-
	Spessore copriferro [mm]	40		
	Classe di resistenza strutturale [R]	-		
	Resistenza spalling [min]	-		
	Controsoffitto	Tipo calcestruzzo	-	
Resistenza a compressione [Mpa]		-		
Porosità		-		
Additivi speciali [Fibre]		-		
Materiale di rivestimento		-		
Spessore rivestimento [mm]		-		
Materiale tasselli di fissaggio		-		
Carico di rottura [Mpa]		-		

	Carico di rottura residuo [%]	-	Temperatura [°C]	
	Materiale armatura	-		
	Carico di rottura [Mpa]	-		
	Carico di rottura residuo [%]	-	Temperatura [°C]	
	Spessore copriferro [mm]	-		
	Classe di resistenza [REI]	-		
	Resistenza spalling [min]	-		
Cunicoli Sotto traccia	Tipo calcestruzzo	-		
	Resistenza a compressione [Mpa]	-		
	Porosità	-		
	Additivi speciali [Fibre]	-		
	Materiale di rivestimento	-		
	Spessore rivestimento [mm]	-		
	Materiale armatura	-		
	Carico di rottura [Mpa]	-		
	Carico di rottura residuo [%]	-	Temperatura [°C]	
	Spessore copriferro [mm]	-		
	Classe di resistenza [REI]	-		
	Resistenza spalling [min]	-		
Vie di fuga	Tipo calcestruzzo	C28/35		
	Resistenza a compressione [Mpa]	35Mpa (cubica)		
	Porosità	-		
	Additivi speciali [Fibre]	Non previsti		
	Materiale di rivestimento	Calcestruzzo (solo sulle paratie)		
	Spessore rivestimento [mm]	20cm pareti centrali 30cm pareti laterali		
	Materiale armatura	Acciaio B450C		
	Carico di rottura [Mpa]	540		
	Carico di rottura residuo [%]	-		
	Spessore copriferro [mm]	40	Temperatura [°C]	
	Classe di resistenza [REI]	-		
	Resistenza spalling [min]	-		
Locali tecnici	Centrali di ventilazione [classe REI]	-		
	Sale pompe [classe REI]	-		
	Locali quadri elettrici [classe REI]	-		
	Locali G.E. [classe REI]	-		
	Autorimesse non a cielo aperto [n° veicoli]	-		
	Autorimesse non a cielo aperto [classe REI]	-		
Porte vie di fuga	Apertura a spinta < 200 N	-	Larghezza [cm]	-
	Classe REI	REI 120	Autochiusura	-
Vernici	Tipo	Colore bianco R.A.L. n9010		
	Classe reazione al fuoco	-		
	Emissione sostanze tossiche	-	Temperatura limite [°C]	-
Pavimentazione stradale	Tipo rivestimento bituminoso	Conglomerato bituminoso	Drenante	-

	Classe reazione al fuoco	-	Temperatura limite [°C]	-
	Temperatura di rammollimento [°C]	-	Pirolisi [°C]	-

2.13 RESISTENZA E REAZIONE AL FUOCO DEGLI IMPIANTI (scheda 7.2, Linee Guida ANAS)

		Temperatura [°C]	Durata [minuti]
Acceleratori	Resistenza a temperatura	400	120
Cavi acceleratori	Durata in emergenza	850	90
Cavi illum. emergenza	Durata in emergenza	850	90
Cavi illum. vie di fuga	Durata in emergenza	850	90
Cavi illum picchetti	Durata in emergenza	850	90
Cavi impianto radio			
Cavi rete monitoraggio			
Corpi illuminanti	Durata in emergenza	400	90
Corpi ill. di emergenza	Durata in emergenza	400	90
Corpi ill. vie di fuga	-		-
Corpi ill. picchetti	Durata in emergenza	400	90
Tubi impianto idrico	-		-
Condotti imp. ventilazione	-		-
Opacimetri	-		-
Sensori CO	-		-
Anemometri	-		-
Sensori termici	-		-
Supporti ventilatori	-		-
Supporti corpi illum.	-		-
Supporti segnaletica	-		-
Trasformatori		-	
Gruppo continuità	Durata in emergenza	-	60
Gruppo elettrogeno	Durata in emergenza	-	24h
Sezionatori in galleria	-		-
Segnaletica	-		-
Pulsantiere in galleria	-		-
Strumentazione in campo	-		-
Valvole sistema idrico	-		-
Cassette idrante	-		-

2.14 SEGNALETICA STRADALE

Pannello di inizio galleria	Luminosa	Presente, ad entrambi gli imbocchi.
Segnaletica distanze dalle uscite di emergenza	Luminosa	Segnaletica retroilluminata triangolare
Segnaletica SOS ed estintori	Luminosa	Segnaletica luminosa di armadio SOS, estintori, poste in corrispondenza delle dotazioni.
Segnaletica idranti	Luminosa	Segnaletica luminosa indicante "idrante"

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

ESCGEA030000127AR003 rev A

IMPIANTI - RELAZIONI

PROGETTO DELLA SICUREZZA

GALLERIA MACHERIO 1

STRUTTURA DOCUMENTO:

PARTE 01-SCHEDATURA SISTEMA GALLERIA	pag. 01-17
PARTE 02-STUDIO TRAFFICO	pag. 18-34
PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'	pag. 35-52
PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO	pag. 53-73
PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI	pag. 74-78

PARTE 02-STUDIO DEL TRAFFICO

Sommario

1	Introduzione	20
2	Studio di traffico	20
3	Dati storici di traffico sulla rete in esercizio	24
4	Dati di traffico di riferimento per l'analisi	24
4.1	Traffico giornaliero medio	24
4.2	Composizione del traffico	24
4.2.1	Spettro di traffico	24
4.2.2	Considerazioni sulla composizione del traffico per tipologia di sistema di trazione	25
4.3	Traffico orario di punta	31
4.4	Traffico di veicoli trasportanti merci pericolose	31
4.5	Livelli di servizio e velocità	33

Indice delle Figure

<i>Figura 1: Autostrada oggetto di studio, con scomposizione in tratte funzionali</i>	21
<i>Tabella 1: Flussi di traffico, Scenari progettuali – VTGM complessivi e scomposizione per tratte funzionali</i> ...	22
<i>Tabella 2: Flussi di traffico, Scenario progettuale 2035 – Ora di punta della mattina (8:00 – 9:00) e TGM</i>	23

Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
Giugno 2023	F.J. Caputo	P. Marassi	E. D'Argenzio	EMISSIONE PER CONDIVISIONE RSG

1 Introduzione

Il presente documento costituisce parte integrante del Progetto della sicurezza della galleria “Macherio 2” situata sulla nuova Autostrada Pedemontana Lombarda – Tratta C, tra gli svincoli di Desio/Interconnessione S.S. 36 e Macherio, e sviluppa quanto previsto al secondo punto elenco del punto 2.3 dell’Allegato 4 al D.Lgs 264/2006 circa uno studio sulle previsioni del traffico.

D.Lgs. 264/06, Allegato 4, punto 2.3:

In particolare, il progetto della sicurezza allegato alla documentazione di sicurezza relativa a una galleria include:

... uno studio sulle previsioni del traffico che specifichi e giustifichi le condizioni previste per il trasporto di merci pericolose, corredato dell'analisi del rischio;

...

Lo studio sulle previsioni del traffico previsto dalla norma, per come richiamato nel testo, deve fornire:

- i dati di traffico utili a caratterizzare la galleria rispetto ai requisiti minimi di norma;
- i dati di traffico di veicoli trasportanti merci pericolose che si prevede attraverseranno la galleria, con la loro giustificazione;
- ulteriori dati caratteristici del traffico ed utili allo sviluppo dell’analisi di rischio (es. composizione ed evoluzioni tecnologiche del parco veicolare circolante).

2 Studio di traffico

Nell’ambito del progetto definitivo dell’Autostrada Pedemontana Lombarda (APL) è stato svolto uno studio di “Analisi trasportistica generale ed approfondimenti sui nodi di connessione con la viabilità esterna” i cui risultati sono riportati nel “Rapporto conclusivo” del Febbraio 2009.

Lo studio ha previsto i flussi di traffico sulla nuova infrastruttura a tre diversi orizzonti temporali di breve, medio e lungo termine, identificati rispettivamente con gli anni 2015, 2025 e 2035.

Nella successiva Figura 1 viene rappresentata la tratta oggetto di studio.

In dettaglio, l’asse principale Pedemontano si compone delle seguenti tratte:

- la tratta funzionale A (già realizzata) va dal raccordo ad ovest con l’autostrada A8 fino al raccordo con l’autostrada A9 attraversando il territorio delle Province di Varese e Como ed in particolare i comuni di Cassano Magnago, Fagnano Olona, Gorla Maggiore e Gorla Minore, Solbiate Olona, Mozzate, Cislago, Limido Comasco, Fenegrò, Cirimido, Turate e Lomazzo. Oltre ai due raccordi con la A8 e la A9 alle estremità, all’interno di tale tratta funzionale sono presenti tre svincoli intermedi denominati Olona, Mozzate e Cislago con quest’ultimi incompleti con rampe da e per la A8 per lo svincolo di Mozzate e da e per la A9 per lo svincolo di Cislago;
- la tratta funzionale B (parzialmente realizzata, Lotto B1) va dal raccordo con l’autostrada A9 fino allo svincolo di Cesano Maderno, connessione tra APL e la SS35 Milano – Meda esistente, attraversando il territorio delle Province di Como e Milano ed in particolare i comuni di Bregnago, Cermenate, Rovellasca, Lazzate, Lentate, Barlassina, Seveso, Bovisio Masciago, Cesano Maderno e Meda. Anche nella tratta funzionale B sono previsti cinque svincoli intermedi denominati Lazzate, Cermenate, Barlassina, Meda e Seveso, con Barlassina e Seveso svincoli incompleti con solo rampe di ingresso e uscita da e per Milano;

- la tratta funzionale C va dallo svincolo di Cesano Maderno fino all'interconnessione con l'autostrada A51 in prossimità del comune di Usmate Velate, attraversando il territorio delle Province di Milano e Monza e Brianza ed in particolare i comuni di Desio, Lissone, Seregno, Macherio, Biassono, Lesmo, Arcore, Usmate Velate e Vimercate. In questa terza tratta funzionale sono previsti due svincoli intermedi con l'interconnessione con la SS36 in prossimità del comune di Desio e in prossimità del comune di Macherio;
- infine, la tratta funzionale D va dall'interconnessione con l'autostrada A51 fino al raccordo con IPB, attraversando il territorio delle Province di Milano, Monza e Brianza e Bergamo ed in particolare i comuni di Carnate, Subiate, Bellusco, Mezzago, Cornate d'Adda, Trezzo sull'Adda, Bottanuco, Filago, Capriate, Brembate e Osio Sotto. In questa ultima tratta funzionale sono previsti gli svincoli di Aicurzio, Cornate, Filago ed infine il raccordo con l'autostrada A4 Milano – Bergamo e più precisamente subito ad est dell'attuale svincolo di Capriate sulla medesima autostrada.

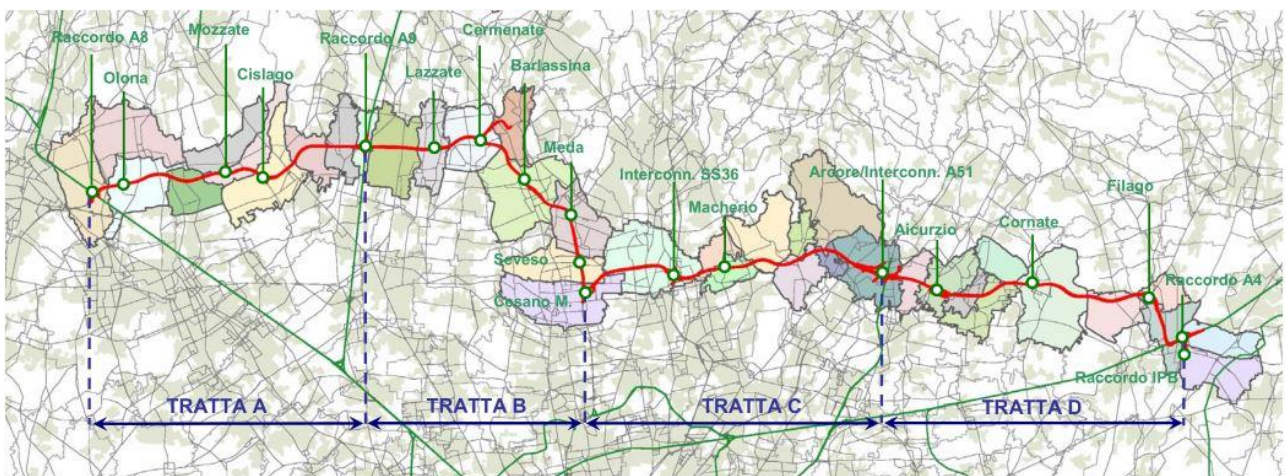


Figura 1: Autostrada oggetto di studio, con scomposizione in tratte funzionali

L'analisi degli scenari trasportistici messi a punto è stata orientata a caratterizzare ciascuna tratta elementare dell'intero tracciato della nuova autostrada in termini di domanda di trasporto soddisfatta rispetto all'orizzonte previsionale (di breve, medio e lungo termine), rappresentata:

- dal traffico dell'ora di punta della mattina di ciascun tratto elementare dell'APL, sia in forma disaggregata nelle componenti leggera e pesante sia in forma aggregata in termini di veicoli totali;
- dal Traffico Giornaliero Medio annuo (TGM), di ciascun tratto elementare, espresso sia in forma disaggregata nelle componenti leggera e pesante sia in forma aggregata in termini di TGM totale;
- dal traffico di Veicoli Teorici Giornalieri Medi (VTGM), che caratterizzano (nei tre orizzonti temporali analizzati) sia l'intero tracciato sia ciascuna delle 4 tratte funzionali di cui lo stesso si compone.

La presente analisi riprende i dati previsionali dello studio di Progetto definitivo, riferendosi all'orizzonte previsionale di lungo periodo 2035.

Per quanto concerne la domanda di traffico prevista sul collegamento di progetto si riportano, in Tabella 1, le risultanze scaturite dalle simulazioni effettuate sullo scenario progettuale rispetto all'orizzonte temporale di breve (anno 2015), di medio (anno 2025) e di lungo periodo (anno 2035).

I dati di traffico sono presentati in termini di VTGM, cioè Veicoli Teorici Medi Giornalieri, e quindi mediati sull'intero tracciato di progetto.

TRATTA FUNZIONALE	VTGM LEGGERI	VTGM PESANTI	VTGM TOTALE
TRATTA A	24'922	5'454	30'376
TRATTA B	51'302	10'729	62'031
TRATTA C	76'408	15'503	91'911
TRATTA D	48'939	12'428	61'367
INTERO TRACCIATO PRINCIPALE	50'482	11'131	61'613
Anno 2015 (breve periodo)			
TRATTA FUNZIONALE	VTGM LEGGERI	VTGM PESANTI	VTGM TOTALE
TRATTA A	25'773	5'937	31'710
TRATTA B	59'070	13'518	72'588
TRATTA C	92'376	19'944	112'320
TRATTA D	57'187	15'449	72'636
INTERO TRACCIATO PRINCIPALE	58'734	13'846	72'580
Anno 2025 (medio periodo)			
TRATTA FUNZIONALE	VTGM LEGGERI	VTGM PESANTI	VTGM TOTALE
TRATTA A	29'843	7'145	36'988
TRATTA B	69'027	16'835	85'862
TRATTA C	102'926	23'640	126'566
TRATTA D	63'125	17'617	80'743
INTERO TRACCIATO PRINCIPALE	66'318	16'436	82'754
Anno 2035 (lungo periodo)			

Tabella 1: Flussi di traffico, Scenari progettuali – VTGM complessivi e scomposizione per tratte funzionali

Nella Tabella 2 sono rappresentati i dati di traffico stimati all'orizzonte temporale di lungo periodo (2035), di riferimento per l'analisi, espressi in termini di TGM e del traffico d'ora di punta mattutina¹.

Sia il TGM sia il traffico orario sono distinti nelle componenti di veicoli leggeri (VL) e veicoli pesanti (VP).

Il traffico d'ora di punta, riferito alla punta mattutina tra le h. 8.00 e 9.00, è distinto anche per carreggiata.

¹ Nella tabella sono campite con sfondo grigio le tratte elementari prive di gallerie di lunghezza superiore a 500 m appartenenti al campo di applicazione del D.Lgs 264/2006.

Tabella 2: Flussi di traffico, Scenario progettuale 2035 – Ora di punta della mattina (8:00 – 9:00) e TGM

	PEDEMONTANA TRACCIATO PRINCIPALE	Ora Punta - Est			Ora Punta - Ovest			Bidirezionali			
TRATTA FUNZIONALE	Tratta Elementare	leggeri	pesanti	totali	leggeri	pesanti	totali	TGM leggeri	TGM pesanti	TGM totali	% pesanti
A	A8 - Olona	1,269	236	1,505	1,618	314	1,932	44,415	11,000	55,415	19.85%
	Olona - Mozzate	1,090	200	1,290	1,198	245	1,443	35,200	8,900	44,100	20.18%
	Mozzate - Cislago	550	87	637	568	105	673	17,200	3,840	21,040	18.25%
	Cislago - A9	921	150	1,071	805	146	951	26,554	5,920	32,474	18.23%
B	A9 - Lazzate	1,849	402	2,251	2,350	408	2,758	64,600	16,200	80,800	20.05%
	Lazzate - Cermenate	1,805	385	2,190	1,901	328	2,229	57,015	14,260	71,275	20.01%
	Cermenate - Barlassina	2,029	433	2,462	1,880	320	2,200	60,138	15,060	75,198	20.03%
	Barlassina - Meda	2,688	539	3,227	2,419	391	2,810	78,569	18,600	97,169	19.14%
	Meda - Seveso	2,672	547	3,219	2,570	415	2,985	80,646	19,240	99,886	19.26%
	Seveso - Cesano Maderno	3,049	601	3,650	2,838	443	3,281	90,569	20,880	111,449	18.73%
C	Cesano Maderno - SS 36	3,476	649	4,125	2,672	424	3,096	94,585	21,460	116,045	18.49%
	SS 36 - Macherio	3,516	611	4,127	2,882	491	3,373	98,431	22,040	120,471	18.29%
	Macherio – Arcore/ Usmate/Tg Est	4,043	708	4,751	3,122	577	3,699	110,231	25,700	135,931	18.91%
D	Arcore/Usmate/Tg Est - Aicurzio	2,162	435	2,597	2,135	427	2,562	66,108	17,240	83,348	20.68%
	Aicurzio - Cornate	2,090	439	2,529	1,790	397	2,187	59,692	16,720	76,412	21.88%
	Cornate - Filago	2,283	494	2,777	1,786	408	2,194	62,600	18,040	80,640	22.37%
	Filago - A4	2,591	553	3,144	1,885	437	2,322	68,862	19,800	88,662	22.33%
	A4 - Raccordo IPB	1,693	353	2,046	1,582	348	1,930	50,385	14,020	64,405	21.77%

3 Dati storici di traffico sulla rete in esercizio

Parte dell'asse dell'APL contemplato nello studio di traffico di progetto definitivo è stata già realizzata ed aperta al traffico dall'anno 2015. Ciò riguarda l'intera Tratta A e parte della Tratta B (Tratta B1).

Al fine di avere conferma della validità dei dati previsionali di analisi, tenuto conto del periodo trascorso dalla redazione dello studio, sono stati acquisiti i dati di traffico registrati sulla tratta in esercizio pubblicati dall'AISCAT per il periodo 2017-2021 (v. Tabella 3).

	2017	2018	2019	2020	2021
VL	14.248	16.097	17542	10931	14448
VP	3.454	3.939	4229	3417	4246
Tot	17.702	20.036	21.771	14.348	18.694
%VP	19,51%	19,66%	19,42%	23,82%	22,71%

Tabella 3: Flussi di traffico, Tratta in esercizio – VTGM complessivi

Il traffico registrato sulla tratta in esercizio è risultato variabile tra 18.000 e 20.000 veicoli/giorno, salvo un decadimento accentuato nell'anno 2020 prevedibilmente riconducibile all'emergenza sanitaria da COVID-19.

