

Provincia di Cuneo
S.S. 28 del Colle di Nava
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. TO08

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  MATILDI+PARTNERS
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL PROGETTISTA: <i>Ing. Corrado Pesce Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. a1984</i>	GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>
IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>	
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>		
PROTOCOLLO:	DATA:	

11 – OPERE MAGGIORI: GALLERIA
11.1 – Parte generale
Analisi di rischio

CODICE PROGETTO		NOME FILE	PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:
DPT000008D16		11.02_P00_GN00_STR_RE02_D	11.02		
CODICE ELAB.		P00GN00STRRE02		D	-
D	Istruttorie CSLLPP e VIA	Apr. 2021	Technital	Rossi	Piccoli Pesce
C					
B	Istruttoria ANAS	Mag. 2020	Technital	Rossi	Piccoli Pesce
A	EMISSIONE	Mar. 2020	Technital	Rossi	Piccoli Pesce
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO	4
4. DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE DI RIFERIMENTO	6
5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	7
5.1. Caratteristiche geometriche e strutturali	7
5.2. Impianti di sicurezza	9
5.3. Caratterizzazione dell'ambiente circostante	15
5.4. Caratterizzazione del traffico	15
6. SCHEDATURA DEL PROGETTO	16
7. ANALISI DI VULNERABILITÀ	35
7.1. Parametri di sicurezza	35
7.1.1 Parametri di sicurezza principali	35
7.1.2 Parametri di sicurezza caratteristici	36
7.2. Fattori di pericolo	37
8. VERIFICA DI CONFORMITÀ	41
8.1. Introduzione	41
8.2. Identificazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza	42
8.3. Verifica dei requisiti minimi di sicurezza	42
8.4. Risultati della verifica di conformità	46
9. ANALISI DI RISCHIO	47
9.1. Rischi legati al trasporto di merci pericolose	47
9.1.1 Le fasi di studio	47
9.1.2 Raccolta di dati iniziali relativi all'area di studio ed al sistema galleria	48
9.1.3 Analisi delle sorgenti di pericolo	48
9.1.3.1 Identificazione della tipologia degli eventi iniziatori	48
9.1.3.2 Valutazione della probabilità di accadimento	58
9.1.4 Caratterizzazione energetica delle sorgenti di pericolo	58
9.1.4.1 Benzina	59
9.1.4.2 Ammoniaca ed acroleina	63
9.1.4.3 GPL	64
9.1.4.4 Anidride carbonica	65
9.1.5 Definizione degli eventi critici	65
9.1.5.1 Introduzione	65
9.1.5.2 Creazione degli alberi degli eventi	66
9.1.6 Modellazione del processo di esodo	71
9.1.6.1 Stima della popolazione on road	71

9.1.6.2	Caratterizzazione degli scenari di esodo	71
9.1.7	Modellazione delle conseguenze	74
9.1.8	Valutazione del rischio sociale	75
9.1.8.1	Premessa	75
9.1.8.2	Risultati ottenuti	78
9.2.	Rischi legati al trasporto ordinario	79
9.2.1	Descrizione del software utilizzato	79
9.2.2	Dati di input e ipotesi di lavoro	80
9.2.2.1	Modello fluidodinamico	80
9.2.2.2	Modello di esodo	82
9.2.2.3	Descrizione probabilistica e stima del rischio	82
9.2.3	Casi analizzati	83
9.2.4	Risultati	83
10.	CONCLUSIONI	84

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si pone l'obiettivo di recepire quanto indicato nel parere n. 56/2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, relativamente all'analisi sicurezza della galleria naturale "San Lorenzo".

Quest'ultimo riporta che:

"La galleria San Lorenzo rientra nel campo di applicazione del Decreto Legislativo 264 del 5 ottobre 2006 "Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea". Il suddetto Decreto prevede che gli Enti Gestori per le gallerie rientranti nella loro competenza presentino in particolare una documentazione di sicurezza e un'analisi di rischio.

Dall'esame degli elaborati forniti nel progetto definitivo si evince la presenza dell'elaborato Analisi di Rischio (Elaborato 11.02 POOGN00STRRE02.B). Tale elaborato riporta una schedatura della galleria, un'analisi di vulnerabilità, una verifica dei requisiti minimi previsti dal D. lgs. 264/06 per la classe di appartenenza della galleria, e un'analisi di rischio.

Durante la presentazione del progetto alla Commissione Relatrice è stato chiesto ai progettisti di spiegare meglio sia gli scenari di pericolo simulati sia il metodo seguito per effettuare l'analisi del rischio riportata nel suddetto elaborato. In merito, i progettisti hanno successivamente prodotti degli elaborati integrativi e tra questi è riportata anche la "Nota di chiarimento sull'analisi del rischio della galleria San Lorenzo". In tale Nota Integrativa è meglio esplicitato che gli scenari di pericolo investigati sono dieci e che il metodo del rischio utilizzato è quello denominato QRAM del PIARC. Al riguardo, le Sezioni rappresentano che il metodo utilizzato, come è noto agli esperti e riportato anche nella letteratura tecnica di settore, è valido solo per gli scenari di pericolo inerenti alle merci pericolose (i due potenziali scenari di incendio da 20 MW e 100 MW tra i dieci sopra citati servono solo per un confronto). In altri termini il metodo utilizzato è limitato e non è in grado di tener in conto gli scenari di pericolo inerenti al traffico ordinario (per esempio incendio di due autovetture; incendio di un autobus; incendi di veicoli che trasportano merci non pericolose). Pertanto, il metodo utilizzato non è idoneo per un'analisi del rischio globale come prescritto dalla Direttiva Europea EC 2004/54 e recepita dal D.Lgs 264/06. Ciò è anche specificato sul sito stesso del PIARC come segue: "The software can be used to perform a specific risk analysis for dangerous goods transport. This specific risk analysis can be part of the general risk analysis required by the European Directive 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels on the trans-European road network", https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Resilient-Road-Infrastructure/Road-Tunnels/Operations/qram_software.

Si rappresenta che è prassi, in generale, nell'analisi di rischio delle gallerie effettuare una valutazione quantitativa del livello di rischio sia per traffico ordinario utilizzando modelli di simulazione fluidodinamica - sia per traffico merci pericolose utilizzando il suddetto QRAM. La curva F-N risultante da verificare col criterio ALARP previsto dal citato D. Lgs. 264 si ottiene combinando quella relativa al traffico ordinario con quella delle merci pericolose."

A tal fine l'analisi di sicurezza della galleria naturale "San Lorenzo" è stata rivista ed integrata secondo quanto richiesto, prendendo in considerazione una valutazione quantitativa del livello di rischio legato sia al trasporto di merci pericolose, sia al traffico ordinario.

Per il primo caso si utilizza il software QRAM, sviluppato da INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel ed des Risques) in collaborazione con WS Atkins (U.K.) ed IRR (Institute of Risk Research) dell'Università di Waterloo (Canada), e, secondo quanto indicato nel D.L. n. 264 del 05.1.2006, sarà riferita esclusivamente ad eventi considerati critici nell'ambiente confinato della galleria quali incendio, collisioni con incendio, sversamento di sostanze infiammabili, rilascio di sostanze tossiche e nocive. Saranno esclusi dall'analisi gli eventi incidentali che non comportano rischi aggiuntivi all'utenza in galleria e quelli connessi con la circolazione stradale e la regolamentazione del traffico.

Per valutare i rischi legati al traffico ordinario, invece, si utilizza il software ARTU, basato su una simulazione fluidodinamica e validato dal Dipartimento di Fire Safety Engineering dell'Università di Lund in Svezia.

Secondo quanto indicato nel D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006 "Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea", il presente rapporto prevede:

1. una breve descrizione della Normativa e della documentazione tecnica e progettuale di riferimento;
2. la descrizione del progetto della galleria "San Lorenzo" in termini di:
 - caratteristiche geometriche, strutturali ed impiantistiche;
 - specifiche geografiche e climatiche dell'ambiente circostante;
 - previsioni di traffico attese all'apertura dell'opera;
3. la schedatura del progetto secondo quanto indicato nella Circolare ANAS n. 17/2006 "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali";
4. l'analisi di vulnerabilità del sistema, mediante la definizione dei fattori di pericolo ad esso propri espressi in funzione dei parametri di sicurezza;
5. l'associazione della galleria analizzata al gruppo di requisiti minimi di sicurezza ad essa pertinente, sulla base dei parametri di sicurezza;
6. la verifica di conformità del progetto, mirata all'individuazione di anomalie nei parametri di sicurezza e di deficit nei requisiti minimi di sicurezza che si manifestano tra la galleria reale e quella virtuale ascritta al relativo gruppo di appartenenza;
7. l'analisi di rischio della galleria per le criticità che non ottemperano i requisiti minimi obbligatori.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si sono osservate le prescrizioni contenute nella seguente Normativa di riferimento:

- Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo del 29.04.2004, relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea (G.U. dell'Unione Europea 167/39 del 30.04.2004);
- D.L. n. 264 del 05.10.2006, Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea (G.U. n. 235 del 9/10/2006, Suppl. Ord. n. 195);
- DM 05/11/2001, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade;
- Circolare ANAS n. 33/05, Sagome interne e principali dotazioni infrastrutturali delle gallerie stradali;
- Circolare ANAS n. 17/2006, Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali;
- DM 05/6/2001, Sicurezza nelle gallerie stradali;
- Circolare Ministeriale n. 7938 del 06.12.1999, Sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi;
- DM 14/09/2005, Norme Tecniche per le Costruzioni;
- UNI 11095/2003, Illuminazione delle gallerie stradali;
- UNI 11248, Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche;
- UNI 10819, Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso
- D.L. n. 334/99, Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose (G.U. n. 228 del 28/09/1999).

3. DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO

Le analisi riportate nel presente documento si basano sulla seguente documentazione tecnica di riferimento:

- AIPCR - World Road Association (1995), Road safety in tunnels, Technical Committee C3.3 "Road tunnel operation";
- AIPCR - World Road Association (1999), Fire and smoke control in road tunnels, Technical Committee C3.3 "Road tunnel operation";
- AIPCR - World Road Association (2002), Traduzione in lingua italiana delle norme francesi, tedesche ed austriache per la sicurezza nelle gallerie stradali, XXIV Convegno Nazionale Stradale, Saint Vincent, 26-29 giugno;
- AIPCR - World Road Association (2008), Integrated approach to road tunnel safety, Technical Committee C3.3 "Road tunnel operation";
- AIPCR - World Road Association (2008), Risk analysis for road tunnels, Technical Committee C3.3 "Road tunnel operation";
- British Standards Institute (1997), Fire Safety engineering in buildings, DD 240, Part I, Guide to the application of fire safety engineering principles;
- Bunno A. (2003), Evaluation on the cost effectiveness of safety measures in road tunnels in the Netherlands, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, TU Delft, Centre for Tunnel Safety;
- Bunno A. (2003), Project Safety Test, Report on Fire Tests, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, TU Delft, Centre for Tunnel Safety;
- Cafaro E. & Focaracci A. (2008), Analisi di rischio o analisi delle conseguenze, Le Strade, n. 10, pp. 107-121.
- CESTR – Comité d'Evaluation de la Sécurité des Tunnels Routiers (2003), Guide to road tunnel safety documentation, Booklet 0, Safety documentation objectives;
- CESTR – Comité d'Evaluation de la Sécurité des Tunnels Routiers (2003), Guide to road tunnel safety documentation, Booklet 4, Specific hazard Investigations;
- Considine M., Parry S.T. & Blything K. (1989), Risk assessments of the transportation of hazardous substances through road tunnels in the United Kingdom, Transport and Road Research Laboratory Contractor Report 139, Department of Transport;
- Dipartimento di ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali (2007), Considerazioni sul censimento della popolazione nell'ambito delle valutazioni di incidente rilevante, Università di Bologna;
- Eisenberg E. (1994), Guidelines for evaluating the characteristics of vapour cloud explosions, Flash Fires and BLEVE, Center of Chemical Process Safety.
- EuroTAP – European Tunnel Assessment Programme (2007), Tunnel audit, Final report;

- Finney D. J., Probit analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 1980, III edition;
- Focaracci A. & Cafaro E. (2009), Studio del livello di rischio di una galleria, Strade Autostrade, n. 1, pp. 52-64;
- Focaracci A. (2007), Italian Risk Analysis Method, Le Strade, n. 4, pp. 134-144;
- 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.
- Ingason H. (1994), Small scale test of a road tanker fire, Proceeding of International Conference on fires in tunnels, 10-11 October;
- Kennedy W. D. (1996), Critical Velocity: Past, Present and Future, Parsons Brinkerhoff, USA, Smoke and Critical Velocity in Tunnels, Independent Technical Conferences Ltd;
- Koeberlein K. (2005), Harmonised risk assessment, SafeT, Work package 5, Task 5.2, D5.2 report;
- Lees F. (1980), Loss Prevention in the Process Industries, Vol 1, Butterworths;
- Lischi E. (2007), L'analisi di rischio nel trasporto delle merci pericolose: due software a confronto, Tesi di laurea, Università di Bologna, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria per l'ambiente ed il territorio;
- Malhotra H.L. & Hall R.C. (1995), Results and evaluation of the HGV fire test related to Shuttle operation in the Channel Tunnel, International Conference on Fire Protection in Traffic Tunnels, Dresden, Germany, September;
- Morgan H.P., Ghosh B.K., Garrad G., Pamliitschka R., De Smedt J.C. & Schoonbaert F. (1999), Design methodologies for smoke and heat exhaust ventilation, Building Research Establishment, UK;
- NFPA (2011). NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways. Quincy, USA: National Fire Protection Association.
- Persson M. (2002), Quantitative risk analysis procedure for the fire evacuation a road tunnel, Department of fire safety engineering, Lund University, Sweden;
- SFPE (2002). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. New York: Springer New York: Imprint Springer.
- Sime J.D. (1995), Crowd psychology and engineering, Safety Science, Vol. 21, No.1, pp.1-14;
- TNO (1997), Yellow Book, III edition;
- Transport Canada (TC), U.S. Department of Transportation (2008), Emergency Response Guidebook (ERG);
- Transport of Dangerous goods through road tunnels Quantitative Risk Assessment Model, Reference Manual, INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel ed des Risques;
- Transport of Dangerous goods through road tunnels Quantitative Risk Assessment Model, User's Guide, INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel ed des Risques;
- Transport of Dangerous goods through road tunnels Quantitative Risk Assessment Model, Guide for the Expert User, INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel ed des Risques;

4. DOCUMENTAZIONE PROGETTUALE DI RIFERIMENTO

Le analisi riportate nel presente documento si basano sulla seguente documentazione progettuale di riferimento:

- ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Studio di traffico - Relazione (01.06_P00_EG00_GEN_RE03_A);
- ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica (03.01_P00_GE00_GEO_RE01_A);
- ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Relazione tecnica (09.01_P01_PS00_TRA_RE01_A);
- ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Relazione generale (19.01_P00_IM00_IMP_RE01_A).
- ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Relazione tecnica impianti (19.01_P00_IM00_IMP_RE02_A).

5. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

5.1. Caratteristiche geometriche e strutturali

La galleria San Lorenzo rientra tra le opere del progetto definitivo del III Lotto della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla SS 28 del Colle di Nava ed al casello A6 "Torino-Savona" (figura 5.1).

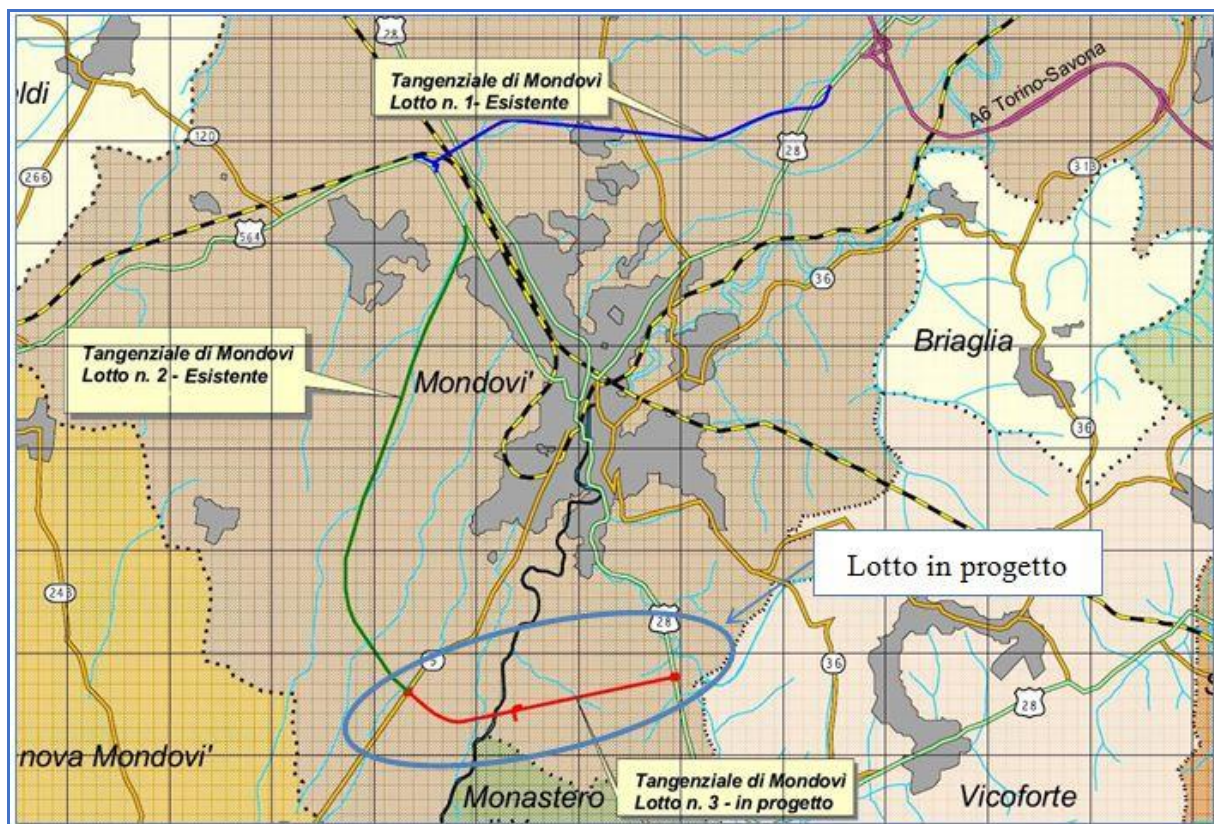


Figura 5.1 Tangenziale di Mondovì con collegamento alla SS 28 del Colle di Nava ed al casello A6 "Torino-Savona"

Si tratta di una galleria naturale di nuova realizzazione, a singola canna e traffico bidirezionale, compresa tra le progressive 1125.00 e 2536.92. Ha una lunghezza complessiva pari a 1411,92 m (figura 5.2).

corsie e due banchine, larghe rispettivamente 3.75 m e 1.25 m. Queste ultime, in particolare, sono delimitate da un profilo ridirettivo addossato al piedritto.

Per assicurare il deflusso delle acque superficiali, la sagoma trasversale della piattaforma stradale, comprese le banchine, è caratterizzata da una sagoma a tetto nei tratti in rettilineo, con pendenze del 2,5% verso l'esterno.

In conformità a quanto indicato dalla Direttiva 2004/54/CE l'opera in esame è dotata di un cunicolo di sicurezza pedonale realizzato sotto il piano viabile, che consente agli utenti in fuga di raggiungere l'esterno in completa autonomia attraverso le uscite di sicurezza intermedie e quelle rappresentate dai due portali di ingresso (figura 5.3). Le relative porte di accesso, di larghezza pari a 1.20 m e grado di compartimentazione al fuoco REI 120, saranno ubicate in corrispondenza delle piazzole di sosta. Si apriranno nella direzione di esodo e saranno corredate da idonei impianti di sicurezza atti ad impedire la propagazione dei fumi e dell'energia termica all'interno della via di fuga.

In conformità a quanto indicato dalla Direttiva 2004/54/CE lungo lo sviluppo della galleria sono previste piazzole di sosta e stazioni di emergenza, costituite da una nicchia nel piedritto, ad interasse sempre inferiore rispettivamente a 600 m e 150 m.

Le specifiche geometriche e strutturali delle opere in esame sono riportate in dettaglio di seguito nelle schede del relativo censimento ai sensi della Circolare ANAS n. 17/2006 e del D.L. n. 264/2006.

5.2. Impianti di sicurezza

La galleria San Lorenzo sarà corredata dai dispositivi di sicurezza elencati in tabella 5.1, finalizzati a garantire il conseguimento degli obiettivi individuati dalla Direttiva 2004/54/CE:

- incolumità degli utenti;
- esodo in sicurezza delle persone dalla galleria;
- intervento dei servizi di soccorso e di spegnimento;
- contenimento dei danni materiali.

Tali impianti, in particolare, saranno utilizzati e sorvegliati tramite un centro di controllo in remoto in grado di gestire in continuo il flusso di dati proveniente dalla galleria in esame.

