

# AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

## 1° LOTTO

### Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

## PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

### COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA  
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA  
PER LA PROGETTAZIONE  
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:  
**CONSORZIO RAETIA**



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE  
TRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
Technital S.p.A. - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



ORDINE INGEGNERI ROMA  
N° 28894  
Dott. Ing. Alessandro Focaracci



ELABORATO: SICUREZZA IN GALLERIA Ex D.Lgs 264/06  
PROGETTO DELLA SICUREZZA GALLERIA S. AGATA 2

Progressivo Rev.  
**19 01 01 001 02**

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA:
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	PROMETEOENGINEERING.IT - M.SALCUNI	M.SALCUNI	A. FOCARACCI	-
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER ADEGUAMENTO CARTIGLIO	PROMETEOENGINEERING.IT - M.SALCUNI	M.SALCUNI	A. FOCARACCI	NOME FILE: J16L1_19_01_01_001_0101_OPD_02.dwg
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	PROMETEOENGINEERING.IT - M.SALCUNI	M.SALCUNI	A. FOCARACCI	CM.      Progr.      FG.      Liv.      Rev. J16L1_19_01_01_001_0101_OPD_02

**AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD**  
**1° LOTTO**  
**PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO**

*Committente:*



*Progettazione:*

CONSORZIO RAETIA



**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTO DELLA SICUREZZA**  
**GALLERIA S.AGATA 2**

## I N D I C E

<b>A.</b>	<b>Premessa</b>	<b>4</b>
<b>A.1</b>	<b>Riferimenti normativi e letteratura di riferimento</b>	<b>4</b>
<b>A.2</b>	<b>Abbreviazioni</b>	<b>6</b>
<b>A.3</b>	<b>Glossario</b>	<b>8</b>
<b>B.</b>	<b>Descrizione generale del sistema galleria</b>	<b>16</b>
<b>B.1</b>	<b>Descrizione delle caratteristiche strutturali</b>	<b>16</b>
<i>B.1.1</i>	<i>Vie di fuga e uscite di emergenza</i>	<i>19</i>
<b>B.2</b>	<b>Descrizione delle caratteristiche di traffico</b>	<b>20</b>
<b>B.3</b>	<b>Descrizione degli impianti tecnologici</b>	<b>20</b>
<i>B.3.1</i>	<i>Impianto di illuminazione</i>	<i>20</i>
<i>B.3.2</i>	<i>Impianto di ventilazione in galleria</i>	<i>21</i>
<i>B.3.3</i>	<i>Impianto idrico antincendio</i>	<i>21</i>
<i>B.3.3.1</i>	<i>Impianti di chiamata di soccorso (SOS)</i>	<i>22</i>
<i>B.3.3.2</i>	<i>Impianti di by-pass</i>	<i>22</i>
<i>B.3.4</i>	<i>Segnaletica verticale di emergenza</i>	<i>23</i>
<i>B.3.5</i>	<i>Impianto radio</i>	<i>23</i>
<i>B.3.6</i>	<i>Impianto TVCC</i>	<i>23</i>
<i>B.3.7</i>	<i>Impianto rilevazione incendi</i>	<i>24</i>
<i>B.3.8</i>	<i>Impianti di diffusione sonora</i>	<i>24</i>
<i>B.3.9</i>	<i>Sistema di supervisione e controllo</i>	<i>25</i>
<i>B.3.10</i>	<i>Sbarre accessi galleria</i>	<i>25</i>
<i>B.3.11</i>	<i>Impianto di drenaggio</i>	<i>25</i>
<b>C.</b>	<b>Analisi di vulnerabilità</b>	<b>26</b>
<b>C.1</b>	<b>Fattori di pericolo</b>	<b>26</b>
<i>C.1.1</i>	<i>Scala del Pericolo</i>	<i>26</i>
<b>C.2</b>	<b>Verifica di conformità al D.Lgs 264/06</b>	<b>31</b>
<b>D.</b>	<b>Analisi preliminare dei pericoli</b>	<b>35</b>
<b>D.1</b>	<b>Guasti e malfunzionamenti</b>	<b>36</b>
<i>D.1.1</i>	<i>Infrastruttura</i>	<i>36</i>
<i>D.1.2</i>	<i>Impianti</i>	<i>37</i>
<i>D.1.3</i>	<i>Errore umano</i>	<i>38</i>
<b>D.2</b>	<b>Inquinamento in galleria</b>	<b>39</b>
<b>D.3</b>	<b>Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata</b>	<b>39</b>
<i>D.3.1</i>	<i>Perdita di carico</i>	<i>39</i>

D.3.2	<i>Veicolo fermo / Avaria</i>	40
D.3.3	<i>Presenza di animali vaganti/morti</i>	40
<b>D.4</b>	<b>Turbativa alla circolazione</b>	<b>41</b>
D.4.1	<i>Traffico rallentato / coda</i>	41
D.4.2	<i>Traffico bloccato</i>	42
<b>D.5</b>	<b>Violazioni del codice</b>	<b>42</b>
<b>D.6</b>	<b>Ambiente</b>	<b>43</b>
<b>D.7</b>	<b>Incidente stradale</b>	<b>43</b>
<b>D.8</b>	<b>Incendio</b>	<b>44</b>
<b>D.9</b>	<b>Incidenti con merci pericolose</b>	<b>45</b>
<b>D.10</b>	<b>Esplosione</b>	<b>46</b>
<b>D.11</b>	<b>Azione terroristica / catastrofe naturale</b>	<b>46</b>
<b>E.</b>	<b>Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)</b>	<b>47</b>
E.1	<b>Diagramma di flusso IRAM</b>	<b>51</b>
E.2	<b>Eventi critici iniziatori</b>	<b>52</b>
E.2.1	<i>Incidentalità nelle gallerie</i>	52
E.2.2	<i>Caratterizzazione probabilistica</i>	54
E.2.3	<i>Incendio</i>	57
E.2.4	<i>Rilascio di sostanze pericolose</i>	62
E.2.5	<i>Caratterizzazione energetica</i>	66
E.3	<b>Albero degli eventi</b>	<b>69</b>
E.4	<b>Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza</b>	<b>70</b>
E.5	<b>Flusso del pericolo</b>	<b>73</b>
E.6	<b>Evacuazione degli utenti</b>	<b>76</b>
E.7	<b>Quantificazione del rischio</b>	<b>82</b>
E.7.1	<i>Criteri di accettazione del rischio</i>	82
<b>F.</b>	<b>Il rischio</b>	<b>84</b>
F.1	<b>Calcolo delle frequenze di accadimento</b>	<b>84</b>
F.2	<b>Albero degli eventi</b>	<b>85</b>
F.3	<b>Calcolo delle conseguenze</b>	<b>87</b>
F.4	<b>Calcolo del rischio</b>	<b>89</b>
<b>G.</b>	<b>Analisi del rischio</b>	<b>90</b>
G.1	<b>Curve Cumulate Complementari</b>	<b>91</b>
G.2	<b>Valore atteso del danno</b>	<b>91</b>
<b>H.</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>92</b>

## **A. Premessa**

La presente relazione concerne il progetto della sicurezza della galleria S.Agata 2 ubicata sull’Autostrada A31 TRENTO-ROVIGO. Il documento è redatto in conformità al D.Lgs n° 264 del 5/10/2006: “Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”.

### *A.1 Riferimenti normativi e letteratura di riferimento*

#### Riferimento Normativo

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

#### Documenti Collegati

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

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

Note:

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

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

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

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

#### Documenti Complementari

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PIARC Committee on Road Tunnels:

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

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

NFPA 502: *Standard for Road Tunnels, Bridges and other limited access highways*, 2014

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## A.2 Abbreviazioni

La successiva tabella contiene la lista delle abbreviazioni utili per la lettura del Progetto della Sicurezza. Alcuni termini possono non essere contenuti nel documento attuale e sono da intendersi quale riferimento per le versioni future.

Abbreviazione	Significato
<b>A</b>	
ADR	Normativa sul Trasporto Merci Pericolose
AID	Automatic Incident Detection
AIPCR	Associazione Internazionale Permanente dei Congressi della Strada (Associazione Mondiale della Strada)
AISCAT	Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
<b>B</b>	
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
BPC	By-pass Carrabile
BPP	By-pass Pedonale
<b>C</b>	
CE	Condizioni di Esercizio
CME	Condizioni Minime di Esercizio
COA	Centrale Operativa Autostradale della Polizia Stradale
COC	Centro Operativo di Controllo
<b>E</b>	
ETA	Event Tree Analysis
<b>I</b>	
IDC	Indicatori di Disponibilità della Corsia ( <i>Semafori freccia-croce</i> )
IRAM	Italian Risk Analysis Method
<b>M</b>	
MP	Merchi Pericolose
MT	Media Tensione
<b>N</b>	
NC	Non Conosciuto

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

<b>Abbreviazione</b>	<b>Significato</b>
ND	Non Determinato
<b>P</b>	
PHA	Preliminary Hazard Analysis
PGE	Piano di Gestione dell’Emergenza
PMV	Pannello a Messaggio Variabile
PMR	Persone a Mobilità Ridotta
PS	Polizia di Stato
<b>R</b>	
RAI	Rilevamento Automatico degli Incidenti
RI	Rilevamento Incendio
<b>S</b>	
SCADA	Sistema di Supervisione e Controllo
<b>T</b>	
TIR	mezzi pesanti
TGM	Traffico Giornaliero Medio (su base annua)
TMP	Trasporto di Merci Pericolose
<b>U</b>	
UPS	Gruppo di continuità elettrica
<b>V</b>	
VAD	Valore Atteso del Danno
VCE	Vapour Cloud Explosion
VL	Veicolo Leggero
VP	Veicolo Pesante
VS(S)	Veicolo di Soccorso (Stradale)
VTMP	Veicolo Trasportante Merci Pericolose
VVF	Vigili del Fuoco

### A.3 Glossario

#### A

**ALARP:** Acronimo dell'espressione inglese *AsLowAsReasonablyPracticable* che individua la porzione del diagramma frequenza di accadimento - numero di fatalità compreso tra il livello di accettabilità ed il livello di tollerabilità del rischio entro la quale si applica l'analisi costi - benefici come criterio guida nell'assumere decisioni di gestione del rischio in presenza di incertezza per una data struttura. I livelli di accettabilità e di tollerabilità delimitano la regione di accettabilità condizionata del rischio. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**ALBERO DEGLI EVENTI:** Sequenza di eventi, ognuno caratterizzabile in termini di probabilità di accadimento condizionate dall'azione delle misure di prevenzione e protezione adottate. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**ALLARME:** Situazione o stato anormale che segnala un degrado, una variazione importante della condizione al contorno rilevata o un difetto di un impianto.

**ALLERTA:** Chiamata o segnale che proviene in seguito alla minaccia di un pericolo e che invita a prendere delle misure per contrastarlo.

**ANALISI DI RISCHIO:** Metodologia finalizzata alla valutazione ed alla gestione del rischio associato ad un determinato sistema galleria rispetto alle conseguenze sulla popolazione esposta. La valutazione del rischio è un processo che comporta l'individuazione delle sorgenti 'i pericolo e la determinazione dell'esposizione della popolazione 'l pericolo ed include la stima delle incertezze connesse. La gestione del rischio è l'atto decisionale, susseguente 'lla valutazione del rischio, inerente la realizzazione di misure di sicurezza, in modo congruente alle caratteristiche del contesto sociale, economico, politico del paese nel quale è realizzata l'opera. *[Definizione D.Lgs 264/0']*

**ANOMALIA:** termine che indica una deviazione dallo stato normale atteso.

#### C

**CAUSA O EVENTO INIZIATORE:** Particolare situazione o condizione di pericolo che da origine a una sequenza incidentale.

**CONDIZIONI MINIME DI ESERCIZIO (CME):** Le CME corrispondono ad una soglia, oltre la quale, in situazione degradata, sono necessarie misure compensative al fine di garantire la sicurezza degli utenti. Esse indicano lo stato di disponibilità dei dispositivi di sicurezza oltre il quale la galleria deve essere chiusa alla circolazione ovvero devono essere adottate misure supplementari.

**CONSEGUENZA:** Risultanza dell'accadimento di un evento pericoloso sulla popolazione esposta, sulla struttura, sugli impianti, sull'economia, sull'ambiente. *[Definizione D.Lgs 26'/06]*

**CURVA DI DEFLUSSO:** Curva rappresentativa della variazione della velocità media della corrente veicolare in funzione della densità di flusso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## D

**DANNO:** Rappresenta l’impatto ultimo di un incidente e può essere valutato in termini di decessi, numero di feriti, costo economico per il ripristino delle infrastrutture, ecc.

**DENSITA' DI FLUSSO:** Rapporto tra i veicoli equivalenti transitati in una sezione stradale rispetto ai veicoli equivalenti smaltibili nella stessa unità di tempo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## E

**ELEMENTO AGGRAVANTE:** Particolare situazione o condizione di pericolo che si presenta a evento incidentale già accaduto e che contribuisce all’aggravamento del danno in termini di aumento dei danni materiali e aumento del numero di feriti e/o morti.

**EFFETTO DOMINO:** Concatenazione di un incidente (un primo incidente danneggia un altro sistema o impianto scatenando un nuovo incidente di gravità simile o superiore al primo).

**ESERCIZIO STRADALE:** Fruizione dell'infrastruttura nel rispetto delle regole che disciplinano il comportamento degli utenti e il deflusso veicolare, atte a soddisfare le esigenze della domanda di traffico nel rispetto di predeterminati standard di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**EVACUAZIONE:** Operazione che permette lo spostamento delle persone dallo spazio adibito alla circolazione, e soggetto ad una situazione di emergenza, verso l’esterno dell’infrastruttura.

**EVENTO:** Qualsiasi turbativa al funzionamento normale dell’infrastruttura, sia che questa è legata al funzionamento tecnico degli impianti o alla circolazione dei veicoli, sia che questa è imprevista (incidente) oppure no (lavori all’interno del tunnel).

**EVENTO ELEMENTARE:** Singolo accadimento di una successione di eventi consequenziali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**EVENTO INIZIATORE:** Accadimento all'origine di una catena di eventi successivi che determinano nel loro complesso uno scenario di pericolo caratterizzato da una specifica

distribuzione di conseguenze che identificano il danno ad esso associato. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**EVENTO RILEVANTE(o EVENTO CRITICO):** Evento caratterizzato da bassa probabilità di accadimento ed elevate conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## **F**

**FERITI:** persone a cui siano derivate, a seguito di incidente, lesioni. *[Definizione AISCAT]*

**FLASH FIRE:** fenomeno fisico derivante dall’innesco ritardato di una nube di vapori infiammabili.

**FLUSSO VEICOLARE:** Numero di veicoli transitati in una sezione stradale nell'unità di tempo conteggiati indipendentemente dalle loro caratteristiche tipologiche. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**FREQUENZA:** Numero di accadimenti previsti per un certo evento rispetto ad un periodo di riferimento, in genere l’anno.

**FUNZIONAMENTO DEGRADATO:** La situazione è caratterizzata dall’indisponibilità di personale e/o impianti e si rende necessaria la messa in opera di misure compensative che possono riguardare il personale, gli impianti e/o la gestione del traffico.

## **G**

**GALLERIA SPECIALE:** Galleria alla quale sono associate caratteristiche geometriche, funzionali e ambientali che possono indurre condizioni di pericolo per gli utenti tali da richiedere, suffragata da analisi di rischio, l'adozione di misure di sicurezza integrative. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**GALLERIA VIRTUALE:** Galleria che possiede tutte le misure di sicurezza corrispondenti ai requisiti minimi obbligatori previsti dal DECRETO LEGISLATIVO 5 Ottobre 2006 n.264 ALLEGATO 2 non affette da malfunzionamento. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**GESTORE DELL'INFRASTRUTTURA:** Soggetto incaricato della realizzazione, della manutenzione dell'infrastruttura stradale e dell’ gestione in sicurezza della circolazione. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## **I**

**INCIDENTE:** Evento, o serie di eventi, non intenzionali che causano danni a persone, a cose e all'ambiente ovvero la disfunzione di un sistema o di un servizio. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**INCIDENTI CON CONSEGUENZE ALLE PERSONE:** incidenti dai quali siano derivati traumi a persone di qualsiasi gravità (ferite e/o decessi). *[Definizione AISCAT]*

**INCIDENTI MORTALI:** incidenti nei quali si siano verificati uno o più decessi fra le persone infortunate entro trenta giorni dal momento dell’incidente. *[Definizione AISCAT]*

**INCIDENTALITÀ SPECIFICA:** numero di eventi incidentali verificatisi nell'unità di tempo e di sviluppo della strada rapportati ai veicoli transitati nella stessa sezione e nello stesso tempo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**INDICE DI RISCHIO:** indicatore quantitativo di rischio espresso in funzione della probabilità di accadimento di un evento incidentale e dell'entità delle conseguenze da es’o derivanti. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## J

**JET FIRE:** fenomeno fisico derivante dall’innesco immediato di un getto di liquido o di gas rilasciato da un contenitore in pressione.

## L

**LIVELLO DI RISCHIO ACCETTABILE:** Livello di rischio proprio della galleria virtuale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**LIVELLO DI RISCHIO TOLLERABILE:** Livello di rischio associato al livello globale di sicurezza del sistema galleria rispondente ai requisiti minimi di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**LIVELLO DI SERVIZIO:** Condizione tipica di deflusso caratterizzata dalla densità veicolare e dalla velocità media di transito. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**LIVELLO GLOBALE DI SICUREZZA:** Livello di sicurezza del sistema galleria fornito dalle misure di sicurezza installate. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**LUNGHEZZA DI TRANSIZIONE:** Sviluppo stradale di limitata estensione ove, in fase di esercizio, l'utente adegua la marcia a diverse situazioni geometrico-funzionali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## M

**MALFUNZIONAMENTO:** Condizione funzionale delle misure di sicurezza diversa dalle condizioni di progetto e caratterizzata da una specifica probabilità che essa possa determinare una condizione di pericolo ed un conseguente danno. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MANOVRE A RISCHIO:** Manovre che il conducente del veicolo effettua in debito di sicurezza. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MANOVRE ILLEGALI:** Manovre che il conducente del veicolo effettua in contrasto con i disposti legislativi e/o regolamentari che regolano l'esercizio stradale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MANOVRE IN EMERGENZA:** Manovre che il conducente del veicolo effettua per evitare l'incidente in situazioni critic'e imprevedibili. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MISURE DI EQUIVALENZA:** Provvedimenti adottabili per conseguire un livello globale di sicurezza equivalente quando non siano tecnicamente od economicamente realizzabili uno o più dei requisiti minimi caratterizzanti una classe di gallerie. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MISURE DI SICUREZZA:** Provvedimenti strutturali, impiantistici, gestionali mirati a ridurre la probabilità di accadimento e/o le conseguenze di eventi incidentali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MISURE DI SICUREZZA INTEGRATIVE:** Provvedimenti complementari che integrano i requisiti minimi di sicurezza e sono finalizzati al perseguimento di un minore livello di rischio per le gallerie che presentano caratteristiche speciali rispetto ai parametri di sicurezza, tali da determinare condizioni di maggiore potenziale pericolo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**MORTI:** persone a cui siano derivate a seguito di incidente lesioni tali da provocarne il decesso all'atto dell'incidente o comunque entro trenta giorni. *[Definizione AISCAT]*

## N

**NUBE TOSSICA:** dispersione, in aria, di sostanza tossica quale conseguenza più significativa di perdite o rotture dei relativi serbatoi, altrimenti anche come conseguenza della combustione di altre sostanze.

## P

**PERICOLO:** condizione o stato potenzialmente in grado di produrre danni all'uomo o all'ambiente.

**PERSONE COINVOLTE IN INCIDENTI:** persone a cui siano derivati traumi, di qualsiasi gravità, a seguito di incidente. *[Definizione AISCAT]*

**POOL FIRE:** evento incidentale che presuppone l'innescò di una sostanza liquida sversata in un'area circoscritta o meno.

**POPOLAZIONE ESPOSTA:** Insieme costituito dagli utenti, dal personale di esercizio, dal personale addetto al soccorso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**PREVENZIONE:** Misure ed azioni intese a ridurre la probabilità di accadimento di un evento pericoloso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**PROBABILITÀ DI INCIDENTE:** Sommatoria delle probabilità individuali di incidente estesa al flusso transitato su un tronco stradale in un definito arco temporale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**PROBABILITÀ INDIVIDUALE DI INCIDENTE:** Sommatoria delle produttorie delle probabilità degli eventi elementari intercettati da ciascun percorso critico dell'albero degli eventi. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**PROBABILITÀ DI MALFUNZIONAMENTO:** Rapporto normalizzato tra il numero di eventi anomali rispetto al totale degli eventi possibili nelle condizioni di ordinario funzionamento. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**PROTEZIONE:** Misure ed azioni intese a ridurre le conseguenze di un evento pericoloso. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## Q

**QUALIFICAZIONE FUNZIONALE DELLA STRADA:** Caratterizzazione dell'itinerario stradale in funzione della tipologia prevista dal CdS e dell'ambito territoriale attraversato. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## R

**REQUISITI DI SICUREZZA:** Provvedimenti strutturali, infrastrutturali ed impiantistici previsti per un tracciato stradale in sotterraneo e finalizzati a ridurre il rischio d'esercizio agendo sia sulla probabilità di accadimento degli eventi incidentali, sia sulle possibili conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA:** Provvedimenti strutturali, infrastrutturali ed impiantistici necessari a garantire il livello globale di sicurezza associato alla soglia di rischio tollerabile. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**RISCHIO:** Legame analitico tra probabilità di accadimento di un evento ed entità delle conseguenze da esso derivanti, inclusiva delle incertezze connesse alla stima delle grandezze di definizione. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## S

**SCENARIO:** Una successione di eventi che descrive, a partire da un dato evento iniziatore, le modalità condizionate dalle misure di sicurezza adottate, che inducono determinate conseguenze. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**SISTEMA GALLERIA:** E' il complesso costituito dagli elementi strutturali, dall'ambiente circostante l'opera, al traffico pertinente l'opera e l'ambiente, dalle dotazioni di sicurezza impiantistiche e dalle procedure di gestione che caratterizzano un tracciato in sotterraneo della strada. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**SITUAZIONI CRITICHE:** Condizioni strutturali, ambientali e/o funzionali che determinano un'elevata probabilità di accadimento e/a gravi conseguenze per un evento incidentale. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## I

**TASSO INCIDENTALE:** Rapporti tra il numero di incidenti, incidenti mortali, persone coinvolte, morti e le percorrenze relativamente svolte nel periodo dalle unità veicolari (esprese in centinaia di milioni di veicoli – km).

**TRONCO STRADALE:** Sezione longitudinale di un itinerario stradale dello sviluppo di alcuni chilometri caratterizzata da omogeneità strutturali, di traffico o funzionali. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## V

**VALUTAZIONE DI EQUIVALENZA:** Analisi di rischio atta a verificare in forma quantitativa l'equivalenza ai fini del perseguimento di un livello globale di sicurezza tra provvedimenti previsti in alternativa ad eventuali requisiti minimi non realizzati e/o non realizzabili. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**VEICOLI CHILOMETRO:** sono i chilometri complessivamente percorsi dalle unità veicolari entrate in autostrada. *[Definizione AISCAT]*

**VEICOLI EFFETTIVI:** è il numero di tutte le unità veicolari (siano esse autovetture, autocarri, motrici, autotreni, autoarticolati o autosnodati) entrate in autostrada, a prescindere dai chilometri percorsi. *[Definizione AISCAT]*

**VEICOLI EQUIVALENTI:** Quantificazione del flusso veicolare nell'unità di tempo espressa riconducendo tramite l'adozione di opportuni coefficienti di equivalenza le diverse componenti di traffico ad un'unica tipologia veicolare. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**VEICOLI LEGGERI:** si intendono i motocicli e gli autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, inferiore a 1,30 m. *[Definizione AISCAT]*

**VEICOLI PESANTI:** si intendono sia gli autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell’asse anteriore, superiore a 1,30 m., sia tutti gli autoveicoli a tre o più assi. *[Definizione AISCAT]*

**VEICOLI TEORICI (o TGMT):** sono le unità veicolari che idealmente, percorrendo l’intera autostrada, danno luogo nel complesso a percorrenze pari a quelle ottenute realmente (veicoli chilometro di cui sopra); il numero di tali veicoli è definito dal rapporto tra i veicoli chilometro e la lunghezza dell’autostrada. *[Definizione AISCAT]*

## Z

**ZONA DI APPROCCIO ALLA GALLERIA:** Tratta stradale precedente l'ingresso in galleria ove le condizioni di esercizio possono influenzare la sicurezza della marcia in sotterraneo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

**ZONA IN USCITA ALLA GALLERIA:** Tratta stradale precedente l'ingresso in galleria ove le condizioni di esercizio possono influenzare la sicurezza della marcia in sotterraneo. *[Definizione D.Lgs 264/06]*

## B. Descrizione generale del sistema galleria

### B.1 Descrizione delle caratteristiche strutturali

La galleria S.Agata 2 è una galleria stradale a doppio fornice, di categoria A secondo quanto indicato dal Codice della Strada e dal DM 6792 del 5 novembre 2001 “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.