Confrontando questi valori con quelli previsti negli scenari di breve e medio periodo (rispettivamente 2015 e 2025) per la tratta A (circa 30.000 veicoli/giorno) risulta un traffico in esercizio apparentemente inferiore alle attese.

Ciò non meraviglia, considerando che la previsione simulativa fa riferimento all'intera tratta funzionante, mentre il traffico registrato è relativo ad una sola tratta, che risulta pertanto meno attrattivo per l'utenza.

Ciò, tuttavia, consente di ritenere sostanzialmente coerenti, negli ordini di grandezza, i dati di traffico previsti con quelli registrati in esercizio, e di rilevare che dai dati d'esercizio non emergono elementi che possano ritenere sottostimata la previsione proposta, che risulta (allo stato delle informazioni) congruente con le aspettative ed eventualmente cautelativa.

4 Dati di traffico di riferimento per l'analisi

4.1 Traffico giornaliero medio

Il progetto della sicurezza fa riferimento alla proiezione del flusso di traffico all'orizzonte temporale di lungo periodo dell'anno 2035. Sulla base dei dati previsionali rappresentati in Tabella 2 per la tratta "SS 36 - Macherio", si considera un valore di TGM sulle due carreggiate (bidirezionale) pari a:

$$TGM_{bidir} = 120.471 \text{ veicoli/giorno.}$$

Si considera una ripartizione equilibrata del traffico sulle due carreggiate (50% del TGM su ogni carreggiata) da cui il TGM per singolo verso di marcia è pari a:

$$TGM_{monodir} = 60.236 \text{ veicoli/giorno.}$$

4.2 Composizione del traffico

4.2.1 Spettro di traffico

Per spettro di traffico s'intende la composizione del traffico per classificazione e massa dei veicoli; in particolare, vengono distinte le categorie di veicoli leggeri (VL, es. autovetture) e di veicoli pesanti (VP, es. autocarri, autotreni, ecc.).

Lo spettro di traffico assunto nell'analisi di rischio per l'anno 2035 su ognuna delle due carreggiate corrisponde a quello previsionale stimato all'anno di analisi e rappresentato in Tabella 2 per la tratta "Cesano Maderno - SS 36".

Per quanto riguarda il numero di autobus circolanti sulla tratta autostradale, non essendo disponibili a oggi dati specifici, l'analisi ha considerato una presenza di bus pari al 12,2% del traffico di VP².

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

- Veicoli leggeri: 81,71%;
- Veicoli pesanti: 18,29%;
- Autobus: 2,23%.

4.2.2 Considerazioni sulla composizione del traffico per tipologia di sistema di trazione

Il tema delle tecnologie adottate per i sistemi di trazione veicolare ha influenza sull'impatto ambientale dei trasporti, e pertanto rientra nell'ambito delle politiche di sostenibilità ambientale e di riduzione delle emissioni di CO₂ che attualmente richiamano grande attenzione da parte del mondo politico ed industriale, nonché ingenti investimenti.

Inoltre, la diffusione di nuovi sistemi di trazione, con impiego di combustibili (o vettori energetici) alternativi e tecnologie innovative, induce la possibilità di nuovi possibili fattori di pericolo rispetto ai pericoli già noti e comunemente considerati nelle analisi del rischio con riferimento ad un parco veicolare integralmente composto da veicoli con motori a combustione interna tradizionali.

Ne consegue che risulta rilevante, ai fini del progetto della sicurezza delle gallerie, considerare anche le prospettive di evoluzione della composizione del parco veicolare per valutare in quale modo questa possa influenzare la sicurezza della galleria durante la sua vita utile.

A titolo di esempio, in Figura 2 viene fornita una rappresentazione di letteratura della possibile evoluzione futura del parco circolante di autovetture per tipologia di sistema di trazione.

Trattasi di dati affetti da grande incertezza a causa della continua evoluzione delle condizioni economiche e politiche internazionali, anche in relazione all'ampio intervallo di tempo considerato nella proiezione, ma che possono comunque risultare utili per un inquadramento generale dell'argomento.

² Valore medio della % di Bus presenti nella mix di traffico di "Autostrade extraurbane" secondo il CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche – BU 178/95 "Catalogo delle Pavimentazioni Stradali".

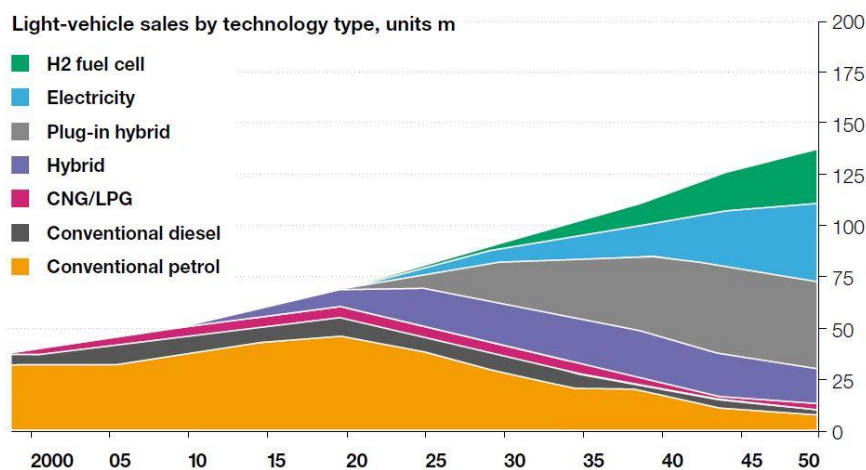


Figura 2: Proiezione della composizione futura al 2050 del traffico automobilistico per tipologia di sistema di trazione³

In particolare, nella presente analisi sono state considerate le prospettive di diffusione:

- delle auto elettriche, che insieme alla tecnologia ibrida “tradizionale” e Plug-in presenta le maggiori attese di diffusione sul breve e medio termine per la trazione dei veicoli leggeri;
- dell'alimentazione con biocarburanti (principalmente CNG -gas naturale compresso o metano e LNG - gas naturale liquefatto) per i motori termici dei veicoli pesanti.

Al riguardo, si rileva che allo stato attuale non risultano numeri significativi circolanti per queste tipologie di nuovi mezzi.

Di seguito sono rappresentati alcuni dati di previsione della Regione Lombardia (estratti dai siti Il Sole 24 Ore Radiocor) e Feder metano, rispettivamente riferiti alla diffusione di auto elettriche e di veicoli pesanti a biocarburanti.

Circa le auto elettriche, si riporta un estratto da “Il Sole 24 Ore Radiocor”:

“Di fronte alla necessità di ridurre le emissioni nocive nell’atmosfera, tutti i settori devono contribuire, compreso quello dell’auto. Si parla sempre di più di mobilità sostenibile e mobilità elettrica e nel 2021 le vendite di auto elettriche ed elettrificate hanno conosciuto una forte crescita in tutti i principali mercati europei, per esempio in Germania a ottobre 2021 le auto con la spina hanno raggiunto per la prima volta quasi un terzo delle immatricolazioni, arrivando al 30,4% del totale delle vendite. A questo fenomeno – che nel mese di settembre ha fatto salire sul podio di modello più venduto in Europa la Tesla Model 3, auto che esiste solamente in versione elettrica – hanno contribuito diversi fattori, dagli incentivi all’acquisto di vetture meno inquinanti, ai blocchi per le auto con motorizzazioni tradizionali o i divieti all’ingresso in alcune aree urbane, dalla maggiore disponibilità sul mercato di modelli con alimentazioni alternative, a una maggiore coscienza “ambientalista” da parte dei consumatori, sempre più disponibili a provare auto elettriche o ibride plug-in, passando per i contraccolpi di quello che è stato definito il “dieselgate”: lo scandalo emissioni che ha coinvolto diverse case automobilistiche accusate di aver truccato le emissioni di alcuni motori diesel per farli apparire meno inquinanti. In questo quadro, si inseriscono anche stringenti normative Ue che obbligano i produttori auto a dover rispettare determinati limiti sulle emissioni, tanto che si è arrivati a parlare di “morte del motore termico” e gli investimenti sulla mobilità elettrica a livello globale sono stimati pari a circa 500 miliardi di dollari nei prossimi 5-10

³ Fonte: ARUP “Future of Highways”, 2014.

anni. Questa la fotografia scattata nell'approfondimento realizzato da Radiocor in collaborazione con Lombardia Speciale, il sito di Regione Lombardia dedicato ai numeri dell'economia lombarda

La mobilità sostenibile è realtà anche in Italia

L'Italia non è esente da questo trend che vede una costante crescita delle vendite delle nuove vetture meno inquinanti. Secondo i dati elaborati da Anfia (Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica), nel periodo gennaio-ottobre 2021 nel nostro Paese sono state immatricolate 1.266.887 vetture, in aumento del 12,8% rispetto al 2020 (-22,1% sul 2019, anno pre-pandemia). Di queste, le immatricolazioni delle autovetture ad alimentazione alternativa rappresentano il 46,9% del totale, in aumento del 97,1% da inizio anno. Nel dettaglio, le autovetture elettrificate sono il 37,6% del mercato nei primi dieci mesi dell'anno. Tra queste, le ibride non ricaricabili hanno visto un aumento delle vendite del 122% rispetto al 2020, con una quota del 28,7%. Le ricaricabili hanno una quota dell'8,9% nei primi dieci mesi (le ibride plug-in il 4,6% e le elettriche il 4,3%)."

(Estratto da <https://www.ilsole24ore.com/art/lombardia-protagonista-mobilita-elettrica-AEd7iO7>).

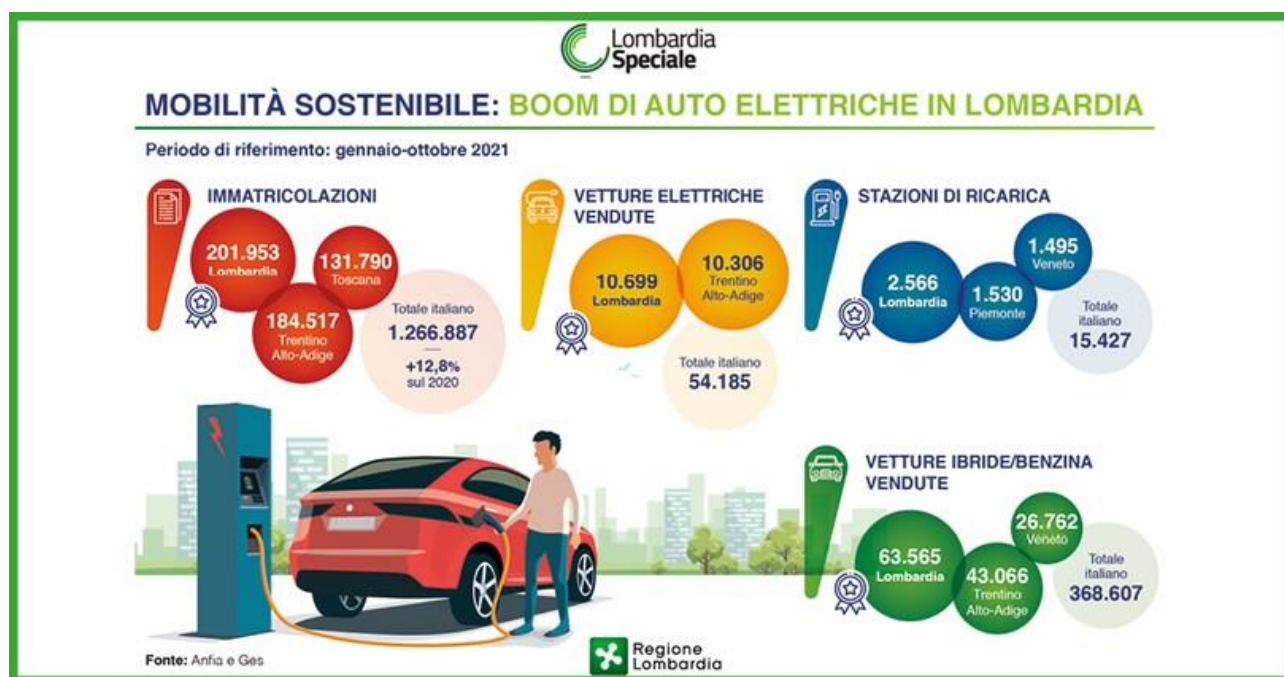


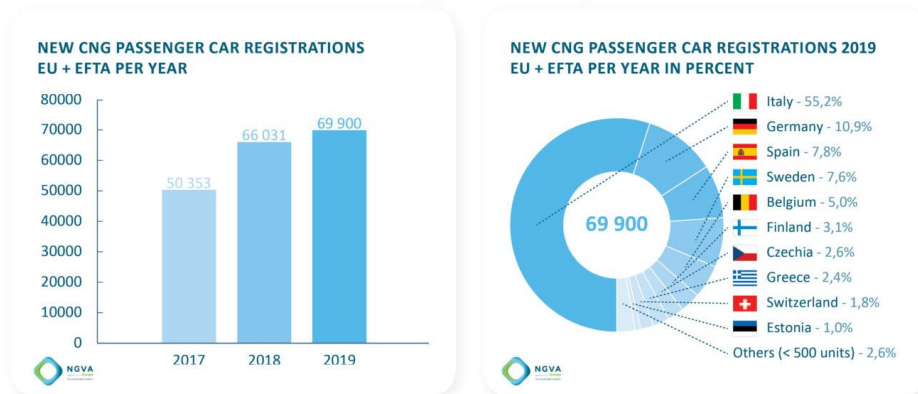
Figura 3: Dati su nuove immatricolazioni di auto in Italia

Da questi dati emerge che, sebbene il mercato manifesti attenzione verso questi nuovi sistemi di trazione, l'interesse è rivolto prevalentemente sulle vetture di tipo ibrido; di contro, le vetture elettriche costituiscono ancora una quota marginale delle vendite attuali (4%) e tale da farle ritenere una componente ancora trascurabile del parco circolante totale attuale.

In prospettiva, questa componente potrà assumere un ordine di grandezza anche del 30% circa del parco veicolare circolante di autovetture, se le proiezioni attuali dovessero essere confermate (v. Figura 2).

Circa l'utilizzo di biocarburanti, un indicatore utile è rappresentato dalla crescita di distributori di biocarburanti riportato da Federmetano, che ne evidenzia l'orientamento a livello europeo (estratto da <https://www.federmetano.it/2020/03/02/il-gas-naturale-nei-trasporti-2019-la-scelta-dei-consumatori-europei/>).

New CNG Passenger Car Registrations



New vehicle registrations in 2019



Refuelling infrastructure development

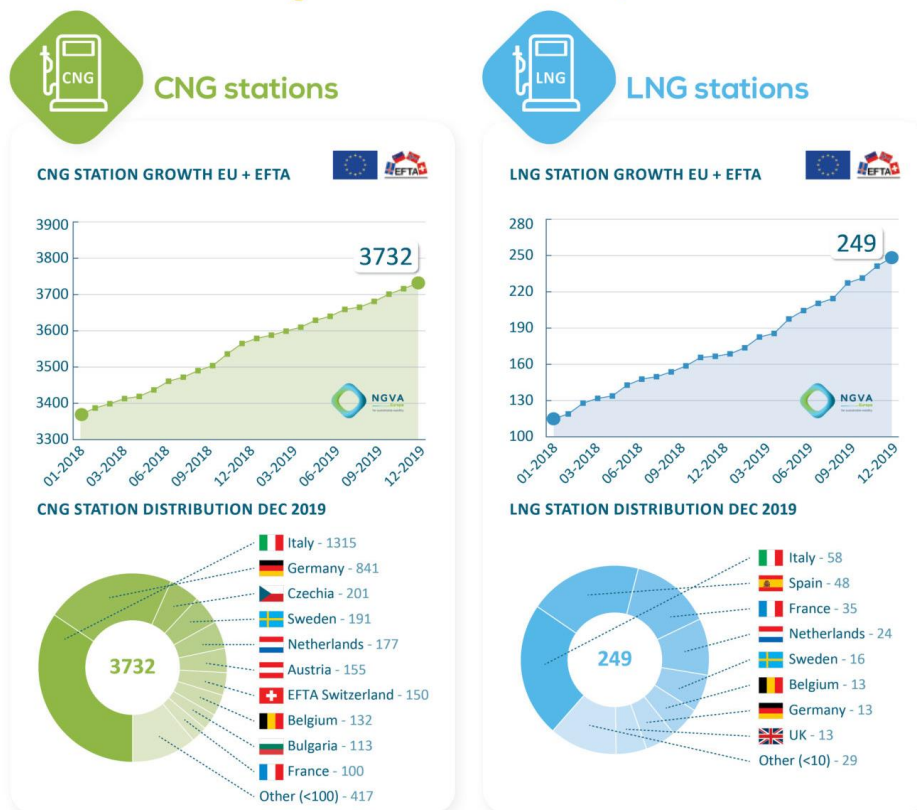


Figura 4: Statistiche sulla diffusione di combustibile a gas

“2 MARZO 2020 - Il gas naturale nei trasporti 2019: la scelta dei consumatori europei.

L'associazione di veicoli a gas naturale e bio (NGVA Europe) ha pubblicato le statistiche e i numeri sulle immatricolazioni di veicoli a gas e sullo sviluppo di stazioni di rifornimento nel 2019.

I numeri mostrano non solo le vendite in continua crescita di metano e in particolare i veicoli alimentati a LNG, ma anche la continua crescita delle stazioni di rifornimento.

I distributori di LNG in Europa sono cresciuti del 50% rispetto al 2018, mentre le immatricolazioni di veicoli pesanti alimentate a LNG sono quasi triplicate. Allo stesso tempo, dopo il primo trimestre del 2019, in cui i nuovi autoveicoli non erano disponibili sul mercato a causa del processo di omologazione WLTP, le immatricolazioni di autovetture sono a un nuovo livello.

Il segretario generale di NGVA Europe, Andrea Gerini, ha commentato: “Questi numeri confermano la crescente attrazione della mobilità del gas naturale per i consumatori europei. Questo è il risultato di una tecnologia per veicoli a gas matura con elevata efficienza e prestazioni del motore, infrastrutture diffuse e basso costo totale di proprietà (TCO), ma anche grandi benefici ambientali del gas nei trasporti”. Le infrastrutture e i veicoli del gas naturale sono pienamente compatibili con il gas rinnovabile e quindi potenti abilitanti della mobilità a emissioni zero. Oggi, l'utilizzo del gas naturale è il modo più economico per iniziare un percorso concreto verso la decarbonizzazione attraverso le molteplici dimensioni del settore dei trasporti.”

Anche in questo caso, sebbene trattasi di dati da un'associazione di categoria, bisogna rilevare che dai dati emerge attenzione da parte del mercato verso questi nuovi combustibili, in modo trasversale sia per i veicoli leggeri sia per i veicoli pesanti.

Tuttavia, i veicoli venduti con trazione a gas costituiscono ancora una quota marginale delle vendite attuali (circa 5% del totale riferito alle autovetture) e tale da farla ritenere una componente ancora trascurabile del parco circolante totale attuale.

In prospettiva, questa componente potrà assumere anche quote significative del parco veicolare, anche con riferimento ai veicoli pesanti. Tuttavia l'incertezza al riguardo è ancora tale da non consentire di fornire stime affidabili, anche considerando che:

- sussistono perplessità sull'efficacia di questa soluzione verso gli obiettivi di decarbonizzazione dei trasporti stradali. Di seguito si riporta un estratto da una recente pubblicazione ministeriale⁴:

“L'uso del gas naturale fossile non appare essere una soluzione compatibile con la prospettiva di decarbonizzazione per via di abbattimenti limitati delle emissioni dirette di gas serra dei veicoli ed emissioni fuggitive in fase estrattiva, di processo, trasporto e distribuzione con un significativo effetto forzante sul riscaldamento climatico, specie nel breve periodo, non ancora adeguatamente tracciato negli inventari internazionali. ... Un'opzione decisamente più sostenibile risulta essere il metano di origine biologica. Il biogas può a sua volta essere sottoposto a trattamenti di separazione per ottenere metano puro (biometano) che può essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale.

