ANAS S.p.A.

Direzione Centrale Progettazione

Linee Guida
per la progettazione
della sicurezza
nelle Gallerie Stradali

Novembre 2006

INDICE

I. PREFAZIONE 1

II. INTRODUZIONE 2

III. EMISSIONE E REVISIONE 4

1 INFERENZE METODOLOGICHE DALLA DIRETTIVA E PROGETTO DELLA SICUREZZA DALL'ANALISI DI RISCHIO 5

1.1 Fondamenti metodologici, capisaldi progettuali 5
1.1.1 Riferimenti e metodologia 5
1.1.2 Sistema galleria, flussi caratteristici, danno. 6
1.1.3 Analisi di vulnerabilità 7
1.1.4 Analisi di rischio 8

1.2 Stato dell'arte delle conoscenze scientifiche 10

2 OBIETTIVI DI SICUREZZA E METODI DI PROGETTAZIONE 12

2.1 Obiettivi, scopi, criteri e strategie di sicurezza 12

2.2 Principio di difesa in profondità 13
2.2.1 Diagramma a farfalla - Sistemi di sicurezza 15
2.2.2 Requisiti minimi per le barriere di sicurezza 16

2.3 Definizioni e metodi di progettazione 17

2.4 Elementi caratteristici dell'analisi delle conseguenze 22
2.4.1 Flusso del pericolo 22
2.4.2 Popolazione esposta e formazione delle code 22
2.4.3 Scenario di esodo 23

2.5 Analisi di rischio 24
2.5.1 Rischio e pericolo 24
2.5.2 Rappresentazione del rischio: diagramma a farfalla probabilistico 26
2.5.3 Albero degli eventi 27
2.5.4 Definizione fattoriale del rischio 28
2.5.5 Modello bayesiano classico con analisi delle incertezze 29
2.5.6 Misure di rischio 31

2.6 Criteri di progettazione 33

3 PROCEDURA DI PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA PER UNA GALLERIA STRADALE 35

3.1 Premessa 35

3.2 Schedatura del sistema galleria 36

3.3 Analisi di vulnerabilità 38

3.3.1 Fattori di pericolo per il sistema galleria 38
3.3.2 Gruppi di requisiti minimi di sicurezza 42
3.3.3 Progetto di sicurezza e standard ANAS 48
3.3.4 Anomalie, deficit, misure integrative, misure alternative. 49

3.4 Analisi di rischio adottata nella procedura di progettazione della sicurezza 49
3.4.1 Tratti caratteristici dell'analisi di rischio 51
3.4.2 Criteri di Accettabilità del rischio 53

3.5 Redazione del documento di sicurezza 56

4 STANDARD ANAS NUOVE COSTRUZIONI 57

4.1 Premessa 57

4.2 Standard di progettazione 58
4.2.1 Componente prescrittiva -Misure strutturali 58
4.2.1.1 Numero di canne e di corsie 58
4.2.1.2 Caratteristiche geometriche della struttura galleria 58
4.2.1.3 Banchine 59
4.2.1.4 Uscite di emergenza 59
4.2.1.4.1 Porte delle uscite di emergenza 59
4.2.1.4.2 Zona filtro a prova di fumo 60
4.2.1.4.3 Uscite dirette verso l'esterno 60
4.2.1.4.4 Collegamenti pedonali 60
4.2.1.4.5 Cunicoli di sicurezza 60
4.2.1.4.6 Gallerie di emergenza 61
4.2.1.4.7 Rifugi 61
4.2.1.4.8 Destinazione d'uso delle strutture in condizioni di emergenza 62
4.2.1.4.9 Gallerie a doppia canna e traffico unidirezionale 62
4.2.1.4.9.1 Gallerie di lunghezza compresa tra 500 e 1000 m 63
4.2.1.4.9.1.1 Collegamenti pedonali 63
4.2.1.4.9.2 Gallerie di lunghezza superiore a 1000 m 63
4.2.1.4.9.2.1 Collegamenti pedonali 63
4.2.1.4.9.2.2 Cunicoli di sicurezza 63
4.2.1.4.10 Gallerie a canna singola e traffico bidirezionale 64
4.2.1.4.10.1 Gallerie di lunghezza compresa tra 500 e 1000 m 64
4.2.1.4.10.1.1 Uscite dirette verso l'esterno 64
4.2.1.4.10.1.2 Cunicoli di sicurezza 64
4.2.1.4.10.1.3 Gallerie di emergenza 65
4.2.1.4.10.2 Gallerie di lunghezza superiore a 1000 m 65
4.2.1.4.10.2.1 Uscite dirette verso l'esterno 65
4.2.1.4.10.2.2 Cunicoli di sicurezza 65
4.2.1.4.10.2.3 Gallerie di emergenza 66
4.2.1.5 Accesso per i servizi di pronto intervento 66
4.2.1.5.1 Collegamenti carrabili 66
4.2.1.6 Piazzole di sosta 67
4.2.1.7 Sistema di drenaggio 67
4.2.1.8 Caratteristiche ignifughe degli elementi strutturali 67
4.2.1.8.1 Reazione al fuoco 67
4.2.1.8.2 Resistenza al fuoco 67
4.2.1.9 Colore delle pareti della galleria 68
4.2.2 Componente prescrittiva - Misure impiantistiche 68
4.2.2.1 Illuminazione 68
4.2.2.1.1 Illuminazione ordinaria 69
4.2.2.1.2 Illuminazione di emergenza 70
4.2.2.1.2.1 Illuminazione di riserva 70

4.2.2.1.2.2 Illuminazione di sicurezza 70
4.2.2.2 Ventilazione 71
4.2.2.2.1 Ventilazione sanitaria 72
4.2.2.2.2 Ventilazione di emergenza 72
4.2.2.2.3 Scelta del sistema di ventilazione 73
4.2.2.2.4 Gallerie monodirezionali 74
4.2.2.2.5 Gallerie bidirezionali 74
4.2.2.2.5.1 Ventilazione delle vie di fuga e dei luoghi sicuri 74
4.2.2.2.5.2 Ventilazione delle vie di fuga protette 75
4.2.2.2.5.3 Ventilazione dei luoghi sicuri temporanei 75
4.2.2.2.6 Alimentazione del sistema di ventilazione 76
4.2.2.3 Stazioni di emergenza 76
4.2.2.4 Erogazione idrica 77
4.2.2.4.1 Impianto idrico antincendio 77
4.2.2.5 Sistemi di mitigazione 78
4.2.2.6 Centro di controllo 79
4.2.2.7 Sistema di gestione e controllo 79
4.2.2.8 Sottosistema di sorveglianza e rilevazione – Sottosistema monitoraggio e rilevazione 81
4.2.2.9 Rilevazione incendio 81
4.2.2.10 Semafori, PMV, Segnaletica di emergenza 82
4.2.2.11 Sistemi di comunicazione 83
4.2.2.11.1 Rete di comunicazione 84
4.2.2.12 Alimentazione e circuiti elettrici 85
4.2.2.13 Caratteristiche ignifughe degli impianti 86
4.2.3 Componente prestazionale dello standard ANAS 87
4.2.4 Prove di collaudo ed esercitazioni periodiche 89
4.2.5 Esecuzione di prove a fuoco 90
4.2.6 Collaudo dei sottosistemi di sicurezza 92

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ____ **97**

RIFERIMENTI NORMATIVI ____ **97**

ALLEGATO 1 "FIGURE ESEMPLIFICATIVE" ____ **98**

ALLEGATO 2 MODELLO DI SCHEDATURA DEL SISTEMA GALLERIA ____ **107**

ALLEGATO 3 GRUPPI OMOGENEI DI REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA ____ **126**

ALLEGATO 4 ANALISI STATISTICA EVENTI INCIDENTALI IN GALLERIA ____ **134**

ALLEGATO 5 STANDARDIZZAZIONE DEL TERMINE DI SORGENTE ____ **139**

ALLEGATO 6 EVENTI CRITICI E PROBABILITÀ DI ACCADIMENTO ____ **144**

ALLEGATO 7 RELAZIONI CAUSALI NELLA PRODUZIONE DEI RISCHI PRIMARI ____ **151**

ALLEGATO 8 MODELLAZIONE DEL FLUSSO DEL PERICOLO ____ **152**

ALLEGATO 9 MODELLAZIONE DEGLI SCENARI DI ESODO ____ **160**

GLOSSARIO ____ **165**

i. Prefazione

Le linee guida esemplificano l'applicazione di un metodo di progettazione della sicurezza per le gallerie stradali congruente con i dettami e le raccomandazioni della Direttiva Europea 2004/54/CE, sviluppato adottando un approccio olistico al problema della sicurezza del sistema galleria utilizzando i concetti ed i fondamenti della teoria Analisi del Rischio e della dottrina Accettazione del Rischio, quantificato formulando un Modello di Rischio sostanziato dalle acquisizioni derivanti dalla ricerca scientifica sui fenomeni ed i processi connessi all'accadimento di eventi incidentali critici e risolubili per via analitica e numerica utilizzando tecniche note e consolidate.
I concetti fondamentali del metodo di progettazione della sicurezza proposto sono:

- la quantificazione della sicurezza, locuzione polisemica in quanto sintesi di uno stato d'animo e di un giudizio politico-etico, in termini di rischio accettato nel contesto socio-economico caratteristico della nazione Italia,
- la caratterizzazione prestazionale delle barriere di sicurezza, preventive e protettive, in termini di affidabilità ed efficienza ad esse proprie,
- gli insiemi di scenari di esodo possibili per la popolazione esposta al flusso del pericolo conseguente all'accadimento di un evento incidentale critico, condizionato nell'intensità e nello sviluppo dall'azione preventiva e protettiva delle barriere di sicurezza.

Le caratteristiche precipue del metodo di progettazione della sicurezza proposto possono essere così sintetizzate:

- integrare le metodologie progettuali esistenti, valide e commendevoli per aspetti specifici del problema della sicurezza nelle gallerie stradali, in una procedura completa e congruente;
- quantificare il livello di rischio proprio di un progetto determinando la curva cumulata complementare ad esso propria attraverso la modellazione del flusso del pericolo generato dagli eventi incidentali possibili all'interno della struttura;
- verificare l'accettabilità del livello di rischio conseguito per uno specifico progetto essendo fissati i limiti di accettabilità e di tollerabilità del rischio;
- fornire uno strumento che consenta ai soggetti preposti di assumere decisioni informate sul rischio;
- favorire la transizione da un regime di progettazione deterministico - prescrittivo ad un regime di progettazione probabilistico - prestazionale.

L'applicazione della procedura di analisi di rischio è finalizzata alla determinazione del livello di sicurezza proprio della struttura analizzata ed alla identificazione di idonei interventi di adeguamento della struttura.

ii. Introduzione

Il problema della sicurezza nelle gallerie stradali ha assunto rilevanza sociale in conseguenza dei sinistri verificatisi negli ultimi anni in diverse strutture dislocate lungo la rete stradale transeuropea, funestati da un numero elevato di vittime tra gli utenti e gli addetti al soccorso, causa di gravi danni alle strutture, perturbanti la funzionalità della rete locale dei trasporti e condizionanti in modo sensibile le economie locali, a causa delle prolungate interruzioni del servizio necessarie al ripristino.
L'impatto emotivo sull'opinione pubblica conseguente ai disastri accaduti nel Tunnel del Monte Bianco (Francia – Italia, 1999, 39 morti), nel Tunnel dei Tauri (Austria, 1999, 12 morti), nel Tunnel del San Gottardo (Svizzera, 2000, 11 morti), ha determinato l'ampliamento del dibattito sulla sicurezza nelle gallerie stradali dalla periferia dei tecnici progettisti e dei gestori alla comunità degli utenti, sollecitando scelte politiche e risposte normative da parte degli stati appartenenti alla Comunità Europea.
La Direttiva 2004/54/CE, promulgata dal Parlamento Europeo e concernente i *Requisiti Minimi di Sicurezza per le Gallerie Stradali della Rete Transeuropea*, individua gli obiettivi di sicurezza da perseguire, identifica un insieme di parametri di sicurezza da considerare, fissa gruppi di requisiti minimi di sicurezza da soddisfare, suggerisce un approccio sistemico nella formulazione e comparativo nei contenuti per la progettazione della sicurezza nelle gallerie di nuova costruzione, indica l'analisi di rischio come lo strumento analitico da utilizzare per determinare il livello di sicurezza di una galleria, fissando le condizioni di applicazione e dettagliando gli obiettivi da perseguire.
Nello specifico la Direttiva richiede che un'analisi di rischio analitica e ben definita, corrispondente alle migliori pratiche disponibili, sia effettuata quando una galleria non possa essere progettata ovvero adeguata ai requisiti minimi di sicurezza ad essa ascritti in funzione dei parametri di sicurezza, per manifesta impossibilità realizzativa ovvero a fronte di costi sproporzionati; la Direttiva altresì richiede che l'analisi di rischio dimostri l'equivalenza ovvero l'incremento del livello di sicurezza conseguito adottando misure alternative ed integrative rispetto ai requisiti minimi di sicurezza fissati.
La scelta del livello di analisi di rischio da adottare per perseguire gli obiettivi di sicurezza fissati ovvero la scelta del modello di rischio da formulare e risolvere, è demandata ai singoli stati membri ed è auspicato si possa pervenire all'identificazione di un livello di analisi di rischio unico e condiviso in contesto europeo.
L'assenza di un metodo di analisi dei rischi per le gallerie stradali universalmente accettato, come evidenziato in documenti redatti da enti ed associazioni di esperti, obbliga ad operare una scelta sul livello di analisi dei rischi e per essa sulle tecniche di indagine analitiche e numeriche da adottare per conseguire e quantificare gli obiettivi di sicurezza fissati dalla Direttiva.
Le definizioni dei livelli di analisi di rischio sono differenziate per i diversi campi di applicazione e nelle diverse aree del mondo. Organizzazioni e gruppi di studiosi hanno formulato, a livello mondiale, differenti definizioni degli scopi e degli obiettivi dell'analisi di rischio ed hanno classificato i modelli di rischio in termini di obiettività e livello di dettaglio delle stime fornite. Gli argomenti trattati con maggiore attenzione concernono i metodi di valutazione del rischio e la tipologia di criteri di accettazione del rischio. I metodi di valutazione del rischio sono classificati in metodi probabilistici, metodi di progettazione basati sullo stato dell'arte, analisi delle conseguenze basate sullo scenario peggiore. I criteri di accettazione del rischio sono definiti come criteri basati sul rischio quantitativi e probabilistici, criteri basati sulle conseguenze qualitativi e deterministici. La quantificazione del rischio è ottenuta attraverso l'introduzione di specifiche misure di rischio, classificate in misure di rischio individuale e misure di rischio sociale e rappresentate in forma

analitica e grafica, mentre la valutazione del rischio è effettuata attraverso l'introduzione di specifici livelli di soglia definiti in accordo a prefissati criteri e dottrine di accettazione del rischio. Lavori di sintesi sui modelli di analisi di rischio sviluppati ed adottati nei diversi paesi europei, contenenti indicazioni sul livello di obiettività proprio a ciascuno di essi, sono reperibili nella letteratura di settore alla quale si rimanda il lettore interessato.
Il metodo di progetto della sicurezza nelle gallerie stradali sviluppato ed applicato per la stesura delle linee guida, è formulato in modo da risultare congruente con i fondamenti metodologici e conseguire gli obiettivi di sicurezza indicati nella Direttiva.
Esso combina, previo adattamento alle caratteristiche specifiche del sistema galleria, i principi e le tecniche della progettazione prestazionale, dell'analisi delle conseguenze, dell'approccio probabilistico all'analisi di rischio adottati in diversi Stati della Comunità Europea nella valutazione del rischio degli impianti di processo.
La dizione tecnica appropriata per caratterizzare l'approccio utilizzato nello sviluppo del metodo di progettazione è *Approccio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze*.
La componente prescrittiva della Direttiva è inglobata nel metodo di progettazione della sicurezza sviluppato, formulando una procedura di *Analisi di Vulnerabilità* del sistema galleria, nell'ambito della quale si stabilisce una corrispondenza univoca tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza, fissati dalla Direttiva e valori limite dei parametri di sicurezza determinati a partire dall'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità.
La componente prestazionale della Direttiva, come desumibile dalle raccomandazioni inerenti gli obiettivi di sicurezza ascritti alle misure di sicurezza, è parte integrante dell'analisi di vulnerabilità, essendo in essa assunto che la progettazione della struttura sia condotta in accordo ai principi ed alle regole dell'ingegneria dei trasporti e dell' ingegneria della sicurezza.
L'analisi di vulnerabilità consente di identificare anomalie nei parametri di sicurezza e deficit nei requisiti minimi fissati dalla Direttiva e permette l'identificazione delle infrastrutture passibili di analisi di rischio.
La progettazione condotta secondo le regole riportate nelle Linee Guida assicura uno standard di sicurezza superiore al livello di rischio tollerabile quando i risultati dell'analisi di vulnerabilità dimostrino il soddisfacimento dei requisiti minimi fissati dalla Direttiva in funzione dei parametri di sicurezza.
Il livello di analisi di rischio adottato nelle linee guida 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 Fluido Dinamica 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.

Gli obiettivi conseguiti adottando il metodo di progetto della sicurezza proposto possono essere così sintetizzati:

- verificare l'accettabilità del livello di rischio proprio di una infrastruttura quando essa sia realizzata soddisfacendo i requisiti minimi di sicurezza fissati dalla Direttiva, avendo assunto che le misure strutturali ed i sistemi di sicurezza che realizzano le misure impiantistiche siano progettati in conformità ai dettami della buona pratica e realizzati a regola d'arte;
- individuare misure alternative ed integrative al gruppo di requisiti minimi di sicurezza, fissati dalla Direttiva per una determinata galleria in funzione dei parametri di sicurezza ad essa propri, quando detti parametri assumano valori tali da determinare un livello di rischio non accettabile, ovvero quando sussista un reale impedimento all'adeguamento causato da vincoli realizzativi manifesti ovvero alienabili con costi sproporzionati;
- dimostrare l'equivalenza ovvero la riduzione del livello di rischio conseguito attraverso l'adozione di misure alternative ed integrative, rispetto al livello di rischio assicurato dal soddisfacimento dei requisiti minimi di sicurezza.

iii. Emissione e Revisione

Oggetto	**Data**
Emissione Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali	Aprile 2005
Revisione a seguito del voto del CSLLPP del 29 settembre 2005	Dicembre 2006
Revisione a seguito del voto del CSLLPP del 15 dicembre 2005	Febbraio 2006
Revisione a seguito dell'approvazione Dlgs N°264 del 5/10/2006 di recepimento della Direttiva 2004/54/CE	Novembre 2006

1 Inferenze metodologiche dalla Direttiva e progetto della sicurezza dall'analisi di rischio

1.1 Fondamenti metodologici, capisaldi progettuali

Le note metodologiche ed i riferimenti scientifici riportati nel successivo paragrafo, integrati dai commenti e dalle definizioni derivate dalla lettura del testo della Direttiva, sono finalizzati ad individuare i capisaldi della metodologia di progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali sviluppata nelle Linee Guida.

1.1.1 Riferimenti e metodologia

La US Court of Appeals, DC Circuit, con la sentenza numero 85-1150 (1987) "Petition for review of an order of the Environmental Protection Agency, Decided July 28, 1987" ha sancito i principi ai quali devono ispirarsi le Autorità preposte all'emanazione dei regolamenti concernenti la sicurezza e la salute pubblica, sottolineando come le azioni e le prescrizioni debbano essere fissate utilizzando come discriminante il livello di rischio accettabile in luogo del costo.
I principi fissati sono:

- 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.
I fondamenti metodologici delle Linee Guida come desunti dalla Direttiva possono essere così sintetizzati:

- codifica degli obiettivi da perseguire nella progettazione della sicurezza delle gallerie stradali,
- adozione di un approccio sistemico all'analisi della sicurezza nelle gallerie stradali,
- identificazione dei parametri di sicurezza caratteristici per le gallerie stradali,
- distinzione delle misure di sicurezza in misure di sicurezza strutturali e misure di sicurezza impiantistiche,
- definizione di gruppi omogenei di misure di sicurezza in funzione dei parametri di sicurezza,

- identificazione del modello bayesiano classico con analisi delle incertezze come modello di rischio analitico ben definito per la disanima del problema della sicurezza nelle gallerie stradali e la determinazione del livello di rischio associato ad una determinata infrastruttura.

Gli obiettivi da perseguire nella progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali possono essere così sintetizzati:

- il livello di sicurezza raggiunto deve prevenire il verificarsi di tutte le situazioni che possono mettere in pericolo la vita umana, l'ambiente, le dotazioni impiantistiche,
- il livello di sicurezza raggiunto deve proteggere in modo efficace dalle conseguenze derivanti da eventi incidentali possibili così che:
  - i soggetti direttamente coinvolti nell'incidente possano mettersi in salvo,
  - i soggetti non direttamente coinvolti nell'incidente possano reagire in modo immediato evitando ulteriori danni,
  - i servizi di emergenza possano intervenire con efficacia,
  - l'ambiente sia protetto,
  - i danni materiali ed i danni economici derivanti dall'interruzione di servizio siano limitati.

L'analisi di rischio, in accordo al testo della Direttiva, è la disciplina scientifica da utilizzare per:

- stabilire la necessità di misure integrative rispetto ai requisiti minimi di sicurezza quando una galleria presenti anomalie nei parametri di sicurezza;
- stabilire l'equivalenza tra misure di sicurezza alternative e/o compensative rispetto ai requisiti minimi di sicurezza;
- valutare l'entità delle conseguenze derivanti da eventi incidentali pertinenti al sistema galleria che pregiudichino la sicurezza e l'incolumità degli utenti, degli addetti, dei servi di soccorso.

1.1.2 Sistema galleria, flussi caratteristici, danno.

Il sistema galleria, per la missione ad esso propria e la presenza di sistemi tecnologici preposti alla realizzazione di misure di prevenzione in condizioni di esercizio e di misure di protezione in condizioni incidentali, si configura come un sistema di processo suscettibile di analisi quantitativa condotta in accordo ai principi ed alle regole dell'ingegneria della sicurezza.
La missione del sistema identifica le variabili di stato pertinenti:

- la massa dei veicoli in transito,
- l'energia totale dei veicoli e delle merci trasportate.

L'energia totale dei veicoli e delle merci trasportate è definita come somma dei seguenti addendi:

- l'energia potenziale, determinata dalla massa dei veicoli;
- l'energia cinetica, determinata dalla massa e dalla velocità di avanzamento dei veicoli;
- l'energia interna, determinata dalle caratteristiche chimico-fisiche dei veicoli e delle merci trasportate.

Gli eventi incidentali critici sono identificati con le seguenti classi di eventi possibili nel sistema galleria:

- collisioni seguite da incendio dei veicoli coinvolti,
- incendi dei veicoli,
- rilasci in fase liquida (sversamenti) di sostanze infiammabili dai veicoli,
- rilasci in fase gassosa di sostanze tossiche, nocive, infiammabili dai veicoli,
- esplosioni.

Il sistema galleria può essere caratterizzato in termini di traiettorie caratteristiche:

- una traiettoria di successo, realizzata in condizioni di esercizio;
- un insieme di traiettorie di emergenza, realizzate in condizioni incidentali.

La locuzione traiettoria del sistema galleria individua la successione degli stati assunti dal sistema in funzione del tempo.
I flussi caratteristici del sistema galleria possono essere identificati con:

- il flusso di traffico, in condizioni di esercizio;
- il flusso del pericolo, in condizioni di emergenza.

Il flusso del pericolo, risultante dai processi di scambio di massa e di energia conseguenti all'accadimento di un evento incidentale critico e condizionati nell'evoluzione dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza installati, determina l'ambiente interno della galleria in condizioni di emergenza.
Il flusso del pericolo e le distribuzioni dei veicoli all'interno della struttura conseguenti all'accadimento di specifici eventi incidentali critici definiscono gli scenari di esodo possibili per la popolazione esposta.
La popolazione esposta è costituita dagli utenti e dagli addetti al soccorso.
Gli stati di fine emergenza risultanti dagli scenari di esodo determinano le conseguenze sui componenti sensibili dell'infrastruttura.
I componenti sensibili sono identificati con:

- la popolazione esposta,
- gli impianti,
- la struttura, l'ambiente circostante.

Il danno è definito come il vettore rappresentativo delle conseguenze sui componenti sensibili del sistema galleria.
Il numero ridotto di dati disponibili sulle probabilità di accadimento e sulle conseguenze di eventi incidentali rilevanti in galleria orientano, in prima battuta, verso la formulazione di un modello di rischio che includa:

- la simulazione dell'evoluzione dei fenomeni e dei processi connessi all'accadimento di eventi incidentali rilevanti condizionata dalle prestazioni dei sistemi di sicurezza,
- la stima delle conseguenze sulla salute degli utenti e degli addetti al soccorso connesse alla realizzazione di specifici scenari di esodo.

Le prestazioni dei sistemi di sicurezza, in fase transitoria, si assumono fissate dalla buona pratica corrente; il modello di rischio contiene gli effetti delle incertezze epistemiche e casuali ascrivibili ai sistemi di sicurezza come determinate dalla tecnica giudizio degli esperti.
La Direttiva appare consapevole dei limiti attuali sulla conoscenza dei fenomeni e sulle conseguenze connesse all'accadimento di eventi critici rilevanti in galleria e sollecita l'esecuzione di esercitazioni periodiche su scala reale ovvero a calcolo che siano quanto più possibile realistiche e forniscano risultati chiari di valutazione del livello di sicurezza, al fine di incrementare la buona pratica e migliorare le indicazioni degli esperti.

1.1.3 Analisi di vulnerabilità

La progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali deve essere condotta adottando un approccio sistemico per il quale siano tenute in debito conto tutte le componenti dell'infrastruttura:

- la galleria,
- l'ambiente circostante,
- le modalità di esercizio,
- i veicoli ed il traffico,

- il comportamento degli utenti.

La tabella sinottica dei requisiti minimi di sicurezza della Direttiva è utilizzata per individuare gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza in funzione dei parametri di sicurezza avendo individuato in modo univoco il campo di variazione ad essi proprio a partire dall'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità.
I parametri di sicurezza identificati dalla Direttiva sono distinti in:

- parametri di sicurezza rilevanti,
- parametri di sicurezza caratteristici.

I parametri di sicurezza rilevanti sono:

- la lunghezza della galleria,
- il volume di traffico incidente sulla galleria.

I parametri di sicurezza caratteristici sono:

- numero di fornici,
- numero di corsie,
- geometria della sezione trasversale,
- allineamento verticale e orizzontale,
- tipo di costruzione,
- traffico unidirezionale o bidirezionale,
- distribuzione nel tempo del traffico,
- rischio di congestione (giornaliero o stagionale),
- tempo di intervento dei servizi di pronto intervento,
- presenza e percentuale di veicoli pesanti,
- presenza, percentuale e tipo di trasporto di merci pericolose,
- caratteristiche delle strade di accesso,
- larghezza delle corsie,
- considerazioni relative alla velocità,
- condizioni geografiche e meteorologiche.

L'approccio indicato consente di suddividere in modo univoco il parco di gallerie dislocate lungo la rete stradale di competenza ANAS in gruppi omogenei in funzione dei parametri di sicurezza fissati dalla Direttiva.
L'esistenza di una corrispondenza tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza e gruppi di gallerie consente di introdurre nel metodo di progettazione della sicurezza una procedura di analisi di vulnerabilità congruente con la Direttiva ed immediatamente applicabile nel processo di determinazione del livello di adeguamento richiesto per le strutture esistenti.

1.1.4 Analisi di rischio

Le caratteristiche delle traiettorie possibili per il sistema galleria determinate dalla missione ad esso propria, l'adozione di sistemi di sicurezza all'interno della struttura con funzioni preventive e protettive in fase di esercizio e condizioni incidentali, l'assunzione di un approccio sistemico sollecitata dalla Direttiva, gli obiettivi di sicurezza e gli ambiti di applicazione dell'analisi di rischio individuati e prescritti dalla Direttiva, il numero ridotto di dati disponibili sulle conseguenze degli eventi critici rilevanti, hanno portato a:

- la definizione di un modello di rischio probabilistico nella formulazione e quantitativo nelle determinazioni, comprensivo delle incertezze casuali ed epistemiche associate alle prestazioni dei sistemi di sicurezza;

- l'utilizzo della tecnica dell'albero degli eventi come strumento di rappresentazione delle traiettorie incidentali del sistema galleria condizionate dall'azione dei sistemi di sicurezza che originano da distribuzioni diverse di eventi critici iniziatori e terminano in una distribuzione non uniforme di stati di fine emergenza, ciascuno caratterizzato da specifiche conseguenze;
- la simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura.

La Direttiva non contiene alcuna indicazione sulla valutazione del rischio per il sistema galleria stradale avendo demandato l'identificazione della procedura di analisi dei rischi idonea alle autorità legislative dei singoli stati membri.
La valutazione del rischio, nell'ambito dell'analisi di rischio, è la fase mirata a :

- identificare criteri e livelli di accettabilità del rischio,
- analizzare opzioni progettuali diverse sviluppate per soddisfare determinati livelli di accettabilità del rischio.

I criteri di accettazione del rischio possono essere classificati come:

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

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

- il principio ALARP (As Low As Reasonably Practicable), basato sul concetto di rischio sociale, recita:
  il rischio sociale deve essere valutato per ogni attività antropica che possa provocare sinistri risultanti in un numero significativo di fatalità;
- il principio MEM (Minimum Endogenous Mortality), basato sul concetto di rischio individuale, recita:
  il rischio connesso ad un nuovo sistema di trasporto non dovrebbe aumentare in modo significativo il tasso di mortalità endogena di un individuo;
- il principio GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon), non direttamente connesso ai concetti di rischio sociale e rischio individuale, recita:
  un nuovo sistema di trasporto deve assicurare un livello di rischio globalmente almeno pari al livello di rischio di un sistema esistente ad esso affatto analogo.

Il principio GAMAB richiede sia determinato il rischio connesso al sistema di trasporto esistente assunto come termine di paragone, ma non richiede sia specificato alcun valore limite per il rischio accettato. Esso presuppone sia stata effettuata un'idonea analisi di rischio per il sistema di trasporto esistente assunto come termine di paragone.
Il principio GAMAB è rapido ed efficace nell'applicazione quando i sistemi di trasporto a confronto a confronto siano similari nelle caratteristiche e nelle dotazioni nonché semplici nell'impianto funzionale.
Esso, tuttavia, risulta fortemente condizionato nell'applicazione dalle valutazioni qualitative di similarità formulate dagli esperti.
Il principio ALARP è utilizzato come principio guida per assumere decisioni consapevoli ed informate sul rischio quando sia necessario adottare misure preventive e mitigative di carattere compensativo in quanto la galleria considerata non soddisfa i requisiti minimi di sicurezza ad essa propri.
La scelta è congruente con l'individuazione di una procedura di analisi dei rischi probabilistica nella formulazione e quantitativa nelle determinazioni come idonea a soddisfare i fondamenti metodologici e gli obiettivi di sicurezza fissati dalla Direttiva e che renda manifesta l'assunzione di

responsabilità operata dallo stato nella definizione dei limiti di accettabilità e tollerabilità in materia di gestione del rischio per una infrastruttura.
Il principio ALARP richiede sia identificata la soluzione progettuale che consente la maggiore riduzione del livello di rischio di una determinata galleria e che risulti compatibile con i vincoli tecnici ed economici propri del progetto della struttura.
La soluzione progettuale ottima risulta dall'applicazione del criterio costi-sicurezza ossia dalla soluzione di un modello tecnico-economico di minimo vincolato che combina in rischio (minimo) con il costo del ciclo vita dell'infrastruttura (minimo) e la fattibilità delle soluzioni progettuali (vincoli).