I fornici paralleli, disposti ad interasse di circa 20m, sono lunghi rispettivamente 1325 m (direzione Trento) e 1315 m (direzione Vicenza).

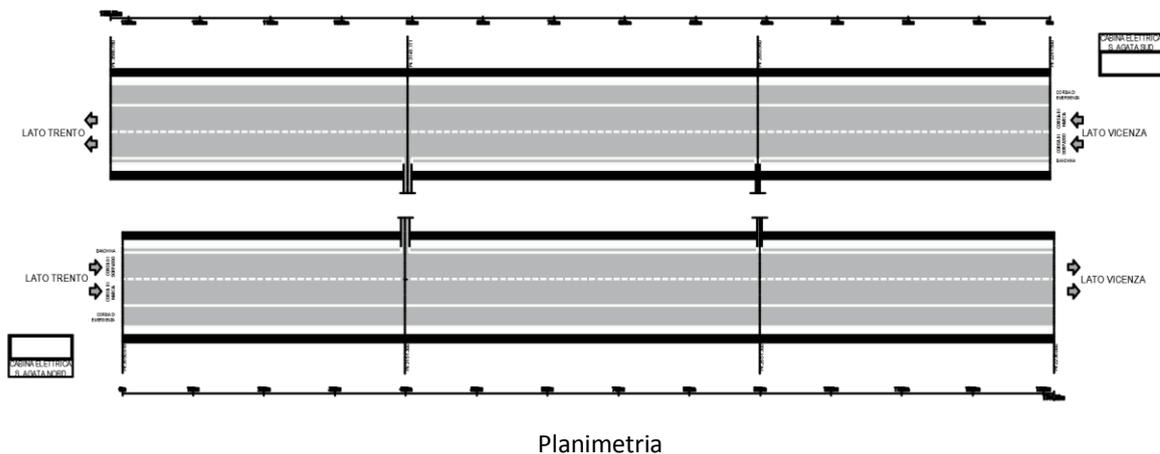
La carreggiata è costituita da:

- N.1 banchina pavimentata in sinistra  $\geq 0,75$  m di ampiezza,
- N.1 corsie di marcia  $\geq 3,75$  m di ampiezza,
- N.1 corsie di sorpasso  $\geq 3,75$  m di ampiezza,
- N.1 corsia di emergenza in destra  $\geq 3,00$  m di ampiezza.

Lungo tutta la galleria sono garantiti franchi verticali liberi  $\geq 4,80$  m.

Il numero delle corsie è lo stesso tanto all’esterno che all’interno della galleria. Sono assenti cambiamenti dell’organizzazione della piattaforma che intervengono ad una distanza dai portali minore di quella percorsa in 10 secondi, da un veicolo che procede alla velocità di progetto della strada.

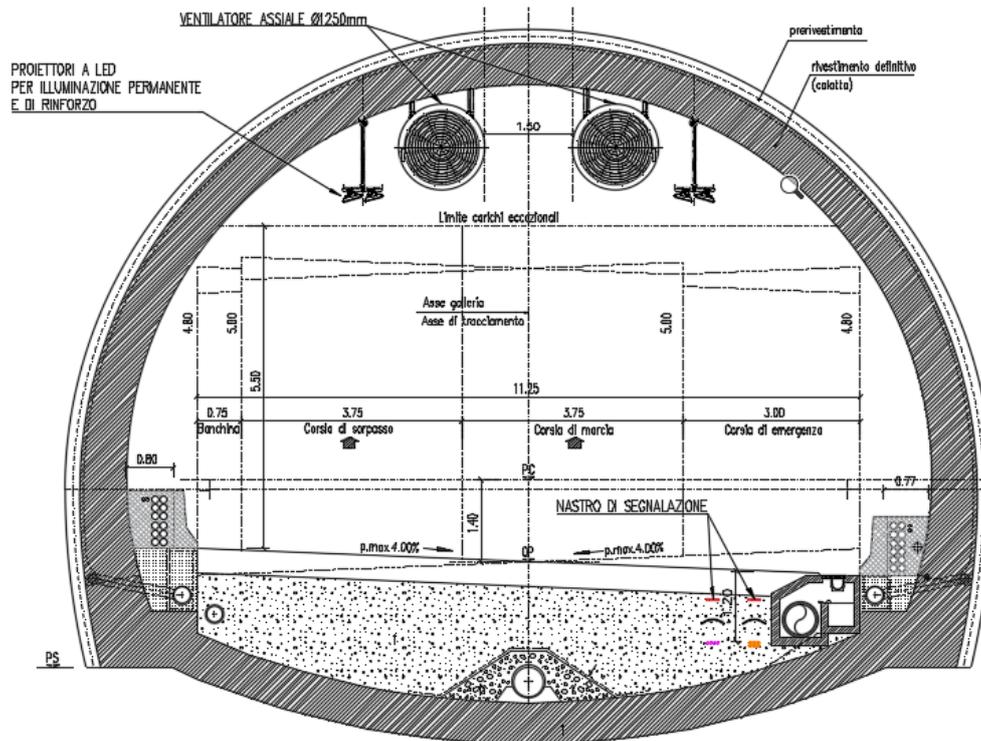
La galleria ha un andamento prevalentemente curvilineo dall’imbocco nord, con raggio di curvatura pari a circa 2400 m, e rettilineo in corrispondenza dell’imbocco sud.



Dal punto di vista altimetrico la pendenza longitudinale media della livelletta è pari a circa 2.4%.

La sezione trasversale ha forma policentrica, l’area della sezione trasversale è pari a circa 154 mq (area netta 89 mq), la larghezza tra i piedritti è pari a circa 12,5 m, l’altezza in asse è pari a circa 8,1 m.

E’ consentito il libero transito di veicoli pesanti e la larghezza della corsia di destra  $\geq 3,75$  m.



Sezione tipologia galleria naturale

I risultati della schedatura della galleria e dell’analisi svolta rispetto agli articoli in allegato 2 al decreto, inerenti la caratterizzazione della struttura, sono stati specificati al fine di evidenziare i parametri rilevanti e propedeutici alla formulazione dell’analisi di rischio e di seguito riportati nelle successive tabelle:

<b>Categoria stradale</b>	A – Autostrada
<b>Costruzione</b>	Naturale
<b>Numero forni</b>	2
<b>Direzionalità</b>	Unidirezionale

dati caratteristici geometrici e strutturali – galleria

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

---

<b>Fornice direzione</b>	Trento
<b>Lunghezza</b>	1325 m
<b>Pendenza longitudinale</b>	+2,4 %
<b>Tracciato</b>	Rettilineo / Curvilineo
<b>Forma della sezione</b>	Policentrica
<b>Area della sezione</b>	154 m <sup>2</sup> (89 m <sup>2</sup> )
<b>Altezza in asse galleria</b>	8,1 m
<b>Larghezza tra i piedritti</b>	12,5 m
<b>Numero corsie</b>	2
<b>Larghezza corsie</b>	0,75 m banchina pavimentata + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 3,00 m corsia di emergenza
<b>By-pass</b>	n.2 (pedonali)
<b>Interdistanze by-pass</b>	By-pass pedonali interdistanza massima 500m
<b>Piazzole di sosta</b>	-

dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice dir. Trento

<b>Fornice direzione</b>	Vicenza
<b>Lunghezza</b>	1315 m
<b>Pendenza longitudinale</b>	-2,4 %
<b>Tracciato</b>	Rettilineo / Curvilineo
<b>Forma della sezione</b>	Policentrica
<b>Area della sezione</b>	154 m <sup>2</sup> (89 m <sup>2</sup> )
<b>Altezza in asse galleria</b>	8,1 m
<b>Larghezza tra i piedritti</b>	12,5 m
<b>Numero corsie</b>	2
<b>Larghezza corsie</b>	0,75 m banchina pavimentata + 3,75 m corsia di marcia + 3,75 m corsia di sorpasso + 3,00 m corsia di emergenza
<b>By-pass</b>	n.2 (pedonali) +
<b>Interdistanze by-pass</b>	By-pass pedonali interdistanza massima 500m
<b>Piazzole di sosta</b>	-

dati caratteristici geometrici e strutturali – fornice dir. Vicenza

#### B.1.1 *Vie di fuga e uscite di emergenza*

In galleria saranno realizzate n.2 uscite di sicurezza (by-pass pedonali) con interdistanza massima di 500 m. Le uscite saranno ben riconoscibili dalla galleria grazie all'apposita segnaletica e ad una cornice luminosa intorno alla porta. Le uscite di sicurezza saranno collegate al vano stradale mediante una "zona filtro" (doppia porta REI 120) con disimpegno mantenuto in sovrappressione.

## B.2 Descrizione delle caratteristiche di traffico

La galleria è a doppio fornice, con traffico monodirezionale e due corsie per senso di marcia. I dati relativi alla caratterizzazione del traffico della tratta su cui insiste la galleria, ed in seguito utilizzati in fase di analisi di rischio, sono stati ottenuti dagli studi condotti in sede di progettazione e vengono riportati nella seguente tabella:

Galleria	TGM (veicoli/ giorno)	Veicoli pesanti (%)	Merci pericolose (%)	Classe ADR	Velocità (km/h)	Tasso di accadimento (incidenti a km per 10 <sup>8</sup> veicoli)
S.Agata 2	33.695	26,6	6,3	A	130	30

## B.3 Descrizione degli impianti tecnologici

### B.3.1 Impianto di illuminazione

Per le gallerie, a seconda della loro lunghezza, è previsto un opportuno impianto di illuminazione, studiato in base a quanto previsto dalla norma UNI 11095 per la gallerie stradali, optando, a seconda della lunghezza (L) delle gallerie stesse per:

- Per  $L < 25$  metri non è prevista alcuna illuminazione
- Per  $L > 25$  metri ma  $< 75$  metri è prevista esclusivamente l’illuminazione di tipo permanente
- Per  $L > 75$  metri è prevista l’illuminazione come da calcoli previsti dalla norma (illuminazione permanente, di rinforzo, di uscita, ecc.)

In particolare sono previsti i seguenti tipi di illuminazione:

- Illuminazione di rinforzo per le zone di ingresso del tunnel, in modo da assicurare un adeguato comfort visivo all’ingresso, malgrado i differenti valori di luminanza tra l’esterno e l’interno della galleria. Sono stati previsti tre circuiti di rinforzo per ogni corsia di marcia, tutti comandati da un apposito regolatore di flusso luminoso. L’illuminazione di entrata rientra nella categoria delle utenze in continuità assoluta.
- Illuminazione permanente, per garantire un adeguato valore di luminanza in tutta la lunghezza della galleria, con funzionamento continuo nelle 24 ore. Sono stati previsti diversi circuiti per ogni corsia di marcia, con sistema di telecontrollo in grado di regolare il flusso emesso dai corpi illuminanti durante le ore più profonde della notte, quando il traffico è minore. Tutta l’illuminazione permanente è anche illuminazione di sicurezza

(con autonomia di minimo 30’ al mancare della rete normale e 24 ore dalla partenza del GE), ovvero rientra nella categoria delle utenze in continuità assoluta.

- Illuminazione di rinforzo per le zone di uscita del tunnel, in modo da assicurare un adeguato comfort visivo alle uscite, malgrado i differenti valori di luminanza tra l’esterno e l’interno della galleria. Sono stati previsti specifici circuiti di uscita per ogni corsia di marcia, con regolazione del flusso luminoso. L’illuminazione di uscita rientra nella categoria delle utenze in continuità assoluta.

### B.3.2 *Impianto di ventilazione in galleria*

L’impianto di ventilazione sarà dimensionato per poter gestire un incendio di 100MW.

Si prevede l’installazione di ventilatori Jet Fan ad alta efficienza in acciaio inox del tipo reversibile e resistenti al fuoco 90 minuti a 400°C per 120 minuti.

In condizioni di incendio i ventilatori consentono il controllo della velocità dell’aria in galleria al fine di favorire la stratificazione dei fumi ovvero di indirizzarli nella direzione opposta rispetto agli utenti.

La gestione dei regimi di funzionamento nelle diverse condizioni di esercizio ed emergenza viene attuata in automatico dal sistema di supervisione.

### B.3.3 *Impianto idrico antincendio*

Nelle gallerie è previsto un impianto idrico antincendio, alimentato da centrali di pompaggio con relative vasche di accumulo.

La configurazione dell’impianto prevede:

- una riserva idrica costituita da un serbatoio interrato della capacità complessiva utile minima di 100 m<sup>3</sup>, posto nei pressi degli imbocchi;
- un gruppo di pressurizzazione antincendio per ogni galleria;
- la rete di distribuzione orizzontale;
- i terminali di erogazione dotati di idranti.

Il sistema di alimentazione idrica dovrà essere in grado di garantire la continuità di erogazione idrica per almeno due ore con una portata minima di 780 litri/min ed una pressione minima pari a 0,5 MPa.

### *B.3.3.1 Impianti di chiamata di soccorso (SOS)*

Per le gallerie di lunghezza > 500 metri è previsto un impianto di chiamata di soccorso (SOS) con armadi standardizzati dislocati sopra il profilo redirettivo ed all’interno dei by-pass pedonali.

Gli impianti garantiscono le richieste di interventi per emergenza da parte degli utenti.

Gli armadi sono anche ubicati con passo di circa 150 metri sul lato destro della galleria.

Gli armadi sono del tipo a un pulsante retroilluminato; sono completi di microfono altoparlante, telecamera antivandalo integrata ed indicatore di fuori servizio.

Ogni armadio dispone di comparto contenente due estintori a polvere da 6 kg con contatto di segnalazione di apertura della porta relativa, comparto con idrante UNI45 ed è segnalato con idoneo cartello luminoso bifacciale con scritta “S.O.S.”.

Il segnale di allarme di ogni armadio viene riportato al sistema di supervisione e di conseguenza ai presidi designati (VVF, presidio sanitario, polizia).

Il segnale viene inoltre recepito in modo da potere attuare una serie di operazioni conseguenti, sempre con la supervisione del Centro Operativo (es. la chiamata per incidente/incendio attiva le lanterne semaforiche poste agli imbocchi della galleria ed i PMV per il blocco del traffico).

### *B.3.3.2 Impianti di by-pass*

All’interno dei by-pass pedonali e carrabili delle gallerie di tratta, saranno previsti i seguenti impianti:

- Quadri elettrici by-pass;
- Gruppi di continuità (UPS);
- Impianto di pressurizzazione e dotazione antincendio di by-pass;
- Impianti luce e fm by-pass;
- Impianti SOS di by-pass;
- Impianti rilevazione fumi;
- Impianti di controllo stato porte locali tecnici di by-pass;
- Impianto di riscaldamento e condizionamento;
- Impianto di scarico acque nere;
- Quadri a rack FO e impianti speciali di by-pass.

#### B.3.4 *Segnaletica verticale di emergenza*

Nelle gallerie è prevista l’installazione di una serie di cartelli luminosi per l’indicazione di:

- Colonnine SOS;
- Idranti antincendio;
- Segnalazione di incidente, pericolo generico, merci pericolose, denominazione e lunghezza della galleria;
- Luoghi sicuri;
- Segnali di agibilità corsie (Freccia-croce) di cui agli imbocchi di tipo bifacciale;
- PMV, a 2 righe, in volta;
- Pannelli full color per segnalazioni varie all’utenza;

nonché di lanterne semaforiche poste agli imbocchi.

I cartelli retroilluminati sono sempre accesi.

#### B.3.5 *Impianto radio*

Nelle gallerie è previsto un impianto per la ritrasmissione radio ad uso dei servizi di pronto intervento (V.V.F, forze di P.S., Gestore Autostradale, etc.), realizzato mediante cavo fessurato posato lungo tutta la galleria.

L’impianto prevede due stazioni master agli estremi delle due gallerie di tratta, una in ridondanza all’altra e stazioni slave ubicate all’interno delle gallerie per la ripetizione del segnale radio.

Nei brevi tratti tra viadotti saranno previste antenne di proseguo campo per garantire la copertura del segnale radio.

#### B.3.6 *Impianto TVCC*

All’interno delle gallerie è previsto un impianto di televisione a circuito chiuso per il controllo completo della galleria, a mezzo di apparecchi fissi (in galleria, nella via di fuga) e brandeggiabili (agli imbocchi/sbocchi delle gallerie), posti ogni circa 80 metri sul lato in sinistra della galleria e tali da garantire la visione totale di ogni tratto del tunnel. Lo stesso impianto viene utilizzato per il controllo del traffico. In particolare il sistema deve fornire in automatico le seguenti informazioni/allarmi:

- Traffico intenso
- Traffico rallentato
- Formazione di coda di veicoli

- Veicolo fermo
  - Veicolo contromano
  - Sorpasso (nelle gallerie a doppio senso di marcia)
  - Oggetto sulla carreggiata (con dimensione superiore a 1 mq)
  - Rilevamento fumi (particolarmente importante soprattutto per la rilevazione di fumi “freddi”
  - Sequenza di immagini in corrispondenza di ogni evento, per una completa informazione la sequenza antecedente e successiva l’evento
  - Conteggio e classificazione dei veicoli a fini statistici
- L’impianto TVCC di ogni galleria fa capo ai locali di controllo posti nelle cabine elettriche MT/BT ed è riportabile, per la visualizzazione, al Centro operativo.

#### B.3.7 *Impianto rilevazione incendi*

All’interno delle gallerie è previsto un impianto di rilevazione della temperatura dell’aria, eseguito a mezzo di cavo termosensibile posato lungo tutta la galleria, il quale fornisce una segnalazione in caso di aumento anomalo della temperatura, individuando la zona interessata.

Il segnale viene utilizzato dal sistema di supervisione per l’eventuale blocco del traffico, con l’attivazione dei semafori e delle segnalazioni più idonee all’evento.

L’evento “incendio” verrà rilevato, vista la presenza di fumi in galleria, anche dal sistema TVCC.

#### B.3.8 *Impianti di diffusione sonora*

Per le gallerie di lunghezza > 500 metri è previsto un impianto di diffusione sonora, realizzato a mezzo di trombe ad alta efficienza, collocate:

- In prossimità delle porte delle uscite dei by-pass;
- All’interno dei by-pass pedonali e carrabili;

L’impianto audio potrà essere interfacciato con l’interfono delle stazioni di emergenza.

### B.3.9 *Sistema di supervisione e controllo*

Tutti gli impianti tecnologici faranno capo ad un sistema di Supervisione e Controllo, il quale provvederà alla gestione degli impianti elettrici e tecnologici relativi a:

- Gallerie naturali
- Gallerie artificiali
- Cabine elettriche MT/BT
- Cabine elettriche di aggottamento
- Apparecchiature in itinere (caselli, portali PMV, SOS, TVCC, etc.);
- Svincoli.

### B.3.10 *Sbarre accessi galleria*

Agli imbocchi delle gallerie sono previste sbarre di chiusura per impedire l’accesso agli utenti in caso di eventi incidentali.

### B.3.11 *Impianto di drenaggio*

Per la galleria è prevista la realizzazione di:

- impianto di raccolta e smaltimento delle acque nere di piattaforma di galleria;
- impianto di drenaggio dei liquidi pericolosi in galleria in grado di impedire incendi nonché il propagarsi di liquidi infiammabili e tossici all’interno di un fornice e tra i fornici.

Le acque di piattaforma e gli eventuali liquidi pericolosi sversati all’interno della galleria, saranno raccolti mediante pozzetti tagliafuoco sifonati disposti ogni 25-50 m e convogliate in apposita vasca tramite la rete di smaltimento realizzata con tubazioni in PVC.

## C. Analisi di vulnerabilità

### C.1 Fattori di pericolo

L’insieme dei fattori di pericolo e le caratteristiche dei fattori di pericolo di una galleria, in accordo alle Linee Guida ANAS, sono sintetizzati nella successiva tabella:

Fattori di pericolo	Caratteristiche dei fattori di pericolo
Struttura	tipologia costruttiva area della sezione trasversale numero e larghezza delle corsie geometria del tracciato
Traffico	Composizione Velocità Congestione Stagionalità
Condizioni meteo-climatiche	Vento Precipitazioni nebbia
Accessibilità	Imbocchi galleria di emergenza viabilità alternativa

Fattori di pericolo

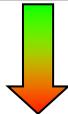
#### C.1.1 Scala del Pericolo

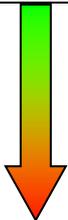
La scala del pericolo, adottata nel metodo di progetto della sicurezza, è definita in termini di importanza dei fattori di pericolo e di pesi delle caratteristiche dei fattori di pericolo desunti applicando un modello binomiale negativo a:

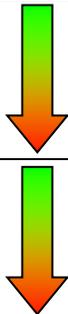
- serie storiche di eventi incidentali rilevati su base annua e per tratti omogenei della rete stradale nazionale (dati AISCAT);
- serie storiche di eventi incidentali rilevati su tracciati stradali dei paesi europei reperite nella letteratura libera.

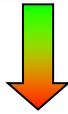
Le tabelle successive sintetizzano le modalità di ordinamento dei fattori di pericolo ed i valori dei pesi statistici attribuiti alle caratteristiche dei fattori di pericolo.

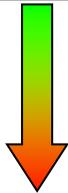
AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

I	Struttura-Tipologia costruttiva			
1	Unidirezionale + corsia di emergenza		0.5	
2	Unidirezionale		1	
3	Bidirezionale		2	

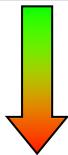
II	Struttura-Corsie			
1	<b>Numero Corsie</b>	<b>Larghezza</b>		
2	>2	L >3.5 m	0.5	
3		3.5 <L<3 m	0.75	
4		L<3 m	1	
5	1-2	L >3.5 m	1.25	
6		3.5 <L<3 m	1.5	
7		L<3 m	2	

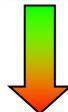
III	Struttura-Tracciato			
	<b>Pendenza</b>	<b>Disegno</b>		
1	< 3%	Dritta	0.5	
2		Curva – Imbocchi dritti	0.75	
3		Dritta – Imbocchi curvi	1	
4		Curva – Imbocchi curvi	1.5	
5	> 3%	Dritta	1.25	
6		Curva – Imbocchi dritti	1.5	
7		Dritta – Imbocchi curvi	1.75	
8		Curva – Imbocchi curvi	2	

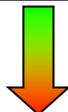
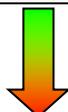
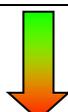
IV	Traffico-Composizione			
	<b>%Veicoli pesanti</b>			
1	< 15%		0.5	
2	>15%<30%		1	
3	>30%		2	
	<b>Veicoli ADR</b>			
4	<3%		+1	
5	>3%		+1.5	

V	Traffico-Velocità			
	<b>Limiti di velocità</b>			
1	50 km/h		0.5	
2	70 km/h		0.75	
3	90 km/h		1	
4	100 km/h		1.5	
5	>=110 km/h		2	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

<b>VI</b>	<b>Traffico-Congestione</b>			
	<b>Durata (min/giorno) Vel Media &lt;20 km/h</b>			
1	≤15 min	0.5		
2	>15 min	1		
3	>30 min	1.5		
4	>60 min	2		

<b>VII</b>	<b>Traffico-Stagionalità</b>			
	<b>TGM (Medio mensile max)/ TGM (Medio annuo)</b>			
1	< 1,25	0.5		
2	1,25 ÷ 2	1		
3	>2	2		

<b>VIII</b>	<b>Ambiente-Condizioni meteoclimatiche</b>			
	<b>Condizione</b>	<b>Frequenza</b>		
1	Vento	Bassa	0.5	
2		Stagionale	1	
3		Elevata	2	
1	Precipitazioni	Bassa	0.5	
2		Stagionale	1	
3		Elevata	2	
1	Nebbia	Bassa	0.5	
2		Stagionale	1	
3		Elevata	2	

<b>IX</b>	<b>Ambiente-Accessibilità</b>			
1	Imbocchi, Galleria di emergenza, Viabilità alternativa		0.5	
2	Imbocchi ,Viabilità alternativa		1	
3	Imbocchi		1.5	
4	Singolo imbocco		2	

I fattori di pericolo per il sistema galleria S. Agata 2 sono sintetizzati nella successiva tabella.