Tabella 5.1: dispositivi di sicurezza della galleria San Lorenzo

Impianto elettrico
impianto di illuminazione
impianto di ventilazione
impianto di sorveglianza mediante telecamere a circuito chiuso
Impianto di rilevazione dei parametri ambientali ed inquinanti
impianto di segnaletica verticale retroilluminata
impianto di richiesta soccorso (SOS)
impianto di rilevazione automatica degli incendi
impianto di estinzione incendio ad acqua
impianto di radiotrasmissione
pannelli a messaggio variabile e lanterne semaforiche
cartelli di abilitazione piste (freccia/croce)
impianto di diffusione sonora e messaggistica preregistrata

L'impianto elettrico prevedrà:

- un'alimentazione di emergenza, in grado di assicurare per almeno 24 ore il funzionamento dei seguenti sistemi:
 - tutti gli impianti di alimentazione di sicurezza;
 - impianto di ventilazione della galleria per la gestione dei fumi generati da un incendio;
 - impianto di ventilazione delle vie di fuga;
 - impianto idrico antincendio;
 - impianto antincendio addizionale- monitori automatici;
 - impianto di illuminazione di riserva (permanente, picchetti e uscite di sicurezza) della galleria;
- un'alimentazione di sicurezza in grado di garantire per un intervallo di tempo non inferiore a 30' la continuità dei seguenti servizi:
 - impianto di illuminazione di riserva e di sicurezza;
 - segnaletica in galleria e nei tratti in prossimità degli imbocchi;
 - PMV e cartelli di abilitazione piste;
 - impianto di sorveglianza;
 - impianti di rilevazione incidenti ed incendio;

- sistema di gestione della galleria;
- impianti di comunicazione.

Si prevede che:

- l'alimentazione da rete sia effettuata da due trasformatori principali entrambi attivi, uno dedicato all'illuminazione e servizi, l'altro per gli impianti di ventilazione;
- l'alimentazione di emergenza sia svolta da un gruppo elettrogeno;
- le utenze di sicurezza siano collegate ad un gruppo statico di continuità.

Gli impianti di illuminazione ed i servizi, in particolare, saranno alimentati in media tensione, attraverso un trasformatore dedicato, con il gruppo elettrogeno di riserva in grado di alimentare i sistemi di cui ai punti precedenti in caso di fuori servizio o manutenzione del trasformatore.

Le utenze non-stop di galleria, in particolare, sono alimentate da gruppi statici di continuità aventi autonomia di funzionamento di 60 minuti.

Per l'alimentazione dei ventilatori si prevede un trasformatore di potenza pari alla totalità di quella assorbita dalle unità ventilanti. Nel caso in cui il gruppo elettrogeno non dovesse avviarsi, sarà compito del sistema di telecontrollo commutarne l'alimentazione alla rete ENEL utilizzando la potenza garantita dall'Ente Gestore.

I cavi elettrici dei montanti principali dei vari utilizzatori saranno collocati per quanto possibile in sede protetta, dietro il profilo ridirettivo; i cavi delle derivazioni per le utenze ubicate sulla volta della galleria saranno alloggiati in apposite canaline o passerelle realizzate in acciaio inox minimo AISI 304. Nel primo caso si utilizzeranno cavi a doppio isolamento a bassa emissione di fumi e gas tossici; nel secondo caso, invece, sarà necessario prevedere cavi resistenti al fuoco ai sensi della Norma CEI 20-45.

Secondo quanto indicato nella Direttiva 2004/54/CE e nel DM 14/09/2005 "Norme di illuminazione delle gallerie stradali", che richiama la Norma UNI 11095/2003, l'impianto di illuminazione delle gallerie oggetto di studio comprenderà:

- un'illuminazione ordinaria, costituita dall'illuminazione permanente e da quella di rinforzo;
- un'illuminazione di emergenza, costituita dall'illuminazione in condizioni di interruzione di erogazione dell'energia elettrica (illuminazione di riserva) e da quella delle vie di fuga (illuminazione di sicurezza).

Per quanto riguarda la prima, nei tratti di imbocco del tunnel saranno previste delle zone di transizione in modo da garantire l'adattamento visivo degli utenti dalle condizioni di luminanza esterne a quelle interne in funzione della velocità di percorrenza media prevista, senza indurre variazioni inattese nel comfort visivo dei conducenti.

I circuiti di tipo permanente in caso di mancanza di rete saranno alimentati dal gruppo elettrogeno e, nel caso in cui quest'ultimo non sia in grado di mettersi in moto, dal gruppo di continuità che manterrà l'alimentazione per un tempo non inferiore a 30 minuti. Sono previsti, inoltre, appositi regolatori e stabilizzatori di tensione.

I cavi di alimentazione dell'impianto di illuminazione saranno collocati in sede protetta; saranno, inoltre, conformi alle norme CEI, del tipo non propaganti l'incendio, a bassissima emissione di gas tossici nocivi e corrosivi. Le lampade saranno ad alta efficienza luminosa, nell'ottica di consentire un elevato risparmio energetico.

L'illuminazione di sicurezza-evacuazione sarà progettata in modo da consentire la messa in sicurezza degli utenti. I corpi illuminanti (picchetti luminosi) saranno di tipo a led, saranno caratterizzati da elevata resistenza al fuoco e saranno tenuti accesi in maniera permanente. Saranno posizionati a distanza variabile, alimentati tramite trasformatori di sicurezza e posti sul piedritto lato banchina in sinistra.

Prima dell'ingresso della galleria si prevede l'installazione di portali a bandiera dotati di pannelli a messaggio variabile, di un pittogramma full color e di una lanterna semaforica, alimentati in continuità assoluta.

All'interno della galleria sono previsti ogni 300 m dei cartelli alfanumerici a led, alimentati in continuità assoluta. I pannelli a messaggio variabile indicano agli utenti lo stato di malfunzionamento dell'impianto di illuminazione ed eventuali provvedimenti temporanei di esercizio. Tale segnalazione potrà essere inserita tra i pittogrammi previsti.

All'imbocco delle gallerie e all'interno ogni 300 m sono previsti semafori freccia-croce che permettano di inibire ogni corsia e di spostare il traffico attraverso la freccia inclinata gialla.

Agli imbocchi della galleria saranno installati anche i semafori che ne consentano la chiusura in situazioni di emergenza.

Per quanto riguarda l'impianto di ventilazione sarà progettato in modo da garantire:

- la diluizione delle emissioni dei veicoli all'interno della galleria;
- la compatibilità ambientale della struttura;
- la gestione ed il controllo degli eventi incidentali individuati come rilevanti.

La ventilazione sanitaria, in particolare, sarà tale da diluire gli inquinanti emessi dai veicoli in ogni regime di traffico ed in caso di blocco della circolazione conseguente all'accadimento di un incidente non rilevante, in modo da mantenere la concentrazione degli inquinanti all'interno della struttura a livelli tali da non compromettere la visibilità e la salute degli utenti.

La ventilazione di emergenza, invece, sarà tale da:

- disperdere l'energia termica generata dal focolaio di incendio;
- gestire e controllare il moto dei fumi;

- diluire le sostanze tossiche ed infiammabili.

Inoltre dovrà contribuire a garantire l'esodo in sicurezza degli utenti e facilitare le operazioni di soccorso e di spegnimento, nonché prevenire la formazione di miscele esplosive nel corso di un evento di sversamento.

Essendo la galleria a traffico bidirezionale, si prevede un sistema di ventilazione longitudinale, tramite acceleratori d'aria jet-fans aventi corpo e silenziatori in acciaio inox AISI 316L, in grado di superare la prova di resistenza al fuoco alla temperatura di 400° per almeno 90'.

Questi ultimi, in particolare, saranno raggruppati in modo da permettere un lavoro nelle migliori condizioni aerauliche in caso di incendio, e saranno attivati automaticamente dal sistema di controllo centralizzato quando si verifica un superamento dei valori di inquinanti o della temperatura.

Per ogni ventilatore, in particolare, sarà previsto un sezionatore locale per isolare l'alimentazione in caso d'intervento per manutenzione.

L'alimentazione elettrica sarà di tipo punto-punto con un interruttore dedicato per singola unità sul quadro di bassa tensione di cabina elettrica.

Sono previsti, inoltre, rilevatori dei parametri ambientali ed inquinanti quali CO, anemometri, opacità dell'aria, velocità e direzione del vento.

Per quanto riguarda l'impianto di richiesta soccorso, secondo quanto indicato nella Direttiva 2004/54/CE, la galleria sarà attrezzata con armadietti di emergenza posizionati ogni 150 m, opportunamente segnalati, contenenti una postazione idrante, due estintori ed un telefono SOS e dotati di due pulsanti di chiamata. L'apertura dell'armadietto attiverà un allarme ottico ed acustico inviato al centro di controllo.

Sarà prevista, inoltre, una segnaletica retroilluminata, sempre accesa, per l'indicazione delle distanze dai luoghi sicuri e delle uscite all'aperto. Saranno previsti, inoltre, cartelli retroilluminati per l'indicazione della presenza di postazioni SOS. Tutta la cartellonistica retroilluminata dovrà essere alimentata in continuità assoluta.

La segnalazione della presenza di un evento incendio sarà realizzata per mezzo di un impianto di rilevazione automatica. La condizione di allarme sarà recepita da una centralina di sistema ubicata all'interno della cabina elettrica e verrà rinviata al centro di presidio. La buona pratica richiede siano assicurati tempi di rilevazione certa dell'evento di incendio non superiori a 3 minuti a partire dall'arresto del veicolo incidentato.

In accordo alla Direttiva 2004/54/CE ed alla UNI 10779, previo parere dei Comandi Provinciali dei Vigili del Fuoco del territorio interessato dell'arteria stradale in esame, l'impianto di spegnimento incendio ad acqua sarà dimensionato in modo da garantire una continuità di erogazione idrica per almeno un'ora e sarà costituito da una condotta

fissa di adduzione per tutta la lunghezza della galleria in grado di fornire una portata minima di 1200 litri/min ed una pressione minima al bocchettone pari a 0,5 MPa.

Si prevede, in particolare, un impianto con condotte in polietilene (PEAD), dotato di un serbatoio di accumulo con capacità pari a circa 120 m³ e di gruppo di pressurizzazione ubicato nella cabina elettrica per mantenere le condotte in pressione.

I collettori dell'acqua antincendio saranno posizionati dietro al profilo ridirettivo all'interno di un apposito cassonetto in calcestruzzo, in modo da non essere esposti direttamente al fuoco e da essere protetti dal gelo, da possibili urti meccanici, dalla corrosione.

Gli idranti saranno sistemati negli armadietti di emergenza sul lato destro della carreggiata, ad interasse pari a 150 m, e sarà previsto un pozzetto con lo stacco verso l'idrante ed una valvola di intercettazione normalmente aperta, al fine di poter sezionare l'impianto in modo che una sola cassetta sia esclusa dal sistema.

L'impianto sarà alimentato dalla normale rete di distribuzione di energia elettrica e da una fonte di energia elettrica di emergenza.

L'impianto di spegnimento sarà di tipo fisso ad acqua ad attivazione manuale, costituito da idranti UNI 45/UNI 70 e sprinkler localizzati sulle piazzole di sosta, alimentato dalla rete idrica di antincendio.

Per ogni senso di marcia sarà previsto, inoltre, un impianto di sorveglianza mediante telecamere (TVCC), posizionate in modo da essere compatibile con le altre installazioni della galleria (cassette SOS, ecc...), avente le seguenti funzioni:

- controllo del traffico all'interno della galleria;
- controllo delle stazioni di emergenza;
- controllo degli armadietti SOS;
- rilevazione automatica degli incidenti stradali.

Sarà installato, inoltre, un impianto per trasmissioni radio ad uso dei servizi di pronto intervento con l'obiettivo di consentire sia le comunicazioni agli operatori di soccorso, sia la ripetizione di alcune frequenze radio per trasmettere eventuali informazioni agli utenti in galleria.

In ingresso ed all'interno delle uscite di sicurezza della galleria sarà previsto un sistema di diffusione sonora atto a trasmettere messaggi preregistrati per l'informazione all'utenza sulle procedure a cui attenersi in caso di evento.

Secondo quanto indicato nella Direttiva 2004/54/CE, per quanto riguarda la verniciatura dei piedritti si prevede il colore bianco R.A.L. n. 9010. I materiali utilizzati saranno di tipo lavabile e le colorazioni saranno opportunamente ve-

rificate in sito in funzione del tipo di lampade impiegate. Le prestazioni cromatiche ottenute saranno preservate nel tempo, predisponendo un opportuno piano di manutenzione e pulizia.

Le specifiche impiantistiche dell'opera in esame sono riportate in dettaglio di seguito nelle schede del relativo censimento ai sensi della Circolare ANAS n. 17/2006 e del D.L. n. 264/2006.

5.3. Caratterizzazione dell'ambiente circostante

La galleria San Lorenzo rientra tra le opere del progetto definitivo del III Lotto della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla SS 28 del Colle di Nava ed al casello A6 "Torino-Savona".

Il territorio attraversato è quello di Mondovì, comune della provincia di Cuneo con 22500 abitanti circa. Ha una superficie di 87 km² e una densità abitativa di circa 257 abitanti per km².

Come emerge dai dati di sintesi emessi dalla stazione meteorologica di Mondovì, le condizioni climatiche agli imbocchi delle gallerie sono caratterizzate da un clima caldo e temperato, con temperature medie che si attestano su 4°C in inverno e 22°C in estate, mentre il regime pluviometrico è caratterizzato da altezze di pioggia dell'ordine di 790 mm/anno.

Le specifiche dell'ambiente circostante dell'opera in esame sono riportate in dettaglio di seguito nelle schede del relativo censimento ai sensi della Circolare ANAS n. 17/2006 e del D.L. n. 264/2006.

5.4. Caratterizzazione del traffico

Secondo quanto riportato nel documento "ANAS – Gruppo FS Italiane. S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì). Progetto Definitivo. Studio di traffico" per la galleria oggetto di studio si assume un flusso nell'ora di punta tra le 7.30 e le 8.30 di 533 auto/h e 17 CP/h, nella somma delle due direzioni di marcia.

Le specifiche sul traffico dell'opera in esame sono riportate in dettaglio di seguito nelle schede del relativo censimento ai sensi della Circolare ANAS n. 17/2006 e del D.L. n. 264/2006.

6. SCHEDATURA DEL PROGETTO

La schedatura della galleria San Lorenzo è condotta secondo quanto indicato nella Circolare ANAS n. 17/2006 "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali", la quale prevede la compilazione delle schede di seguito allegate:

- scheda 1: identificativo del progetto;
- scheda 2: identificativo della galleria;
- scheda 3: caratterizzazione geometrica della galleria;
- scheda 4: caratteristiche ambientali;
- scheda 5: traffico;
- scheda 6: sinossi dei sistemi di sicurezza della galleria;
- scheda 7: comportamento al fuoco della struttura e dei dispositivi;
- scheda 8: caratterizzazione degli eventi incidentali;
- scheda 9: emergenza.

Scheda 1	IDENTIFICATIVO DEL PROGETTO	
Nome Tratta Stradale	Tangenziale di Mondovì con collegamento alla SS 28 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì) della SS 28 del Colle di Nava	
Nome della Galleria	San Lorenzo	
Anno di costruzione		
Anno di inizio gestione		
Società di Gestione		
Numero gallerie presenti sulla tratta	1	
Tipologia progetto	Affidamento	Consegna
Studio fattibilità		
Progetto preliminare		
X Progetto definitivo		
Progetto definitivo per appalto integrato		
Progetto esecutivo		
Revisione di progetto		
Progetto di adeguamento (variante)		
Tipologia progetto	Galleria di nuova realizzazione	X
	Galleria esistente	
	Galleria in corso di realizzazione	
	Altro:	

Scheda 2		IDENTIFICATIVO DELLA GALLERIA				
Nome Galleria		San Lorenzo				
Anno di costruzione						
Nome Tratta Viaria		Tangenziale di Mondovì con collegamento alla SS 28 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì) della SS 28 del Colle di Nava				
Classe tratta viaria (DM 05/11/2001)		C1 (corsia: 3.75 m, banchina: 1.50 m)				
Tipologia		Costruzione				
Autostradale		Naturale		X		
Stradale urbano		Artificiale				
Stradale extra-urbano		X		Trincea coperta		
Altro				Altro		
Numero canne		1				
Direzionalità		Unidirezionale		Bidirezionale X		
Canna 1		Direzione: Tangenziale Mondovì in esercizio				
Progressiva Chilometrica		da 1 + 125.00 a 2 + 536.92				
Coordinate UTM						
Localizzazione Portale di ingresso		Mondovì		Prov. Cuneo		
Quota s.l.m.		446,080 m				
Localizzazione Portale di uscita		Mondovì		Prov. Cuneo		
Quota s.l.m.		463,22 m				
Canna 2		Direzione: SS 28				
Progressiva Chilometrica		da 1 + 125.00 a 2 + 536.92				
Coordinate UTM						
Localizzazione Portale di ingresso		Mondovì		Prov. Cuneo		
Quota s.l.m.		463,22 m				
Localizzazione Portale di uscita		Mondovì		Prov. Cuneo		
Quota s.l.m.		446,080 m				
Trasporto ADR		NO				
		SI		Libero		X
				Scortato		
				Limitato nel Tempo		
				Limitato nella Tipologia		
Accessibilità ai fornic		Canna 1	Si X NO	Canna 2	Si X NO	

Scheda 3		CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLA GALLERIA				
Canna 1		Direzione		Tangenziale Mondovì in esercizio		
Dimensioni Lineari		Lunghezza		1411,92 m		
		Larghezza		12,90 m		
		Altezza		11,05 m		
Pendenza max		1,12%				
Forma della Sezione		Policentrica				
Contro soffitto			N° vani	Area sezione [m ²]		
Cunicolo sotto traccia			N° vani	Area sezione [m ²]		
N° Corsie		2				
N° Corsie emergenza		0				
Area della Sezione						
Canna 2		Direzione		SS28		
Dimensioni Lineari		Lunghezza		1411,92 m		
		Larghezza		12,90 m		
		Altezza		11,05 m		
Pendenza media		1,12%				
Forma della Sezione		Policentrica				
Contro soffitto			N° vani	Area sezione [m ²]		
Cunicolo sotto traccia			N° vani	Area sezione [m ²]		
N° Corsie		2				
N° Corsie emergenza		0				
Area della Sezione						
Numero bypass / gallerie pedonali				Interdistanza		
Numero bypass / gallerie carrabili				Interdistanza		
Numero svincoli interni		0		Interdistanza		
Altezza sagoma limite						
Marciapiedi		N° per carreggiata	0	Larghezza		
Caratteristiche delle Vie di Accesso		Pendenza ($\leq 10\%$)				
		Resistenza al Carico ($\geq 20\text{ t}$)				
		Altezza Libera ($\geq 4\text{ m}$)				
		Raggio di Volta ($\geq 3\text{ m}$)				
Tracciato		Imbocchi in curva		si		
		Numero curve in galleria		2		
		Raggio di curvatura		1°curva: L = 422,59 m, R= 1100 m 2°Curva: L = 166,34 m, R = 1100 m		
		Restringtoni di carreggiata in galleria		no		
		Svincoli o incroci in galleria		no		
Sistema di Vie di Uscita			Lunghezza	Sezione [m ²]		
Percorsi di Esodo		Interno Galleria				
		Cunicolo di fuga sotto al piano viabile		1411,92 m	Altezza: 2,30 m Larghezza: 2,80 m	
		Galleria Servizio				
		Canale Ventilazione				

Scheda 3		CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLA GALLERIA			
Luoghi sicuri	Dinamici				
	Rifugi	n.			
		Capacità			
		Classe REI			
		Filtro antifumo			
		Dimensioni			
		Spaziatura			
		Impianto Ventilazione		Aria esterna	
		Impianto Trasmissioni		Videocamera/TV	
Uscite di Emergenza	Uscite Luoghi Sicuri Statici		Uscite Dirette Esterno	X	
	Uscite Luoghi Sicuri Dinamici		Uscite Canna Parallela		
	Uscite Canale Ventilazione		Uscite Galleria Servizio		
	Uscite By-pass				
Piazzole di sosta	4 (2 per direzione)	Interdistanza	600 m (unidirezionale) maggiore di 277 m (bidirezionale)		
Attraversamento all'esterno portali	Portale 1		Portale 2		

Scheda 4		CARATTERISTICHE AMBIENTALI	
Località		Mondovì	
Zona climatica		E	
Temperatura media invernale		1 °C *	
Temperatura media estiva		22 °C *	
Precipitazioni		850 mm/anno*	
Nebbia			
Velocità media del vento ai portali (a circa 10 m dal suolo)		imbocco ovest: 2,21 m/s; imbocco est: 2,28 m/s	
Direzione prevalente del vento		Sud *	
Differenza di pressione barometrica tra i portali			
Categoria di stabilità atmosferica prevalente			
Distanza comando VVF		In loco (Mondovì)	
Distanza comando servizi di pubblica sicurezza		In loco (Mondovì)	
Distanza servizi di pronto intervento sanitario		In loco (Mondovì)	
Distanza struttura sanitaria attrezzata per l'emergenza		In loco (Mondovì)	
Distanza eliporto – aeroporto		110 km (aeroporto di Torino)	
Viabilità alternativa		Sì	
Tipologia viabilità alternativa		Autostradale Urbana Extraurbana X	
Presenza di intersezioni a valle dei portali di uscita		Precedenza	
		Semaforo	
		Rotonda	
Centro abitato prossimo alla struttura		Mondovì	
Distanza centro abitato		< 10 km	
Densità media di popolazione nella zona di influenza dei portali		Portali 1 e 2: ~ 257 abitanti/km ²	
Portale 1			
Distanza recettore sensibile prossimo al portale		< 10 km	
Tipologia recettore		Scuole, ospedale	
Zonizzazione acustica			
Portale 2			
Distanza recettore sensibile prossimo al portale		< 10 km	
Tipologia recettore		Scuole, ospedale	
Zonizzazione acustica			
Camini ventilazione			
Distanza recettore sensibile prossimo al portale			
Tipologia recettore			
Zonizzazione acustica			
Presenza di impianti di processo, sistemi di trasporto dell'energia, terminali sistemi di trasporto			
Impianti chimici	Distanza km		
Impianti petrolchimici	Distanza km		
Impianti di produzione industriale	Distanza km		
Porto marittimo	Distanza km	120 km (porto di Genova)	
Dogana	Distanza km		
Terminal-nodo intermodale	Distanza km		
Centri smistamento merci	Distanza km		
Oleodotti	Distanza km		
Gasdotti	Distanza km		