1.2 Stato dell'arte delle conoscenze scientifiche

Gli standard attuali e le linee guida di progettazione delle gallerie stradali sono basati sui risultati ottenuti nel corso di prove su scala reale condotte negli anni '60-'70 [Offenegg-Tunnel] e su vaghe concezioni inerenti le prestazioni dei sistemi di sicurezza formulate negli anni dagli esperti. Gli standard attuali dettano regole progettuali dai fondamenti incerti e spesso sconosciuti agli ingegneri progettisti.
Le conoscenze acquisite dalle prove su scala reale condotte negli anni '90 (Memorial Tunnel, Eureka Project) sono state solo parzialmente inglobate nella pratica corrente. I fondamenti fisico-chimici degli eventi incidentali rilevanti, i principi della progettazione prestazionale dei sistemi di sicurezza, il metodo dell'ingegneria della sicurezza, non compaiono negli standard attuali di progettazione, nonostante essi risultino determinanti nella valutazione del livello di sicurezza di un sistema di trasporto in sotterraneo. La formulazione di standard basati su un approccio sistemico e prestazionale è suggerito dalla Direttiva quando si sollecita l'identificazione e l'adozione di misure alternative ed integrative di progettazione delle gallerie, senza essere sviluppato in termini applicativi con l'indicazione degli strumenti analitici da utilizzare per giustificare le scelte e con la definizione di idonei criteri di accettabilità come elemento di conforto per le autorità preposte alla valutazione dei progetti.
Il comportamento atteso degli utenti in condizioni incidentali dovrebbe anch'esso essere inglobato nel progetto e nella formulazione dei piani di emergenza, come peraltro richiesto dalla Direttiva quando essa prescrive la realizzazione di prove di evacuazione periodiche condotte riproducendo scenari di esodo rappresentativi nella forma e nella sostanza di condizioni reali possibili, avendo esso un peso sulla sicurezza del sistema galleria comparabile con il peso dei sistemi di sicurezza.
L'incremento sensibile dei volumi di merci trasportate, l'aumento della lunghezza media delle gallerie in fase di progetto e la realizzazione di gallerie in contesto urbano, l'accresciuta complessità strutturale ed impiantistica dei sistemi di trasporto in sotterraneo stridono con la prassi progettuale corrente, in larga misura basata su idee e tradizioni sviluppate per sistemi strutturalmente semplici, interessati da volumi di traffico di veicoli pesanti ridotti e limitati nelle tipologie di merci trasportate, a basso contenuto tecnologico dei sistemi di sicurezza e ridotta complessità di gestione.
Le fasi del progetto per le quali è necessaria un'attenta revisione nelle metodiche di analisi concerne il mutuo accoppiamento tra il ciclo comburente (ventilazione) ed il ciclo combustibile (focolai) in caso di eventi di incendio, la caratterizzazione dei flussi d'aria in galleria (ventilazione) e del processo di dispersione di sostanze tossiche e nocive (sorgenti) in caso di eventi di rilascio, la caratterizzazione della resistenza e della reazione al fuoco degli elementi strutturali ed impiantistici (curve Temperatura - Tempo), la caratterizzazione dell'interazione tra focolai e sorgenti di rilascio ed impianti di mitigazione e spegnimento e la quantificazione dei vantaggi e degli svantaggi dei sistemi di protezione attiva (impianti ad acqua frazionata, impianti ad acqua nebulizzata).

Prove su scala reale condotte in anni recenti (Runehamar Tunnel 2003) hanno evidenziato come le potenze termiche massime generate da focolai costituiti da veicoli pesanti non adibiti al trasporto di merci pericolose e le temperature di picco raggiunte dai prodotti della combustione superino in modo significativo i valori di progetto suggeriti nei documenti redatti da consessi di esperti.
Rielaborazioni teoriche condotte sui dati ottenuti nel caso di prove realizzate su scala reale ed in laboratorio hanno evidenziato il ruolo svolto dalla geometria e dai regimi di ventilazione sulla dinamica dei focolai (effetto tunnel).
I risultati ottenuti utilizzando sistemi di mitigazione ad acqua frazionata hanno riproposto il tema dell'adozione di sistemi di spegnimento e mitigazione nelle gallerie stradali osteggiati nell'uso soprattutto in ambito europeo.
Le considerazioni svolte trovano naturale collocazione nel metodo di progettazione della sicurezza in una galleria stradale dettagliato nei successivi capitoli.

2 Obiettivi di sicurezza e metodi di progettazione

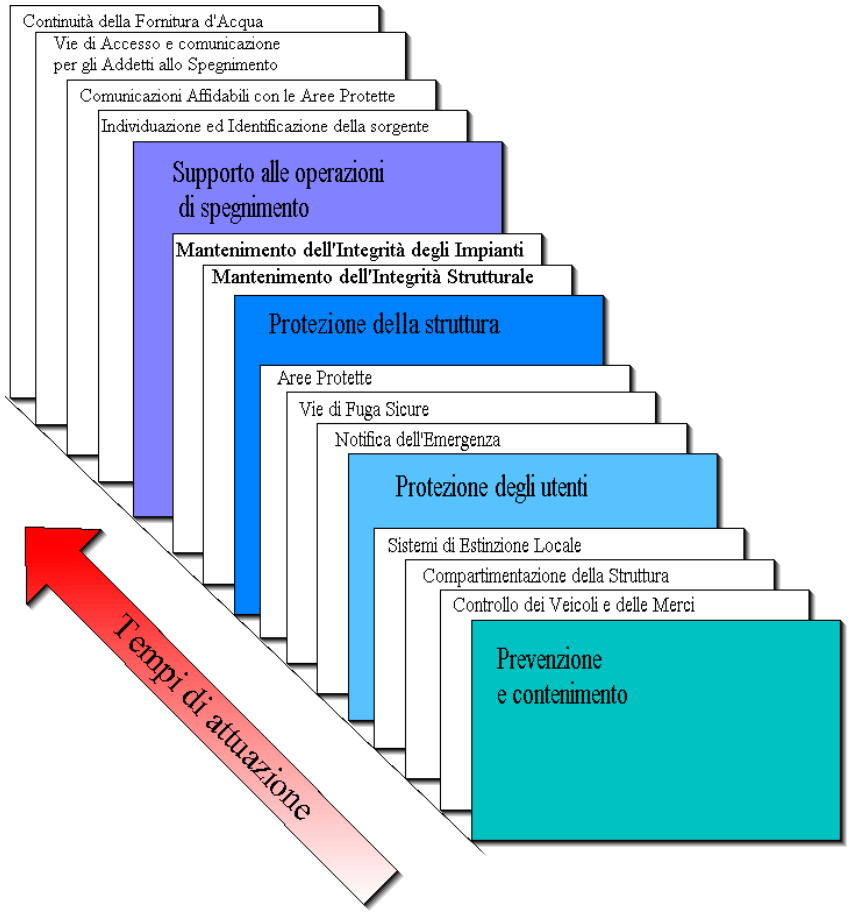
2.1 Obiettivi, scopi, criteri e strategie di sicurezza

I principali obiettivi da conseguire nel campo della sicurezza nelle gallerie stradali sono visualizzati nel seguente schema.

La successiva tabella sintetizza gli obiettivi, gli scopi, i criteri e le strategie adottate nello sviluppo del progetto della sicurezza in una galleria stradale.

Definizione degli scopi	**Definizione degli obiettivi**
Protezione della vita	Sicurezza della vita degli utenti
Protezione della struttura	Sicurezza della vita degli addetti al soccorso
Protezione della continuità di esercizio	Protezione della struttura
Protezione dell'ambiente	Minimo disturbo delle condizioni di esercizio
	Problematiche ambientali
Sviluppo dei criteri di sicurezza	**Sviluppo delle strategie di sicurezza**
Requisiti minimi	Strategia di costruzione della struttura
Caratterizzazione dell'incidentalità	Strategia di installazione dei dispositivi di sicurezza
Valutazione del rischio	Strategia di gestione della sicurezza
Formulazione e caratterizzazione degli scenari incidentali rilevanti	Strategia di controllo dei fattori di rischio
Definizione dei criteri di sopravvivenza per autosalvamento degli utenti	
Strategie di esodo	

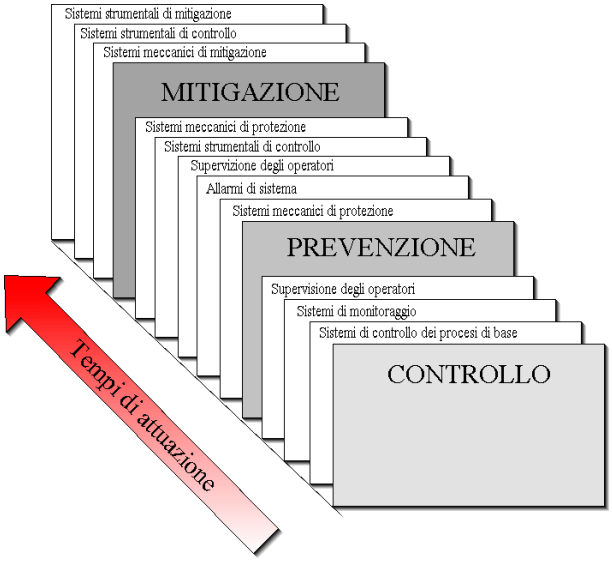
Il successivo grafico esemplifica i sistemi ingegneristici, le soluzioni costruttive, le procedure gestionali concorrenti al progetto della sicurezza in una galleria stradale e necessari per realizzare gli obiettivi di sicurezza.



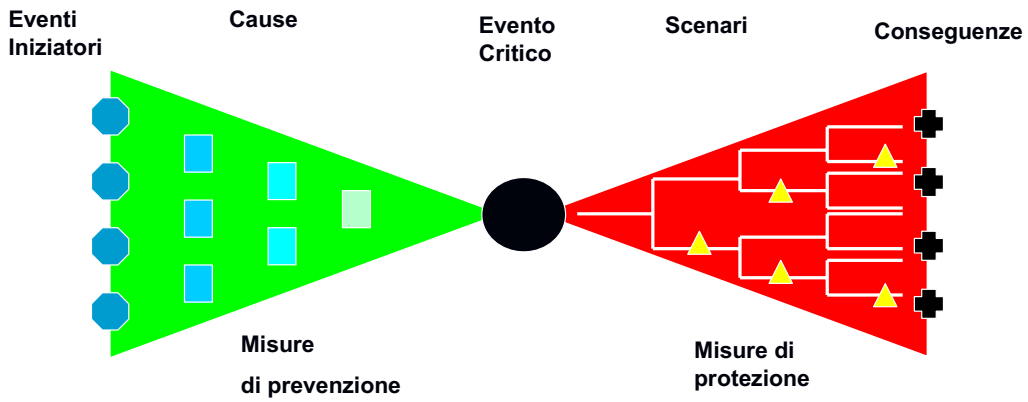
2.2 Principio di difesa in profondità

Il principio adottato nella progettazione della sicurezza di un sistema galleria stradale è il principio della difesa multipla ed in profondità all'attacco del fenomeno traffico. Esso è attuato mediante la realizzazione di barriere di sicurezza multiple e diverse nella specificità funzionale, atte a garantire i livelli di sicurezza richiesti per la struttura e per la salute pubblica.
La sicurezza di una galleria, in base al principio di progettazione introdotto, richiede la realizzazione di sistemi specifici per il controllo, la mitigazione, la prevenzione degli eventi incidentali che in essa possono verificarsi.
I sistemi di sicurezza realizzati determinano la risposta della struttura alle condizioni di emergenza e la risposta della comunità interessata dagli eventi incidentali.
Una rappresentazione schematica del principio di progettazione introdotto è mostrata nella successiva figura.

I sistemi di sicurezza necessari all'applicazione del principio di progettazione proposto sono sintetizzati nella successiva figura.



Il principio di progettazione richiamato è esemplificato utilizzando la tecnica diagramma a farfalla nota ed accettata nella letteratura sulla sicurezza dei sistemi di processo.



2.2.1 Diagramma a farfalla - Sistemi di sicurezza

La tecnica diagramma a farfalla consente la visualizzazione delle barriere di sicurezza installate o previste per il sistema galleria analizzato suddivise per azione ascritta.
Le barriere di sicurezza sono distinte in:

- barriere di sicurezza ad azione preventiva,
- barriere di sicurezza ad azione protettiva e mitigativa.

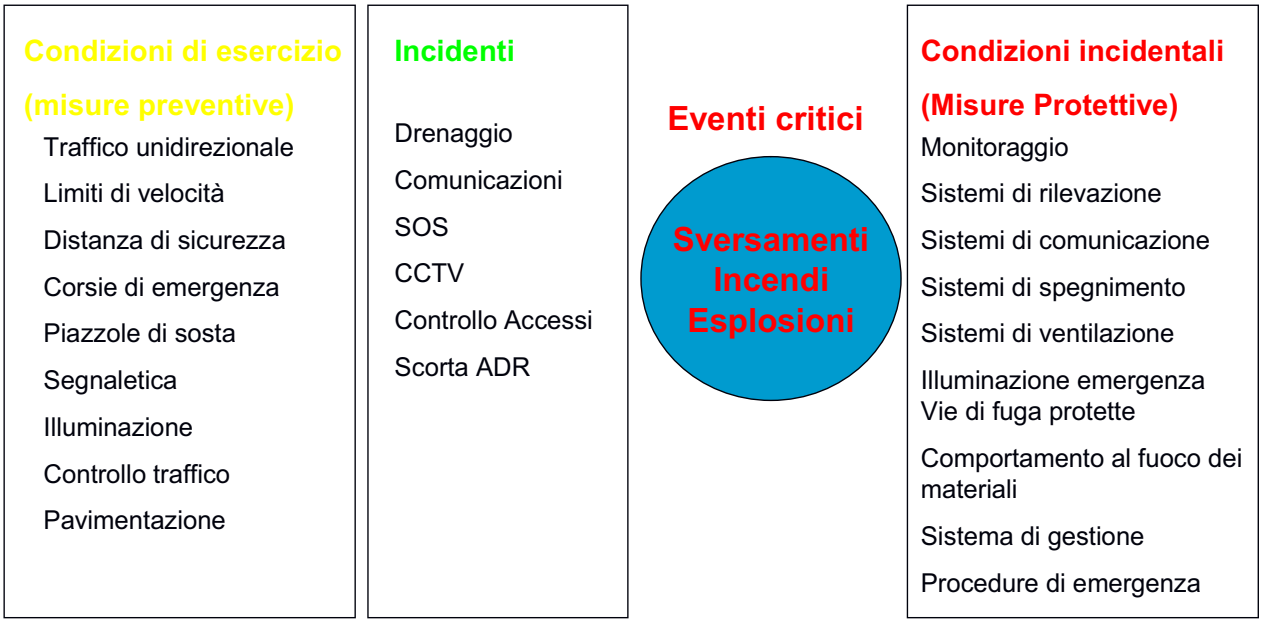
Le barriere di sicurezza preventive sono finalizzate alla riduzione del tasso di accadimento degli eventi critici possibili, le barriere di sicurezza protettive sono finalizzate alla mitigazione delle conseguenze possibili essendo accaduti gli eventi critici.
Le barriere di sicurezza possono essere distinte in:

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

Le caratteristiche di sicurezza di un sistema galleria stradale sono determinate dall'efficacia delle barriere di sicurezza installate o previste in quanto elementi condizionanti l'evoluzione di sequenze incidentali possibili.
L'efficacia di una barriera di sicurezza dipende dall'affidabilità ed efficienza ad essa proprie.
Le barriere di sicurezza possono essere sistemi fisici e sistemi ingegneristici ovvero azioni compiute dagli addetti seguendo specifiche procedure o compiendo specifici controlli amministrativi. Una barriera di sicurezza può essere l'azione di un operatore, un sistema di prevenzione, un sistema di monitoraggio e controllo del traffico, un sistema di rilevazione incidenti, un elemento architettonico strutturale…
I sistemi fisici, i sistemi ingegneristici, le azioni compiute dagli addetti operano in modo coordinato e continuativo per assicurare una funzione di sicurezza.
Le barriere di sicurezza possono essere classificate in:

- barriere di sicurezza passive, ossia, sistemi fisici sempre attivi che non richiedono l'intervento degli addetti e non necessitano di sorgenti energetiche né sorgenti di informazione;
- barriere di sicurezza attivabili, ossia, sistemi ingegneristici pre-condizionati che devono essere attivati automaticamente ovvero manualmente per entrare in funzione, barriere fisiche da attivare perché realizzino le funzioni di sicurezza ad esse ascritte; le barriere di sicurezza attivabili necessitano di sorgenti energetiche e sorgenti di informazione per realizzare le funzioni di sicurezza, ossia, l'attivazione è conseguente ad una sequenza di rilevazione-diagnosi e può essere effettuata per via meccanica ovvero asservita ad un sistema di gestione, ovvero subordinata all'intervento degli addetti e degli utenti;
- azioni individuali-collettive, ossia, azioni compiute da utenti ed addetti conseguenti ad osservazioni sensoriali, comunicazioni diffuse, regole comportamentali suggerite,…
- barriere simboliche, ossia, barriere attivate dall'interpretazione del messaggio al quale fungono da supporto.

Il successivo grafico sintetizza alcune delle barriere di sicurezza che realizzano le misure di prevenzione e le misure di prevenzione previste dalla Direttiva.



2.2.2 Requisiti minimi per le barriere di sicurezza

L'applicazione della metodologia dell'analisi di rischio quantitativa prevede l'identificazione delle funzioni di sicurezza soggiacenti alla realizzazione della traiettoria di successo per il sistema galleria stradale e la scomposizione in classi di barriere di sicurezza che realizzano le funzioni di sicurezza.
Il termine funzione di sicurezza è utilizzato per individuare un'azione tecnica o gestionale mirata ad assicurare e promuovere la sicurezza del sistema galleria stradale.
Una barriera di sicurezza, per essere considerata rilevante, deve soddisfare i seguenti requisiti:

A. l'efficienza di una barriera di sicurezza deve essere dimostrata per gli scenari incidentali possibili;
   - l'efficienza è definita come l'abilità di una barriera di sicurezza tecnologica a realizzare una funzione di sicurezza per un fissato intervallo temporale operando in modo non degradato in specifiche condizioni;
   - la determinazione dell'efficienza di una barriera di sicurezza richiede la valutazione del progetto ossia la verifica dell'idoneità delle regole e dei codici utilizzati nella progettazione e la compatibilità con il sistema galleria stradale;
   - la determinazione dell'efficienza di una barriera di sicurezza deve essere effettuata nella fase di analisi della sicurezza del sistema galleria sulle basi dei dati resi disponibili dai fornitori od indicati dai progettisti, applicando norme e guide tecniche riconosciute ed accettate, realizzando prove in situ;

B. il tempo di risposta di una barriera di sicurezza deve essere compatibile con la cinetica degli scenari;
   - il tempo di risposta è definito come l'intervallo temporale che intercorre tra l'attivazione della barriera e l'attivazione completa della funzione di sicurezza alla quale è preposta;
   - la determinazione del tempo di risposta di un sistema ingegneristici deve essere effettuata nella fasi di analisi della sicurezza del sistema galleria sulla base dei dati resi disponibili dai fornitori od indicati dai progettisti applicando norme riconosciute ed accettate, realizzando prove in situ;

- il tempo di risposta delle azioni individuali- collettive dipende da numerosi fattori come l'addestramento degli addetti, la rapidità di diagnosi in presenza di eventi incidentali, l'accessibilità delle barriere di sicurezza ad azionamento manuale, la conoscenza acquisita dagli operatori delle procedure di gestione dell'emergenza;

C. il livello di confidenza di una barriera di sicurezza è legato all'affidabilità del sistema ingegneristici;
   - il livello di confidenza è inversamente proporzionale alla probabilità di malfunzionamento su richiesta del sistema ingegneristici e corrisponde all'affidabilità di una barriera 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.

2.3 Definizioni e metodi di progettazione

La strada è definita come una porzione dello spazio fisico entro il quale si realizza l'atto di moto di un insieme finito di veicoli in mutua interazione.
Il traffico è il fenomeno determinato dall'atto di moto di un insieme finito di veicoli in mutua interazione.
Un veicolo è una sorgente mobile di massa ed energia.
La galleria stradale è definita come una struttura confinata dislocata lungo una strada interessata dai flussi di massa e di energia associati al fenomeno traffico.
Una galleria stradale si intende percorsa da traffico monodirezionale quando viene progettata e costruita per essere fruita da un flusso di veicoli che si esplica in una unica direzione .
Una galleria si intende percorsa da traffico bidirezionale quando viene progettata e costruita per essere fruita da un flusso di veicoli che si esplica in due distinte direzioni.
Il termine sistema galleria individua il complesso costituito da:

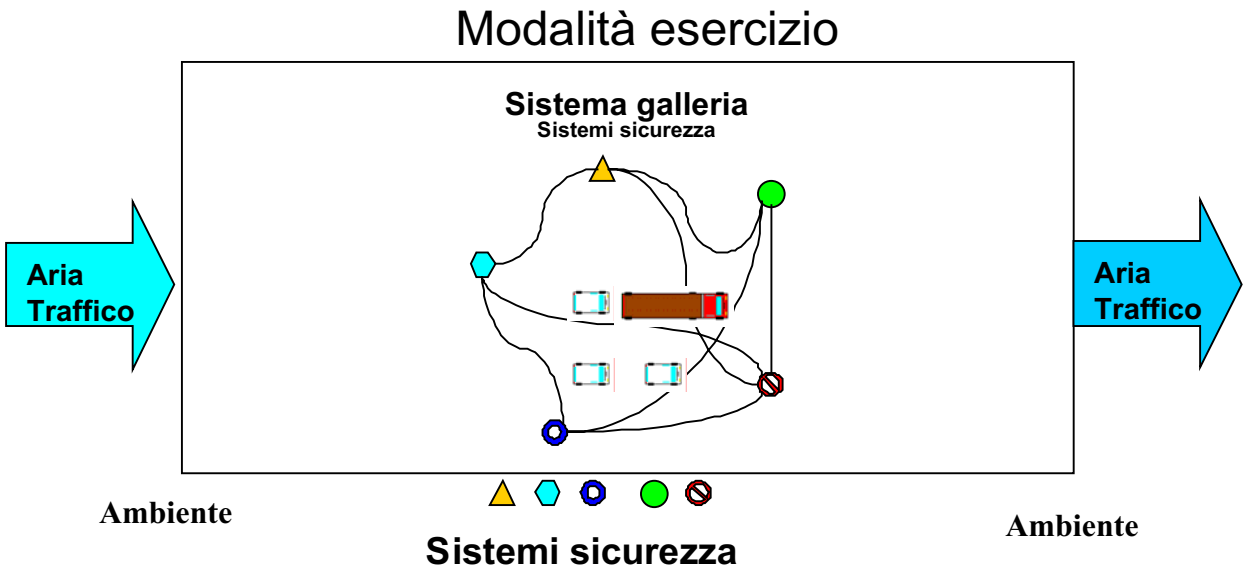
- la struttura,
- i sistemi di sicurezza,
- i veicoli e gli utenti,
- l'ambiente circostante.

Il sistema galleria, essendo la realizzazione della funzione ad esso ascritta condizionata da sistemi tecnologici, costituisce un sistema di processo.
Le variabili di processo per il sistema galleria sono la massa e l'energia associate ai veicoli che determinano il flusso di traffico.
Il sistema galleria è un sistema di processo, localizzato in un determinato ambiente e con esso interagente, progettato e realizzato in uno specifico paese.
Il sistema di processo galleria è caratterizzato in termini di una traiettoria di successo realizzata in condizioni di esercizio.
La locuzione traiettoria del sistema galleria individua la successione degli stati assunti dal sistema in funzione del tempo.
Il termine scenario di successo è utilizzato per indicare la traiettoria che il sistema galleria realizza nello spazio degli stati ad esso proprio in condizioni di normale esercizio.
Le condizioni di normale esercizio sono le condizioni corrispondenti alla preservazione della continuità del traffico in assenza di eventi incidentali.
I metodi scientifici da integrare in una metodologia di progettazione prestazionale della sicurezza in una galleria, a valle del processo di localizzazione territoriale e di progettazione architettonica e strutturale dell'opera, come risultano dalla definizione adottata per il sistema galleria, dalla

destinazione d'uso ad esso ascritta, dall'identificazione delle variabili di processo, dalla distinzione tra le traiettorie possibili per il sistema, risultano essere:

- il metodo fluidodinamico,
- il metodo termodinamico,

Il sistema galleria costituisce un sistema termodinamico aperto descrivibile adottando i principi ed i metodi propri della fluidodinamica e della termodinamica.
Una rappresentazione schematica del sistema galleria assimilato ad un sistema termodinamico aperto in condizioni di esercizio è mostrata nella successiva figura.

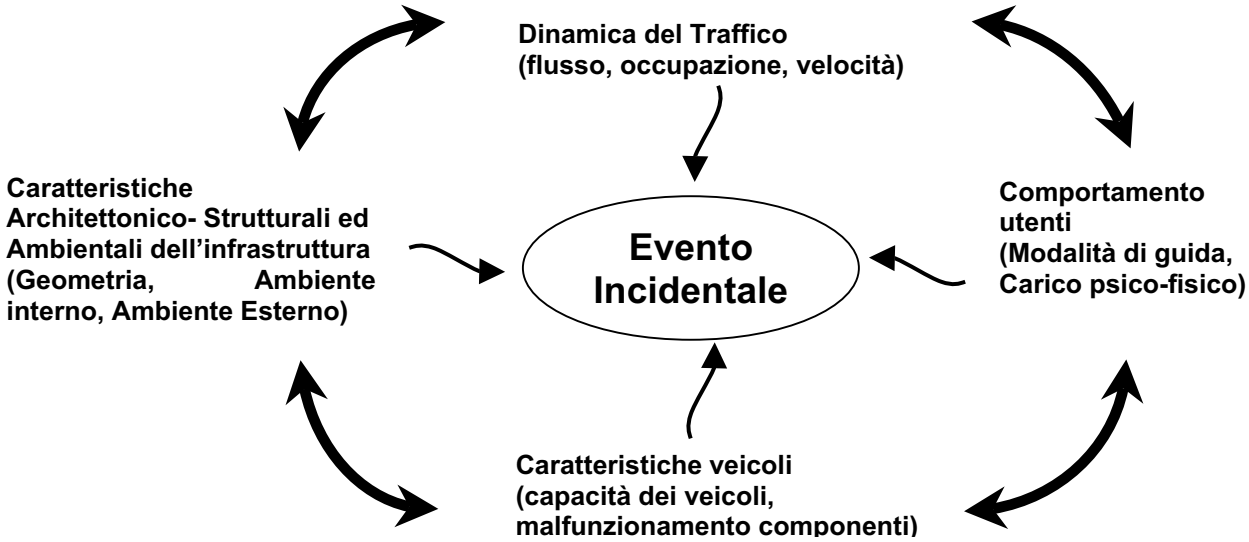


La struttura identifica il volume di controllo entro il quale si realizzano processi di trasporto di massa e di energia posti in essere dall'esistenza dei veicoli.
La massa totale di un veicolo è definita come la somma della massa a vuoto e della massa delle persone e delle merci trasportate.
L'energia totale di un veicolo è definita come la somma dell'energia meccanica e dell'energia interna ad esso proprie.
Il volume di controllo è limitato da una superficie reale od ideale che separa la struttura dall'ambiente circostante e sulla quale è distribuito un numero finito di porte attraverso le quali si realizzano i processi di scambio di massa in condizioni di esercizio.
La modellazione degli scambi di massa in condizioni di esercizio può essere effettuata adottando il metodo fluidodinamico.
Esso consente di:

- analizzare il flusso di traffico generato dal moto d'insieme dei veicoli al fine di determinare le condizioni per le quali possono verificarsi transizioni significative dal regime di traffico scorrevole a regimi di traffico anomali, importanti dal punto di vista della sicurezza stradale, quali regimi di traffico congestionato, formazione delle code, interferenza tra correnti di veicoli, potenziali responsabili di eventi di collisione;
- modellare il flusso dell'aria in galleria determinato dal moto dei veicoli ovvero dall'impianto di ventilazione meccanica installato ovvero dalle condizioni barometriche ai portali ed il conseguente processo di dispersione degli inquinanti emessi dai veicoli all'interno della galleria ed in prossimità dei portali al variare delle condizioni e della composizione del traffico;

- progettare sistemi di gestione e controllo del traffico, ovvero sistemi di controllo della qualità dell'aria in galleria in funzione della sicurezza del traffico e del risparmio energetico, ovvero sistemi di depurazione dell'aria in funzione dell'impatto dell'opera sull'ambiente.

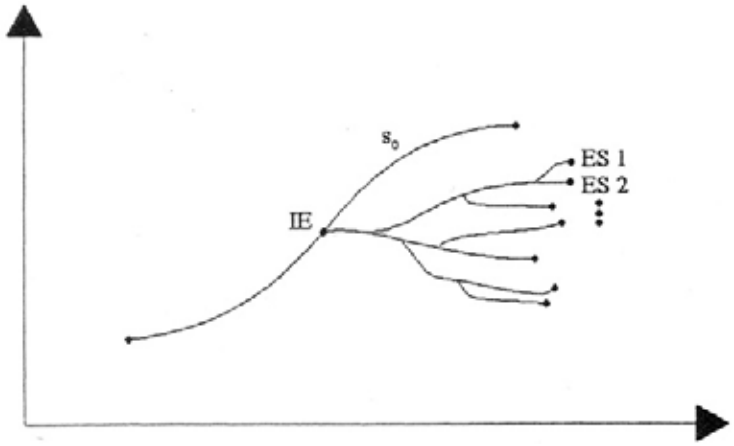
Le misure di sicurezza preventive sono realizzate allo scopo di vincolare il sistema galleria sulla traiettoria di successo.
La traiettoria rappresentativa dello scenario di successo è scomposta in un insieme completo, finito, disgiunto di segmenti. L'operazione di scomposizione è mirata ad analizzare l'evoluzione del sistema galleria come scandita da un singolo tratto al fine di individuare possibili deviazioni dalla traiettoria corrispondente allo scenario di successo.
I fattori causali di un evento incidentale possono essere suddivisi in quattro categorie mutuamente accoppiate come mostrato nel successivo grafico.



L'instabilità di uno dei fattori causali determina l'accadimento di un evento incidentale.
La stabilità della catena rappresentativa del flusso di traffico è assicurata da azioni mirate a controllare le instabilità potenziali dei fattori causali. Il complesso delle azioni mirate a controllare le instabilità potenziali dei fattori causali è realizzato dalle misure di sicurezza di prevenzione.
I sistemi tecnologici adottati per realizzare le misure di prevenzione determinano la risposta del sistema galleria e condizionano la risposta degli utenti in condizioni di esercizio.
Un evento incidentale è identificato con il punto di biforcazione a partire dal quale si verificano deviazioni dallo scenario di successo.
Il termine pericolo individua una sorgente potenziale di danno.
I fattori causali sono caratterizzati in termini di parametri di sicurezza e si identificano con i fattori di pericolo per il sistema galleria stradale.
L'energia cinetica di un veicolo, dipendente dalla massa e dalla velocità ad esso proprie, determina il pericolo meccanico-cinetico.
L'energia interna di un veicolo, dipendente dalle proprietà chimiche e fisiche dei materiali con i quali esso è costruito così come dalle proprietà chimiche e fisiche dei carichi trasportati, determina il pericolo termo-chimico.
Un evento pericoloso è l'evento iniziatore del processo di conversione di un pericolo potenziale in un pericolo fattuale.