La quantità di biometano potenzialmente producibile in Italia è stimata (nelle valutazioni più ottimistiche) tra 6,532 e 1033 miliardi di m³ al 2030, a fronte di una produzione attuale di 1,734 miliardi

⁴ Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili “Decarbonizzare i trasporti, Evidenze scientifiche e proposte di policy”, Aprile 2022.

di m³ - che rappresenta poco più del 2% della domanda totale attuale di metano, che ammonta a oltre 70 miliardi di m³/anno. Economicamente, il biometano può essere interessante in caso di elevato utilizzo di infrastrutture esistenti e attualmente appare più razionale utilizzarlo per la decarbonizzazione di settori che non possono passare all'elettrificazione diretta in maniera semplice, come gli impianti industriali che hanno bisogno di grandi quantità di calore (es. vetrerie, cementifici)".

- Sul tema della decarbonizzazione del trasporto pesante su strada si stanno studiando diverse soluzioni alternative, prevalentemente orientate allo sviluppo di veicoli elettrici a batteria, elettrici a ricarica dinamica o ad idrogeno, che paiono più congeniali al trasporto pesante (v. Figura 5). Ciò nonostante, lo stesso studio ministeriale citato al punto precedente riporta che:

"l'uso di forme a basse emissioni di gas serra (biogas/biometano) può essere considerata un'ipotesi sia per le lunghe distanze che per servizi di trasporto hub and spoke (che gravitano attorno ad una base logistica principale), specie come soluzione di transizione e in particolare in assenza di un'infrastruttura di accesso a elettricità o combustibili alternativi".

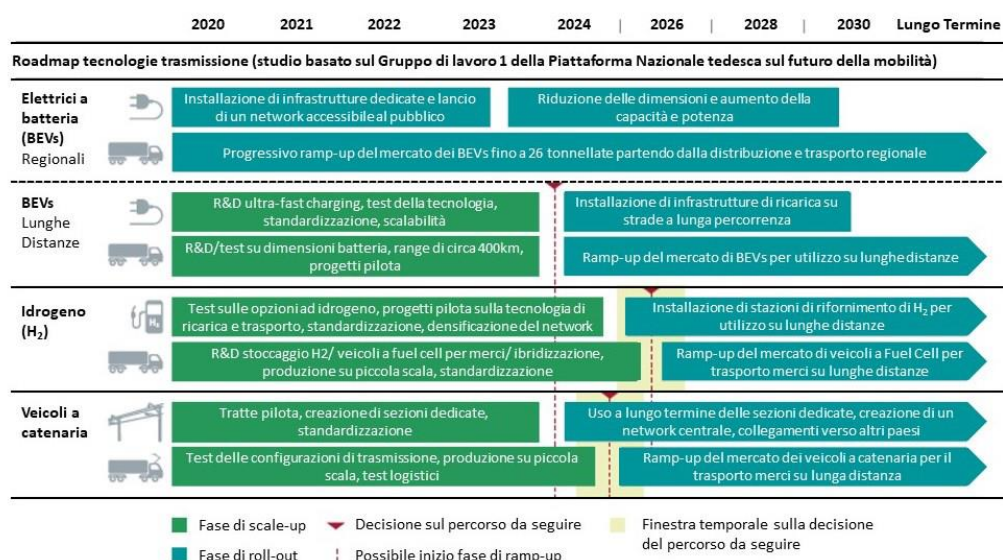


Figura 5: Programmi di sviluppo di diverse tecnologie di trasporto pesante in Germania⁴

In conclusione, dalle informazioni acquisite, si può ritenere che la diffusione di sistemi di trazione alternativi all'attualità abbia ancora carattere di marginalità e tale da non influenzare significativamente il progetto della sicurezza della galleria.

La diffusione di questi sistemi potrà ragionevolmente aumentare nel prossimo futuro, ma all'attualità non sono ancora disponibili proiezioni affidabili, anche alla luce di una molteplicità di soluzioni allo studio e della variabilità delle condizioni politiche ed economiche su scala mondiale.

Di questo tema si dovrà comunque tenere conto con una adeguata attività di monitoraggio durante l'esercizio dell'infrastruttura.

4.3 Traffico orario di punta

Il traffico d'ora di punta nello studio di traffico è stato stimato con riferimento alla punta mattutina, tra le h. 8.00 e le h. 9.00, distinto per le due carreggiate. I valori stimati sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4: Flussi di traffico dell'ora di punta (h. 8.00 – 9.00), anno 2035

Tratta Elementare	Ora Punta - Est			Ora Punta - Ovest		
	leggeri	pesanti	totali	leggeri	pesanti	totali
SS 36 - Macherio	3,516	611	4,127	2,882	491	3,373

I dati rappresentano un traffico d'ora di punta complessivo di

$$4.127 + 3.373 = 7.500 \text{ veicoli/ora}$$

corrispondenti al 6,23 % del TGM previsto (120.471 veicoli/giorno, cfr. § 4.1).

Dai dati in tabella risulta un maggior traffico in carreggiata Est rispetto alla carreggiata Ovest, misurato in:

- 55,0 % del traffico in carreggiata Est;
- 45,0 % del traffico in carreggiata Ovest.

Questo sbilanciamento appare molto contenuto e riconducibile alle specificità dei movimenti dell'ora in esame (punta mattutina), facendo ritenere prevedibile una situazione speculare nelle ore di punta della sera.

Da queste considerazioni si è preferito considerare un traffico bilanciato sulla giornata, con traffico di punta per singola direzione stimato in:

$$7.500 \cdot 0,5 = 3.750 \text{ veicoli /ora-carreggiata}$$

In assenza di una distribuzione oraria del traffico, si assume che il flusso orario sia variabile tra il valore di traffico di punta ed il valore di traffico minimo delle ore notturne, stimato assumendo l'ipotesi che questo sia pari al 1% del TGM. Da questa ipotesi consegue la stima del traffico d'ora notturna (traffico minimo):

$$120.471 \cdot 0,01 = 1.204 \text{ veicoli/ora}$$

$$1.204 \cdot 0,5 = 602 \text{ veicoli/ora-carreggiata}$$

4.4 Traffico di veicoli trasportanti merci pericolose

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

Lo studio PROGETTO DESTINATION è stato condotto a seguito di rilievi in prossimità dei principali nodi di transito STRADALE / AUTOSTRADALE del Nord Italia finalizzato a rilevare i transiti di veicoli adibiti al trasporto merci pericolose ADR⁵

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

In particolare, è risultata una frazione di veicoli ADR pari al 0,62 % del traffico totale.

In Figura 6 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 totali rilevati di veicoli trasportanti merci pericolose.

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

Tabella 5: Transiti registrati per le 10 merci pericolose più frequenti

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		

Sulla base di questi dati, ai fini dell'analisi di rischio è stata adottata la schematizzazione della composizione del traffico di veicoli ADR rappresentata in *Tabella 6*.

⁵ 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.

Tabella 6: Ripartizione del traffico ADR in funzione della tipologia di sostanza trasportata

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 trascurabile)	38,16

4.5 Livelli di servizio e velocità

Nello studio di traffico sono stati svolti anche una serie di approfondimenti d’ambito locale finalizzati, tra l’altro, alla verifica della funzionalità di ogni elemento dell’infrastruttura sotto il profilo trasportistico⁶.

La galleria in esame rientra nell’ambito definito “Desio-Macherio”.

Per quanto riguarda la verifica della funzionalità del tracciato in cui ricade la galleria Macherio 2, riportato nella Figura 6, non si evidenziano criticità. Gli archi d’asse autostradale nelle due carreggiate nell’ora di punta mattutina si attestano su un Livello di Servizio pari a B.

Dallo stesso modello previsionale viene stimata una velocità media di rete sull'asse di 117.38 km/h.

⁶ Le analisi fanno riferimento all’ora di punta della mattina (h. 8.00 – 9.00) dello scenario progettuale del 2015.

Figura 6: Distribuzione dei Livelli di Servizio-Scenario progettuale 2015 – Ora di punta della mattina



Sulla base di questi dati, si conferma l'ipotesi già adottata nel progetto della sicurezza di progetto definitivo circa una presenza non significativa di condizioni di traffico congestionato (assenza di congestione).

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

ESCGEA030000127AR003 rev A

IMPIANTI - RELAZIONI

PROGETTO DELLA SICUREZZA

GALLERIA MACHERIO 1

STRUTTURA DOCUMENTO:

PARTE 01-SCHEDATURA SISTEMA GALLERIA	pag. 01-17
PARTE 02-STUDIO TRAFFICO	pag. 18-34
PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'	pag. 35-52
PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO	pag. 53-73
PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI	pag. 74-78

PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'

Sommario

1	Introduzione	37
2	Approccio metodologico	37
3	Fattori specifici di pericolo della galleria	38
3.1	individuazione dei parametri di sicurezza della galleria	38
3.2	individuazione dei fattori di pericolo connessi alla galleria	39
3.3	Caratteristiche speciali	41
3.4	individuazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza	41
3.5	valutazione della vulnerabilità della galleria	44
4	Stima dell'incidentalità attesa in galleria	46
4.1	Premessa alla stima dell'incidentalità	46
4.2	Stima della frequenza di guasti	47
4.3	Stima della frequenza di incidenti	48
4.4	Stima della frequenza di incendi	49
5	Conclusioni dell'analisi di vulnerabilità	51

Indice delle Figure

Tabella 1: Parametri di sicurezza caratteristici della galleria.....	38
Figura 1: Tasso di incidenti gravi e feriti 2001-2018 (fonte AISCAT).....	49

Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
Giugno 2023	F.J. Caputo P. Marassi	S. Di Bitetto	E. D'Argenzio	EMISSIONE PER CONDIVISIONE RSG

1 Introduzione

Il presente documento costituisce parte integrante del Progetto della sicurezza della galleria “Macherio 2” situata sulla nuova *Autostrada Pedemontana Lombarda – Tratta C*, tra gli svincoli di Desio/Interconnessione S.S. 36 e Macherio, e sviluppa quanto previsto al terzo punto elenco del punto 2.3 dell’Allegato 4 al D.Lgs 264/2006 circa un’indagine specifica sui fattori di rischio.

D.Lgs. 264/06, Allegato 4, punto 2.3:

In particolare, il progetto della sicurezza allegato alla documentazione di sicurezza relativa a una galleria include:

... un'indagine specifica sui fattori di rischio che descriva i possibili incidenti che manifestamente mettono a repentaglio la sicurezza degli utenti stradali nelle gallerie, suscettibili di verificarsi durante l'esercizio, e la natura e l'ampiezza delle possibili conseguenze; questa indagine deve specificare e comprovare misure per ridurre la probabilità di incidenti e le loro conseguenze.

...

L’indagine specifica sui fattori di rischio prevista dalla norma è (per come descritta) una analisi di vulnerabilità dell’opera che, a partire dall’esame delle caratteristiche geometriche e funzionali della galleria in progetto (rispettivamente trattate nei documenti di *Descrizione dell’opera* e *Studio di traffico*), individua e quantifica i possibili incidenti attesi in galleria ed eventuali fattori di attenzione utili a limitarne la frequenza di accadimento e la severità delle loro conseguenze.

Criteri per lo sviluppo dell’analisi di vulnerabilità sono presenti nell’Allegato 3 “*Obiettivi di sicurezza e metodologia di analisi di rischio*” al D.Lgs 264/2006 ed al § 1.4.2 delle “*Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente*” ANAS 2009, adottati a riferimento per la presente analisi.

2 Approccio metodologico

L’analisi di vulnerabilità viene svolta secondo l’approccio adottato dalle “*Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente*” ANAS 2009 (di seguito anche *Linee Guida ANAS 2009*, cui si rimanda per maggiori dettagli) ed in coerenza con le disposizioni dell’Allegato 3 al D.Lgs 264/2006. In particolare, l’analisi di vulnerabilità secondo le Linee Guida ANAS 2009 prevede le seguenti fasi:

- a. individuazione dei parametri di sicurezza della galleria;
- b. individuazione dei fattori di pericolo connessi alla galleria in esame dall’analisi delle anomalie che la galleria presenta rispetto ai parametri di sicurezza;
- c. individuazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza di appartenenza della galleria;
- d. valutazione della vulnerabilità della galleria;
- e. valutazione dei tassi di accadimento degli eventi incidentali;
- f. determinazione della frequenza di accadimento degli eventi incidentali, identificata con la misura di sicurezza del sistema galleria e valutata in termini dei parametri di sicurezza principali e dei tassi di accadimento degli eventi incidentali.

I punti da “a.” a “d.” attengono all’individuazione dei fattori specifici di pericolo che caratterizzano la galleria in esame e sono trattati nel successivo capitolo 3.

I punti “e.” ed “f.” attengono alla stima dell’incidentalità attesa in galleria e sono trattati nel capitolo 4.

Il rapporto si chiude con un capitolo di conclusioni in cui riassumono gli esiti dell’analisi svolta.

3 Fattori specifici di pericolo della galleria

3.1 individuazione dei parametri di sicurezza della galleria

La Galleria Macherio 2 è di tipo a doppia canna a senso unico di marcia (due fornici mono-direzionali).

I due fornici hanno lunghezza uguale e pari a 920 metri.

In entrambi i fornici ci sono 3 corsie di marcia larghe 3,75 m, una banchina in sinistra da 0,70 m ed una banchina in destra (corsia di emergenza) larga 3,00 m.

Il traffico medio giornaliero annuo (TGM) stimato all'anno 2035 è pari a 60.236 veic/giorno per verso di marcia, con frazione di veicoli pesanti del 18,29 % e con un traffico di punta pari a circa 3.750 veic/h (6,2 % del TGM) per entrambe le direzioni.

Il traffico per corsia risulta pari a (60.236 veic/giorno) / 3 corsie = 20.079 veic/giorno-corsie.

In Tabella 1 sono riportati i parametri di sicurezza caratteristici della galleria individuati e valutati secondo l'approccio indicato dalle Linee guida ANAS 2009.

Parametro di sicurezza caratteristico	Riferimento ANAS 2009	Galleria Macherio 2
Numero di corsie per senso di marcia	3	3
Larghezza corsie [m]	3,5	3,75
Pendenza [%]	5	0,60
Raggio di Curvatura [m]	1.000	1.500 ca.
Frazione veicoli pesanti [%]	15	18,29
Congestione Traffico [min/giorno]	30	0
Stagionalità traffico	2	- ¹
Nebbia [% annua]	20	14 % (52 Giorni/anno) ²
Precipitazioni [% annua]	20	20 % (72 Giorni/anno - 973 mm/anno)

Tabella 1: Parametri di sicurezza caratteristici della galleria

In tabella si evidenziano anomalie nei parametri di sicurezza riguardo ai seguenti parametri:

- frazione di veicoli pesanti, 18,91 > 15%.

Oltre questo fattore, bisogna considerare la presenza di un **volume di traffico superiore al valore di soglia di 10.000 veicoli/giorno-corsia**, comunemente assimilato a caratteristica di specialità per le gallerie stradali.

¹ Dalla documentazione di sicurezza di Progetto definitivo della galleria si assume l'assenza di fenomeni di stagionalità del traffico.

² In assenza di dati specifici per la galleria in esame, si assume a riferimento il dato relativo alla galleria Cesano Maderno, non distante dalla galleria Macherio 2.

3.2 individuazione dei fattori di pericolo connessi alla galleria

In Tabella 2 sono riportati i fattori di pericolo della galleria individuati e valutati secondo l'approccio indicato dalle Linee guida ANAS.

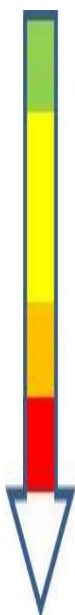
I	Struttura-Tipologia costruttiva	Galleria Macherio 2
1	Unidirezionale + corsia di emergenza	X
2	Unidirezionale	
3	Bidirezionale	



II	Struttura-Corsie		
	Numero Corsie	Larghezza	
1	1-2	L > 3.5 m	
2		3.5 < L < 3 m	
3		L < 3 m	
4	> 2	L > 3.5 m	X
5		3.5 < L < 3 m	
6		L < 3 m	



III	Struttura-Tracciato		
	Pendenza	Disegno	
1	< 3%	Dritta	
2		Curva – Imbocchi dritti	
3		Dritta – Imbocchi curvi	
4		Curva – Imbocchi curvi	X
5	> 3%	Dritta	
6		Curva – Imbocchi dritti	
7		Dritta – Imbocchi curvi	
8		Curva – Imbocchi curvi	



IV	Traffico-Composizione	
	%Veicoli pesanti	
1	< 15%	
2	>15%; <30%	X
3	>30%	
4	Veicoli ADR	X



V	Traffico-Velocità	
	Limiti di velocità	
1	50 km/h	
2	70 km/h	
3	90 km/h	
4	100 km/h	
5	>=110 km/h	X (130 km/h)



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



Tabella 2: Fattori di pericolo della galleria Macherio 2 secondo le Linee Guida ANAS 2009

I fattori di pericolo in tabella sono ordinati per importanza e per peso relativo delle caratteristiche specifiche dei fattori di pericolo. La caratterizzazione del fattore di pericolo per la galleria in esame è identificata con la "X".

Una scala cromatica al lato evidenzia le soluzioni a rischio crescente (dal verde – condizione di minor pericolo – al rosso – condizione di maggior pericolo).

Dalla tabella risultano potenziali fattori di pericolo (colore rosso o arancione nella scala cromatica) riguardo ai seguenti parametri:

- **Struttura - corsie;**
- **Traffico-Composizione, per la presenza di veicoli trasportanti merci pericolose (veicoli ADR);**
- **Traffico-Velocità, per la presenza di un limite di velocità >110 km/h;**

- **Ambiente-accessibilità, dagli imbocchi della galleria.**

Tra questi si rileva che il primo punto attiene al numero di corsie di marcia che, tuttavia, è coerente con il limite massimo indicato per i parametri di sicurezza (cfr. § 3.1), ed all'andamento planimetrico curvilineo, comunque progettato conforme agli standard normativi vigenti e quindi tale da garantire visuale libera coerente con le esigenze di manovra e di eventuale arresto.

Inoltre, con riferimento al secondo punto in elenco, dallo Studio di traffico è emersa l'opportunità di considerazioni in merito alle prospettive d'impiego di sistemi di trazione e combustibili alternativi.

3.3 Caratteristiche speciali

L'individuazione dei *requisiti minimi* di sicurezza da adottare in galleria ai sensi dell'Allegato 2 del D.Lgs

Ai sensi dell'Art. 4, comma 8, del D.Lgs 264/2006 alla Commissione permanente per le gallerie è demandato il compito di individuare *“le gallerie che presentano caratteristiche speciali e per le quali occorre prevedere misure di sicurezza integrative o un equipaggiamento complementare”*, laddove viene definita *“Galleria speciale”* una *“Galleria alla quale sono associate caratteristiche geometriche, funzionali e ambientali che possono indurre condizioni di pericolo per gli utenti tali da richiedere, suffragata da analisi di rischio, l'adozione di misure di sicurezza integrative”* (v. Allegato I al D.Lgs 264/2006).

Nel caso specifico, la Commissione permanente per le gallerie si è espressa sulla Documentazione di sicurezza di progetto definitivo delle gallerie dell'Autostrada Pedemontana Lombarda con Delibera del 22 ottobre 2009.

Nella citata delibera, la Commissione ha richiamato la necessità di tener conto di:

“caratteristiche speciali riconducibili a volume di traffico e sua composizione in termini di percentuale di veicoli pesanti e trasporto di merci pericolose, particolari condizioni di traffico connesse alla alternanza di svincoli e gallerie, con presa in conto di eventuali condizioni meteorologiche sfavorevoli per la visibilità”.

Questo richiamo, generalizzato a tutte le gallerie della tratta, risulta coerente con gli elementi emersi dall'analisi dei parametri di sicurezza e dei pericoli della galleria, particolarmente per quanto riguarda il volume di traffico e la sua composizione.