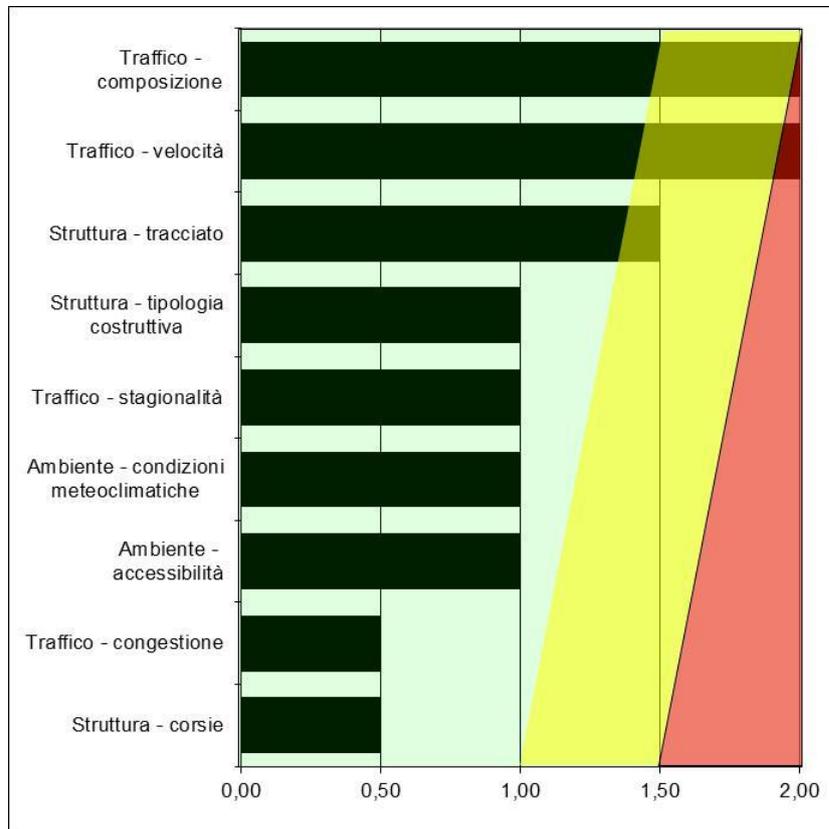
Caratteristiche dei Fattori Di Pericolo	Categoria	S. Agata 2
<b>Struttura-Tipologia costruttiva</b>		
Unidirezionale + Corsia di emergenza		<b>X</b>
Unidirezionale		
Bidirezionale		
<b>Struttura-Corsie</b>		
>2 Corsie	L>3.5 m	
	3,5<L<3 m	
	L<3 m	
1-2 Corsie	L>3.5 m	<b>X</b>
	3,5<L<3 m	
	L<3 m	
<b>Struttura-Tracciato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

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Caratteristiche dei Fattori Di Pericolo	Categoria	S. Agata 2
<b>Ambiente-Condizioni meteo-climatiche</b>		
Condizione	Frequenza	
Vento	Bassa	
	Stagionale	<b>X</b>
	Elevata	
Precipitazioni	Bassa	
	Stagionale	<b>X</b>
	Elevata	
Nebbia	Bassa	
	Stagionale	<b>X</b>
	Elevata	
<b>Ambiente-Accessibilità</b>		
Imbocchi, Galleria di emergenza, Viabilità alternativa		
Imbocchi, Viabilità alternativa		
Imbocchi		<b>X</b>
Singolo imbocco		

Scala del pericolo

I fattori di pericolo sopra riportati e pesati con la scala di pericolo permettono la valutazione della vulnerabilità della galleria rappresentata nel grafico seguente.



vulnerabilità della galleria

*C.2 Verifica di conformità al D.Lgs 264/06*

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

I risultati possibili sono di seguito elencati:

Conforme		conforme al requisito del decreto
Non Conforme		requisito non presente seppur obbligatorio
Non Richiesto		requisito non applicabile per la galleria in esame
Aggiuntiva / migliorativa		l’adozione di una misura di sicurezza è da considerarsi aggiuntiva se le caratteristiche della galleria non la rendono obbligatoria la misura di sicurezza è da considerarsi migliorativa qualora la sua adozione è obbligatoria, ma le caratteristiche di questa eccedono le prescrizioni minime del decreto

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

REQUISITO	TIP. (1)	RIF.TO	Galleria S. Agata 2	
<b>OBBLIGATORIO</b>				
2 o più fornici <i>Obbligatorio se le previsioni su 15 anni indicano traffico &gt; 10.000 veicoli/corsia</i>	S	2.1.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> 2 fornici a traffico unidirezionale
Misure supplementari per pendenza long. > 3% <i>Obbligatorio tramite analisi di rischio</i>	S	2.2.3		<b>REQUISITO NON RICHIESTO</b> Pendenza longitudinale massima dell' 2,40%.
Banchine pedonabili di emergenza	S	2.3.1	 	<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Presente corsia di emergenza
Uscite di emergenza <i>Obbligatorie con interdistanza massima 500m se il volume di traffico è &gt; 2000 veicoli per corsia</i>	S	2.3.6-8		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Sono presenti n.2 by-pass pedonali ad interdistanza massima 500m
Illuminazione ordinaria <i>Obbligatorie secondo prescrizioni D.M. n.3476 del 14/09/05</i>	I	2.8.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> L'impianto di illuminazione conforme al DM n.3476 del 14.09.05.
Illuminazione di sicurezza	I	2.8.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> L'impianto di illuminazione è alimentato tramite circuito privilegiato.
Illuminazione di evacuazione	I	2.8.3		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Previsti picchetti luminosi a LED posti lato soprasso.
Ventilazione meccanica <i>Obbligatorie impianto di ventilazione meccanica per gallerie di L&gt;1000m con volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia (v. longitudinale consentita solo con analisi di rischio e misure specifiche, altrimenti(semi)trasversale</i>	I	2.9.2-4		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Previsto un impianto di ventilazione longitudinale dimensionato a 100MW
Ventilazione meccanica: disposizioni speciali per la v. (semi)trasversale <i>Per gallerie di L&gt;3000m, traffico bidirezionale e volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia, la v. (semi)trasversale deve prevedere: estrazione fumi azionabile separatamente o a gruppi, regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione3</i>	I	2.9.5		<b>REQUISITO NON RICHIESTO</b> La galleria è a traffico monodirezionale.
Stazioni di emergenza <i>Obbligatorie vicino ai portali e a interdistanza max 150m (dotazione minima: telef.SOS + 2 estintori)</i>	I	2.10.2-3		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Sono presenti stazioni di emergenza in galleria con interdistanza non superiore a 150m e vicino ai portali.
Erogazione idrica <i>Obbligatoria con idranti a interdistanza max 250m</i>	I	2.11		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Previsto impianto ad umido con stazioni di pompaggio
Segnaletica stradale <i>Obbligatoria secondo prescrizioni dell'Allegato 5</i>	I	2.12		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Segnali luminosi per tutte le dotazioni di sicurezza a servizio degli utenti.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Centro di controllo <i>Obbligatorio per g. di L&gt;3000m con volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia</i>	I	2.13.1	 	<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> È presente un Centro di Controllo della tratta.
Impianti di sorveglianza: telecamere + rilevamento automatico incidente e/o incendio <i>Obbligatorio nelle gallerie servite da un Centro di Controllo</i>	I	2.14.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> La galleria è dotata di un sistema di rivelazione automatica di incendio costituito da un cavo sensore in fibra ottica, previsto impianto TVCC.
Impianto per chiudere la galleria: semafori agli imbocchi <i>Obbligatorio per g. di L&gt;1000m</i>	I	2.15.1	 	<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Presenti semafori agli imbocchi a n.2 lanterne e PMV comprensivi con segnalatori di agibilità corsia.
Sistemi di comunicazione: ritrasmissioni radio ad uso servizi pronto intervento <i>Obbligatorio per g. di L&gt;1000m con volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia</i>	I	2.16.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> La ritrasmissione radio ad uso dei servizi di pronto intervento è garantita dall’impianto radio con ritrasmissione del segnale tramite cavo fessurato in galleria.
Sistemi di comunicazione: messaggi di emergenza via radio destinati agli utenti della galleria <i>Obbligatorio per g. di L&gt;3000m servite da un Centro di Controllo</i>	I	2.16.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Previsto un sistema radio in grado di diffondere messaggi di emergenza agli utenti.
Alimentazione elettrica di emergenza	I	2.17.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> In caso di mancanza di alimentazione da rete la continuità sarà garantita dalla presenza di gruppi elettrogeni e gruppi di continuità.
Resistenza e reazione al fuoco degli impianti e sistemi e dei loro componenti <i>Devono consentire il mantenimento delle necessarie condizioni di sicurezza</i>	I	2.18		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b>
<b>OBBLIGATORIO CON ECCEZIONI</b>				
Pendenza long. ≤5% <i>Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche non consentono diverse soluzioni progettuali</i>	S	2.2.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Pendenza longitudinale massima dell’ 2,40%.
Accessi per i servizi di pronto intervento (gallerie trasversali nelle gallerie a doppio fornice) <i>Obbligatorio per g. di L&gt;15000m se i fornici sono allo stesso livello o comunque collegabili, con interdistanza max 1500m</i>	S	2.4.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Galleria di lunghezza L>1500m
Punti attraversamento spartitraffico agli imbocchi (G. a doppio fornice) <i>Obbligatorio solo se le caratteristiche geomorfologiche lo consentono</i>	S	2.4.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Sono previsti varchi nello spartitraffico in prossimità dei portali.
Piazzole di sosta <i>Obbligatorie ogni 1000m solo per g. bidirezionali di L&gt;1500m con volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia, qualora non sia prevista la corsia di emergenza; non obblig. se la largh. Residua della piattaforma, escluse le corsie di marcia, è pari ad almeno una corsia</i>	S	2.5.1-3		<b>REQUISITO NON RICHIESTO</b> La galleria è a traffico monodirezionale.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

Drenaggio <i>Obbligatorio solo se è autorizzato il trasporto di merci pericolose</i>	S	2.6.1		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> E' previsto un sistema di drenaggio dei liquidi infiammabili costituito da pozzetti tagliafuoco.
Resistenza al fuoco delle strutture <i>Obbligatorio solo se un eventuale cedimento locale può avere conseguenze catastrofiche</i>	S	2.7		<b>REQUISITO NON RICHIESTO</b> Non sono presenti importanti strutture adiacenti la galleria.
Impianti di sorveglianza: rilevamento automatico incendio <i>Obbligatorio se, in assenza del centro di controllo, il funzionamento della ventilazione per il controllo dei fumi è diverso da quello automatico per il controllo inquinanti</i>	I	2.14.2		<b>REQUISITO NON RICHIESTO</b> La galleria è dotata di Centro di Controllo.
Sistemi di comunicazione: altoparlanti nei rifugi e presso le uscite <i>Obbligatorio se gli utenti della galleria in fase di evacuazione devono aspettare prima di poter raggiungere l'esterno</i>	I	2.16.3		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b>
<b>RACCOMANDATO</b>				
Impianto per chiudere la galleria: semafori all'interno della galleria <i>Raccomandato per g. di L&gt;3000m e volume di traffico &gt; 2000 veicoli per corsia, con interdistanza max 1000m</i>	I	2.15.2		<b>REQUISITO SODDISFATTO</b> Sono previsti dei freccia-croce e PMV all'interno della galleria in prossimità dei by-pass.

(1) S:Strutturale    I:Impiantistico

#### D. Analisi preliminare dei pericoli

Si tratta di un’analisi preliminare sistematica di tipo qualitativo che ha per obiettivo l’individuazione dei fattori di pericolo che possono essere causa o elemento aggravante di un evento incidentale. La loro individuazione assume un’importanza rilevante nelle scelte infrastrutturali, impiantistiche e gestionali, di natura preventiva, volte a diminuire la probabilità che occorra una certa condizione che potrebbe essere causa o elemento aggravante di incidente. E’ importante tenere presente che in uno stesso evento incidentale può presentarsi più di una causa e che molteplici possono essere le combinazioni. L’obiettivo di tale analisi preliminare è quello di identificare le misure imprescindibili per gli eventi meno critici e di selezionare gli eventi che richiedono un’analisi più approfondita al fine di valutarne il rischio in termini quantitativi.

La tabella successiva sintetizza i fattori di pericolo analizzati.

ANALISI PRELIMINARE DEI PERICOLI	
<b>Guasti e malfunzionamenti</b>	Infrastruttura
	Impianti
	Errore umano
<b>Inquinamento in galleria</b>	
<b>Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata</b>	Perdita di carico
	Veicolo fermo / avaria
	Presenza di animali vaganti / morti
<b>Turbativa alla circolazione</b>	Traffico rallentato / coda
	Traffico bloccato
<b>Violazione del codice</b>	
<b>Ambiente</b>	
<b>Incidente stradale</b>	
<b>Incendio</b>	
<b>Incidenti con merci pericolose</b>	
<b>Esplosione</b>	
<b>Azione terroristica / catastrofe naturale</b>	

Fattori di pericolo

In allegato è presente una tabella riportante i risultati di un’indagine effettuata sui pericoli, le possibili cause, i pericoli associati e la stima delle conseguenze attese di un sistema galleria tipo, ottenute applicando la tecnica del Giudizio degli Esperti in accordo al Metodo Delphi.

#### *D.1 Guasti e malfunzionamenti*

Le misure di sicurezza in galleria possono essere molteplici e diverse nella specificità funzionale, atte a garantire i livelli di sicurezza richiesti per la struttura e per la salute pubblica. Una corretta progettazione della sicurezza richiede la realizzazione di sistemi specifici per il controllo, la mitigazione, la prevenzione degli eventi incidentali che possono verificarsi in galleria. I sistemi di sicurezza realizzati determinano la risposta della struttura alle condizioni di emergenza e la risposta della popolazione esposta agli eventi incidentali. Guasti e malfunzionamenti causano la perdita totale o parziale delle funzioni di sicurezza proprie delle misure previste.

I disservizi possono riguardare:

- misure di sicurezza strutturali,
- misure di sicurezza tecnologiche,
- misure di sicurezza comportamentali.



##### *D.1.1 Infrastruttura*

In linea generale le caratteristiche costruttive e geometriche dell’infrastruttura incidono sui livelli finali di sicurezza. L’analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall’estensore dell’IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche architettoniche e strutturali dell’opera, che possono essere individuati in termini di:

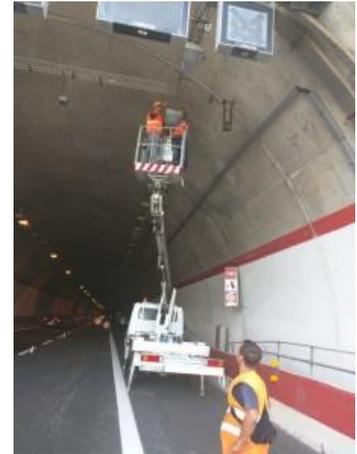
- anno di costruzione,
- lunghezza (galleria singola, gallerie in serie),
- sezione (larghezza della carreggiata, altezza massima, marciapiedi),
- tracciato (profilo orizzontale e verticale della galleria e delle zone di imbocco),
- tipologia costruttiva (unidirezionale, bidirezionale, corsie di emergenza).

Da sottolineare l’importanza del buono stato dell’infrastruttura, ad esempio:

- il manto stradale ed il rivestimento della galleria,
- il funzionamento e le caratteristiche REI di eventuali vie di fuga,

- il mantenimento di determinate caratteristiche di resistenza al fuoco per la messa in sicurezza degli utenti in caso di incendio e dei Servizi di Soccorso in caso di intervento,
- il corretto funzionamento del sistema di raccolta delle acque di piattaforma.

E’ fondamentale che siano svolte opportune operazioni di monitoraggio e manutenzione dell’infrastruttura attraverso una pianificazione adeguata ed efficiente.



#### D.1.2 Impianti

In linea generale gli impianti sono destinati a svolgere funzioni di:

- inibizione/mitigazione,
- protezione attiva/passiva,
- facilitazione dell’autosoccorso/soccorso.

L’anomalia di funzionamento degli impianti si definisce a seguito di mal funzionamenti degli stessi. Il malfunzionamento degli impianti fa evolvere un evento verso conseguenze più gravi in termini di feriti, perdite umane e danni all’infrastruttura.

In particolar modo un malfunzionamento dell’impianto di illuminazione costituisce un evento di particolare pericolosità in quanto causa il peggioramento delle condizioni di visibilità e potrebbe precludere la corretta gestione della sicurezza in condizioni di emergenza. In tal caso è utile l’impostazione di una corretta comunicazione agli utenti al fine di aumentare il livello di attenzione degli stessi, ad esempio attraverso messaggi specifici tipo “galleria non illuminata” su PMV.

Impianti di rilevazione di incidente e/o incendio determinano invece una tempestiva gestione dell’emergenza, diminuendone le possibili conseguenze.

Impianti di ritrasmissioni radio all’interno della galleria rendono più efficace l’intervento delle squadre di soccorso, avendo la possibilità di comunicare fra di loro oltre che con il personale di sala operativa, garantendo così un’efficace coordinamento dell’operazione.

Impianto SOS e copertura GSM hanno il compito di permettere agli utenti di segnalare una situazione di pericolo in tempi più rapidi.

Un elenco di eventuali altri impianti che possono essere presenti in galleria può essere:

- impianto di ventilazione meccanica,
- illuminazione di evacuazione,

- rilevatori di dati ambientali,
- impianto idrico antincendio,
- sistema di gestione, controllo e trasmissioni dati,
- impianti di sorveglianza,
- segnaletica luminosa,
- alimentazione elettrica normale e di emergenza,
- etc.

Per ciascun impianto è dunque fondamentale che siano svolte opportune operazioni di monitoraggio e manutenzione attraverso una pianificazione adeguata ed efficiente al fine di conservare le condizioni di sicurezza ottimali per il funzionamento dell’opera.

Le Condizioni Minime di Esercizio (CME) devono prendere atto di tutte le caratteristiche tecniche e delle prestazioni previste da progetto.

#### D.1.3 *Errore umano*

Nella gestione ordinaria e di emergenza intervengono numerosi soggetti con caratteristiche e competenze diversificate:

- gli operatori della sala operativa adibita al controllo ed alla gestione della galleria,
- il personale su strada con compiti di sorveglianza e gestione del traffico,
- il personale addetto alle attività di manutenzione,
- servizi pubblici esterni (Polizia Stradale, Vigili del Fuoco, Soccorso Sanitario, etc.),
- servizi di soccorso meccanico.

L’errore umano, legato alla disattenzione, alla inadeguatezza o alla lentezza, può essere origine di situazioni pericolose o diventare elemento aggravante.

La formazione specifica del personale di servizio è fondamentale per evitare errori o comportamenti inadeguati. Gli agenti che intervengono non dovranno avere comportamenti imprudenti che possano generare situazioni pericolose.

La predisposizione di procedure di manutenzione e d’emergenza pre-stabilite e condivise, accompagnate da esercitazioni periodiche, riduce la probabilità di errore umano. Le procedure dovranno essere redatte in modo rigoroso e seguite scrupolosamente.

Gli indicatori di disponibilità corsia (IDC) e la predisposizione di scenari automatici accorrerebbero in aiuto a impedire che una condizione pericolosa possa diventare causa di incidente nella struttura.

E’ indispensabile inoltre che sia i servizi di soccorso, sia le ditte esterne conoscano le caratteristiche e le dotazioni di sicurezza presenti in galleria e le procedure da adottare.

## *D.2 Inquinamento in galleria*

Valori anomali di qualità dell’aria potrebbero essere sintomo di mal funzionamento dell’impianto di ventilazione, quando presente. Il verificarsi di tale circostanza costituisce un evento di particolare pericolosità in quanto potrebbe precludere la corretta gestione della sicurezza in condizioni di emergenza.

## *D.3 Veicolo fermo / ostacolo in carreggiata*

### *D.3.1 Perdita di carico*

La perdita di carico può verificarsi oltre che nel caso d’incidente anche qualora un veicolo abbia una perdita delle merci trasportate o, più in generale, qualora un qualunque veicolo disperda il proprio carico perché non adeguatamente sistemato. Particolari rischi si possono verificare a seguito della dispersione di sostanze viscido o materiali tali che possono rendere scivoloso il piano viabile, o che possono costituire ostacoli sulle corsie di marcia, per la possibilità d’incidente dei veicoli in transito. Nei casi in cui viene disperso un carico costituito da materiale sciolto, le difficoltà di recupero divengono maggiori. Qualora il carico sia costituito da materiali o sostanze considerate dannose per la salute (residui della macellazione, rifiuti ospedalieri, liquami etc.) l’intervento di recupero può divenire particolarmente complesso per le cautele da adottare.



L’impianto di videosorveglianza permette la rapida rilevazione dell’evento. In caso di assenza di videosorveglianza o per le zone non coperte dallo stesso, la rilevazione può essere effettuata da:

- personale addetto con tempi che variano in funzione della frequenza di pattugliamento,
- utente tramite SOS o comunicazione via telefono ai numeri di emergenza con tempi di rilevazione più lunghi.

Una volta rilevato l’evento è necessario che sia attivata l’opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.



### D.3.2 *Veicolo fermo / Avaria*

Tra i casi di possibile ingombro della carreggiata è compreso quello che può verificarsi quando un veicolo, in particolare un mezzo pesante, per cause diverse (ad esempio perdita del battistrada) è costretto a fermarsi in posizione tale da intralciare anche solo parzialmente il transito degli altri veicoli.

Nel caso di un veicolo in panne, la presenza di una corsia di emergenza o di una piazzola di sosta permetterebbe la fermata dello stesso senza che rappresenti un intralcio alla circolazione.

L’impianto di videosorveglianza e le colonnine SOS permettono la rapida rilevazione dell’evento.

Una volta rilevato l’evento è necessario che sia attivata l’opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.



### D.3.3 *Presenza di animali vaganti/morti*

La presenza di animali vaganti/morti in galleria costituisce un ostacolo di particolare pericolosità. Inoltre bisogna prendere in considerazione anche le imprevedibili reazioni dell’animale spaventato dal sopraggiungere di un veicolo.

La recinzione della sede stradale riduce il verificarsi dell’evento per quanto riguarda gli animali selvatici. E’ da prestare maggiore attenzione per quanto riguarda gli animali domestici abbandonati.

L’impianto di sorveglianza sia in galleria che nei tratti prospicienti gli imbocchi, permette la rapida rilevazione dell’evento. In caso di assenza di videosorveglianza o per le zone non coperte dallo stesso, la rilevazione può essere effettuata da:

- personale addetto con tempi che variano in funzione della frequenza di pattugliamento,
- utente tramite SOS o comunicazione via telefono ai numeri di emergenza con tempi di rilevazione più lunghi.

Una volta rilevato l’evento è necessario che sia attivata l’opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV) al fine di segnalare tempestivamente l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria.

#### D.4 *Turbativa alla circolazione*

Creano turbativa alla circolazione eventi che si verificano in galleria e nei quali il traffico non sia regolare o comunque, anche se intenso, scorrevole. A crescenti difficoltà di deflusso dei veicoli corrispondono le situazioni di traffico rallentato, coda e traffico bloccato. Il verificarsi di uno dei suddetti eventi può dare luogo a:



- incidente coinvolgente i veicoli sopraggiungenti sull’evento e quelli fermi o in rallentamento al termine dello stesso;
- incidente tra i veicoli (tamponamento) in rallentamento o in coda tenuto conto delle ridotte distanze di arresto e delle discontinuità nella marcia;
- necessità di assistenza agli occupanti dei veicoli nel caso di arresto prolungato;
- necessità di soccorso ai veicoli eventualmente rimasti in panne.

L’analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall’estensore dell’IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche di traffico dell’opera, che possono essere individuati in termini di:

- volume di traffico (traffico giornaliero medio, stagionalità),
- composizione del traffico (traffico pesante, traffico ADR),
- regimi di traffico (traffico scorrevole, traffico congestionato).

Uno studio accurato sulle condizioni di traffico, comprese le previsioni future, può essere d’aiuto ad individuare specifiche criticità. Il Piano di Emergenza dovrà dunque individuare possibili itinerari alternativi per gli utenti, individuare le modalità di arrivo dei mezzi di soccorso presso gli imbocchi della galleria e sul luogo dell’incidente anche in caso di turbativa della circolazione.

Un’opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV), al fine di segnalare tempestivamente l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria, agevolerebbe la creazione di una via libera di accesso ai servizi di soccorso.

##### D.4.1 *Traffico rallentato / coda*

Il traffico risulta rallentato quando i veicoli procedono a velocità ridotta condizionandosi reciprocamente; la presenza di veicoli più lenti nel flusso diventa un fattore di ulteriore disagio. Nel caso si presenti una coda, i veicoli procedono lentamente con fasi di fermo e fasi

di movimento che tendono progressivamente all’arresto, la presenza di veicoli lenti crea dei vuoti nella coda veicolare, che tende ad allungarsi.