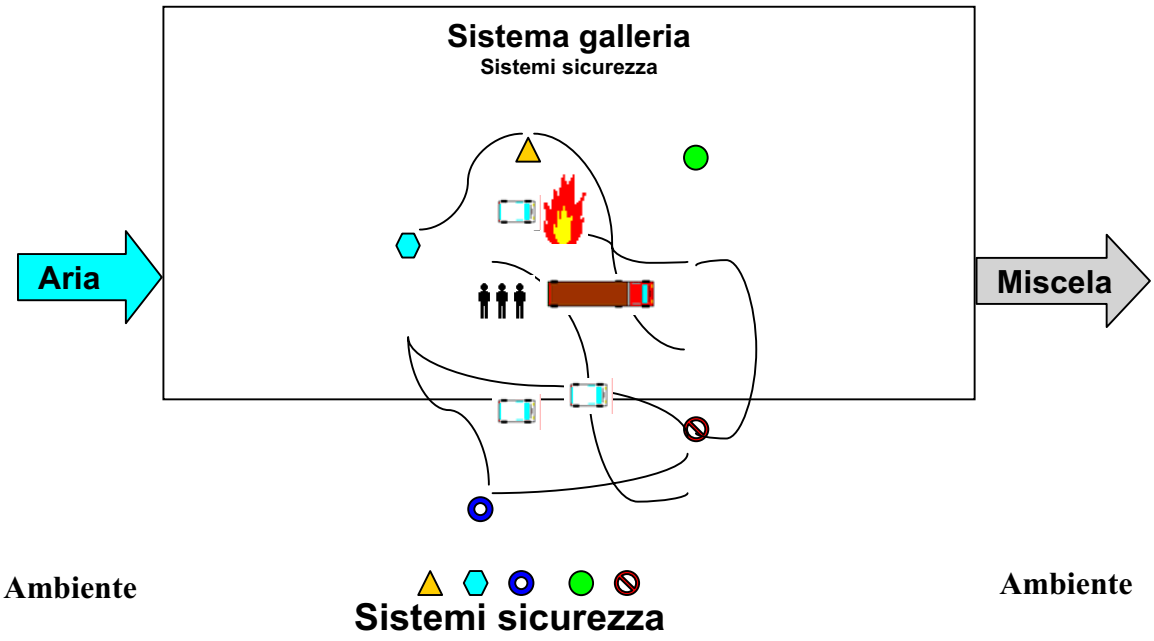
Gli eventi pericolosi connessi al pericolo meccanico-cinetico sono di pertinenza dell'analisi di sicurezza stradale. Esempi paradigmatici di eventi pericolosi connessi al pericolo meccanico-cinetico sono le collisioni.
Gli eventi pericolosi connessi al pericolo termo-chimico, anche conseguenti ad eventi pericolosi connessi al pericolo meccanico-cinetico, sono di pertinenza dell'analisi di rischio. Esempi paradigmatici di eventi pericolosi connessi al pericolo termo-chimico sono 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.
L'insieme degli eventi pericolosi pertinenti al sistema galleria determina gli insiemi delle traiettorie incidentali possibili.
Le traiettorie incidentali sono definite come insiemi di stati occupati dal sistema in condizioni di emergenza.
L'insieme delle traiettorie incidentali possibili definisce l'albero degli eventi. Ogni ramo dell'albero degli eventi rappresenta uno scenario incidentale possibile.
Il complesso delle azioni mirate a condizionare l'evoluzione delle traiettorie incidentali è realizzato dalle misure di sicurezza di protezione e mitigazione.
I sistemi tecnologici adottati per realizzare le misure di protezione e mitigazione determinano la risposta del sistema galleria in condizioni di emergenza e le conseguenze sugli elementi sensibili del sistema galleria per diversi stati di fine emergenza possibili.

La successiva figura esemplifica la genesi dell'albero degli eventi.



Una rappresentazione schematica del sistema galleria assimilato ad un sistema termodinamico aperto in condizioni di emergenza è mostrata nella successiva figura.

Modalità emergenza



La modellazione degli scambi di energia in condizioni di emergenza può essere effettuata adottando il metodo termodinamico.
Esso consente di:

- analizzare e quantificare i processi di conversione e di scambio dell'energia nelle esplosioni pervenendo ad una caratterizzazione energetica delle sorgenti al variare delle proprietà chimico fisiche delle sostanze trasportate e dell'intensità così come degli scambi sotto forma di lavoro di compressione;
- analizzare e quantificare i processi di conversione e di scambio dell'energia negli incendi e nei rilasci pervenendo ad una caratterizzazione energetica dei focolai e delle sorgenti di rilascio al variare delle proprietà chimico fisiche dei materiali costituenti i veicoli e delle merci trasportate così come degli scambi sotto forma di calore.

Il metodo termodinamico ed il metodo fluidodinamico, in condizioni incidentali, possono essere utilizzati per diversi scopi:

- modellare il fenomeno di dispersione di sostanze tossiche e nocive,
- modellare il flusso turbolento dell'aria in galleria generato dalle esplosioni al fine di determinare le caratteristiche delle onde di compressione ed espansione conseguenti a detonazioni e deflagrazioni;
- modellare il flusso turbolento e reattivo della miscela aria-prodotti della combustione generato da eventi di incendio al fine di determinare gli effetti sulle caratteristiche evolutive dei focolai e le configurazioni di flusso in galleria in funzione delle caratteristiche strutturali e dei vincoli termici e meccanici determinati dalle misure di protezione installate;

- modellare gli effetti delle misure di mitigazione sulle caratteristiche evolutive dei focolai e delle sorgenti di rilascio, sulle configurazioni di flusso in galleria, sugli scambi termici tra fluido e soggetti esposti, tra fluido e sistemi di sicurezza, tra fluido e struttura.

Il metodo termodinamico ed il metodo fluidodinamico sono gli strumenti correntemente utilizzati per effettuare l'analisi delle conseguenze.

2.4 Elementi caratteristici dell'analisi delle conseguenze

Gli elementi distintivi dell'analisi delle conseguenze adottata nelle Linee Guida sono:

1. la determinazione del flusso del pericolo conseguente all'accadimento di un evento critico in galleria ottenuta dalla formulazione e soluzione di idonei modelli termofluidodinamici caratterizzati da livelli di complessità formale e computazionale diversi,
2. la determinazione della popolazione esposta al flusso del pericolo ottenuta dalla formulazione e soluzione di idonei modelli di formazione delle code dei veicoli in galleria,
3. la formulazione e la quantificazione degli scenari di esodo possibili parametrizzati in termini di efficacia sul processo di esodo degli utenti.

2.4.1 Flusso del pericolo

Il flusso del pericolo è definito come l'evoluzione dei fenomeni chimici e fisici che determinano gli stati critici conseguenti all'accadimento degli eventi incidentali critici in galleria.
Le diverse zone del flusso del pericolo individuano le condizioni nelle quali si realizza il processo di esodo degli utenti dalla struttura.
La modellazione del flusso del pericolo è attuata con livelli di dettaglio diversi ed utilizzando i principi ed i metodi della termodinamica e della fluidodinamica.
I risultati ottenuti dalla simulazione del flusso del pericolo determinano le conseguenze attese sui componenti sensibili del sistema galleria.
Le conseguenze, quantificate in termini di numero di fatalità, alterazioni dei parametri ambientali, perdite economiche, definiscono il danno connesso all'accadimento di un evento critico.
La salvabilità degli utenti in una specifica galleria è determinata attraverso la zonizzazione del flusso del pericolo all'interno della struttura e la quantificazione degli effetti sulla popolazione esposta.
Le conseguenze sulla popolazione esposta sono determinate dalle caratteristiche dell'evento critico considerato e misurate in termini di dosi inabilitanti assorbite; le dosi inabilitanti dipendono dai campi di temperatura e concentrazione di sostanze tossiche e nocive all'interno della struttura.
I risultati della modellazione del flusso del pericolo costituiscono i dati di ingresso per la simulazione del processo di esodo degli utenti.

2.4.2 Popolazione esposta e formazione delle code

La popolazione esposta al flusso del pericolo, ovvero, il numero degli utenti coinvolti nel processo di esodo, richiede la formulazione e la soluzione di idonei modelli di formazione delle code nella galleria analizzata.
I modelli di formazione delle code, dovendo essere formulati in modo da includere elementi caratteristici del traffico incidente sulla struttura all'atto dell'evento, risultano modelli di elevata complessità formale ed affetti da elevate incertezze aleatorie.
Un modello di formazione delle code all'interno della galleria deve consentire di valutare:

- il numero dei veicoli presenti nella galleria;

- la distribuzione dei veicoli nella galleria.

I parametri indicati sono necessari per determinare:

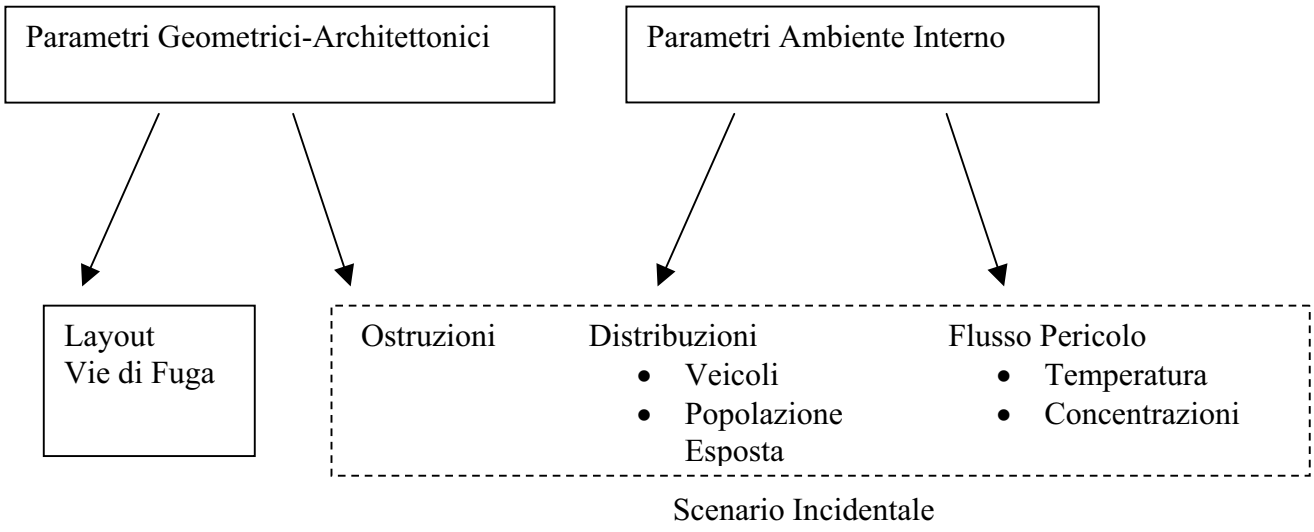
- il numero delle persone presenti nella galleria;
- l'influenza del traffico e della distribuzione dei veicoli sul flusso del pericolo.

2.4.3 Scenario di esodo

Uno scenario di esodo è lo scenario utilizzato nella simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura. Uno scenario di esodo, rappresentativo di uno ovvero diversi scenari incidentali è parametrizzato in termini di effetti sulla prestazione del processo di esodo. Ciascuno scenario incidentale è quantificato mediante una probabilità di accadimento e le probabilità di accadimento dei diversi scenari incidentali possono essere utilizzate per determinare le probabilità associate ai diversi scenari di esodo.
I parametri attraverso i quali si definisce uno scenario di esodo sono raggruppati nelle seguenti categorie:

- Geometrica
- Demografica
- Ambientale
- Procedurale

La categoria geometrica include i parametri caratterizzanti il layout delle vie di fuga, l'accessibilità delle vie di fuga, la distribuzione iniziale della popolazione esposta; la categoria demografica include i parametri caratterizzanti la composizione, le capacità motorie, i tempi di risposta, la velocità di esodo dei gruppi costituenti la popolazione esposta; la categoria ambientale include i parametri caratterizzanti il flusso del pericolo nella struttura e gli effetti sulla salute della popolazione esposta; la categoria procedurale include i parametri caratterizzanti le procedure previste nella gestione dell'emergenza e l'intervento dei soccorsi.
I parametri caratterizzanti uno scenario di esodo sono mostrati in figura.



2.5 Analisi di rischio

2.5.1 Rischio e pericolo

Il rischio in un sistema galleria è la conversione di un pericolo potenziale in conseguenze fattuali.
La salvaguardia è il complesso delle azioni di condizionamento esercitate sul rischio dal comportamento della popolazione, dalle soluzioni strutturali, dai sistemi tecnologici, dalle procedure di gestione e controllo.

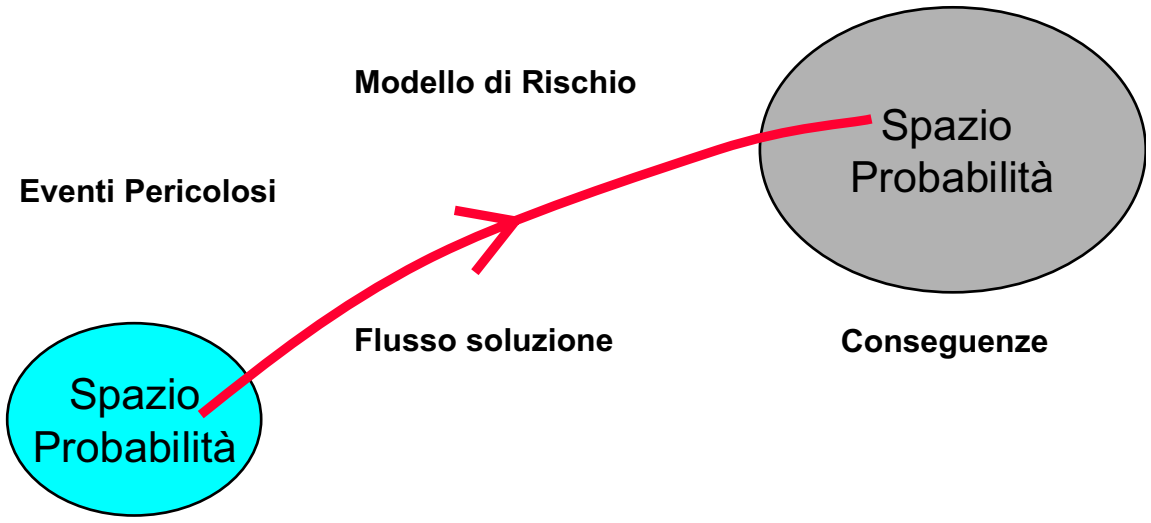
Le locuzioni utilizzate sostanziano la relazione:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolo} \times (\text{Salvaguardia})^{-1}$$

La relazione introdotta consente di asseverare l'impossibilità di rischio nullo per ogni sistema di processo.
Il pericolo può essere altresì interpretato come potenziale che induce il danno.
Il rischio può essere altresì interpretato come verosimiglianza della realizzazione del potenziale che induce il danno riferita all'esposizione di una popolazione ad un pericolo.
Le interpretazioni adottate sostanziano la relazione:

$$\text{Rischio} = \text{Verosimiglianza(Pericolo)} \times \text{Esposizione(Pericolo)}$$

Il rischio non è una grandezza fisica, ovvero, una grandezza misurabile.
La definizione matematica del rischio può essere formulata nell'ambito della teoria degli insiemi.
L'insieme degli eventi pericolosi possibili definisce il potenziale pericolo associabile ad un sistema.
L'insieme degli eventi pericolosi è un insieme probabilistico.
L'insieme delle conseguenze definisce il potenziale danno associabile ad un sistema sede di eventi pericolosi.
L'insieme delle conseguenze è un insieme probabilistico.
Il rischio è un'applicazione tra l'insieme degli eventi pericolosi e l'insieme delle conseguenze.



Il metodo dell'analisi di rischio opera nel seguente modo:

i) identifica i potenziali pericoli connessi al sistema galleria,

ii) mappa i fattori casuali potenzialmente responsabili di deviazioni del sistema dalla traiettoria di successo,

iii) formula modelli di rappresentazione delle traiettorie incidentali mirati alla quantificazione dei fenomeni e dei processi conseguenti all'accadere di eventi critici rilevanti e degli effetti da essi indotti sulla salute dei soggetti esposti, sulla struttura, sull'ambiente circostante utilizzando i principi e le tecniche del metodo termodinamico e fluidodinamico,

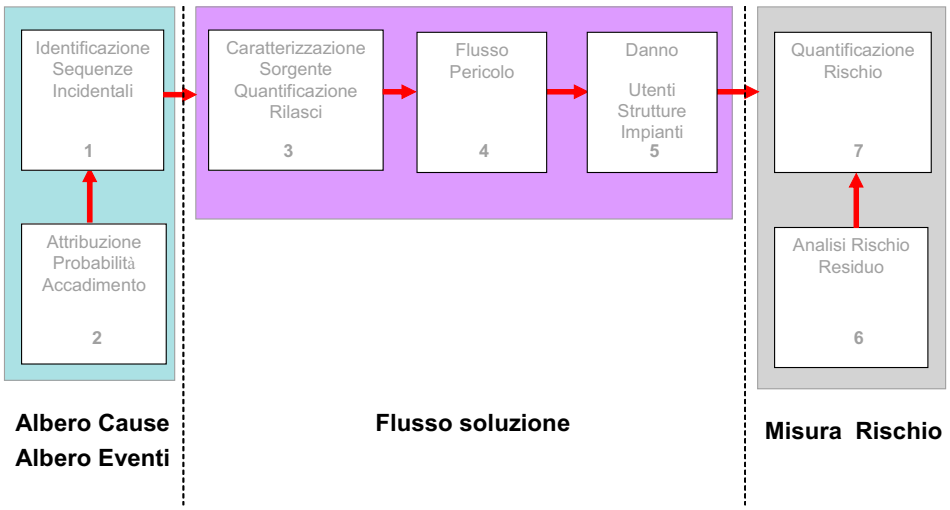
iv) adotta dispositivi e sistemi tecnologici disponibili, caratterizzati in termini di affidabilità ed efficienza specifiche, per condizionare l'evoluzione delle traiettorie incidentali possibili,

v) fissa criteri di accettazione e misure di quantificazione del rischio,

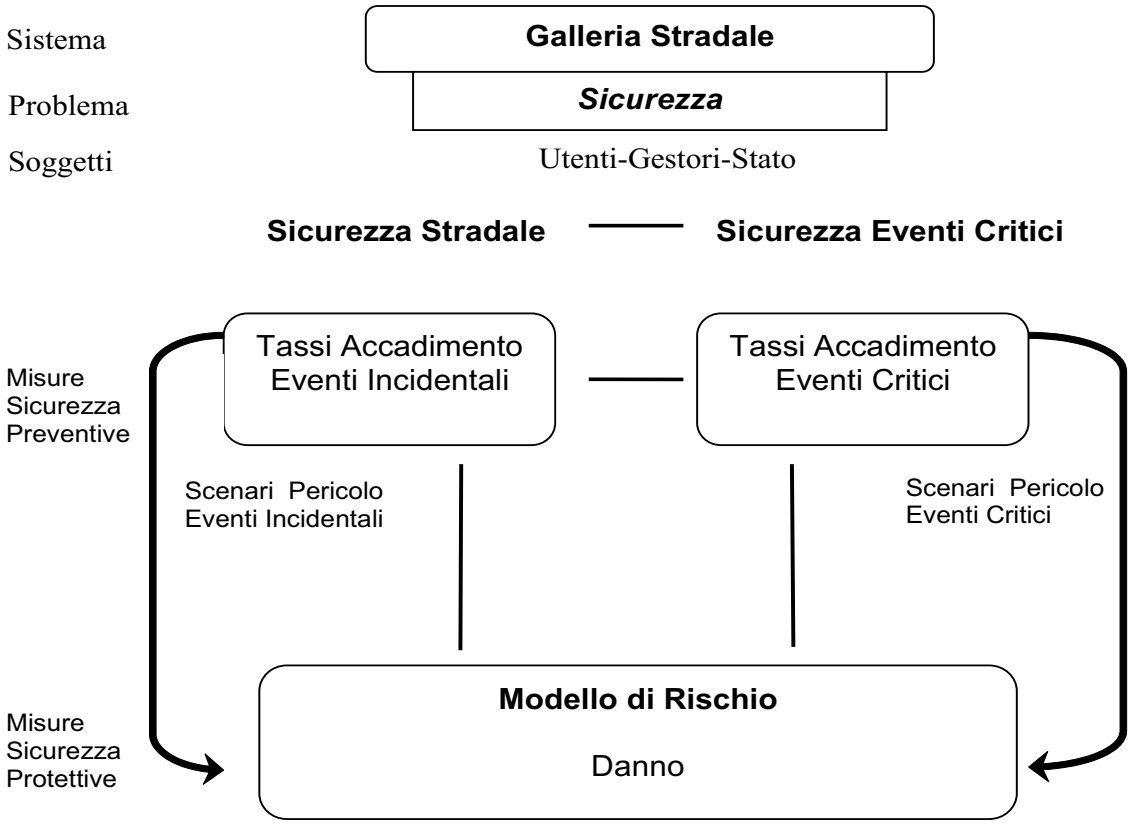
vi) fornisce informazioni quantitative sul livello di rischio del sistema galleria al management preposto ad operare scelte sulle misure preventive e protettive da adottare per ottenere la riduzione ed il controllo del rischio.

Le componenti essenziali dell'analisi di rischio sono sintetizzate nella successiva figura.

I capisaldi dell'analisi di rischio sono sintetizzati nel successivo schema concettuale.



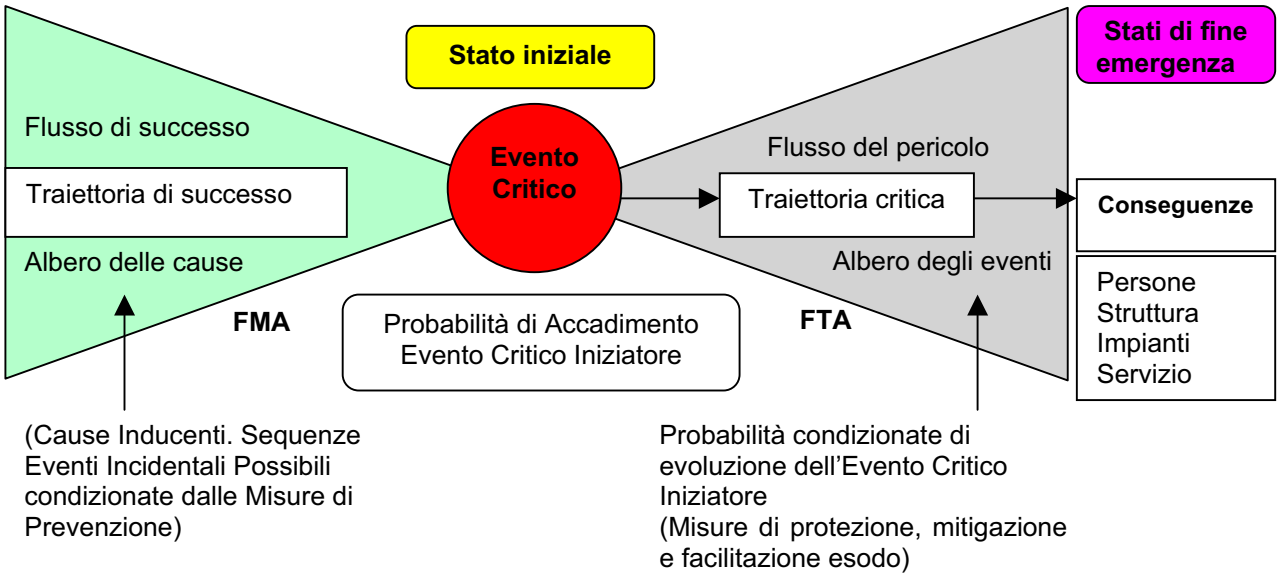
Il successivo diagramma evidenzia i soggetti e gli argomenti essenziali nell'effettuazione dell'analisi di rischio per una galleria stradale.



2.5.2 Rappresentazione del rischio: diagramma a farfalla probabilistico

Il diagramma a farfalla costituisce uno strumento idoneo alla rappresentazione olistica del rischio connesso ad un sistema di processo nell'ambito di un approccio deterministico all'analisi dei rischi accorpando le tecniche albero delle cause ed albero degli eventi. La tecnica diagramma a farfalla può essere convertita in una tecnica di rappresentazione quantitativa del rischio, nell'ambito di un approccio probabilistico all'analisi dei rischi, introducendo specifiche probabilità di accadimento per i diversi rami che definiscono l'albero delle cause e l'albero degli eventi. La successiva figura esemplifica l'utilizzo del diagramma a farfalla nell'ambito dell'analisi di rischio.

Diagramma a farfalla probabilistico



La struttura del diagramma a farfalla presenta due porzioni disgiunte che individuano i campi di applicazione delle tecniche FMA (Failure Modelling Analysis) e delle tecniche ETA (Event Tree Analysis) separate dall'Evento Critico Iniziatore.
La porzione sinistra del diagramma a farfalla concerne la traiettoria di successo del sistema, le cause che possono indurre sequenze di eventi anomali, l'azione di condizionamento che le misure di prevenzione esercitano sull'accadimento degli eventi critici iniziatori.
L'albero delle cause è lo strumento di rappresentazione delle sequenze incidentali possibili e dell'azione di condizionamento delle misure di prevenzione.
L'analisi dell'albero delle cause è preposta alla determinazione della probabilità di accadimento degli eventi critici iniziatori.
La porzione destra del diagramma a farfalla concerne l'insieme delle traiettorie incidentali possibili del sistema, le cause che possono indurre l'evoluzione del sistema su traiettorie incidentali diverse, l'azione di condizionamento che le misure di protezione e mitigazione esercitano sul raggiungimento degli stati di fine emergenza.

2.5.3 Albero degli eventi

La tecnica albero degli eventi è utilizzata per caratterizzare le traiettorie incidentali probabili di un sistema galleria stradale conseguenti all'accadimento di un evento di incendio condizionate nell'evoluzione dall'azione dei sistemi di sicurezza (barriere di sicurezza) che realizzano le misure di prevenzione e mitigazione previste in fase di progetto.
I sistemi di sicurezza sono caratterizzati, nell'ambito di un approccio prestazionale, in termini di parametri convenzionali nell'ingegneria dei sistemi di trasporto:

- affidabilità.
- efficienza,

La prestazione di un sistema è definita in termini di funzioni analitiche che legano le variabili di processo con le variabili di funzionamento del singolo sottosistema.

L'affidabilità di un sistema è definita in termini probabilità di malfunzionamento sulla vita media di progetto.
L'efficienza di un sottosistema è definita come il rapporto tra la prestazione del sottosistema funzionante in determinate condizioni e la prestazione dello stesso funzionante in una condizione di riferimento.
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.

2.5.4 Definizione fattoriale del rischio

La formula correntemente utilizzata nell'analisi ingegneristica per definire il rischio è nota come formula fattoriale del rischio.

Formula fattoriale del rischio: =	Pericolosità	x	Vulnerabilità
	(evento)		(struttura)
	Probabilità	x	Probabilità
	Accadimento		Danno
	P(e)	x	P(d)
	(numero)		(numero)
	Funzione		Funzione
	Distribuzione		Distribuzione
	(evento)		(magnitudo)
	FD(e)	x	FD(m)

I singoli termini contenuti nella formula fattoriale del rischio sono determinati attraverso la definizione di specifici modelli di rischio:

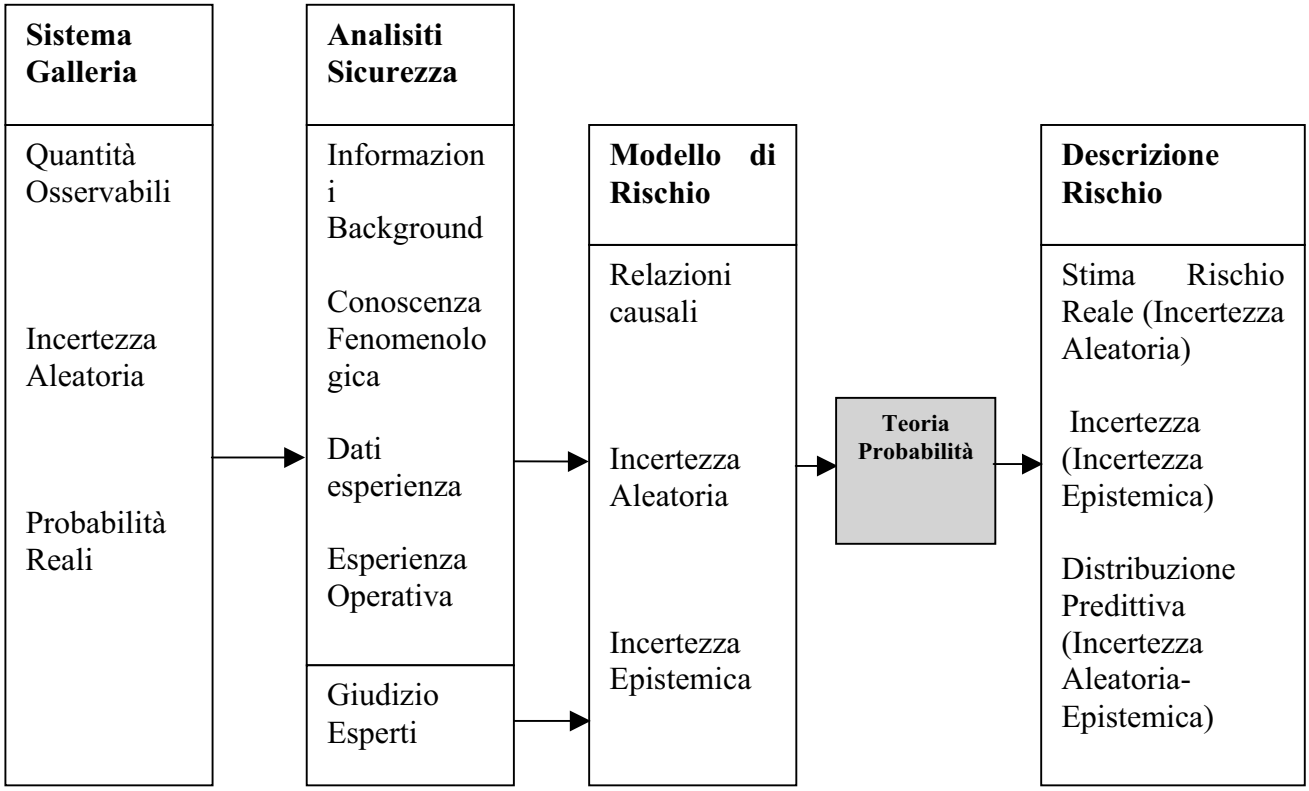
1. R = P(e) x P(d);
2. R = FD(e) x FD(m).

Il primo modello di rischio può essere utilizzato quando siano disponibili serie storiche di dati statisticamente significative per le probabilità di accadimento degli eventi critici e per le probabilità di danno associate agli eventi critici.
Il risultato da esso fornito è un numero interpretabile come un valore medio del rischio non sufficiente a caratterizzare il livello di sicurezza per una galleria.
Il secondo modello di rischio presuppone siano note le funzioni di distribuzione rappresentative delle probabilità di accadimento degli eventi critici e della magnitudo delle conseguenze associate agli eventi critici.
Il secondo modello di rischio, detto modello bayesiano classico, deve essere interpretato come operazione di convoluzione tra due funzioni di distribuzione determinabili quando siano disponibili serie storiche di dati statisticamente significative.

Il risultato da esso fornito è una funzione di distribuzione rappresentativa del rischio associato ad una galleria per la quale è possibile determinare momenti di ordine diverso significativi nella quantificazione degli effetti delle misure di sicurezza.
Le linee guida hanno adottato, pertanto, un modello di rischio Bayesiano classico con analisi delle incertezze definito in termini di funzioni di distribuzione per le probabilità di accadimento degli eventi critici determinate a partire dai dati reperibili in letteratura e di funzioni di distribuzione per la magnitudo delle conseguenze determinate attraverso la modellazione del flusso del pericolo e del processo di esodo.
La determinazione delle conseguenze risulta dalla soluzione di idonei modelli per il flusso del pericolo e per il processo di esodo comprensivi delle incertezze aleatorie ed epistemiche.

2.5.5 Modello bayesiano classico con analisi delle incertezze

Un modello di rischio può essere formulato combinando le frequenze di accadimento degli eventi incidentali identificati come sorgenti potenziali di pericolo meccanico-cinetico e di pericolo termo-chimico con le conseguenze attese all'interno del sistema galleria.
Un modello di rischio deve includere l'effetto delle incertezze di natura aleatoria ed epistemica connesse alla variabilità intrinseca del sistema galleria ed alle carenze tecnologiche delle misure di sicurezza.
Gli scenari critici per i sistemi galleria stradale attengono eventi definiti a bassa probabilità di accadimento ed elevate conseguenze che soddisfano statistiche estremali.
Un modello Bayesiano classico corredato da analisi delle incertezze è adottato per condurre stime quantitative del livello di rischio associato ad una galleria.
I tratti caratteristici del modello di rischio introdotto sono sintetizzati nel successivo schema concettuale.