3.4 individuazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza

L'individuazione dei *requisiti minimi* di sicurezza da adottare in galleria ai sensi dell'Allegato 2 del D.Lgs 264/2006 è funzione del tipo di opera (nuova o esistente), della lunghezza dell'opera e del volume di traffico.

In Tabella 3 è riportata la tabella riepilogativa dei requisiti minimi di norma per le *“gallerie nuove”* con individuazione dei requisiti minimi applicabili alla galleria Macherio 2 in ragione della sua lunghezza (920 metri) e del volume di traffico di progetto (20.079 veic/giorno-corsie).

REQUISITO	TIP. [1]	RIF.TO	NOTE	REQUISITO MINIMO PER LA GALLERIA MACHERIO 2
OBBLIGATORIO				
2 o più fornici	S	2.1.2	Obbligatorio se le previsioni su 15 anni indicano traffico > 10.000 veicoli/corsia	SI
Misure supplementari per pendenza long. > 3%	S	2.2.3	Obbligatorie tramite analisi di rischio	
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.1		SI

Uscite di emergenza	S	2.3.6-8	Obbligatorie con interdistanza massima 500 m se il volume di traffico è > 2000 veicoli per corsia	SI
Illuminazione ordinaria	I	2.8.1	Obbligatorio secondo prescrizioni D.M. n. 3476 del 14.09.05	SI
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2		SI
Illuminazione di evacuazione	I	2.8.3		SI
Ventilazione meccanica	I	2.9.2-4	Obbligatorio impianto di ventilazione meccanica per gallerie di L > 1000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia (V. longitudinale consentita solo con analisi di rischio e misure specifiche, altrimenti (semi)trasversale)	MISURA INTEGRATIVA
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale	I	2.9.5	Per gallerie di L > 3000 m, traffico bidirezionale e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, la V. (semi)trasversale deve prevedere:	
			estrazione fumi azionabile separatamente o a gruppi regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione	
Stazioni di emergenza	I	2.10.2-3	Obbligatorie vicino ai portali e a interdistanza max 150 m (dotazione minima: telef. SOS + 2 estintori)	SI
Erogazione idrica	I	2.11	Obbligatoria con idranti a interdistanza max 250 m	SI
Segnaletica stradale	I	2.12	Obbligatorio secondo prescrizioni Allegato 4-bis	SI
Centro di controllo	I	2.13.1	Obbligatorio per G. di L > 3000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	MISURA INTEGRATIVA
Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio	I	2.14.1	Obbligatorio nelle gallerie servite da un centro di controllo	MISURA INTEGRATIVA
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	I	2.15.1	Obbligatorio per G. di L > 1000 m	MISURA INTEGRATIVA
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento	I	2.16.1	Obbligatorio per G. di L > 1000 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia	MISURA INTEGRATIVA
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria	I	2.16.2	Obbligatorio per gallerie di L > 3000 m servite da un centro di controllo	

Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1		SI
Resistenza e reazione al fuoco degli impianti e sistemi e dei loro componenti	I	2.18	Devono consentire il mantenimento delle necessarie funzioni di sicurezza	SI
OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI				
Pendenza long. ≤ 5%	S	2.2.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche non consentono diverse soluzioni progettuali	
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice)	S	2.4.1	Obbligatorie per G. di L > 1500 m se i fornice sono allo stesso livello, o comunque collegabili, con interdistanza max 1500 m	
Punti attraversamento spartitraffico agli imbocchi (G. a doppio fornice)	S	2.4.2	Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche lo consentono	SI
Piazzola di sosta	S	2.5.1-3	Obbligatorie ogni 1000 m solo per G. bidirezionali di L > 1500 m con volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, qualora non sia prevista la corsia di emergenza: non obbligh. se la largh. residua della piattaforma, escluse le corsie di marcia, è pari almeno ad una corsia	
Drenaggio	S	2.6.1	Obbligatorio solo se è autorizzato il trasporto di merci pericolose	SI
Resistenza al fuoco delle strutture	S	2.7	Obbligatorio solo se un eventuale cedimento locale può avere conseguenze catastrofiche	SI
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio	I	2.14.2	Obbligatorio se, in assenza di centro di controllo, il funzionamento della ventilazione per controllo fumi è diverso da quello automatico per controllo inquinanti	MISURA INTEGRATIVA
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	I	2.16.3	Obbligatorio se gli utenti della galleria in fase di evacuazione devono aspettare prima di poter raggiungere l'esterno	MISURA INTEGRATIVA
RACCOMANDATO				
Impianto per chiudere la galleria: semafori all'interno galleria	I	2.15.2	Raccomandato per G. di L > 3000 m e volume di traffico > 2000 veicoli per corsia, con interdistanza max 1000 m	MISURA INTEGRATIVA
[1] S: strutturale I: impiantistico				

Tabella 3:: *Requisiti minimi di sicurezza di Allegato 2 del D.Lgs 264/2006*

Dall'individuazione dei *requisiti minimi* di norma si evidenzia che tutti i requisiti applicabili nella galleria in esame sono misure di sicurezza di base, applicabili a tutte le gallerie nell'ambito di applicazione del D.Lgs 264/2006.

L'unica misura di sicurezza ulteriore, da applicare in relazione all'anomalia nel parametro di sicurezza del volume di traffico (superiore al valore di soglia di 10.000 veicoli/giorno-corsia, e quindi superiore anche al valore di riferimento di 2.000 veicoli/giorno-corsia), è costituita dalla presenza di uscite di emergenza.

Oltre ai requisiti minimi di norma, in progetto devono essere adottate misure integrative di sicurezza opportune per contrastare anche gli effetti delle ulteriori anomalie nei parametri di sicurezza e nei fattori specifici di pericolo (cfr. § 3.1 e § 3.2), la cui valutazione di efficacia è demandata all'analisi di rischio.

Allo scopo, sono state previste in progetto le seguenti misure di sicurezza integrative (evidenziate in verde in tabella):

- ventilazione meccanica, di tipo longitudinale con Jet fan.
- centro di Controllo, ove confluiscono tutte le segnalazioni di allarme e dotato di operatività di comando e controllo;
- presenza di un impianto di monitoraggio TVCC con sistema di rilevamento automatico d'incidente (D.A.I.);
- sistema lineare digitale di rilevazione d'incendio (fibrolaser);
- impianto di semafori agli imbocchi;
- pannelli a messaggio variabile (PMV) alfanumerici all'imbocco ed in galleria;
- indicatori di corsia freccia/croce in galleria;
- ritrasmissione radio per i servizi di soccorso;
- altoparlanti in galleria.

3.5 valutazione della vulnerabilità della galleria

Dall'esame dei parametri di sicurezza e dei fattori di pericolo della galleria, nonché dei fattori di specialità individuati dalla Commissione permanente per le gallerie, risulta che questa è soggetta ai seguenti fattori specifici di rischio:

- Anomalie nei parametri di sicurezza caratteristici:
 - ✓ frazione di veicoli pesanti > 15%;
 - ✓ volume di traffico > 10.000 veicoli/giorno-corsia;
- Fattori di pericolo:
 - ✓ transito in galleria per veicoli con merci pericolose;
 - ✓ limite di velocità >110 km/h;
 - ✓ accessibilità, dagli imbocchi della galleria;
 - ✓ l'alternanza di svincoli e gallerie.

Al riguardo si rappresenta quanto segue.

Un'elevata frazione di veicoli pesanti comporta un potenziale incremento della frequenza di eventi di guasto, d'incidente o d'incendio di veicoli pesanti, per incremento dell'esposizione al rischio (percorrenza di VP in galleria), nonché il possibile incremento della severità media degli incidenti.

La presenza di un volume di traffico elevato comporta un incremento della frequenza degli incidenti e degli incendi, sia per incremento del tasso di accadimento degli eventi sia per incremento dell'esposizione (percorrenza di veicoli in galleria).

Tutti questi elementi, pertanto, comportano un potenziale incremento di rischio per incremento della frequenza attesa di accadimento degli eventi iniziatori di sequenze incidentali potenzialmente critiche.

Questi fattori di pericolo sono contrastati con misure di prevenzione, dalla progettazione stradale conforme alla normativa vigente oltre che dal piano di segnalamento.

Laddove necessario, potranno essere implementate ulteriori misure di esercizio, quali la limitazione della velocità massima o l'imposizione del divieto di sorpasso dei veicoli pesanti o di un distanziamento minimo tra veicoli, secondo le disposizioni del capo 3.9 dell'Allegato II al D.Lgs 264/2006.

In ogni caso, la presenza di un sistema integrativo di monitoraggio continuo da remoto della galleria (con impianto TVCC collegato al Centro di controllo) e di sistemi di controllo del traffico (semafori agli imbocchi e pannelli freccia/croce e PMV in galleria) consente di rilevare rapidamente eventuali anomalie nella circolazione ed attuare le misure per l'arresto del traffico, tali da limitare il rischio di eventi secondari con aggravio della severità degli eventi.

La presenza di sistemi di sicurezza integrativi, con il rilevamento automatico d'incendi ed un impianto di ventilazione meccanica, inoltre, consentono un rapido intervento di protezione degli utenti in galleria dagli effetti di un possibile incendio.

La presenza di veicoli trasportanti merci pericolose (ADR) comporta il rischio di avere incidenti con possibile sversamento, dispersione o incendio di questa tipologia di materiali, suscettibili di generare conseguenze anche molto gravi. Questo tipo di eventi è contrastato con la predisposizione di un impianto di drenaggio di liquidi pericolosi, come richiesto da norma. Inoltre, le dotazioni integrative già richiamate, con sistemi di controllo del traffico e rilevamento d'incidenti e di incendi, nonché la presenza della ventilazione meccanica, consentono di intervenire rapidamente per attuare le opportune procedure di gestione dell'emergenza e protezione degli utenti nel caso di sviluppo d'incendi.

Per valutare l'effetto di questi fattori di rischio è stata sviluppata un'analisi di rischio quantitativa, rappresentata in altro documento. Questa viene svolta con valutazione del rischio in termini assoluti, ossia confrontando il livello di rischio che caratterizza la galleria con il limite di rischio tollerabile previsto dalla norma (v. Allegato 3 al D.Lgs 264/2006).

Circa la velocità di circolazione, a maggiori velocità può corrispondere maggiore incidentalità e maggiore severità delle sue conseguenze. Al riguardo si richiama nuovamente quanto disposto al capo 3.9 dell'Allegato II del D.Lgs 264/2006, che richiede di suggerire ed eventualmente imporre una velocità commisurata ad un distanziamento tra veicoli di 2 secondi. La velocità massima ammessa, nel caso specifico, risulta comunque coerente con le disposizioni del Codice della strada e con la geometria d'asse stradale di progetto (coerente con le disposizioni della normativa vigente) nonché con il livello di servizio atteso.

Il penultimo fattore di rischio evidenziato dall'analisi di vulnerabilità, relativo all'accessibilità in galleria limitata ai soli imbocchi della stessa, non appare molto rilevante per il caso in esame. La galleria, infatti, dispone di corsia di emergenza in entrambi i forni che consente comunque l'accesso di mezzi di soccorso nel verso del traffico. L'accesso, inoltre, è consentito anche contromano, mediante l'applicazione di opportune procedure che prevedono l'arresto del traffico ed il controllo di "via libera" nella tratta "a valle" dell'evento (secondo il verso del traffico). Queste dotazioni appaiono adeguate alle esigenze di sicurezza della galleria, oltre che pienamente rispondenti al quadro normativo vigente, anche in considerazione della lunghezza della galleria (980 m).

La definizione delle procedure di accesso in galleria avverrà prima del termine dei lavori di costruzione, per la messa in servizio della galleria. La verifica dell'efficacia delle procedure e la loro eventuale ottimizzazione potrà essere ottenuta mediante l'esecuzione delle esercitazioni periodiche in esercizio.

L'alternanza di svicoli e gallerie può influenzare l'incidentalità con generazioni di condizioni di moto vario (per presenza di ripetuti punti di conflitto) ed un effetto di sovraccarico di sollecitazioni all'utente (elevata frequenza di imbocchi/sbocchi e punti di conflitto). Questo tipo di effetti, laddove non direttamente riscontrabile nei modelli di stima dell'incidentalità, potrà essere oggetto di monitoraggio in esercizio e di eventuale mitigazione con l'adozione di opportune misure gestionali (es. limite massimo di velocità, limitazioni al sorpasso dei veicoli pesanti o al distanziamento minimo tra veicoli, fino al controllo automatico delle velocità praticate dagli utenti ed al sanzionamento delle infrazioni).

Infine, con riferimento ai futuri sviluppi tecnologici derivanti dall'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂ e con particolare riferimento alle tecnologie ritenute di più maturo impiego nel breve e medio periodo, individuate nell'utilizzo di auto elettriche e veicoli pesanti alimentati con biocarburanti, si rileva che all'attualità si tratta di tecnologie che hanno ancora una diffusione modesta e tale da poter essere considerata marginale ai fini del progetto della sicurezza, mentre non sono ancora disponibili prospettive affidabili sull'entità della loro futura diffusione.

In ogni caso, sulla base delle attuali conoscenze, non ci si aspetta un significativo effetto sulla stima del rischio della galleria. Infatti:

1. per le auto elettriche, non risulta che la probabilità d'incendio sia superiore a quella di un'auto tradizionale, ed in caso d'incendio risulta che queste automobili sprigionano una potenza termica equiparabile a quella associata all'incendio delle auto tradizionali (4-8MW circa);
2. per i mezzi pesanti alimentati da biocarburanti (LNG e CNG), il maggior fattore di rischio è associabile al rilascio ed incendio del combustibile, con scenari di eventi critici assimilabili a quelli propri del trasporto di merci pericolose con gas infiammabili. Gli scenari derivanti da incidenti a questi veicoli possono quindi essere rappresentati dagli scenari di sversamento di merci pericolose già considerati nell'analisi di rischio, con una frequenza di accadimento che (attualmente) rientra nei margini d'incertezza propri delle frequenze di sversamenti di merci pericolose, ed una magnitudo delle conseguenze certamente inferiore a quella degli scenari considerati nell'analisi di rischio (grazie al minor volume di combustibile presente).

Queste due categorie di veicoli, allo stato attuale, possono eventualmente avere effetti sulla gestione delle emergenze, considerando che le auto elettriche (per quanto risultante dall'osservazione di alcuni casi d'incendio) possono avere un tempo di estinzione d'incendio superiore rispetto a quello delle automobili tradizionali attualmente in circolazione, pur a parità di potenza termica emessa.

4 Stima dell'incidentalità attesa in galleria

4.1 Premessa alla stima dell'incidentalità

L'analisi di rischio necessita di stimare la frequenza di accadimento di scenari potenzialmente critici tipici dell'ambito "galleria" che possono costituire pericolo per gli utenti, rappresentativa delle specifiche caratteristiche e condizioni di esercizio della galleria in esame.

La stima della probabilità che si verifichino gli scenari di eventi critici nella Galleria Macherio 2 deriva dalla combinazione delle frequenze di accadimento degli eventi iniziatori all'interno dell'infrastruttura e delle probabilità di accadimento dei singoli scenari.

Gli eventi iniziatori tipici di possibili percorsi critici nelle gallerie stradali sono costituiti da:

- Guasti ai veicoli;
- Incidenti;
- Incendi.

La frequenza di accadimento dei guasti è rilevante, sia da un punto di vista funzionale dell'esercizio e di corretta gestione della circolazione stradale, sia perché da questi può derivare un innesco d'incendio.

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.

Infine, la frequenza di accadimento degli incendi è rilevante in quanto questi rappresentano comunemente il maggior fattore di pericolo in galleria, poiché suscettibili di generare conseguenze severe (anche con fatalità) che, sebbene prevedibilmente di entità inferiore a quella che può derivare da eventi di incidenti con sversamento di merci pericolose, sono caratterizzati da frequenza di accadimento attesa molto maggiore.

La frequenza di accadimento degli eventi iniziatori in una galleria può essere stimata ricorrendo ai seguenti approcci:

- adozione di dati statistici di carattere generale sull'incidentalità nelle gallerie stradali, da letteratura;
- analisi statistica degli eventi osservati in esercizio nella galleria (per le gallerie esistenti aperte al traffico);
- analisi previsionale d'incidentalità mediante l'impiego di modelli previsionali di letteratura.

Nel caso specifico, trattandosi di gallerie in progetto, per cui non sono disponibili dati storici di incidentalità, si è fatto ricorso al terzo degli approcci in elenco, adottando modelli previsionali di letteratura capaci di tener conto esplicitamente delle caratteristiche geometriche e funzionali della galleria.

4.2 Stima della frequenza 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 autostradali in funzione della pendenza longitudinale (p) del tracciato stradale:

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

Nel caso specifico, con riferimento all'anno di riferimento dell'analisi (2035) risulta:

- fornice dir. Est (discesa):

$$T_{g_{Est}} = 215,6 \times 10^{-8} \text{ guasti/veic.km};$$

cui corrispondono

43,6 guasti/anno totali;

8,0 guasti/anno di VP;

- fornice dir. Ovest (salita):

$$T_{g_{Ovest}} = 364,4 \times 10^{-8} \text{ guasti/veic.km};$$

cui corrispondono

73,7 guasti/anno totali;

13,5 guasti/anno di VP.

4.3 Stima della frequenza di incidenti

Nel caso in esame, la stima dei tassi di incidenti è stata svolta mediante l'applicazione del modello previsionale proposto dall'Ufficio Svizzero per la Prevenzione degli Infortuni (UPI)³.

Per tener conto delle specificità della rete viaria italiana, rispetto a quella svizzera, e per tener conto dell'influenza sulla sicurezza delle regole di circolazione e della condotta di guida tipica di ogni paese, il modello UPI è stato calibrato mettendo a confronto l'incidentalità osservata nelle gallerie italiane e quella stimata con il modello UPI⁴.

Il numero di incidenti stimato tiene conto della calibrazione del modello alla realtà autostradale italiana⁵.

Il risultato dell'analisi di stima dell'incidentalità in galleria, espresso in termini di tasso di incidenti e numero di incidenti attesi per anno, sono i seguenti:

Tasso di incidenti = $0,424 \text{ incidenti} \cdot 10^{-6} / \text{veicoli} \cdot \text{km}$;

frequenza _{singolo fornice} = 8,6 incidenti/anno;

frequenza _{galleria} = 17,2 incidenti/anno.

Al fine di avere un ordine di grandezza della quota di incidenti gravi (eventi con lesioni personali, anche "f+i") si considera una frazione d'incidenti con lesioni pari al 19,3% sul totale degli incidenti, come risultante da statistiche di ANIA nel 2013. Da ciò risulta:

Tasso di incidenti_{f+i} = $0,082 \text{ incidenti} \cdot 10^{-6} / \text{veicoli} \cdot \text{km}$;

frequenza _{singolo fornice f+i} = 1,7 incidenti/anno;

frequenza _{galleria f+i} = 3,3 incidenti/anno.

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

- Incidenti con soli danni materiali: 30-80 incidenti per 10^8 veicoli/km;
- Incidenti con danni alle persone: 0-15 incidenti per 10^8 veicoli/km;
- Feriti: 0-15 incidenti per 10^8 veicoli/km;
- Morti: 0-1 incidenti per 10^8 veicoli/km.

³ 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.

⁴ Domenichini, La Torre, Caputo, Fanfani, "Il modello previsionale di incidentalità in gallerie autostradali", Rivista "Strade & Autostrade", Gennaio-Febbraio 2012.

⁵ Il fattore di calibrazione adottato può essere ritenuto cautelativo, in quanto relativo ad una calibrazione svolta su dati di incidentalità in gallerie della rete autostradale nazionale negli anni 2006-2009, e pertanto non tiene conto della tendenziale riduzione di incidentalità registrata sulla rete autostradale negli anni successivi, come documentato nella "Relazione annuale al Parlamento ai sensi dell'articolo 15, comma 4, del decreto legislativo 5 ottobre 2006, n. 264 - Interventi di adeguamento delle gallerie stradali realizzati nell'anno 2011 e previsti per l'anno 2012" del 30 giugno 2012 della Commissione Permanente Gallerie.