Note: * dai dati di sintesi della stazione meteorologica di Mondovì

Scheda 5.1		TRAFFICO CANNA 1 / DIREZIONE 1 *		
Tipologia di Traffico	Leggero	X	97	% sulla tratta
	Misto			% sulla tratta
	Pesante	X	3	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	97 %	Dev. Standard	
	Veicoli Pesanti	3 %	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			% sulla tratta
	Misto			% sulla tratta
	Pesante			% sulla tratta
Trasporto ADR	No	Sulla tratta	Al casello di prossimità	
	Si	Libero	X	
		Scortato		
		Limitato nel tempo		
		Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero (media annua) (somma due direzioni)			7733 veicoli leggeri e 231 mezzi pesanti	
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)				
Stagionalità				
Traffico di Punta (somma due direzioni)		533 auto/h e 17 CP/h	Ora/e di punta: 7:30 – 8:30	

Scheda 5.2		TRAFFICO CANNA 1 / DIREZIONE 2 *		
Tipologia di Traffico	Leggero	X	97	% sulla tratta
	Misto			% sulla tratta
	Pesante	X	3	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	97 %	Dev. Standard	
	Veicoli Pesanti	3 %	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			% sulla tratta
	Misto			% sulla tratta
	Pesante			% sulla tratta
Trasporto ADR	No	Sulla tratta	Al casello di prossimità	
	Si	Libero	X	
		Scortato		
		Limitato nel tempo		
		Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero (media annua) (somma due direzioni)			7733 veicoli leggeri e 231 mezzi pesanti	
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)				
Stagionalità				
Traffico di Punta (somma due direzioni)		533 auto/h e 17 CP/h	Ora/e di punta: 7:30 – 8:30	

Note: * dati tratti dal documento " S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì) - Progetto Definitivo – Studio di traffico”

Scheda 5.3		TRAFFICO AMBIENTE CIRCOSTANTE *		
Viabilità alternativa				
Tipologia di Traffico	A. Leggero		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B. Misto		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C. Pesante		% su (A+B+C)	% sulla 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	A. Leggero		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B. Misto		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C. Pesante		% su (A+B+C)	% sulla tratta
Trasporto ADR	No	Sulla tratta	Al casello di prossimità	
	Si	Libero	X	
		Scortato		
		Limitato nel tempo		
		Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero (somma due direzioni)			7733 veicoli leggeri e 231 mezzi pesanti	
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)			Veicoli/Giorno	
Stagionalità				
Traffico di Punta (somma due direzioni)		533 auto/h e 17 CP/h	Ora/e di punta: 7:30 – 8:30	

Scheda 5.4		TRAFFICO AMBIENTE CIRCOSTANTE *		
Accesso servizi di soccorso				
Tipologia di Traffico	A. Leggero		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B. Misto		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C. Pesante		% su (A+B+C)	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	%	Dev. standard	
	Veicoli Pesanti	%	Dev. standard	
Regime di Traffico	Rado		Frequenza	
	Scorrevole		Frequenza	
	Congestionato		Frequenza	
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	A. Leggero		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B. Misto		% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C. Pesante		% su (A+B+C)	% sulla tratta
Traffico Medio Giornaliero (somma due direzioni)			7733 veicoli leggeri e 231 mezzi pesanti	
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)			Veicoli/Giorno	
Stagionalità				
Traffico di Punta		533 auto/h e 17 CP/h	Ora/e di punta: 7:30 – 8:30	

Note:

* dati tratti dal documento " S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì) - Progetto Definitivo – Studio di traffico"

Scheda 6.1		SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA		
Sistema di Illuminazione	Ordinario (Permanente + Rinforzo)			X
	Sicurezza	X	Linea Preferenziale Cabina	
			Linea Preferenziale G.E.	
	Evacuazione	X	Batterie Tampone	
			Picchetti luminosi	
		Altezza [m]		
Sistema di Ventilazione				
Tipologia	Naturale			
	Longitudinale			X
	Semitrasversale/Trasversale	Invertibile		
		Non Invertibile		
		Ibrido		
Trasversale		Ibrido		
Configurazione	Numero centrali		Numero camini	
	Numero tratti		Lunghezza max tratto	
Imbocco lato ovest	Numero acceleratori			
	Diametro acceleratori			
	Spinta acceleratori			
Imbocco lato est	Numero acceleratori			
	Diametro acceleratori			
	Spinta acceleratori			
Circuito di Estrazione				
Portata Volumetrica	Totale			
	Singolo Canale			
Numero Bocchette		Apertura indipendente		
Dimensioni Bocchette	Lunghezza			
	Altezza			
	Area			
Spaziatura Bocchette				
Densità Areica Bocchette	Area/Spaziatura			
Circuito di Immissione				
Portata Volumetrica	Totale			
	Singolo Canale			
Numero Bocchette				
Dimensioni Bocchette	Lunghezza			
	Altezza			
	Area			
Spaziatura Bocchette				
Controllo velocità longitudinale	Con acceleratori			
	Push-pull			
	Tempo di controllo			
	Adattativi			
	Tipo logica		Booleana /Fuzzy/Neurale	
	Controllo		Anello aperto anello chiuso	
	Modello		Mappatura/CFD/Regressivo	

Scheda 6.1		SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA	
Impianto di depurazione		Numero centrali	
		Portata singola centrale	
		Filtrazione meccanica Abbattimento NOx	
Ventilazione cunicolo di fuga	X	Aria esterna	
		Portata per singolo rifugio	
		Portata complessiva ventilatori	
		Numero ricambi ora	
		Sovrapressione	
		Velocità aria attraverso le porte	
		Filtrazione aria	
		Serrande tagliafiamma	

Scheda 6.2		SINOSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA			
Sistema di Comunicazione	Segnalazione Acustica	Stazioni di comunicazione nelle postazioni SOS		X	
		Guida sonora		X	
	Segnalazione Ottica	TV-CC		X	
		Pannelli a Messaggio Variabile			
		Ai portali		X	
		Interdistanza in galleria [m]			
		Semafori			
		Ai portali		X	
		Interdistanza in galleria [m]			
	Segnalazione Radio	Segnaletica di Sicurezza			X
		Sistema di amplificazione con cavo microfessurato			
		Messaggi agli utenti		X	
		Frequenze Attive	PS		
		VVF 118 Anas 6 canali FM			
Sistema Servizi Ausiliari	Circuito Aria Compressa				
	Altro				
Stazioni di emergenza	Interdistanza [m]				
	Telefono	X	Estintori	X	
	Pulsante allarme	X	Armadio/nicchia	X	
Monitoraggio parametri Ambientali	Anemometri	X	Sensori CO ₂	X	
	Sensori CO	X	Opacimetri	X	
	Sensori NOx				
Sistema di Rivelazione Segnalazione Incendio	Cavo sensorico	X	Opacimetri	X	
	Sensori CO	X	Rivelatori Gas Tossici	X	
	Sensori CO ₂	X	Telecamere (TV-CC)	X	
	Sensori Termici	Interni		X	
		Esterni			
Lineari		X			
Sistema di Allarme Incendio	Manuale				
	Automatico			X	

Scheda 6.3		SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA				
Sistema di Spegnimento (Mezzi ed Impianti Estinzione Incendi)	Fisso	Tipologia rete		Anello	Pettine	
		Portata Volumetrica minima		1200 l/min		
		Diametro collettore principale		DN 160		
		Volume Vasca Accumulo		120 m ³		
		Pressione massima al bocchettone		0.5 MPa		
		Attacchi di mandata VVF		Agli imbocchi		
		Sezionamenti				
		Idranti	Manichetta			
			UNI 45		Interno galleria	
			UNI 70		Imbocchi galleria	
			Spaziatura		150 m per lato, 75 m a quinconce	
			Portata		UNI 45 120 l/min UNI 70 300 l/min	
			Pressione Bocchello		UNI 45 0,2 MPa UNI 70 0,4 MPa	
	Sistema di mitigazione					
	Mobile (estintori)	Ugelli -soffitto				
		Ugelli sprinkler su piazzole di sosta		X		
		Densità scarica				
		Acqua				
		Acqua nebulizzata		X		
		Schiuma				
		Pressione				
	Postazione Antincendio	Estintore Carrellato				
		Estintore Portatile		X		
Spaziatura		150 m per lato, 75 m a quinconce				
Squadra Aziendale	Autorespiratore		ARO			
			ARA			
	Maschere a Filtro					
	Tute Antifiamma					
Sistema di Drenaggio	Squadra Aziendale		Spaziatura			
	APS					
	Mezzo Polivalente					
	Fognatura (acque di piattaforma)		X			
	Vasca di Raccolta (acque inquinate)		X			
	Capacità					
Stazioni di pompaggio e Miscelazione	Caditoie sifonate					
	Interdistanza Caditoie					
	Portata					
	Numero stazioni pompaggio		1			
	Potenza elettrica installata					
	Superficie in pianta locali stazione					
	Battente vasca accumulo/invaso					
Distanza dal portale più vicino						
Portata volumetrica						
Volume vasca di accumulo						
Volume serbatoio schiumogeno						
Osservazioni						

Scheda 6.4		SINOSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA				
Blocco del traffico	Barriere	n.	Interdistanza			
Monitoraggio traffico	Telecamere	X	n.	Interdistanza		
	Rilevazione automatica incidente				X	
	Conteggio veicoli					
	Velocità massima traffico					
	Tipologia veicoli				Leggeri/pesanti	
Centro di controllo	Remoto	X	In loco	Outsourcing		
Sistema di gestione galleria	Assente					
	Automatico				X	
	Operatore				Remoto	
	Ridondanza				X	
	Client/server				X	
	N° postazioni locali		1 con rimando segnali nella seconda cabina elettrica			
	Procedura emergenza standard				X	
	Procedure emergenza diversificate				X	
	Comunicazione servizi soccorso				X	
Impianto elettrico	Tipologia rete				MT	
	N° punti fornitura				2	
	Potenza complessiva installata				120 kW illuminazione + varie 620 kW ventilatori	
	Potenza elettrica gruppo elettrogeno di cabina elettrica				1.000 kVA	
	Numero gruppi elettrogeni				2	
	Potenza elettrica UPS di cabina, locale tecnico principale				100 kVA	
	Potenza elettrica UPS di cabina, locale tecnico 1					
	Potenza elettrica UPS di cabina, locale tecnico 2					
	Durata prevista UPS				60'	
	Dispositivi sotto gruppo elettrogeno				X (tutti)	
	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				X	
	Dispositivi sotto UPS				X	
	impianto di illuminazione notturna e di sicurezza				X	
	impianto di illuminazione delle vie di fuga				X	
	impianto di illuminazione centro 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		
Sistema Servizi Ausiliari	Circuito Aria Compressa					
	Altro:					
Studi Simulazione	Esistenti			SI		
	Modelli Adottati			Modelli Zone		
				Modelli Campo		

Scheda 7.1		COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLA STRUTTURA		
Costruzione				
Rivestimento	Tipo calcestruzzo	C30/37		
	Resistenza a compressione	37 MPa (cubica)		
	Porosità			
	Additivi speciali			
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento			
	Materiale armatura	Acciaio B450C		
	Carico di rottura	540 N/mm ²		
	Carico di rottura residuo		Temperatura	
	Spessore copriferro			
	Classe di resistenza strutturale			
	Resistenza spalling	C30/37		
	Controsoffitto	Tipo calcestruzzo		
Resistenza a compressione				
Porosità				
Additivi speciali				
Materiale di rivestimento				
Spessore rivestimento				
Materiale tasselli di fissaggio				
Carico di rottura				
carico di rottura residuo			Temperatura	
Materiale armatura				
Carico di rottura				
Carico di rottura residuo			Temperatura	
Spessore copriferro				
Classe di resistenza				
Resistenza spalling				
Cunicoli Sotto traccia	Tipo calcestruzzo			
	Resistenza a compressione			
	Porosità			
	Additivi speciali			
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento			
	Materiale armatura			
	Carico di rottura			
	carico di rottura residuo		Temperatura	
	Spessore copriferro			
	Classe di resistenza			
	Resistenza spalling			

Scheda 7.1	COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLA STRUTTURA			
Vie di fuga	Tipo calcestruzzo	C30/37		
	Resistenza a compressione	37 MPa (cubica)		
	Porosità			
	Additivi speciali			
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento			
	Materiale armatura	Acciaio B450C		
	Carico di rottura	540 N/mm ²		
	carico di rottura residuo		Temperatura	
	Spessore copriferro			
	Classe di resistenza	C30/37		
	Resistenza spalling			
	Locali tecnici	Centrali di ventilazione		
Sale pompe				
Locali quadri elettrici		Classe REI 120		
Locali G.E.		Classe REI 120		
Autorimesse non a cielo aperto		N° Veicoli Classe REI		
Porte vie di fuga	Classe	REI 120	Larghezza	1.20 m
	Apertura a spinta < 200 N	Si	Autochiusura	Si
Vernici	Tipo	Colore bianco R.A.L. n. 9010		
	Classe reazione al fuoco			
	Emissione sostanze tossiche		Temperatura limite	
Asfalto	Tipo rivestimento bituminoso	Conglomerato bituminoso		
	Classe reazione al fuoco			
	Temperatura di rammollimento		Pirolisi	

Scheda 7.2		COMPORTAMENTO AL FUOCO DEI DISPOSITIVI		
Ventilatori in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	
Serrande in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	
Canali in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	
Bocchette di estrazione	Resistenza a temperatura	°C	min	
Bocchette di immissione	Resistenza a temperatura	°C	min	
Acceleratori	Resistenza a temperatura	400 °C	90 min	
Cavi acceleratori	Durata in emergenza	830°C – 120 min		
Cavi illum. emergenza	Durata in emergenza	830°C – 120 min, cavi resistenti al fuoco e senza alogeni (LSOH). Cavo tipo FG180M18		
Cavi illum. vie di fuga	Durata in emergenza	830°C – 120 min, cavi resistenti al fuoco e senza alogeni (LSOH). Cavo tipo FG180M18		
Cavi illum picchetti	Durata in emergenza	830°C – 120 min, cavi resistenti al fuoco e senza alogeni (LSOH). Cavo tipo FG180M18		
Cavi impianto radio	Durata in emergenza	Cavo CPR tipo Cca s1 do a1		
Cavi rete monitoraggio	Durata in emergenza	Installati in sede protetta dietro al profilo redirettivo. Cavi non propaganti l'incendio a bassa emissione di fumi, gas tossici e corrosivi		
Corpi illuminanti	Durata in emergenza			
Corpi ill. emergenza	Durata in emergenza	Cassetta derivazione 850°C – 90 minuti		
Corpi ill. vie di fuga	Durata in emergenza			
Corpi ill. picchetti	Durata in emergenza			
Tubi impianto idrico	Durata in emergenza	Installati in sede protetta dietro al profilo redirettivo, acciaio per la parte a vista in galleria		
Condotti imp. ventilazione	Durata in emergenza	850°C – 90 minuti (passerelle)		
Opacimetri	Durata in emergenza	min		
Sensori CO	Durata in emergenza	min		
Anemometri	Durata in emergenza	min		
Sensori termici	Durata in emergenza	min		
Supporti ventilatori	Durata in emergenza	min 400° - 90 min.		
Supporti corpi illuminanti	Durata in emergenza	850°C – 90 minuti (passerelle e ganci rapidi)		
Supporti segnaletica	Durata in emergenza	min		
Trasformatori	Durata in emergenza	min		
Gruppo continuità	Durata in emergenza	min 30 minuti		
Gruppo elettrogeno	Durata in emergenza	min 24 ore		
Sezionatori in galleria	Durata in emergenza	Cassette derivazione 400° - 90 minuti, prese spine 400°C – 120 minuti		
Segnaletica	Durata in emergenza	min		
Pulsantiere in galleria	Durata in emergenza	min		
Strumentazione in campo	Durata in emergenza	min		
Valvole sistema idrico	Durata in emergenza	min		
Cassette idrante	Durata in emergenza	min		

Scheda 8		CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI		
Sinossi Incidentalità in galleria				
Numero di incidenti stradali		Periodo di riferimento		
Numero di incidenti stradali con vittime		Periodo di riferimento		
Numero di vittime per incidente				
Medio		Min - Max		
Numero di eventi incidentali rilevanti		Periodo di riferimento		
Numero di eventi incidentali rilevanti con vittime		Periodo di riferimento		
Numero di vittime per di eventi incidentali rilevanti				
Medio		Min - Max		
Serie Storiche				
Evento Incidentale Ricorrente	Descrizione sommaria:			
	Danni Strutturali	Tipo di danni		
		Valore dei danni (€)		
		Tempi di ripristino		
	Danni Infrastrutturali	Tipo di danni		
		Valore dei danni (€)		
		Tempi di ripristino		
	Danni Agli Utenti	Persone	Morti	
			Feriti	
			Coinvolti	
Mezzi		Leggeri		
		Pesanti		
		ADR		
Stima dei danni indiretti:				
Evento Incidentale Rilevante	Descrizione sommaria:			
	Danni Strutturali	Tipo di danni		
		Valore dei danni (€)		
		Tempi di ripristino		
	Danni Infrastrutturali	Tipo di danni		
		Valore dei danni (€)		
		Tempi di ripristino		
	Danni Agli Utenti	Persone Mezzi	Morti	
			Feriti	
			Coinvolti	
Leggeri				
Pesanti				
ADR				
Stima dei danni indiretti:				

Scheda 8		CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI			
Condizioni Traffico Inizio Evento Incidentale					
Tipologia di Traffico	Leggero				
	Misto				
	Pesante				
Tipologia di Veicoli	Veicoli Leggeri	%			
	Veicoli Pesanti	%			
Regime di Traffico	Rado				
	Scorrevole				
	Congestionato				
Frequenza Ingresso Veicoli		veicoli/ora			
Tipo Veicolo Incidentato	Automobile				
	Autocarro	Cassonato			
		Cisterna			
	Autobus				
	Autotreno	Motrice			
		Rimorchio	Cassonato		
			Cisterna		
	Locomotore Ferroviario				
Carrozza Ferroviaria					
Carro Merci					
Carico Trasportato		Nome	Quantità	Numero kemler	Numero ONU
Esplosivi					
Gas Infiammabili	Leggeri				
	Pesanti				
Liquidi Infiammabili					
Solidi Infiammabili					
Comburenti – Perossidi					
Sostanze Corrosive					
Sostanze Radioattive					
Sostanze Tossico-nocive					
Inerti					
Caratteristiche evento di incendio					
Carico di incendio					
Potenza termica generata					
Durata fase di crescita					
Durata fase stazionaria					
Durata evento					
Portata di fumi generata					
Temperatura massima raggiunta dai fumi					

Scheda 9				EMERGENZA			
Canna 1 fornice di ingresso (se si)							
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2				Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello			
Distanza tra fornice e cancello				Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice			
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza							
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza				Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza			
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza							
Tipo di custodia							
Canna 1 fornice di uscita (se si)							
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2				Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello			
Distanza tra fornice e cancello				Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice			
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza							
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza				Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza			
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza							
Tipo di custodia							
Canna 2 fornice di ingresso (se si)							
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2				Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello			
Distanza tra fornice e cancello				Tempo medio di percorrenza cancello-fornice			
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza							
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza				Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza			
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza							
Tipo di custodia							
Canna 2 fornice di uscita (se si)							
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2				Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello			
Distanza tra fornice e cancello				Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice			
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza							
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza				Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza			
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza							
Tipo di custodia							
Esiste piano di emergenza del Gestore				Anno di aggiornamento / revisione			
Esiste piano di emergenza del Esterno				Anno di aggiornamento / revisione			
Osservazioni							

Scheda 9		EMERGENZA	
Canna 1 Portale Ingresso			
Vasca per la raccolta di acque di piazzale	Si	Altezza	
		Larghezza	
		Lunghezza	
Canna 1 Portale Uscita			
Vasca per la raccolta di acque di piazzale	Si		
Canna 2 Portale Ingresso			
Vasca per la raccolta di acque di piazzale	Si	Altezza	
		Larghezza	
		Lunghezza	
Canna 2 Portale Uscita			
Vasca per la raccolta di acque di piazzale	Si		
Vasca per la raccolta di acque inquinate (posta sotto la galleria di emergenza)	Si	Altezza	
		Larghezza	
		Lunghezza	
<p>Descrizione sommaria della Geologia attraversata *: sono presenti terreni ascrivibili a marne grigie e consistenti, più o meno argillose, di ambiente marino, talora sabbiose, localmente fossilifere con, dove subaffioranti, una coltre di alterazione argilloso marnosa.</p> <p>Descrizione dell'idrogeologia di contorno*: sono presenti depositi alluvionali terrazzati e attuali dei corsi d'acqua e della pianura principale, a composizione sabbioso ghiaioso limosa con abbondanti ciottoli e blocchi, dotati di una permeabilità elevata per porosità. I depositi alluvionali antichi a composizione sabbioso limosa hanno una permeabilità media per porosità. Al di sotto di questi materiali le indagini eseguite hanno riscontrato la presenza di sabbie limose e limi sabbiosi a permeabilità medio bassa, e marne sostanzialmente impermeabili o poco permeabili. La presenza di terreni di copertura permeabili su substrato impermeabile favorisce l'instaurazione di una falda freatica che si attesta ad alcuni metri da piano campagna. I corsi d'acqua principali per la loro posizione incassata sono generalmente, nell'area studiata, punti di drenaggio per queste falde.</p>			
Volumi/Impianti/Attrezzature esistenti in galleria, con accesso diretto dal cavo transitabile con destinazione d'uso differenti	Descrizione sommaria		
	Descrizione delle condotte ed impianti di interferenza		
	Indicazione dei responsabili/gestori		

Note:

* dai dati forniti nel "Profilo geologico" e nella "Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica".