La squadra degli analisti incaricata della conduzione dell'analisi probabilistica della sicurezza si concentra sull'analisi delle quantità osservabili associate al sistema galleria.
Le quantità osservabili sono definite come quantità misurabili che riflettono determinati aspetti della dinamica del sistema galleria, sconosciuti all'atto dell'analisi, e che assumeranno dei valori nel futuro diventando quantità note.
Le quantità osservabili, le variabili casuali caratterizzate in termini di funzioni di distribuzione di probabilità o frequenze (incertezze aleatorie), sono espressione delle prestazioni globali del sistema galleria e delle prestazioni dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza.
Le variabili osservabili che esprimono le prestazioni del sistema possono essere identificate con l'accadimento di eventi incidentali, i costi connessi agli eventi incidentali, i costi di mancata produzione, le variabili osservabili che esprimono le prestazioni dei sistemi di sicurezza possono essere identificati con l'affidabilità e l'efficienza dei sistemi stessi.
Le quantità osservabili sono soggette a previsioni. La squadra di analisti del rischio, sulla base delle conoscenze inerenti la dinamica del sistema, sviluppano modelli (modelli ad albero degli eventi) al fine di correlare le prestazioni globali delle misure di sicurezza adottate per il sistema con le prestazioni delle misure di sicurezza realizzate mediante i sistemi di sicurezza e determinano le incertezze connesse alle prestazioni delle misure di sicurezza (giudizio degli esperti). L'incertezza connessa al valore reale dei parametri statistici introdotti per la quantificazione delle prestazioni dei sistemi di sicurezza (incertezze epistemiche) è espressa mediante una funzione di distribuzione che correla incertezza e conoscenza costantemente aggiornata all'aumentare della quantità di informazione disponibile (dati) mediante l'applicazione del teorema di Bayes.
La funzione di distribuzione predittiva per le prestazioni dei sistemi di sicurezza, ottenuta attraverso la funzione di distribuzione incertezza –conoscenza e contenente informazioni sulle incertezze aleatorie ed epistemiche caratteristiche del sistema galleria, consente di stabilire la funzione di

distribuzione predittiva delle prestazioni globali del il sistema galleria. Simulazioni tipo Monte Carlo sono condotte al fine di generare funzioni di distribuzione dell'incertezza a livello di sistema.
Il rischio associato agli scenari di esodo è determinato da due parametri:

- probabilità di accadimento,
- conseguenze attese.

Il rischio totale associato all'esodo da una specifica galleria è definito come la sommatoria dei rischi associati a tutti gli scenari di esodo probabili:

$$Rischio = \sum_{i=1}^{N} P(S_i) \cdot Sim\,\mathrm{Re}\,s(S_i)$$

dove $P(S_i)$ è la probabilità di accadimento dell'i-esimo scenario di esodo e Sim Re$s(S_i)$ sono le conseguenze valutate mediante la simulazione dell'i-esimo scenario, espresse in termini di fatalità.

2.5.6 Misure di rischio

Le misure del rischio possono essere classificate in funzione delle conseguenze in:

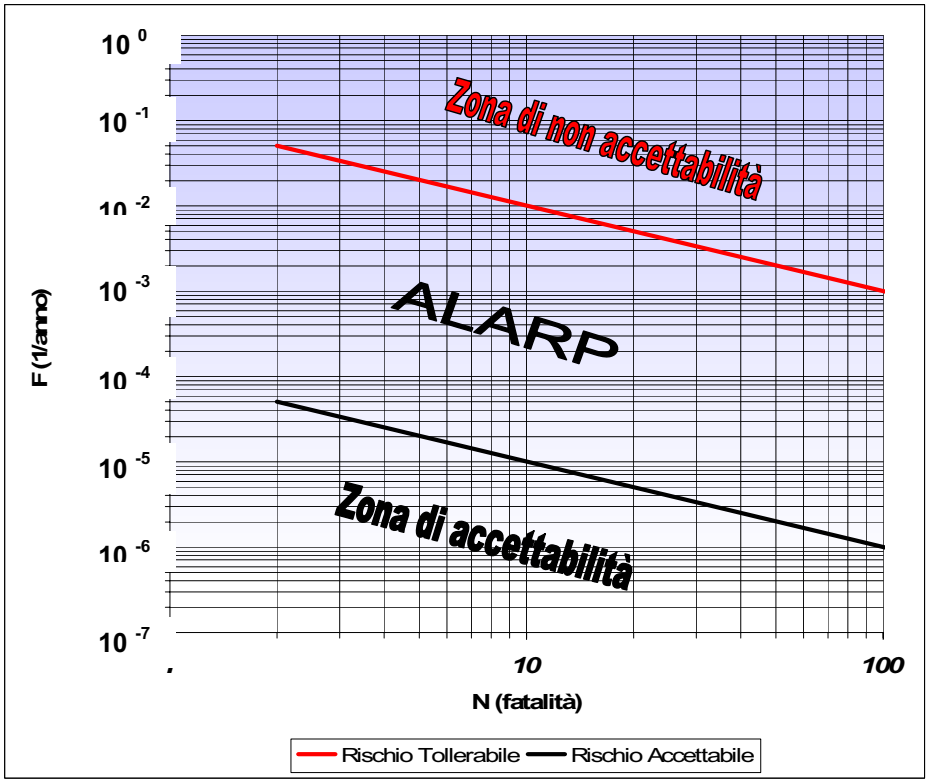
Variabile	Misura
Numero di vittime (N)	Rischio Individuale Rischio Sociale
Danni economici (DE)	Costi Diretti Costi Indiretti

La variabile assunta come rappresentativa nella definizione delle misure di rischio è il numero di vittime conseguente all'accadimento di un evento incidentale critico.
La misura di rischio adottata è una misura di Rischio Sociale.
Le misure di rischio sociale proposte in letteratura sono suscettibili di essere rappresentate in forma grafica ovvero formulate in termini analitici.
Il rischio sociale può essere calcolato stimando la frequenza dell'evento per anno "f" ed il numero di vittime associato "N" per ciascun evento individuale identificato e le possibili conseguenze.
Ciascuna coppia "f-N" può essere rappresentata con un punto su di un grafico, generando degli istogrammi noti come "f - N - curve".
Le curve F-N 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 vittime per anno, $f_N(x)$ è la funzione densità di probabilità del numero di vittime per anno.

Il criterio di Rischio Sociale connesso ad una galleria stradale è così formulato:
il rischio di un evento incidentale, per il quale si verifichi la morte di un numero di individui maggiore - uguale a 50 in un singolo evento, deve essere considerato non tollerabile se la frequenza è stimata essere superiore ad 1/500 per anno ($F = 2 \cdot 10^{-3}$ per anno; N = 50).
La retta passante per il punto di coordinate F-N indicate, con una pendenza pari a "-1", definisce il livello di Rischio Tollerabile.
La retta ottenuta traslando in modo rigido 3 decadi al di sotto la retta rappresentativa del livello di Rischio Massimo Tollerabile, definisce il Livello di Rischio Accettabile.
La retta così ottenuta, corrisponde ad "1 fatalità" (N=1) in 1/10000 per anno ($F = 10^{-4}$ per anno); analogamente, "100 fatalità" (N=100) corrispondono ad 1/100000000 per anno ($F = 10^{-6}$ per anno).
La zona compresa tra la curva di Rischio Tollerabile e la curva di Rischio Accettabile definisce la zona di applicazione del principio "ALARP" (As Low As Reasonably Practicable).
Il principio ALARP è utilizzato per la scelta giustificata delle misure compensative necessarie quando il sistema galleria analizzato non soddisfi i requisiti minimi di sicurezza.
Il dominio delle misure compensative è il dominio di applicazione del principio ALARP in accordo alla metodologia dell'analisi di rischio.
Le definizioni introdotte sono rappresentate in forma grafica nel successivo piano F-N.

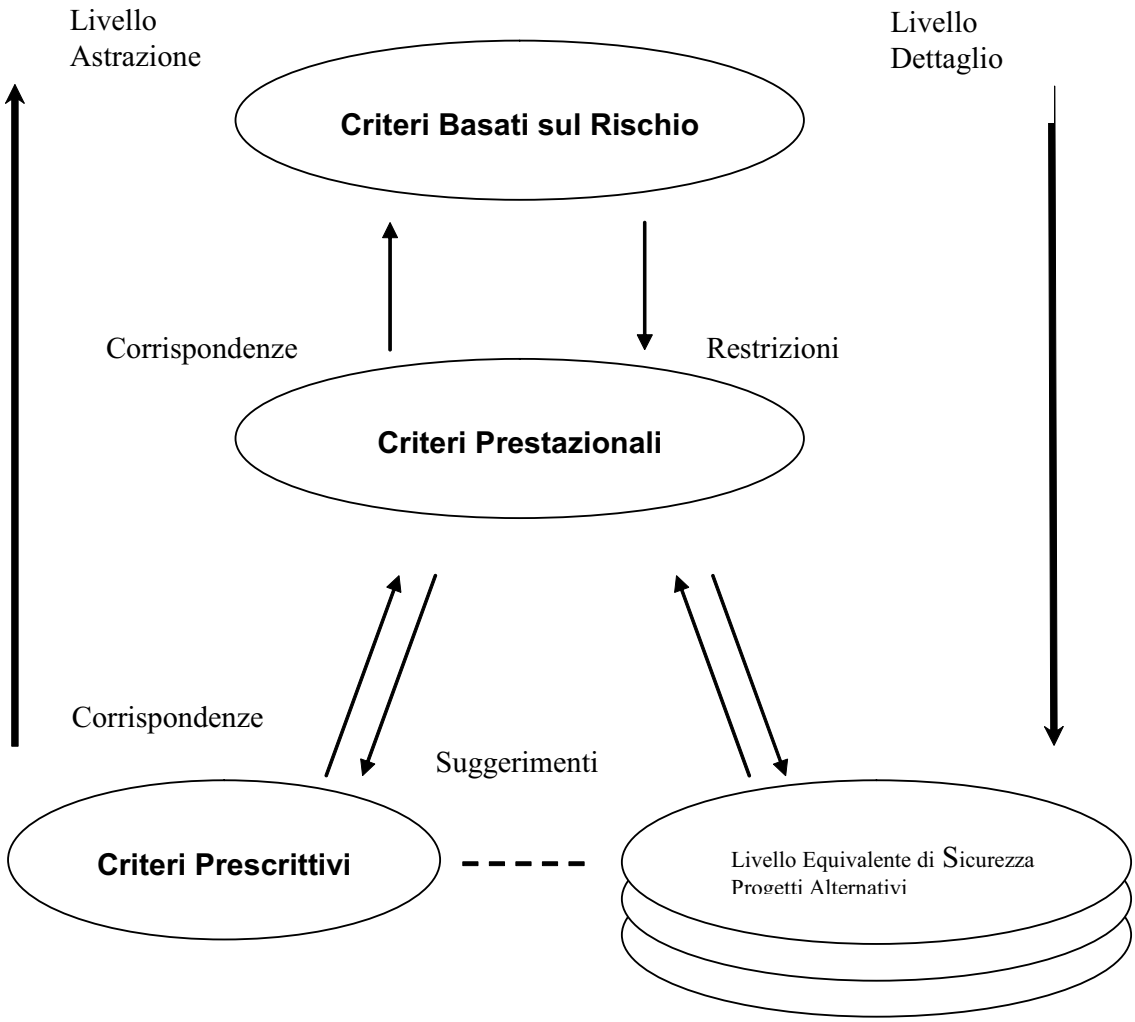


Il livello di rischio proprio di una generica galleria è determinato tracciando la curva cumulata complementare ad essa corrispondente (C.C.C.).
La curva cumulata complementare, contenendo tutte le informazioni disponibili rispetto alle frequenze di accadimento di un insieme di eventi incidentali rilevanti ed alle probabilità delle conseguenze ad essi associate, consente una rappresentazione del rischio nella forma di una

completa distribuzione delle potenziali perdite evidenziando gli effetti delle incertezze connesse al malfunzionamento ovvero all'inadeguatezza dei sistemi di sicurezza adottati.
L'area sottesa da una curva cumulata complementare definisce un indicatore di rischio globale idoneo a determinare le condizioni di equivalenza fra soluzioni progettuali diverse per un sistema galleria avendo preventivamente definito idonei criteri di confronto che tengano conto delle incertezze connesse al sistema.
Una curva Cumulata Complementare, essendo riconducibile ad una funzione di distribuzione cumulata, non può essere caratterizzata in termini di un unico momento (valore atteso del danno).
La retta rappresentativa del livello di Rischio Tollerabile è compatibile con l'inviluppo tangente retto alle curve cumulate complementari corrispondenti a gallerie reali dotate di tutti i requisiti minimi di sicurezza e sistemi di sicurezza caratterizzati da affidabilità ed efficienza desumibili dalle raccomandazioni della buona pratica corrente.
La procedura di progettazione della sicurezza sviluppata sostituisce i concetti scenario incidentale ed evento dimensionante (analisi deterministico delle conseguenze) con i concetti insieme probabilistico di scenario di esodo e distribuzioni attese del danno (approccio probabilistico) correlate attraverso la simulazione del flusso del pericolo e del processo di esodo in una determinata struttura.

2.6 Criteri di progettazione

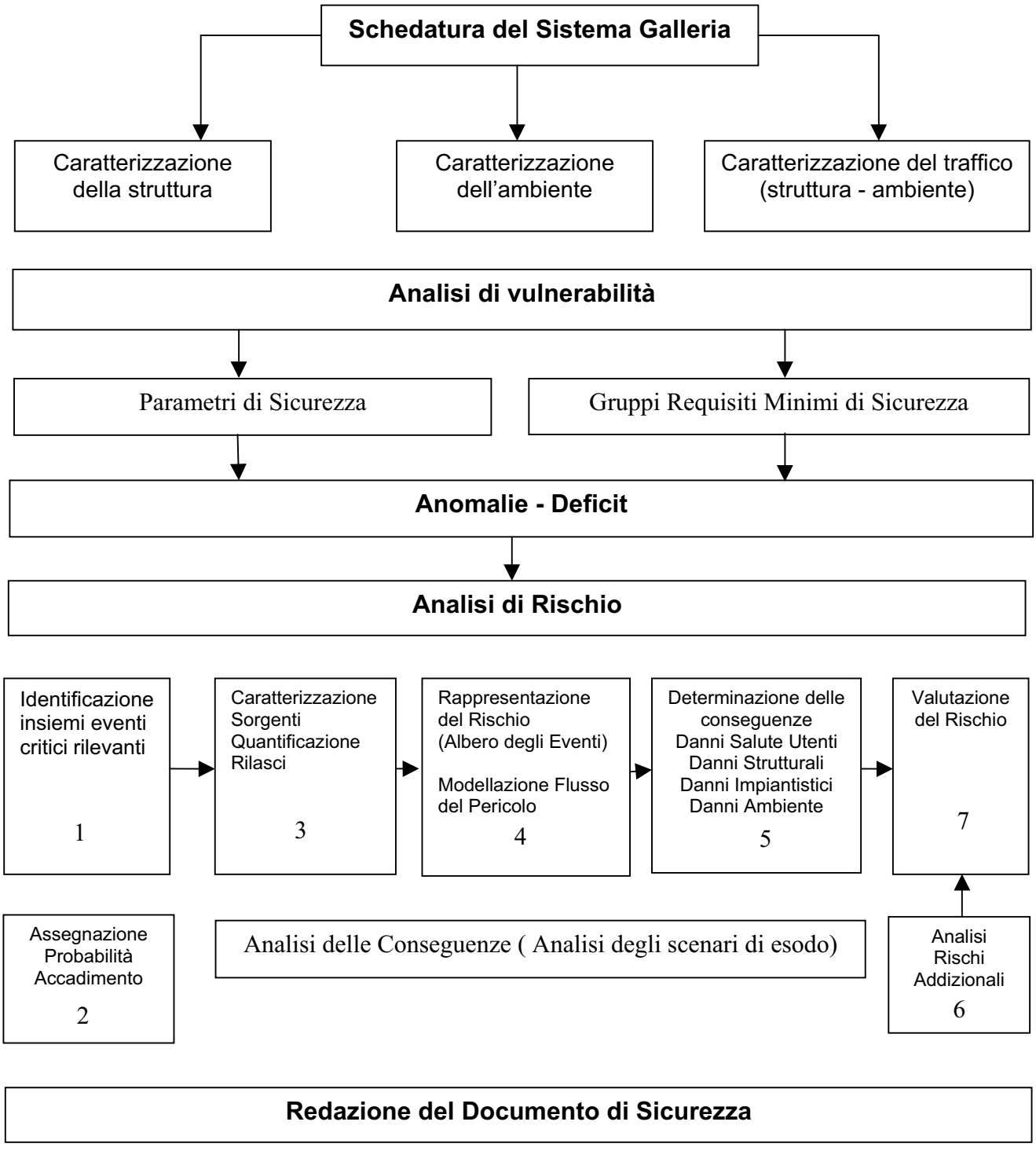
La successiva figura sintetizza le connessioni fra diversi criteri di progettazione della sicurezza in una galleria stradale, evidenziando i livelli di dettaglio e di astrazione ad essi propri.


Livello
Astrazione
Livello
Dettaglio
Criteri Basati sul Rischio
Corrispondenze
Restrizioni
Criteri Prestazionali
Corrispondenze
Suggerimenti
Criteri Prescrittivi
Livello Equivalente di Sicurezza
Progetti Alternativi

3 Procedura di progettazione della sicurezza per una galleria stradale

3.1 Premessa

La procedura di progettazione della sicurezza adottata nelle Linee Guida è sintetizzata nella successiva figura.



La procedura di progettazione della sicurezza è suddivisa nelle seguenti fasi:

I. schedatura del sistema galleria,
II. analisi di vulnerabilità della struttura,
III. analisi di rischio,
IV. redazione del documento di sicurezza.

La schedatura del sistema galleria concerne la compilazione di specifiche schede mirate alla:

- caratterizzazione del sistema galleria nelle componenti strutturali ed impiantistiche,
- caratterizzazione dell'ambiente circostante nelle componenti geografiche e climatiche,
- caratterizzazione del traffico incidente sulla struttura e sull'ambiente.

L'analisi di vulnerabilità della struttura concerne:

- la caratterizzazione della vulnerabilità del sistema galleria rispetto al fenomeno traffico mediante la definizione dei fattori di pericolo ad essa propri espressi in funzione dei parametri di sicurezza;
- l'associazione della galleria al gruppo di requisiti minimi di sicurezza ad essa pertinente sulla base dei parametri di sicurezza;
- l'individuazione di deficit ed anomalie tra la galleria reale e la galleria dotata dei requisiti minimi di sicurezza ascritti al gruppo di appartenenza della struttura;
- la verifica di compatibilità del progetto della sicurezza con i criteri prescrittivi e prestazionale fissati nello standard di progettazione ANAS.

L'analisi di rischio concerne:

- la valutazione del livello di rischio associato alla galleria,
- la verifica di compatibilità con i criteri di accettazione del rischio,
- la decisione informata sul rischio tra soluzione progettuali.

La redazione del documento di sicurezza richiede siano presentati:

- i risultati derivanti dalla schedatura,
- i risultati dell'analisi di vulnerabilità,
- i risultati dell'analisi di rischio,
- le procedure di controllo e gestione dell'infrastruttura.

3.2 Schedatura del sistema galleria

Il modello di schedatura del sistema galleria è articolato in un insieme di schede appartenenti a tre classi distinte e complementari:

- schede di struttura,
- schede di evento,
- schede di intervento.

Le schede struttura comprendono:

- dati di identificazione geografica e giuridica dell'opera,
- dati di caratterizzazione dell'ambiente circostante,
- dati di caratterizzazione geometrica dell'opera,

- dati statistici sul traffico e sull'incidentalità nella struttura e nell'ambiente circostante,
- dati sinottici sui sistemi di sicurezza installati o previsti,
- dati sulle esercitazioni periodiche su scala reale ovvero sulle simulazioni di eventi incidentali rilevanti condotte.

Le schede di struttura, raccolte dagli organi competenti, potrebbero costituire la base per la costruzione di una banca dati rigorosa ed omogenea a disposizione degli esperti per effettuare indagini mirate da utilizzare nell'analisi di rischio di eventi incidentali nell'ambito del sistema trasporti.

Le schede di evento comprendono:

a) dati sull'evoluzione temporale di un evento incidentale critico,
b) dati sulle condizioni meteo-climatiche all'atto dell'evento,
c) dati sulle condizioni di traffico riscontrate all'atto dell'evento,
d) dati sulle tipologie dei veicoli coinvolti e sui carichi trasportati,
e) dati sulle cause primarie dell'evento,
f) dati sullo stato attuale di funzionamento degli impianti,
g) dati sullo stato di manutenzione degli impianti.

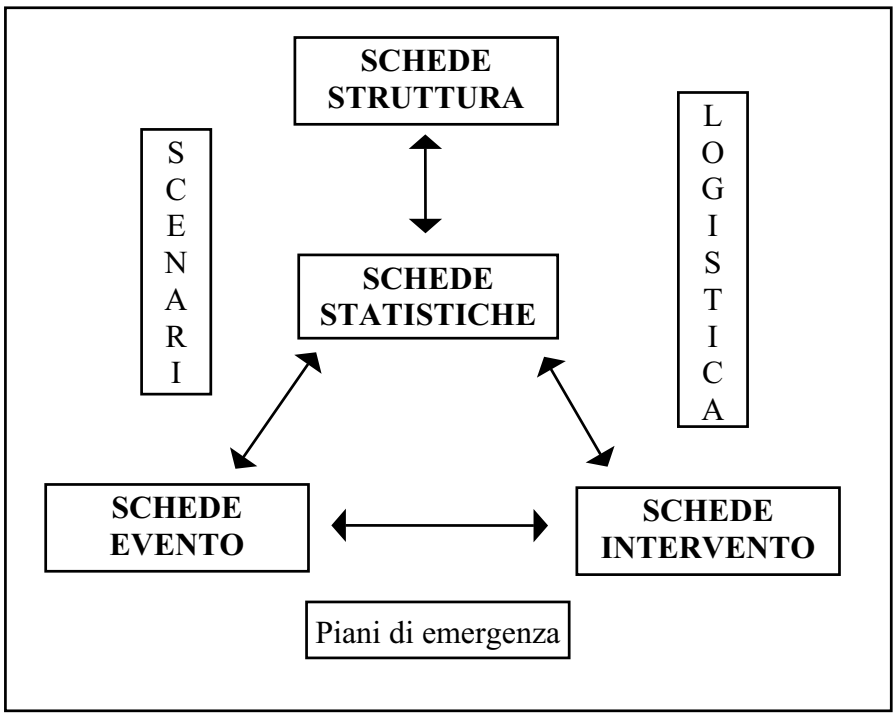
Le schede di evento potrebbero costituire la base per aggiornare le misure di sicurezza ed impiegare in modo ottimale i sistemi di sicurezza nell'azione di intervento.

Le schede di intervento comprendono:

a) dati sulla tempistica di intervento,
b) dati sul personale impiegato,
c) dati sugli automezzi e le attrezzature impiegate,
d) dati sullo stato degli impianti,
e) dati sullo scenario incidentale,
f) dati sulle operazioni di intervento.

Le schede di intervento potrebbero costituire la base per ottimizzare i tempi e le strategie di intervento, razionalizzare la gestione del personale e delle attrezzature, affinare la logistica nell'emergenza.

La struttura logica soggiacente al modello di schedatura proposto è sintetizzata nel successivo diagramma



La schedatura del sistema galleria può essere effettuata mediante le schede riportate in Allegato 2.
Il modello di schedatura proposto non ha carattere cogente. Esso può essere utilizzato per le parti di specifica competenza dai soggetti coinvolti nella progettazione e nella gestione del sistema galleria stradale.
Il modello di schedatura proposto risulta funzionale al gestore del sistema galleria in quanto consente l'acquisizione dei dati necessari alla redazione di procedure di manutenzione e gestione delle risorse così come alla determinazione dell'affidabilità e dell'efficienza dei sistemi di sicurezza.
La componente del modello di schedatura coincidente con le schede di struttura può essere utilizzata dai progettisti nella fase di acquisizione dei dati necessari alla formulazione del progetto e come lista di controllo dei sistemi di sicurezza da realizzare.

3.3 Analisi di vulnerabilità

3.3.1 Fattori di pericolo per il sistema galleria

L'Allegato I della Direttiva, al p. 1.1.3, riporta:
Se una galleria ha una caratteristica speciale riguardante i [...] parametri (di sicurezza), occorre effettuare un'analisi dei rischi conformemente all'articolo 13 per stabilire se siano necessari misure di sicurezza integrative e/o un equipaggiamento complementare per garantire un livello elevato di sicurezza della galleria. Questa analisi dei rischi deve tener conto di eventuali incidenti, che pregiudicano manifestamente la sicurezza degli utenti della strada nelle gallerie e che possono verificarsi durante la fase di esercizio nonché della natura e dell'ampiezza delle loro possibili conseguenze.

I parametri di sicurezza individuati dalla Direttiva, distinti in parametri di sicurezza rilevanti e parametri di sicurezza caratteristici, sono utilizzati per identificare i fattori di pericolo per il sistema galleria stradale, assumendo il punto di vista dei soggetti preposti a ridurre la probabilità di accadimento di eventi incidentali in galleria e favorire la gestione delle emergenze.
I parametri di sicurezza caratteristici coincidono con i parametri correntemente adottati nell'analisi statistica dei dati sull'incidentalità stradale.
Il problema dell'incidentalità in galleria è analizzato nell'Allegato 4.
L'approccio adottato prevede la scomposizione dei dati reperiti in letteratura in due macro-gruppi:

- dati inerenti le collisioni,
- dati inerenti gli eventi critici rilevanti.

L'analisi delle serie storiche dei dati finalizzata alla determinazione delle frequenze di accadimento degli eventi di collisione e la dipendenza dai parametri di sicurezza caratteristici è stata condotta adottando un modello di inferenza statistica di tipo binomiale negativo.

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

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

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

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

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

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

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

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

L'importanza attribuita dalla Direttiva Europea ai parametri di sicurezza lunghezza e traffico giornaliero medio è esplicitata introducendo un indice ordinalità base per le gallerie stradali definito come:

$$I_B = L \cdot TGM$$

L'indice introdotto è connesso alle frequenze ed ai tassi di accadimento degli eventi incidentali in galleria dalla relazione:

$$f_i = 365 \cdot T_i \cdot I_B$$

I tassi di accadimento degli eventi incidentali in una galleria stradale sono connessi ai parametri di sicurezza caratteristici mediante idonei modelli di inferenza statistica.
La frequenza di accadimento degli eventi incidentali è assunta quale indicatore del livello di sicurezza del sistema galleria.
L'applicazione del modello binomiale negativo ai dati storici ha consentito di determinare la variabilità del tasso di incidentalità al variare dei valori assunti dai parametri di sicurezza caratteristici.
L'analisi di sensibilità sui parametri di sicurezza caratteristici, espressa in termini coefficienti di elasticità, ha consentito di stabilire valori soglia oltre i quali il livello di sicurezza risulta doppio rispetto al valore assunto dal livello assicurato da valori tipici per i parametri di sicurezza caratteristici indicati dalla Direttiva.
I valori limite dei parametri di sicurezza per i quali dei quali non si verificano variazioni significative della frequenza di accadimento di eventi incidentali sono riportati nella successiva tabella. Essi possono essere utilizzati quale riferimento per la definizione di caratteristiche speciali per i parametri di sicurezza richieste dalla Direttiva.

Parametro di sicurezza caratteristico	**Unidirezionale**	**Bidirezionale**
Numero di corsie per senso di marcia	3	2
Larghezza corsie [m]	3,5	3,5
Pendenza [%]	5	3
Raggio di Curvatura [m]	100	100
Frazione veicoli pesanti [%]	25	15
Congestione Traffico [min/giorno]	30	30
Stagionalità traffico	2	2
Nebbia [% annua]	20	20
Precipitazioni [% annua]	20	20

I risultati dell'analisi statistica delle serie storiche di dati sull'incidentalità stradale mirata all'identificazione dei legami funzionali tra frequenza di accadimento e parametri di sicurezza caratteristici permettono di definire scala semi-quantitativa del pericolo sintetizzata nelle successive tabelle. Le tabelle riportate sono ordinate per importanza dei fattori di pericolo e per peso relativo delle caratteristiche specifiche dei fattori di pericolo.

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

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

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

IV	Traffico-Composizione
	%Veicoli pesanti
1	< 0,75%
2	15%
3	>30%
4	**Veicoli ADR**

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

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

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

VIII		Ambiente-Condizioni meteoclimatiche
	Condizione	**Frequenza**
1	Vento	Bassa
2		Stagionale
3		Elevata
1	Precipitazioni	Bassa
2		Stagionale
3		Elevata
1	Nebbia	Bassa
2		Stagionale
3		Elevata

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

La scala del pericolo introdotta, pur se ottenuta applicando a dati reali modelli e tecniche di inferenza statistica noti ed accettati, non ha carattere cogente non essendo stato reperito alcun supporto normativo da assumere come riferimento.
La scala del pericolo introdotta deve essere utilizzata nella fase di progettazione della sicurezza mirata all'identificazione delle anomalie nei parametri di sicurezza, ovvero nella fase iniziale di una progettazione integrata di un'infrastruttura.

3.3.2 Gruppi di requisiti minimi di sicurezza

La Tabella riportata al punto 2.19 dell'allegato I della Direttiva consente di identificare, in funzione dei parametri di sicurezza lunghezza e volume di traffico, cinque gruppi di requisiti minimi necessari ad assicurare un livello di sicurezza accettabile per il sistema galleria stradale, ma non fissa in modo esplicito i valori estremi superiori dei parametri di sicurezza che renderebbero sufficienti i gruppi di requisiti minimi individuati.
Indicazioni utili alla determinazione delle condizioni di sufficienza per i gruppi di requisiti minimi possono essere tratte dalle raccomandazioni contenute ai punti 2.1.2 e 2.9.5 dell'allegato I della Direttiva.

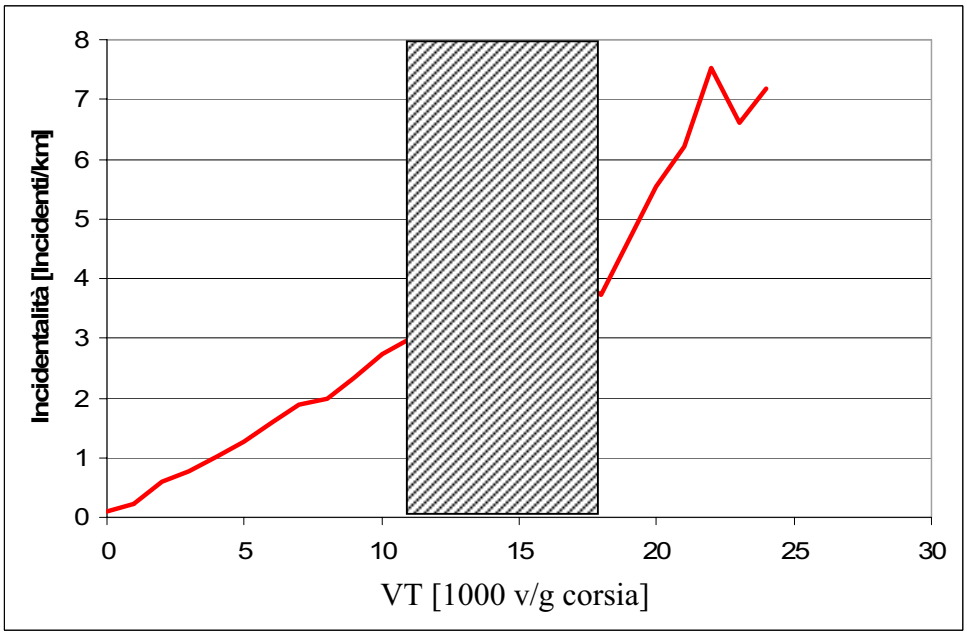
L'Allegato I al p. 2.1.2 (Numero di fornici e di corsie) riporta: *In ogni caso, per le gallerie in fase di progettazione, se una previsione a 15 anni indica che il volume di traffico supererà i 10 000 veicoli al giorno per corsia, quando questo valore viene superato deve essere in funzione una galleria a doppio fornice con traffico unidirezionale.*

La raccomandazione al punto 2.1.2 dell'Allegato I della Direttiva suggerisce di adottare, per le gallerie bidirezionali, un valore limite per il parametro di sicurezza volume di traffico pari a 10000 v/giorno corsia.