Da questi dati risulta che il tasso di incidenti (di tutti i tipi) stimato in galleria varia nell'intervallo 0,30-0,95 incidenti per 10^6 veicoli/km.

Nel caso specifico risulta che l'incidentalità stimata all'anno 2035 nelle due canne (0,42 incidenti per 10^6 veicoli/km) risulta coerente con i dati tipici, in posizione intermedia nell'intervallo di riferimento.

Circa l'incidentalità grave, fonti AISCAT rappresentano l'evoluzione dell'incidentalità grave sulla rete autostradale in Italia (v. Figura 1).



Figura 1: Tasso di incidenti gravi e feriti 2001-2018 (fonte AISCAT)

Il tasso stimato ($0,082 \text{ incidenti} \cdot 10^{-6} / \text{veicoli} \cdot \text{km} = 8,2 \text{ incidenti} \cdot 10^{-8} / \text{veicoli} \cdot \text{km}$) è nell'ordine di grandezza dell'incidentalità grave rilevata sulla rete.

Sempre da fonte AISCAT è stato possibile acquisire il tasso di incidentalità grave rilevato nelle tratte dell'Autostrada Pedemontana Lombarda già in esercizio dall'anno 2015 (Tratta A e Tratta B1). Per l'ultimo triennio 2019-2021 risultano i seguenti valori di tasso d'incidenti gravi:

- 2019: 9,59 incidenti per 10^8 veicoli/km;
- 2020: 5,05 incidenti per 10^8 veicoli/km;
- 2021: 7,07 incidenti per 10^8 veicoli/km.

Il tasso d'incidenti gravi sull'Autostrada Pedemontana Lombarda in esercizio risulta variabile nell'intervallo 5-10 incidenti per 10^8 veicoli/km.

Il dato stimato di $8,2 \text{ incidenti} \cdot 10^{-8} / \text{veicoli} \cdot \text{km}$ si pone all'interno di questo intervallo di osservazione, a conferma della validità della stima previsionale adottata per la galleria in progetto.

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

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 lo sviluppo dell'analisi di rischio non è stato adottato alcun fattore di riduzione del tasso di incidentalità dei veicoli ADR secondo un approccio cautelativo.

4.4 Stima della frequenza di incendi

Da dati di letteratura risulta che la frequenza di incendi di veicoli leggeri (VL) è scarsamente variabile con le caratteristiche specifiche delle gallerie. Per questa viene assunto un tasso d'incendio fisso (fonte CETU, v. Tabella 4). Da questo assunto risulta la seguente frequenza di incendi di VL, valida per entrambi i fornicci della galleria:

$$T_{\text{fire-VL}} = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

$$\text{frequenza}_{\text{fire-VL}} = 3,31 \cdot 10^{-1} \text{ incendi/anno.}$$

Di contro, la frequenza di incendi di veicoli pesanti (VP) risulta più sensibile con le caratteristiche specifiche delle gallerie. In considerazione di ciò, questa viene stimata a partire dagli eventi iniziatori "guasto" o "incidente". I presupposti assunti alla base della stima degli incendi di VP 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 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 2014⁶. Questo dato risulta concorde e cautelativo rispetto all'indicazione "di massima" riportata in letteratura secondo cui si ha un incendio ogni 100-500 guasti⁷.

Da queste valutazioni risultano i seguenti tassi di incendio:

- fornice dir. Est (discesa):

$$T_{\text{fire-self}} = 2,13 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

$$T_{\text{fire-acc}} = 2,12 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

$$T_{\text{fire-totale}} = 4,25 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

- fornice dir. Ovest (salita):

$$T_{\text{fire-self}} = 3,61 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

$$T_{\text{fire-acc}} = 2,12 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km};$$

$$T_{\text{fire-totale}} = 5,73 \cdot 10^{-8} \text{ incendi/veicoli} \cdot \text{km.}$$

A questi tassi di incendio corrispondono le seguenti frequenze attese di incendio di VP:

- fornice dir. Est (discesa):

$$\text{frequenza}_{\text{fire-VP Est}} = 15,74 \cdot 10^{-2} \text{ incendi/anno};$$

- fornice dir. Ovest (salita):

$$\text{frequenza}_{\text{fire-VP Ovest}} = 21,19 \cdot 10^{-2} \text{ incendi/anno.}$$

Si nota che il tasso di incendi complessivo di VP stimato nei due fornicci della galleria è dello stesso ordine di grandezza, ma risulta superiore nel fornice in direzione Ovest a causa del maggior numero di incendi attesi per guasto, in ragione della pendenza longitudinale in salita.

⁶ Rattei G., Lentz A., Kohl B. "How frequent are fires in tunnels – Analysis from Austrian Tunnel Accident Statistics", 7th International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2014, Graz.

⁷ NCHRP Synthesis 415, "Design Fires in Road Tunnels, A Synthesis of Highway Practice", Transportation Research Board, Washington D.C. 2011.

A titolo di riferimento, la guida del CETU allo Studio Specifico dei Rischi⁸ 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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

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

Tabella 4: : *Tassi tipici di incendio in galleria per 10⁸ veic.km (fonte CETU)*

Come già accennato in precedenza, 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 nel fornice Est, in discesa, compreso nell'intervallo di riferimento CETU, mentre un tasso di incendi stimato nel fornice Ovest, in salita, eccedente il valore massimo di riferimento CETU ($4,5 \cdot 10^{-8}$ incendi/veicoli·km), il che consente di ritenere i risultati del modello di calcolo adottato coerente con i riferimenti di letteratura e tendenzialmente cautelativi.

Nel computo degli incendi derivanti da guasto non sono stati scorporati quelli attesi negli ultimi 200m in prossimità dello sbocco della galleria, come suggerito dal CETU (assumendo che il conducente sia in grado di portare il veicolo all'esterno dell'opera), con approccio cautelativo.

5 Conclusioni dell'analisi di vulnerabilità

L'analisi di vulnerabilità è stata svolta secondo l'approccio adottato dalle Linee Guida ANAS 2009 ed in coerenza con le disposizioni dell'Allegato 3 al D.Lgs 264/2006.

L'analisi ha evidenziato una serie di anomalie nei parametri di sicurezza e fattori specifici di pericolo suscettibili prevalentemente di incrementare la frequenza di eventi iniziatori (guasti, incidenti e incendi) rispetto alla condizione tipica associabile ai valori limite dei parametri di sicurezza indicati dalla norma di riferimento.

La maggior vulnerabilità agli incidenti in galleria è contrastata con misure di prevenzione, dalla progettazione stradale conforme alla normativa vigente oltre che dal piano di segnalamento.

Inoltre, la presenza di sistemi di sicurezza integrativi, con il rilevamento automatico degli incendi, il controllo da remoto e la presenza di un impianto di ventilazione meccanica, consentono un rapido intervento per la protezione degli utenti in galleria dagli effetti di un possibile incendio, nonché l'attivazione precoce delle procedure di emergenza.

La stima dell'incidentalità attesa in galleria, svolta mediante modelli previsionali, risulta coerente con i riferimenti di letteratura e con i dati rilevati nella tratta già in esercizio dell'Autostrada Pedemontana Lombarda.

La verifica dell'efficacia delle misure integrative di sicurezza previste in progetto per la mitigazione dei fattori specifici di pericolo individuati è svolta in termini quantitativi dall'analisi di rischio, cui si rimanda.

⁸ CETU, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers – Fascicule 4 : Les études spécifiques des dangers (ESD), Septembre 2003.

Il monitoraggio delle condizioni di circolazione e di sicurezza in esercizio potrà consentire di verificare la coerenza delle ipotesi assunte a base del Progetto della sicurezza ed individuare l'eventuale opportunità di adottare misure gestionali per l'incremento della sicurezza quali, a titolo esemplificativo, l'adozione di un limite localizzato di velocità massima consentita, limitazioni al sorpasso dei veicoli pesanti o al distanziamento minimo tra veicoli, fino al controllo automatico delle velocità praticate dagli utenti ed al sanzionamento delle infrazioni.

Infine, con riferimento ai futuri sviluppi tecnologici relativi all'adozione di sistemi di trazione innovativi e combustibili alternativi, si rileva che la loro attuale diffusione è ancora modesta e tale da farli ritenere non significativi ai fini dell'analisi del rischio della galleria. La loro diffusione potrà aumentare in futuro, in modo ancora non pienamente prevedibile, ma le loro caratteristiche lasciano ritenere che possano portare a scenari di eventi critici comunque assimilabili a quelli già considerati nell'analisi di rischio per incendi di veicoli ordinari o per sversamento di merci pericolose. Allo scopo sarà opportuno un monitoraggio in esercizio della composizione del traffico per prendere gli opportuni provvedimenti (tra cui l'eventuale aggiornamento dell'analisi del rischio) laddove la presenza di questi veicoli dovesse incrementarsi significativamente rispetto alla situazione attuale.

Inoltre, sarà opportuno considerarne l'eventualità d'incidenti a questi tipi di veicoli tra le situazioni di pericolo da considerare nella pianificazione della gestione dell'emergenze.

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

ESCGEA030000127AR003 rev A

IMPIANTI - RELAZIONI

PROGETTO DELLA SICUREZZA

GALLERIA MACHERIO 1

STRUTTURA DOCUMENTO:

PARTE 01-SCHEDATURA SISTEMA GALLERIA	pag. 01-17
PARTE 02-STUDIO TRAFFICO	pag. 18-34
PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'	pag. 35-52
PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO	pag. 53-73
PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI	pag. 74-78

PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO

Sommario

1	PREMESSA	56
1.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	56
2	RIFERIMENTI NORMATIVI E DI LETTERATURA	56
2.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	56
2.2	LETTERATURA DI RIFERIMENTO	56
3	LA GALLERIA	57
4	SISTEMA DI VENTILAZIONE.....	58
4.1	DOTAZIONI DI SICUREZZA E CONFRONTO COI REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA	60
5	ESIGENZA DI RICORRERE ALL'ANALISI DI RISCHIO	60
6	METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO.....	61
6.1	INTRODUZIONE	61
6.2	DEFINIZIONE DI RISCHIO	61
6.3	LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	61
6.3.1	STIMA DELLE FREQUENZE DI ACCADIMENTO	62
6.3.2	STIMA DELLE CONSEGUENZE	63
6.3.3	QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO	63
7	ANALISI DI RISCHIO (TRAFFICO ORDINARIO)	64
7.1	INTRODUZIONE	64
7.2	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO	64
7.3	DATI DI INPUT E IPOTESI DI LAVORO	66
7.3.1	FREQUENZE DI ACCADIMENTO DEGLI INCENDI.....	66
7.3.2	MODELLO FLUIDODINAMICO	66
7.3.3	MISURE INFRASTRUTTURALI	67
7.3.4	MODELLO DI CODA.....	67
7.3.5	MODELLO DI ESODO	68
7.4	RISULTATI.....	69
7.5	COMMENTI.....	70
8	ANALISI DI RISCHIO (TRANSITO DI MERCI PERICOLOSE).....	70
8.1	INTRODUZIONE	70
8.2	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO	70
8.3	DATI DI INPUT E IPOTESI DI LAVORO	71
8.3.1	DOMINIO DI ANALISI	71
8.3.2	SCENARI ANALIZZATI.....	71

8.3.3	MODELLO FLUIDODINAMICO	71
8.3.4	MODELLO DI TRAFFICO E DI ESODO	71
8.3.5	FREQUENZE DI ACCADIMENTO.....	72
8.4	RISULTATI.....	72
9	RISCHIO COMPLESSIVO	73
10	CONCLUSIONI.....	73

Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
Giugno 2023	M. Fronterrè	P. Marassi	E. D'Argenzio	EMISSIONE PER CONDIVISIONE RSG

1 PREMESSA

Il presente documento illustra l'analisi di rischio, svolta in accordo al Decreto Legislativo n. 264, 5 ottobre 2006 che recepisce la Direttiva Europea 2004/54/EC, relativa alla galleria "Macherio 2" facente parte della tratta C del collegamento autostradale Dalmine-Como-Varese.

Il documento integra la documentazione di sicurezza della galleria, composta dai seguenti documenti:

- 23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Requisiti minimi_All 01;
- 23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Par01.

1.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

NUMERO	RIFERIMENTI
1	23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Requisiti minimi_All 01
2	23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Par01
3	Tavole sezioni e particolari, riferimenti elaborati: <ul style="list-style-type: none">- BIASSONO 1 - MACHERIO 2 - DESIO.dwg- GE-C Planimetria di Progetto.dwg- APL_E_SD_CCA00VP00_M3_02_ERV.dwg

2 RIFERIMENTI NORMATIVI E DI LETTERATURA

2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

NUMERO	RIFERIMENTI
1	Direttiva 2004/54/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea - 29/04/2004.
2	Decreto Legislativo n. 264, 5 ottobre 2006. Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
3	Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente. – ANAS Seconda edizione 2009

2.2 LETTERATURA DI RIFERIMENTO

NUMERO	RIFERIMENTI
1	CETU (2003). Guide to Road Safety Documentation. Booklet 4 Specific Hazard Investigations.
2	Fridolf, K., Ronchi, E., Nilsson, D., & Frantzich, H. (2015). The Relationship between Obstructed and Unobstructed Walking Speed: Results from an Evacuation Experiment in a Smoke Filled Tunnel. In K. Boyce (Ed.), International symposium on Human Behaviour in Fire, (pp. 537-548). Cambridge, United Kingdom.

NUMERO	RIFERIMENTI
3	NFPA. (2011). NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways. Quincy, USA: National Fire Protection Association.
4	SFPE (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York: Springer New York: Imprint Springer.
5	Sandin, K., Grenberg, K., Husted, B. P., Scozzari, R., Fronterre, M., & Ronchi, E. (2019). Verification and Validation of the ARTU (Tunnel Fire Risk analysis) tool. Lund University, Department of Fire Safety Engineering.
6	Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation. 2012R05EN. PIARC
7	ISO16738:2009. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people

3 LA GALLERIA

La galleria è una galleria artificiale di nuova realizzazione costituita da due fornici di lunghezza pari a 920m. L'analisi è stata svolta per entrambi i fornici.

Ciascun fornice ospita una direzione di traffico suddivisa in 3 corsie di marcia.

Il fornice in direzione Est ha andamento in salita, il fornice in direzione Ovest ha andamento in discesa. La Tabella 1 riporta le principali caratteristiche geometriche della galleria.

Tabella 1: principali caratteristiche geometriche

Parametro	Fornice Est (dir. Lesmo)	Fornice Ovest (dir. Desio)
Lunghezza [m]	920	920
Sezione [m ²]	Variabile: 124.3m ² ÷ 138.4m ²	Variabile: 120.6m ² ÷ 138.4m ²
Pendenza media	+0.6%	-0.6%

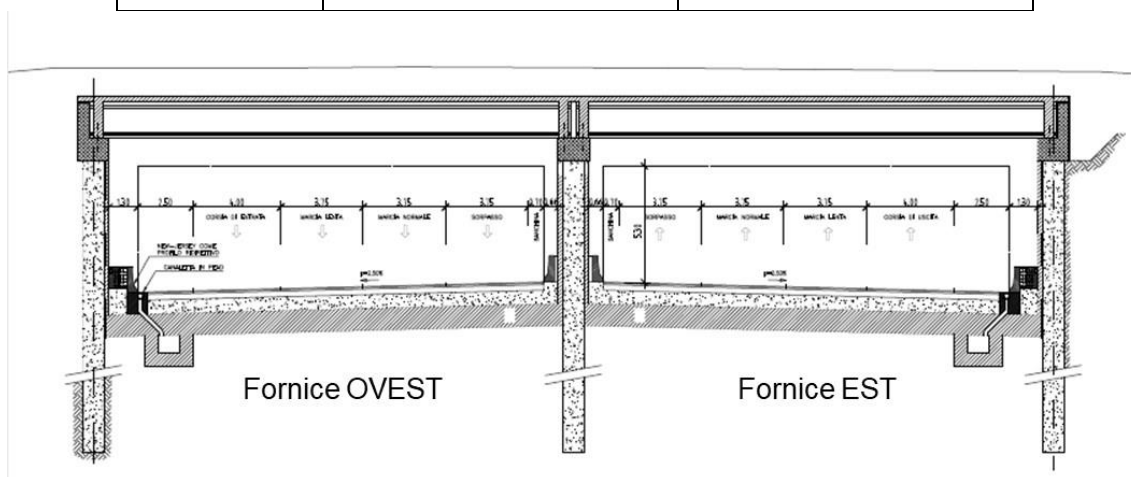


Figura 1: vista in sezione, PM 6+775.00

I fornici dispongono di 2 uscite di sicurezza, dirette verso l'esterno. Le uscite hanno un'interdistanza media di 260m nel fornice Est e di 315m nel fornice Ovest. In Tabella 2 è riportata la posizione in termini di progressiva metrica.

Tabella 2: posizione uscite di emergenza

Parametro	Fornice Est	Fornice Ovest
Uscita1 [PM]	6+457.00	6+700.00
Uscita 2 [PM]	6+717.00	6+385.00

In Figura 2 e Figura 3, sono riportati il profilo altimetrico e la posizione delle uscite di emergenza.

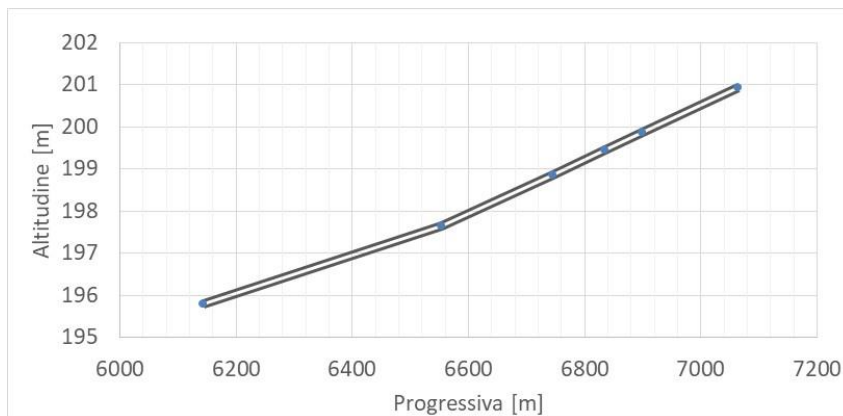


Figura 2: profilo altimetrico

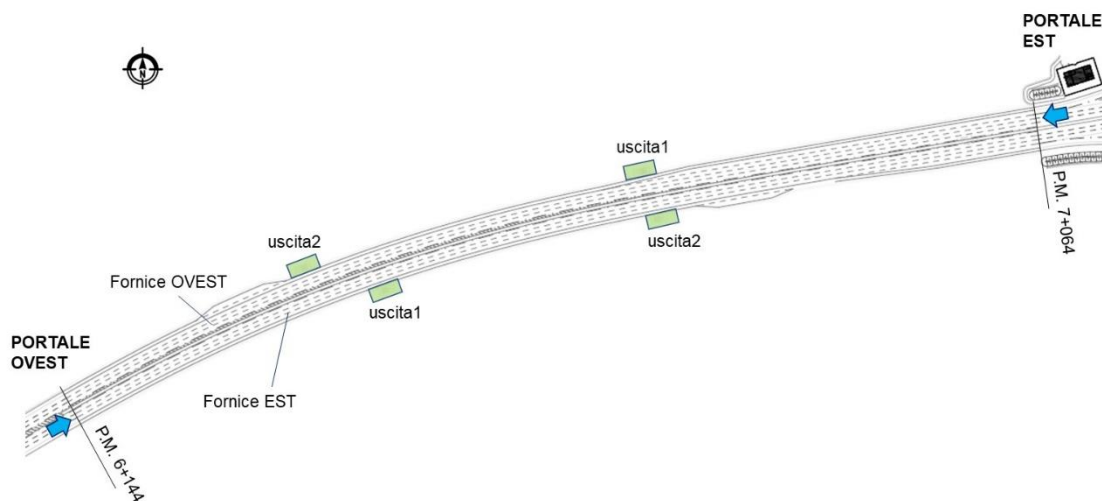




Figura 3: posizione uscite di emergenza

4 SISTEMA DI VENTILAZIONE

La ventilazione è di tipo longitudinale ed è realizzata mediante batterie di jet-fans collocate in volta. I jet-fans imprimono una spinta all'aria circostante generando una portata nel verso desiderato.