#### D.4.2 *Traffico bloccato*

Nell’evento traffico bloccato la sede stradale è ostruita totalmente e il transito dei veicoli è di fatto impossibile: i veicoli sono fermi in colonna, il cambio di corsia non è possibile. Il blocco può avvenire per una riduzione della larghezza della sede stradale per incidente o in presenza di lavori per un evento che si verifica nella carreggiata ridotta e ne compromette la transitabilità. Questa condizione può derivare anche dalle condizioni della strada (ad esempio ristagni di acqua, materiale disperso, etc.) o dell’ambiente circostante (ad esempio allagamento della sede stradale) che provocano l’arresto dei veicoli e ne impediscono la marcia.



#### D.5 *Violazioni del codice*

Per reato si intende ogni azione delittuosa nei confronti delle persone, delle merci e delle proprietà che si verifica in ambito stradale. Il verificarsi di un evento di questo tipo, oltre gli aspetti di danno nei confronti di persone e/o cose può dare anche luogo nella sua evoluzione a condizioni di rischio per la circolazione.

Il comportamento alla guida del conducente di un veicolo in transito incide in modo rilevante sui livelli di rischio della circolazione stradale. Esempi di comportamenti diffusi sono:

- guida in condizioni di affaticamento
- guida in stato di ebbrezza o sotto l’azione di sostanze psicotrope,
- mancata utilizzazione dei dispositivi di sicurezza del veicolo,
- presenza di pedoni in galleria,
- mancato rispetto dei limiti di velocità,
- mancato rispetto delle distanze di sicurezza,
- veicolo contromano.

Occorre un adeguato controllo e spingere il conducente verso un comportamento alla guida meno rischioso e più prudente. Svolgono in tal senso ruolo fondamentale i controlli ordinari della Polizia Stradale e l’uso di dispositivi di controllo della velocità.

### D.6 Ambiente

L’analisi statistica delle serie storiche sugli eventi incidentali in galleria, condotta dall’estensore dell’IRAM e mostrata nelle Linee Guida ANAS, ha mostrato una relazione tra frequenze di accadimento di eventi incidentali e caratteristiche dell’ambiente, che possono essere individuati in termini di:

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

Condizioni meteo avverse influiscono sulla sicurezza della circolazione stradale e devono portare ad una guida maggiormente prudente, in tal senso informative su PMV lungo la tratta saranno utili.

Frane e allagamenti, che producono l’occlusione parziale delle sedi stradali, perché invase da materiale o allagate, dovranno prevedere procedure di gestione dell’emergenza predefinite e condivise.

Il Piano di Emergenza dovrà dunque individuare possibili itinerari alternativi per gli utenti, individuare le modalità di arrivo dei mezzi di soccorso presso gli imbocchi della galleria e sul luogo dell’evento.

Un’opportuna segnaletica di gestione del traffico (IDC e PMV), al fine di segnalare tempestivamente l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria, agevolerebbe la creazione di una via libera di accesso ai servizi di soccorso.



### D.7 Incidente stradale

Evento nel quale risulta coinvolto almeno un veicolo in movimento che sia fuoriuscito dalla carreggiata, ovvero che in galleria sia venuto in collisione con altro veicolo, persona o ostacolo.

Il verificarsi di un incidente può dare luogo singolarmente o nel complesso a:

- danni alle persone,
- danni ai veicoli,
- turbativa alla circolazione,
- incendio,
- rischio di perdita o dispersione di sostanze,



- dispersione di materiale,
- danni alle strutture,
- investimento di animali.

L’impianto di videosorveglianza, ancorché dotato di un sistema di rilevazione automatica incidente, permette una rapida rilevazione dell’evento.



Una volta rilevato l’incidente è necessario che sia attivata la segnaletica di gestione del traffico (PMV e IDC) al fine di:

- segnalare l’evento agli utenti che stanno per entrare in galleria,
- evitare incidenti a catena,
- creare una via di accesso libera alle squadre di soccorso.

Un sistema di controllo da remoto degli impianti permetterà di gestire gli stessi in funzione dell’evento critico rilevato e ridurre ulteriormente i tempi d’intervento e di soccorso.

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l’assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

#### *D.8 Incendio*

Lo stato di emergenza provocato da un incendio deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi a causa dell’effetto della propagazione dei fumi. E’ infatti sempre molto difficile stabilire in maniera sicura nell’immediato l’entità dell’evento, quante persone sono rimaste coinvolte, quanti veicoli e di che tipo, se c’è dispersione di sostanze trasportate da uno dei veicoli coinvolti, etc. Inoltre gli incidenti all’interno di tali infrastrutture in caso d’incendio, comportano la formazione di atmosfere incompatibili con la normale gestione operativa e addirittura l’impossibilità di raggiungere il luogo del sinistro. Durante un incendio infatti, essendo l’ambiente chiuso, il fumo limita non solo l’evacuazione delle persone, ma rallenta anche l’intervento dei soccorritori sia per l’irrespirabilità dell’aria, sia per le elevate temperature che vengono a formarsi. Inoltre i veicoli rimasti bloccati e/o abbandonati costituiscono intralcio all’azione di soccorso.

L’impianto di videosorveglianza ed un sistema di rilevazione automatica d’incendio (cavo fibrolaser, rilevatori CO-OP, etc.), permettono una rapida rilevazione dell’evento.

Una volta rilevato l’incidente è necessario che sia attivata la segnaletica di gestione del traffico (PMV e IDC) secondo modalità prescritte nel Piano di Gestione delle Emergenze.

Un sistema di controllo da remoto degli impianti permetterà di gestire gli stessi in funzione dell’evento critico rilevato e ridurre ulteriormente i tempi d’intervento e di soccorso.

Un impianto di ventilazione meccanica permette la gestione ed il contenimento dei fumi nelle diverse condizioni di traffico. Assume grande importanza prevedere un algoritmo per l’ottimizzazione, l’attivazione e la gestione della ventilazione in caso d’incendio.

Un sistema di illuminazione di evacuazione può essere di aiuto agli utenti nel processo di esodo in caso di presenza di fumo.

La presenza di un impianto idrico antincendio risulta fondamentale per combattere le conseguenze dello stesso.

Bisogna tener conto inoltre delle caratteristiche di resistenza al fuoco degli impianti e loro componenti, per garantire le necessarie funzionalità in caso d’incendio.

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l’assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

#### *D.9 Incidenti con merci pericolose*

Sono gli incidenti che coinvolgono veicoli trasportanti merci pericolose (secondo l’ADR o comunque classificate a rischio per la salute). Merci pericolose pongono notevoli problemi sia alle persone coinvolte nell’incidente, sia alle persone presenti, sia ai soccorritori e sia all’ambiente circostante.

Il coinvolgimento in un incidente di un veicolo trasportante merci pericolose può determinare lo sversamento di sostanze sul manto stradale o il veicolo può rovesciarsi mantenendo i contenitori intatti. In ogni caso si deve procedere con le necessarie cautele a rimettere in assetto di marcia il veicolo ed è fondamentale la disponibilità in tempi ridottissimi di squadre e mezzi specializzati.

Nel caso d’incendio, la presenza di sostanze pericolose pone ulteriori problemi relativi:

- alla maggiore potenza dell’incendio,
- alla formazione di fumi nocivi,
- al pericolo di esplosione.

Un sistema di raccolta dei liquidi sversati sulla piattaforma è fondamentale per impedire il propagarsi di liquidi infiammabili e tossici all’interno di un fornice e tra i fornici.



Procedure e regolamenti di traffico riguardo VTMP possono diminuire la frequenza di accadimento di incidenti coinvolgenti merci pericolose.

La possibilità di mitigazione degli effetti dipende dalla predisposizione di misure, risorse e procedure che garantiscano un efficace e tempestivo soccorso (tecnico e sanitario), nonché l’assistenza e la sicurezza degli utenti. La pianificazione di tali misure deve costituire parte fondamentale del Piano di Gestione delle Emergenze.

#### *D.10 Esplosione*

Lo stato di emergenza provocato da un’esplosione in galleria deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi. E’ infatti sempre molto difficile stabilire in maniera sicura nell’immediato l’entità dell’evento, quante persone sono rimaste coinvolte, quanti veicoli e di che tipo, se c’è dispersione di sostanze trasportate da uno dei veicoli coinvolti, etc.

Le esplosioni sono generalmente conseguenti a incidenti coinvolgenti VTMP.

#### *D.11 Azione terroristica / catastrofe naturale*

Lo stato di emergenza provocato deve essere necessariamente classificato tra i più impegnativi data la criticità e l’impossibilità di prevedere la natura dell’evento.



## **E. Il metodo IRAM (Italian Risk Analysis Method)**

La metodologia di analisi di rischio utilizzata è descritta dalle "Linee Guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali", nota con la dicitura di IRAM (Italian Risk Analysis Method), ampiamente utilizzata in Italia e già confermata alla Commissione Permanente per le Gallerie ex. art. 4 del D.Lgs 264/06 che ha approvato con tale metodologia oltre trenta gallerie della rete autostradale italiana.

Tale metodologia, con tutte le approssimazioni e le incertezze connesse ad un metodo statistico, costituisce un utile strumento di raffronto tra differenti ipotesi di intervento e tra differenti gallerie in rapporto ai criteri di accettazione del rischio previsti dalla norma a cui la metodologia fa strettamente riferimento.

E' evidente che il metodo adottato dà utili indicazioni sul rischio residuo connesso ad un'infrastruttura in sotterraneo in un determinato arco temporale ed ha in sé i limiti insiti nel concetto di rischio che non può essere misurato come una grandezza fisica ma soltanto calcolato mediante processi matematici di tipo statistico.

Con queste premesse lo studio fornirà indicazioni sul livello di rischio associato ad una determinata galleria e ad una determinata configurazione di esercizio e di dotazioni di sicurezza con tutte le approssimazioni del caso, confrontandola con i criteri di accettazione previsti dal D. Lgs 264/06.

La metodologia è dettagliata nelle "Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" emesse da ANAS SpA con Circolare n.17/06 del 28/11/2006 e rimesse con circolare n.CDG-0179431-P del 09/12/2009.

L'Italian Risk Analysis Method descritto nelle Linee Guida adotta l'Approccio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze e trae presupposto da quanto noto nel campo della valutazione del rischio in materia di sicurezza e salute pubblica; in particolare sono stati presi a riferimento i seguenti principi a carattere generale:

- la sicurezza è materia di giudizio;
- livelli di sicurezza verificabili non esistono e sono impossibili da fissare;
- l'eliminazione del rischio non può essere richiesta, vale a dire, livelli di rischio nullo non possono essere prescritti;
- un livello di sicurezza è il livello che può essere ragionevolmente previsto dia origine ad un rischio accettabile per la popolazione potenzialmente esposta nel contesto socio-economico caratteristico della nazione nella quale la struttura è realizzata;
- un livello di sicurezza, essendo inferito dalle conoscenze scientifiche e basato sul giudizio degli esperti, risulta affetto da incertezze;

- la fattibilità sia tecnica sia economica non costituisce una base sulla quale fissare un livello di sicurezza, vale a dire, la migliore tecnologia disponibile non è rilevante nel fissare un livello di sicurezza;
- gli standard devono essere più stringenti dei livelli di sicurezza corrispondenti al rischio accettabile, per assicurare un margine rispetto alle incertezze che affliggono la definizione dei livelli di sicurezza;
- Il Livello di Sicurezza Accettabile è il risultato di una scelta su base giuridica di un livello di rischio per la salute pubblica fissato da uno stato come accettabile nel contesto socio-economico caratteristico della nazione nella quale è realizzata l’infrastruttura.

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

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

La Determinazione del Livello di Rischio, in accordo al modello adottato, si ottiene come Convoluzione delle Funzioni di Distribuzione caratterizzanti le Probabilità di Accadimento degli Scenari di Pericolo e delle Funzioni di Distribuzione caratterizzanti le Conseguenze derivanti dalla realizzazione degli Scenari di Esodo.

Il Modello di Rischio (IRAM) utilizza tecniche note e codificate:

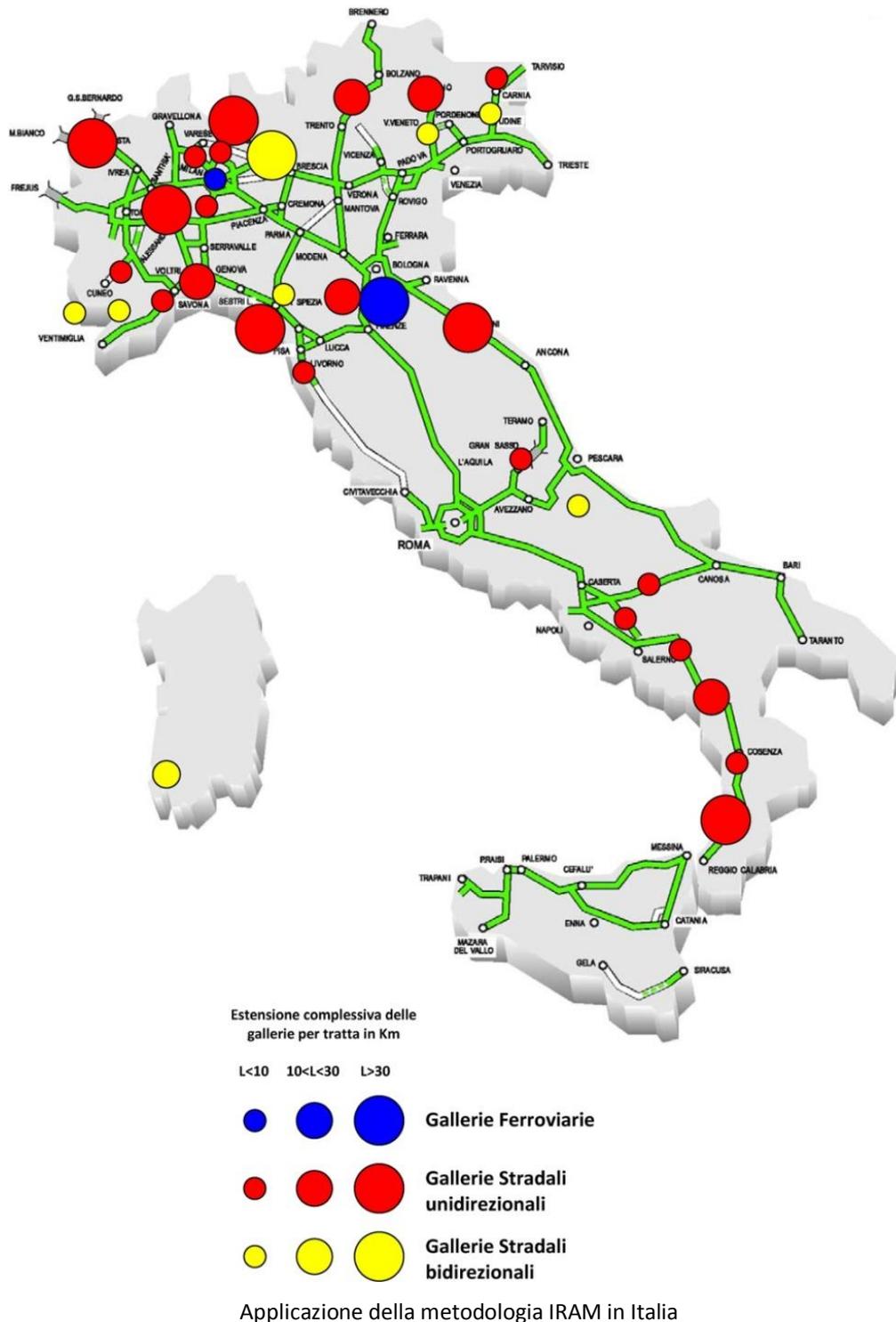
- tecniche probabilistiche di identificazione e caratterizzazione degli eventi incidentali rilevanti pertinenti al sistema (funzioni di distribuzione, alberi degli eventi);
- tecniche probabilistiche di rappresentazione degli scenari di pericolo possibili, condizionati nell’evoluzione dall’affidabilità e dall’efficienza dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza protettive in condizioni di emergenza (alberi degli eventi);
- tecniche di soluzione analitiche e numeriche dei modelli formulati per rappresentare il flusso del pericolo nella struttura, determinato dai fenomeni termici e fluidodinamici indotti da specifici eventi incidentali, al fine di caratterizzare l’ambiente interno alla struttura nel quale si realizza il processo di esodo degli utenti

coinvolti e l’azione degli addetti al soccorso (modelli termo-fluidodinamici semplificati, modelli formulati e risolti adottando il metodo della Fluidodinamica Computazionale);

- tecniche statistiche di soluzione dei modelli di esodo degli utenti dalla struttura in condizioni di emergenza (tecniche Monte Carlo);
- tecniche analitiche e grafiche di rappresentazione del rischio connesso ad una galleria stradale (curve cumulate complementari);
- criteri di valutazione del rischio congruenti con dottrine di accettabilità del rischio note e codificate.

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

La metodologia IRAM per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, oggi disponibile anche in software EURAM 2.0, è stata già applicata nella valutazione del rischio associato ad oltre 400 gallerie in esercizio/progettazione.



E.1 Diagramma di flusso IRAM

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

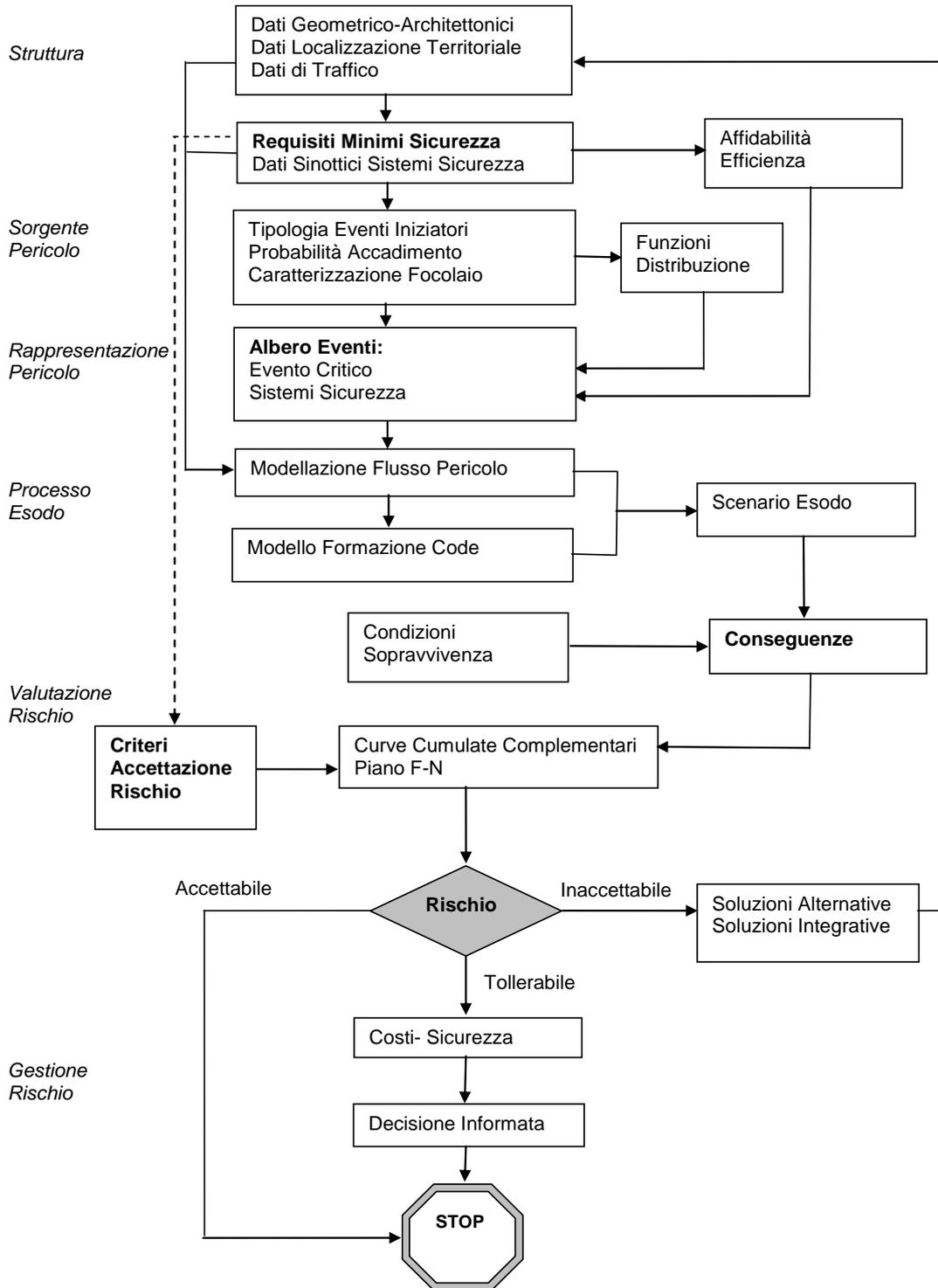


Diagramma di flusso IRAM

## E.2 *Eventi critici iniziatori*

La selezione degli eventi critici iniziatori rappresenta un passo essenziale dell’analisi di rischio.

Il D.Lgs n 264/2006 all’allegato 3 delinea la metodologia di analisi di rischio analitica e ben definita che intende adottare per rispondere a quanto richiesto dalla Direttiva 54/2004/CE limitandone anche il campo di applicazione, ed infatti al citato allegato 3 recita *“la metodologia qui presentata si riferisce esclusivamente all’analisi degli eventi considerati critici nello specifico ambiente confinato delle gallerie vale a dire incendi, collisioni con incendio, sversamenti di sostanze infiammabili, rilasci di sostanze tossiche e nocive. Eventi propri dell’incidentalità stradale, connessi a caratteristiche geometriche dell’infrastruttura e non indotti dallo specifico ambiente galleria, che non comportino per l’utenza rischi aggiuntivi rispetto ai rischi connessi alla circolazione stradale, sono da considerarsi e da fronteggiarsi per la prevenzione nell’ambito della regolamentazione del traffico e della progettazione stradale. Le vittime di questi ultimi incidenti vanno contabilizzate nell’ambito dell’incidentalità stradale.”*

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

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

### E.2.1 *Incidentalità nelle gallerie*

Nell’ambito di un’analisi di rischio è fondamentale la corretta individuazione degli eventi critici iniziatori. Una quota rilevante degli eventi critici che si possono verificare in galleria sono determinati dall’incidentalità stradale, che quindi deve essere opportunamente stimata tenendo conto delle specifiche caratteristiche della galleria in esame.

Per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente si tiene conto dei seguenti dati di riferimento, per gallerie autostradali:

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

Questi dati possono essere confrontati con gli analoghi relativi ai 5 anni precedenti, pubblicati dall’AISCAT.

A fronte di una più contenuta numerosità degli incidenti in galleria rispetto ai tratti all’aperto si registra una maggiore severità delle conseguenze. Con riferimento agli incidenti severi, cioè quelli in cui si registra la presenza di almeno un ferito, gli studi svolti presso l’Università degli Studi di Salerno hanno mostrato che si verificano in media circa 12 incidenti severi per 100 milioni di veicoli al km in galleria contro 9 incidenti severi per 100 milioni di veicoli al km sulle corrispondenti autostrade che contengono tali strutture.

Gli eventi incidentali non possono essere previsti in modo deterministico, ma devono essere caratterizzati in termini probabilistici.

Le probabilità di accadimento degli insiemi di eventi critici rilevanti, dunque, saranno modellate da specifiche funzioni di distribuzione inferite dall’analisi statistica delle serie storiche di dati disponibili sull’incidentalità in galleria.

L’analisi probabilistica mira ad individuare la frequenza attesa degli eventi critici che sono all’origine degli scenari analizzati nella successiva analisi di rischio.

Le possibili procedure per definire la frequenza incidentale sono di tre tipi:

1. Analisi storica dell’incidentalità stradale nella galleria in esame;
2. Utilizzazione di dati di letteratura sull’incidentalità generica e specifica in galleria;
3. Utilizzazione di modelli previsionali di incidentalità.

Attraverso l’utilizzo dei modelli previsionali di incidentalità è possibile tener conto sia delle caratteristiche specifiche che di quelle generali delle gallerie in esame. I dati acquisiti in questo modo costituiranno una stima attendibile delle frequenze di accadimento degli eventi, considerando le incertezze derivanti dai modelli e dall’aleatorietà del fenomeno.

La stima di incidentalità della galleria in esame è un dato fondamentale per poter formulare una corretta analisi di rischio. L’esperienza acquisita riguardo alla previsione dell’incidentalità propone modelli di previsione di incidentalità, anche detti Accident Prediction Model (APM), che consentono di stimare il tasso di incidentalità. La stima si basa su modelli sviluppati dai dati di incidentalità osservati per un certo numero di singoli siti.