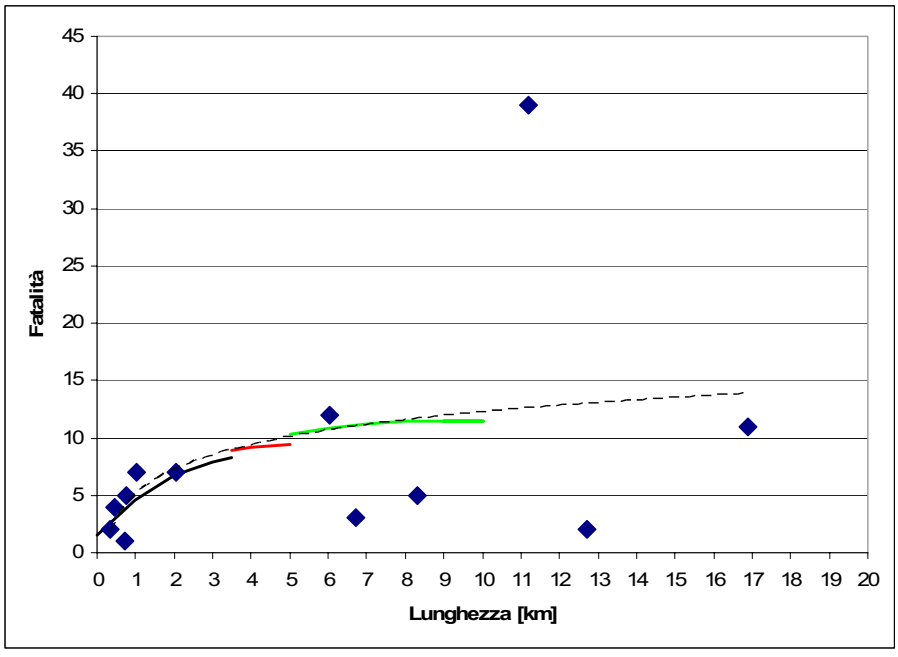
L'Allegato I al p. 2.9.5 (Ventilazione) riporta: *Nelle gallerie di lunghezza superiore a 3000 m con traffico bidirezionale, un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia, un centro di controllo e ventilazione trasversale e/o semitrasversale, devono essere adottate le seguenti misure minime per quanto concerne la ventilazione:*

- *installazione di dispositivi di estrazione dell'aria e del fumo azionabili separatamente o a gruppi;*
- *controllo costante della velocità longitudinale dell'aria e conseguente regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione (estrattori, ventilatori, ecc.).*

Le raccomandazioni citate suggeriscono di suddividere i cinque gruppi di requisiti minimi in funzione della tipologia di galleria identificando dieci gruppi omologhi di requisiti differenziati per gallerie unidirezionali e bidirezionali.
L'Allegato I al p. 1.1.3 riporta: *Se una galleria ha una caratteristica speciale riguardante i summenzionati parametri, occorre effettuare un'analisi dei rischi conformemente all'articolo 13 per stabilire se siano necessari misure di sicurezza integrative e/o un equipaggiamento complementare per garantire un livello elevato di sicurezza della galleria. Questa analisi dei rischi deve tener conto di eventuali incidenti, che pregiudicano manifestamente la sicurezza degli utenti della strada nelle gallerie e che possono verificarsi durante la fase di esercizio nonché della natura e dell'ampiezza delle loro possibili conseguenze*.
Il contenuto della raccomandazione al paragrafo 1.1.3 suggerisce di individuare dei valori di riferimento per i parametri di sicurezza ed in particolare per i parametri lunghezza e volume di traffico oltre i quali sia necessario effettuare un'analisi dei rischi per stabilire se debbano essere introdotte misure di sicurezza integrative e/o equipaggiamenti complementari.
I valori di riferimento per i parametri di sicurezza lunghezza e volume di traffico sono stati individuati mediante l'analisi dei dati relativi all'incidentalità stradale sulla rete stradale italiana e dei dati storici relativi alle fatalità causate da eventi di incendio in galleria.
Il valore limite di volume di traffico individuato risulta pari a 10.000 v/giorno corsia per le gallerie unidirezionali.
Il valore limite per il parametro di sicurezza volume di traffico coincide con il valore in corrispondenza del quale l'andamento della curva di regressione delle serie di dati storici presenta un cambio di pendenza come mostrato nella successiva figura.



L'analisi del tasso di mortalità per eventi di incendio in galleria in funzione della lunghezza della struttura, condotta sulla base dei dati contenuti nel documento PIARC (1999) ed aggiornati all'anno 2005, consente di individuare un valore limite per il parametro di sicurezza lunghezza pari a 4000 m.
La successiva figura mostra i risultati dell'analisi condotta espressi mediante opportuni curve di interpolazione.



La successiva tabella sintetizza i dieci gruppi di requisiti minimi di sicurezza ordinati in funzione della tipologia di galleria, del volume di traffico per corsia, della lunghezza della struttura.

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

I requisiti minimi obbligatori che individuano i dieci gruppi sono stati riordinati in modo funzionale all'applicazione della procedura di analisi di rischio ed all'identificazione dei possibili deficit ascrivibili alle gallerie in esercizio come mostrato nelle tabelle riportate in Allegato 3.
Una generica galleria le cui caratteristiche individuate in termini di parametri di sicurezza ricadano all'interno di uno qualsiasi dei suddetti gruppi deve soddisfare i requisiti minimi di sicurezza ascritti al gruppo.
L'analisi dei rischi deve essere sviluppata per ogni galleria che, non ottemperando i requisiti minimi obbligatori, necessiti di soluzioni alternative al fine di dimostrare che esse sono in grado di garantire un livello di sicurezza equivalente od accresciuto rispetto al livello di sicurezza assicurato dai requisiti minimi del gruppo al quale la galleria in esame appartiene; ovvero, per ogni galleria che abbia caratteristiche speciali rispetto ai parametri di sicurezza individuati dalla Direttiva.
Ogni sistema di sicurezza, in accordo alla norma IEC 61508 è caratterizzato da uno specifico livello di integrità espresso in termini di probabilità di malfunzionamento ed in termini di efficienza nell'assicurare lo svolgimento regolare della funzione ad esso ascritta.

Indice di adeguamento

La procedura comparativa, integrata dai risultati forniti dall'applicazione della metodologia di analisi di rischio inerenti il peso relativo dei sistemi di sicurezza, sul livello di rischio associato alla struttura, consente di definire un indice di adeguamento per il sistema galleria analizzato.
L'indice di adeguamento è definito come:

$$I_a = \sum_{i=1}^{n} \frac{N_{RS}}{N_{RMS}} w_i$$

dove N_{RS} è il numero di requisiti di sicurezza soddisfatti nel sistema reale, N_{RMS} è il numero di requisiti di sicurezza previsti dalla Direttiva per il gruppo di appartenenza, w_i è il peso attribuito a ciascuna misura di sicurezza.
I pesi attribuiti a ciascuna misura di sicurezza sono riportati nella successiva tabella.

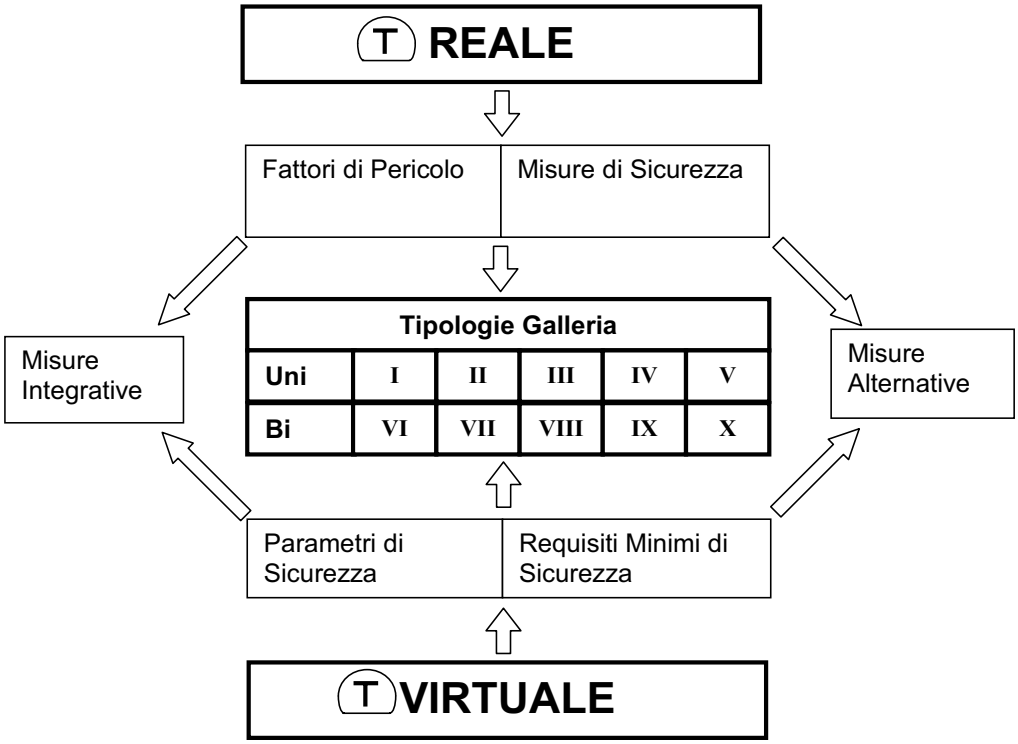
Misure di Sicurezza	**Peso relativo**
Struttura	0,25
Sistema Illuminazione Ordinaria	0,15
Sistema Gestione Traffico	0,05
Sistema Comunicazione	0,13
Sistema Rilevazione	0,10
Sistema Ventilazione	0,15
Sistema Illuminazione Emergenza	0,07
Sistema Spegnimento Incendio	0,10

L'indice di adeguamento costituisce uno strumento di analisi sintetico che il gestore può utilizzare nella fase di pianificazione degli interventi da attuare nel sistema galleria considerato.

Le precedenti osservazioni portano a definire:

- *Galleria virtuale*: una galleria che risponde alle prescrizioni della Direttiva Europea in termini di parametri di sicurezza e requisiti minimi di sicurezza con i sistemi di sicurezza operanti in condizioni ideali,
- *Galleria reale*: una galleria esistente ovvero il progetto di adeguamento ovvero il progetto di realizzazione dell'opera caratterizzati in termini di parametri di sicurezza e requisiti minimi posseduti dalla struttura ovvero previsti nei progetti con i sistemi di sicurezza operanti in condizioni reali.

I requisiti minimi di sicurezza sono preposti a svolgere un ruolo generico di prevenzione in condizioni di esercizio ed un ruolo specifico di protezione, mitigazione, facilitazione delle azioni di esodo e soccorso in condizioni di emergenza.
I requisiti minimi di sicurezza indicati nell'Allegato I della Direttiva stabiliscono livelli di sicurezza accettabili per il sistema galleria.
Il dimensionamento delle misure di sicurezza strutturali e dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza impiantistiche associati ai requisiti minimi di sicurezza deve corrispondere alle regole di buona pratica progettuale attuale Il termine attuale è utilizzato per evidenziare il carattere dinamico delle raccomandazioni di buona pratica progettuale. Le raccomandazioni della buona pratica progettuale si modificano in funzione del progresso tecnologico.
Le raccomandazioni di buona pratica progettuale, desunte dalle norme esistenti e dalle raccomandazioni contenute nei documenti redatti da enti riconosciuti e da associazioni di esperti, sono state recepite nella formulazione delle regole di progettazione riportate nel capitolo 6 del presente documento che definiscono lo standard di progettazione ANAS.
La successiva figura esemplifica l'analisi di vulnerabilità per il sistema galleria stradale.



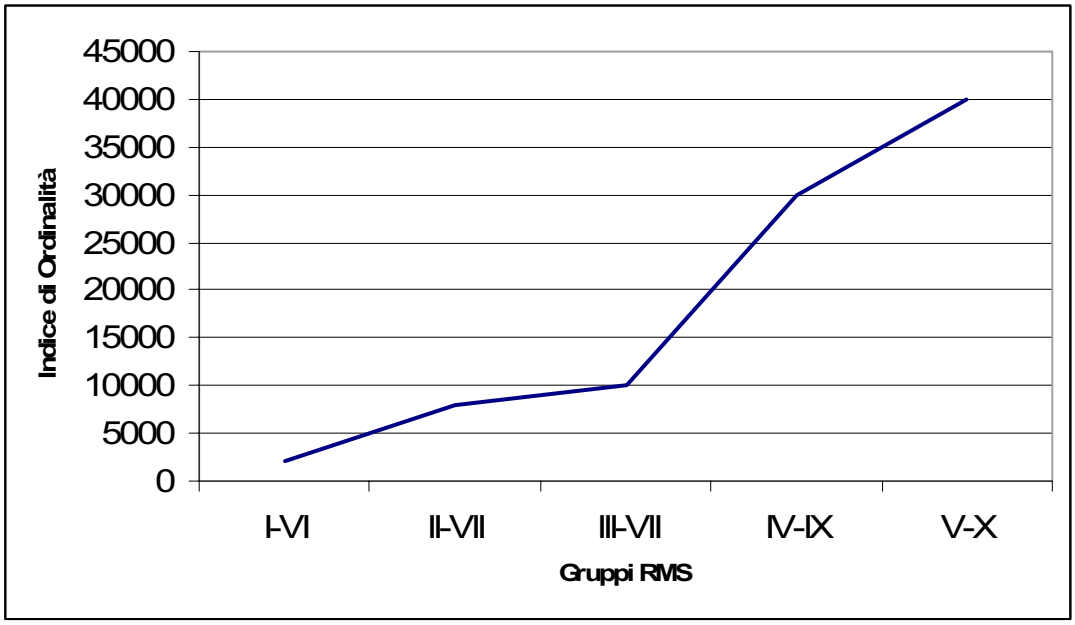
I gruppi di requisiti minimi di sicurezza installati sono in corrispondenza biunivoca con l'indice di ordinalità per unità di corsia calcolato sui valori estremi della classe di appartenenza mediante la relazione:

$I_{obc}=L_{maxi}*VT_{maxi}$

Qualora uno dei parametri lunghezza e traffico superi il valore assunto dagli estremi dei gruppi V,X l'indice di ordinalità è calcolato assumendo il valore effettivo del parametro eccedente.
La corrispondenza tra i gruppi di requisiti minimi e l'indice di ordinalità è sintetizzata nella successiva tabella:

Gruppo uni	**Gruppo bi**	**I_{obc}**	**Numero RM uni/bi**
I	VI	2000	21/21
II	VII	8000	22/22
III	VIII	10000	22/22
IV	IX	30000	26/26
V	X	40000	28/29

La successiva figura esemplifica il contenuto della precedente tabella.



Qualora l'indice di ordinalità riferito alla singola corsia superi il valore relativo alle classi V e X è necessario effettuare l'analisi di rischio per la galleria in esame.
Essendo i requisiti minimi definiti per valori discreti delle classi, le gallerie caratterizzate da valori di lunghezza e/o di traffico prossimi ai valori estremi caratterizzanti i vari gruppi risultano in corrispondenza di una discontinuità di livello di salvaguardia assicurato dai requisiti minimi, in tale caso è possibile effettuare l'analisi di rischio al fine di verificare che la galleria possa rientrare nel gruppo precedente o successivo, diversamente si ritiene opportuno riportarsi al gruppo superiore.

3.3.3 Progetto di sicurezza e standard ANAS

L'analisi di vulnerabilità definisce il livello di sicurezza accettabile per un sistema galleria come il livello di sicurezza ottenuto assumendo che esso sia dotato dei requisiti minimi di sicurezza previsti per il gruppo di appartenenza, nell'ipotesi che le misure di sicurezza strutturali e i sistemi di sicurezza che pongono in essere le misure impiantistiche, siano realizzati in accordo alle regole di progettazione che costituiscono la componente prescrittiva dello standard di progettazione ANAS.
Le regole di progettazione che definiscono lo standard ANAS sono state derivate al fine di compensare la variabilità della frequenza di accadimento determinata dai valori dei parametri di sicurezza qualora essi rientrino all'interno dei valori di soglia proposti.
L'applicazione dell'analisi di vulnerabilità assicura che:

- i requisiti minimi di sicurezza indicati sono sufficienti a compensare la variazione dell'indice di ordinalità,
- lo standard ANAS è sufficiente a compensare la variazione dei parametri di sicurezza entro i valori fissati per eventi critici riconducibili ad eventi di incendio generati da focolai caratterizzati da potenze termiche fino a 50 MW.

L'indicazione progettuale inerente la potenza generata dai focolai per eventi critici riconducibili ad eventi di incendio non esime il progettista dalla dimostrazione della bontà prestazionale delle soluzioni progettuali adottate.

Il valore limite di potenza indicato non individua né l'evento di dimensionamento per il sistema di ventilazione nell'analisi di scenario né l'evento di riferimento nella formulazione degli scenari di esodo.
L'indicazione progettuale fissa l'estremo superiore dell'intervallo di variazione delle potenze ascrivibili ai focolai entro il quale lo standard di progettazione ANAS assicura un livello di sicurezza tollerabile per il sistema galleria stradale.

3.3.4 Anomalie, deficit, misure integrative, misure alternative.

In caso di anomalie nei parametri di sicurezza e/o deficit nei requisiti minimi è possibile:

- adottare misure di sicurezza presenti nei gruppi di requisiti minimi aventi indice di ordinalità superiore;
- adottare misure di sicurezza alternative e/o integrative derivate dalla buona pratica,
- adottare soluzioni progettuali e/o sistemi di sicurezza innovativi.

Esempi di misure di sicurezza alternative ed integrative sono:

- galleria di servizio parallela,
- vie di fuga protette all'interno della sezione (cunicoli sotto-traccia, laterali, contro-soffitto),
- riduzione dell'interdistanza tra le vie di fuga,
- finestre di accesso,
- prestazioni e strategie di ventilazione (impianti di ventilazione longitudinali),
- camini di ventilazione intermedi,
- configurazione, prestazioni, gestione del sistema di estrazione fumi (impianti ventilazione trasversali e semitrasversali),
- sistemi automatici di mitigazione e spegnimento,
- sistemi di guida ottica (filo di Arianna),
- sistemi di guida sonora,
- sistemi di compartimentazione (lame d'aria, lame d'acqua, airbags),
- automezzi per trasporto utenti in condizioni di emergenza,
- sistemi di acquisizione delle caratteristiche spettrali dei focolai,
- contingentamento del traffico,
- traffico a senso unico alternato,
- limiti di velocità,
- sistemi di monitoraggio della velocità dei veicoli,
- distanza di sicurezza,
- squadre di soccorso ai portali o a centro galleria,
- portali termografici,
- sistemi di gestione intelligenti (tecniche neurali, tecniche fuzzy, intelligenza artificiale).

3.4 Analisi di rischio adottata nella procedura di progettazione della sicurezza

La metodologia di analisi di rischio successivamente dettagliata nelle modalità applicative concerne gli eventi incidentali considerati critici nello specifico ambiente confinato galleria stradale, 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**.**
L'Analisi di Rischio condotta secondo l'approccio bayesiano classico con analisi delle incertezze è la metodologia analitica e ben definita identificata come idonea per determinare il livello di rischio proprio delle gallerie presenti sulla rete stradale italiana recependo le raccomandazioni contenute nella Direttiva 2004/54/CE.
Il livello di analisi di rischio adottato per il sistema galleria stradale prevede un approccio sistemico all'analisi di sicurezza dell'infrastruttura definita come il complesso costituito dagli elementi strutturali, dall'ambiente circostante l'opera, dal traffico pertinente, dalle dotazioni di sicurezza impiantistiche e dalle procedure di gestione. Esso consente la determinazione della salvabilità degli utenti per scenari di esodo possibili conseguenti agli eventi incidentali considerati critici nello specifico ambiente galleria e la quantificazione del rischio associato alla singola galleria su un fissato lasso temporale.
La procedura di progettazione della sicurezza nelle gallerie prevede sia condotta in fase preliminare un'analisi di vulnerabilità dell'infrastruttura nell'ambito della quale si stabilisce una corrispondenza univoca tra gruppi omogenei di requisiti minimi di sicurezza, fissati dalla Direttiva e valori limite dei parametri di sicurezza determinati a partire dall'analisi statistica delle serie storiche dei dati di incidentalità.
L'analisi di vulnerabilità consente di identificare anomalie nei parametri di sicurezza e deficit nei requisiti minimi fissati dalla Direttiva e permette l'identificazione delle strutture passibili di analisi di rischio.
L'analisi di rischio deve essere sviluppata per ogni galleria che, non ottemperando ai requisiti minimi obbligatori, necessiti dell'adozione di misure di sicurezza alternative al fine di dimostrare che esse siano in grado di garantire un livello di sicurezza equivalente od accresciuto, ovvero, per ogni galleria che abbia caratteristiche speciali rispetto ai parametri di sicurezza individuati dalla stessa Direttiva.

I requisiti minimi di sicurezza sono prevalentemente preposti a svolgere un ruolo specifico di:

1. protezione e mitigazione della pericolosità dell'insieme degli eventi critici per il sistema galleria quali riduzione dei tempi di intervento dei sistemi di sicurezza, riduzione della potenza termica del focolaio, controllo del processo di dispersione dei fumi;
2. facilitazione delle azioni di auto-soccorso in fase di esodo quali realizzazione di uscite di emergenza, incremento della visibilità, , miglioramento delle comunicazioni.
3. facilitazione del soccorso in condizioni di emergenza quali realizzazione di accessi carrabili, miglioramento delle comunicazioni, assicurazione dell'approvvigionamento idrico.

Alcuni dei suddetti requisiti svolgono anche un ruolo generale di prevenzione in condizioni di esercizio.

L'analisi di rischio deve dimostrare che l'insieme delle misure di prevenzione, protezione, mitigazione della pericolosità dell'insieme degli eventi critici per il sistema galleria nonché di facilitazione delle azioni di esodo e di soccorso, sia tale da assicurare che il livello di rischio della struttura ricada al di sotto del limite di rischio tollerabile e che non possa essere ulteriormente incrementato per manifesta impossibilità realizzativa ovvero a costi sproporzionati (analisi costi-sicurezza). .

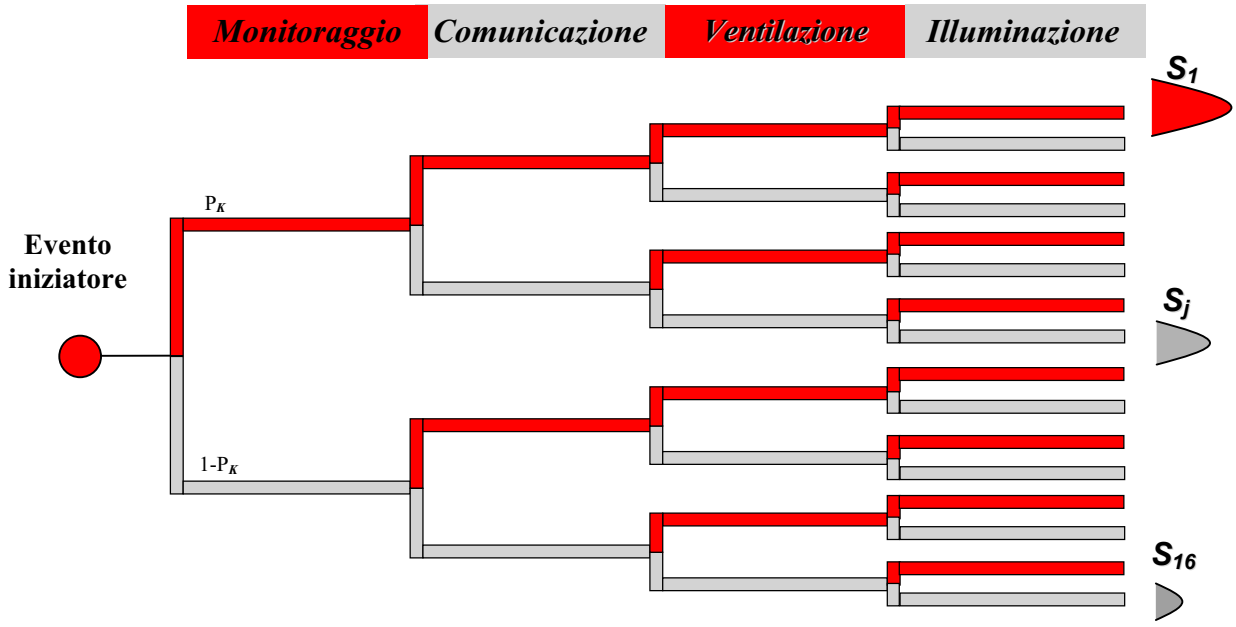
3.4.1 Tratti caratteristici dell'analisi di rischio

La metodologia di analisi di rischio si applica ad una galleria determinata e deve tener conto di:

- caratteristiche architettoniche e strutturali della galleria ;
- caratteristiche del traffico che incidono sulla sicurezza quali il volume , la composizione, il regime di traffico,
- incidentalità stradale e tassi di accadimento degli eventi critici caratteristici della galleria, rilevati o di progetto;
- caratteristiche prestazionali dei sistemi di sicurezza di cui la galleria è dotata.

La metodologia considera una galleria con le sue specifiche caratteristiche localizzata sul territorio ed in interazione con l'ambiente circostante.
I sistemi di sicurezza che determinano la risposta del sistema galleria alle condizioni di emergenza e definiscono le condizioni di pericolo per la popolazione esposta agli eventi critici possibili, sono caratterizzati in termini di affidabilità ed efficienza desumibili dalla buona pratica corrente.
Gli scenari incidentali sono rappresentati mediante modelli che includono come elementi costitutivi l'albero delle cause, l'evento critico, l'albero degli eventi.
L'evento critico è caratterizzato in termini di probabilità di accadimento e pericolosità potenziale sulla base di evidenze statistiche per i sistemi galleria in generale, eventualmente integrate da dati disponibili per la singola galleria con riferimento ai tassi di accadimento rilevati ed alle specificità progettuali della stessa.
L'albero degli eventi è caratterizzato in termini di probabilità di accadimento degli eventi critici e di probabilità di evoluzione lungo i singoli specifici rami condizionate dall'azione dei sistemi di sicurezza quantificata in termini di affidabilità e dell'efficienza ad essi proprie.
I rami dell'albero degli eventi terminano in scenari di fine emergenza , determinati in numero dalle combinazioni mutuamente esclusive delle azioni di condizionamento esercitate dalle misure mitigative previste.
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.



La salvabilità degli utenti in una specifica galleria è determinata attraverso la quantificazione e la zonizzazione del flusso del pericolo all'interno della struttura.
Le diverse zone del flusso del pericolo individuano le condizioni nelle quali si realizza il processo di esodo degli utenti dalla galleria.
La caratterizzazione del flusso del pericolo è ottenuta modellando l'evoluzione condizionata dai vincoli posti dalle misure di mitigazione previste dei fenomeni chimici e fisici che si instaurano in conseguenza dell'accadimento di eventi critici
La modellazione del flusso del pericolo è attuata con livelli di dettaglio diversi a seconda delle necessità ed utilizzando le migliori tecniche note e disponibili.
I risultati della modellazione del flusso del pericolo costituiscono i dati di ingresso per la simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura.
Il numero degli utenti coinvolti nel processo di esodo è determinato attraverso la formulazione e la soluzione di idonei modelli di formazione delle code nella galleria analizzata.
I risultati dell'analisi di rischio sono utilizzati per costruire indicatori quantitativi del rischio.
L'indicatore di rischio adottato è il Rischio Sociale definito come numero di vittime conseguente all'accadimento di un evento critico su una base temporale fissata.
Il livello di rischio proprio di una generica galleria è determinato tracciando la curva cumulata complementare ad essa corrispondente (C.C.C.).
La curva cumulata complementare contiene tutte le informazioni disponibili rispetto alle frequenze di accadimento di un insieme di eventi critici ed alle probabilità delle conseguenze ad essi associate e consente una rappresentazione del rischio nella forma di una completa distribuzione delle potenziali perdite evidenziando gli effetti delle incertezze connesse al malfunzionamento ovvero all'inadeguatezza dei sistemi di sicurezza adottati.
Un indicatore di rischio correntemente utilizzato nella pratica ingegneristica è il valore atteso del danno, momento primo della curva cumulata complementare, coincidente con l'area sottesa dalla curva cumulata complementare tracciata sul diagramma F-N.

Il valore atteso del danno si calcola come somma dei prodotti tra le probabilità dei singoli eventi critici iniziatori e le corrispondenti sommatorie delle probabilità degli eventi terminali dei singoli rami dell'albero degli eventi moltiplicate per i corrispondenti indicatori di danno espressi in numero di vittime all'anno.

3.4.2 Criteri di Accettabilità del rischio

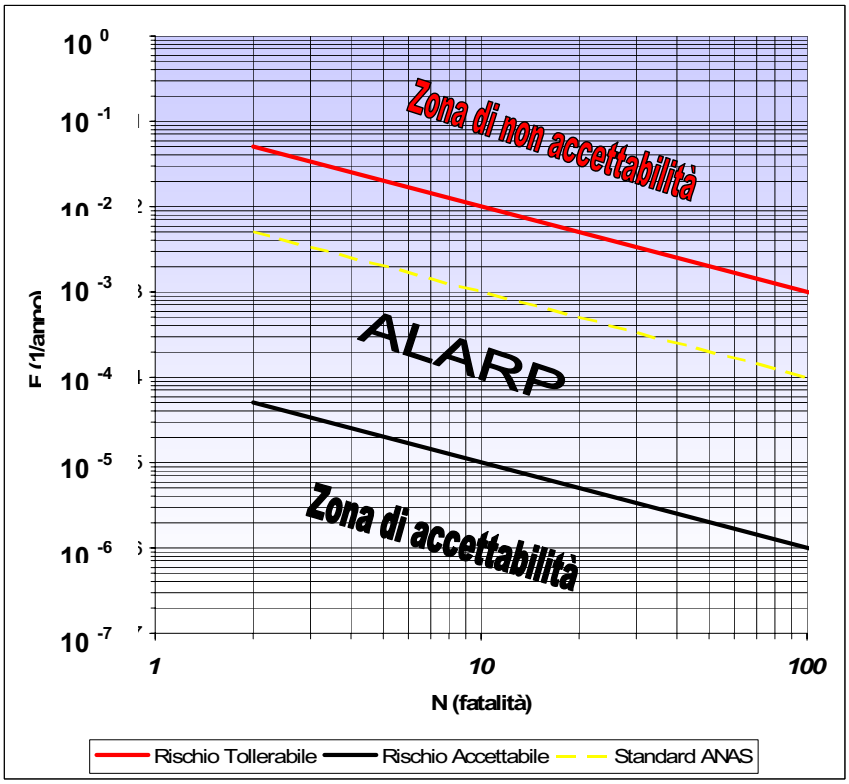
La rappresentazione del rischio è effettuata su diagrammi che pongono in relazione la frequenza cumulata delle conseguenze degli eventi critici con il numero di vittime correntemente indicati come diagrammi F-N.

I diagrammi F-N sono corredati di specifici livelli di accettabilità e non accettabilità del rischio rappresentati mediante rette caratterizzate da fissate intercette e pendenze.

La porzione dei diagrammi F-N limitata dalle rette di accettabilità e non accettabilità del rischio individua il dominio di applicazione del principio ALARP (As Low As Reasonably Practicable).