7. ANALISI DI VULNERABILITÀ

7.1. Parametri di sicurezza

7.1.1 Parametri di sicurezza principali

I parametri di sicurezza individuati dal D.L. n. 264 del 05/10/2006 sono distinti in:

- parametri di sicurezza principali, rappresentati dalla lunghezza dell'opera e dal volume di traffico che la interessa;
- parametri di sicurezza caratteristici.

I valori di riferimento per i parametri di sicurezza principali in funzione della tipologia costruttiva di una galleria sono fissati nella Circolare ANAS n. 17/2006 mediante l'analisi dei seguenti dati:

- serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale in funzione del volume di traffico (Dati AISCAT);
- serie storiche di fatalità indotte da incendi in galleria avvenuti nel mondo, in funzione della lunghezza della struttura (AIPCR (1999), Fire and smoke control in road tunnels, C3.3 Road tunnel operation, aggiornamento del 2005).

Il valore limite per il parametro di sicurezza "volume di traffico" è pari a 10.000 veicoli/giorno corsia e coincide con quello in corrispondenza del quale l'andamento della curva di regressione delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale presenta un primo significativo cambio di pendenza (figura 7.1).

Il valore limite per il parametro di sicurezza "lunghezza struttura" è pari a 4000 m e coincide con quello in corrispondenza del quale l'andamento della curva di regressione delle serie storiche del tasso di mortalità per eventi di incendio presenta una prima discontinuità (figura 7.2).

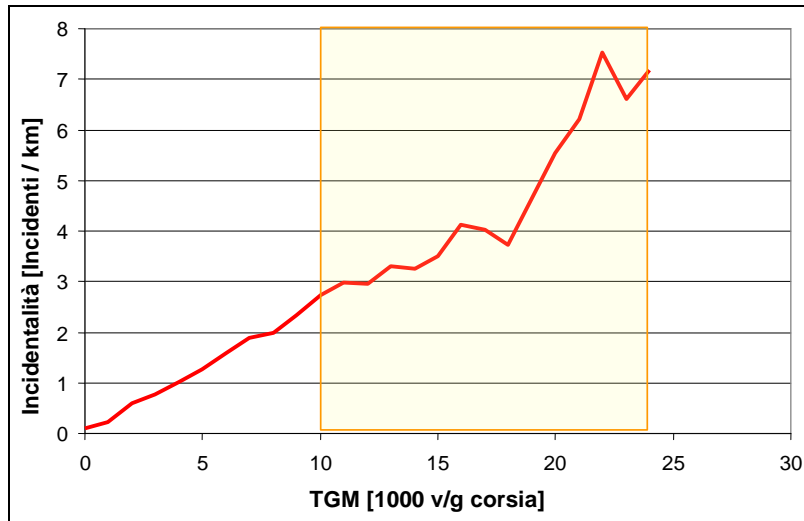


Figura 7.1 Valore limite per il parametro "volume di traffico" (Circolare ANAS n. 17/2006)

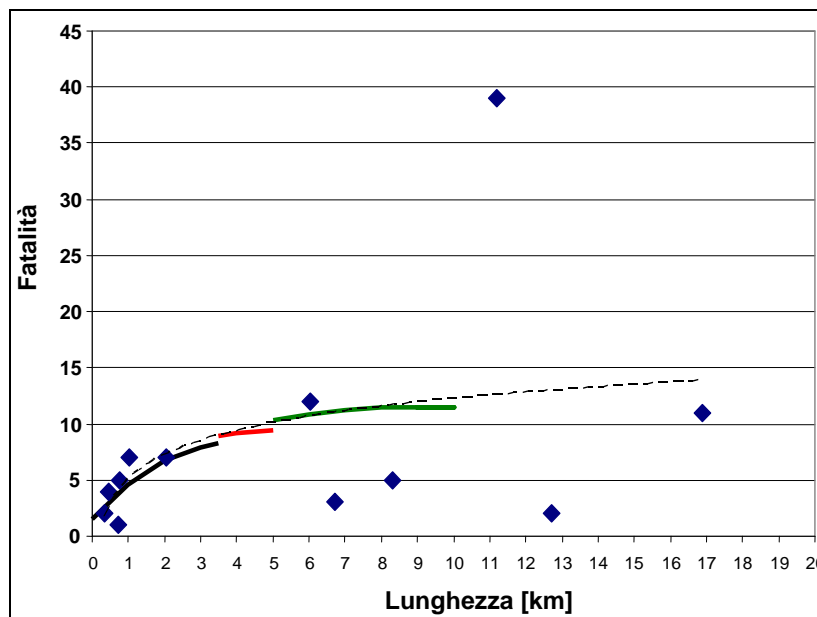


Figura 7.2 Valore limite per il parametro "lunghezza struttura" (Circolare ANAS n. 17/2006)

7.1.2 Parametri di sicurezza caratteristici

I parametri di sicurezza caratteristici coincidono con:

- numero di corsie per senso di marcia;
- larghezza delle corsie;
- pendenza;

- raggio di curvatura;
- frazione di veicoli pesanti;
- congestione del traffico;
- stagionalità del traffico;
- nebbia;
- precipitazioni.

In tabella 7.1 sono riportati i valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici per i quali non si verificano variazioni significative nel tasso di accadimento degli eventi incidentali, con particolare riferimento alla galleria San Lorenzo.

Tabella 7.1 Valori limite dei parametri di sicurezza caratteristici (Circolare ANAS n. 17/2006)

Parametro di Sicurezza Caratteristico	Unidirezionale	Bidirezionale	Galleria San Lorenzo
Numero di corsie per senso di marcia	3	2	2
Larghezza corsie [m]	3.5	3.5	3.75
Pendenza [%]	5	3	1,12
Raggio di Curvatura [m]	100	100	1100
Frazione veicoli pesanti [%]	25/15 *	15	3
Congestione Traffico [min/giorno]	30	30	-
Stagionalità traffico	2	2	-
Nebbia [% annua]	20	20	-
Precipitazioni [% annua]	20	20	-

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

I risultati ottenuti evidenziano che la galleria San Lorenzo non presenta anomalie.

7.2. Fattori di pericolo

I fattori di pericolo per il sistema galleria stradale sono raggruppati in:

- fattori di pericolo connessi alle caratteristiche architettoniche e strutturali dell'opera;
- fattori di pericolo connessi all'ambiente circostante;
- fattori di pericolo connessi al fenomeno traffico.

I fattori di pericolo connessi alle caratteristiche architettoniche e strutturali dell'opera possono essere individuati in termini di:

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

I fattori di pericolo connessi alle caratteristiche dell'ambiente possono essere individuati in termini di:

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

I fattori di pericolo connessi al traffico possono essere individuati in termini di:

- volume di traffico (traffico giornaliero medio, stagionalità);
- composizione del traffico (traffico pesante, traffico ADR - Accord Dangereuses par Route, ossia di merci pericolose);
- regimi di traffico (traffico scorrevole, traffico congestionato).

In tabella 7.2 sono riportati i fattori di pericolo ordinati per importanza e per peso relativo delle caratteristiche specifiche, con particolare riferimento alla galleria San Lorenzo.

Tabella 7.2 Fattori di pericolo (Circolare ANAS n. 17/2006)

I	Struttura – tipologia costruttiva	Galleria San Lorenzo
1	Unidirezionale + corsia di emergenza	
2	Unidirezionale	
3	Bidirezionale	X

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

III	Struttura-Tracciato		Galleria San Lorenzo
	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	Galleria San Lorenzo
	% Veicoli pesanti	
1	< 0,75%	
2	> 15%	X
3	> 30%	
4	Veicoli ADR	X

V	Traffico-Velocità	Galleria San Lorenzo
	Limiti di velocità	
1	50 km/h	
2	70 km/h	
3	90 km/h	
4	100 km/h	X
5	>= 110 km/h	

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

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

VIII	Ambiente-Condizioni meteo-climatiche		Galleria San Lorenzo
	Condizione	Frequenza	
1	Vento	Bassa	
2		Stagionale	X
3		Elevata	
1	Precipitazioni	Bassa	
2		Stagionale	X
3		Elevata	
1	Nebbia	Bassa	
2		Stagionale	X
3		Elevata	

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

8. VERIFICA DI CONFORMITÀ

8.1. Introduzione

La verifica di conformità si svolge tra (figura 8.1):

- una galleria virtuale, che risponde alle prescrizioni della Direttiva Europea in termini di parametri di sicurezza e requisiti minimi di sicurezza;
- una galleria reale, cioè il progetto di realizzazione dell'opera caratterizzato in termini di parametri di sicurezza e requisiti minimi posseduti dalla struttura.

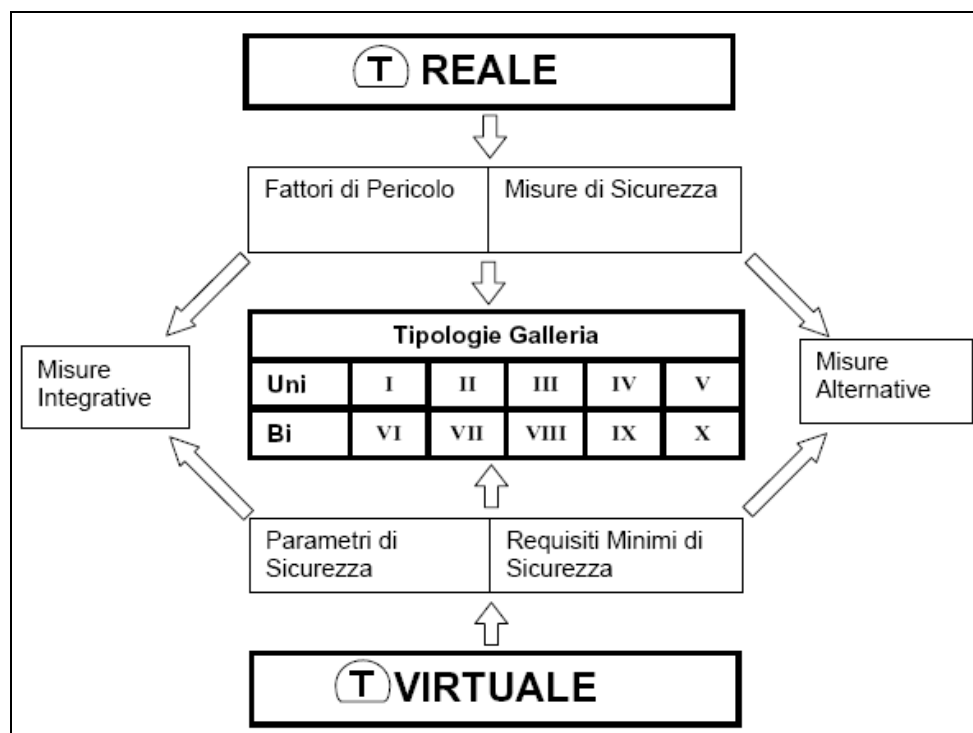


Figura 8.1 Verifica di conformità

La procedura comparativa consente:

- la verifica di conformità del sistema galleria reale rispetto a quanto riportato nel D.L. n. 264 del 05/10/2006;
- la relativa identificazione di anomalie nei parametri di sicurezza;
- la relativa individuazione di deficit nei requisiti minimi di sicurezza previsti dal D.L. n. 264 del 05/10/2006.

8.2. Identificazione del gruppo di requisiti minimi di sicurezza

I valori limite superiori dei parametri di sicurezza principali individuati secondo la procedura descritta nel § 7.1.1 e quelli limite inferiori fissati dal D.L. n. 264 del 05/10/2006 sono utilizzati per stabilire una corrispondenza univoca tra gruppi di sistemi galleria e gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza.

Questi ultimi, in accordo al D.L. n. 264 del 05/10/2006, sono l'insieme delle misure di sicurezza previste per tipologia costruttiva di un sistema galleria in funzione dei parametri di sicurezza principali.

I gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza sono insiemi di requisiti minimi da adottare in un sistema galleria per intervalli di variazione fissati dei parametri di sicurezza principali ad esso propri.

La corrispondenza tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza e sistemi galleria caratterizzati in termini di tipologia costruttiva e parametri di sicurezza principali è sintetizzata in tabella 8.1.

Tabella 8.1 Corrispondenza tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza e sistemi galleria caratterizzati in termini di tipologia costruttiva e parametri di sicurezza principali [VT: v/g corsia, L: m]

Gallerie unidirezionali	500 <L<1000	L>1000	500<L<1000	1000<L<3000	3000<L<4000
VT < 2000	I	II			
2000 < VT < 10000			III	IV	V
Gallerie bidirezionali	500 <L<1000	L>1000	500<L<1000	1000<L<3000	3000<L<4000
VT < 2000	VI	VII			
2000 < VT < 10000			VIII	IX	X

La galleria San Lorenzo appartiene al gruppo IX.

8.3. Verifica dei requisiti minimi di sicurezza

Nelle tabelle 8.2, 8.3, 8.4 e 8.5 si riporta il confronto tra i requisiti minimi previsti dalla Direttiva 2004/54/CE (D.L. n. 264 del 05/10/2006) e quelli propri delle opere analizzate per le misure sia strutturali, sia impiantistiche.

Tabella 8.2 Requisiti minimi di sicurezza, misure strutturali, D.L. n. 264 del 05/10/2006

		Rispetto
		Galleria San Lorenzo
Requisito	Pendenze longitudinali superiori al 5%	
	Nelle gallerie esistenti non sono consentite pendenze longitudinali superiori al 5%, a meno che non sia geograficamente possibile attuare un'altra soluzione progettuale.	SI
	La pendenza longitudinale massima è pari a 1.12%	
Requisito	Banchine pedonabili di emergenza	
Obbligo	Nelle gallerie esistenti sprovviste sia di corsie di emergenza, sia di banchine pedonabili di emergenza, devono essere adottate misure supplementari e/o rafforzate.	SI
Note	Nel progetto, essendo l'opera sprovvista sia di corsie di emergenza sia di banchine pedonabili di emergenza, si prevede un aumento del numero di vie di fuga, ottenuto riducendo l'interdistanza tra le porte di accesso.	
Requisito	Distanza reciproca delle uscite di emergenza	
Obbligo	Nelle gallerie esistenti devono esservi uscite di emergenza almeno ogni 500 m.	SI
Note	L'interdistanza tra le uscite di emergenza è sempre inferiore a 500 m.	
Requisito	Piazzole di sosta	
Obbligo	Nelle gallerie bidirezionali esistenti di lunghezza superiore a 1500 m devono essere previste piazzole di sosta a distanze non superiori a 1000 m.	SI
Note	Le piazzole di sosta sono previste ad interasse pari a 600 m (unidirezionale) e superiore a 277 m (bidirezionale).	
Requisito	Drenaggio di liquidi infiammabili e tossici	
Obbligo	Se il trasporto di merci pericolose è autorizzato, il drenaggio di liquidi infiammabili e tossici è effettuato tramite canali di scolo appositamente realizzati o altri dispositivi all'interno delle sezioni trasversali delle gallerie.	SI
Note	Sono previste opportune opere di drenaggio e vasche di raccolta per la galleria.	
Requisito	Resistenza al fuoco delle strutture	
Obbligo	La struttura principale di tutte le gallerie in cui un cedimento locale della struttura possa avere conseguenze catastrofiche deve assicurare un livello sufficiente di resistenza al fuoco.	SI
Note	La resistenza al fuoco delle strutture è pari a REI 120.	

Tabella 8.3 Requisiti minimi di sicurezza, misure impiantistiche, D.L. n. 264 del 05/10/2006

		Rispetto
		Galleria San Lorenzo
Requisito	Illuminazione ordinaria	
Obbligo	L'illuminazione ordinaria deve essere prevista in modo tale da assicurare una visibilità adeguata ai conducenti nella zona di ingresso e all'interno della galleria, di giorno e di notte, nel rispetto delle norme fissate con D.M. n. 3476 del 14.09.05.	SI
Note		
Requisito	Illuminazione di sicurezza	
Obbligo	L'illuminazione di sicurezza deve essere prevista in modo tale da fornire un minimo di visibilità agli utenti della galleria, per consentire loro di abbandonare quest'ultima con i loro veicoli in caso di interruzione dell'alimentazione elettrica.	SI
Note		
Requisito	Illuminazione di evacuazione	
Obbligo	I sistemi di illuminazione finalizzati a consentire l'evacuazione della galleria, quali i segnali luminosi di evacuazione posti a un'altezza non superiore a 1.50 m, devono guidare gli utenti che sgombrano la galleria a piedi in caso di emergenza.	SI
Note	Sono previsti picchetti luminosi posti ad un'altezza pari a 1 m.	
Requisito	Ventilazione meccanica	
Obbligo	In tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m e con un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia deve essere installato un impianto di ventilazione meccanica.	SI
Note	È previsto un impianto di ventilazione meccanica.	
Requisito	Stazioni di emergenza	
Obbligo	Le stazioni di emergenza possono essere costituite da un armadio o, preferibilmente, da una nicchia nel piedritto. Devono essere munite come minimo di un telefono di emergenza e di due estintori.	SI
Note		
Requisito	Stazioni di emergenza	
Obbligo	Devono esserci stazioni di emergenza vicino ai portali e all'interno, a intervalli non superiori a 150 m per le gallerie nuove.	SI
Note	Sono previsti armadietti di emergenza attrezzati ogni 150 m.	
Requisito	Erogazione idrica	
Obbligo	Deve essere prevista l'erogazione idrica per tutte le gallerie. Vicino ai portali e all'interno delle gallerie devono essere disponibili idranti a intervalli non superiori a 250 m.	SI
Note	Sono previsti idranti agli imbocchi ed all'interno della galleria con inter-distanza pari a 150 m.	

Tabella 8.4 Requisiti minimi di sicurezza, misure impiantistiche, D.L. n. 264 del 05/10/2006

		Rispetto
		Galleria San Lorenzo
Requisito	Segnaletica stradale	
Obbligo	Devono essere usati appositi segnali stradali per tutti gli impianti di sicurezza previsti per gli utenti della galleria. I segnali e i pannelli da usare nelle gallerie devono essere conformi al D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495.	SI
Note		
Requisito	Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio	
Obbligo	In tutte le gallerie servite da un centro di controllo devono essere installati impianti di sorveglianza con telecamere e un impianto di rilevamento automatico degli incidenti stradali (ad esempio arresto di veicoli) e/o degli incendi.	SI
Note		
Requisito	Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi	
Obbligo	Prima degli ingressi di tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m, devono essere installati semafori che consentono di impedire l'accesso alla galleria in situazioni di emergenza. Possono essere previste misure supplementari, ad esempio pannelli a messaggio variabile, per ottenere il rispetto delle istruzioni.	SI
Note	È previsto anche l'adozione di pannelli a messaggio variabile agli imbocchi.	
Requisito	Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso dei servizi di pronto intervento	
Obbligo	In tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m e con un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia devono essere installati impianti per ritrasmissioni radio ad uso dei servizi di pronto intervento.	SI
Note		
Requisito	Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via rado destinati agli utenti della galleria	
Obbligo	Se vi è un centro di controllo, deve essere possibile interrompere le ritrasmissioni radio degli eventuali canali destinati agli utenti della galleria, per diffondere messaggi di emergenza.	SI
Note		
Requisito	Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite	
Obbligo	I rifugi e le altre strutture in cui gli utenti della galleria in fase di evacuazione sono tenuti ad aspettare prima di poter raggiungere l'esterno devono essere dotati di altoparlanti per comunicare informazioni agli stessi utenti.	SI
Note		
Requisito	Alimentazione elettrica di emergenza	
Obbligo	Tutte le gallerie devono disporre di un'alimentazione elettrica di emergenza per assicurare il funzionamento degli impianti di sicurezza per il tempo necessario a consentire la totale evacuazione degli utenti dalla galleria.	SI
Note		

Tabella 8.5 Requisiti minimi di sicurezza, misure impiantistiche, D.L. n. 264 del 05/10/2006

		Rispetto
		Galleria San Lorenzo
Requisito	Alimentazione elettrica	
Obbligo	I circuiti elettrici, di misurazione e di controllo devono essere progettati in modo che un guasto locale, dovuto ad esempio a un incendio, non impedisca il funzionamento dei circuiti non interessati.	SI
Note		
Requisito	Resistenza al fuoco degli impianti	
Obbligo	Il livello delle caratteristiche di resistenza e reazione al fuoco dei componenti di tutti gli impianti e sistemi della galleria deve tenere conto della loro strutturazione e grado di esposizione all'incendio e delle possibilità tecnologiche, e deve consentire il mantenimento delle necessarie funzioni di sicurezza in caso di incendio.	SI
Note		

8.4. Risultati della verifica di conformità

La verifica di conformità della Galleria San Lorenzo ha evidenziato:

- l'assenza di deficit nei requisiti minimi di sicurezza rispetto al D.L. n. 264 del 05/10/2006;
- l'assenza di anomalie nei valori limite dei parametri di sicurezza.