Il modello di incidentalità proposto è sviluppato a partire da un’equazione di regressione multivariata, la cosiddetta Safety Performance Function (SPF), usando database storici di incidenti in gallerie monodirezionali appartenenti a tratte autostradali italiane.

Per l’analisi in oggetto occorrerà stimare il tasso d’incidentalità di gallerie in progetto, di cui NON sono disponibili i dati storici di incidentalità. La stima avverrà attraverso un modello previsionale di incidentalità che permette di stimare il dato basandosi sulle serie storiche, parametrizzate secondo le caratteristiche specifiche di ciascuna galleria, eliminando gli

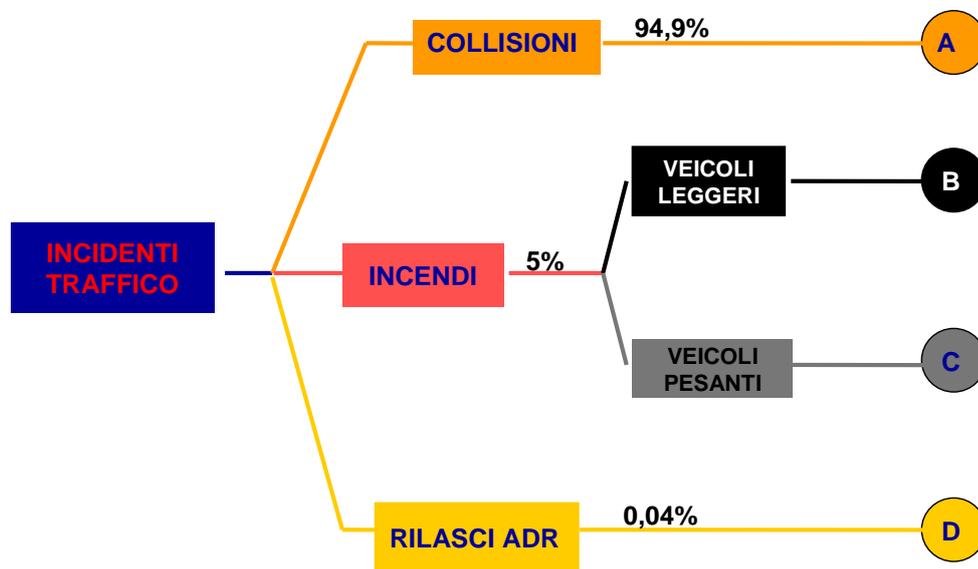
effetti distorsivi indotti solitamente dalla limitata ampiezza temporale dei dati storici disponibili.

### E.2.2 Caratterizzazione probabilistica

Le probabilità di accadimento degli eventi critici rilevanti possono essere determinate utilizzando approcci diversi:

- analisi dei dati storici,
- tecnica dell’albero degli eventi,
- giudizio degli esperti.

La successiva figura quantifica in termini di probabilità di accadimento gli eventi critici iniziatori.



probabilità di accadimento eventi critici

Le probabilità di accadimento degli insiemi di eventi critici rilevanti sono modellate da specifiche funzioni di distribuzione inferite dall’analisi statistica delle serie storiche di dati disponibili sull’incidentalità in galleria.

Gli eventi critici, al pari delle calamità naturali, sono eventi statistici con caratteristiche particolari:

- l’accadimento è aleatorio nel tempo;
- le probabilità di accadimento sono basse e le conseguenze elevate.

Gli eventi statistici sono eventi incidentali che non possono essere previsti in modo deterministico, ma che possono essere caratterizzati solo in termini probabilistici, attraverso un ente matematico noto come funzione distribuzione di probabilità. Una funzione

distribuzione di probabilità è l’equivalente statistico della funzione analitica utilizzata nell’analisi matematica elementare per definire il legame esistente tra due grandezze.

Il tratto che distingue i due enti matematici richiamati è la natura delle grandezze coinvolte nelle definizioni: le grandezze correlate da una funzione distribuzione di probabilità sono grandezze statistiche mentre le grandezze correlate da una funzione analitica sono grandezze deterministiche.

Le funzioni distribuzione di probabilità, alla stessa stregua delle funzioni analitiche, sono funzioni continue e derivabili. La sottolineatura dei concetti di continuità e derivabilità delle funzioni di distribuzione è funzionale alla comprensione delle caratteristiche precipe della metodologia IRAM per il calcolo del rischio di una galleria.

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

La funzione distribuzione di probabilità di Poisson è definita come:

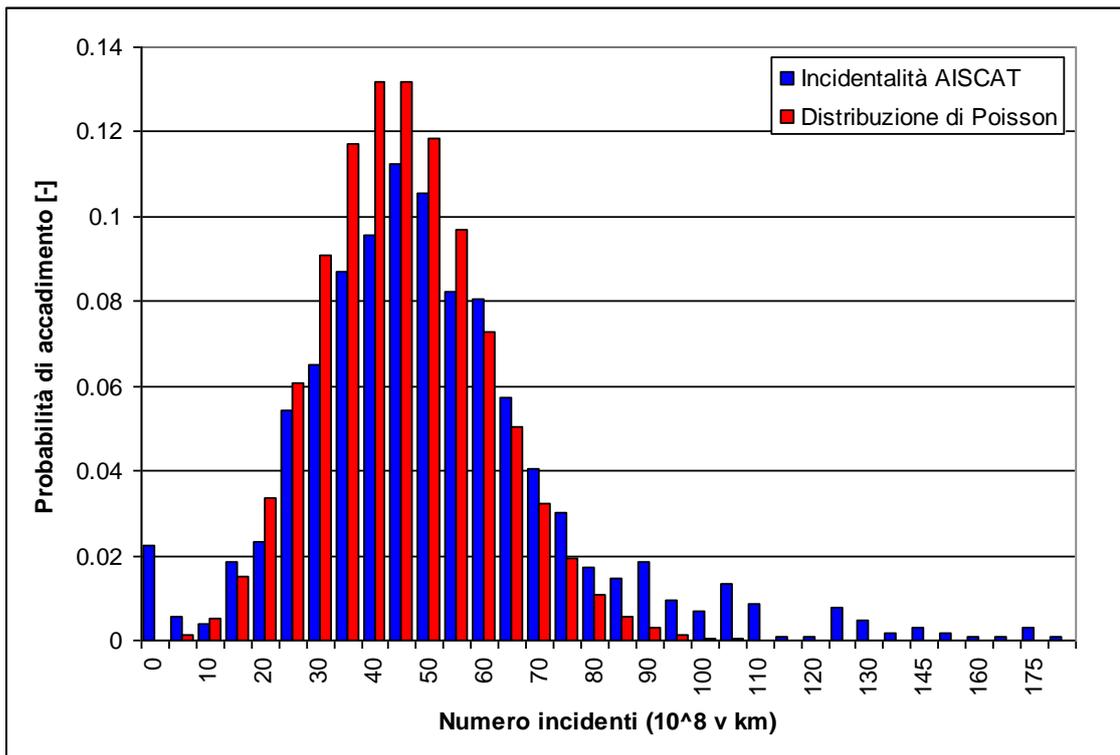
$$f = ((\alpha t)^\lambda / \lambda!) \times e^{-\alpha t}$$

dove  $\lambda$  è parametro caratteristico della funzione di Poisson, identificabile con il valore medio del tasso di accadimento dell’evento critico per la quale è stata determinata.

L’esame delle statistiche incidentali reperibili nella letteratura libera evidenzia come:

- la probabilità di accadimento di un evento di incendio nelle gallerie stradali non supera in alcun caso 15 incendi per  $10^8$  veicoli per chilometro,
- le gallerie urbane sono caratterizzate da una frequenza di accadimento maggiore delle altre tipologie di galleria,
- il 40% delle gallerie analizzate non è mai stato interessato da eventi di incendio,
- la frequenza di accadimento di eventi di incendio causati da veicoli pesanti è molto maggiore rispetto alla frequenza connessa ad eventi che coinvolgono le autovetture,
- una frequenza di accadimento compresa fra un incendio al mese e un incendio all’anno per galleria, si riscontra solamente per i tunnel molto lunghi e per i tunnel molto trafficati.

La successiva figura mostra i risultati ottenuti dall’analisi statistica delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale fornite dall’AISCAT per il periodo 2001-2005 e l’interpolazione ottenuta utilizzando un modello di inferenza statistica poissoniano.



analisi statistica delle serie storiche di eventi incidentali rilevati sulla rete stradale nazionale

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

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

Dove l’acronimo FDP individua la Funzione Distribuzione di Probabilità, mentre il simbolo \* individua l’operazione prodotto di convoluzione tra la funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento dell’evento critico considerato ed i numeri rappresentativi del volume di traffico e della lunghezza della galleria. L’operazione prodotto di convoluzione degenera nell’operazione prodotto ordinario quando in luogo della funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento di un evento critico si utilizza il valore medio del tasso di accadimento di un evento critico.

L’adozione del valore medio del tasso di accadimento di un evento critico presuppone sia introdotta la seguente ipotesi:

*la funzione distribuzione di probabilità del tasso di accadimento di un evento critico è una funzione distribuzione di probabilità uniforme.*

La grandezza valore medio del tasso di accadimento di un evento critico è una grandezza statistica variabile nel tempo. Il valore medio del tasso di accadimento di un evento critico stimato in un certo anno è diverso dal valore medio del tasso di accadimento stimato in anni precedenti o successivi.

La variazione del valore medio del tasso di accadimento di un evento critico per anno, nella metodologia IRAM è valutata attraverso la relazione:

$$f(t) = ae^{-bt}$$

dove  $a$  individua il valore medio del tasso di accadimento stimato per l’anno assunto come riferimento,  $b$  individua il fattore di crescita atteso del valore medio del tasso di accadimento,  $t$  è il tempo espresso in anni.

La metodologia di analisi di rischio IRAM determina le funzioni distribuzione di probabilità rappresentative delle frequenze di accadimento degli eventi critici a partire dalle serie storiche dei dati di incidentalità in galleria, dalle basi dati relative alla caratterizzazione del traffico e dell’ambiente circostante (meteo) a disposizione. L’affidabilità e la rappresentatività delle stime ottenute sono incrementate attraverso l’applicazione del teorema di Bayes al complesso di dati di incidentalità derivati dalle serie storiche della rete italiana e dalle serie storiche raccolte da enti statistici internazionali relative a sistemi di trasporto europei.

I tassi di accadimento adottati per la stima delle frequenze di accadimento e per la determinazione del rischio mediante il modello IRAM sono determinati applicando il teorema di Bayes adottando il metodo della massima verosimiglianza considerando come variabili le caratteristiche del tracciato e le condizioni meteo.

### E.2.3 *Incendio*

Gli scenari incendio riguardano quegli eventi critici che colpiscono unicamente lo spazio traffico. Gli incendi che colpiscono i locali tecnici non sono presi in considerazione.

Gli incendi possono essere spontanei:

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

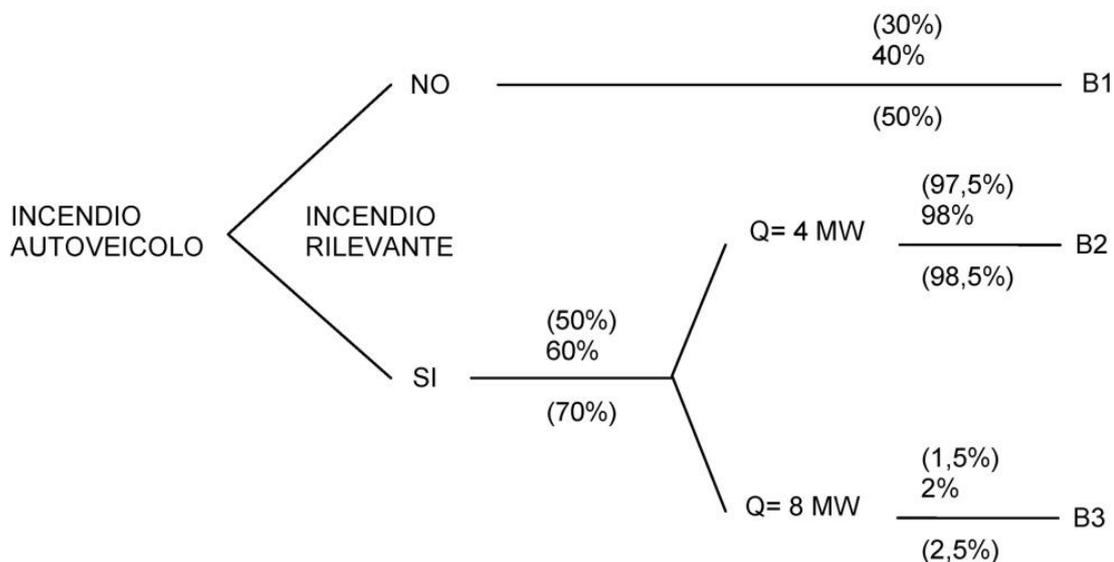
o aver luogo a seguito di un incidente che può avere diverse origini:

- mancanza di rispetto del Codice della Strada (velocità, interdistanza),
- perdita di controllo del veicolo (guida pericolosa, difetto meccanico),

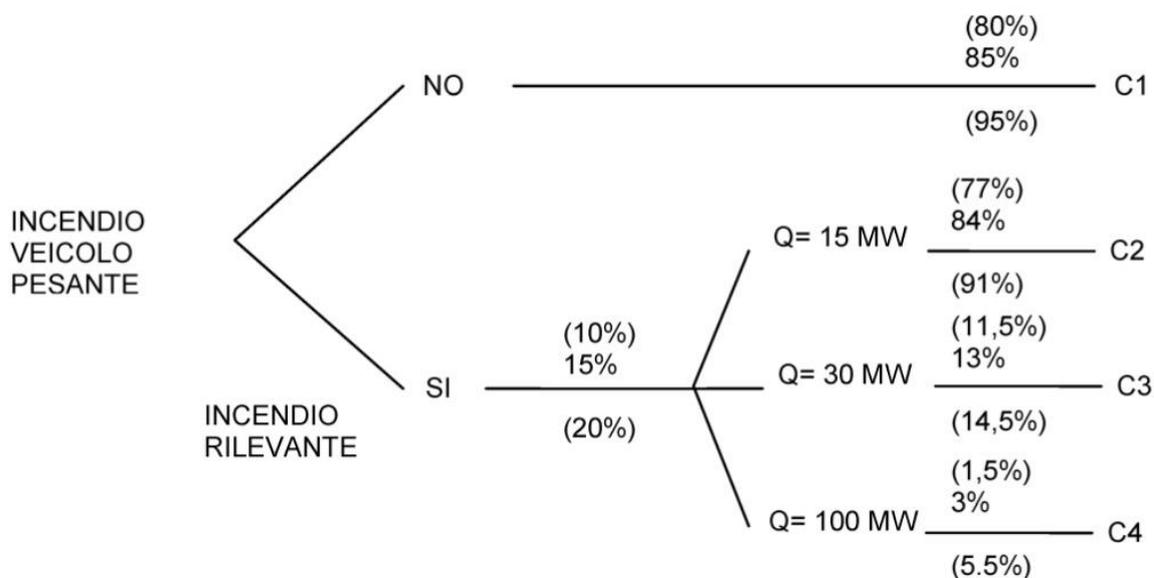
- incontro di un ostacolo sulla carreggiata,
- collisione con veicolo fermo sulla carreggiata,
- etc.

Le successive figure mostrano due ripartizioni possibili del sottoinsieme degli eventi di incendio in una galleria stradale, come determinate dall’analisi di serie storiche di dati di incidentalità riportata nelle Linee Guida ANAS, e rappresentate utilizzando una tecnica albero degli eventi per due categorie di veicoli:

- veicoli leggeri,
- veicoli pesanti.

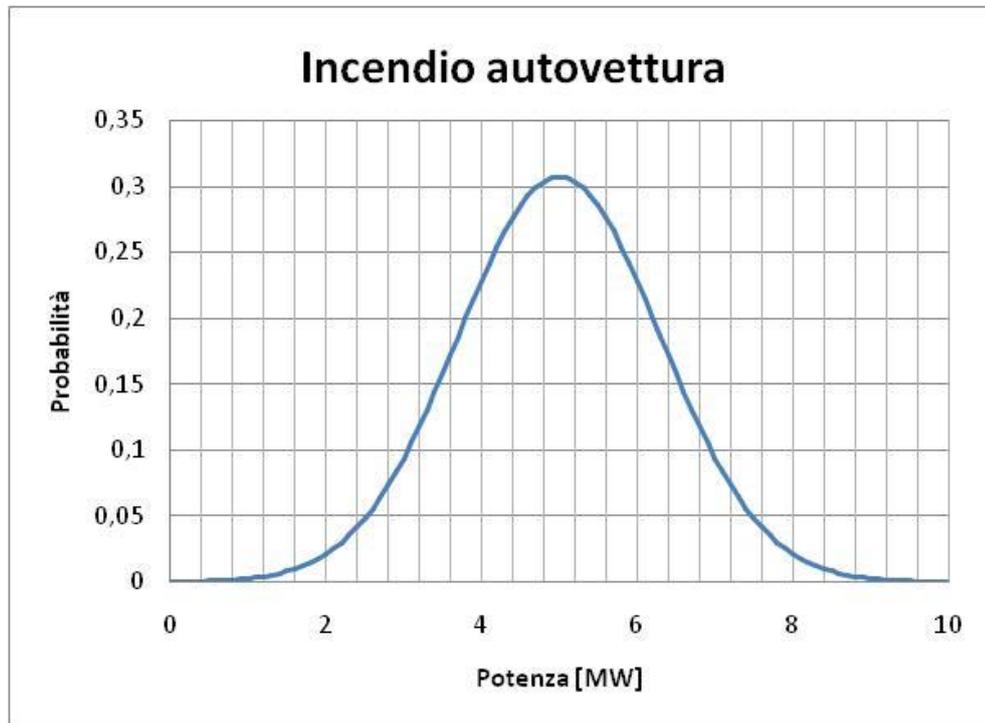


Probabilità di accadimento: incendio veicolo leggero



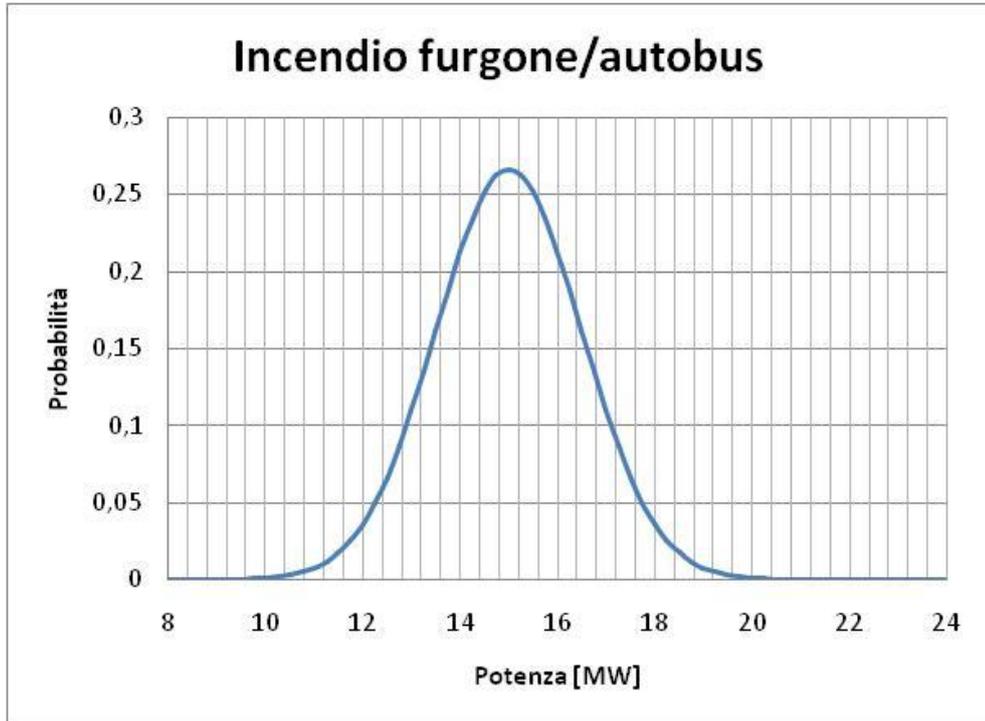
Probabilità di accadimento: incendio veicolo pesante

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

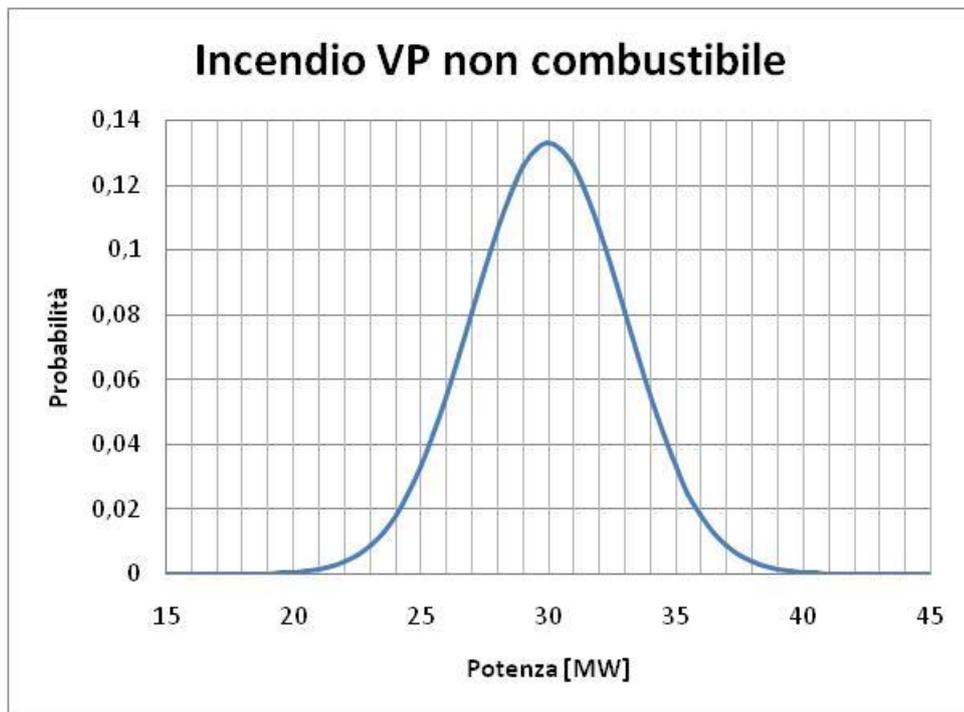


funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 5MW

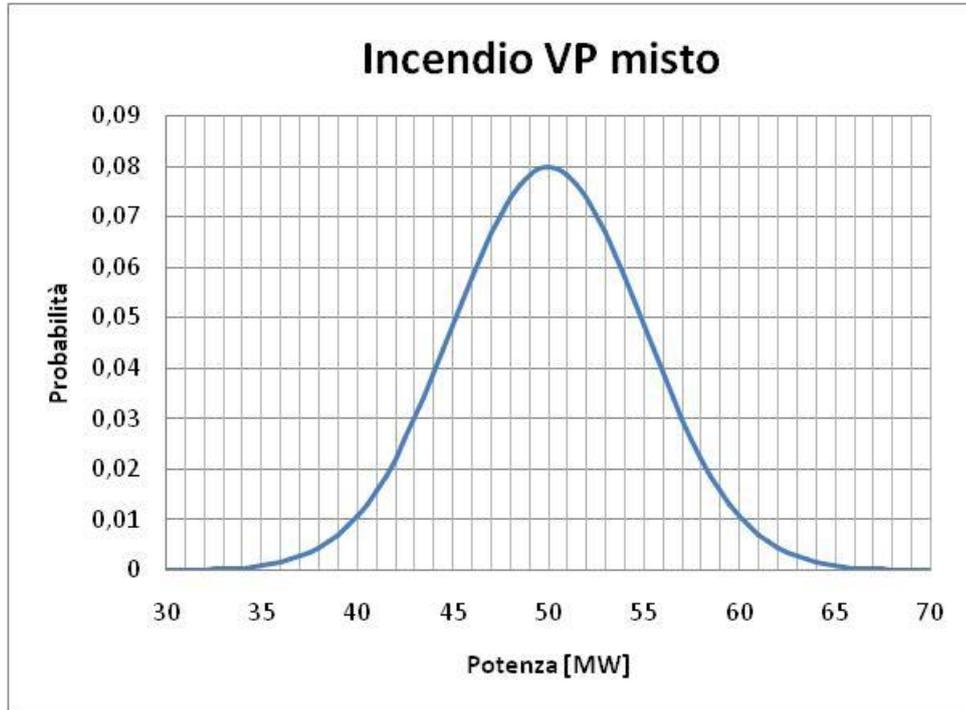
Relativamente ai veicoli pesanti, vista l’elevata pericolosità, si aggiunge una funzione di distribuzione di probabilità incentrata su una potenza di incendio pari a 50 MW, mantenendo distribuzioni di probabilità di accadimento coerenti con i valori delle Linee Guida ANAS.