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

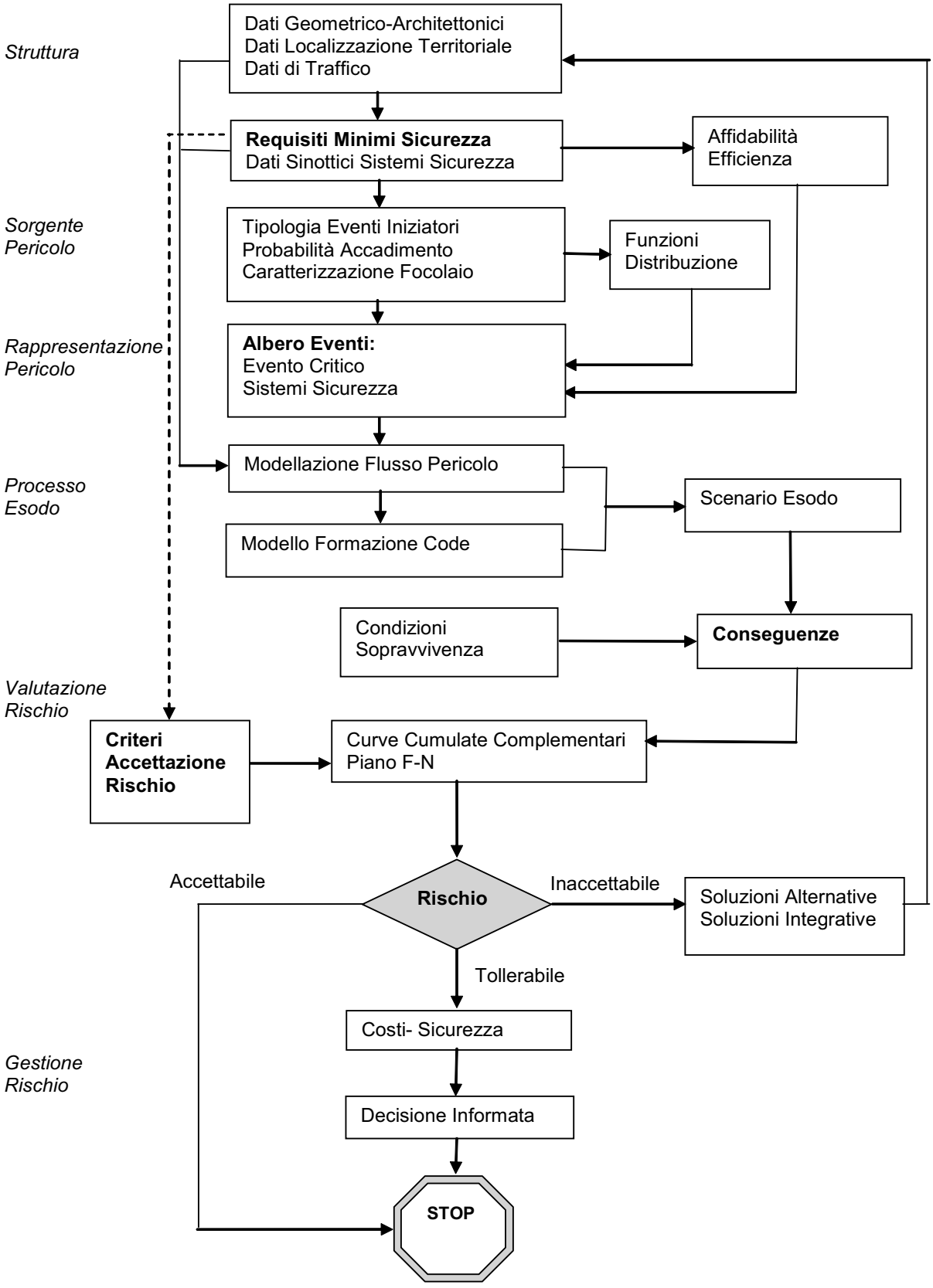
La soluzione progettuale ottima risulta dalla combinazione condotta su basi rigorose ed in modo giustificato delle misure di sicurezza preventive e mitigative ritenute necessarie ad assicurare un livello di rischio accettato per la galleria analizzata.



La procedura di valutazione del livello di rischio per una galleria comporta:

- la verifica che la curva cumulata complementare associata alla galleria in esame ricada al di sotto della retta limite di tollerabilità del rischio,
- l'applicazione del criterio costi-sicurezza in accordo al principio ALARP.

Qualora la curva cumulata complementare della galleria ricada nella zona di non accettabilità è necessario realizzare misure di sicurezza che riportino la curva al di sotto del limite di tollerabilità a prescindere dai costi.
Qualora la curva cumulata complementare della galleria ricada nella zona di accettabilità condizionata (zona ALARP) è necessario realizzare misure di sicurezza in modo compatibile con il criterio costi-sicurezza.
Qualora la curva cumulata complementare della galleria ricada nella zona di accettabilità non è necessario prevedere la realizzazione di ulteriori misure di sicurezza.
Il criterio costi-sicurezza è utilizzato per dirimere tra soluzioni progettuali alternative mediante il confronto tra i valori attesi del danno determinati come aree sottese dalle curve cumulate complementari ad esse corrispondenti ed i costi di realizzazione ad esse propri.
Il valore atteso del danno definisce un indicatore di rischio globale utilizzabile per determinare le condizioni di equivalenza fra soluzioni progettuali diverse per un sistema galleria quando le curve cumulate complementari ad esse associate ricadano all'interno della zona ALARP.
La dimostrazione dell'equivalenza garantita da misure compensative deve essere condotta sulla galleria reale dotata di misure di sicurezza alternative verificando che il valore atteso del danno della galleria in esame sia uguale o inferiore al valore atteso del danno della galleria virtuale a parità di condizioni di funzionamento.
Il livello di rischio coincidente con la retta sul piano F-N passante per il punto $(1, 10^{-2})$ e pendenza pari a -1 è compatibile con l'inviluppo tangente retto delle curve cumulate complementari di gallerie dotate di misure di sicurezza realizzate in conformità agli standard ANAS.
Lo standard ANAS definisce un livello di sicurezza rafforzato rispetto al limite di tollerabilità ed è compatibile con le tecniche di progettazione prestazionale della sicurezza in galleria.
La successiva figura sintetizza il metodo di analisi di rischio adottato nelle Linee Guida.


Struttura
Dati Geometrico-Architettonici
Dati Localizzazione Territoriale
Dati di Traffico
Requisiti Minimi Sicurezza
Dati Sinottici Sistemi Sicurezza
Affidabilità
Efficienza
Sorgente Pericolo
Tipologia Eventi Iniziatori
Probabilità Accadimento
Caratterizzazione Focolaio
Funzioni
Distribuzione
Rappresentazione Pericolo
Albero Eventi:
Evento Critico
Sistemi Sicurezza
Processo Esodo
Modellazione Flusso Pericolo
Scenario Esodo
Modello Formazione Code
Condizioni
Sopravvivenza
Conseguenze
Valutazione Rischio
Criteri Accettazione Rischio
Curve Cumulate Complementari
Piano F-N
Accettabile
Rischio
Inaccettabile
Soluzioni Alternative
Soluzioni Integrative
Tollerabile
Gestione Rischio
Costi- Sicurezza
Decisione Informata
STOP

3.5 Redazione del documento di sicurezza

La documentazione di sicurezza contiene il progetto della sicurezza nel quale sono riportate le caratteristiche costruttive degli elementi strutturali e le caratteristiche prestazionale dei sistemi di sicurezza che realizzano le misure di sicurezza di prevenzione e di protezione atte a garantire la sicurezza degli utenti e del personale addetto ai servizi di pronto intervento.
Il progetto della sicurezza tiene conto dei seguenti elementi:

- natura del tracciato stradale,
- caratteristiche strutturali ed impiantistiche della galleria,
- caratteristiche meteo-climatiche dell'ambiente circostante,
- caratteristiche del traffico pertinente alla galleria ed incidente sull'ambiente circostante,
- accessibilità dell'opera.

Esso, inoltre, deve considerare le modalità di evacuazione delle persone con mobilità ridotta e delle persone disabili.
Il progetto della sicurezza allegato alla documentazione di sicurezza relativa a una galleria include:

- una descrizione delle caratteristiche geometriche e strutturali della galleria e delle relative zone di imbocco, corredata degli elaborati progettuali necessari per comprenderne gli aspetti funzionali e strutturali, nonché le disposizioni gestionali e operative previste;
- uno studio sulle previsioni del traffico che specifichi e giustifichi le condizioni previste per il trasporto di merci pericolose, corredato dall'analisi del rischio;
- un'indagine specifica sui fattori di rischio che descriva i possibili incidenti che manifestamente mettono a repentaglio la sicurezza degli utenti stradali nelle gallerie, suscettibili di verificarsi durante l'esercizio, e la natura e l'ampiezza delle possibili conseguenze; questa indagine deve specificare e comprovare misure per ridurre la probabilità di incidenti e le loro conseguenze;
- il dettaglio dell'applicazione della procedura di analisi di rischio condotta sulla struttura in esame al fine di verificare e comprovare la validità delle misure di sicurezza strutturali e impiantistiche adottate.

4 Standard Anas Nuove Costruzioni

4.1 Premessa

Il capitolo contiene regole per la progettazione delle misure di sicurezza da adottare nelle le gallerie stradali mirate a garantire il conseguimento degli obiettivi di sicurezza individuati dalla Direttiva :

- l'incolumità degli utenti;
- l'esodo in sicurezza degli utenti dalla struttura,
- l'intervento dei servizi di soccorso e spegnimento,
- il contenimento dei danni materiali.

Le regole contenute nel documento concernono le misure di sicurezza preposte ad assicurare:

- il rilievo di condizioni anomale all'interno della struttura e le comunicazioni con gli utenti (monitoraggio, rilevazione, segnalazioni di scenari di emergenza);
- la protezione e l'esodo degli utenti (vie di fuga, illuminazione di emergenza, ventilazione, sistemi di mitigazione);
- l'accesso e la facilitazione delle operazioni di intervento degli addetti al soccorso (vie di accesso, illuminazione di emergenza, ventilazione, impianto idrico antincendio, sistemi di mitigazione);
- la prevenzione antincendio della galleria (reazione e resistenza al fuoco dei materiali e degli impianti, sistema di drenaggio).

I contenuti dei documenti promulgati a livello nazionale inerenti la sicurezza nelle gallerie stradali in genere (DM 05/06/2001) e la sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali in particolare (Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 6/12/1999 n. 7938, Circolare dell'Ente Nazionale Strade 8/9/99 n. 7735) sono ripresi per determinare il grado di aderenza ed eventuale adattamento alle raccomandazioni contenute nella Direttiva 2004/54/CE emanata dal Parlamento Europeo concernente l'individuazione dei requisiti minimi di sicurezza per le gallerie stradali nella Rete Trans-Europea.
Le regole sono formulate recependo le soluzioni della buona pratica progettuale codificate in norme e regolamenti promulgati a livello nazionale ed internazionale (Documenti UNECE, NFPA, PIARC) nell'ambito di un approccio prestazionale alla progettazione ed all'adeguamento della sicurezza nelle gallerie stradali basato sulla metodologia dell'analisi di rischio probabilistica in conformità ai suggerimenti della Direttiva.
Le raccomandazioni di buona pratica si intendono suscettibili di modifica ed adeguamento in funzione del progresso tecnologico e delle conoscenze scientifiche consolidate sulla dinamica degli eventi incidentali critici.
Le raccomandazioni contenute nelle regole si applicano a tutte le gallerie presenti sulla rete stradale nazionale aperte alla pubblica circolazione, caratterizzate da una lunghezza superiore a 500 m, in modo indipendente dalle modalità di costruzione.

4.2 Standard di progettazione

Lo standard di progettazione ANAS consta di:

- una componente prescrittiva,
- una componente prestazionale.

La componente prescrittiva è posta in essere da un insieme di regole progettuali congruenti con la buona pratica corrente e verificate in termini di analisi di rischio.
La componente prestazionale è posta in essere da un insieme di valori limite per l'affidabilità e l'efficienza delle misure di sicurezza congruenti con la buona pratica corrente e verificati in termini di analisi di rischio.

4.2.1 Componente prescrittiva -Misure strutturali

4.2.1.1 Numero di canne e di corsie

La realizzazione di una galleria a canna singola o doppia è condizionata dal punto di vista della sicurezza dai valori assunti dai seguenti parametri:

- volume di traffico previsto,
- percentuale di veicoli pesanti,
- profilo piano-altimetrico (curvatura, pendenza longitudinale),
- lunghezza.

La realizzazione di una galleria a doppio fornice è obbligatoria qualora le previsioni su 15 anni indichino un volume di traffico superiore a 10000 veicoli/giorno corsia.
In ottemperanza al D.M. 5.11.2001 per strade a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico (tipo A, B e D) devono prevedersi gallerie a doppio fornice.

4.2.1.2 Caratteristiche geometriche della struttura galleria

La sezione trasversale, le caratteristiche plano-altimetriche del tracciato di una galleria e delle strade di accesso influenzano in modo determinante la sicurezza del sistema gallerie in quanto tali parametri influiscono significativamente sulla probabilità che si verifichino incidenti e sull'entità dei danni da essi indotti.
Nelle gallerie con pendenze longitudinali superiori al 3% devono essere adottate misure supplementari e/o rafforzate per aumentare la sicurezza sulla base dei risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica.
Qualora la larghezza della corsia per veicoli lenti sia inferiore a 3,5 m e sia consentito il transito di veicoli pesanti, devono essere adottate misure supplementari e/o rafforzate per aumentare la sicurezza sulla base dei risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica.
Il valore limite di pendenza per il quale non è necessaria l'analisi di rischio è fissato pari al 3%.
Il valore limite di larghezza delle corsie per il quale non si deve effettuare l'analisi di rischio è fissato pari a 3,5 m.
Il valore limite della sezione trasversale al di sotto del quale deve essere effettuata l'analisi di rischio è fissato in 45 m^2 per le gallerie a 2 corsie di marcia e in 65 m^2 per le gallerie a 3 corsie di marcia.

4.2.1.3 Banchine

Nelle gallerie nuove sprovviste di corsia di emergenza, devono essere previste banchine pedonabili di emergenza, sopraelevate o meno, che gli utenti utilizzano in caso di guasto o incidente. La presente disposizione non si applica nel caso in cui le caratteristiche di costruzione della galleria non lo consentano, o lo consentano solo a costi sproporzionati, e la galleria sia unidirezionale e munita di un sistema permanente di sorveglianza e di chiusura delle corsie.

4.2.1.4 Uscite di emergenza

Si definisce uscita di emergenza una apertura realizzata sull'involucro della struttura finalizzata a favorire l'esodo degli utenti verso vie di fuga e luoghi sicuri.
Esempi di uscite di emergenza sono:

- uscite dirette verso l'esterno della galleria,
- uscite verso collegamenti pedonali tra le canne della galleria,
- uscite verso una galleria o un cunicolo di emergenza,
- accesso a rifugi con vie di fuga separate dalla galleria.
- I portali della galleria sono per definizione uscite di emergenza.

Le gallerie di nuova costruzione devono essere dotate di uscite di emergenza se il volume di traffico giornaliero supera i 2000 veicoli per corsia.
L'interdistanza tra le uscite di emergenza non deve superare i 300 m.
Le uscite di emergenza devono essere corredate da idonei dispositivi di sicurezza atti ad impedire la propagazione dei fumi e dell'energia termica all'interno delle vie di fuga, consentendo agli utenti di raggiungere i luoghi sicuri in condizioni di sicurezza ed agli addetti ai servizi di pronto intervento di accedere alla galleria.

4.2.1.4.1 Porte delle uscite di emergenza

Le porte delle uscite di emergenza devono poter essere aperte nella direzione di esodo.
Le porte delle uscite di emergenza devono avere un grado di compartimentazione al fuoco pari a REI 120.
Le porte dovranno essere normalmente chiuse, dotate di dispositivo di autochiusura, certificate conformi alle normative vigenti.

La larghezza complessiva delle uscite di emergenza deve risultare non inferiore al valore determinato dalla seguente relazione:

$$L = A/50 \times 0,6$$

dove A rappresenta il numero delle persone presenti (affollamento); il valore 0,6 costituisce la larghezza in metri sufficiente al transito di una persona (modulo unitario di passaggio); 50 indica il numero di persone che possono defluire attraverso un modulo unitario di passaggio essendo fissato il tempo medio di evacuazione.

La larghezza complessiva delle uscite di emergenza deve essere multipla di 0,6 m, con tolleranza del 5%.

La larghezza minima di una uscita non può essere inferiore a 0,80 m (con tolleranza del 2%) e deve essere conteggiata pari ad un modulo unitario di passaggio e pertanto sufficiente all'esodo di 50 persone.
Non devono essere realizzate aperture di larghezza superiore a 1,8 m.
Le dimensioni consigliate sono:

- 1 modulo da 90 cm per gallerie a 1-2 corsie e volume di traffico inferiore a 2000 v/gcorsia,
- 1 modulo da 120 cm per gallerie a 2 corsie e volume di traffico compreso tra 2000 e 15000 v/g corsia,
- moduli da 90 cm o 1 modulo da 140 cm per gallerie a 2 corsie e traffico superiore a 15000 veicoli giorno/corsia ovvero gallerie a 3 corsie e traffico superiore a 10000 veicoli giorno/corsia.

4.2.1.4.2 Zona filtro a prova di fumo
Si definisce zona filtro a prova di fumo un vano delimitato da strutture con resistenza REI predeterminata e comunque non inferiore a 60 minuti, dotato di due o più porte munite di congegno di autochiusura con resistenza al fuoco REI predeterminata e comunque non inferiore a 60 minuti con camino di ventilazione di sezione adeguata e comunque non inferiore a 0,1 m^2 sfociante al di sopra della copertura della struttura, oppure vano con le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco e mantenuto in sovrapressione ad almeno 30 Pa, anche in condizioni di emergenza, oppure aerato direttamente verso l'esterno con aperture libere di superficie non inferiore a 1 m^2 con esclusione dei condotti.

4.2.1.4.3 Uscite dirette verso l'esterno
Si intende per uscita diretta verso l'esterno un collegamento ad uno spazio a cielo aperto.
Le porte di accesso all'esterno devono essere ben visibili dall'interno della galleria, opportunamente illuminate e segnalate.

4.2.1.4.4 Collegamenti pedonali
Si intende per collegamento pedonale una struttura che connette le due canne di una galleria.
L'accesso ai collegamenti pedonali deve essere ben visibile dalla galleria, opportunamente segnalato ed illuminato.
Se le condizioni locali di tipo strutturale, geomeccanico lo consentono, le dimensioni interne del collegamento devono essere tali da contenere un parallelepipedo della misura minima di 240 x 230 x 1000 cm (base x altezza x lunghezza).
Le dimensioni indicate, ipotizzando un'occupazione massima di 3 persone per metro quadrato, consentono di ospitare circa 50 di utenti.
Le dimensioni del collegamento devono tenere conto dell'ingombro degli eventuali impianti installati.
All'interno dei collegamenti pedonali non devono essere allocati quadri elettrici a vista; quando presenti, dovranno essere opportunamente separati dal percorso di esodo con elementi caratterizzati da un grado di compartimentazione REI 120.

4.2.1.4.5 Cunicoli di sicurezza
Si intende per cunicolo di sicurezza una struttura pedonale ricavata all'interno della sezione di scavo della galleria e da essa separata della galleria e da essa separata mediante elementi strutturali.

Nelle nuove realizzazioni le scelte progettuali devono orientarsi alla individuazione di un cunicolo di sicurezza posto al di sotto del piano stradale.
Le dimensioni nette della sezione trasversale del cunicolo devono essere pari a 240 x 230 cm (larghezza x altezza).
L'accesso ai cunicoli deve essere realizzato creando una zona filtro con compartimentazione non inferiore a REI 120.
L'accesso al cunicolo deve essere ben visibile dalla galleria, opportunamente segnalato ed illuminato.
All'interno del cunicolo di sicurezza, in corrispondenza di ciascun accesso e con passo non superiore a 50 m, devono essere collocati i segnali indicanti la direzione e la relativa distanza delle uscite verso luoghi sicuri.
All'interno del cunicolo non devono essere allocati quadri elettrici a vista; quando presenti dovranno essere opportunamente separati dal percorso di esodo con elementi caratterizzati da un grado di compartimentazione REI 120.

4.2.1.4.6 Gallerie di emergenza

Si intende per galleria di emergenza una struttura pedonale e eventualmente carrabile separata dalla galleria di esercizio che può svilupparsi parallelamente alla galleria ovvero innestarsi nella galleria configurandosi come una discenderia.
L'accesso alla galleria di emergenza deve essere ben visibile dalla galleria, opportunamente segnalato ed illuminato.
L'accesso pedonale alle gallerie di emergenza deve essere realizzato creando una zona filtro con compartimentazione non inferiore a REI 120.
All'interno delle gallerie di emergenza, lungo il percorso d'esodo, in corrispondenza di ciascun accesso e con passo non superiore a 50 m, devono essere collocati i segnali indicanti la direzione e la relativa distanza delle uscite verso luoghi sicuri.
All'interno delle gallerie di emergenza non devono essere allocati quadri elettrici a vista; quando presenti dovranno essere opportunamente separati dal percorso di esodo con elementi caratterizzati da un grado di compartimentazione REI 120, ovvero dotati di specifici sistemi di spegnimento automatico degli incendi.

4.2.1.4.7 Rifugi

Si intende per rifugio un locale separato dagli altri ambienti mediante elementi strutturali e non in grado di fornire una compartimentazione REI 120 destinato ad accogliere in sicurezza gli utenti in fuga dalla canna incidentata.
L'accesso ai rifugi deve essere ben visibile dalla galleria, opportunamente segnalato ed illuminato.
L'accesso ai rifugi deve essere realizzato creando una zona filtro con grado di compartimentazione non inferiore a REI 120.
È vietato costruire rifugi privi di uscita collegata a vie di fuga verso l'esterno.
L'uscita dai rifugi verso l'esterno deve essere opportunamente segnalata ed illuminata.
All'interno dei rifugi devono essere previsti:

- segnaletica con istruzioni di comportamento,
- impianto di comunicazione audio vivavoce e/o video bidirezionale con il centro di controllo,
- cassetta di primo soccorso,
- coperte ignifughe.

4.2.1.4.8 Destinazione d'uso delle strutture in condizioni di emergenza

I collegamenti pedonali, le gallerie di emergenza, i cunicoli di sicurezza, i rifugi possono essere adibiti a:

- via di fuga,
- via di fuga protetta,
- luogo sicuro temporaneo.

Una via di fuga è una zona destinata all'esodo delle persone sufficientemente illuminata separata dalla galleria mediante strutture e porte caratterizzate da un grado di compartimentazione REI 120.
Una via di fuga protetta è una zona destinata all'esodo delle persone sufficientemente illuminata mantenuta libera dai fumi ed in sovrapressione rispetto alla galleria mediante ventilazione naturale o forzata e separata dalla galleria mediante strutture e porte caratterizzate da un grado di compartimentazione REI 120.
Un luogo sicuro temporaneo è un luogo di stazionamento costituito da una zona separata fisicamente mediante una zona filtro a prova di fumo rispetto alla canna incidentata, in grado di ospitare in condizioni di sicurezza un numero di persone fissato per un intervallo di tempo limitato e comunque non inferiore a 30 minuti, collegato ad una via di fuga verso l'esterno.
Le condizioni di sicurezza degli utenti che in esso stazionano devono essere assicurate da un impianto di ventilazione dedicato che immetta aria direttamente dall'esterno della galleria.
I rifugi sono da intendersi come dei luoghi sicuri temporanei caratterizzati da un tempo di permanenza superiore a 30 minuti e dotati di un equipaggiamento di sicurezza potenziato.
La necessità di realizzare rifugi o luoghi sicuri temporanei deve essere giustificata dai risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica.
La canna non interessata dall'evento di incendio di una galleria a doppia canna può essere adibita a via di fuga o a via di fuga protetta a seguito della definizione delle prestazioni e delle modalità di gestione del sistema di ventilazione istallato in galleria.
Successivamente sono riportate le linee guida da adottare per la realizzazione di vie di fuga, vie di fuga protette, luoghi sicuri temporanei in funzione della lunghezza e della direzione del traffico della struttura.

4.2.1.4.9 Gallerie a doppia canna e traffico unidirezionale

Il percorso di esodo è costituito in sequenza dalla canna interessata dall'evento incidentale, dai collegamenti pedonali, dalla canna non interessata dall'evento incidentale.
Nelle gallerie di lunghezza inferiore a 500 metri, salvo casi particolari (inserimenti o attraversamenti particolari quali ad es. l'ambito urbano), non sono previsti collegamenti pedonali.
Nelle gallerie di lunghezza superiore a 500 metri devono essere realizzati collegamenti pedonali ogni 300 m.
I collegamenti pedonali devono essere separati dalla canna incidentata mediante idonee strutture caratterizzate da grado di compartimentazione REI 120.
All'uscita – ingresso del collegamento pedonale si deve prevedere un'area di protezione rispetto al flusso veicolare avente lunghezza non inferiore a 2 m.
Un armadietto di emergenza deve essere posto all'interno del collegamento pedonale. La descrizione dell'armadietto di emergenza è riportata nel paragrafo " stazioni di emergenza".

4.2.1.4.9.1 Gallerie di lunghezza compresa tra 500 e 1000 m

4.2.1.4.9.1.1 Collegamenti pedonali

I collegamenti pedonali devono essere adibiti a via di fuga.
L'illuminazione dei collegamenti sarà alimentata da alimentazione di sicurezza.
Le porte dovranno essere dotate di sensori e all'apertura dovrà attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato.

4.2.1.4.9.2 Gallerie di lunghezza superiore a 1000 m

4.2.1.4.9.2.1 Collegamenti pedonali

I collegamenti pedonali possono essere adibiti a via di fuga protetta o a luogo sicuro temporaneo e la canna non interessata dall'incendio è considerata luogo sicuro dinamico.
Le porte di accesso devono essere dotate di sensori e all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato ed un allarme nel centro di controllo ove previsto.
L'impianto di ventilazione dei collegamenti pedonali deve assicurare le seguenti modalità:

- funzionamento in esercizio: mantenere la sovrapressione e nel contempo mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe;
- funzionamento in emergenza per gli utenti: garantire la sovrapressione del locale, prevenire l'ingresso dei fumi a porte aperte;
- funzionamento in emergenza per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento: garantire una velocità media del flusso sufficiente a consentire l'accesso alla canna incidentata.

L'impianto ventilazione del collegamento pedonale deve essere collegato alla alimentazione elettrica di emergenza.
Il sistema di comando e controllo dell'impianto di ventilazione deve essere collegato alla alimentazione elettrica di sicurezza.
L'impianto illuminazione del collegamento pedonale deve essere collegato alla alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.9.2.2 Cunicoli di sicurezza

I cunicoli di sicurezza possono essere adibiti a via di fuga protetta ovvero a luogo sicuro temporaneo.
Essi possono essere realizzati per galleria a traffico monodirezionale qualora i risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica ne evidenzino la necessità.
I cunicoli di sicurezza devono essere accessibili attraverso i collegamenti pedonali.
Le porte di accesso devono essere dotate di sensori di prossimità ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato e deve essere inviato un segnale di allarme al centro di controllo ove previsto.
Nel caso in cui il cunicolo di sicurezza sia adiacente ad un canale di ventilazione adibito all'estrazione dei fumi dovrà essere garantito il benessere termoigrometrico degli utenti in fuga ed in ogni caso il cunicolo non potrà essere adibito a luogo sicuro temporaneo.
L'impianto di ventilazione del cunicolo di sicurezza dovrebbe assicurare le seguenti modalità:

- funzionamento in esercizio: mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe,
- funzionamento in emergenza per gli utenti: garantire la sovrapressione del locale, prevenire l'ingresso dei fumi a porte aperte, garantire la qualità dell'aria (luogo sicuro temporaneo),
- funzionamento in emergenza per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento (opzionale): garantire una velocità media del flusso sufficiente a consentire l'accesso alla canna incidentata.

L'impianto di ventilazione deve essere collegato all'alimentazione elettrica di emergenza.
Il sistema di comando e controllo del sistema di ventilazione del cunicolo di emergenza deve essere collegato alla alimentazione elettrica di sicurezza.
L'impianto di ventilazione del cunicolo di sicurezza deve garantire almeno una portata di aria pari a 20 mc/h per persona. Un valore ottimale della portata d'aria risulta essere pari a 50 m^3/h per persona.
L'illuminazione del cunicolo di sicurezza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.10 Gallerie a canna singola e traffico bidirezionale

Il percorso di esodo è costituito in sequenza dalla canna incidentata, dalle uscite di emergenza dirette verso l'esterno ovvero da un cunicolo di sicurezza ovvero da una o più gallerie di emergenza.
Nelle gallerie di lunghezza inferiore a 500 metri, salvo casi particolari (inserimenti o attraversamenti particolari quali ad es. l'ambito urbano), non sono previste uscite di emergenza.
Nelle gallerie a canna singola e traffico bidirezionale di lunghezza superiore a 500 metri devono essere realizzate delle uscite dirette verso l'esterno, ovvero accessi pedonali verso un cunicolo di sicurezza, ovvero accessi pedonali verso gallerie di emergenza, ogni 300 m.
Dove non risultasse possibile la realizzazione delle uscite pedonali all'interdistanza indicata è necessario giustificare l'assenza di tale misura di sicurezza mediante l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.

4.2.1.4.10.1 Gallerie di lunghezza compresa tra 500 e 1000 m

4.2.1.4.10.1.1 Uscite dirette verso l'esterno

Le porte di accesso devono essere dotate di sensori ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato.
L'impianto di illuminazione delle uscite verso l'esterno dovrà essere collegato ad alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.10.1.2 Cunicoli di sicurezza

I cunicoli di sicurezza sono adibiti a via di fuga protetta e devono condurre direttamente all'esterno.
Il cunicolo di sicurezza deve essere realizzato ed attrezzato in modo tale da consentire agli utenti in fuga di raggiungere l'esterno in completa autonomia.
L'impianto di ventilazione deve contemplare una unica modalità di funzionamento in grado di garantire la qualità dell'aria all'interno del cunicolo di sicurezza.
L'impianto ventilazione del cunicolo di sicurezza deve essere collegato all'alimentazione elettrica di emergenza.

L'illuminazione del cunicolo di sicurezza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.10.1.3 Gallerie di emergenza

Le gallerie di emergenza devono essere adibite a via di fuga pedonali.
La gallerie di emergenza deve essere realizzata ed attrezzata in modo tale da consentire agli utenti in fuga di raggiungere l'esterno in completa autonomia.
L'impianto di ventilazione deve contemplare una unica modalità di funzionamento in grado di garantire la qualità dell'aria all'interno della galleria di emergenza.
L'impianto ventilazione del cunicolo di sicurezza deve essere collegato all'alimentazione elettrica di emergenza.
L'illuminazione del cunicolo di sicurezza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.10.2 Gallerie di lunghezza superiore a 1000 m

4.2.1.4.10.2.1 Uscite dirette verso l'esterno

L'accesso all'esterno deve essere realizzato creando, quando necessario, una zona filtro con compartimentazione non inferiore a REI 120.
Le porte di accesso devono essere dotate di sensori ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato e deve essere inviato un segnale di allarme al centro di controllo ove previsto.