Alla luce dei risultati ottenuti, sarà comunque effettuata la relativa analisi di rischio al fine di valutare se il progetto oggetto di studio sia intrinsecamente sicuro.

9. ANALISI DI RISCHIO

L'analisi di rischio è condotta prendendo in esame i rischi legati sia al trasporto di merci pericolose, sia al traffico ordinario.

Per il primo caso si utilizza il software QRAM, sviluppato da INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) in collaborazione con WS Atkins (U.K.) ed IRR (Institute of Risk Research) dell'Università di Waterloo (Canada), e, secondo quanto indicato nel D.L. n. 264 del 05.1.2006, sarà riferita esclusivamente ad eventi considerati critici nell'ambiente confinato della galleria quali incendio, collisioni con incendio, sversamento di sostanze infiammabili, rilascio di sostanze tossiche e nocive. Saranno esclusi dall'analisi gli eventi incidentali che non comportano rischi aggiuntivi all'utenza in galleria e quelli connessi con la circolazione stradale e la regolamentazione del traffico.

Per valutare i rischi legati al traffico ordinario, invece, si utilizza il software ARTU, basato su una simulazione fluidodinamica e validato dal Dipartimento di Fire Safety Engineering dell'Università di Lund in Svezia.

9.1. Rischi legati al trasporto di merci pericolose

9.1.1 Le fasi di studio

Le fasi principali di cui si compone l'analisi di rischio della galleria San Lorenzo sono:

- raccolta di dati iniziali relativi all'area di studio ed al sistema galleria;
- analisi delle sorgenti di pericolo, sulla base dell'identificazione della tipologia degli eventi iniziatori e della valutazione della relativa probabilità di accadimento;
- caratterizzazione energetica delle sorgenti di pericolo;
- definizione degli eventi critici e creazione dei relativi alberi degli eventi;
- modellazione del processo di esodo, sulla base della stima della popolazione on road e della caratterizzazione degli scenari di esodo;
- modellazione delle conseguenze;
- valutazione del rischio sociale.

9.1.2 Raccolta di dati iniziali relativi all'area di studio ed al sistema galleria

Le informazioni iniziali relative all'area di studio ed alla galleria San Lorenzo, necessarie per effettuare l'analisi di rischio, consistono in:

- dati geometrici, strutturali ed impiantistici delle opere in esame e delle relative zone di imbocco;
- dati geografici, mirati alla caratterizzazione dell'area dove sono ubicate le gallerie;
- dati demografici, relativi alla distribuzione della popolazione sul territorio adiacente ai tunnel;
- dati meteorologici.

Queste informazioni possono essere dedotte dal capitolo 5.

9.1.3 Analisi delle sorgenti di pericolo

9.1.3.1 Identificazione della tipologia degli eventi iniziatori

Le sorgenti di pericolo sono rappresentate dai veicoli in transito lungo la galleria, con particolare attenzione a quelli pesanti ed a quelli adibiti al trasporto ADR.

Per identificare queste sorgenti è necessario:

- quantificare i flussi di traffico dei veicoli ordinari e di quelli dedicati al trasporto di merci pericolose;
- caratterizzare i veicoli che trasportano le sostanze pericolose in termini di:
 - resistenza del mezzo di contenimento alla rottura: la sostanza può essere trasportata alla rinfusa (bulk), come avviene tipicamente nell'autobotte, o in piccoli contenitori o colli (cylinders);
 - condizioni fisiche della sostanza, in termini di pressione e temperatura alle quali è stoccata nel mezzo di contenimento;
 - capacità del mezzo di contenimento, in termini di quantità massima di sostanza che può essere trasportata e quindi rilasciata.

Per la quantificazione dei flussi di traffico ordinari si suppone che sul tratto in esame circolino mezzi leggeri, cioè automobili, e veicoli pesanti adibiti al trasporto merci (tabella 9.1).

Tabella 9.1 Flussi di traffico

Tipologia di veicolo	Frazione della tipologia rispetto al totale	Traffico di Punta (somma delle due direzioni) [veicoli/h]
Automobili	97	533
Veicoli pesanti per il trasporto merci	3	17
Totale	100	550

Per la stima dei flussi di traffico delle merci pericolose, non essendo disponibile un censimento delle merci in ingresso ed in uscita dai singoli stabilimenti presenti sul territorio nell'intorno del progetto esaminato, è stato utilizzato il censimento delle sostanze pericolose realizzato dalla Protezione Civile in collaborazione con la Regione Emilia Romagna per l'autostrada A1 Milano – Napoli.

Quest'ultimo ha previsto la definizione per ogni azienda interessata dei seguenti parametri:

- tipologia di sostanza pericolosa trasportata, identificata dal codice O.N.U.;
- quantità spostata, in termini sia di numero di vettori interessati al trasporto sia di tonnellate per anno;
- nodi di arrivo e di partenza della spedizione.

Un censimento a parte è stato effettuato per i flussi di GPL, considerando solo la quantità in ingresso ai maggiori depositi dell'Emilia Romagna, poiché le quantità in uscita sono dirette ad un numero molto alto di destinazioni finali delle quali è difficile tenere conto.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle 9.2 ÷ 9.5, suddivisi per direzione di marcia (nord e sud) e per tipo di mezzo di contenimento (autobotte o cylinders).

Tabella 9.2 Autostrada A1, direzione sud, flussi di merci pericolose, trasporto in autobotte (classe di rischio secondo ERG)

Sostanza pericolosa		Flusso		Classe di rischio	
N. ONU	Descrizione	Veic/anno	t/anno		
1951	Argon liquido refrigerato	241	5273.0	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)
1977	Azoto liquido refrigerato	540	15120.0	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)
1073	Ossigeno liquido refrigerato	797	18966.0	122	Gas ossidanti (inclusi i liquidi refrigerati)
1005	Ammoniaca	123	3073.6	125	Gas corrosivi
1170	Etanolo	1347	28887.0	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1193	Etilmetil acetone	35	945.0	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
3065	Bevande alcoliche	23	529.0	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1208	Esano	6	150.0	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1301	Acetato di vinile stabilizzato	60	1620.0	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1294	Toluene	35	.612.5	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1307	Xilene	24	562.5	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1230	Metanolo	40	1080.0	131	Liquidi infiammabili e tossici
2789	Acido acetico glaciale	5	130.0	132	Liquidi infiammabili e corrosivi
2067	Fertilizzanti con nitrato d'ammonio	665	18620.0	140	Ossidanti
2672	Ammoniaca in soluzione acquosa	110	3191.2	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2078	Diisocianato di toluene	15	330.0	156	Sostanze tossiche e/o corrosive sensibili all'acqua e combustibili
	Totale	4066	99089.8		

Tabella 9.3 Autostrada A1, direzione nord, flussi di merci pericolose, trasporto in autobotte (classe di rischio secondo ERG)

Sostanza pericolosa		Flusso		Classe di rischio	
N. ONU	Descrizione	Veic/anno	t/anno		
1075	GPL	1857	42825.3	115	Gas infiammabili (inclusi liquidi refrigerati)
1977	Azoto liquido refrigerato	50	1400.0	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)
1170	Etanolo	59	1616.0	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
3065	Bevande alcoliche	515	13907.6	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1294	Toluene	5	110.5	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1307	Xilene	1	27.5	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1830	Acido solforico	145	1029.5	137	Sostanze reattive con acqua e corrosive
2014	Perossido di idrogeno	217	5642.0	140	Ossidanti
3105	Perossido organico	1	13.0	145	Perossidi organici sensibili a calore e contaminazioni
1814	Idrossido di potassio in soluzione	2	55.6	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2672	Ammoniaca in soluzione acquosa	7	140.0	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
Totale		2859	69766.9		

Tabella 9.4 Autostrada A1, direzione nord, flussi di merci pericolose, trasporto in cylinders (classe di rischio secondo ERG)

Sostanza pericolosa		Flusso		Classe di rischio	
N. ONU	Descrizione	Veic/anno	t/anno		
2555	Nitrocellulosa	5	42.5	113	Solidi infiammabili-tossici
1325	Solidi organici infiammabili	1	3.9	133	Solidi infiammabili
1486	Nitrato di potassio	16	232.0	140	Ossidanti
3109	Perossido organico	10	18.6	145	Perossidi organici sensibili a calore e contaminazioni
Totale		32	297.0		

Tabella 9.5 Autostrada A1, direzione sud, flussi di merci pericolose, trasporto in cylinders (classe di rischio secondo ERG)

Sostanza pericolosa		Flusso		Classe di rischio	
N. ONU	Descrizione	Veic/anno	t/anno		
1977	Azoto liquido refrigerato	181	2513.0	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)
1090	Acetone	347	882.7	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1170	Etanolo	384	245.8	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1171	Etere monoetilico	21	31.2	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1193	Etilmetil acetone	143	303.2	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1245	Metil isobutil acetone	16	36.6	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1915	Cicloesanone	27	33.9	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
2056	Tetra idro furano	2	0.5	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
2398	Etere metil terbutilico	5	35.0	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
3065	Bevande alcoliche	36	55.7	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
3272	Esteri	58	122.9	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua
1145	Cicloesano	20	54.6	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1206	Eptano	67	159.4	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1208	Esano	12	61.3	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1263	Vernici	451	4428.7	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1268	Distillati del petrolio	43	221.9	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1300	Trementina	27	104.7	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
2055	Stirene	42	57.5	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
3295	Idrocarburi liquidi	59	119.9	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua
1120	Butanolo	11	2.6	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1123	Acetato di butile	127	532.4	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1148	Alcool diacetone	19	13.6	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1173	Acetato di etile	199	458.8	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1212	Isobutanolo	64	97.1	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1213	Acetato di isobutile	44	143.0	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1219	Isopropanolo	162	232.4	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi

1231	Acetato di metile	4	14.2	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1272	Olio di pino	29	8.3	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
2265	N,N dimetil formaldeide	12	9.7	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
3092	Metossi 1 propanolo 2	133	258.3	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi
1134	Clorobenzene	1	0.2	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1279	Di cloro 1,2 propano	23	54.7	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1294	Toluene	83	533.0	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1307	Xilene	79	302.0	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi
1230	Metanolo	50	17.2	131	Liquidi infiammabili e tossici
2054	Morfolina	5	1.1	132	Liquidi infiammabili e corrosivi
2789	Acido acetico glaciale	1	0.2	132	Liquidi infiammabili e corrosivi
1334	Naftaline	1	0.0	133	Solidi infiammabili
1384	Idrosolfito di sodio	3	0.2	135	Sostanze spontaneamente combustibili
1715	Anidride acetica	9	15.0	137	Sostanze reattive con l'acqua corrosive
1807	Pentossido di fosforo	1	0.1	137	Sostanze reattive con l'acqua corrosive
1830	Acido solforico	12	17.1	137	Sostanze reattive con l'acqua corrosive
1444	Per solfato di ammonio	1	0.0	140	Ossidanti
1474	Nitrato di magnesio	149	297.5	140	Ossidanti
1486	Nitrato di potassio	202	1196.6	140	Ossidanti
1498	Nitrato di sodio	5	1.9	140	Ossidanti
1500	Nitrato di sodio	5	2.1	140	Ossidanti
1942	Nitrato di ammonio	2	1.0	140	Ossidanti
2014	Perossido di idrogeno	40	56.1	140	Ossidanti
2067	Fertilizzanti con nitrati	43	172.2	140	Ossidanti
2465	Acido di cloro	283	253.1	140	Ossidanti
2468	Acido tricloro	348	193.1	140	Ossidanti
3149	Perossido di idrogeno	4	0.2	140	Ossidanti
1463	Triossido di cromo	7	69.9	141	Ossidanti tossici
3105	Perossido organico	0	2.9	145	Perossidi organici sensibili a calore e contaminazioni
3109	Perossido organico	13	3.4	145	Perossidi organici sensibili a calore e contaminazioni
1888	Cloroformio	1	0.3	151	Sostanze tossiche non combustibili
1779	Acido formico	8	11.9	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili
2491	Etanolo ammina	13	17.4	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili
2586	Acido alchilsolfonico	9	7.7	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili
2662	Idrochinone	1	0.1	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili
2735	Ammine liquide	1	0.1	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili

2790	Acido acetico	25	71.9	153	Sostanze tossiche e/o corrosive combustibili
1690	Fluoruro di sodio	1	0.0	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1775	Acido fluoroborico	1	1.1	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1805	Acido fosforico	144	454.7	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1813	Idrossido di potassio	19	10.9	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1814	Idrossido di potassio	33	88.3	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1823	Idrossido di sodio	45	141.3	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1824	Idrossido di sodio	121	1218.3	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1908	Cloruri in soluzione	9	20.7	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2331	Cloruro di zinco anidro	9	4.1	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2581	Cloruro di alluminio	1	0.1	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2672	Ammoniaca	46	187.4	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
2967	Acido solfamico	19	40.9	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili
1789	Acido cloridrico	133	306.5	157	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili sensibili all'acqua
1790	Scido fluoridrico	4	1.0	157	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili sensibili all'acqua
2031	Acido nitrico	110	349.1	157	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili sensibili all'acqua
2796	Acido solforico	72	138.6	157	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili sensibili all'acqua
1593	Di cloro metano	70	132.6	160	Solventi alogenati
1713	Tricloro etilene	45	22.2	160	Solventi alogenati
1897	Tetracloro etilene	59	108.0	160	Solventi alogenati
3077	Sostanze pericolose per l'ambiente solide	7	5.6	171	Sostanze da poco a mediamente pericolose
3082	Sostanze pericolose per l'ambiente liquide	43	89.3	171	Sostanze da poco a mediamente pericolose
Totale		5165	17859.3		

Dalle tabelle 9.3 ÷ 9.5 emerge che sull'autostrada A1 sono trasportate 92 sostanze pericolose, per un totale di 9231 veicoli/anno e 116949.1 tonnellate/anno in direzione sud e di 2891 veicoli/anno e 70063.9 tonnellate/anno in direzione nord (tabelle 9.6 e 9.7).

Tabella 9.6 Autostrada A1, flussi di merci pericolose [veicoli/anno]

Mezzo di contenimento	Direzione sud	Direzione nord
Autobotte	4066	2859
Cylinders	5165	32
Totale	9231	2891

Tabella 9.7 Autostrada A1, flussi di merci pericolose [tonnellate/anno]

Mezzo di contenimento	Direzione sud	Direzione nord
Autobotte	99089.8	69766.9
Cylinders	17859.3	297.0
Totale	116949.1	70063.9

Alla luce delle differenze tra l'autostrada A1 ed il progetto oggetto di studio, il flusso di traffico di merci ADR utilizzato nell'analisi di rischio verrà assunto pari al 50% di quello emerso dal censimento dell'A1.

Nell'analisi di seguito riportata, inoltre, si trascurano i flussi delle merci pericolose trasportate in cylinders, poiché numerosi studi riportati in letteratura evidenziano che gli scenari incidentali da esse originati risultano trascurabili rispetto a quelli causati dalle stesse sostanze trasportate in autobotte. Ciò è dovuto al fatto che il quantitativo di sostanza stoccato in un cylinder è molto inferiore a quello di un'autobotte. In questo modo, raggruppando i risultati per classe di rischio, si ottiene quanto indicato in tabella 9.8.

Ai fini di una prima valutazione del rischio sono state escluse le seguenti merci:

- le sostanze tossiche e corrosive reattive con l'acqua, combustibili e non;
- gli ossidanti;
- i perossidi;
- le sostanze tossiche non combustibili.

Tabella 9.8 Autostrada A1, flussi di merci pericolose in relazione alla classe di rischio di appartenenza

Classe di rischio		Flusso di sostanze pericolose appartenenti alla classe di rischio [veicoli/anno]	
Direzione sud	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)	781
	122	Gas ossidanti (inclusi i liquidi refrigerati)	797
	125	Gas corrosivi	123
	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua	1405
	128	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua	6
	129	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua e nocivi	60
	130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi	59
	131	Liquidi infiammabili e tossici	40
	132	Liquidi infiammabili e corrosivi	5
	140	Ossidanti	665
	154	Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili	110
	156	Sostanze tossiche e/o corrosive sensibili all'acqua e combustibili	15
	Totale		4066
	Direzione nord	115	Gas infiammabili (inclusi i liquidi refrigerati)
120		Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)	50
127		Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua	574
130		Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi	6
137		Sostanze reattive con acqua e corrosive	145
140		Ossidanti	217
145		Perossidi organici sensibili a calore e contaminazioni	1
154		Sostanze tossiche e/o corrosive non combustibili	9
Totale		2859	

Per ogni mezzo di contenimento sono state assunte le specifiche indicate in tabella 9.9 ed i risultati ottenuti sono stati raggruppati in funzione della tipologia di sostanza pericolosa oggetto del trasporto (tabella 9.10).

Tabella 9.9 Specifiche dei mezzi di contenimento di merci pericolose (trasporto in autobotte)

Sostanza pericolosa	Tipologia di mezzo di contenimento	Capacità [t]
Acroleina	Autobotte	25
Ammoniaca	Autobotte	20
Anidride carbonica	Autobotte	20
Benzina	Autobotte	28
GPL	Autobotte	18

Tabella 9.10 Autostrada A1, flussi di merci pericolose in relazione alla tipologia di sostanza trasportata

Sostanza	Possibile evento incidentale	Classe di rischio		Flusso [veic/anno]	
Anidride carbonica	Esplosione	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)	1578	
		122	Gas ossidanti (inclusi i liquidi refrigerati)		
Ammoniaca	Nube tossica	125	Gas corrosivi	123	
Benzina	Incendio	127	Liquidi infiammabili polari/ miscibili in acqua	1535	
		128	Liquidi infiammabili non polari/non miscibili in acqua		
		129	Liquidi infiammabili polari/ miscibili in acqua e nocivi		
		130	Liquidi infiammabili non polari/non miscibili in acqua e nocivi		
		132	Liquidi infiammabili e corrosivi		
Acrilonitrile - Acroleina	Incendio e/o nube tossica	131	Liquidi infiammabili e tossici	40	
Totale				3276	
Direzione nord	Esplosione e/o incendio	115	Gas infiammabili (inclusi i liquidi refrigerati)	1857	
		Anidride carbonica	120	Gas inerti (inclusi i liquidi refrigerati)	50
	122		Gas ossidanti (inclusi i liquidi refrigerati)		
	Benzina	Incendio	127	Liquidi infiammabili polari / miscibili in acqua	580
			130	Liquidi infiammabili non polari / non miscibili in acqua e nocivi	
Totale				2487	

I risultati di tabella 9.10 sono stati ulteriormente elaborati al fine di valutare la frazione di trasporto ADR (Fi) rispetto a quello totale (Ftot) in funzione della tipologia di sostanza (tabella 9.11).

Tabella 9.11 Valutazione di Fi / Ftot

Sostanza pericolosa	Fi / Ftot
Anidride carbonica	0.28
Ammoniaca	0.02
Benzina	0.37
Acrilonitrile - Acroleina	0.01
GPL	0.32
Totale	1.00

9.1.3.2 Valutazione della probabilità di accadimento

La probabilità di accadimento degli eventi critici iniziatori (f_i) si valuta secondo quanto indicato nella Circolare ANAS n. 17/2006 in funzione della lunghezza della galleria (L) e dei relativi traffico giornaliero medio (TGM) e tasso di incidentalità (T_i) secondo la formula:

$$f_i = 365 \cdot L \cdot TGM \cdot T_i \quad (1)$$

Per la valutazione del tasso di incidentalità dei veicoli ordinari (T_i) si possono utilizzare i dati forniti dall'AISCAT, che assumono, per l'anno 2018, un valore su 100 milioni di veicoli km pari a 7.5 (tabella 9.12).

Tabella 9.12 Valutazione delle frequenze incidentali

Sostanza pericolosa	Frequenza di accadimento [eventi/anno]
	Galleria San Lorenzo
Anidride carbonica	6,21E-02
Ammoniaca	4,44E-03
Benzina	8,21E-02
Acroleina	2,22E-03
GPL	7,10E-02

9.1.4 Caratterizzazione energetica delle sorgenti di pericolo

Note le sorgenti di pericolo è possibile caratterizzarle dal punto di vista energetico utilizzando appositi modelli variabili in funzione del tipo di sostanza pericolosa (figura 9.1).

name	units	1 air/smoke	2 gasoline	3 propane	4 chlorine	5 ammonia	6 acrolein	7 CO2
molecular weight	kg/kmol	28.96	115.00	44.10	70.91	17.03	56.06	44.01
boiling point	K	80.0	333.0	230.9	239.1	239.7	325.8	194.7
gas density (at 1 atm)	kg/m3	1.22	4.86	1.86	3.00	0.72	2.37	1.85
specific heat gas	J/kg.K	1005.0	1039.0	1612.0	459.0	2110.0	1198.0	858.0
vapour pressure	Pa	338300.0	42780.0	730900.0	589000.0	727700.0	24000.0	5727000.0
heat of vaporisation	J/kg	0.0	370000.0	348000.0	256400.0	1209000.0	547600.0	25000.0
liquid density	kg/m3	306.4	740.4	580.0	1427.4	616.6	844.0	738.5
specific heat liquid	J/kg.K	2860.0	2194.4	2591.0	926.7	4591.0	2151.0	2260.0
heat of combustion	MJ/kg	0.0	45.0	46.0	0.0	18.6	27.7	0.0
lower explosive limit	%	0.0	1.4	2.1	0.0	16.0	2.8	0.0
upper explosive limit	%	0.0	7.4	9.5	0.0	25.0	31.0	0.0
laminar burning velocity	m/s	0.00	0.40	0.52	0.00	0.00	0.40	0.00
burning rate	kg/s/m^2	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000

Figura 9.1 Specifiche delle sostanze pericolose

9.1.4.1 Benzina

Gli scenari incidentali che si generano a seguito di uno sversamento di benzina sono:

- incendio di una pozza liquida (pool fire);
- esplosione di una nube tossica miscelata con aria (VCE - Vapour Cloud Explosion).