Questo tipo di ventilazione è particolarmente indicata per gallerie di tipo monodirezionale con bassa probabilità di congestione.

Tabella 3: logiche di gestione del sistema di ventilazione

Configurazione operativa	Gestione del sistema di ventilazione
Funzionamento ordinario	<p>Il lavaggio degli inquinanti è operato principalmente dall'effetto pistone dei veicoli che favorisce l'ingresso di aria fresca dal portale di entrata e l'espulsione della miscela aria + inquinanti dal portale di uscita.</p> <p>In caso di traffico congestionato, l'effetto pistone potrebbe non essere sufficiente e pertanto i jet-fans sono attivati al fine di garantire la portata minima di aria nel verso di percorrenza del traffico.</p>
Emergenza incendio, traffico fluido	<p>I jet-fans sono attivati nel verso di percorrenza del traffico con l'obiettivo di raggiungere la velocità critica. Questo permette la creazione di un percorso di esodo libero da fumi a monte dell'incendio.</p> 
Emergenza incendio, traffico congestionato	<p>I jet-fans sono mantenuti spenti per tutta la durata dell'esodo, con l'obiettivo di promuovere la stratificazione naturale dei fumi. Questo permette la creazione di un corridoio di aria fresca nella parte bassa della galleria.</p> 

I fornice sono dotati di sistema di ventilazione meccanica longitudinale:

- **fornice est:** 6 batterie da 3 jettfans installate con un'interdistanza di 100m e:
 - a 90m dal portale d'ingresso (Figura 4);
 - a 140m dal portale di uscita (Figura 5);
- **fornice ovest:** 6 batterie da 3 jettfans installate con un'interdistanza di 100m e:
 - a 140m dal portale d'ingresso (Figura 5);
 - a 90m dal portale di uscita (Figura 4).

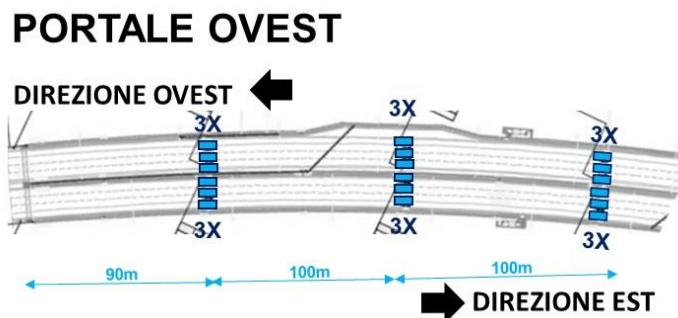


Figura 4: posizione jettfans, portale ovest

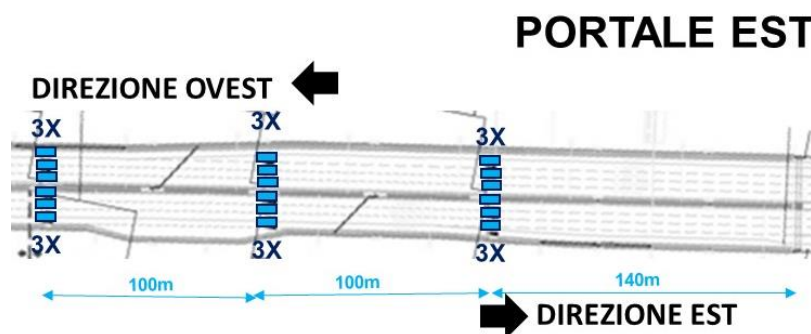


Figura 5: posizione jetfans, portale est

In Tabella 4 sono riportate le caratteristiche tecniche dei jetfans.

Tabella 4: caratteristiche jetfans

Parametro	Valore
Diametro girante	1m
Velocità di scarica	30.5 m/s
Spinta Nominale	900N
Coefficiente installazione	0.8

Il sistema di ventilazione è stato dimensionato per realizzare la velocità critica per un incendio da 30 MW in condizioni degradate per la posizione di incendio più sfavorevole.

Nel dimensionamento sono state considerate indisponibili due batterie di jet-fans:

- una batteria non esposta ai fumi caldi (batteria più efficiente) è considerata in manutenzione o indisponibile per condizioni di contingenza;
- una batteria è considerata non funzionante perché esposta ai fumi caldi dell'incendio.

4.1 DOTAZIONI DI SICUREZZA E CONFRONTO COI REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA

L'elenco delle dotazioni di sicurezza presenti in galleria è riportato in "23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Par01".

La verifica dei requisiti minimi di sicurezza per la galleria in oggetto è riportata nel documento "23-013 APL tratta C_AdR_Macherio2_Requisiti minimi_All 01".

Le dotazioni di sicurezza sono conformi alla normativa vigente.

5 ESIGENZA DI RICORRERE ALL'ANALISI DI RISCHIO

L'analisi di rischio si rende necessaria poiché la galleria presenta:

- **Composizione del traffico:** (vedi articolo 1.3.2 del D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006) che stabilisce che "se il numero di veicoli pesanti con stazza maggiore di 3.5 t supera il 15% della media annua del traffico giornaliero, devono essere valutati i rischi supplementari".

È previsto il **transito di merci pericolose** (vedi articolo 3.7, Allegato 3, D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006).

6 METODOLOGIA DI ANALISI DI RISCHIO

6.1 INTRODUZIONE

La Direttiva Europea 2004/54/EC ha l'obiettivo di "garantire un livello minimo di sicurezza agli utenti della strada nelle gallerie della rete stradale transeuropea mediante la prevenzione di situazioni critiche che possano mettere in pericolo la vita umana, l'ambiente e gli impianti della galleria". A questo scopo, la direttiva fissa una serie di requisiti minimi di sicurezza.

La Direttiva introduce anche il concetto di Analisi di Rischio (AdR), così definita: "l'analisi di una galleria determinata che tiene conto di tutti gli elementi inerenti alle sue caratteristiche progettuali e delle condizioni del traffico che incidono sulla sicurezza, e segnatamente le caratteristiche ed il tipo di traffico, la lunghezza e la geometria della galleria, nonché il numero previsto di veicoli pesanti in transito giornaliero."

Il Dlgs 264/06 (attuazione in Italia della Direttiva Europea 2004/54/EC) specifica che l'analisi dei rischi relativi alla galleria deve riferirsi "esclusivamente agli 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". L'analisi non tiene quindi conto delle vittime di incidenti stradali "non indotti dallo specifico ambiente galleria, che vanno contabilizzati nell'ambito dell'incidentalità stradale", cioè a livello di infrastruttura e non della singola galleria.

A seconda dell'obiettivo per cui è condotta, l'analisi può essere riferita al solo transito delle merci pericolose, oppure anche al traffico ordinario.

6.2 DEFINIZIONE DI RISCHIO

Il Dlgs 264/06 offre la seguente definizione di rischio:

"RISCHIO: Legame analitico tra probabilità di accadimento di un evento ed entità delle conseguenze da esso derivanti, inclusiva delle incertezze connesse alla stima delle grandezze di definizione."

In sintesi, il rischio è dato dal prodotto tra danno provocato da un certo evento, e probabilità di accadimento dell'evento stesso.

6.3 LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Sulla base del Dlgs 264/06, la valutazione del rischio deve tenere conto delle caratteristiche dello specifico sistema galleria e della sua interazione con l'ambiente circostante. I sottosistemi di sicurezza della galleria (sistema di ventilazione, logiche e strategia di esodo, impianti di allarme ecc.) determinano la risposta del sistema alle condizioni di emergenza e pertanto definiscono le condizioni a cui gli utenti sono esposti.

Sempre secondo il Dlgs 264/06, gli scenari incidentali e la loro evoluzione in galleria sono rappresentati mediante modelli che includono come elementi costitutivi l'albero delle cause, l'evento critico iniziatore e l'albero degli eventi.

La Figura 6, tratta dalle Linee Guida ANAS per la sicurezza in galleria, espone questo concetto. L'evento critico (o iniziatore), che ha la potenzialità di dare luogo a un danno, è rappresentato nel mezzo dello schema.

A sinistra vi è la cosiddetta "traiettoria di successo del sistema" con l'albero delle cause. Esso indica le possibili sequenze di eventi che conducono all'accadimento dell'evento critico. Ad esempio, la rottura del sistema di raffreddamento di un mezzo pesante che conduce al suo surriscaldamento.

A destra vi è la cosiddetta "traiettoria critica", con l'albero degli eventi. Esso indica le possibili sequenze di eventi che si dipartono dall'evento critico iniziatore. Ad esempio, l'attivazione di un allarme al conducente del veicolo pesante surriscaldato che gli consente di agire tempestivamente con l'estintore di bordo.

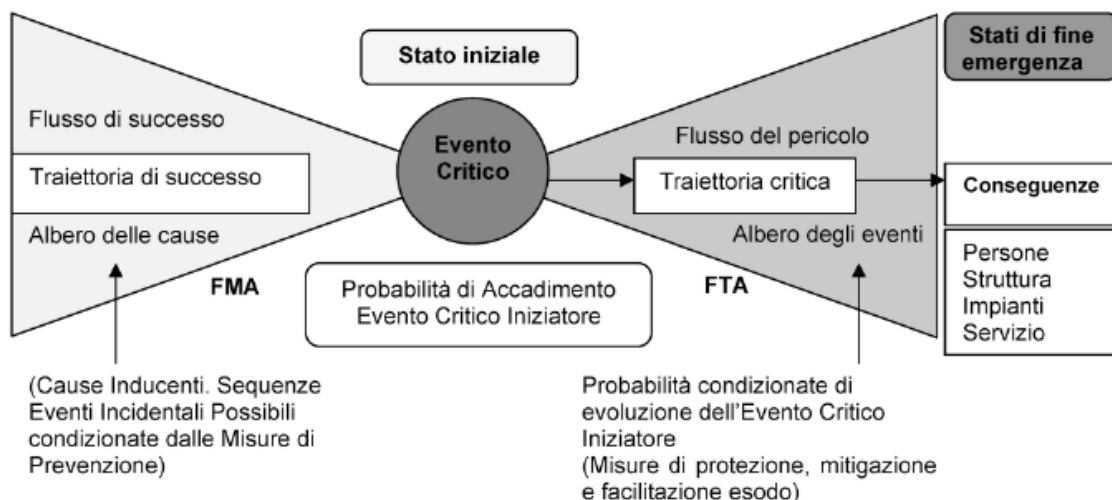


Figura 6: modello di rischio (Linee Guida ANAS 2009)

L'albero degli eventi (Figura 7) si ramifica a partire dall'evento iniziatore, riportando tutte le possibili sequenze di eventi che possono seguire. L'albero è caratterizzato da probabilità di evoluzione lungo i singoli rami, come espressione dell'affidabilità e dell'efficienza delle misure di sicurezza installate o previste. Ciascun ramo dell'albero degli eventi termina in uno degli scenari possibili per quella specifica galleria a seguito dell'evento iniziatore.

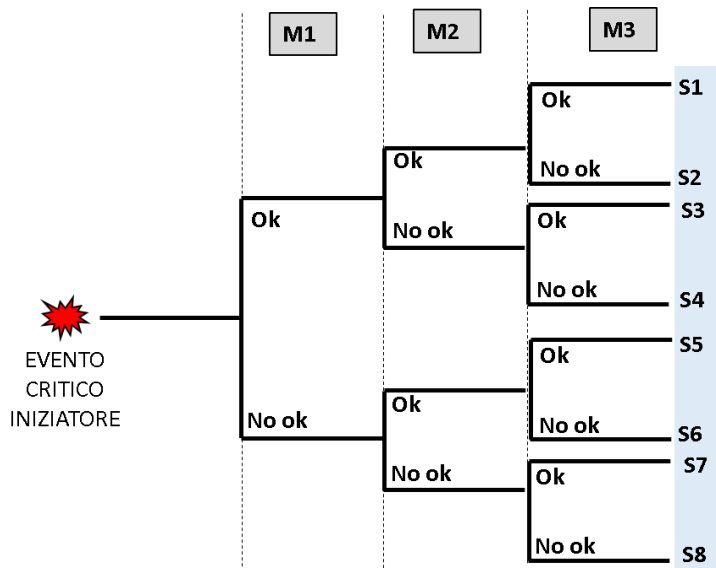


Figura 7: esempio di albero degli eventi

6.3.1 STIMA DELLE FREQUENZE DI ACCADIMENTO

Sulla base delle Linee Guida ANAS, le probabilità di accadimento degli eventi critici rilevanti possono essere determinate utilizzando approcci diversi:

- analisi dei dati storici;
- analisi dei dati di letteratura;
- utilizzo di modelli previsionali di incidentalità;
- giudizio degli esperti.

In ogni caso, occorre tenere presente che, trattandosi di eventi relativamente rari, il valore statistico dei dati disponibili è relativo e non è possibile ottenere una stima completamente affidabile delle probabilità di accadimento.

6.3.2 STIMA DELLE CONSEGUENZE

Il Dlgs 264/06 afferma che la salvabilità degli utenti in ciascuno scenario è determinata attraverso la quantificazione e la zonizzazione del flusso del pericolo all'interno della struttura, cioè la descrizione delle condizioni nelle quali si realizza il processo di esodo degli utenti. La caratterizzazione di tali condizioni è ottenuta modellando l'evoluzione dei fenomeni chimici e fisici che si instaurano in conseguenza dell'accadimento di eventi critici iniziatori, e tenendo conto delle misure di mitigazione presenti (ad es. impianto di ventilazione).

Sempre secondo il Dlgs 264/06, tale modellazione è attuata con livelli di dettaglio diversi a seconda delle necessità ed utilizzando le migliori tecniche note e disponibili. I risultati della modellazione costituiscono i dati di ingresso per la simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura. Il numero degli utenti coinvolti nel processo di esodo è determinato attraverso idonei modelli di formazione delle code.

6.3.3 QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO

Assegnando a ciascun possibile scenario una frequenza di accadimento e un danno, espresso in termini di numero di fatalità, è possibile tracciare una curva di rischio cumulata, così come indicato dalle Linee Guida ANAS. Tale curva, denominata FN, è riportata su un diagramma bi-logaritmico che individua 3 aree (Figura 8):

- zona di accettabilità, dove il rischio è considerato basso e quindi accettabile;
- zona ALARP (As Low As Reasonably Practicable), dove il rischio è ritenuto accettabile nella misura in cui l'implementazione di misure di sicurezza aggiuntive darebbe luogo a un rapporto costi-benefici troppo sbilanciato sui costi;
- zona di non accettabilità, dove il rischio è considerato troppo elevato e dove pertanto è richiesta l'implementazione di misure di sicurezza ulteriori e una nuova analisi di rischio.

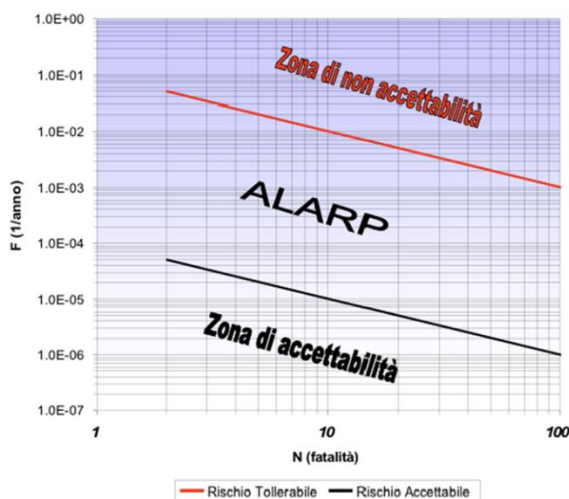


Figura 8: Diagramma ALARP (Linee Guida ANAS 2009)

La Direttiva Europea richiede che sia svolta un'analisi di rischio specifica per il trasporto di merci pericolose laddove ne sia permesso il transito. La curva FN ottenuta da questa analisi va sommata a quella eventualmente svolta per il traffico ordinario.

Nei capitoli seguenti sono riportate le analisi di rischio relative:

- al traffico ordinario
- al transito di merci pericolose

Al capitolo 9, è riportato il calcolo del rischio complessivo, dato dalla somma dei risultati di tali analisi.

7 ANALISI DI RISCHIO (TRAFFICO ORDINARIO)

7.1 INTRODUZIONE

In accordo al Dlgs 264/06, e come discusso nel paragrafo 6.1, l'analisi è svolta tenendo conto del rischio relativo ai soli eventi di incendio.

La presente analisi, svolta con il software proprietario ARTU, tiene conto del traffico ordinario cioè della presenza di veicoli leggeri, commerciali, bus e pesanti con trasporto di merci generiche e infiammabili.

7.2 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO

Il software ARTU calcola il rischio sociale legato all'evento incendio in galleria tenendo conto delle indicazioni della Direttiva Europea 2004/54/EC, del Dlgs 264/06e delle Linee Guida ANAS riportate al capitolo precedente (paragrafo 6).

ARTU utilizza un campionamento casuale di una serie di parametri da distribuzioni statistiche predefinite, definendo un numero (nell'ordine delle centinaia) di scenari d'incendio e di esodo. Il software è basato su un approccio Montecarlo, cioè predilige gli scenari più probabili a scapito di quelli meno probabili.

Sono analizzate 3 famiglie di scenari, ciascuna relativa all'incendio di un determinato tipo di veicolo (leggero, commerciale-bus-pesante con carico generico, pesante con carico infiammabile). Per ciascun tipo di veicolo, si ipotizza che l'incendio si sviluppi in diverse posizioni lungo il tunnel. Ad ogni posizione di incendio è associata una coda di veicoli e quindi un diverso numero di utenti e posizione degli stessi nella galleria rispetto al focolaio. Il modello di formazione della coda tiene conto della composizione di traffico e, in maniera statistica, delle sue condizioni: fluido, di punta, congestionato.

Ciascuno scenario di incendio/esodo è analizzato in maniera deterministica al fine di quantificare l'interazione tra gli utenti e i prodotti della combustione, tenendo conto delle caratteristiche geometriche dello specifico tunnel e degli impianti di sicurezza (ventilazione, vie di fuga) in esso presenti.

L'andamento dei prodotti della combustione nel tunnel è stimato mediante un'analisi fluidodinamica monodimensionale (1D). Questo tipo di analisi, tipicamente impiegata nella progettazione dei sistemi di ventilazione in galleria, permette di stimare l'andamento spazio-temporale dei fumi tenendo conto della magnitudo dell'incendio, della sua posizione nel tunnel e dell'azione del sistema di ventilazione (se presente).

La descrizione del fenomeno di esodo si avvale di un modello appositamente sviluppato. Il modello tiene conto in maniera statistica di alcuni parametri aleatori come il tempo di pre-movimento (cioè il tempo che intercorre tra l'innesco e l'inizio dell'esodo) e la velocità di esodo indisturbata (parametro individuale che dipende da età e condizioni di salute). La velocità di esodo è poi corretta automaticamente dal software, istante per istante, al fine di tenere conto del rallentamento dovuto alla presenza degli altri utenti e alla riduzione della visibilità dovuta ai fumi prodotti dall'incendio. Questo permette di descrivere l'esodo in maniera realistica, tenendo conto delle effettive condizioni in cui gli utenti si trovano.

La stima del danno associato a ciascuno scenario di incendio/esodo è fatta valutando, per ciascun utente, il valore di FED (Fractional Effective Dose) ovvero la dose inalata, nel tempo, di sostanze tossiche e calore. Le sostanze chimiche che ARTU considera sono CO, CO₂ e O₂ mentre l'esposizione al calore è stimata a partire dalla temperatura dei gas. Nel caso in cui l'indicatore FED superi il valore soglia (0.3, sulla base dell'NFPA130-2010), si considera l'utente incapacitato (fatalità). Per quanto riguarda il calcolo della FED e dell'esodo, ARTU include formule basate su riferimenti internazionali:

- pubblicazioni dell'SFPE Society of Fire Protection Engineers,
- NFPA National Fire Protection Association;
- Dipartimento di Fire Safety Engineering presso l'Università di Lund, Svezia.