4.2.1.4.10.2.2 Cunicoli di sicurezza

I cunicoli di sicurezza possono essere adibiti a via di fuga protetta ovvero a luogo sicuro temporaneo.
Le porte di accesso devono essere dotate di sensori ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato e deve essere inviato un segnale di allarme al centro di controllo ove previsto.
Nel caso in cui il cunicolo di sicurezza sia adiacente ad un canale di ventilazione adibito all'estrazione dei fumi dovrà essere garantito il benessere termoigrometrico degli utenti in fuga ed in ogni caso il cunicolo non potrà essere adibito a luogo sicuro temporaneo e dovrà essere dotato di zone filtro.
L'impianto di ventilazione del cunicolo di sicurezza deve assicurare le seguenti modalità:
funzionamento in esercizio: mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe;
funzionamento in emergenza per gli utenti: garantire la sovrapressione del locale, prevenire l'ingresso dei fumi a porte aperte, garantire la qualità dell'aria qualora la galleria di emergenza sia adibita a luogo sicuro temporaneo;
funzionamento in emergenza per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento: garantire una velocità media del flusso sufficiente a consentire l'accesso alla canna incidentata.
L'impianto di ventilazione deve essere collegato all'alimentazione elettrica di emergenza.
Il sistema di comando e controllo del sistema di ventilazione del cunicolo di sicurezza deve essere collegato alla alimentazione elettrica di sicurezza.
L'illuminazione del cunicolo di sicurezza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.4.10.2.3 Gallerie di emergenza

Le gallerie di emergenza possono essere adibite a via di fuga protetta o luogo sicuro temporaneo.
Le porte di accesso devono essere dotate di sensori ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato e deve essere inviato un segnale di allarme al centro di controllo ove previsto.
L'impianto di ventilazione delle gallerie di emergenza deve assicurare le seguenti modalità:

- funzionamento in esercizio: mantenere condizioni termoigrometriche che non consentano la formazione di muffe;
- funzionamento in emergenza per gli utenti: garantire la sovrapressione del locale, prevenire l'ingresso dei fumi a porte aperte, garantire la qualità dell'aria qualora la galleria di emergenza sia adibita a luogo sicuro temporaneo.

L'impianto di ventilazione deve essere collegato all'alimentazione elettrica di emergenza.
Il sistema di comando e controllo del sistema di ventilazione del cunicolo di emergenza deve essere collegato alla alimentazione elettrica di sicurezza.
L'illuminazione delle gallerie di emergenza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di emergenza.
L'illuminazione delle vie di fuga e dei luoghi sicuri ricavati all'interno delle gallerie di emergenza deve essere garantita dall'impianto di alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.1.5 Accesso per i servizi di pronto intervento

4.2.1.5.1 Collegamenti carrabili

Nelle gallerie a canna doppia devono essere previsti collegamenti per il passaggio di veicoli di soccorso o di servizio ogni 900 m circa.
Nelle gallerie di lunghezza inferiore a 1000 metri, salvo casi particolari (inserimenti o attraversamenti particolari quali ad es. l'ambito urbano), non sono previsti collegamenti carrabili.

I collegamenti carrabili devono essere realizzati con grado di compartimentazione REI 120 ed essere accessibili dalle canne tramite portoni caratterizzati da una sezione di passaggio netta pari a 350 x 400 cm (larghezza x altezza).

La pendenza dei collegamenti carrabili non deve essere superiore al 10 % e la resistenza al carico deve essere tale da consentire il transito di automezzi di peso complessivo fino a 20 t.
I portoni di accesso devono rimanere normalmente chiusi e poter essere aperti esclusivamente da personale autorizzato.
I portoni di accesso ai collegamenti carrabili devono essere dotati di sensori di prossimità ed all'apertura deve attivarsi un allarme ottico acustico locale temporizzato e deve essere inviato un segnale di allarme al centro di controllo ove previsto.
L'apertura dei portoni di accesso ai collegamenti carrabili, in condizioni incidentali, influenza la ripartizione del flusso d'aria in galleria condizionando in modo determinante il processo di dispersione dei fumi.

4.2.1.6 Piazzole di sosta

Nelle gallerie di lunghezza superiore a 1000 m devono essere previste piazzole di sosta aventi dimensioni minime pari a 45 m x 3 m realizzate ad un'interdistanza pari a 600 m per ogni senso di marcia.
Nel caso di gallerie bidirezionali le piazzole di sosta devono essere disposte a quinconce sui due lati della carreggiata.
Se le caratteristiche di costruzione della gallerie non lo consentono o lo consentono solo a un costo sproporzionato, non è obbligatorio prevedere le piazzole di sosta se la larghezza totale della parte della galleria accessibile ai veicoli, escluse le parti sopraelevate e le corsie normali, è pari almeno alla larghezza di una corsia normale.

4.2.1.7 Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio ricopre un ruolo di impianto di sicurezza in caso di sversamenti accidentali di oli e liquidi infiammabili permettendone un rapido smaltimento e riducendo la possibilità di incendio e intossicazione.
Se il trasporto di merci pericolose è autorizzato, il drenaggio di liquidi infiammabili e tossici è effettuato tramite canali di scolo appositamente progettati o altri dispositivi realizzati all'interno delle sezioni trasversali delle gallerie.
Particolare attenzione deve essere posta nel trattamento e nello stoccaggio di queste particolari acque reflue, spesso contaminate da prodotti chimici ritardanti o diluenti.
Il sistema di drenaggio deve essere progettato e mantenuto in funzione in modo da impedire la propagazione degli incendi nonché per intercettare rapidamente i liquidi infiammabili e tossici sversati sulla piattaforma stradale riducendone la propagazione all'interno della canna ed impedendone il trasferimento ad altre canne.
E' necessario valutare la necessità di installare caditoie munite di dispositivi atti ad evitare la propagazione della fiamma e sistemi di monitoraggio e controllo del livello nelle vasche di accumulo.
Il dimensionamento del sistema di drenaggio dei liquidi infiammabili deve essere conseguente ad idonea analisi di scenario condotta su un numero ridotto di eventi di sversamento possibili.
Qualora sia impossibile realizzare nelle gallerie esistenti sistemi di drenaggio, ovvero la realizzazione di tali sistemi sia possibile solo ad un costo sproporzionato, il transito di veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose è regolato in base ai risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica.

4.2.1.8 Caratteristiche ignifughe degli elementi strutturali

Gli elementi strutturali delle gallerie devono assicurare un livello sufficiente di resistenza e reazione al fuoco.

4.2.1.8.1 Reazione al fuoco

Le vernici o i pannelli di rivestimento delle pareti devono essere realizzate con materiali caratterizzati da una reazione al fuoco di classe 0 ed atossici.

4.2.1.8.2 Resistenza al fuoco

Gli elementi strutturali funzionali ai sistemi di sicurezza devono garantire una resistenza al fuoco per 120 min essendo soggetti ad un evento di incendio caratterizzato dalla curva nominale degli idrocarburi di cui al capitolo 4 del DM14-09-2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni". In

alternativa, la resistenza al fuoco degli elementi strutturali è determinata mediante l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.
Gli elementi strutturali di nuova concezione da mettere in opera devono essere preventivamente sottoposti a procedura di certificazione mediante prove in laboratorio secondo metodologie universalmente accettate.
Gli elementi strutturali per i quali è necessario determinare la resistenza al fuoco sono: canali di ventilazione, supporti dei dispositivi di sicurezza (passerelle cavi, ventilatori, portali segnaletici, corpi illuminanti), porte, vie di fuga, locali tecnici, ecc.
La struttura di tutte le gallerie in cui un cedimento locale della struttura possa avere conseguenze catastrofiche, come ad esempio le gallerie sommerse, le gallerie urbane o le gallerie che possono causare il cedimento di importanti strutture adiacenti, deve assicurare un livello sufficiente di resistenza al fuoco definito mediante analisi di rischio e non inferiore ad un tempo di 120 min per un incendio caratterizzato dalla curva nominale degli idrocarburi di cui al capitolo 4 del DM14-09-2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

4.2.1.9 Colore delle pareti della galleria

La colorazione delle pareti, indipendentemente dalla lunghezza della galleria, deve seguire lo schema riportato in figura 1 dell'allegato I al presente documento utilizzando vernici o pannelli di rivestimento.
Le pareti laterali delle piazzole di sosta devono essere rese di colore arancio.
Per le colorazioni si devono adottare i seguenti R.A.L. tenendo conto dell'impiego di lampade al sodio ad alta pressione:

- colore bianco n. 9010
- colore arancio n. 2002.

I materiali utilizzati devono essere del tipo lavabile.
In caso di impiego di altri tipi di lampade le colorazioni devono essere opportunamente verificate ed adeguate per ottenere le stesse rese cromatiche di cui sopra.
La veste così ottenuta deve essere preservata nel tempo predisponendo un opportuno piano di manutenzione e pulizia.

4.2.2 Componente prescrittiva - Misure impiantistiche

Nel seguito vengono definite le misure impiantistiche da prevedere nelle gallerie stradali di lunghezza superiore a 500 metri.
Nelle gallerie di lunghezza inferiore dovrà essere previsto, tranne in condizioni particolari da analizzare singolarmente, il solo impianto di illuminazione.

4.2.2.1 Illuminazione

Le gallerie e i sottopassi devono essere provvisti di illuminazione diurna e notturna progettate secondo il D.M. 14 settembre 2005 *Norme di illuminazione delle gallerie stradali*.

Si distinguono le seguenti tipologie di illuminazione:

- l'illuminazione *ordinaria* costituita dall'illuminazione permanente e dall'illuminazione di rinforzo

- l'illuminazione di *emergenza* costituita dall'illuminazione della galleria in condizioni di interruzione di erogazione dell'energia elettrica (illuminazione di *riserva*) e dall'illuminazione delle vie di fuga (illuminazione di *sicurezza*).

4.2.2.1.1 Illuminazione ordinaria

Nei tratti di imbocco delle gallerie devono essere previste delle zone di rinforzo (zone di soglia e di transizione) così da garantire l'adattamento visivo degli utenti dalle condizioni di luminanza esterne a quelle interne in funzione della velocità di percorrenza media prevista.
L'impianto di regolazione del sistema di illuminazione deve essere in grado di adattare la luminanza all'interno della galleria alle condizioni variabili della luce all'esterno durante le ore del giorno. L'adattamento deve realizzarsi senza indurre variazioni inattese nel comfort visivo dell'utente. I regolatori di flusso luminoso potranno essere sia di tipo "continuo" sia di tipo "a gradino" privilegiando, quando possibile, l'impiego di regolatori di flusso di tipo "continuo", elettronici e dotati di idonei stabilizzatori di tensione.
Nelle gallerie a traffico bidirezionale le indicazioni sulle zone di rinforzo devono essere estese ai due imbocchi.
I cavi di alimentazione dell'impianto di illuminazione devono essere collocati per quanto possibile in sede protetta. Nelle gallerie ove non sia possibile il posizionamento sotto il marciapiede, dietro il profilo redirettivo od all'interno del rivestimento, i cavi devono essere alloggiati in apposite canaline realizzate in acciaio inox di caratteristica AISI almeno 304L.
I cavi devono essere conformi alle norme CEI non propaganti l'incendio, a bassissima emissione di gas tossici nocivi e corrosivi.
Le lampade dell'impianto di illuminazione devono essere ad alta efficienza luminosa nell'ottica di consentire un elevato risparmio energetico.

I corpi illuminanti devono essere di norma posizionati:

- per le gallerie a volta, a traffico bidirezionale, sono preferibili impianti con due file di armature, ciascuna sopra una corsia di marcia; per le gallerie a soffittatura piana o con sezione rettangolare bidirezionali le due file devono essere posizionate sui due lati della galleria stessa;
- per le gallerie unidirezionali è preferibile l'impianto su file continue sulle corsie di marcia.

I corpi illuminanti devono avere un indice di protezione IP 65.
Tutti gli accessori metallici, le armature, i proiettori dei corpi illuminanti, gli ancoraggi al rivestimento devono garantire la massima resistenza alla corrosione.
I corpi illuminanti devono essere facilmente sostituibili ovvero dotati di dispositivi che consentano lo sgancio e l'aggancio rapido.

Cassette di derivazione per l'alimentazione dei corpi illuminanti in galleria

La cassetta deve avere un Grado di protezione non inferiore a IP 65 secondo CEI EN 60529 con grado di resistenza agli urti IK10.
Il contenitore deve essere dotato di una base portafusibile precablata alla derivazione, idonea alla protezione della fase di alimentazione del corpo illuminante.
La messa a terra deve essere assicurata mediante morsetto.
Il materiale di costruzione dovrà essere lega di alluminio UNI 5076 o acciaio INOX AISI 304 o 316L. L'alimentazione al corpo illuminante deve avvenire attraverso presa CEE 2P+T da 16 A con grado di protezione non inferiore a IP 65.

4.2.2.1.2 Illuminazione di emergenza

L'illuminazione di emergenza deve essere prevista nelle gallerie di lunghezza superiore a 500 metri, mentre nelle gallerie di lunghezza inferiore deve essere prevista la sola illuminazione di riserva.

4.2.2.1.2.1 Illuminazione di riserva

L'illuminazione di riserva deve consentire un regolare deflusso dei veicoli presenti all'interno della galleria in caso di fuori servizio dell'alimentazione elettrica ordinaria.
Le caratteristiche tecniche dei corpi illuminanti dell'illuminazione di riserva sono le stesse della illuminazione ordinaria.
L'illuminazione di riserva deve garantire nelle zone interne e nelle piazzole di sosta una luminanza non inferiore a quella dell'eventuale tratta di strada illuminata esterna alla galleria e comunque la luminanza dovrà non essere inferiore ad 1 cd/mq.
Nelle gallerie di lunghezza superiore a 500m, l'illuminazione di riserva dovrà essere alimentata da un gruppo elettrogeno, comune eventualmente ad altri impianti, con autonomia di almeno 24 ore; dovrà essere inoltre prevista una alimentazione elettrica in continuità assoluta dedicata, possibilmente costituita da un sistema UPS che sostenga per almeno 30 minuti l'impianto di illuminazione.
Nelle gallerie di lunghezza inferiore a 500m, in cui è prevista l'illuminazione notturna, dovrà essere prevista l'illuminazione di riserva alimentata mediante un sistema UPS con autonomia pari ad almeno 30 minuti. Sono preferibili soluzioni di massima integrazione tra UPS e dispositivi di regolazione del flusso luminoso.
Il pannello a messaggio variabile prima dell'ingresso della galleria deve indicare agli utenti lo stato di malfunzionamento dell'impianto di illuminazione interno alla galleria ed eventuali provvedimenti temporanei di esercizio degradato.
Cassette di derivazione per l'alimentazione dei corpi illuminanti di sicurezza
La cassetta deve avere un Grado di protezione non inferiore a IP 65 secondo CEI EN 60529 con grado di resistenza agli urti IK10.
I morsetti devono essere adatti all'applicazione su cavi tipo FTG10(O)M1 – 0.6/1KV (resistenza al fuoco secondo norma EN 50200/EN 50362).
Il contenitore è inoltre dotato di una base portafusibile precablata alla derivazione, idonea alla protezione della fase di alimentazione del corpo illuminante.
La messa a terra deve essere assicurata mediante morsetto.
Il materiale di costruzione dovrà essere lega di alluminio UNI 5076 o acciaio INOX AISI 304 o 316L. L'alimentazione al corpo illuminante deve avvenire attraverso presa CEE 2P+T da 16 A.
La cassetta deve essere certificata, da ente certificatore accreditato, per garantire la funzionalità per almeno 90 minuti a 850°C secondo norma EN 50362.

4.2.2.1.2.2 Illuminazione di sicurezza

L'illuminazione di sicurezza deve consentire la messa in sicurezza degli utenti attraverso le vie di fuga, ovvero l'individuazione da parte degli utenti e degli addetti al soccorso delle dotazioni per la sicurezza antincendio e le stazioni di emergenza.

L'illuminazione di sicurezza deve essere in grado di assicurare:

- l'indicazione chiara e non ambigua delle vie di fuga, garantita anche dalla guida fisica e luminosa del corpo illuminante,
- l'illuminazione delle vie di fuga,

- individuazione delle dotazioni di sicurezza a servizio degli utenti

All'interno della galleria deve essere previsto, su entrambi i lati, una illuminazione tale da garantire un livello di illuminamento minimo su un piano orizzontale ad 1 m di altezza dal piano di calpestio pari a:

- 5 lux in corrispondenza degli accessi alle vie di fuga,
- 2 lux nei rimanenti tratti delle vie di esodo.

I corpi illuminanti devono essere caratterizzati da resistenza al fuoco classe V0.
Le lampade dell'impianto dovranno preferibilmente essere del tipo a led e dovranno essere tenute accese in maniera permanente. I LED sono stati scelti per le migliori prestazioni in termini di durata e manutenzione in confronto alla tecnologia tradizionale.
Per l'illuminazione delle vie di esodo possono essere adottati corpi illuminanti tubolari, con un grado di protezione IP65, con resistenza di strappo di almeno 150 Kg, posti a 90 centimetri dal piano di calpestio, in grado di trasportare la luce emessa da fonti luminose puntiformi a LED e con emissione della luce perpendicolare al piano di calpestio per evitare qualsiasi interferenza con gli automobilisti.
L'impianto, essendo sostenuto dal sistema elettrico di emergenza, dovrà essere alimentato da un gruppo di continuità assoluta (UPS) con autonomia non inferiore a 30 minuti.
Il sistema dovrà essere realizzato in modo tale che un guasto ad un componente (es. corto circuito, urto veicolo, fusione per incendio, ecc.) non pregiudichi il corretto funzionamento degli altri componenti non coinvolti.
Il quadro di alimentazione dovrà trovare una adeguata collocazione nella nicchia di emergenza.
I cavi di alimentazione dovranno essere di tipo LSOH e resistenti al fuoco secondo la norma EN 50200.
Il valore di alimentazione delle lampade non deve essere superiore a 50 Vcc.
Il sistema deve avere un Grado di protezione IP 66 secondo CEI EN 60529 grado di resistenza agli urti IK10.
Nei percorsi di esodo esterni alla galleria (es. cunicoli, by-pass, ecc.) valgono gli stessi valori di illuminamento interni alla galleria e le stesse caratteristiche di alimentazione elettrica.

4.2.2.2 Ventilazione

I parametri strutturali e di traffico rilevanti nella scelta della tipologia e nel dimensionamento del sottosistema di ventilazione sono:

- lunghezza di ogni singola canna della galleria,
- area della sezione trasversale,
- andamento altimetrico della galleria,
- volume di traffico equivalente,
- frequenza di regime di traffico congestionato,
- condizioni meteo-climatiche prevalenti sul sito.

La scelta ed il dimensionamento del sottosistema ventilazione deve prendere in considerazione le statistiche degli eventi incidentali possibili causa di eventi di incendio e di sversamento di sostanze tossiche, nocive ed infiammabili.
Il sottosistema ventilazione deve essere realizzato secondo le regole di buona pratica attuali e deve concorrere, per la quota parte di sua competenza, a garantire il livello di sicurezza fissato

dall'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica, quando prevista, per il sistema galleria.
La progettazione del sottosistema ventilazione delle gallerie deve portare alla definizione di una configurazione impiantistica ottimale in grado di garantire:

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

4.2.2.2.1 Ventilazione sanitaria
Il sottosistema ventilazione è preposto a:

- diluire gli inquinanti emessi dagli autoveicoli in ogni regime di traffico,
- diluire gli inquinanti emessi dagli autoveicoli in caso di arresto del traffico conseguente all'accadimento di un incidente non rilevante.

Esso deve mantenere la concentrazione degli inquinanti all'interno della struttura a livelli tali da non compromettere la visibilità e contenere la dose di inquinanti assunta dagli utenti.

La diluizione degli inquinanti da parte dell'impianto di ventilazione dovrà essere effettuata sulla base delle stime più recenti delle emissioni dei veicoli e delle normative europee vigenti.
La ventilazione sanitaria deve essere dimensionata sulla base dei volumi di traffico e delle emissioni dei veicoli stimati per i primi 20 anni di esercizio.
La determinazione delle condizioni meteoclimatiche ai portali per le quali attuare la chiusura al traffico della galleria devono essere determinate mediante l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.
Opportuni provvedimenti devono essere adottati affinché nelle gallerie a doppio fornice in non si abbiano fenomeni di ricircolo degli inquinanti tra le due canne.

4.2.2.2.2 Ventilazione di emergenza
Il sottosistema ventilazione è preposto a:

- disperdere l'energia termica generata dal focolaio di incendio,
- gestire e controllare il moto dei fumi,
- diluire le sostanze tossiche ed infiammabili,

Esso deve garantire l'esodo in sicurezza degli utenti e facilitare le operazioni di soccorso e di spegnimento nonché prevenire la formazione di miscele esplosive nel corso di un evento di sversamento.

Il sottosistema ventilazione influenza altresì la dinamica del focolaio e condiziona il processo di esodo degli utenti.
Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione per condizioni di emergenza deve essere effettuato preliminarmente almeno in conformità ai dettami dell'analisi di scenario considerando l'influenza dei parametri di sicurezza in particolare il profilo longitudinale e le condizioni meteoclimatiche ai portali che determinano la ventilazione naturale.

Il progettista deve analizzare un numero ridotto di scenari incidentali possibili per i quali stimare il numero di utenti salvabili.
Opportuni provvedimenti devono essere adottati affinché nelle gallerie a doppio fornice in caso di incendio non si abbiano fenomeni di ricircolo dei fumi dalla canna incidentata alla canna integra.

4.2.2.2.3 Scelta del sistema di ventilazione

In tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m e con un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia deve essere installato un impianto di ventilazione meccanica.
La verifica della necessità di installazione di un impianto di ventilazione meccanica deve essere estesa a gallerie di lunghezza inferiore ai 1000 m quando i parametri strutturali e di traffico che influenzano la sicurezza del sistema galleria risultino anomali.
Esempi di anomalia nei valori sono: la sezione trasversale è inferiore a 45 m^2 per gallerie a 2 corsie di marcia ed a 65 m^2 per gallerie a 3 corsie di marcia, la pendenza supera il 3%, il volume di traffico previsto è superiore a 10000 v/giorno, regimi di traffico congestionato si verificano per almeno 5 giorni in una settimana per un tempo pari ad almeno 30 minuti consecutivi.
La successiva tabella fornisce un'indicazione confortata dalla buona pratica progettuale attuale alla scelta dei sistemi di ventilazione da installare in una galleria.

Sistemi di ventilazione raccomandati per le gallerie stradali

Aree di applicazione dei sistemi di ventilazione	Lunghezza della galleria [km]	
	Gallerie a doppio senso di marcia (una canna)	Gallerie a senso unico di marcia (due canne)
Ventilazione naturale (con sistemi di allarme per la concentrazione di CO)	≤ 0.5	≤ 1.0
Ventilazione longitudinale con jet-fans Ventilazione longitudinale con jet-fans ed estrazione dei fumi	≤ 2.0 ≤4.0	≤ 4.0 ≤ 6.0
Ventilazione semi-trasversale reversibile Ventilazione mista semi-trasversale e trasversale	≥ 1.0 ≥ 1.0	≥ 2.0
Ventilazione trasversale	≥ 2.0	≥ 6.0

La scelta della tipologia del sistema di ventilazione trasversale o semi-trasversale oltre che essere basata sulle caratteristiche geometriche ed architettoniche e sulle caratteristiche del traffico deve essere suffragata dai risultati forniti dalla metodologia di analisi di rischio probabilistica, quando prevista.
Nelle gallerie con traffico bidirezionale e/o unidirezionale congestionato, la ventilazione longitudinale è consentita solo se i risultati forniti dall'applicazione dell'analisi del rischio probabilistica indicano che essa è accettabile e/o sono adottate misure compensative specifiche, quali un'adeguata gestione del traffico, idonee distanze tra le uscite di emergenza, postazioni intermedie di estrazione dei fumi, sistemi di mitigazione.
Le condizioni di traffico congestionato per le quali l'adozione di un sistema di ventilazione di tipo longitudinale è condizionata ai risultati dell'applicazione della metodologia di analisi di rischio

probabilistica sono definite dall'insorgenza di regimi di traffico congestionato per 2 giorni alla settimana per un tempo pari ad almeno 30 minuti consecutivi su base annuale e stagionale.

4.2.2.2.4 Gallerie monodirezionali

Per gallerie a doppia canna e traffico monodirezionale, può essere utilizzato un sistema di ventilazione longitudinale fino a lunghezze pari a 4000 m.
La lunghezza può essere aumentata fino a 6000 m quando il progetto preveda l'adozione di opportune misure compensative suffragate da un'adeguata analisi di scenario.
Per gallerie di lunghezza superiore a 6000 m deve essere valutata, applicando in ogni caso la metodologia dell'analisi di rischio, l'adozione di un sistema di tipo longitudinale integrato da idonee misure compensative in luogo della realizzazione di un sistema di ventilazione semitrasversale, trasversale, ibrido.
Il sistema di ventilazione deve essere in grado di limitare il fenomeno di Back-Layering dei fumi inteso come fenomeno di propagazione dei fumi sopravento al focolaio.

4.2.2.2.5 Gallerie bidirezionali

Per gallerie a canna singola e traffico bidirezionale può essere utilizzato un sistema di ventilazione longitudinale fino a lunghezze pari a 1500 m allorché l'analisi di scenario fornisca risultati compatibili con i vincoli ambientali ed i vincoli di sicurezza.
Per gallerie di lunghezza superiore a 1500 m deve essere valutata, applicando caso per caso la metodologia dell'analisi di rischio probabilistica, l'adozione di un sistema di tipo longitudinale integrato da idonee misure compensative in luogo della realizzazione di un sistema di ventilazione semitrasversale, trasversale, ibrido.
Nelle gallerie di lunghezza superiore a 3000 m con traffico bidirezionale, un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia, un centro di controllo e ventilazione trasversale e/o semitrasversale, devono essere adottate le seguenti misure minime per quanto concerne la ventilazione:

- installazione di dispositivi di estrazione dell'aria e dei fumi azionabili separatamente o a gruppi;
- controllo costante della velocità longitudinale dell'aria e conseguente regolazione del processo di controllo dell'impianto di ventilazione (estrattori, ventilatori, ecc.).

La velocità longitudinale può considerarsi controllata quando essa oscilli tra -1 m/s e 1 m/s in una zona di lunghezza fissata situata a cavallo del focolaio.
Il sistema di ventilazione deve conservare la stratificazione di fumi generati da un evento di incendio rappresentativo degli eventi critici possibili in una galleria stradale per un tempo sufficiente a garantire il processo di esodo degli utenti verso la prima uscita di emergenza disponibile.
Il sistema di ventilazione deve essere in grado di invertire il verso del flusso d'aria in ogni posizione della galleria in un tempo compatibile con la dinamica dell'evento di incendio e la salvabilità degli utenti.

4.2.2.2.5.1 Ventilazione delle vie di fuga e dei luoghi sicuri

La sovrapressione, a porte chiuse, necessaria alla pressurizzazione dei locali non deve essere inferiore a 30 Pa e non superiore ad 80 Pa.

La pressurizzazione si può realizzare mediante:

- immissione di aria esterna attuata da un impianto dedicato,
- immissione di aria esterna realizzata dall'impianto di ventilazione della galleria,
- prelievo di aria dalla canna non incidentata.

Qualora gli impianti prevedano l'adozione di serrande di taratura esse devono essere dotate di dispositivi tagliafuoco per impedire l'afflusso dei fumi dalla canna incidentata.
Durante la fase di evacuazione al fine di non consentire l'ingresso di fumi generati da un evento di incendio all'interno di un vano o locale messo in comunicazione con una zona invasa dai fumi attraverso una porta aperta risulta necessario garantire una velocità del flusso d'aria in uscita dall'ambiente da proteggere non inferiore a 0,75 m/s.
Durante la fase di spegnimento, al fine di consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della canna incidentata, si deve sovradimensionare l'impianto di ventilazione in modo da realizzare l'effetto bolla. L'impianto di ventilazione deve garantire una velocità minima del flusso d'aria nella direzione della canna incidentata pari a 2 m/s. La realizzazione di detta modalità di intervento richiede l'installazione di una pulsantiera che consenta alle sole squadre di soccorso di modificare il regime di funzionamento dei ventilatori in modo che essi garantiscano la velocità di progetto.

4.2.2.2.5.2 Ventilazione delle vie di fuga protette

L'impianto di ventilazione deve mantenere la via di fuga libera dai fumi ed in sovrapressione rispetto alla galleria.
In caso di incendio, il sistema di ventilazione deve consentire:

- a porte chiuse, l'immissione di aria pura nell'ambiente al fine di assicurare il mantenimento dell'ambiente in sovrapressione rispetto alla galleria interessata dal traffico;
- a porte aperte, la limitazione dell'afflusso dei fumi all'interno dell'ambiente.

L'impianto di ventilazione deve garantire a porte chiuse una sovrapressione non inferiore a 30 Pa e non superiore a 80 Pa.
La forza applicata per l'apertura della porta non deve superare 220 N.
Nel caso di collegamenti pedonali l'impianto di ventilazione può prelevare l'aria dalla canna non incidentata ovvero da un condotto di ventilazione dedicato.

4.2.2.2.5.3 Ventilazione dei luoghi sicuri temporanei

L'impianto di ventilazione deve essere del tipo ad aria esterna ovvero dotato di impianto di filtrazione solo quando il luogo sicuro temporaneo sia realizzato all'interno dei collegamenti pedonali e l'aria sia prelevata dalla canna non interessata dall'evento incidentale.
L'impianto di ventilazione deve mantenere la via di fuga libera dai fumi, in sovrapressione rispetto alla galleria e garantire un livello accettabile di qualità dell'aria agli utenti.
In caso di incendio, il sistema di ventilazione deve consentire:

- a porte chiuse, l'immissione di aria pura all'interno del luogo sicuro, al fine di assicurare il mantenimento in sovrapressione rispetto alla galleria interessata dal traffico e di garantire un livello accettabile di qualità dell'aria all'interno del luogo sicuro;
- a porte aperte, la limitazione dell'afflusso dei fumi all'interno della zona filtro.

L'impianto di ventilazione deve garantire a porte chiuse una sovrapressione non inferiore a 30 Pa e non superiore a 80 Pa.
La forza applicata per l'apertura della porta non deve superare 220 N.
L'impianto di ventilazione deve garantire una portata d'aria non inferiore a 20 m^3/h per persona.
Un valore ottimale della portata d'aria risulta essere pari a 50 m^3/h per persona.

4.2.2.2.6 Alimentazione del sistema di ventilazione
I cavi di alimentazione dell'impianto elettrico devono essere collocati per quanto possibile in sede protetta. Nelle gallerie ove non sia possibile il posizionamento sotto il marciapiede, dietro il profilo redirettivo od all'interno del rivestimento, i cavi devono essere alloggiati in apposite canaline realizzate in acciaio inox di caratteristica AISI almeno 304L.
I cavi devono essere conformi alle norme CEI non propaganti l'incendio, a bassissima emissione di gas tossici nocivi e corrosivi, e del tipo resistente al fuoco secondo le norme CEI.
Ogni ventilatore in galleria dovrà essere alimentato mediante un circuito esclusivo direttamente dalla cabina elettrica di alimentazione.

Prese con interruttore di blocco e spine per elettroventilatori da galleria
I ventilatori presenti in galleria devono essere alimentati mediante prese con interruttore di blocco e spine tali da assicurare la continuità elettrica a 400°C per 90 minuti.
La prese devono avere una tensione nominale 690V da 3P+T.
La categoria di utilizzo a 690V è AC23A – AC3.
La messa a terra deve essere assicurata con morsetto sia interno che esterno all'involucro della presa, elettricamente connesso.
La presa deve essere dotata di interblocco meccanico.
Il grado di protezione deve essere non inferiore a IP65 secondo la Norma CEI EN60529 grado di resistenza agli urti IK10.
La cassetta deve essere certificata, da ente certificatore accreditato, per garantire la funzionalità per almeno 90 minuti a 400 °C.
I ventilatori devono essere collegati ad alimentazione elettrica di emergenza.
Il sistema di comando e controllo del sottosistema ventilazione deve essere collegato all'alimentazione elettrica di sicurezza.
Qualora il progetto preveda l'alimentazione parziale del sistema di ventilazione attraverso l'impianto elettrico di emergenza si deve subordinare l'accettazione della soluzione all'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.

4.2.2.3 Stazioni di emergenza

Le stazioni di emergenza sono progettate per mettere a disposizione diversi strumenti di sicurezza, in particolare telefoni di emergenza ed estintori, ma non per proteggere gli utenti dagli effetti di un evento di incendio.
Le stazioni di emergenza possono essere costituite da un armadio ovvero, preferibilmente, da una nicchia realizzata nel piedritto.