Per il pool fire si assume che il fenomeno occupi un'area di dimensioni pari a 2.5 m × 10 m e che sia caratterizzato da un'evoluzione rapida.

La relativa caratterizzazione energetica prevede due casi distinti in funzione della potenza termica generata dal focolaio:

- 20 MW, provocato da un veicolo pesante che trasporta una quantità ridotta di materiale infiammabile;
- 100 MW, provocato da un mezzo pesante pieno di combustibile.

Si compone, in particolare, della valutazione dei seguenti parametri:

- potenza termica generata;
- durata dell'evento;
- portata di fumi generati dal focolaio e temperatura raggiunta all'interno del tunnel;
- velocità dell'aria in galleria;
- concentrazione di monossido di carbonio e dose tossica;
- distanza di visibilità;
- irraggiamento e dose termica.

La potenza termica generata dal focolaio di incendio (Q), espressa in MW, in particolare, si valuta in funzione dell'energia posseduta dal combustibile attraverso la formula:

$$Q = m'' \cdot A_p \cdot H_{comb} \quad (2)$$

dove:

m'' è la velocità di combustione [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$];

A_p è l'area della pozza liquida [m^2];

H_{comb} è il calore di combustione [MJ/kg].

L'area della pozza liquida sversata (A_p), espressa in m^2 , si ottiene con la seguente espressione:

$$A_p = (m - m_d) / m'' \quad (3)$$

dove:

m'' è la velocità di combustione [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$];

m_d è la quantità di sostanza pericolosa captata dalle opere di drenaggio [kg/s];

m è la portata di rilascio [kg/s].

La portata di rilascio (m), espressa in kg/s, si valuta attraverso la formula:

$$m = C_D \cdot A_h \cdot \rho_f \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0.5} \quad (4)$$

dove:

C_D è il coefficiente di rilascio (pari a 0.6);

A_h è la dimensione del foro di rilascio [m²];

ρ_f è la densità della sostanza pericolosa trasportata [kg/m³];

g è l'accelerazione di gravità [m/s²];

h è l'altezza del liquido stoccato all'interno della cisterna (pari a 2 m).

La durata dell'evento incendio (t), espressa in secondi, si ottiene attraverso l'espressione:

$$t = M / m \quad (5)$$

dove:

M è la quantità totale di sostanza rilasciata [kg];

m è la portata di rilascio [kg/s].

La portata di fumo generata dall'incendio (M''), espressa in kg/s, si valuta attraverso la formula:

$$M'' = 0.05 \cdot P_f \cdot (H - d)^{3/2} \cdot \rho \cdot g^{0.5} \quad (6)$$

dove:

P_f è il perimetro dell'incendio [m];

H è l'altezza della galleria [m];

d è la profondità dello strato di fumo [m];

g è l'accelerazione di gravità [m/s²];

ρ è la densità dell'aria [kg/m³].

La temperatura che si raggiunge all'interno della galleria (ΔT), espressa in K, si valuta attraverso l'espressione:

$$\Delta T = \frac{Q_c}{M'' \cdot C_p} \quad (7)$$

dove:

Q_c è la portata di rilascio di calore convettivo [kW/s] (pari a 0.75Q);

C_p è la capacità termica dell'aria [kW/kg K];

M'' è la portata di fumo generata dall'incendio [kg/s].

La velocità dell'aria in galleria (VC), espressa in m/s, diventa:

$$V_C = 0.61 \cdot K_g \cdot \left(\frac{g \cdot H \cdot Q_c}{\rho \cdot C_p \cdot A \cdot T_f} \right)^{1/3} \quad (8)$$

dove:

$K_g = 1$ per pendenze positive, $K_g = 1 + 0.0374(i)^{0.8}$ per pendenze (i) negative;

g è l'accelerazione di gravità [m/s^2];

H è l'altezza della galleria [m];

Q_c è la portata di rilascio di calore convettivo [kW/s] (pari a $0.75Q$);

ρ è la densità dell'aria [kg/m^3];

C_p è la capacità termica dell'aria [kW/kg K];

A è l'area dell'incendio [m^2];

T_f è la temperatura media che si raggiunge all'interno della galleria [K].

Per quanto riguarda gli effetti tossici, la concentrazione di monossido di carbonio (C_{co}) generata a seguito dell'incendio, espressa in kg/m^3 , si valuta attraverso la formula:

$$C_{co} = \frac{Y_{co} \cdot F_r}{V_s} \quad (9)$$

dove:

Y_{co} è la portata di conversione in massa di CO [kg/kg] (pari a 0.013 e 0.25 rispettivamente in condizioni di buona e scarsa ventilazione);

V_s è la portata di volume dello strato di fumo [m^3/s];

F_r è velocità di combustione [kg/s].

La dose tossica (L) dopo un tempo t espresso in minuti si valuta in funzione della concentrazione di CO (C_{co}) (espressa in ppmv) attraverso la formula:

$$L = t \cdot C_{co} \quad (10)$$

La distanza di visibilità (S), in metri, può essere determinata con l'espressione:

$$S = \frac{V_s}{D_m \cdot F_R} \quad (11)$$

dove:

V_s è la portata di volume dello strato di fumo [m^3/s];

D_m è la densità ottica [m^2/kg] (pari a $100 m^2/kg$);

F_r è velocità di combustione [kg/s].

Per quanto riguarda gli effetti termici, l'irraggiamento (I), espresso in kW/m^2 , si valuta secondo la seguente formula:

$$I = T_r \cdot \frac{Q_r}{2 \cdot H \cdot W} \quad (12)$$

dove:

T_r è la trasmissività atmosferica;

Q_r è la portata di rilascio di calore irraggiato [kW] ($=0.25Q$);

H è l'altezza della galleria [m];

W è la larghezza della galleria [m].

La dose termica (L_t) dopo un tempo t espresso in secondi si valuta in funzione dell'irraggiamento (I), espresso in kW/m², attraverso la formula:

$$L_t = t \cdot I^{4/3} \quad (13)$$

Per lo scenario VCE (nube tossica miscelata con aria) la caratterizzazione energetica prevede la valutazione dei seguenti parametri:

portata di rilascio;

tasso di evaporazione dei composti chimici liquidi che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento;

irraggiamento e dose termica.

La portata di rilascio (m), espressa in kg/s, si valuta attraverso la formula [23]:

$$m = C_D \cdot A_h \cdot \rho \cdot u \quad (14)$$

$$\frac{u^2}{2} = g \cdot h + \frac{\Delta P}{\rho} \quad (15)$$

dove:

C_D è il coefficiente di rilascio (pari a 0.6);

A_h è la dimensione del foro di rilascio [m²];

ρ è la densità della sostanza pericolosa trasportata [kg/m³];

g è l'accelerazione di gravità [m/s²];

ΔP è pari a 7×10^5 N/m²

h è l'altezza del liquido stoccato all'interno della cisterna (pari a 2 m).

Il tasso di evaporazione dei composti chimici liquidi (m_e) che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento può essere stimato attraverso l'espressione:

$$m_e = 1.2 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(M \cdot p)}{T} \cdot u^{0.78} \cdot x^{0.89} \cdot y \quad (16)$$

dove:

M è il peso molecolare della sostanza sversata;

p è la pressione di vapore del liquido [dyn/cm²];

T è la temperatura assoluta del liquido sversato [K];

u è la velocità media del vento [cm/s];

x, y sono le dimensioni della pozza sversata in direzione contro e pro vento [cm].

Per quanto riguarda gli effetti termici, l'irraggiamento (I) e la dose termica (Lt) si valutano attraverso le espressioni (12) e (13).

9.1.4.2 Ammoniaca ed acroleina

Lo scenario incidentale che si genera a seguito di un evento di sversamento di ammoniaca o di acroleina è la nube tossica (toxic vapour cloud).

Si assume che entrambe le sostanze siano stoccate a temperatura ambiente e che il rilascio avvenga attraverso un foro di diametro pari a 50 e 100 mm rispettivamente per l'ammoniaca e per l'acroleina.

La caratterizzazione energetica di un evento nube tossica prevede la valutazione dei seguenti parametri:

- portata di rilascio;
- tasso di evaporazione dei composti chimici liquidi che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento;
- dose tossica.

La portata di rilascio (m), espressa in kg/s, si valuta attraverso le formule (14) e (15).

Il tasso di evaporazione dei composti chimici liquidi che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento può essere stimato attraverso l'espressione]:

$$f = C_{pl} \cdot \frac{(T_s - T_b)}{H_{vap}} \quad (17)$$

dove:

C_{pl} è il calore specifico della sostanza sversata (J/kg K);

T_s è la temperatura del liquido nella cisterna [K];

T_b è la temperatura di ebollizione del liquido sversato [K];

H_{vap} è il calore latente di vaporizzazione [J/kg].

La dose tossica (L_c) si valuta attraverso la formula:

$$L_c = t \cdot C^n \quad (18)$$

dove:

t è il tempo di esposizione [min];

C è la concentrazione della sostanza sversata (ppmv);

n è un coefficiente funzione del tipo di sostanza e dipendente dalle unità di misura considerate per C.

9.1.4.3 GPL

Gli scenari incidentali che si generano a seguito di un evento di sversamento di GPL sono:

- esplosione fisica seguita da un incendio (BLEVE – Boiling liquid expanding vapour explosion);
- esplosione di una nube tossica miscelata con aria (VCE);
- incendio di un getto fluido (torch fire), il quale negli eventi all'interno di un tunnel presenta le stesse specifiche di un BLEVE.

Per il BLEVE la relativa caratterizzazione energetica prevede la valutazione dei seguenti parametri:

- dimensioni dell'evento in termini di diametro e di durata;
- irraggiamento e dose termica.

Le dimensioni dell'evento in termini di diametro (D), in metri, e di durata (t), in secondi, si valutano in funzione della quantità di GPL sversato (M), in kg, attraverso le formule:

$$D = 5.8 \cdot M^{1/3} \quad (19)$$

$$t = 0.45 \cdot M^{1/3} \text{ se } M < 37 \text{ t} \quad (20)$$

$$t = 8.6 \cdot M^{1/6} \text{ se } M > 37 \text{ t} \quad (21)$$

Per quanto riguarda gli effetti termici, l'irraggiamento (I) e la dose termica (Lt) si valutano attraverso le espressioni (12) e (13).

Per lo scenario VCE la caratterizzazione energetica prevede la valutazione dei seguenti parametri:

- portata di rilascio, valutata attraverso le formule (14) e (15);
- tasso di evaporazione dei composti chimici liquidi che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento, stimato attraverso la (16);
- irraggiamento e dose termica, valutati attraverso le espressioni (12) e (13).

9.1.4.4 Anidride carbonica

Lo scenario incidentale che si genera a seguito di un evento di sversamento di anidride carbonica è un'esplosione fisica seguita da un incendio (BLEVE).

La relativa caratterizzazione energetica prevede la valutazione dei seguenti parametri:

- dimensioni dell'evento in termini di diametro e di durata, valutati secondo le formule (19), (20) e (21);
- l'irraggiamento e la dose termica, calcolati attraverso le espressioni (12) e (13).

9.1.5 Definizione degli eventi critici

9.1.5.1 Introduzione

Dato un rilascio di sostanza pericolosa o un incendio è possibile avere diversi eventi incidentali finali (tabella 9.13):

- per l'incendio: incendio di diversa energia;
- per le sostanze tossiche: dispersione della nube tossica (toxic vapour cloud);
- per le sostanze infiammabili:
 - incendio di una pozza liquida (pool fire);
 - incendio di un getto fluido (torch fire);
 - esplosione fisica seguita da un incendio (BLEVE);
 - esplosione di una nube tossica miscelata con aria (VCE).

Tabella 9.13 Eventi critici

n.	Sostanza pericolosa	Evento critico	Capacità mezzo contenimento [t]	Dimensioni foro di rilascio [mm]	Portata di rilascio [kg/s]
1	Veicolo pesante trasportante merce non pericolosa	Incendio di potenza 20 MW	-	-	-
2	Veicolo pesante trasportante merce non pericolosa	Incendio di potenza 100 MW	-	-	-
3	Benzina	Pool fire	28	100	20.6
4	Benzina	VCE	28	100	20.6
5	GPL	BLEVE	18	-	-
6	GPL	VCE	18	50	36
7	GPL	Torch fire	18	50	36
8	Ammoniaca	nube tossica	20	50	36
9	Acroleina	nube tossica	25	100	24.8
10	Anidride carbonica	BLEVE	20	-	-

La modellazione degli eventi critici, in particolare, avviene considerando tre categorie di rottura (rilascio continuo da foro di piccole e medie dimensioni, rottura catastrofica del mezzo di contenimento) (tabella 9.14).

Tabella 9.14 Categorie di rottura

Rilascio da foro continuo	Sostanza pericolosa	Acroleina	Ammoniaca	Benzina	GPL
	Dimensione del foro di rilascio [mm]	100	50	100	50
	Portata di rilascio [kg/s]	24.8	36.0	20.6	36.0
Rilascio per rottura catastrofica	Sostanza pericolosa	Anidride carbonica		GPL	
	Massa rilasciata [t]	20		18	

9.1.5.2 Creazione degli alberi degli eventi

Di seguito si riportano gli alberi degli eventi utilizzati nell'analisi, variabili in funzione del tipo di sostanza pericolosa trasportata.

Veicolo pesante trasportante merci non ADR

Lo scenario di pericolo dominante è l'incendio (figura 9.2).

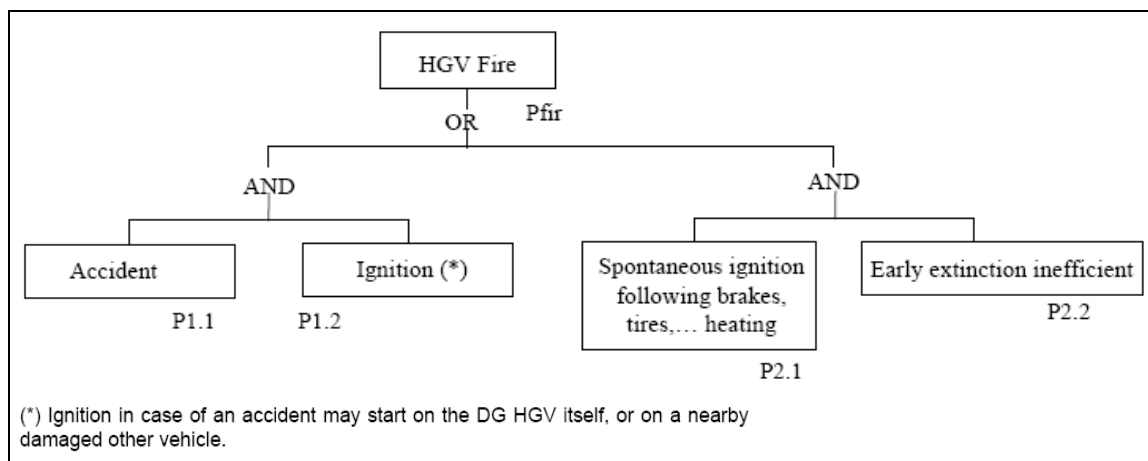


Figura 9.2 Veicolo pesante trasportante merci non ADR, incendio, albero degli eventi

La probabilità di accadimento dell'evento incendio di un veicolo pesante trasportante merci non ADR è quindi pari a:

$$P_{fir} = P_1 + P_2 = (P_{1.1} \times P_{1.2}) + (P_{2.1} \times P_{2.2}) \quad (22)$$

Benzina trasportata in autobotte

Gli scenari incidentali che si generano a seguito di uno sversamento di benzina sono:

- incendio di una pozza liquida (pool fire) (figura 9.3);
- esplosione di una nube tossica miscelata con aria (VCE) (figura 9.4).

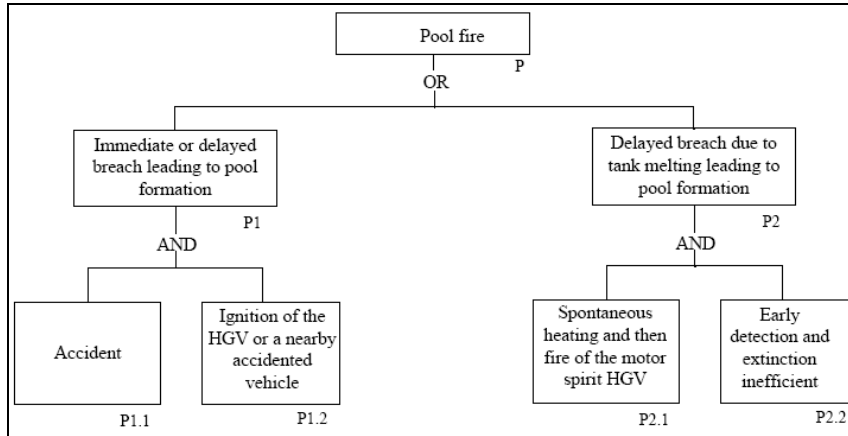


Figura 9.3 Benzina, pool fire, albero degli eventi

La probabilità di accadimento dell'evento pool fire è quindi pari a:

$$P = P_1 + P_2 = (P_{1.1} \times P_{1.2}) + (P_{2.1} \times P_{2.2}) \quad (23)$$

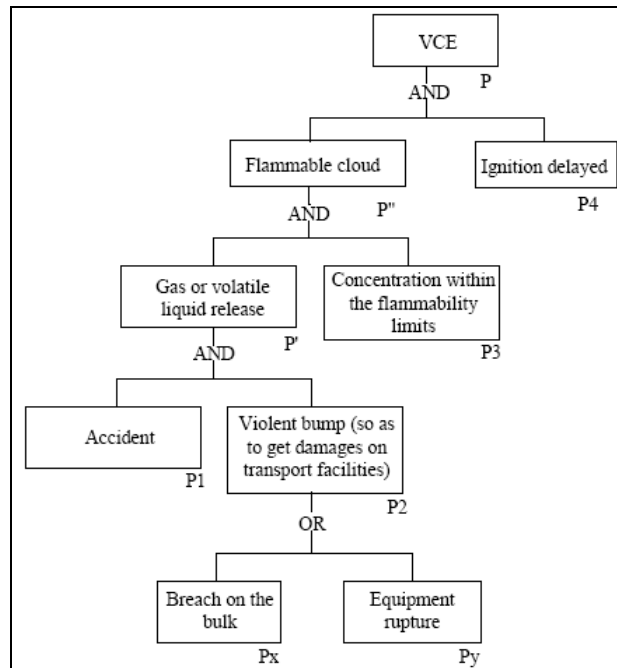


Figura 9.4 Benzina, VCE, albero degli eventi

La probabilità di accadimento dell'evento VCE è quindi pari a:

$$P = P'' \times P_4 \quad (24)$$

$$P'' = P' \times P_3 \quad (25)$$

$$P' = P_1 \times P_2 \quad (26)$$

$$P_2 = P_x + P_y \quad (27)$$

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 = P_1 \times (P_x + P_y) \times P_3 \times P_4 \quad (28)$$

Ammoniaca trasportata in autobotte

Lo scenario incidentale che si genera a seguito di un evento di sversamento di ammoniaca è la nube tossica (figura 9.5).

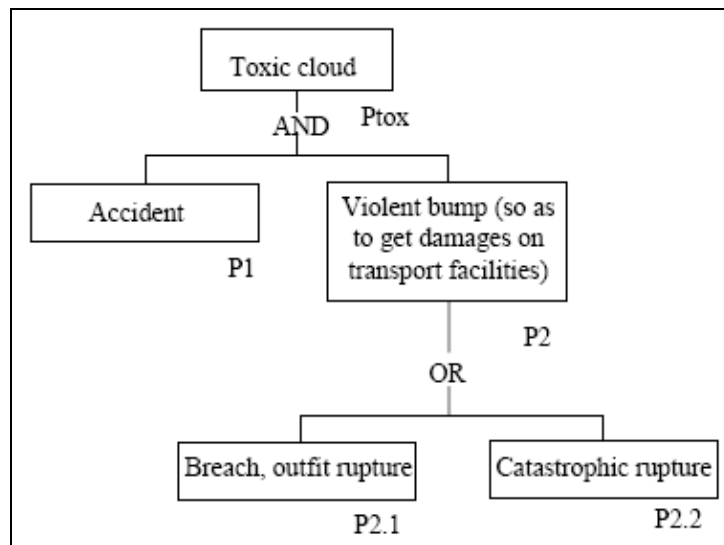


Figura 9.5 Ammoniaca, nube tossica, albero degli eventi

La probabilità di accadimento dell'evento nube tossica è quindi pari a:

$$P = P_1 \times P_2 = P_1 \times (P_{2.1} + P_{2.2}) \quad (29)$$

Acroleina trasportata in autobotte

Lo scenario incidentale che si genera a seguito di un evento di sversamento di acroleina è la nube tossica (figura 9.6).