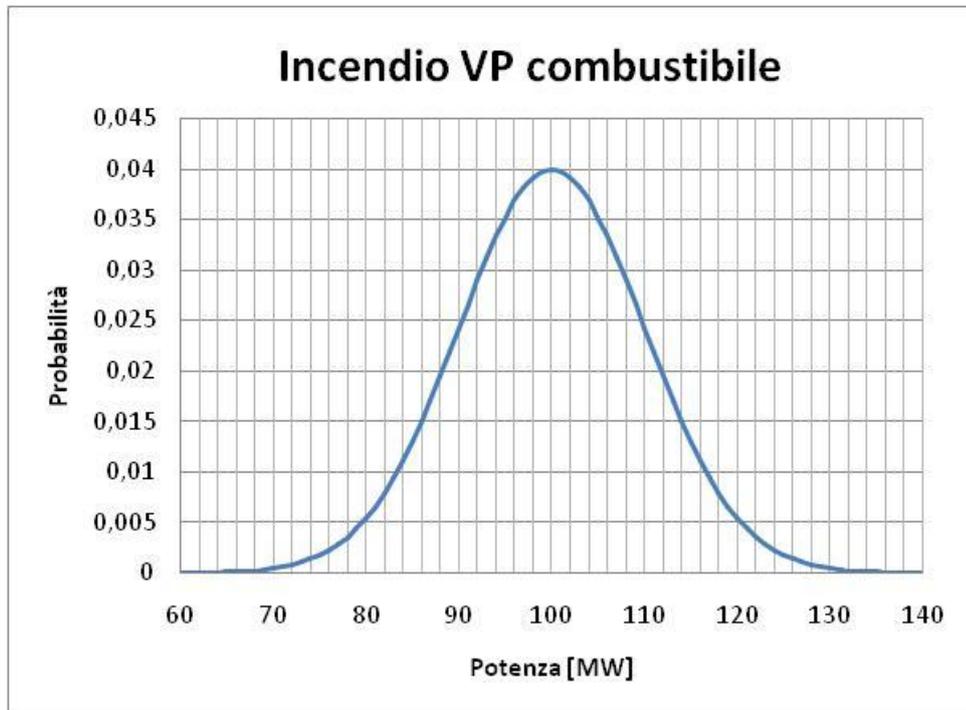
funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 15 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 30 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 50 MW



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 100 MW

#### E.2.4 Rilascio di sostanze pericolose

A seguito di un incidente che coinvolge un TMP può seguire una dispersione di sostanze pericolose. Esiste una grande varietà di sostanze pericolose e di rischi che esse comportano. Di seguito si riporta la loro classificazione internazionale.



Classificazione internazionale MP

La dispersione di sostanze pericolose può provocare:

- rischio di slittamento di veicoli sopraggiungenti ed di incidente a catena,
- rischio di intossicazione degli utenti,
- rischio di tamponamenti.

I possibili incidenti a catena, a seguito del passaggio di veicoli nella sostanza sversata, possono essere:

- fuoco di torcia,
- fuoco di strato,
- esplosione di una nube di vapore (VCE)
- vaporizzazione esplosiva della cisterna sottoposta a un fuoco esterno (BLEVE).

Soltanto la presenza di un efficace e sicuro sistema di drenaggio e smaltimento che impedisca importanti pozze di liquido può consentire di ridurre la probabilità di aggravio di incidenti iniziali e del verificarsi di eventi estremi come VCE e BLEVE.

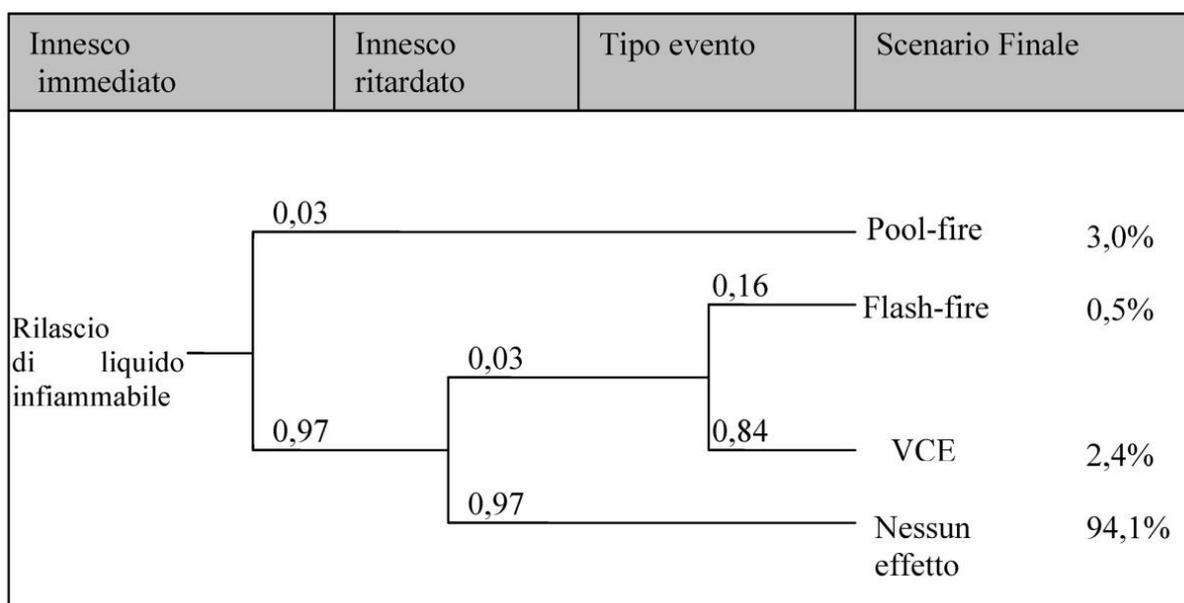
I dati di frequenza dedotti dalle Linee Guida ANAS riportanti le percentuali di incidenti in galleria caratterizzati da evento critico “rilascio ADR” sono i seguenti.

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

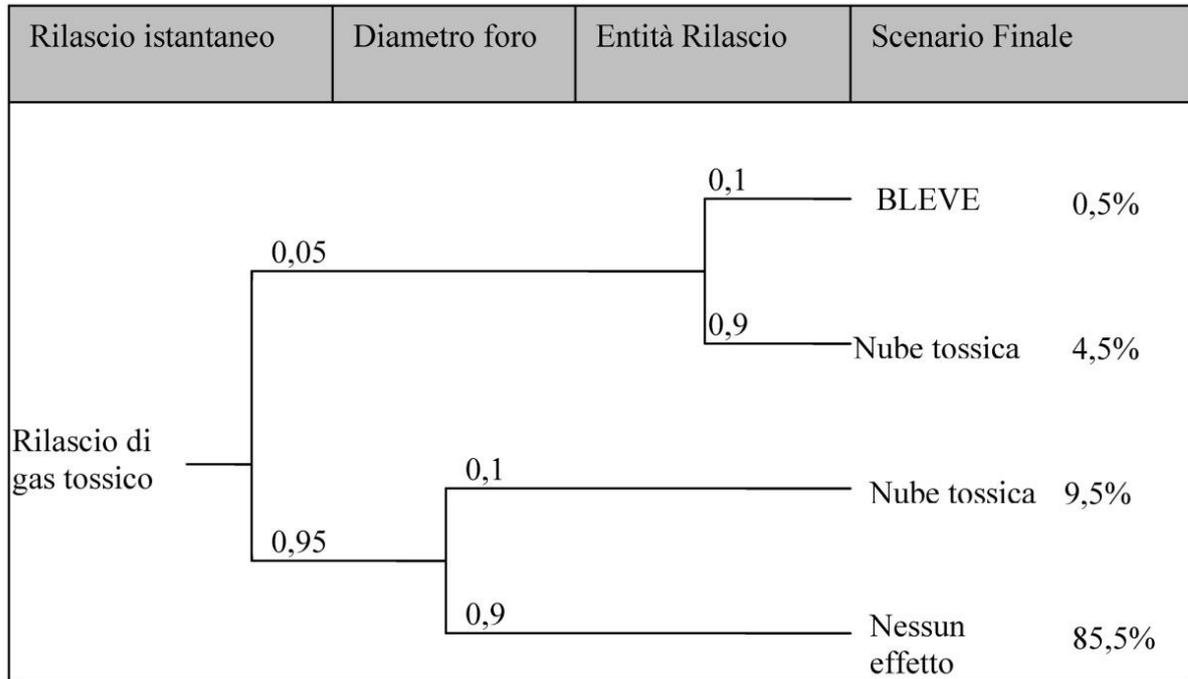
Ripartizione rilasci ADR

I successivi alberi degli eventi quantificano in termini di probabilità di accadimento gli scenari di pericolo generati da eventi critici connessi al transito di veicoli.

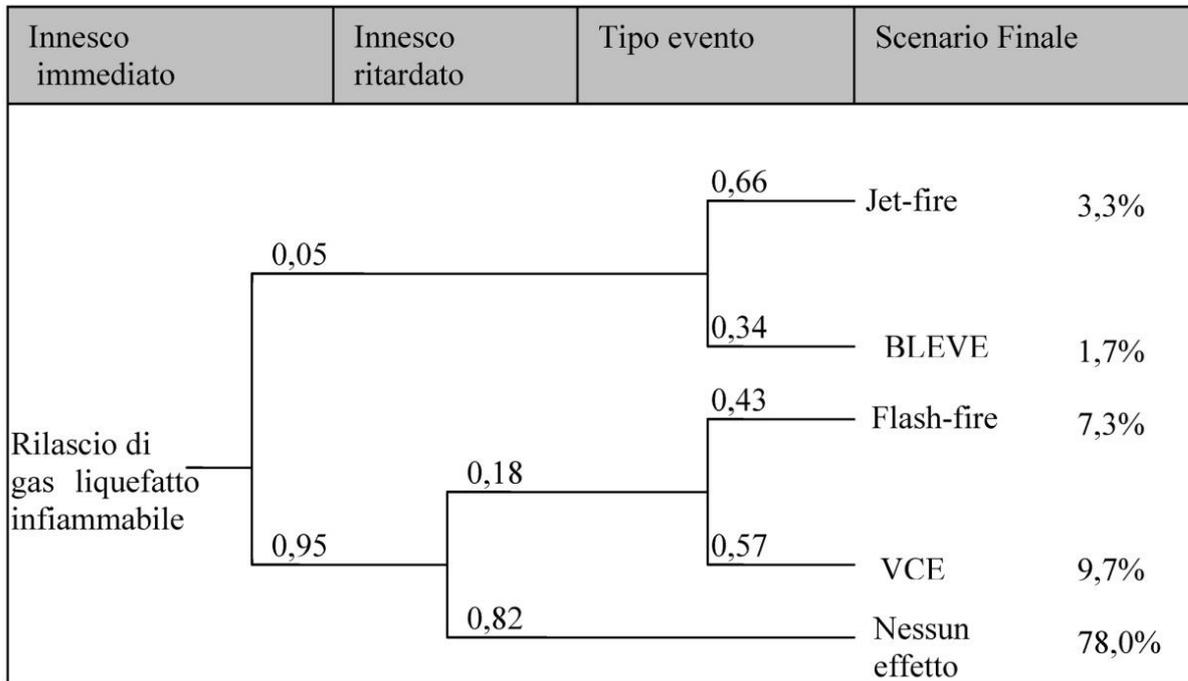
Le probabilità riportate negli alberi degli eventi derivano dall’elaborazione statistica dei dati contenuti nella banca dati MIDHAS (Major Hazard Incident Data Service, OHS\_ROM Luglio 2004) riportata nelle Linee Guida ANAS.



Scenario rilascio liquido infiammabile

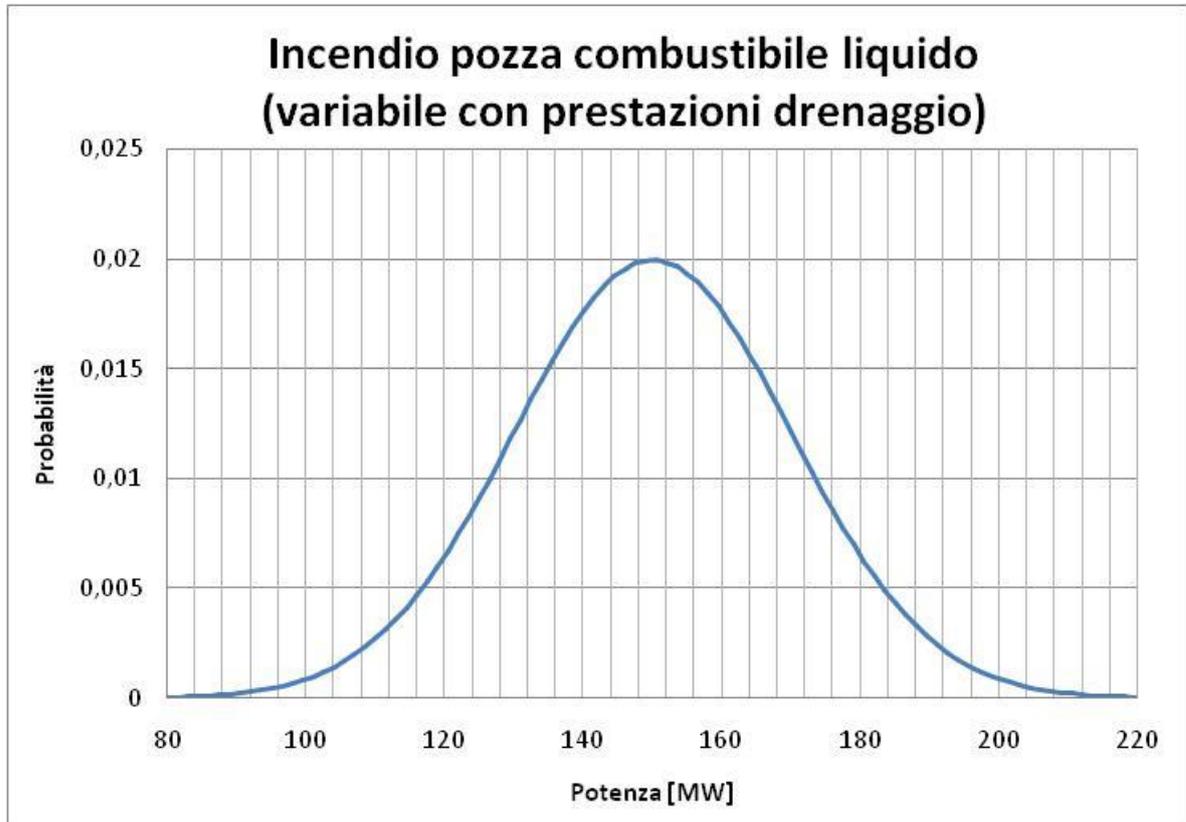


Scenario rilascio gas tossico



Scenario rilascio gas liquefatto infiammabile

Relativamente ai VTMP le probabilità di accadimento vengono accorpate ed espresse sotto forma di funzione di distribuzione di probabilità incentrata su un valore medio di potenza del focolaio pari a 150 MW.



funzione di distribuzione di probabilità focolaio potenza media 150 MW

### E.2.5 Caratterizzazione energetica

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

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

		<b>Energia</b>	<b>P<sub>T</sub></b>	<b>Q̇</b>
<b>Veicolo da turismo</b>	Piccolo	6000 MJ		
	Grande	12000 MJ	18000 MJ	8 MW
<b>Furgone Carico</b>	Allestimento	9000 MJ		
	a) prodotti cellulosici	24000 MJ	33000 MJ	
	b) liquido infiammabile	54000 MJ	63000 MJ	15 MW
<b>Veicolo pesante Carico</b>	Motrice	7000 MJ		
	Semirimorchio	25000 MJ		
	Combustibile autotrazione (500 l)	18000 MJ	50000 MJ	30 MW
	a) prodotti cellulosici	280000 MJ	330000 MJ	
	b) liquido infiammabile	400000 MJ	450000 MJ	100 MW

Potenze termiche generate

I risultati ottenuti dall’applicazione della relazione riportata sono sintetizzati nella tabella precedente dove E è l’energia attribuita ai singoli componenti costituenti il focolaio, P<sub>T</sub> è l’energia complessiva attribuita al focolaio, Q̇<sub>M</sub> è la potenza massima generata dal focolaio.

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

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

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

Caratterizzazione evoluzione dei focolai

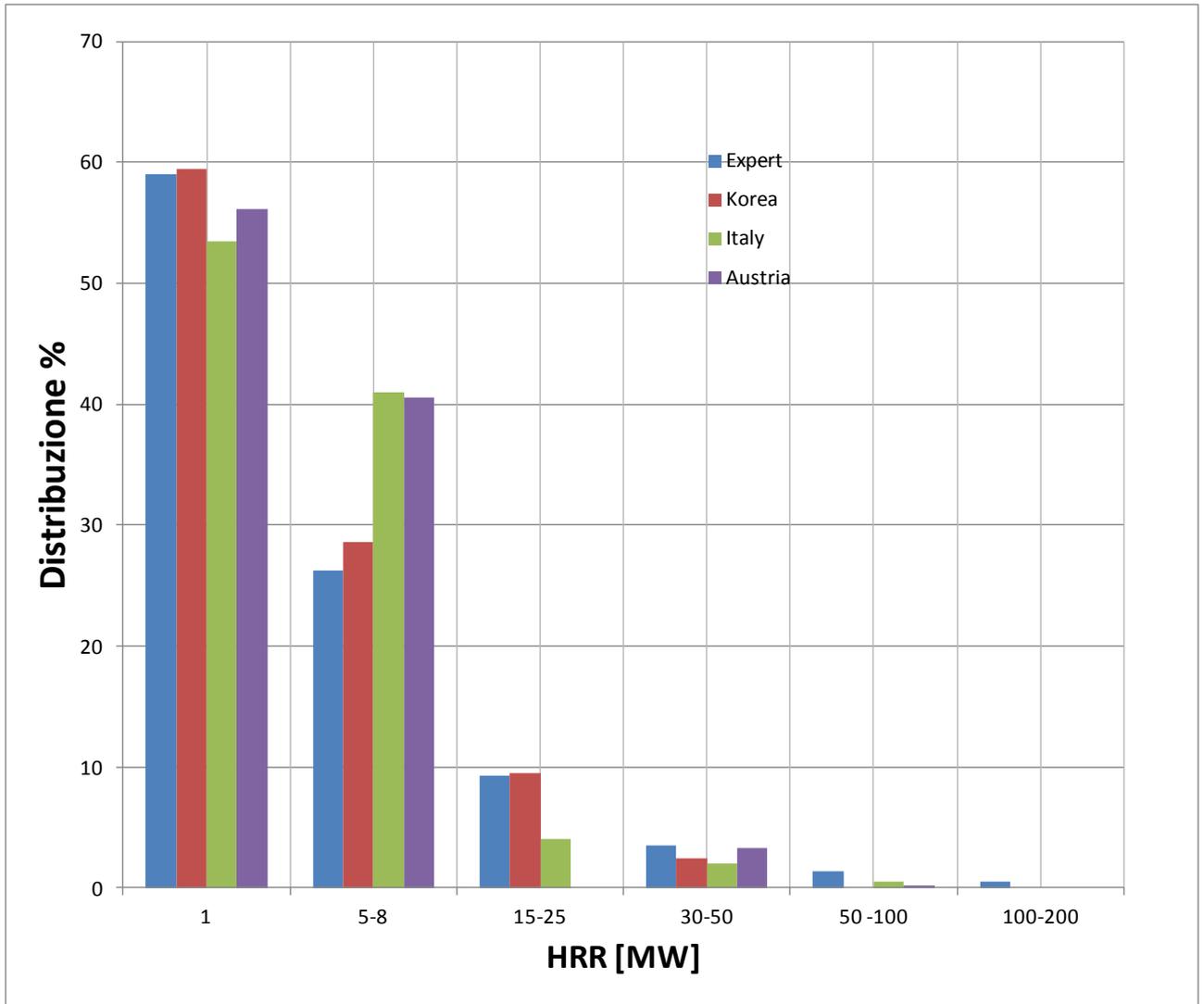
dove  $t_c$  è il tempo di crescita,  $t_{max}$  è il tempo caratteristico della fase stazionaria dell’evento,  $t_e$  è il tempo di estinzione,  $v_a$  è la velocità dell’aria in galleria,  $\dot{G}_f$  è la portata di fumi generati dal focolaio,  $\dot{G}_f^*$  è la portata della miscela aria-fumi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

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

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

dove A è la sezione trasversale della galleria.

La successiva figura mostra la distribuzione delle potenze di incendio per diversi paesi e derivante dal giudizio degli esperti. Dall'analisi dei dati di letteratura si può desumere che gli incendi di potenza superiore 30 MW variano tra il 7% e l'1%, anche in funzione della presenza o meno di merci pericolose.

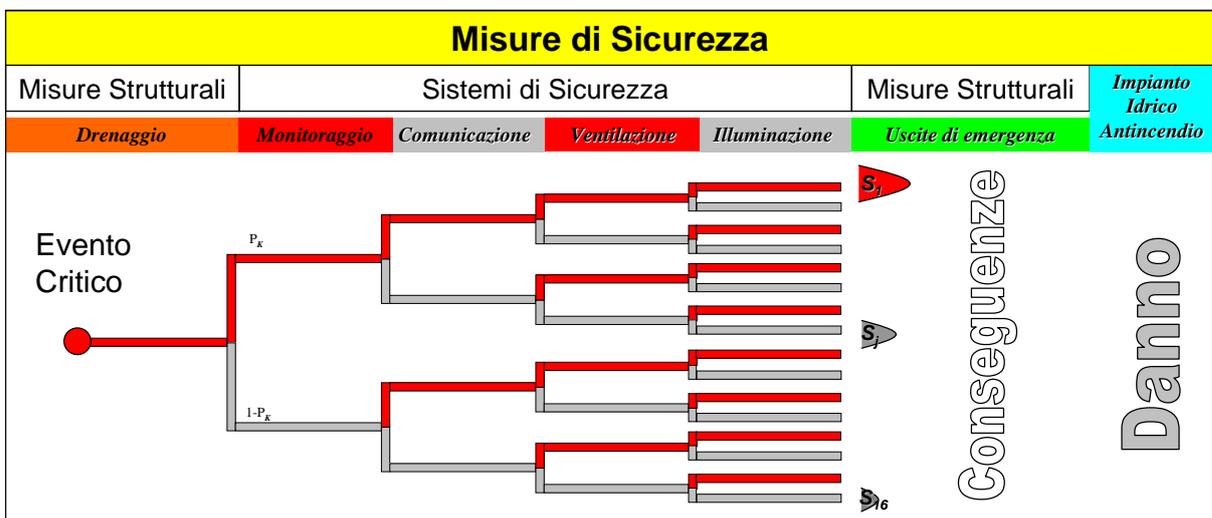


Distribuzione delle potenze d’incendio

### E.3 Albero degli eventi

La tecnica albero degli eventi, così come prescritto dal D.Lgs n 264/2006, è utilizzata nella metodologia di analisi di rischio IRAM per caratterizzare le traiettorie incidentali probabili di un sistema galleria stradale conseguenti all’accadimento di un evento critico iniziatore condizionate nell’evoluzione dall’azione dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di prevenzione e mitigazione previste in fase di progetto.

L’albero degli eventi individua una distribuzione di scenari incidentali possibili ai quali corrisponde un vettore rappresentativo del danno ad essi ascrivibile. La determinazione del danno avviene attraverso la modellazione degli scenari incidentali che identificano i rami dell’albero degli eventi.