Parametro	Correlazione	Fonte
Velocità di fuga rispetto alla densità di utenti	$v_f(D) = \begin{cases} 1, & D < .55 \text{ pers}/m^2 \\ \max [v_{fmin} \frac{1}{.85} (1 - .266D)], & D \geq .55 \text{ pers}/m^2 \end{cases}$ <p>$v_f(D)$ è il fattore di riduzione della velocità, in funzione della densità di utenti. $v_{fmin}=0.15$</p>	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering
Flusso attraverso un'uscita	$F_s = (1 - .266 * D) * k * D$ <p>$F(D)$ è il flusso attraverso l'uscita, in funzione della densità di utenti k tiene conto del tipo di terreno (1.4 per terreno piano)</p>	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering
Velocità di fuga in funzione della visibilità	$w = \min(1; \max(0,2; 1 - 0,34 * (3 - v)))$ <p>w è il fattore di correzione della velocità, v è la visibilità in metri</p>	Walking Speed in Smoke: Representation in Life Safety Verifications-Fridolf, Ronchi et all (Lund University)- Conference Paper · April 2018
FED chimica	$FED_{tot} = FED_{CO} \times HV_{CO_2} + FED_{O_2}$ $FED_{CO} = \int_0^t 2.764 \times 10^{-5} (C_{CO}(t))^{1.036} dt$ $HV_{CO_2} = \frac{\exp(0.1903 C_{CO_2}(t) + 2.0004)}{7.1}$ $FED_{O_2} = \int_0^t \frac{dt}{60 \exp [8.13 - 0.54 (20.9 - C_{O_2}(t))]}$ <p>t è il tempo in minuti C_{CO} la concentrazione di CO in ppm C_{O_2} la concentrazione di O₂ in %vol C_{CO_2} la concentrazione di CO₂ in %</p>	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering
FED termica	$FED = \frac{1}{t_{Iconv}} \Delta t \quad t_{Iconv} = (4.1 \times 10^8) T^{-3.61}$ <p>t è il tempo in minuti T la temperatura in °C</p>	NFPA130-2010

In questo modo, per ciascuno scenario di incendio/esodo analizzato, si determina il numero di fatalità. Aggregando i risultati di tutti gli scenari di incendio/esodo analizzati, ARTU determina:

- la curva FN, che esprime la probabilità cumulata di accadimento di eventi cui corrisponde un dato numero di fatalità;
- Il VAD, cioè l'integrale della curva FN, che esprime il numero di fatalità attese per anno.

Il software è stato validato nell'ambito di un progetto di ricerca con il Dipartimento di Fire Safety Engineering dell'Università di Lund. Sul sito dell'università è consultabile il report di validazione che include anche ulteriori informazioni sulla metodologia di calcolo.

7.3 DATI DI INPUT E IPOTESI DI LAVORO

7.3.1 FREQUENZE DI ACCADIMENTO DEGLI INCENDI

Per quanto riguarda le frequenze di accadimento dei diversi scenari di incendio si è fatto riferimento allo studio del traffico che si basa su una previsione temporale al 2035.

Tabella 5: frequenze di accadimento degli incendi [incendi / 100 milioni veh - km]

Tipo di veicolo	Fornice Est	Fornice Ovest
Veicoli leggeri	2	2
HGV e bus	4.19	5.65
HGV con carico infiammabile	0.06	0.08

7.3.2 MODELLO FLUIDODINAMICO

ARTU analizza tre famiglie di scenari, ciascuna relativa all'incendio di un particolare tipo di veicolo:

- veicolo leggero di grossa cilindrata;
- veicolo commerciale, bus o veicolo pesante con carico generico (HGV);
- veicolo pesante con carico infiammabile (flammable load HGV).

A ciascuna tipologia di veicolo è associata una diversa curva di rilascio di calore (curva HRR). La curva HRR esprime l'andamento nel tempo della potenza termica rilasciata dall'incendio. Le curve utilizzate sono quelle indicate dal CETU per i diversi tipi di veicolo (Figura 9).

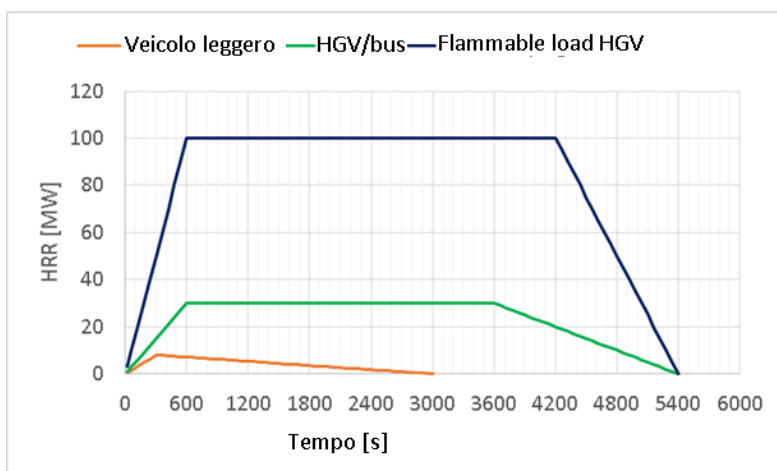


Figura 9: curve HRR

Il combustibile equivalente rappresenta il materiale tipo che prende parte alla combustione. A livello modellistico, la tipologia di materiale influenza la composizione dei fumi prodotti mentre la quantità dei fumi dipende dalla curva HRR utilizzata.

Considerando la presenza di mezzi pesanti, si è scelto conservativamente un combustibile di tipo plastico, con alta emissione di soot cui corrisponde la produzione di fumi densi che limitano fortemente la visibilità degli utenti durante l'esodo.

Il combustibile utilizzato è il poliuretano GM27, le cui caratteristiche sono riportate nell'SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.

Tabella 6: caratteristiche del combustibile

Parametro	Valore
Sostanza	Poliuretano GM27
Composizione chimica C - H - O - N	1 - 1.7 - 0.3 - 0.08
Soot yield - CO yield	0.198 - 0.042
O ₂ yield - CO ₂ yield	1.52 - 1.45

Per le condizioni ambiente sono utilizzati i valori riportati di seguito. Gli effetti delle condizioni meteorologiche (presenza di vento e salto barometrico ai portali dovuto al meteo) non sono tenuti in conto nell'analisi.

Tabella 7: condizioni ambiente

Parametro	Valore
Temperatura	16°C (temperature rilevate dalla stazione meteorologica dell'aeroporto Milano Linate ¹ , dove i valori medi diurni sono compresi tra 5 e 27°C, rispettivamente per la stagione invernale ed estiva)
Pressione	1 atm

7.3.3 MISURE INFRASTRUTTURALI

Di seguito sono riportate le misure infrastrutturali presenti nella galleria in esame il cui funzionamento entra nell'analisi di rischio dal punto di vista computazionale.

Tabella 8: misure infrastrutturali

Misura	Traduzione nella modello
Illuminazione	Influisce sul limite inferiore del valore velocità di camminamento. (In questo caso, il valore limite è quello di default vedi modello di esodo 7.3.5)
Sistema di ventilazione	Nell'esecuzione degli scenari di incendio, il sistema di ventilazione è: <ul style="list-style-type: none"> - attivato dopo 180s dalla rilevazione. Questo valore coincide con l'istante previsto per la rilevazione e l'allarme da parte dei sistemi di sicurezza della galleria, in accordo con gli standard ANAS. Si assume che i jetfans abbiano una rampa di salita immediata; - il sistema è attivato in modo da imprimere la spinta massima e quindi in modo da raggiungere la velocità massima in vena; - due batterie di jetfans sono considerate non disponibili in tutti i casi.
Semafori	Hanno influenza sul modello di coda. In funzione della presenza dei semafori e del loro funzionamento, si riduce il numero di utenti in coda. A t=180s il semaforo si assume rosso e pertanto dopo 180s non entrano più veicoli.
Sistema di drenaggio	È considerato nelle analisi del DG-QRAM.

7.3.4 MODELLO DI CODA

La Tabella 9 riporta i dati di input relativi al modello di coda. A seconda della posizione dell'incendio, della composizione di traffico e delle condizioni di traffico (fluida, di punta, congestionata) che variano in maniera aleatoria, ARTU calcola la lunghezza e la densità di coda di veicoli e, di conseguenza, il numero e la posizione nel tunnel degli utenti coinvolti.

In accordo ai dati di riferimento (vedi studio di traffico) sull'orizzonte temporale al 2035, non è previsto traffico congestionato e pertanto **la probabilità di congestione si assume pari a 0.**

¹ <https://www.windfinder.com/windstatistics/milano-linate>

Tabella 9: dati di input per il modello di coda

Parametro	Valore (fornice Est)	Valore (fornice Ovest)
TMGA - Traffico medio giornaliero annuo (veic/gg)	60236 Fonte: studio traffico	
Traffico di punta (veic/h)	3750 Fonte: studio traffico	
Traffico minimo (veic/h)	602 Ipotesi: traffico minimo uguale a 1% TMGA	
Limite di velocità veicoli leggeri (km/h)	130	
Limite di velocità veicoli pesanti (km/h)	100	
Probabilità di traffico congestionato	0% Fonte: studio traffico (assenza di traffico congestionato).	
Densità dei veicoli in coda, traffico fluido (veic/km-corsia)	165 ipotesi	
Densità dei veicoli in coda, traffico congestionato (veic/km-corsia)	165 Fonte: PIARC 2012R05EN	
Percentuale di veicoli leggeri sul totale dei veicoli	81.71 % Fonte: studio traffico	
Percentuale di veicoli pesanti sul totale dei veicoli	18.29% Fonte: studio traffico	
Percentuale di veicoli pesanti che trasporta merci infiammabili sul totale dei veicoli pesanti	1.5% ipotesi	
Percentuale di bus sul totale dei veicoli pesanti	12.2% valore medio della % di bus presenti nel mix di traffico "Autostrade extraurbane" secondo il CNR - BU178/95 "Catalogo delle pavimentazioni stradali"	
Tempo di attivazione dell'allarme	180s dall'innesco ipotesi basata sulle dotazioni di sicurezza e sulle caratteristiche della galleria	
Numero medio di utenti a bordo di un veicolo leggero	1.5 Fonte: CETU	
Numero medio di utenti a bordo di un mezzo pesante	1 Fonte: studio di traffico	
Numero medio di utenti a bordo di un bus	27 Fonte: "European Environment Agency" per l'Italia	

7.3.5 MODELLO DI ESODO

La Tabella 10 riporta i dati di input relativi al modello di esodo.

Tabella 10: dati di input per il modello di esodo

Parametro	Valore
Velocità degli utenti in condizioni indisturbate	uniformemente distribuito tra 0.6÷1.2m/s

Parametro	Valore
Tempo di pre-movimento	uniformemente distribuito tra 180÷420s

Per quanto riguarda la velocità degli utenti in condizioni indisturbate, è stata impiegata una distribuzione statistica che tiene conto della presenza di utenti con diversa età e condizioni di salute. Sulla base della norma ISO16738, si fa riferimento a rispettivamente:

- **valore minimo = 0.6 m/s**, che tiene conto di persone con ridotta mobilità o bambini;
- **valore massimo = 1.2m/s**, che si riferisce ad adulti senza problemi di mobilità che si muovono su un terreno regolare.

Il valore di velocità inizialmente assegnato a ciascun utente è ricalcolato (cioè eventualmente ridotto) nel corso della simulazione in funzione dell'interazione con gli altri utenti (code, colli di bottiglia) e con i prodotti della combustione (riduzione della visibilità dovuta ai fumi).

Il tempo di pre-movimento è il tempo che intercorre tra l'innesco e l'inizio dell'esodo. Questo tempo è composto, secondo la ISO16738 (Figura 10), dai seguenti contributi:

- t_{det} - tempo di rilevazione dell'incendio;
- t_{warn} - tempo di attivazione dell'allarme;
- t_{rec} - tempo di riconoscimento (cioè il tempo che gli utenti impiegano a recepire l'allarme);
- t_{res} - tempo di risposta.

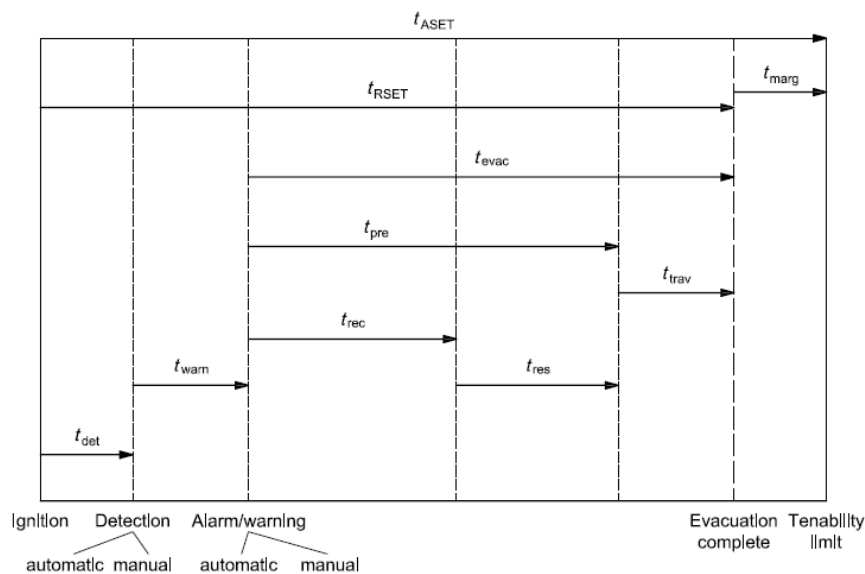


Figura 10: elementi che compongono il tempo di esodo (ISO 16738)

Sulla base delle dotazioni presenti in galleria, in accordo allo standard ANAS, si assume che **la somma del tempo di rilevazione e allarme sia pari a 180s**.

Il tempo di riconoscimento e risposta è assunto con una distribuzione uniforme tra 0s e 240s.

7.4 RISULTATI

Le figure seguenti mostrano la probabilità di accadimento dei diversi gruppi di scenari. Ciascuno di questi gruppi presenta una serie di sottoscenari che si differenziano per la posizione dell'incendio lungo il tunnel e per il numero, posizione e caratteristiche degli utenti coinvolti.

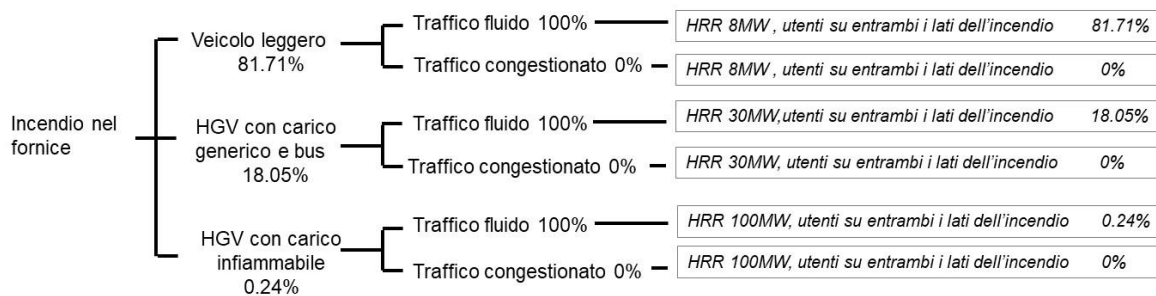


Figura 11: gruppi di scenari per i fornici est e ovest

In condizioni di traffico ordinario non si registrano fatalities. Dal momento che la probabilità di traffico congestionato è nulla, in caso d'incendio l'azione del sistema di ventilazione garantisce che l'esodo degli utenti – a monte dell'incendio - avvenga in un ambiente privo di fumo.

7.5 COMMENTI

L'analisi di rischio sviluppata con ARTU restituisce un valore nullo di fatalities. Questo è coerente col fatto che la galleria è conforme sotto tutti gli aspetti strutturali e impiantistici.

Il ricorso all'analisi di rischio di tipo prestazionale è infatti dovuto alla sola anomalia legata alla percentuale di veicoli pesanti con stazza maggiore di 3.5 t che supera il 15%.

La galleria è a traffico monodirezionale ed è caratterizzata da una bassa probabilità di avere traffico congestionato. Il tempo impiegato dagli utenti per raggiungere un luogo sicuro è molto contenuto per via della presenza di uscite di emergenza verso l'esterno (interdistanza media 260m).

Pertanto le situazioni in cui gli utenti possano entrare in contatto con i prodotti della combustione in caso di emergenza sono trascurabili. Inoltre, dal punto di vista della dinamica del fenomeno valgono le seguenti ulteriori considerazioni:

- prima che l'incendio sia rilevato e che venga attivata il sistema di controllo longitudinale della ventilazione, all'interno della galleria è presente un deflusso di aria indotto dai veicoli ancora in movimento (effetto pistone) che ha l'effetto di spingere i fumi a valle dell'incendio;
- il sistema di controllo longitudinale della ventilazione è dimensionato sulla base di una serie di ipotesi cautelative (posizione sfavorevole dell'incendio, massima densità di coda di traffico a monte dell'incendio, indisponibilità di due batterie di jetfans, vento avverso al portale a valle). Pertanto, nel caso di un incendio da 100MW (la cui frequenza di accadimento è dell'ordine di $3.4E-05$ incendi/anno), è improbabile che tutte le condizioni appena elencate si verifichino contestualmente. Questo significa che il sistema di ventilazione è in grado di garantire la velocità critica anche per potenze di incendio superiori a 30MW nella maggior parte dei casi.

8 ANALISI DI RISCHIO (TRANSITO DI MERCI PERICOLOSE)

8.1 INTRODUZIONE

Questa parte dell'analisi si riferisce al trasporto di merci che possono dar luogo a scenari rilevanti diversi dall'incendio, ad esempio esplosione o rilascio di sostanze tossiche. L'analisi è sviluppata mediante il software QRAM (PIARC).

8.2 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE UTILIZZATO

QRAM è un software sviluppato dal PIARC con lo scopo di stimare il rischio sociale dovuto al transito di sostanze pericolose.

Esiste una grande varietà di merci pericolose che sono trasportate su gomma, pertanto gli sviluppatori di QRAM hanno selezionato 13 scenari rappresentativi che includono: eventi BLEVE, pool fire, torch fire,

esplosioni e rilasci di sostanze tossiche. La reference guide del software espone il procedimento mediante cui sono stati selezionati gli scenari.

Il software QRAM stima il rischio sociale (curva FN) tenendo in conto:

- frequenze di accadimento dei diversi tipi di incidenti,
- conseguenze degli incidenti sulla popolazione,
- vie di esodo e sistemi di protezione presenti.

QRAM permette di stimare le conseguenze sia sugli utenti all'interno della galleria che sulla popolazione all'esterno, e di analizzare l'esito di incidenti che avvengono in tratti stradali scoperti.

La stima delle conseguenze incidentali all'interno delle gallerie è basata su una logica mono-dimensionale semplificata.

8.3 DATI DI INPUT E IPOTESI DI LAVORO

8.3.1 DOMINIO DI ANALISI

Il software QRAM permette di scegliere se considerare le sole fatalità o anche i danni subiti dagli utenti, e se tenere o meno in conto utenti esposti al di fuori della galleria. Nella presente analisi sono considerati:

- le sole fatalità;
- gli utenti all'interno della galleria.

8.3.2 SCENARI ANALIZZATI

La Tabella 11 riporta gli scenari standard disponibili in QRAM. Nella presente analisi sono analizzati quelli evidenziati in azzurro. In particolare, gli scenari d'incendio (scenari 1 e 2) sono analizzati in dettaglio nell'analisi svolta mediante ARTU, e pertanto non sono ripetuti con QRAM.