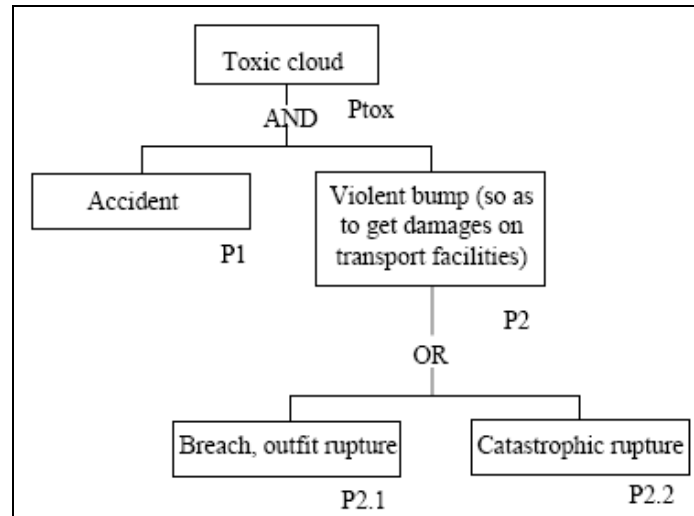


Figura 9.6 Acroleina, nube tossica, albero degli eventi

La probabilità di accadimento dell'evento nube tossica è quindi pari a:

$$P = P_1 \times P_2 = P_1 \times (P_{2.1} + P_{2.2}) \quad (30)$$

GPL trasportato in autobotte

Gli scenari incidentali che si generano a seguito di un evento di sversamento di GPL sono:

- esplosione fisica seguita da un incendio (BLEVE) (figura 9.7);
- esplosione di una nube tossica miscelata con aria (VCE) (figura 9.8);
- incendio di un getto fluido (torch fire), il quale negli eventi all'interno di un tunnel presenta le stesse specifiche di un BLEVE.

La probabilità di accadimento dell'evento BLEVE è quindi pari a:

$$P_{bleve} = P_{12} \times [(P_1 \times P_2) + (P_3 + P_4 \times P_5) + (P_6 \times P_7)] \quad (31)$$

La probabilità di accadimento dell'evento VCE è quindi pari a:

$$P = P'' \times P_4 \quad (32)$$

$$P'' = P' \times P_3 \quad (33)$$

$$P' = P_1 \times P_2 \quad (34)$$

$$P_2 = P_x + P_y \quad (35)$$

$$P = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 = P_1 \times (P_x + P_y) \times P_3 \times P_4 \quad (36)$$

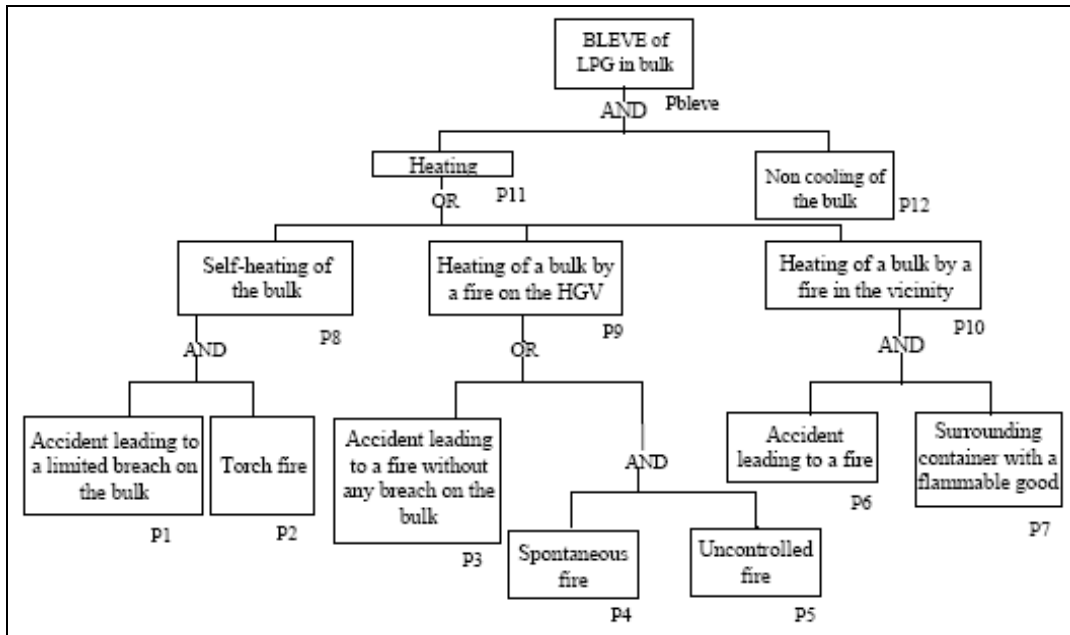


Figura 9.7 GPL, BLEVE, albero degli eventi

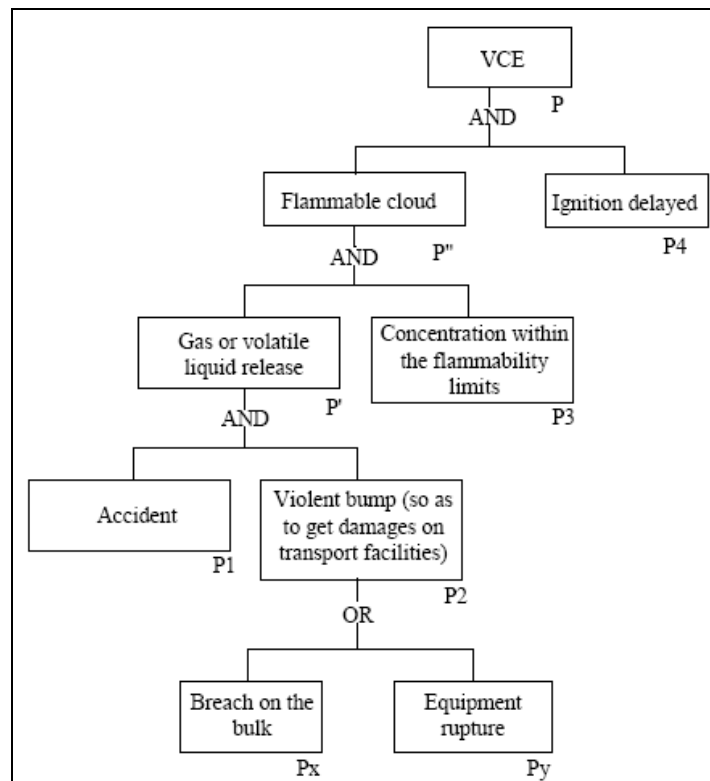


Figura 9.8 GPL, VCE, albero degli eventi

Anidride carbonica trasportata in autobotte

Lo scenario incidentale che si genera a seguito di un evento di sversamento di anidride carbonica è un'esplosione fisica seguita da un incendio (BLEVE) (figura 9.7), la cui probabilità di accadimento si valuta attraverso la (31).

9.1.6 Modellazione del processo di esodo

9.1.6.1 Stima della popolazione on road

La modellazione del processo di esodo si basa sulla stima della popolazione "on road" dell'area adiacente alle gallerie in esame che può essere esposta ad un possibile scenario incidentale.

Si assume, in particolare, che quest'ultima si muova utilizzando mezzi leggeri e veicoli pesanti per il trasporto merci.

La relativa densità ($D_{POP,i}$) può essere stimata mediante la seguente formula (tabella 9.15):

$$D_{POP,i} = \frac{T_i \cdot pop_i}{v_i} \quad (37)$$

dove:

$D_{POP,i}$ è la densità lineare di popolazione per la tipologia di veicolo i [persone/km];

T_i è il traffico dei veicoli di tipo i [veicoli/h];

pop_i è il numero medio di persone presenti all'interno di un veicolo di tipo i [persone/veicolo];

v_i è la velocità media dei veicoli di tipo i [km/h].

Tabella 9.15 Valutazione della popolazione on road

Tipo di veicolo	%	pop _i [persone/veicolo]	v _i [km/h]	D _{POP,i} [persone/km]
Automobili	97	2	90	5.15
Veicoli pesanti per trasporto merci	3	1.1	60	0.13

La probabilità di presenza della popolazione on road è pari al 100%, poiché gli automobilisti sono sempre presenti.

9.1.6.2 Caratterizzazione degli scenari di esodo

Secondo quanto indicato nella Circolare ANAS N. 17/2006 la modellazione degli scenari di esodo richiede la formulazione e la soluzione di:

- un modello di formazione delle code all'interno della galleria;

- un modello di esodo degli utenti dalla struttura.

Per formulare un modello di formazione delle code ci si riferisce ai parametri correntemente utilizzati nella caratterizzazione della circolazione in galleria in termini di regimi di traffico (figura 9.9), assumendo quest'ultimo stazionario ed omogeneo.

Si assume, in particolare, l'interdistanza tra i veicoli come parametro caratterizzante e si suppone che il traffico presente a valle dell'incidente possa ragionevolmente raggiungere l'uscita della galleria e mettersi in salvo. Per i veicoli che precedono, invece, si ipotizza la formazione di una coda.

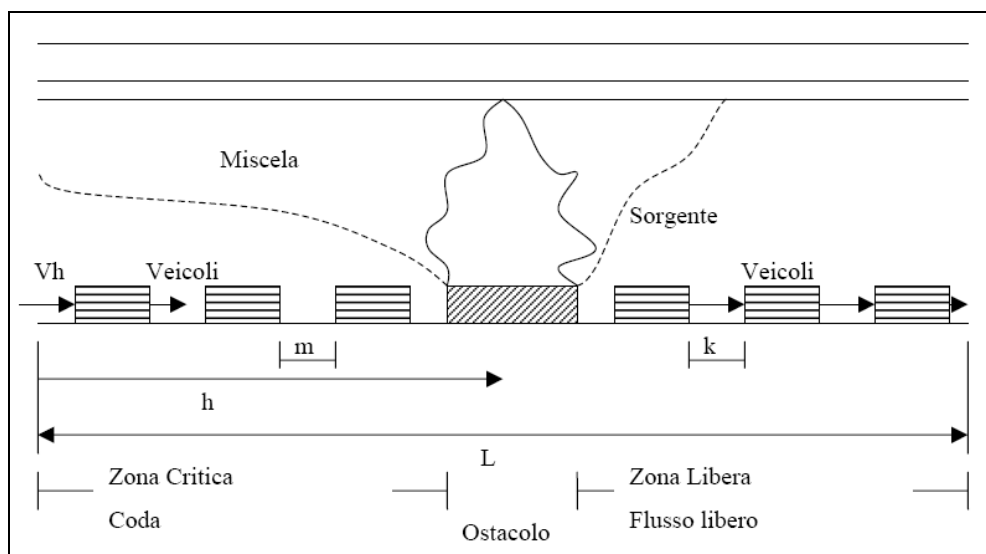


Figura 9.9 Caratterizzazione del traffico in galleria

Si ottiene quindi:

$$I = \frac{V}{D} \quad (38)$$

$$N = \frac{L}{I} \quad (39)$$

$$N = \frac{L \cdot D}{V} \quad (40)$$

dove:

I è l'interdistanza tra i veicoli in movimento [m];

V è la velocità dei veicoli [m/s];

N è il numero dei veicoli presenti nella galleria su una carreggiata;

L è la lunghezza della galleria [m].

Le condizioni di flusso scorrevole potrebbero essere caratterizzate come le condizioni per le quali si verifica la relazione d'ordine:

$$I \geq I^* \quad (41)$$

dove I^* è l'interdistanza di sicurezza tra i veicoli, dipendente dalla loro lunghezza media e dalla loro velocità.

Le condizioni di flusso congestionato, di conseguenza, potrebbero essere caratterizzate come le condizioni per le quali si verifica la relazione d'ordine:

$$I < I^* \quad (42)$$

Supponiamo si verifichi un evento di incendio e siano soddisfatte le condizioni:

- traffico bloccato sopravvento al focolaio all'istante iniziale;
- focolaio localizzato ad una distanza d dal portale d'accesso.

Le condizioni introdotte determinano la formazione di un tappo, la cui cinematica può essere descritta introducendo una velocità di risalita caratteristica (u) stimabile in funzione dell'interdistanza dei veicoli all'istante iniziale (I_0) attraverso la relazione:

$$u = \frac{D}{\frac{1}{I_0} - \frac{D}{V}} \quad (43)$$

La velocità di risalita del tappo influenza la probabilità di una carambola di veicoli al termine della coda.

Il tempo di risalita del tappo, da confrontarsi con il tempo necessario alla chiusura della galleria, è dato da:

$$t = \frac{D}{u} \quad (44)$$

Per quanto riguarda il modello di esodo degli utenti dalla struttura deve tener conto della dinamica comportamentale degli utenti che in condizioni di emergenza si dirigono verso le uscite di soccorso.

Un modello semplificato può essere formulato assumendo come parametri fondamentali i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti (tabella 9.16) e la loro velocità di esodo (tabella 9.17).

Tabella 9.16 Tempi medi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti

Tipo di veicolo	Tempo [secondi]
Veicoli leggeri	300
Veicoli pesanti	90

Tabella 9.17 Velocità di esodo degli utenti

Condizioni di visibilità	Velocità di allontanamento [m/s]
Buona	1
Ridotta	0.5
Nulla	0.3

La stima del tempo di esodo, in particolare, può essere valutata mediante l'analisi del tempo di reazione, ovvero il tempo che intercorre dal momento in cui la coda o l'allarme risultano evidenti all'utente e lo stesso inizia a muoversi verso una zona sicura attraverso le uscite di emergenza.

Il tempo di reazione (anche chiamato tempo di pre-movimento) è funzione di diversi parametri:

- posizione dell'utente all'interno del veicolo (passeggero, guidatore, ecc.);
- velocità di propagazione dell'eventuale incendio;
- vicinanza della popolazione all'evento iniziatore;
- architettura e gestione dei sistemi di rilevazione e di allarme presenti in galleria.

Il tempo di reazione può essere valutato per mezzo del modello di risposta sviluppato da Sime, il quale considera:

- le caratteristiche dei sistemi di allarme e di gestione delle emergenze eventualmente presenti in galleria;
- le caratteristiche della popolazione "on-road" in termini di prontezza, eventuali disabilità, familiarità e conoscenza della segnaletica di emergenza;
- visibilità del pericolo in termini di distanza dall'incidente, densità di traffico, pendenza longitudinale del tunnel, presenza di curve, tipologia di evento considerato;
- tempo di reazione in termini di velocità media del veicolo e tipo di veicolo.

9.1.7 Modellazione delle conseguenze

Per valutare le conseguenze si utilizza il metodo delle equazioni di Probit che consiste nel definire una variabile, detta variabile di Probit, indicata con $Y(x, y, z)$, dove x, y e z sono le coordinate spaziali di un generico punto, funzione della dose (definita come combinazione di effetto fisico e di tempo di esposizione) secondo l'equazione generale:

$$Y(x, y, z) = A + B \cdot \ln[dose(x, y, z)] \quad (45)$$

dove A e B sono coefficienti che dipendono dal tipo di effetto e dal danno di riferimento.

La probabilità di danno o vulnerabilità (PrM), assumendo come danno di riferimento la morte di un individuo, è funzione della variabile di Probit secondo la relazione:

$$PrM[Y(x, y, z)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Y(x, y, z)-5} e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad (46)$$

L'equazione (47) può essere specializzata in funzione dello scenario di pericolo considerato, introducendo il tempo di esposizione (t), in minuti, e la concentrazione (C) in ppmv.

Nube tossica:

Ammoniaca: $Pr = 1.85 \cdot \ln(C^2 \cdot t) - 35.95$ (47)

Acroleina: $Pr = 1 \cdot \ln(C^2 \cdot t) - 3.18$ (48)

VCE:

$Pr = -77.1 + 6.91 \cdot \ln(C)$ (49)

Pool fire:

per gli effetti dovuti al monossido di carbonio: $Pr = -37.98 + 3.7 \cdot \ln(C \cdot t)$ (50)

per gli effetti dovuti al calore, in funzione dell'intensità di calore (q): $Pr = 2.56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t) - 14.9$ (51)

BLEVE:

per gli effetti dovuti al calore, in funzione dell'intensità di calore (q): $Pr = 2.56 \cdot \ln(q^{4/3} \cdot t) - 14.9$ (52)

9.1.8 Valutazione del rischio sociale

9.1.8.1 Premessa

La valutazione del rischio sociale prevede la definizione di opportuni criteri di accettazione del rischio, i quali possono essere classificati in due gruppi:

- criteri qualitativi, deterministici, basati sull'analisi delle conseguenze per un singolo scenario incidentale (evento dimensionante);
- criteri quantitativi, basati su modelli di rischio probabilistici.

La letteratura tecnica individua tre principi generali dai quali derivare i criteri di accettabilità del rischio:

- il principio ALARP (As Low As Reasonably Practicable), basato sul concetto di rischio sociale, il quale recita "il rischio sociale deve essere valutato per ogni attività antropica che possa provocare sinistri risultanti in un numero significativo di fatalità";

- il principio MEM (Minimum Endogenous Mortality), basato sul concetto di rischio individuale, il quale recita “il rischio connesso ad un nuovo sistema di trasporto non dovrebbe aumentare in modo significativo il tasso di mortalità endogena di un individuo”;
- il principio GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon), non direttamente connesso ai concetti di rischio sociale e rischio individuale, il quale recita “un nuovo sistema di trasporto deve assicurare un livello di rischio globalmente almeno pari al livello di rischio di un sistema esistente ad esso affatto analogo”.

Il principio ALARP è quello utilizzato dal D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006 come principio guida per assumere decisioni consapevoli ed informate sul rischio quando sia necessario adottare misure preventive e mitigative di carattere compensativo in quanto la galleria considerata non soddisfa i requisiti minimi di sicurezza ad essa propri.

Il principio ALARP richiede sia identificata la soluzione progettuale che consente la maggiore riduzione del livello di rischio di una galleria e che risulti compatibile con i vincoli tecnici ed economici propri del progetto della struttura.

La soluzione progettuale ottima risulta dall'applicazione del criterio costi-sicurezza.

In questo modo la valutazione del rischio sociale può essere condotta attraverso:

- curve cumulate complementari riportate sul piano frequenza - conseguenze (F – N), le quali riportano in ordinata la frequenza cumulata (F) con la quale, a seguito degli incidenti ipotizzabili a causa di un'attività, si ha nell'area territoriale considerata un numero di morti maggiore o uguale di N, riportato in ascissa;
- valore atteso del danno (E): è indicato dal D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006 come indicatore di rischio globale da utilizzare per la valutazione del livello di sicurezza e si determina come area sottesa dalla curva F-N in funzione della frequenza (fi) con cui si sono verificati gli eventi con un numero di morti pari ad Ni, secondo la formula (figura 9.10):

$$E = \sum_{N_{\min}}^{N_{\max}} f_i \cdot N_i \quad (53)$$

Le curve cumulate complementari sono curve continue monotone decrescenti e rappresentano, su scala logaritmica, la funzione:

$$1 - F_N(x) = P(N > x) = \int_x^{\infty} f_N(x) dx \quad (54)$$

dove $F_N(x)$ è la funzione di distribuzione di probabilità del numero di fatalità per anno, $f_N(x)$ è la funzione densità di probabilità del numero di fatalità per anno.

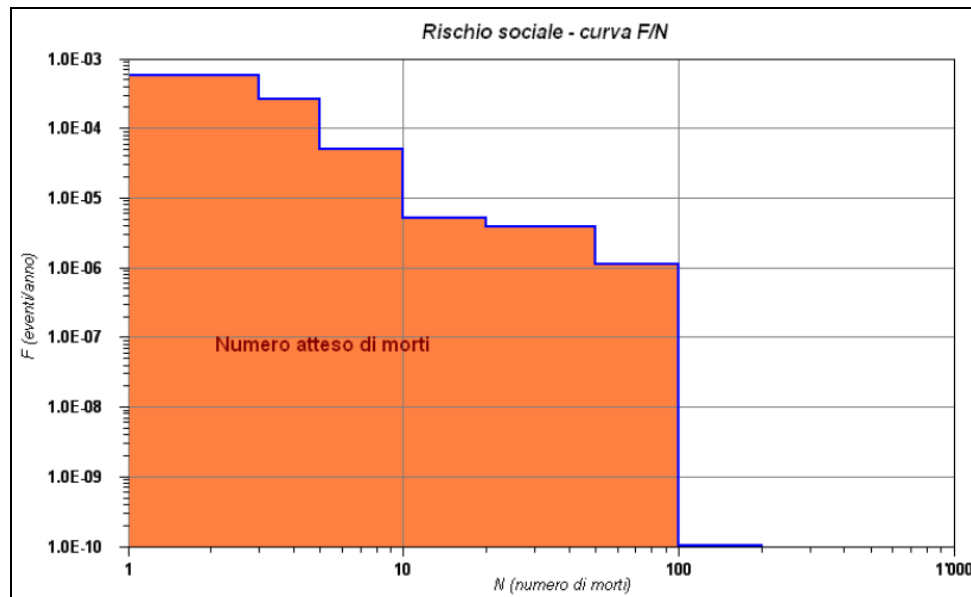


Figura 9.10 Esempio di curva F-N

Secondo il D.L. n. 264 del 5 ottobre 2006 i criteri di accettazione del rischio sono fissati in accordo al principio ALARP (As Low As Reasonably Practicable) e sono tradotti in un Livello di rischio tollerabile ed in un Livello di rischio accettabile, rappresentati sul piano F-N da rette di intercetta fissata e pendenza negativa unitaria (figura 9.11). La porzione del piano frequenza-conseguenze compresa entro la retta rappresentativa del livello di rischio accettabile e quella del livello di rischio tollerabile, detta zona di accettabilità condizionata del rischio, coincide con il dominio di applicazione del criterio costi-sicurezza.