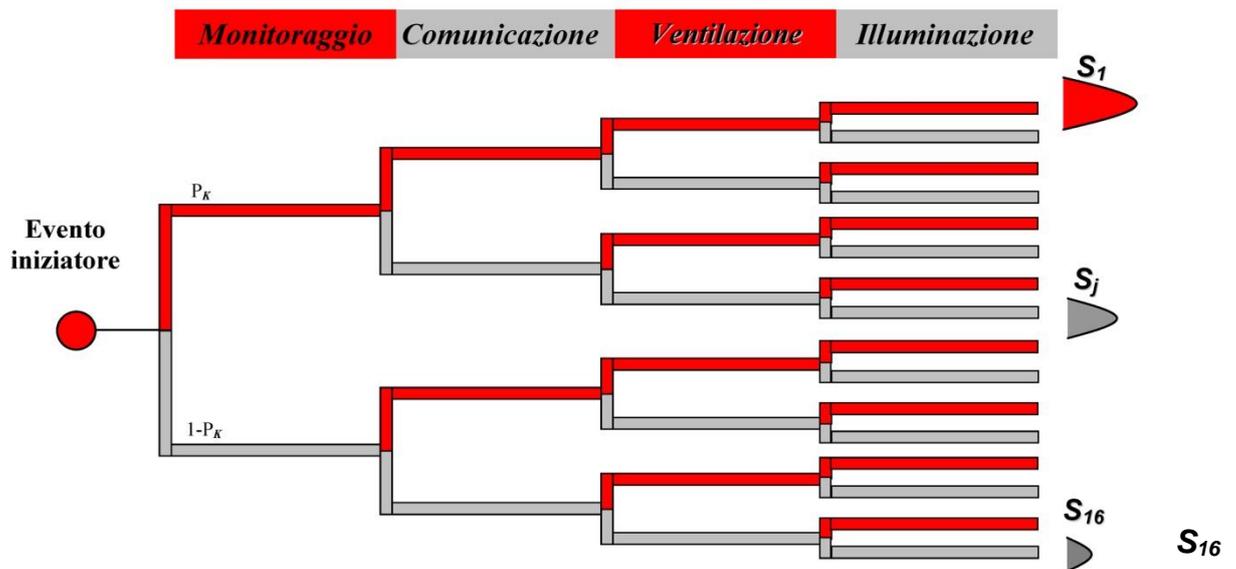


Albero degli eventi

#### E.4 Determinazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza

La successiva figura mostra un esempio di applicazione della tecnica albero degli eventi nella caratterizzazione della sicurezza antincendio di una galleria nella quale si assume siano installati i seguenti sistemi di sicurezza:

- Monitoraggio-Rilevazione,
- Comunicazione,
- Ventilazione,
- Illuminazione.



Applicazione tecnica albero degli eventi

Abbinando all’evento iniziatore una frequenza di accadimento ed agli eventi una probabilità di accadimento (valutata in termini di efficienza ed affidabilità dei sistemi di sicurezza), si potrà valutare la frequenza di ciascuna sequenza individuata.

L’applicazione dei reticoli bayesiani nel contesto dell’analisi di rischio di tipo probabilistico condotta ha permesso di precisare i livelli di affidabilità ed efficienza di ciascun sottosistema di sicurezza prescritto dalla normativa vigente. I risultati dell’analisi forniscono, infatti, gli input progettuali da adottare nel progetto dei singoli impianti ovvero un parametro di riferimento per la verifica di quanto già adottato.

Le probabilità di malfunzionamento da attribuire a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono derivate dall'efficacia dei sistemi di sicurezza.

Essendo necessario per alcuni sistemi caratterizzare sia le prestazioni dal punto di vista elettromeccanico in termini di affidabilità e disponibilità sia le prestazioni da punto di vista

della protezione degli utenti nello specifico ambiente confinato (ad esempio il comportamento dei fumi a seguito dell'attivazione della ventilazione), la probabilità associata ai singoli sottoeventi, che fanno capo ai diversi sottosistemi, è identificata con l'Efficacia del sistema così definita:

**Efficacia = Integrità x Efficienza**

dove:

**Integrità= Affidabilità x Disponibilità x Manutenibilità**

e:

**Efficienza** = prestazione fornita/prestazione di riferimento ovvero probabilità di ottenere il beneficio atteso nelle condizioni e nel contesto di impiego comprensiva delle incertezze connesse ai modelli ed alle condizioni al contorno (Sistemi meccanici: Media =0,85, Dev st = 0,02, Sistemi Elettrici- Media =0,95, Dev st = 0,02).

**Affidabilità:** deriva dalle analisi affidabilistiche dei componenti del sistema (0,99-0,9999)

**Disponibilità:** deriva dalle analisi di disponibilità dei componenti del sistema (0,99-0,9999)

**Manutenibilità:** deriva dalle analisi di manutenibilità dei componenti del sistema (0,99-0,999)

**Efficacia** = (media 0,85-0,95. dev.st 0,02) in condizioni di riferimento.

L'efficienza dei sistemi di protezione antincendio può essere derivata dagli studi effettuati nelle fasi di progettazione ovvero deve essere coerente con gli stessi.

La determinazione delle prestazioni di sicurezza è condotta a partire dalla banca dati contenente le caratteristiche e le prestazioni dei dispositivi e sistemi più diffusi sul mercato a disposizione dello scrivente.

L'efficienza di una misura di sicurezza è definita come l'abilità di una misura di sicurezza tecnologica a realizzare una funzione di sicurezza per un fissato intervallo temporale operando in modo non degradato in specifiche condizioni.

L'efficienza delle misure di sicurezza nell'esodo degli utenti e nella protezione degli addetti al soccorso è condizionata da:

- rivelazione precoce degli eventi critici,
- comunicazione immediata ai centri preposti alla gestione dell'emergenza ed agli utenti,
- disponibilità di vie di fuga,
- efficacia del sistema di ventilazione,
- gestione del traffico che favorisca l'uscita dalla galleria dei veicoli non coinvolti e dei veicoli a valle delle sorgenti di pericolo,

- dotazione di impianti ed attrezzature di protezione,
- riduzione del tempo di intervento degli addetti al soccorso.

Le efficienze attribuite ai singoli sistemi di sicurezza presuppongono che essi siano progettati e realizzati in accordo ai dettami della buona pratica corrente. In particolare l'efficienza dell'impianto di ventilazione è stata stimata pari all'85% per lo scenario dimensionante pari a 100 MW.

Il livello di confidenza di una misura di sicurezza è inversamente proporzionale alla probabilità di malfunzionamento su richiesta dei sistemi tecnologici e corrisponde all'affidabilità di una misura di sicurezza nel realizzare in modo corretto la funzione di sicurezza richiesta in modo conforme all'efficienza ed al tempo di risposta fissati per tutte le condizioni operative previste e per un determinato intervallo di tempo.

Le successive tabelle tratte dalla letteratura di settore supportano i valori di efficienza adottati.

Livello di confidenza	Probabilità di Malfunzionamento
LC4	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
LC3	$\geq 10^{-4} < 10^{-3}$
LC2	$\geq 10^{-3} < 10^{-2}$
LC1	$\geq 10^{-2} < 10^{-1}$

Livello di confidenza - malfunzionamenti

Efficienza	Tolleranza		
	0	1	2
< 60 %	Np	LC1	LC2
$\geq 60\% < 90\%$	LC1	LC2	LC3
$\geq 90\% < 99\%$	LC2	LC3	LC4
$\geq 99\%$	LC3	LC4	LC4

*np = non possibile; LC4 = livello di confidenza raramente realizzato nei sistemi di processo*

Efficienza – livello di confidenza

### *E.5 Flusso del pericolo*

Il flusso del pericolo è il flusso risultante dai processi di scambio di massa e di energia generati dagli scenari di pericolo conseguenti all’accadimento di eventi critici per un sistema galleria e condizionati nell’evoluzione dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza. Esso si rappresenta in termini di mappe di temperatura e concentrazione di sostanze tossiche o impattanti sulla visibilità in funzione del tempo e dello spazio all'interno della galleria.

La quantificazione del flusso del pericolo è condotta dagli esperti della sicurezza con differenti livelli di dettaglio mediante la formulazione di specifici modelli di flusso del pericolo risolti con tecniche analitiche e numeriche di tipo termofluidodinamico.

I risultati forniti dai modelli del flusso del pericolo sono utilizzati per caratterizzare il microclima all’interno del sistema galleria determinato dai vincoli fluidodinamici e dai vincoli termodinamici imposti da:

- le caratteristiche geometriche ed architettoniche della struttura,
- le caratteristiche chimico-fisiche delle sorgenti di pericolo,
- le prestazioni dei sistemi di sicurezza.

La quantificazione del flusso del pericolo generato dagli scenari di pericolo associati agli eventi critici fissati è in generale condotta formulando e risolvendo i seguenti modelli:

- un modello di campo tridimensionale,
- un modello di campo monodimensionale,
- un modello termodinamico a parametri concentrati.

I modelli di campo, risolti con codici di fluidodinamica numerica (codici CFD), sono formulati adottando una caratterizzazione energetica delle sorgenti di pericolo caratterizzate in termini di:

- potenze termiche generate dai focolai (eventi di incendio, eventi di sversamento di liquidi infiammabili),
- portate di rilascio delle sorgenti (eventi di rilascio di sostanze tossiche e nocive in fase gassosa).

Le simulazioni con modelli di campo tridimensionali, attinenti l’analisi di scenario di un sistema galleria, sono finalizzate a:

- la quantificazione dei campi termici e dei campi fluidodinamici che determinano il flusso del pericolo per la caratterizzazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza,
- la taratura di modelli termodinamici semplificati monodimensionali da utilizzare con tecniche statistiche.

La zonizzazione del flusso del pericolo è l’identificazione di zone nella struttura caratterizzate da condizioni ambientali ostili entro le quali si realizza il processo di esodo degli utenti e si esplica l’azione di soccorso e spegnimento degli addetti.

Le condizioni ostili sono definite dai valori limite per la temperatura e per le concentrazioni di sostanze tossiche oltre le quali la sopravvivenza dell'essere umano è seriamente compromessa in tempi rapidi. In particolare si hanno i seguenti riferimenti:

- temperatura non superiore a 100°C per pochi secondi (Calcolo NFPA 130),
- concentrazione di monossido di carbonio non superiore a 2000 ppm per pochi secondi (NFPA 130).

L'utente che si trova in tali zone su può considerare come vittima.

Nelle prime fasi dell'evento di incendio risulta una situazione non critica ed in continua evoluzione pertanto il concetto di zona deve essere completato, per poter valutare le effettive condizioni di pericolo, con il concetto di dose ed in particolare con il concetto di Fractional Effective Dose (FED).

Il valore di questa dose è dato dalla formula generale riportata in normativa ISO 13571:

$$XFED = \sum_i \sum_j (C_{i,j}/C_{ii}) \times t_j$$

Compaiono i seguenti valori:

1.  $C_i$  è la concentrazione media, espressa in micro-litri per litro, di un gas asfissiante in un preciso intervallo di tempo.
2.  $\Delta t$  è il ben preciso intervallo di tempo.
3.  $(C \times t)$  è la specifica dose di esposizione, espressa in minuti per microlitri per litro, che può impedire la fuga sicura degli occupanti.

Il concetto di dose si calcola quando combinando i risultati del calcolo del flusso del pericolo con quelli del calcolo dell'esodo associando ad ogni singolo utente una posizione ed una dose variabili nel tempo.

La presentazione dei Principi e delle Tecniche proprie del Metodo della Fluidodinamica Numerica esulano dagli scopi della relazione e si rimanda il lettore interessato alla vasta letteratura sull’argomento. Una sintesi delle modalità di simulazione degli eventi critici nei sistemi galleria in accordo al metodo della fluidodinamica numerica e dei criteri di valutazione dei risultati forniti dalla soluzione dei modelli di campo è contenuta in allegato alle Linee Guida ANAS.

La simulazione statistica del flusso del pericolo comporta la caratterizzazione delle variabili di stato in termini di funzioni di distribuzione introdotte per quantificare le incertezze epistemiche connesse alle attuali conoscenze scientifiche sui fenomeni ed i processi termofluidodinamici pericolosi conseguenti all’accadimento di un evento critico.

I tratti salienti del modello termodinamico sviluppati dagli estensori del metodo IRAM possono essere così riassunti:

- il modello termodinamico a parametri concentrati consente, adottando una caratterizzazione energetica dei focolai, la simulazione statistica del flusso del pericolo generato da scenari di pericolo determinati da focolai costituiti da veicoli, in una struttura dotata di un sistema di ventilazione longitudinale,
- il modello termodinamico a parametri concentrati consente a due zone, adottando una caratterizzazione energetica dei focolai, un sottomodulo di rimescolamento tra due strati di aria, la simulazione statistica del flusso del pericolo generato da scenari di pericolo determinati da focolai costituiti da veicoli, in una struttura dotata di un sistema di ventilazione semitrasversale ovvero in assenza di ventilazione forzata valutando l'effetto della stratificazione dei fumi.

La caratteristica essenziale del modello termodinamico a parametri concentrati può essere così sintetizzata:

- la soluzione del modello, coincidente con il flusso del pericolo nella struttura analizzata, è esprimibile in termini di funzioni analitiche traslate nello spazio e nel tempo che tengono conto dello scambio termico alle pareti e della velocità dell'aria in galleria.

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

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

In particolare la velocità dell'aria nella struttura in assenza di ventilazione forzata è calcolata per ogni singolo scenario sulla base dei seguenti fattori: condizioni meteo ai portali, numero e tipo di veicoli fermi in galleria, caratteristiche idrauliche della galleria, effetto camino.

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

Le simulazioni del flusso del pericolo sono effettuate in numero superiore a 51200, variando le condizioni al contorno e l’effetto dei sistemi di sicurezza sull’evoluzione del flusso medesimo. Per le analisi di rischio il software di calcolo EURAM 2.0 adottato esegue un numero di simulazioni pari a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

#### *E.6 Evacuazione degli utenti*

Gli scenari di pericolo non possono essere utilizzati direttamente per analizzare il processo di esodo degli utenti dalla struttura. La conversione degli scenari di pericolo in scenari di esodo richiede siano precisati i parametri caratteristici di uno scenario di esodo. I parametri caratteristici che definiscono uno scenario di esodo possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- parametri geometrici,
- parametri di connotazione della popolazione esposta,
- parametri ambientali,
- parametri procedurali.

I parametri geometrici sono i parametri che caratterizzano:

- le caratteristiche geometriche dei percorsi di esodo e delle vie di fuga,
- gli ostacoli presenti sui percorsi di esodo,
- la distribuzione iniziale degli utenti.

I parametri di connotazione della popolazione esposta sono:

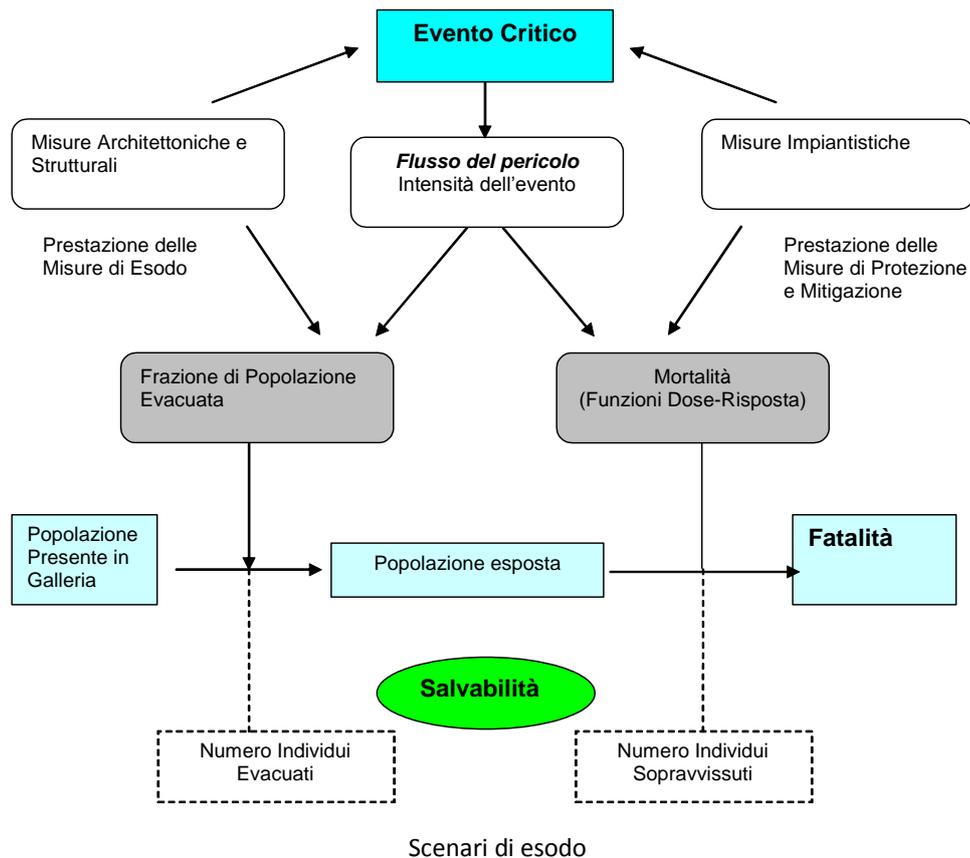
- la distribuzione per età,
- la distribuzione per genere,
- le condizioni fisiche degli individui,
- i tempi di reazione,
- la velocità di movimento degli individui.

I parametri ambientali, definiti come i parametri che descrivono il microclima nella struttura conseguente all’accadimento di un evento critico, sono:

- i campi di temperatura,
- i campi di concentrazione.

I parametri procedurali sono definiti come i parametri per i quali si caratterizzano le procedure di emergenza previste per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento e le procedure di emergenza previste per gli utenti.

La successiva figura esemplifica la conversione degli scenari di pericolo in scenari di esodo.



La modellazione degli scenari di esodo richiede la formulazione e la soluzione di:

- un modello di formazione delle code nella struttura, finalizzato alla quantificazione della popolazione esposta al flusso del pericolo;
- un modello di esodo degli utenti dalla struttura, finalizzato alla determinazione delle fatalità attese nella popolazione esposta.

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

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

- la velocità di risalita del tappo influenza la probabilità di carambola tra i veicoli agli estremi della coda,
- il tempo di risalita del tappo identifica il tempo di chiusura al traffico della galleria.

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

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

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

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

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

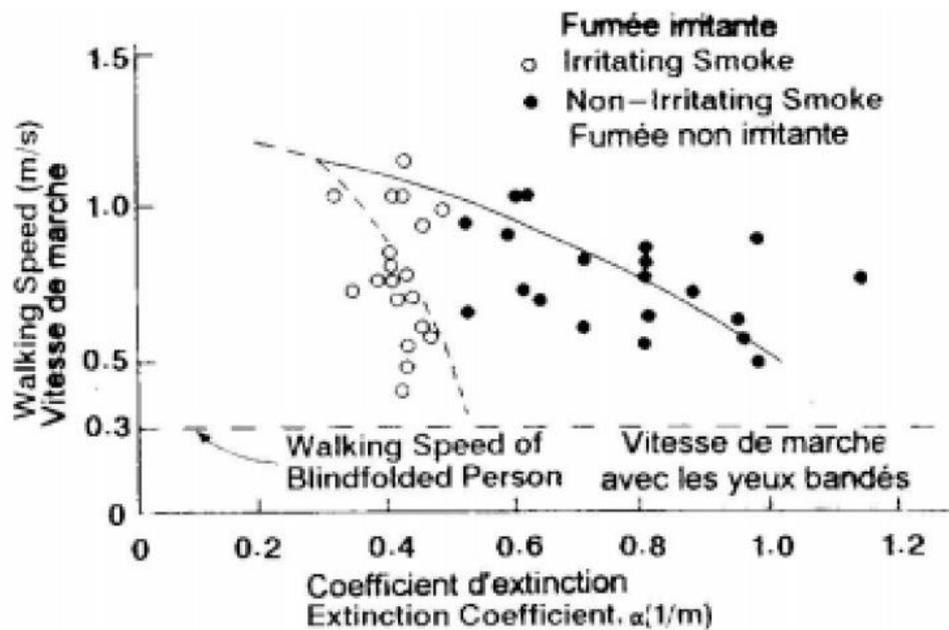
- la posizione del focolaio rispetto alle vie di fuga,
- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti,
- la velocità di esodo degli utenti nella struttura,
- il comportamento e le traiettorie degli utenti lungo i percorsi di esodo,
- l’orientamento degli utenti verso i luoghi sicuri.

I parametri assunti come fondamentali nel modello di simulazione del processo di esodo sono trattati come variabili aleatorie e caratterizzati in termini di funzioni di distribuzione. Valori massimi per i tempi di abbandono dei veicoli utilizzati nelle simulazioni sono pari a 240 secondi. Valori medi per la velocità di esodo degli utenti, parametrizzati in funzione delle condizioni di visibilità nella struttura interessata da un evento critico, sono:

Condizioni di visibilità	Velocità di allontanamento
Buona	1 m/s
Ridotta	0,5 m/s
Nulla	0,3 m/s

Velocità di allontanamento

La successiva figura mostra l'andamento della velocità di esodo in funzione della visibilità come riportata dal PIARC ed adottata per la modellazione dell'esodo.



velocità di esodo in funzione della visibilità

La velocità di esodo è inoltre corretta in maniera proporzionale alla Fractional Effective Dose (FED) per considerare nel tempo lo stato di salute degli utenti esposti al flusso del pericolo.

La simulazione statistica degli scenari di esodo si manifesta nell’andamento delle curve cumulate complementari come quantificazione degli effetti delle incertezze aleatorie sulle variabili comportamentali degli utenti e delle incertezze epistemiche sulla dinamica del processo di esodo.

L’approccio utilizzato per determinare il numero di fatalità associato agli scenari di esodo da un sistema galleria, affatto analogo all’approccio utilizzato nell’ambito della Fire Safety Engineering per determinare il numero di fatalità associato al processo di esodo dagli edifici, si basa sul calcolo del Tempo Disponibile per l’Esodo (A-SET) della popolazione esposta lungo percorsi di esodo interessati dal flusso del pericolo (zonizzazione del flusso del pericolo).

Gli effetti sulla salute della popolazione esposta sono determinati in base ai valori assunti dalle Dosi Frazionarie Inabilitanti (Fractional Effective Dose), adottate come indicatori di rischio chimico (concentrazioni di sostanze tossiche, irritanti, nonché dell’ossigeno, ai fini della valutazione della ipossia) ed indicatori di rischio termico (temperature dei gas e dell’aria, valori di irraggiamento termico ai quali gli utenti sono esposti in galleria), lungo i percorsi di esodo ed al tempo di esposizione dei soggetti a ciascun elemento di rischio.

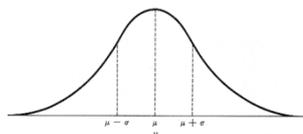
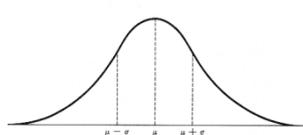
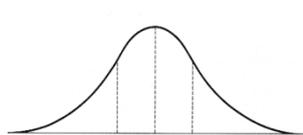
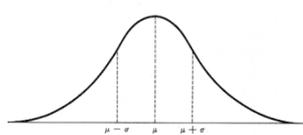
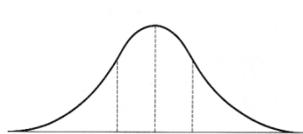
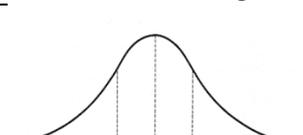
Gli effetti sulla salute della popolazione esposta sono funzione del prodotto delle concentrazioni dei fattori di rischio per la salute umana (CO, Temperatura) pesato con il tempo di esposizione e normalizzato rispetto ad un valore limite costituente il parametro di riferimento per il calcolo del tempo disponibile per l’esodo.

I risultati delle simulazioni del flusso del pericolo combinati con la simulazione statistica del processo di esodo condotta mediante modelli di tipo Monte-Carlo al variare delle caratteristiche della popolazione, consentono di determinare la salvabilità ovvero le fatalità attese per tutti gli scenari incidentali possibili.

Le simulazioni del flusso del pericolo sono effettuate in numero pari a 51200, variando le condizioni al contorno e l’effetto dei sistemi di sicurezza sull’evoluzione del flusso medesimo. Per le analisi di rischio il software di calcolo EURAM 2.0 adottato esegue un numero di simulazioni pari a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

Nella tabella successiva si riepilogano le variabili di rappresentazione degli scenari di esodo che vengono trattate come variabili statistiche aventi le seguenti funzioni di distribuzione:

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD  
1° LOTTO – Piovene Rocchette – Valle dell’Astico

	Variabile statistica		Funzione di distribuzione
Evoluzione dell'evento critico	Posizione del focolaio	→	uniforme
	Potenza del focolaio	→	 Media e varianza rispetto allo scenario albero eventi
Popolazione esposta	Formazione delle code (in funzione dei volumi di traffico)	→	 Calcolato sulla base di flusso di traffico definito con media e varianza a partire dal TGM
	Tempo di psicoreazione della popolazione esposta	→	 Media e Varianza
	Velocità di esodo (popolazione esposta)	→	 In funzione della concentrazione di particolato
	Distanza vie di esodo	→	 Media e Varianza in funzione della distribuzione in galleria
	Velocità dei fumi (Sistema di ventilazione)	→	 Calcolata come media e varianza sulla base di modello termodinamico

variabili statistiche degli scenari di esodo

### E.7 Quantificazione del rischio

Nell’ambito della procedura di analisi di rischio codificata nell’IRAM, le misure di rischio sociale sono determinate attraverso l’operazione di convoluzione tra le funzioni di distribuzione delle frequenze di accadimento degli eventi critici e delle conseguenze attese determinate sulla base delle analisi e simulazioni descritte nei paragrafi precedenti.