Tabella 11: scenari analizzati

Scenario Nr.	Description	Capacity of tank	Size of breach (mm)	Mass flow rate (kg/s)
1	HGV fire 20 MW	-	-	-
2	HGV fire 100 MW	-	-	-
3	BLEVE of LPG in cylinder	50 kg	-	-
4	Motor spirit pool fire	28 tonnes	100	20.6
5	VCE of motor spirit	28 tonnes	100	20.6
6	Chlorine release	20 tonnes	50	45
7	BLEVE of LPG in bulk	18 tonnes	-	-
8	VCE of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
9	Torch fire of LPG in bulk	18 tonnes	50	36
10	Ammonia release	20 tonnes	50	36
11	Acrolein in bulk release	25 tonnes	100	24.8
12	Acrolein in cylinder release	100 litres	4	0.02
13	BLEVE of liquefied refrigerated CO2	20 tonnes	-	-

8.3.3 MODELLO FLUIDODINAMICO

Il software QRAM utilizza un modello fluidodinamico semplificato che utilizza come input:

- lunghezza e sezione tipo della galleria;
- pendenza della galleria;
- tipo di scavo (cut and cover) e di collocazione della galleria (in roccia);
- presenza di impianto di drenaggio (pozzetti di raccolta di superficie netta assunta uguale a 0.075m² e interasse di 25m) e rivestimento antincendio.

8.3.4 MODELLO DI TRAFFICO E DI ESODO

Le ipotesi comuni ai software QRAM e ARTU sono riportate tra quelle elencate ai paragrafi 7.3.4 e 7.3.5. Per quanto riguarda la percentuale di veicoli che trasportano i diversi tipi di merci pericolose, sulla base dello studio del traffico si ha la seguente ripartizione del traffico ADR in funzione della sostanza (Tabella 12).

Tabella 12: percentuali di veicoli che trasportano i diversi tipi di merci pericolose

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 trascurabile) [%]	38,16

8.3.5 FREQUENZE DI ACCADIMENTO

In Tabella 13 sono riportate le frequenze di accadimento tratte dall'analisi di vulnerabilità e utilizzate per l'analisi, opportunamente calibrate attraverso un fattore correttivo.

Tabella 13: frequenza di accadimento di incidenti (eventi/anno)

Sostanza ADR	Fornici est e ovest
Veicoli leggeri	7.01
HGV e bus	1.57
HGV con merci pericolose (ADR)	5.32 E-02

8.4 RISULTATI

Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi svolta col software QRAM.

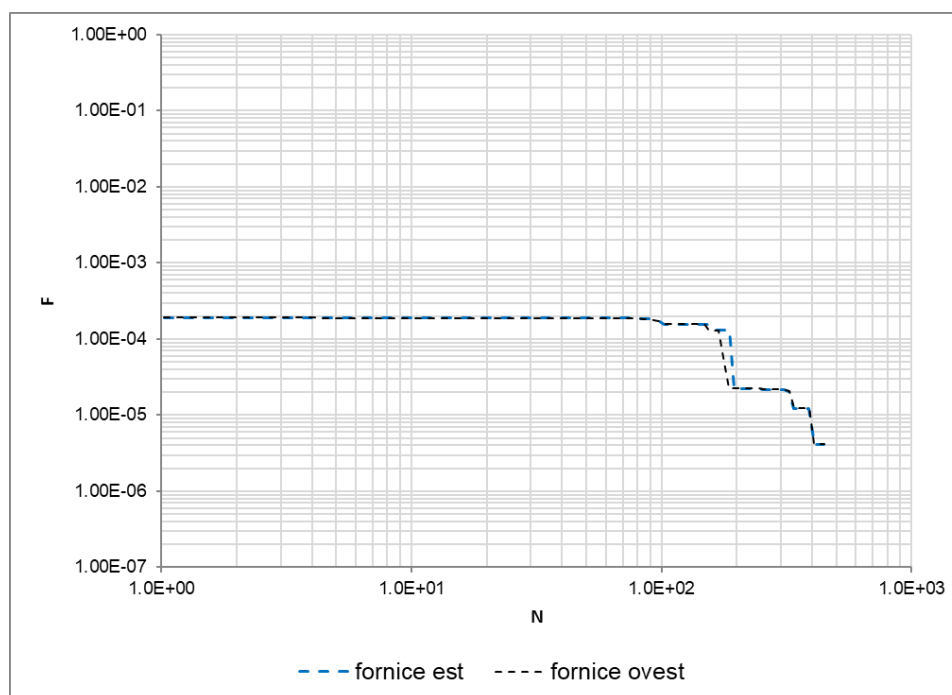


Figura 12: curva FN per il transito di merci pericolose

Tabella 14: VAD associato al transito di merci pericolose

Fornice	VAD
Est	0.0354
Ovest	0.0332

9 RISCHIO COMPLESSIVO

La curva FN risultante coincide in questo caso con la curva FN determinata nell'analisi specifica per le merci pericolose. **Le curve FN risultanti (una per ciascun fornice) ricadono all'interno della zona ALARP.**

Le ascisse sono riportate fino a 100 fatalities poiché per un numero di fatalities superiore la curva FN flette (vedi Figura 12).

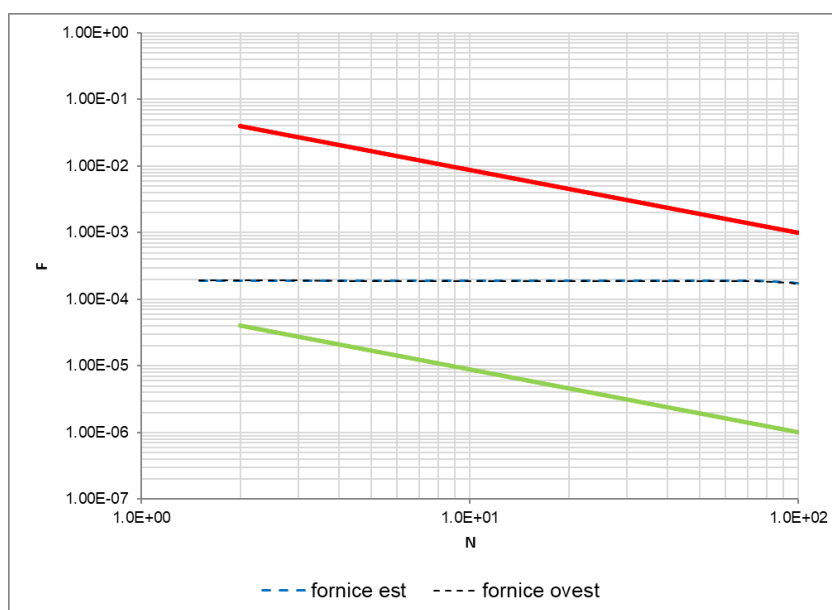


Figura 13: rischio complessivo fornici est e ovest

Tabella 15: VAD totale

Fornice	VAD traffico ordinario	VAD merci pericolose	VAD totale
Est	0	0.0354	0.0354
Ovest	0	0.0332	0.0332

10 CONCLUSIONI

L'analisi quantitativa, svolta in accordo alle normative di riferimento richiamate in premessa, ha mostrato che, per entrambi i fornici, nonostante le anomalie, il livello di rischio ricade nella zona ALARP.

Criticità	
Composizione del traffico	l'analisi di rischio svolta con ARTU per il traffico ordinario ha dimostrato che le caratteristiche strutturali e impiantistiche della galleria sono in grado di garantire l'assenza di fatalities in caso d'incendio.
Merci pericolose	L'analisi di rischio svolta con QRAM ha dimostrato che le dotazioni della galleria (sistema di drenaggio, impianto di ventilazione, struttura con caratteristiche di resistenza al fuoco) consentono il transito di merci pericolose in condizioni di sicurezza.

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

PROGETTO ESECUTIVO

TRATTE B2, C, TRMI10/TRMI17/TRCO06

TRATTA C

ESCGEA030000127AR003 rev A

IMPIANTI - RELAZIONI

PROGETTO DELLA SICUREZZA

GALLERIA MACHERIO 1

STRUTTURA DOCUMENTO:

PARTE 01-SCHEDATURA SISTEMA GALLERIA	pag. 01-17
PARTE 02-STUDIO TRAFFICO	pag. 18-34
PARTE 03-ANALISI VULNERABILITA'	pag. 35-52
PARTE 04-ANALISI DI RISCHIO	pag. 53-73
PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI	pag. 74-78

PARTE 05-SINTESI CONCLUSIVA ANALISI

Sommario

1. Introduzione	75
2. Organizzazione del progetto della sicurezza	75
3. Conclusioni delle analisi svolte nell'ambito del progetto della sicurezza	76
4. Raccomandazioni e suggerimenti per le fasi successive	77
5. Prescrizioni	78

Data	Redatto	Verificato	Approvato	Note
Giugno 2023	F.J. Caputo P. Marassi	S. Di Bitetto	E. D'Argenzio	EMISSIONE IN BOZZA

1. Introduzione

Il progetto della sicurezza della galleria Macherio 2 è stato organizzato con la redazione di una serie di documenti che affrontano i temi indicati al punto 2.3 dell'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006.

Il presente documento non è esplicitamente previsto dall'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006 ed è stato introdotto per fornire una sintesi operativa degli elementi emersi dalle analisi svolte nella redazione del progetto della sicurezza, funzionale a fornire una visione sintetica dei fattori maggiormente rilevanti per la sicurezza della galleria ed indirizzare le scelte per gli ulteriori apprestamenti da prevedere nelle successive fasi realizzative e di esercizio.

Nel documento viene dapprima richiamata l'organizzazione del progetto della sicurezza, seguita dalle conclusioni dello studio e, infine, da una serie di raccomandazioni e suggerimenti ritenuti utili per le fasi successive.

2. Organizzazione del progetto della sicurezza

Il progetto della sicurezza è composto dai seguenti documenti:

- ✓ Parte 01 – “Descrizione e schedatura del sistema galleria”, che fornisce la descrizione delle caratteristiche geometriche e strutturali della galleria come previsto al primo punto del capo 2.3 dell'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006;
- ✓ Parte 02 – “Studio di traffico”, che fornisce la previsione del traffico all'orizzonte temporale di progetto e specifica e giustifica le condizioni previste per il trasporto di merci pericolose, come indicato al secondo punto del capo 2.3 dell'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006;

- ✓ Parte 03 – “Analisi di vulnerabilità”, che fornisce l'indagine specifica sui fattori di rischio che descrive i possibili incidenti che manifestamente mettono a repentaglio la sicurezza degli utenti stradali nella galleria, suscettibili di verificarsi durante l'esercizio, come previsto al terzo punto del capo 2.3 dell'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006;
- ✓ Parte 04 – “Analisi di rischio”, che fornisce l'analisi richiesta per verificare la validità delle scelte strutturali e impiantistiche adottate, secondo le disposizioni dell'art. 13 del D.Lgs 264/2006, come indicato al quinto punto del capo 2.3 dell'Allegato 4 al medesimo Decreto.
- ✓ Parte 05 – “Sintesi operativa del Progetto della Sicurezza”, che racchiude le conclusioni dello studio e una serie di raccomandazioni e suggerimenti ritenuti utili per le fasi successive

Il progetto della sicurezza si completa con il parere in merito alla sicurezza da parte di un esperto qualificato, come previsto al quarto punto del capo 2.3 dell'Allegato 4 al D.Lgs 264/2006, costituente documento a parte.

3. Conclusioni delle analisi svolte nell'ambito del progetto della sicurezza

Con la descrizione e schedatura del sistema galleria (Parte 01) è stata fornita la rappresentazione delle opere costituenti la galleria e i suoi sistemi di sicurezza, compresi i sistemi di controllo e gestione previsti.

Con lo studio di traffico (Parte 02) sono stati individuati i dati di traffico da adottare a riferimento per il progetto della sicurezza. Trattandosi di strada di nuova realizzazione, sono stati assunti i dati dello scenario previsionale di *lungo periodo* all'anno 2035 dall'analisi trasportistica svolta per il progetto definitivo. Nell'ambito dello studio di traffico sono stati anche confrontati i dati previsionali di breve e medio periodo con i volumi di traffico della tratta dell'Autostrada Pedemontana Lombarda (APL) già in esercizio (Tratta A e Tratta B1) rilevando che, dai dati registrati, la stima di traffico di lungo periodo adottata a riferimento risulta congruente con le aspettative ed eventualmente cautelativa.

L'analisi di vulnerabilità (Parte 03) è stata svolta secondo la procedura sistematica illustrata dalle “*Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente*” ANAS 2009 ed ha consentito di evidenziare alcune anomalie nei parametri di sicurezza e fattori specifici di pericolo; in particolare:

- ✓ frazione di veicoli pesanti > 15%;
- ✓ volume di traffico > 10.000 veicoli/giorno·corsia;
- ✓ transito in galleria per veicoli con merci pericolose;
- ✓ l'alternanza di svincoli e gallerie.

L'ulteriore fattore di pericolo emerso dall'applicazione della procedura di analisi di vulnerabilità, relativo all'accessibilità in galleria, non appare molto rilevante per il caso della galleria in questione, in cui l'accesso dei soccorsi è comunque sempre garantito secondo il verso di marcia (tramite la corsia di emergenza) o in contromano. Similmente, il fattore di pericolo (anch'esso emerso dall'analisi di vulnerabilità) relativo al limite di velocità >110 km/h non appare rilevante, assunto che il progetto geometrico dell'asse stradale è stato svolto in coerenza con la velocità di progetto della strada secondo la normativa vigente; in ogni caso, il comportamento degli utenti dovrà essere opportunamente monitorato in esercizio per valutare l'adozione di eventuali restrizioni sul limite massimo di velocità ammesso o di sistemi di controllo e sanzionamento.

I fattori di pericolo emersi dall'analisi di vulnerabilità sono suscettibili prevalentemente di incrementare la frequenza di eventi iniziatori (guasti, incidenti e incendi) rispetto alla condizione tipica associabile ai valori limite dei parametri di sicurezza indicati dalla norma di riferimento.

A fronte di questa vulnerabilità della galleria sono stati previsti sistemi di sicurezza integrativi per la mitigazione delle conseguenze che possono derivare dall'accadimento di eventi potenzialmente critici (misure di

protezione) quali il rilevamento automatico degli incendi, il controllo della galleria da remoto e la presenza di un impianto di ventilazione meccanica.

La stima dell'incidentalità attesa in galleria, svolta mediante modelli previsionali, risulta coerente con i riferimenti di letteratura e con i dati rilevati nella tratta già in esercizio della APL.

Nell'analisi è stata presa in considerazione anche la presenza nel parco veicolare circolante di veicoli con sistemi di trazione innovativi e combustibili alternativi, ed in particolare di veicoli elettrici e mezzi pesanti con bio-carburanti, la cui presenza ed il cui trend di crescita al momento non risultano significativi ai fini dell'analisi di rischio. Questa tipologia di pericoli è, tuttavia, da considerare nella redazione del Piano Gestione delle Emergenze.

L'analisi di rischio (Parte 04) è stata svolta ai sensi dell'art. 13, comma 3, del D.Lgs 264/2006 per la presenza di fattori di pericolo qualificabili come "caratteristiche speciali", *per stabilire se siano necessarie misure di sicurezza o un equipaggiamento supplementare* (oltre alle misure integrative già introdotte in progetto) *per garantire un livello elevato di sicurezza della galleria* (rif.to punto 1.1.3 dell'Allegato 2 al D.Lgs 264/2006).

L'analisi di rischio è stata svolta anche, ai sensi del punto 3.7 dell'Allegato 2 al D.Lgs 264/2006, per valutare l'ammissibilità del rischio in relazione al transito di veicoli trasportanti merci pericolose.

Il livello di rischio caratteristico determinato dalla curva cumulata complementare della galleria in progetto è localizzato sul piano FN nella zona di accettabilità condizionata con un Valore Atteso del Danno (VAD) di:

- 0,0354 decessi/anno, nel fornice in direzione Est;
- 0,0332 decessi/anno, nel fornice in direzione Ovest.

Tale risultato si intende valido nell'ipotesi di volumi e distribuzione oraria di traffico pari a quelli considerati all'interno del presente documento.

Da ciò risulta che le misure di sicurezza integrative già presenti in progetto sono adeguate a contrastare i fattori di pericolo caratteristici della galleria, da cui consegue:

- l'assenza di necessità di ulteriori *misure di sicurezza o un equipaggiamento supplementare per garantire un livello elevato di sicurezza della galleria* in relazione a fattori specifici di pericolo che la caratterizzano (caratteristiche di specialità della galleria);
- l'ammissibilità del transito di merci pericolose in galleria, senza che sia necessario adottare specifiche misure operative volte a ridurre i rischi riguardanti questa componente di traffico.

Pur a fronte di un risultato sostanzialmente positivo dell'analisi in entrambi i fornici della galleria, durante lo studio sono emersi alcuni elementi suscettibili di miglioramento che hanno portato a definire una serie di interventi che si suggerisce di adottare nella fase di esercizio dell'opera per contribuire al miglioramento del livello di sicurezza.

4. Raccomandazioni e suggerimenti per le fasi successive

Dovrà essere adottata dal Gestore una buona pratica in merito a:

- procedure operative specifiche per l'uso e la gestione dei nuovi impianti;
- procedure di manutenzione specifiche per il mantenimento degli impianti previsti nel nuovo progetto ivi compresa la corretta manutenzione dei pozzetti sifonati;
- gestione al fine di poter esercitare il controllo e comando di tutti gli impianti nel modo ottimale;

- addestramento degli operatori del Centro di controllo all'uso/interpretazione dei nuovi impianti previsti;
- addestramento degli operatori su strada;
- adozione di misure specifiche di sicurezza atte a compensare i deficit di sicurezza causati dal malfunzionamento di un impianto non derogabile previsto dal D.Lgs 264/2006;
- definizione di un continuo processo di aggiornamento e condivisione con gli Enti di soccorso del Piano di Gestione dell'Emergenza (da redigere per la messa in servizio della galleria), in particolare considerando il futuro parco veicolare circolante, le cui caratteristiche impattano sulla modalità di intervento e, per le auto elettriche, sul tempo di estinzione in caso di incendio;
- organizzazione di esercitazioni periodiche e incontri con i Servizi di Pronto Intervento per un miglior coordinamento delle situazioni di emergenza;
- attività di monitoraggio periodico del traffico in transito (comprendente il traffico di merci pericolose, la distribuzione oraria del traffico e la manifestazione di fenomeni di congestione in galleria) e dell'incidentalità al fine di verificare la congruenza delle ipotesi adottate all'interno dell'analisi di rischio.

Si raccomanda:

- di svolgere il controllo sulle velocità dei veicoli in transito, nel primo anno di esercizio, al fine di verificare il rispetto del limite di velocità imposto (130 km/h),
- svolgere il monitoraggio dell'incidentalità in galleria e del volume di traffico in transito, al fine di verificare la coerenza dell'incidentalità in esercizio con i dati assunti a riferimento nell'analisi di rischio.

Si suggerisce:

- di valutare l'installazione di sistemi automatici di controllo delle velocità praticate dagli utenti ed eventuale sanzionamento delle infrazioni, qualora dall'analisi di monitoraggio raccomandata dovesse emergere uno scarso rispetto del limite di velocità imposto da parte degli utenti;
- di valutare l'opportunità di adottare misure gestionali per l'incremento della sicurezza quali, a titolo esemplificativo, l'adozione di un limite localizzato di velocità massima consentita ridotto rispetto al valore di progetto, limitazioni al sorpasso dei veicoli pesanti o al distanziamento minimo tra veicoli, in relazione agli esiti dell'attività di monitoraggio raccomandata.

5. Prescrizioni

Dovranno essere recepite le indicazioni riportate nelle comunicazioni Anfisa (riprese nella nota dei Vigili del fuoco di seguito riportata) pervenute successivamente all'emissione del progetto; si tiene a precisare che prima di procedere si dovrà chiarire il criterio di contemporaneità dell'impianto idrico antincendio.

20230726_44844_ANSFISA_Indicazioni_tecniche_inerenti_agli_impanti_di_erogazione_idrica.pdf

2023.08.31_Circolare_50464-A_CPG_(Chiarimento_indicazioni_tecniche_impanti_erogazione_idrica).pdf

NOTA_02_08_2023_n_11784--C_ANSFISA_26_07_2023_n_44844.pdf