La retta rappresentativa del Livello di rischio accettabile è l'involuppo tangente retto delle curve cumulate complementari proprie delle gallerie virtuali coniugate ai gruppi di requisiti minimi di sicurezza e valutate assumendo che i sistemi di sicurezza operino con prestazioni ideali.

La retta rappresentativa del Livello di rischio tollerabile, seguendo una prassi consolidata nell'applicazione della metodologia dell'analisi di rischio, è tracciata traslando in modo rigido tre decadi verso l'alto la retta rappresentativa del livello di rischio accettabile.

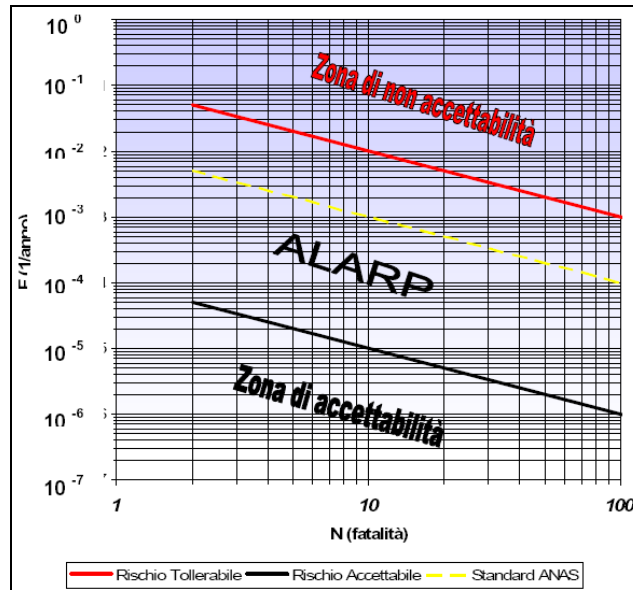


Figura 9.11 Criterio ALARP

9.1.8.2 Risultati ottenuti

Di seguito si riporta la curva cumulata complementare (figura 9.12) ed il valore atteso del danno per la galleria San Lorenzo.

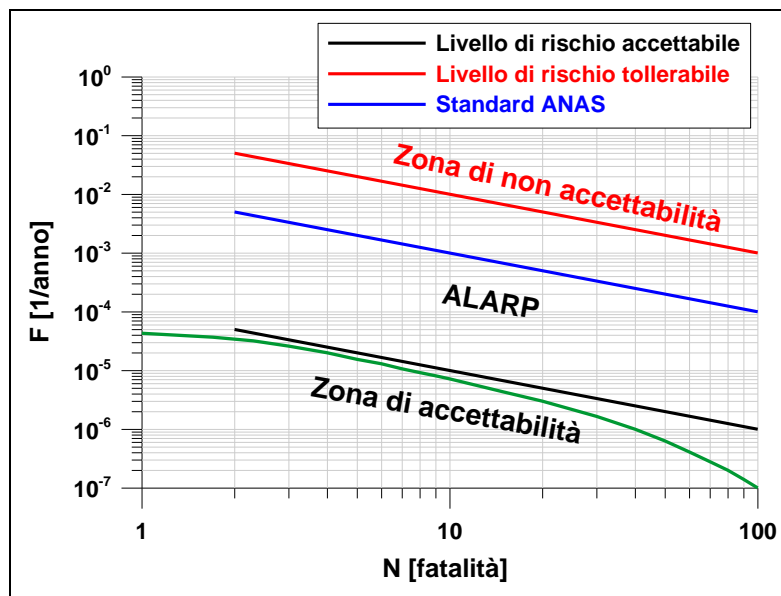


Figura 9.12 Curva F-N cumulata complementare complessiva

Il valore atteso del danno è pari a 0,00043 fatalità/anno. I risultati ottenuti evidenziano che la galleria San Lorenzo è caratterizzata da una curva F-N al di sotto del livello di rischio accettabile ed è conforme allo standard ANAS.

9.2. Rischi legati al trasporto ordinario

9.2.1 Descrizione del software utilizzato

Il software ARTU calcola il rischio sociale legato all'evento di incendio in galleria (non direttamente collegato al trasporto di merci pericolose), e lo esprime mediante una curva FN, che correla il danno provocato dall'incendio, in termini di perdita di vite umane, con la probabilità che esso si manifesti. La curva FN può essere sovrapposta al diagramma ALARP che ciascun Stato Membro della UE ha definito per i tunnel all'interno del proprio territorio.

ARTU utilizza un campionamento casuale di una serie di parametri da distribuzioni statistiche predefinite, al fine di comporre un vasto numero di scenari di incendio e di esodo.

Il software è basato su un approccio probabilistico Montecarlo, cioè predilige gli scenari più probabili a scapito di quelli meno probabili. Ciascuno scenario è poi analizzato in maniera deterministica al fine di quantificare l'interazione tra gli utenti e i prodotti della combustione, tenendo conto delle caratteristiche geometriche e di traffico dello specifico tunnel e degli impianti di sicurezza (ventilazione, vie di fuga) in esso presenti. Infine, i risultati dei diversi scenari svolti sono accorpati nella curva FN.

La descrizione deterministica della distribuzione dei prodotti della combustione nel tunnel è fatta mediante una analisi fluidodinamica monodimensionale (1D), tipicamente impiegata nella progettazione dei sistemi di ventilazione in gallerie e metropolitane (sistemi unifilari a rete). L'incendio è descritto mediante un set di curve HRR (Heat Release Rate) che rappresentano ciascuna un diverso tipo di veicolo e quindi una diversa magnitudo dell'evento, a partire da 8MW di picco (incendio di un veicolo leggero) fino a 100MW di picco (incendio di un veicolo pesante che trasporta materiale infiammabile). Le curve sono quelle indicate dal CETU (2003). ARTU prende in esame una serie di scenari caratterizzati da una diversa posizione dell'incendio lungo la galleria e una diversa curva HRR.

La descrizione del fenomeno di esodo è fatta a partire da un modello di formazione di coda che tiene conto delle condizioni e della composizione del traffico. La velocità con cui ciascun utente si dirige verso l'esterno del tunnel o un luogo sicuro (bypass) è calcolata tenendo conto del rallentamento dovuto alla presenza di altre persone (SFPE 2002) e alla riduzione della visibilità provocata dai fumi (Fridolf 2015). ARTU svolge più scenari di esodo, assegnando diversi valori di velocità desiderata (cioè al netto degli impedimenti dovuti al fumo e agli altri utenti) e di tempo di pre-movimento agli utenti, in modo da ottenere una stima più precisa del tempo di esodo e dell'interazione con i fumi. La stima del danno è fatta valutando, per ciascun utente, il valore di FED (Fractional Effective Dose) ovvero la dose accumulata nel tempo di sostanze tossiche e calore. Le sostanze chimiche tenute in conto dal software sono CO, CO₂ e O₂. La dose di calore è calcolata prendendo in considerazione la temperatura dei gas. Le formule utilizzate per il calcolo del parametro FED sono quelle riportate nella NFPA502 (2011).

Il software ARTU fornisce, oltre alla stima del rischio espressa mediante la curva FN, anche delle indicazioni su raggiungimento della velocità critica a monte incendio, una descrizione quantitativa completa del parametro FED sull'intera popolazione di utenti coinvolti dall'incendio, evidenza di eventuali punti critici all'interno del tunnel che richiedono ulteriori analisi (analisi CFD-3D di incendio).

9.2.2 Dati di input e ipotesi di lavoro

Di seguito sono riportati i dati di input utilizzati per l'analisi.

9.2.2.1 Modello fluidodinamico

I dati di input sono le caratteristiche geometriche della galleria (sezione, pendenze) e la posizione e le caratteristiche degli impianti di ventilazione.

Si utilizza un combustibile equivalente per stimare la concentrazione dei fumi ed in particolare il potere calorifico, la cenere (soot) che riduce la visibilità e la resa (yield) in CO, CO₂ e O₂ (Tabella 9.18).

La differenza barometrica ai portali non è stata considerata date le caratteristiche orografiche (la differenza di altezza tra i portali è circa 15 m).

Tabella 9.18 Dati di input modello fluidodinamico

Grandezza	Valore
soot yield [kg/kg]	0.104
O ₂ yield [kg/kg]	1.43
CO ₂ yield [kg/kg]	1.7
CO yield [kg/kg]	0.025
potere calorifico [MJ/kg]	18.7
efficienza di combustione xc	0.7
coefficiente di riflessione	3
specific absorption area K [m ² /kg]	8700
tempo di rilevazione [s]	180
temperatura ambiente [°C]	20
coefficiente di attrito globale del tunnel	0.025
sezione della galleria [m ²]	76.6
pendenza media da porta ovest a portale est	1.05%
lunghezza della galleria [m]	1412

Nelle simulazioni si riproduce la logica di ventilazione come prevista a progetto, cioè un sistema di ventilazione costituito da 9 coppie di jet-fans posizionate a partire da 100 m dai portali (4 in prossimità del portale ovest e 5 in prossimità del portale est), con una interdistanza reciproca di 100 m, e aventi seguenti caratteristiche:

- diametro interno 1000 mm;
- spinta 994 N;
- portata d'aria elaborata 24,9 m³/s;

La logica di ventilazione in emergenza prevede due fasi:

- Fase di evacuazione: alla rilevazione dell'incendio il sistema di ventilazione, nel caso in cui stia operando in modalità ordinaria, viene fermato per permettere la stratificazione dei fumi verso l'alto e favorire l'evacuazione degli utenti;
- Fase di lavaggio: alla fine della fase di auto-evacuazione degli utenti, il sistema di ventilazione longitudinale è attivato in modalità emergenza in modo da creare un flusso d'aria che spinga i fumi verso il portale più vicino. Il sistema di ventilazione è dimensionato per raggiungere la velocità critica a monte dell'incendio (schemi di ventilazione in figura 9.13 e figura 9.14).

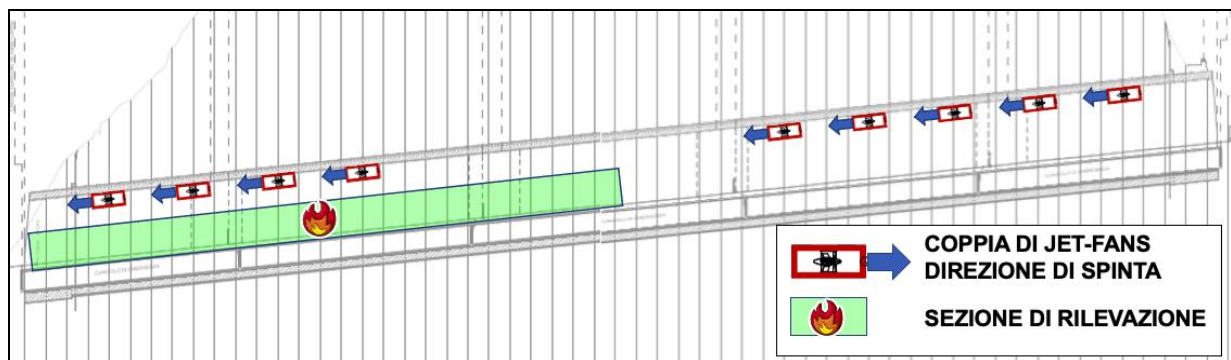


Figura 9.13 Schema di ventilazione. Regime di emergenza. Incendio vicino al portale ovest

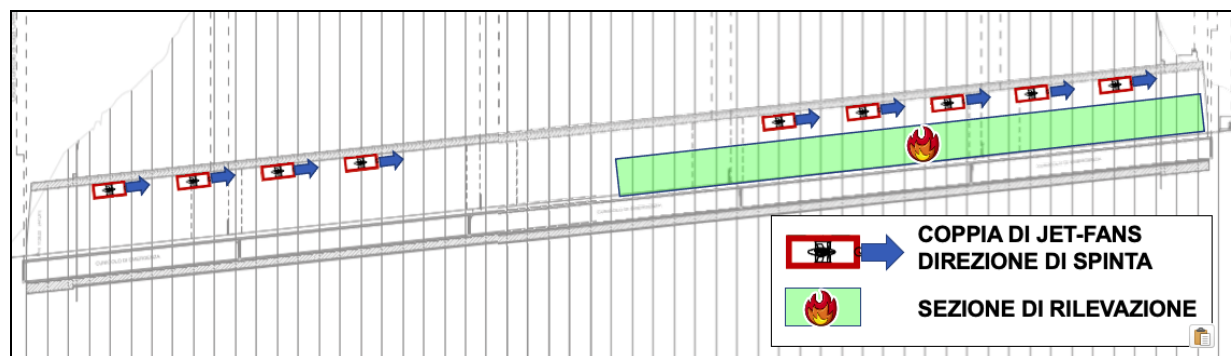


Figura 9.14 Schema di ventilazione. Regime di emergenza. Incendio vicino al portale est

9.2.2.2 Modello di esodo

I dati di input sono le condizioni di traffico e le caratteristiche degli utenti.

Agli utenti è assegnato un valore di velocità in condizioni indisturbate. Nel corso della simulazione il valore è ricalcolato in funzione dell'interazione degli utenti con i prodotti della combustione.

Il tempo di pre-movimento è misurato a partire dall'innesco ed è la somma di due contributi: il tempo di allarme e il tempo di reazione (tabella 9.19).

Tabella 9.19 Dati di input modello di esodo

Grandezza	Valore
TMGA - Traffico Medio Giornaliero Annuo [veic/gg]	7964
frequenza minima di ingresso veicoli [veic/h-corsia]	115
frequenza massima di ingresso veicoli [veic/h-corsia]	550
limite di velocità [km/h]	100
velocità minima utenti [m/s]	0.4
velocità massima utenti [m/s]	1
tempo di pre-movimento [s]	300
larghezza del marciapiede percorribile dagli utenti [numero di moduli]	2
interdistanza max bypass [m]	300
tempo di allarme - chiusura galleria [s]	180
valore limite FED	0.3

9.2.2.3 Descrizione probabilistica e stima del rischio

Le frequenze di accadimento dei diversi scenari di incendio sono assunte pari a quelle delle linee guida ANAS per una tipologia di tracciato Stradale (tabella 9.20).

Tabella 9.20 Stima delle frequenze di accadimento

Tipo di veicolo	Frequenza [incendi / 100milioni veh - km]
Veicoli leggeri	0.2
Veicoli pesanti	0.15

9.2.3 Casi analizzati

La strategia di ventilazione prevede l'attivazione dei jet-fans una volta conclusa l'operazione di auto-evacuazione degli utenti. Per valutare la variabilità di questo tempo sono stati sviluppati due scenari con due diversi tempi di attivazione della ventilazione:

- 300 s: corrisponde ad un tempo relativamente breve entro il quale si stima che la fase di auto-evacuazione non si concluda (ipotesi cautelativa per valutare la sicurezza degli utenti);
- 600 s: corrisponde ad un tempo medio in cui si conclude la fase di auto-evacuazione dal tunnel.

9.2.4 Risultati

Il risultato dell'analisi di rischio è la curva FN che misura il rischio sociale. In Figura 9.15 e Figura 9.16 sono riportate le curve FN per i due scenari analizzati. Le linee rossa e verde individuano la zona di accettabilità ALARP, mentre la linea gialla individua lo standard ANAS (figura 9.11).

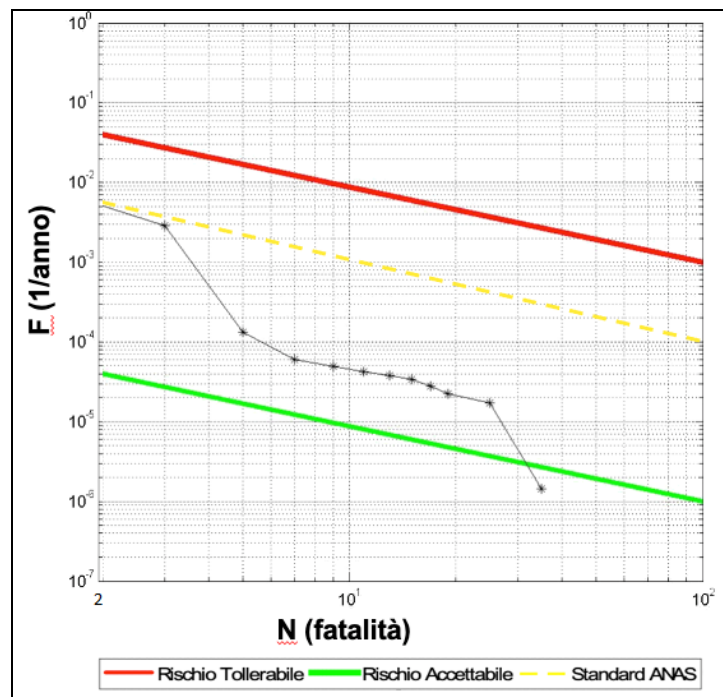


Figura 9.15 Curva FN per la galleria San Lorenzo – Scenario 1 – Attivazione a 300 s

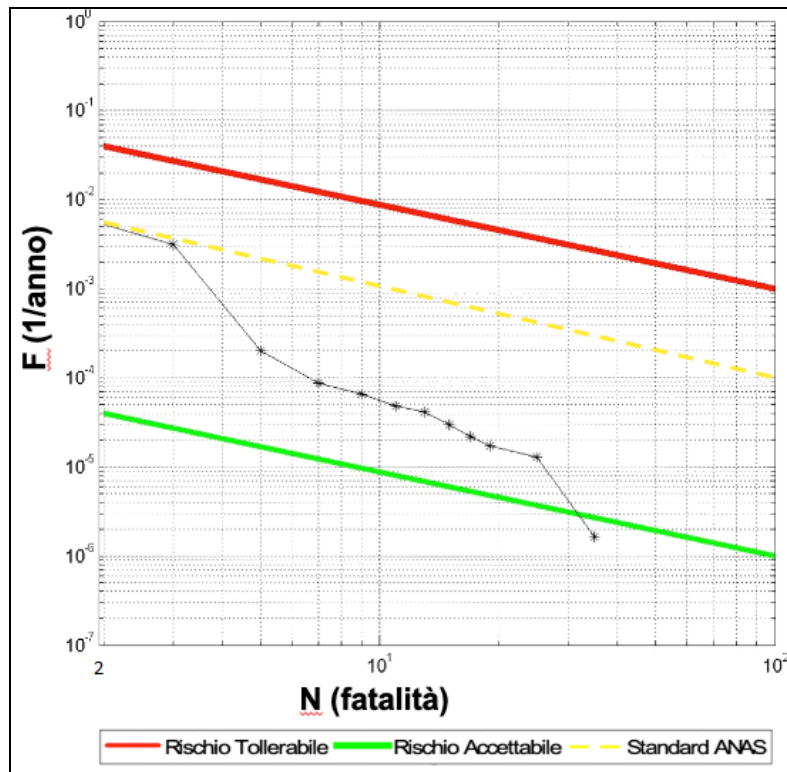


Figura 9.16 Curva FN per la galleria San Lorenzo – Scenario 1 – Attivazione a 600 s

In tabella 9.21 il confronto dei risultati per i due scenari mostra come questi siano confrontabili.

Tabella 9.21 Risultati analisi di rischio soluzione proposta

Grandezza	Scenario 1	Scenario 2
VAD (Valore Atteso del Danno) [fatalità/anno]	0.025	0.026
Tempo massimo di esodo [s]	1710	1665

I risultati ottenuti evidenziano che la galleria San Lorenzo è caratterizzata da una curva F-N all'interno della zona ALARP e conforme allo standard ANAS.

10. CONCLUSIONI

Secondo quanto indicato nel D.L. n. 264 del 05.10.2006 e nella circolare ANAS n. 17/2006 nel presente documento è stata condotta l'analisi di sicurezza della galleria San Lorenzo.

Al fine di recepire quanto indicato nel parere n. 56/2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici relativamente all'analisi sicurezza della galleria naturale "San Lorenzo", sono stati considerati gli scenari più significativi connessi sia al trasporto di merci pericolose, sia al traffico ordinario.

Per il primo caso è stato utilizzato il software QRAM, sviluppato da INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) in collaborazione con WS Atkins (U.K.) ed IRR (Institute of Risk Research) dell'Università di Waterloo (Canada).

Per valutare i rischi legati al traffico ordinario, invece, è stato utilizzato il software ARTU, basato su una simulazione fluidodinamica e validato dal Dipartimento di Fire Safety Engineering dell'Università di Lund in Svezia.

In entrambi i casi la valutazione del rischio sociale è stata condotta attraverso la curva cumulata complementare complessiva ed il valore atteso del danno.

I risultati ottenuti evidenziano che la curva F-N si attesta all'interno della zona ALARP ed è conforme allo standard ANAS.