I risultati della quantificazione del rischio sono espressi attraverso gli indicatori stabiliti dal Decreto Legislativo n. 264/2006:

- Rischio Sociale rappresentato come Curva Cumulata Complementare riportata sul piano F–N;
- Valore Atteso del Danno (VAD) determinato come area sottesa dalla Curva Cumulata Complementare.

Le Curve Cumulate Complementari rappresentano, su scala logaritmica, la funzione:

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

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

Le Curve Cumulate Complementari sono, per definizione, curve continue monotone decrescenti.

Il Valore Atteso del Danno è l’integrale definito di una Curva Cumulata Complementare.

Il Valore Atteso del Danno, essendo il Momento del Primo Ordine della Funzione di Distribuzione definita da una Curva Cumulata Complementare, fornisce un’informazione limitata sul Rischio Sociale associato ad un Sistema Galleria.

Il Valore Atteso del Danno è indicato dal Decreto Legislativo come l’Indicatore di Rischio Globale da utilizzare nella Verifica del Criterio di Equivalenza per i Sistemi Galleria che presentano Deficit nei Requisiti Minimi di Sicurezza.

#### E.7.1 Criteri di accettazione del rischio

I criteri di accettazione del rischio, nel decreto legislativo, sono fissati in accordo al principio ALARP. I criteri di accettazione del rischio, tradotti in un livello di rischio tollerabile ed un livello di rischio accettabile, sono rappresentati sul piano frequenze-conseguenze da rette di intercetta fissata e pendenza negativa unitaria (grado di avversione al rischio).

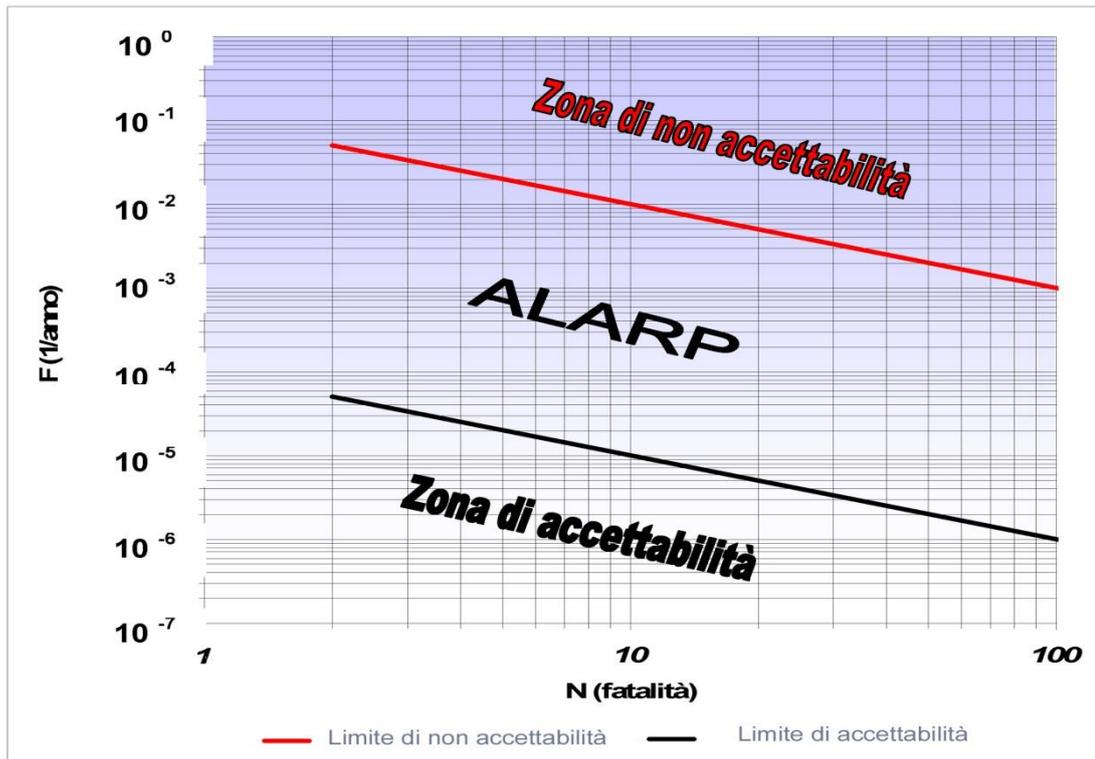


Diagramma ALARP

I livelli di rischio tollerabile ed accettabile delimitano le tre seguenti zone:

1. area del rischio "non accettabile". Un rischio che cade in questa regione non può essere giustificato in nessun caso;
2. area del rischio "accettabile". Qualora il rischio associato all'attività o opera in esame cada in questa regione, non sono necessari ulteriori indagini ed azioni in quanto il valore è da ritenersi accettabile;
3. area ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Occorre svolgere ulteriori indagini e prevedere azioni mitigative al fine di ridurre, per quanto ragionevolmente praticabile, il valore di rischio, mettendo in opera misure di sicurezza integrative che assicurino un livello globale di sicurezza equivalente a quello della galleria virtuale associata.

Interventi sulla progettazione o sulla realizzazione di una modifica infrastrutturale importante possono avere ripercussioni di rilievo sulla gestione della struttura stessa, in termini di costi e modalità operative. In questo senso, l'analisi di rischio rappresenta lo strumento con cui quantificare i benefici attesi a seguito delle modifiche proposte e può essere utilizzata come strumento di supporto al processo decisionale, oltre che come verifica del raggiungimento dei livelli minimi di sicurezza richiesti.

## F. Il rischio

Il rischio associato ad una galleria stradale è ottenuto sommando i contributi relativi ad ogni singolo pericolo individuato.

Il valore ottenuto è una distribuzione del rischio che deve essere rappresentato sotto forma di una curva cumulata complementare.

Il rischio associato ad un singolo pericolo è ottenuto come la combinazione tra la frequenza di accadimento  $f$  espressa su base annua e la distribuzione del numero di fatalità  $N$  tenendo conto delle incertezze  $\sigma$  associati al pericolo stesso come mostrato nella seguente relazione.

$$(1) \quad R = f \cdot N + \sigma(R)$$

La curva del rischio ottenuta come definito, è confrontata con i criteri di accettazione del rischio definiti all'allegato 3 del D.Lgs 264/06.

I criteri di accettazione del rischio si basano su:

- il rischio sociale rappresentato come curva cumulata complementare (Curva FN) sul piano Frequenza -Numero di Fatalità (F-N) riferito all'anno ed al km di linea,
- il Valore atteso del Danno definito come valore del rischio complessivo riferito all'anno.

### F.1 Calcolo delle frequenze di accadimento

Le frequenze di accadimento sono calcolate a partire dai tassi di accadimento degli eventi incidentali associati a ciascun pericolo.

Il tasso di accadimento è valutato sia mediante analisi statistica dei dati sia sulla base della letteratura di settore.

**La frequenza associata a ciascun pericolo  $m$**  si calcola come :

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

Dove:

$T_i$  : è un tasso di accadimento base

TGM : è il traffico medio giornaliero

$e$  : è l'efficacia delle misure preventive ed è definito tra 0 e 0,9999

I valori di tassi di accadimento sono derivati dall'analisi statistica dei dati di incidentalità, dalla letteratura di settore e dai risultati delle analisi dell'albero delle cause in funzione della tipologia di pericolo e di sistema.

## F.2 Albero degli eventi

Sono formulati alberi degli eventi per ciascun pericolo individuato, a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono associati un numero sufficiente di scenari per ciascuno dei quali sarà calcolato il valore delle conseguenze in termini di numero di fatalità.

Il numero di scenari da computare per ciascun ramo dell'albero è variabile in funzione delle tipologie di pericoli come di seguito specificato e deve essere mirato a considerare un numero sufficiente di casi possibili.

Le probabilità di malfunzionamento da attribuire a ciascun ramo dell'albero degli eventi sono derivate dall'efficacia dei sistemi di sicurezza.

La probabilità associata ai singoli sottoeventi, che fanno capo ai diversi sottosistemi, è identificata con l'Efficacia del sistema.

I valori delle probabilità associate a ciascun ramo tengono conto delle probabilità condizionate connesse ai diversi rami dell'albero degli eventi.

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

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

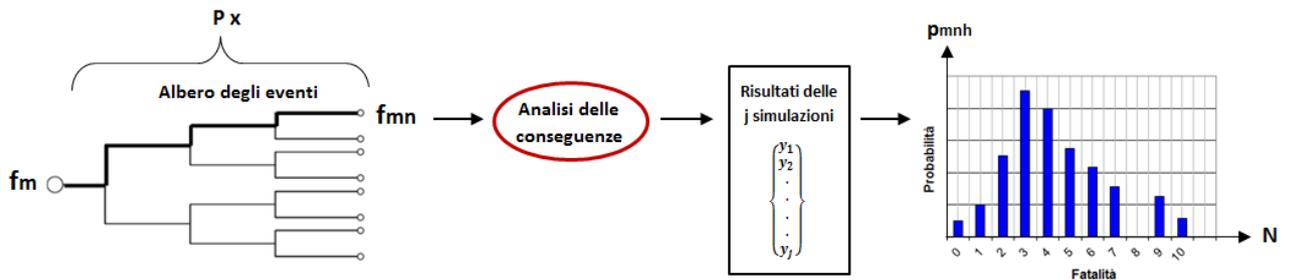
dove  $P_x$  è la probabilità associata al ramo x, data dal prodotto delle probabilità condizionate associate ai singoli eventi.

Nelle tabella successiva si riportano i valori delle frequenze di accadimento degli eventi critici

S. Agata 2	Frequenza [eventi/anno]	Tempo di ritorno [anni]
Incidenti	4,89E+00	0,20
Incendi	2,44E-01	4,09
Incendi VP	6,50E-02	15,38
Incendi rilevanti	9,75E-03	102,53
Eventi merci pericolose	3,08E-03	324,69
Nube tossica	3,70E-05	27057,19
BLEVE	1,73E-05	57773,37
Pool fire	3,05E-05	32796,60
Flash fire	6,35E-05	15738,55
Jet fire	2,64E-05	37842,23
VCE	8,01E-05	12487,94

Ciascun ramo  $n$  dell'albero degli eventi a cui è associato un pericolo  $m$  viene nominato  $R_{mn}$ ; per ciascun ramo viene definito un numero  $j$  di scenari.

Considerata l'elevata incertezza connessa alla categoria di pericoli termofluodinamici indicati dal D.Lgs 264/06, ad ogni ramo dell'albero degli eventi sono associati più scenari per i quali sono calcolate le conseguenze secondo il metodo Monte Carlo.



Il numero di scenari da analizzare deve essere statisticamente significativo ovvero non deve essere inferiore a 6000 per ogni pericolo nel suo complesso e non inferiore a 100 per ciascun ramo dell'albero degli eventi.

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

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

Il progettista della sicurezza definisce l'albero degli eventi di cui sopra nel quale sono considerate in modo esplicito o indiretto l'affidabilità e l'efficienza almeno dei seguenti sistemi: rilevazione, comunicazione, manutenzione, ventilazione, antincendio, procedure di gestione, vie di fuga, illuminazione e segnaletica, alimentazione elettrica, monitoraggio e supervisione.

### *F.3 Calcolo delle conseguenze*

Le conseguenze sono calcolate con metodi quantitativi elaborando i dati statistici a disposizione con tecniche note e riconosciute e/o utilizzando modelli di calcolo formulati appositamente.

I risultati dei calcoli sono elaborati al fine di ottenere una distribuzione di probabilità delle conseguenze per ciascun pericolo, ottenendo un valore di probabilità per ciascun valore di fatalità assumendo un intervallo variabile tra 0 ed il numero massimo di fatalità attese .

I parametri minimi considerati nella valutazione delle conseguenze attraverso i modelli ovvero attraverso parametrizzazioni statistiche sono:

- pendenza longitudinale,
- caratteristiche della sezione trasversale (area, larghezza vie di esodo),
- distanza tra le uscite di emergenza,
- tempo di rilevazione dell'evento incidentale,
- tempo di uscita dai veicoli,
- tempo di attivazione dei sistemi di sicurezza,
- numero di veicoli coinvolti,
- localizzazione dell'evento,
- magnitudo e tempi caratteristici dell'evento,
- strategie di gestione della ventilazione e degli impianti antincendio,
- tempi di intervento dei servizi di soccorso,
- condizioni meteo esterne,
- velocità di percorrenza prima dell'evento.

L'analisi è effettuata in modo tale da considerare ciascun tratto di galleria con caratteristiche omogenee ed in particolare:

- galleria/esterno,
- forma ed area della sezione trasversale-numero di corsie,
- tipologia di ventilazione,
- presenza di cameroni intersezioni.

Le conseguenze sono calcolate per ogni numero  $j$  di scenari associati a ciascun ramo dell'albero degli eventi.

Raggruppando tutti i rami dell'albero degli eventi relativi a ciascun pericolo si ottiene quindi un insieme di coppie  $f, N$  che devono essere ordinate per valori di  $N$  crescenti.

La procedura di calcolo può quindi essere così sintetizzata:

- calcolo delle frequenze associate a ciascun ramo dell'albero degli eventi,

- scelta e formulazione delle tecniche e dei modelli per la determinazione delle conseguenze in funzione della tipologia di pericolo,
- calcolo delle conseguenze per tutti i rami dell'albero degli eventi per ottenere la distribuzione di probabilità delle conseguenze associata al singolo pericolo rappresentata come un insieme di coppie probabilità- fatalità per valori di fatalità variabili tra 0 ed il numero massimo di fatalità attese,
- calcolo delle frequenze di accadimento da associare a ciascun valore di fatalità.

I valori delle conseguenze da associare al j-esimo scenario sono determinati con l'ausilio di modelli termo fluidodinamici e modelli di esodo tenendo conto della variabilità dei parametri più significativi.

In particolare le conseguenze dei pericoli di tipo termofluidodinamico sono calcolate mediante l'adozione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio attraverso:

- la simulazione di eventi di incendio-esplosione e rilascio di sostanze tossiche e nocive con modelli termofluidodinamici di tipo non stazionario,
- la simulazione del processo di esodo degli utenti in galleria mediante modelli almeno monodimensionali che tengano conto dell'effetto della visibilità e delle condizioni ambientali sulla velocità di esodo,
- la stima della sopravvivenza di ogni singolo utente mediante la dose frazionaria efficace (FED) calcolate sulla base delle caratteristiche di genere, età, stato di salute.

Per ogni singolo ramo lungo l'albero degli eventi si simulano un numero  $j$  di scenari da cui si ottiene una distribuzione che lega la probabilità relativa al numero di fatalità.

Gli scenari sono generati con tecnica Monte Carlo variando i parametri caratteristici di ciascun evento (es. posizione dell'incendio, potenza dell'incendio, condizioni meteo, numero di passeggeri sul treno etc...)

Per ciascun ramo dell'albero degli eventi la **probabilità di accadimento della  $N_h$ -esima fatalità** si calcola dividendo il numero degli scenari a cui è associata la fatalità  $N_h(h)$  per il numero totale  $j$  degli scenari simulati per il singolo ramo, come di seguito descritto:

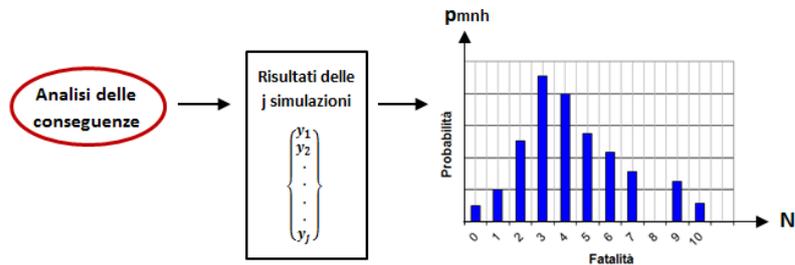
$$(3) p_{mnh} = h / j$$

Dove:

$h$  è il numero di scenari aventi un numero di fatalità pari ad  $N_h$

$j$  è il numero di scenari per ciascun ramo dell'albero degli eventi

La successiva figura mostra il risultato sotto forma di istogramma che deve essere ottenuto per ciascun ramo dell'albero degli eventi.



La frequenza relativa al gruppo di scenari a cui è associato il numero di fatalità  $h$  è definita come:

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

#### F.4 Calcolo del rischio

Il rischio si calcola sommando i contributi in termini di frequenza di accadimento per ciascun valore di fatalità dei diversi pericoli, ottenendo una distribuzione di frequenza di accadimento in funzione di ciascun valore delle conseguenze ovvero delle coppie f-N.

Per costruire la curva cumulata complementare associata a ciascun pericolo è necessario che ciascuna coppia di numeri sia formata dal valore della fatalità  $N_h$  e la relativa frequenza  $F_{Nh}$ , calcolata come somma delle frequenze a cui è associata la fatalità  $N_h$  e tutte le frequenze a cui sono associate le fatalità  $k > N_h$ . La frequenza relativa alla fatalità  $N_h$  si determina quindi con la seguente sommatoria:

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

Ciascun punto della curva cumulata complementare sarà individuato dalla coppia di valori fatalità  $N_h$  e Frequenza cumulata  $F_{Nh}$ .

Il **rischio complessivo** per ciascun pericolo è definito come integrale della curva cumulata complementare che è l' area sottesa alla curva stessa fino al massimo numero di fatalità calcolato, il rischio complessivo rappresenta il **Valore Atteso del Danno (VAD)** definito dal D.Lgs 264/06.

In luogo del calcolo dell'integrale, l'elevato numero di valori a disposizione, consente di calcolare il rischio complessivo come somma delle frequenze cumulate associate a ciascun valore di fatalità.

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

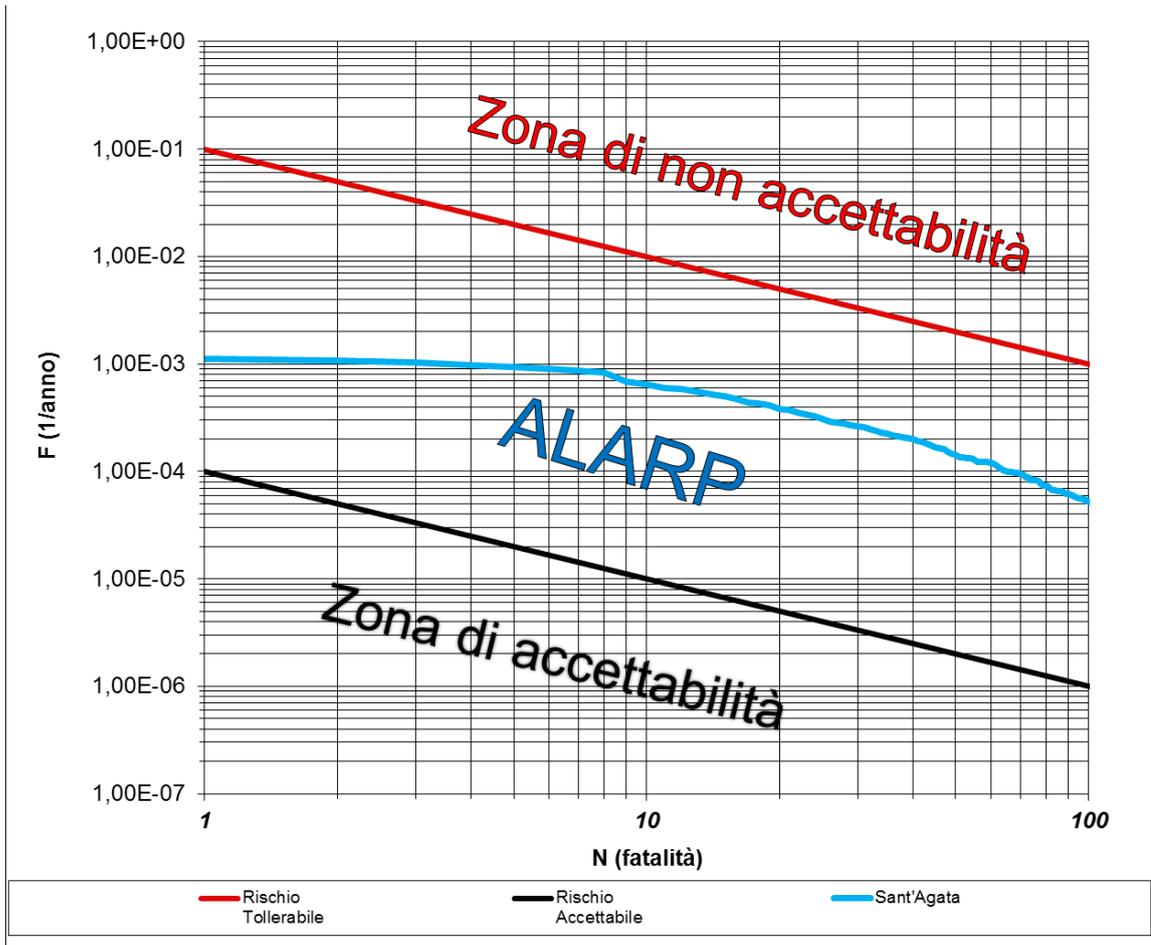
## **G. Analisi del rischio**

Nell’ambito della procedura di analisi di rischio codificata nell’IRAM, le misure di rischio sociale sono determinate attraverso l’operazione di convoluzione tra le funzioni di distribuzione delle frequenze di accadimento degli eventi critici e delle conseguenze attese determinate sulla base delle analisi e simulazioni descritte nei paragrafi precedenti.

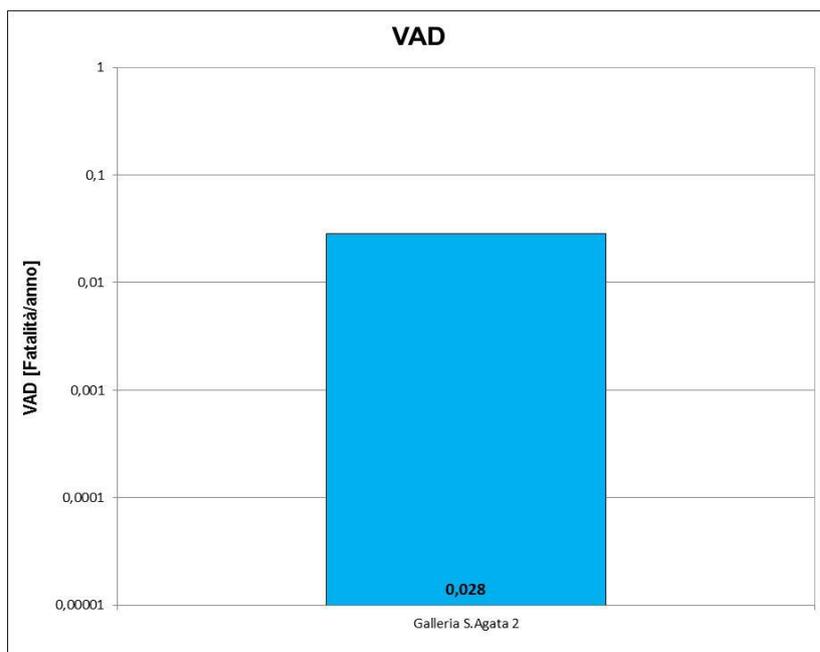
Sono riportati di seguito i risultati della quantificazione del rischio attraverso gli indicatori stabiliti dal Decreto Legislativo n. 264/2006:

- Rischio Sociale rappresentato come Curva Cumulata Complementare riportata sul piano F–N;
- Valore Atteso del Danno (VAD) determinato come area sottesa dalla Curva Cumulata Complementare. Il VAD rappresenta pertanto il livello di rischio della galleria espresso in termini di n° di fatalità per anno.

G.1 Curve Cumulate Complementari



G.2 Valore atteso del danno



## **H. Conclusioni**

La presente relazione ha lo scopo di verificare e validare le proposte progettuali di realizzazione della galleria S.Agata 2 ubicata sull’Autostrada A31 Trento - Rovigo.

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

L’analisi di rischio, condotta sulla base dei dati forniti dalla Committente, ha permesso di calcolare gli Indicatori previsti dalla norma e cioè l’indicatore di rischio sociale rappresentato sul piano F-N dalle Curve Cumulate Complementari ed il Valore Atteso del Danno.

Per effetto degli interventi impiantistici e strutturali proposti la Curva Cumulata Complementare della galleria si colloca al di sotto del livello di rischio tollerabile all’interno della zona ALARP del piano F-N.