Nelle gallerie a traffico monodirezionale gli armadietti di emergenza devono essere posizionati sul lato destro della carreggiata.
Nelle gallerie a traffico bidirezionale gli armadietti di emergenza devono essere posizionati su entrambi i lati della carreggiata secondo un distribuzione del tipo a quinconce mantenendo la stessa interdistanza per lato.
La rottura di un vetro, l'apertura di uno sportello per il prelievo degli estintori deve attivare un allarme locale ottico ed acustico temporizzato.
Il segnale di apertura deve essere inviato al centro di controllo quando previsto.
Un armadietto di emergenza andrà posto all'interno di tutte le zone filtro per l'accesso alle vie di fuga protette ed all'interno dei luoghi sicuri temporanei.
Il sistema di allarme in dotazione agli armadietti di emergenza deve essere collegato ad alimentazione elettrica di sicurezza.
Per gallerie di lunghezza superiore a 500 metri devono essere previsti ai portali e ad interdistanza di 150 m, armadietti di emergenza, opportunamente segnalati con segnale luminoso mostrato in figura II 178 Art.125 e figura II 305 Art. 135 del D.P.R. 495/92 e segnale di postazione idrante come da fig. UNI 7546/8 (riferimento figura 6 dell'Allegato I al presente documento).
Gli armadietti, posti preferibilmente in nicchia, devono contenere:

- pulsante di allarme;
- una postazione idrante;
- due estintori a polvere ed a schiumogeno;
- un telefono S.O.S.

Il segnale di apertura dell'armadietto deve essere inviato al centro remoto. Quando viene azionato il pulsante di allarme, viene comunicata all'operatore del centro remoto una situazione di emergenza. L'operatore, oltre a dialogare con l'utente, potrà seguire delle procedure di emergenza e attivare i relativi sistemi presenti in galleria (PMV, TVCC, Ventilazione, segnaletica, messaggistica, ecc.)
Le iscrizioni esplicative accanto ai suddetti pulsanti dovranno essere scritte in quattro lingue: italiano, inglese, francese e tedesco.
Gli armadietti di sicurezza sono posizionati come mostrato nelle figure 2 e 3 riportate nell'Allegato I:

- all'interno delle piazzole di sosta,
- in corrispondenza dei collegamenti pedonali,
- in corrispondenza degli accessi diretti verso l'esterno, accessi a cunicoli di sicurezza, accessi a gallerie di emergenza per gallerie di lunghezza superiore a 1000 m.

4.2.2.4 Erogazione idrica

L'erogazione idrica in galleria deve provvedere all'alimentazione dell'impianto idrico antincendio.
Il sistema di alimentazione idrica deve essere in grado di garantire la continuità di erogazione idrica per almeno due ore.

4.2.2.4.1 Impianto idrico antincendio

Le gallerie di lunghezza superiore a 500 m devono essere dotate di un impianto idrico antincendio.
Per le gallerie di lunghezza inferiore a 2000 m se l'erogazione idrica non è disponibile è obbligatorio verificare che sia assicurato in altro modo un approvvigionamento idrico sufficiente.

L'impianto idrico antincendio è costituito da una condotta fissa di adduzione dell'acqua per tutta la lunghezza della galleria in grado di garantire una portata minima di 1200 litri/min. ed una pressione minima pari a 0,5 MPa con idranti posti a interdistanza pari a 150 m.
L'impianto idrico antincendio deve essere in grado di garantire valori di portata uniformi tra i differenti idranti e comunque non inferiori a 300 l/min con pressione di rete pari a 0,5 Mpa.
L'impianto idrico antincendio installato deve essere dotato di:

- idranti con attacco UNI-70 con relativo corredo di lancia e manichetta all'esterno delle gallerie,
- idranti con attacco UNI-45 collocati in idonee cassette con relativo corredo di lancia e manichetta all'interno delle gallerie di esercizio;
- attacchi di mandata per motopompa UNI 70 agli imbocchi delle gallerie di esercizio (UNI 9490).

Nelle gallerie a traffico monodirezionale gli idranti devono essere posizionati negli appositi armadietti di emergenza sul lato destro della carreggiata.
Nelle gallerie a traffico bidirezionale gli idranti devono essere posizionati su entrambi i lati a quinconce mantenendo la stessa interdistanza per lato.
La rete idrica di distribuzione dell'acqua antincendio deve essere ad anello ed è alimentata da una o più stazioni di pompaggio dotate di:

- gruppo di pompaggio UNI9490
- serbatoio di riserva .

I collettori dell'acqua antincendio non devono essere esposti direttamente al fuoco dovendo garantire il servizio per un tempo non inferiore alle due ore nel corso delle operazioni di spegnimento.
I collettori dell'acqua antincendio devono essere protetti dal gelo, da possibili urti meccanici, dalla corrosione e consentire le dilatazioni termiche.
Ogni pompa antincendio dovrà essere alimentata con propria linea esclusiva, derivata a monte dell'interruttore generale BT dell'impianto elettrico, in modo che l'energia elettrica sia disponibile anche in caso di condizione di aperto di tutti gli interruttori dell'impianto.
Le linee di alimentazione devono essere protette contro i cortocircuiti ed i contatti indiretti, ma non contro il sovraccarico, a favore della continuità e sicurezza di esercizio.
L'impianto deve essere alimentato dalla normale rete di distribuzione di energia elettrica e da una fonte di energia elettrica di emergenza.

4.2.2.5 Sistemi di mitigazione

Le seguenti note sui sistemi di mitigazione sono introdotte in quanto in accordo alla Direttiva 2004/54/CE il livello di sicurezza del sistema galleria può essere modificato introducendo sistemi di sicurezza innovativi compatibili con l'evoluzione della buona pratica.
I sistemi attualmente utilizzabili in galleria sono del tipo a diluvio e possono essere classificati in:

- sistemi ad acqua frazionata,
- sistemi ad acqua nebulizzata,
- sistemi a schiuma.

L'adozione di sistemi di mitigazione come misura compensativa od integrativa deve essere giustificata attraverso l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica e compatibile con l'analisi costi-sicurezza.
Le prestazioni del sistema di mitigazione devono essere determinate e risultare compatibili con i risultati dell'analisi di scenario.

4.2.2.6 Centro di controllo

Un centro di controllo deve essere realizzato per tutte le gallerie di lunghezza superiore a 3000 m e con un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia.
La sorveglianza di diverse gallerie può essere accentrata in un unico centro di controllo.
All'esterno di ogni galleria deve essere realizzata una postazione di comando e controllo locale normalmente non presidiata.
Il centro di controllo deve essere realizzato secondo principi ergonomici per l'interfaccia uomo macchina ed essere dotato di una rete informatica che fa capo ad una sala di elaborazione dati preposta al controllo e alla gestione automatica delle procedure in situazioni di esercizio ed in situazioni di emergenza.
Il centro controllo è delegato, in condizioni di esercizio, a seguire il controllo di routine sull'operatività normale delle gallerie e dei sistemi connessi.
Gli operatori del centro di controllo devono essere addestrati tramite corsi di simulazione interattiva e mantenuti in addestramento esecutivo tramite esercitazioni di emergenza che coinvolgano più amministrazioni pubbliche per ottimizzare il coordinamento e le procedure d'intervento.
Le emergenze sono classificate in funzione della loro gravità ed opportuni manuali d'intervento operativo riportanti le procedure da attuare sono in dotazione della sala e dei suoi operatori.
Le simulazioni interattive sono utilizzate per l'addestramento continuo degli operatori ad emergenze non previste nei manuali operativi, al fine di conservare la necessaria flessibilità d'intervento agli operatori del centro di controllo.

4.2.2.7 Sistema di gestione e controllo

Il sistema di gestione e controllo deve prevedere un centro di comando e controllo di competenza compartimentale normalmente presidiato.
Il sistema di gestione e controllo deve essere realizzato in modo da garantire una futura supervisione centralizzata nazionale.
Il sistema di gestione della galleria deve permettere, localmente e in remoto, il comando e controllo degli impianti della galleria e l'autodiagnosi degli stessi. In fig. 9 Viene indicata una tipica architettura di sistema.
Il sistema di controllo deve essere strutturato in modo da mantenere le funzioni vitali delle unità elementari degli impianti cosicché un'interruzione del sistema stesso non pregiudichi in alcun modo l'intervento di base dei sistemi di sicurezza.
La funzionalità del sistema di gestione e controllo da installare deve essere suffragata dai risultati forniti dall'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.
Le informazioni raccolte dai sensori, vengono processate da sistemi che in accordo ad algoritmi, allertano il personale di controllo e dispone una procedura di reazione alla variazione delle condizioni di esercizio; sia per le condizioni di normale esercizio, sia in caso di eventi incidentali.
Il sistema di controllo e gestione di una galleria deve:

- attuare procedure di risparmio energetico in condizioni di esercizio;
- monitorare i flussi di traffico;

- mantenere la struttura in efficienza al fine di gestire al meglio l'esercizio;
- comunicare segnalazioni agli utenti;
- mobilitare le unità di emergenza per risolvere gli eventi incidentali all'interno della galleria;
- dare inizio alle operazioni appropriate di emergenza quando necessario;
- monitorare di continuo l'equipaggiamento di sicurezza della struttura in modo da conservarlo sempre operativo;
- gestire la manutenzione degli impianti di sicurezza;
- indicare con precisione e tempestività la zona dell'incidente e del potenziale conseguente incendio;
- indicare con precisione e tempestività le concentrazioni di gas nocivi;
- indicare con precisione e tempestività le condizioni di visibilità all'interno del tunnel;
- attivare quando necessario il piano di soccorso e/o di evacuazione,
- archiviare all'interno di una base dati i valori misurati dai sensori, gli allarmi avvenuti, le azioni intraprese.

Il sistema di controllo e gestione della galleria, inoltre, deve essere in grado di:

- gestire il funzionamento del sistema di ventilazione in condizioni di esercizio al fine di garantire la qualità dell'aria all'interno della galleria;
- gestire il funzionamento del sistema di ventilazione in condizioni di emergenza al fine di garantire l'autosalvamento degli utenti;
- gestire il funzionamento del sistema di ventilazione delle vie dei fuga e dei luoghi sicuri in condizioni di esercizio ed in condizioni di emergenza;
- gestire gli allarmi provenienti dal sistema di rilevamento incidenti e/o incendi;
- gestire il funzionamento dell'impianto idrico antincendio ed eventuali altri sistemi;
- gestire le variazioni di esercizio e le segnalazioni a messaggio variabile all'interno ed all'esterno della galleria;
- gestire l'impianto di comunicazione audio dotato anche di messaggi pre-registrati;
- gestire l'impianto di illuminazione in condizioni di esercizio e di emergenza;
- gestire l'impianto di alimentazione elettrica in condizioni di esercizio ed in condizioni di emergenza;
- gestire le procedure di manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi di sicurezza;
- gestire gli allarmi derivanti da malfunzionamento dei vari sistemi;
- fornire un interfaccia di comunicazione locale e remota con gli addetti alla sicurezza.

Il sistema di gestione della galleria deve prevedere la ridondanza dell'hardware di gestione di cui almeno una parte deve essere in grado di realizzare procedure minime di emergenza.
I requisiti minimi ai quali un programma di gestione della sicurezza in galleria deve soddisfare sono:

- affidabilità in condizioni di esercizio;
- affidabilità in condizioni di emergenza;
- affidabilità in gestione remota;
- sicurezza intrinseca;
- gestione separata ed interoperabilità dei sistemi sicurezza,
- priorità all'utilizzatore,
- ridondanza;

- modularità;
- funzionalità off-line;
- compatibilità con le tecnologie di automazione ed informatiche maggiormente diffuse;
- standard riconosciuti per i protocolli di comunicazione,
- open source per i formati dei files e dei dati necessari alle funzionalità specifiche del programma di gestione,
- open source per le procedure base di sicurezza.

Il programma di gestione, in caso di rottura di un componente o di mancata attivazione di una procedura deve essere in grado di commutare ad una condizione nota di emergenza.
Il programma deve essere strutturato in modo tale da consentire la gestione del sistema galleria in sicurezza quando soggetto ad operazioni di aggiornamento e riconfigurazione.

4.2.2.8 Sottosistema di sorveglianza e rilevazione – Sottosistema monitoraggio e rilevazione

L'installazione di un impianto di sorveglianza mediante telecamere per ogni senso di marcia deve essere valutata caso per caso.
Un impianto di sorveglianza deve essere previsto quando la lunghezza della galleria è maggiore di 3000 m ovvero per tutte le gallerie dotate di un centro di controllo presidiato.
L'impianto di sorveglianza deve essere connesso con una sala di controllo presidiata.
Le telecamere devono essere installate in modo da consentire:

- il controllo della situazione del traffico all'interno della galleria,
- il controllo delle piazzole di sosta/emergenza e degli armadietti SOS.

L'installazione di un impianto di rilevazione automatico degli incidenti stradali ovvero dell'instaurazione di condizioni di traffico anomale deve essere valutata caso per caso.
Un impianto di rilevazione automatico degli incidenti stradali deve essere previsto quando la lunghezza della galleria è maggiore di 3000 m ovvero per tutte le gallerie dotate di un centro di controllo.
Gli impianti del sottosistema di sorveglianza e rilevazione devono essere interfacciati tramite il sistema di controllo e gestione della galleria con gli altri sistemi di sicurezza in essa installati.
Gli impianti del sottosistema di sorveglianza e rilevazione devono essere collegati alla alimentazione elettrica di sicurezza.

4.2.2.9 Rilevazione incendio

L'installazione di un impianto di rilevazione automatica degli incendi deve essere valutata caso per caso e comunque prevista in presenza di un sistema di ventilazione meccanica.
Un impianto di rilevazione automatica degli incendi deve essere previsto quando la lunghezza della galleria è maggiore di 3000 m ovvero per tutte le gallerie dotate di un centro di controllo.
I dispositivi e gli impianti attualmente utilizzati per la rilevazione degli incendi in galleria sono:

- opacimetri;
- sensori di concentrazione di anidride carbonica e monossido di carbonio;
- rilevatori lineari di temperatura;
- sistemi di rilevazione fumi mediante digitalizzazione delle immagini.

Nelle gallerie dotate di impianto di ventilazione meccanica i dispositivi e gli impianti di rilevazione degli incendi devono consentire la localizzazione del focolaio.
La buona pratica corrente richiede siano assicurati tempi di rilevazione certa dell'evento di incendio non superiori a 3 minuti a partire dall'arresto del veicolo incidentato.
Qualora i sistemi di rilevazione incendio siano installati in strutture che consentono il transito di merci pericolose la determinazione delle prestazioni deve essere effettuata attraverso l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica.

4.2.2.10 Semafori, PMV, Segnaletica di emergenza

Agli imbocchi di tutte le gallerie di lunghezza superiore a 500 m, devono essere installati semafori che consentano la chiusura della galleria in situazioni di emergenza e , a distanza di 150 metri prima degli imbocchi, dovranno essere previsti pannelli a messaggio variabile costituiti da una indicazione alfanumerica e da un pittogramma di tipo full color.
Nelle gallerie di lunghezza superiore a 1000 metri i semafori e il sistema PMV andranno ripetuti ogni 300 metri all'interno della galleria; in questo caso si dovranno adottare le lanterne semaforiche a messaggio variabile (croce rossa, freccia verde) poste sopra le corsie di marcia come da fig. II 458 Art. 164 del D.P.R. 495/92.
Nell'allegato I figurano i segnali e i pannelli da usare nelle gallerie.
Le gallerie devono essere precedute, in corrispondenza dell'imbocco, dal segnale "galleria" di cui all'art. 135 ed alla figura II 316 del D.P.R. 495/92, con pannello integrativo indicante la denominazione e la lunghezza della galleria, secondo l'art. 83 Modello II 2 del suddetto D.P.R.
Nel pannello indicante la denominazione deve comparire il logo dell'ANAS come riportato in figura 4 dell'allegato I al presente documento.
Ogni galleria deve essere preceduta da un segnale di pericolo (Figura II 35 Art.103 del D.P.R. 495/92) posto 150 m prima dell'imbocco (e comunque ad una distanza dall'imbocco non inferiore alla distanza di arresto del veicolo), recante l'iscrizione "galleria" secondo il Modello II 6.
Le piazzole di sosta devono essere segnalate 250 m prima con il segnale luminoso mostrato in figura 5 dell'allegato I al presente documento. Il segnale suddetto deve essere ripetuto in corrispondenza della piazzola di sosta.
A 150 m dal portale di uscita deve essere posto, all'interno della galleria e qualora ritenuto necessario, il cartello in fig. II 22 Art. 93, con gli eventuali pannelli aggiuntivi secondo il Modello II 6/h Art.83 od il Modello II 6/i Art.83.
Per le gallerie stradali di lunghezza superiore a 2000 m deve essere imposta una distanza minima di sicurezza tra veicoli pari a 100 m durante la marcia con apposito segnale di cui all'art. 116 ed alla figura II 49 del D.P.R. 495/92, da ripetere opportunamente lungo la galleria.
Il semaforo all'imbocco della galleria deve essere preceduto dal cartello di preavviso semaforico come da Figura II 31/a Art. 99, abbinato al già citato segnale di pericolo generico – galleria (Figura II 35 Art.103 del D.P.R. 495/92).
Tutta la segnaletica luminosa presente in galleria deve essere alimentata dall'impianto elettrico di sicurezza.
Il progetto complessivo della segnaletica deve comunque considerare con attenzione le singole ubicazioni ed i raggruppamenti di segnali per evitare l'affollamento od il disordine della segnaletica stessa.
La segnaletica verticale di emergenza (piazzole, S.O.S., estintori, idranti, uscite di emergenza) deve essere di tipo luminoso, di classe minima L2 così come descritta dal norma 12899-1 e rivestita da un film rifrangente microprismatico in grado di assicurare la visibilità del segnale anche in caso di assenza di energia elettrica; la rimanente segnaletica deve essere almeno ricoperta di pellicola ad

elevatissima rifrangenza microprismatica, secondo la definizione della norma UNI 11122 (Luglio 2004) realtiva alle "Caratteristiche prestazionali dei materiali per segnaletica verticale con tecnologia a microprismi".
La segnaletica verticale di emergenza (piazzole, S.O.S., estintori, idranti, uscite di emergenza) deve essere di tipo luminoso; la rimanente segnaletica deve essere almeno ricoperta di pellicola ad alta rifrangenza.
Ogni 75 m, alternativamente sui due piedritti della galleria, deve essere posto il segnale luminoso di fig. 2 in modo da indicare le vie di fuga più vicine e la relativa distanza.
Le uscite di sicurezza devono essere indicate da un segnale certificato, facilmente visibile da tutte le direzioni di accesso all'uscita con la sola eccezione di una porta di accesso principale chiaramente identificabile come accesso ad un luogo sicuro.
In corrispondenza di ciascun accesso di via di fuga o luogo sicuro deve essere installato a bandiera il segnale luminoso mostrato in figura 7 dell'allegato I al presente documento .
In prossimità dei cartelli non devono esserci oggetti o rivestimenti di colori e forme contrastanti che potrebbero non consentire l'identificazione corretta della segnalazione.
I segnali devono recare caratteri di dimensioni e tipologia facilmente individuabili.
*La segnaletica orizzontale deve essere tale da assicurare la massima visibilità in qualsiasi condizione di traffico e la massima durata al fine di minimizzare gli interventi manutentivi; dovrà prevedersi l'utilizzo di preformati elastoplastici in grado di rispondere da nuovo alla classe R5 della norma UNI EN 1436 (≥ 300 mcd/lux*mq) e in uso ad almeno la classe R2 (≥ 100 mcd/lux*mq) per un periodo che dovrà essere valutato in funzione del reale volume di traffico e comunque mai inferiore ai 2 anni.*

4.2.2.11 Sistemi di comunicazione

In tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m e con un volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia devono essere installati impianti per ritrasmissioni radio ad uso dei servizi di pronto intervento.
In particolare deve essere previsto un impianto radio che consenta le comunicazioni agli operatori ANAS, alle forze dell'ordine, ai Vigili del Fuoco e ad altri operatori di soccorso e di intervento, nonché la ripetizione di alcune frequenze radio FM per trasmettere eventuali informazioni agli utenti in galleria.
Deve, inoltre, essere valutata l'opportunità tecnico-economica e di sicurezza di prevedere l'installazione di un sistema unico radiante multi-operatore che permetta l'estensione della copertura dei sistemi di telefonia mobile in galleria.
I luoghi sicuri temporanei in cui gli utenti della galleria in fase di evacuazione sono tenuti a stazionare prima di poter raggiungere l'esterno devono essere dotati di altoparlanti per comunicare informazioni agli utenti stessi.
Il sistema di comunicazione deve consentire:

- la comunicazione agli utenti istruzioni di comportamento attraverso messaggi pre-registrati,
- la comunicazione agli utenti dalla sala di controllo o da una postazione remota di informazioni aggiuntive.

Qualora i tempi di attesa previsti siano superiori a 30 min è necessario valutare la necessità di installazione di un impianto bidirezionale audio-video.

In caso di strutture esistenti aventi interdistanze elevate tra le vie di fuga deve essere valutata caso per caso la necessità di installare sistemi di guida sonora lungo la galleria al fine di agevolare il processo di esodo degli utenti.

4.2.2.11.1 Rete di comunicazione

La rete di comunicazione deve assicurare i seguenti servizi necessari alla gestione ed al monitoraggio dei sistemi di sicurezza:

- trasmissione dati per il monitoraggio ed il controllo dei sistemi di sicurezza (acquisizione dati dai sensori, pilotaggio remoto dei dispositivi);
- trasmissione dati multimediali (audio, video, alfanumerici) per assicurare le comunicazioni audio, video e mediante pannelli luminosi a messaggio variabile;
- scambio di dati con l'esterno, attraverso dorsali geografiche.

La rete di comunicazione deve consentire la continuità e l'efficienza dei servizi che assolvono funzioni di sicurezza sia in condizioni di esercizio che in condizioni di emergenza ed essere caratterizzata da un livello di affidabilità specifico.
Il dimensionamento della capacità della rete di trasporto dati, oltre a garantire le funzionalità per i servizi di sicurezza di base, deve considerare:

- ridondanze,
- funzionamento in condizioni degradate,
- possibili futuri ampliamenti,
- trasporto dati per servizi aggiuntivi (GSM, UMTS).

La realizzazione di una linea di collegamento ausiliaria deve prevedere la realizzazione di cavidotti fisicamente separati per la linea principale e la linea secondaria. Quando possibile è necessario prevedere una configurazione del tipo ad anello.
I protocolli di trasporto dati impiegati devono essere ottimizzati e compatibili al fine di consentire il trasferimento di dati in forma codificata e opportunamente compressa.
Nel caso in cui la rete geografica di collegamento possa essere realizzata utilizzando infrastrutture di collegamento in cavi a fibra ottica proprie o affittate, la tecnologia di trasporto dati da utilizzare deve essere scelta tra tecnologie che adottano standard attuali e diffusi quali ad esempio Ethernet, IP/MPLS-Multi Protocol Label Switching, SDH (Synchronous Digital Hierarchy), PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).
Qualora siano localmente già disponibili le reti di accesso broadband degli operatori di telecomunicazioni, la capacità necessaria di collegamento può essere direttamente fornita da questi ultimi, utilizzando uno standard di trasmissione tra quelli sopra citati o attraverso tecnologie di accesso a più bassa capacità.
In alternativa o complemento dei collegamenti geografici via cavo, è possibile realizzare un livello di trasporto via radio (ponti a microonde, sistemi wireless)
Qualora si adottino collegamenti geografici via radio, è necessario utilizzare frequenze di trasmissione che prevedano obbligo di licenza o autorizzazione, al fine di garantire la protezione da interferenze da parte di terzi.
In tutte le situazioni in cui non siano possibili altri tipi di copertura possono essere adottate soluzioni di collegamento bidirezionale via satellite.

Qualora la trasmissione radio sia utilizzata per il collegamento locale di parti della rete di comunicazione, deve essere verificata in modo specifico l'affidabilità sulla continuità del servizio e è necessario adottare idonee tecnologie di protezione che permettano di limitare le interferenze ed eventuali accessi da terzi non autorizzati.
I cavi per dati in fibra ottica devono essere posizionati, quando possibile, sotto il livello di calpestio del marciapiede o del piano stradale, protetti all'interno di tubazioni nel rispetto della normativa adottata da parte degli operatori di servizi pubblici di telecomunicazioni e nel rispetto del codice della strada. Ove non sia possibile il posizionamento sotterraneo, i cavi devono essere alloggiati in apposite canaline o passerelle realizzate in acciaio inox di caratteristica non inferiore ad AISI 304.
Tutti i cavi, indipendentemente dalle condizioni di posa, devono essere del tipo non propagante l'incendio e a bassa emissione di fumi, gas tossici e corrosivi (LSOH).

4.2.2.12 Alimentazione e circuiti elettrici

Lo schema tipico e non esaustivo dell'impianto di alimentazione elettrica da prevedere per le gallerie è mostrato in figura 8 dell'allegato I al presente documento.
In ogni caso, a prescindere dalla architettura suggerita dalla figura 8, il progetto dovrà sviluppare, tramite una relazione, gli aspetti tecnici - economici volti alla ottimizzazione del sistema elettrico. In particolare si dovranno assicurare i migliori risultati sotto il profilo del risparmio energetico e, alla luce delle diverse soluzioni contrattuali di fornitura degli enti distributori, determinare la soluzione tecnica più opportuna.
Tutte le gallerie di lunghezza maggiore di 500 metri devono disporre di un'alimentazione elettrica di emergenza (gruppo elettrogeno) per assicurare il funzionamento dei sistemi di emergenza per almeno 24 ore.
Tutte le gallerie di lunghezza maggiore di 500 metri devono essere dotate di un sistema di alimentazione elettrica di sicurezza (UPS) in grado di garantire la continuità del servizio per un intervallo di tempo fissato.
L'alimentazione elettrica di sicurezza (UPS), deve avere una autonomia non inferiore ad 1 h, quando non diversamente specificato per le singole parti di impianto che alimenta.

L'alimentazione di emergenza deve essere in grado di garantire il funzionamento dei seguenti impianti:

- impianto di alimentazione di sicurezza;
- impianto di ventilazione della galleria per la gestione dei fumi generati da un evento di incendio;
- impianto di ventilazione delle vie di fuga;
- impianto idrico antincendio ,
- impianto illuminazione diurna e notturna della galleria.

Qualora il progetto preveda l'alimentazione parziale del sistema di ventilazione attraverso l'impianto elettrico di emergenza si deve subordinare l'accettazione della soluzione ai risultati ottenuti applicando la metodologia di analisi di rischio probabilistica.

L'alimentazione di sicurezza deve essere in grado di garantire il funzionamento dei seguenti impianti:

- impianto di illuminazione di riserva e di sicurezza;
- impianto di illuminazione del centro di controllo e dei locali tecnici;

- la segnaletica in galleria e nei tratti in prossimità degli imbocchi;
- dispositivi di misura installati in galleria;
- impianto di sorveglianza;
- impianti di rilevazione incidenti ed incendio;
- sistema di gestione della galleria;
- impianti di comunicazione.

I cavi di alimentazione elettrica devono essere collocati per quanto possibile in sede protetta; ove non sia possibile il posizionamento sotto il marciapiedi, dietro il profilo redirettivo o all'interno del rivestimento, i cavi devono essere alloggiate in apposite canaline o passerelle di caratteristica AISI almeno 304L.
Tutti i cavi presenti in galleria, indipendentemente dalle condizioni di posa, dovranno essere del tipo non propagante l'incendio e senza alogeni "LSOH" (CEI 20-22, CEI 20-37, CEI 20-38) e con tensione nominale 0,6/1 kV.
I cavi che costituiscono i circuiti di emergenza e di sicurezza, fino al dispositivo che alimentano, devono essere rispondenti alla norma CEI 20-45 ed. 2° del 2003, ovvero del tipo non propaganti l'incendio, senza alogeni (LSOH), tensione nominale 0,6/1 kV e resistenti al fuoco secondo i metodi di prova stabiliti nelle norme CEI EN 50200 e CEI EN 50362.
L'architettura della distribuzione elettrica, compreso il numero delle cabine di trasformazione, deve essere progettata secondo criteri di natura tecnico-economica e buona pratica progettuale.
I circuiti elettrici di misura e di controllo devono essere progettati in modo che un guasto locale, dovuto ad esempio a un incendio, non coinvolga i circuiti non interessati.
L'affidabilità del sistema di alimentazione elettrica deve essere verificata mediante l'applicazione della metodologia di analisi di rischio probabilistica, quando necessaria.

4.2.2.13 Caratteristiche ignifughe degli impianti

Il livello delle caratteristiche ignifughe di tutti gli impianti della galleria deve tenere conto delle possibilità tecnologiche e mirare al mantenimento delle necessarie funzioni di sicurezza in caso di incendio.
L'analisi di scenario deve essere utilizzata per valutare le temperature massime ed i tempi minimi di funzionamento ammissibili per le dotazioni impiantistiche.
La successiva tabella riporta i dispositivi che devono garantire una determinata resistenza al fuoco o alle alte temperature.

	Temperatura [°C]	Tempo [min]
Acceleratori in volta	400	90
Ventilatori di estrazione	400	90
Serrande motorizzate di estrazione fumi	400	90
Supporti	400	90

Inoltre, i materiali di costruzione della segnaletica di emergenza, degli armadietti di emergenza, dei ventilatori installati in galleria, dei supporti, devono essere realizzati in acciaio inox con caratteristica non inferiore ad AISI 304L.

4.2.3 Componente prestazionale dello standard ANAS

La caratterizzazione prestazionale dei sistemi di sicurezza richiede siano introdotte le seguenti definizioni.

Efficienza di una barriera di sicurezza: l'efficienza è la capacità di una barriera di sicurezza tecnologica di svolgere una funzione di sicurezza per una durata assegnata, con prestazioni invariate, in condizioni specificate. L'efficienza può essere definita in termini percentuali o di una probabilità di effettuazione di una determinata funzione di sicurezza. Qualora l'efficienza sia espressa in termini percentuali, essa risulta soggetta a variazioni nell'arco di vita della barriera di sicurezza.

Livello di affidabilità di una barriera di sicurezza (Safety Integrity Level IEC 6154): rappresenta la probabilità di malfunzionamento di una barriera di sicurezza, in termini di mancato intervento, di ridotta efficienza, di scorretti tempi di risposta in presenza delle condizioni prestabilite e nell'arco di vita attribuito alla barriera.
Tempo di risposta: durata dell'intervallo di tempo che intercorre fra l'attivazione di una barriera di sicurezza ed il conseguimento delle condizioni di pieno ottenimento della funzione di sicurezza alla quale è preposta la barriera, ovvero il conseguimento della efficienza prevista per la barriera.

Barriera di sicurezza: le barriere di sicurezza sono costituite da sistemi fisici e tecnologici o da azioni umane informati da specifiche procedure di attuazione o controlli amministrativi. Le barriere di sicurezza costituiscono gli strumenti idonei ad attuare le funzioni di sicurezza.

Funzione di sicurezza: una funzione di sicurezza è identificata da una misura tecnica o gestionale, mirata ad evitare o prevenire un evento ossia a controllare lo sviluppo e limitare le conseguenze di un evento ed è realizzata mediante barriere di sicurezza. La barriera di sicurezza è l'oggetto necessario a garantire, aumentare, procurare sicurezza.

La successiva tabella caratterizza in termini di prestazioni le misure di sicurezza previste dalla Direttiva integrate da suggerimenti progettuali derivanti dalla buona pratica e suffragati dai risultati forniti dall'applicazione dell'Approccio Bayesiano Classico con Analisi delle Incertezze.
I valori riportati nella colonna denominata Standard assicurano, quando adottati, la realizzazione di una struttura conforme allo Standard di Sicurezza ANAS.
I valori riportati nella colonna denominata Riferimento sono corrispondenti alla buona pratica corrente e, quando adottati, assicurano la formulazione di un progetto, ovvero la realizzazione di una struttura, caratterizzata da un livello di sicurezza accettabile, benché prossimo al limite di tollerabilità del rischio.
I valori riportati nella colonna denominata Pericolo (ARP), individuati mediante l'applicazione della metodologia dell'analisi di rischio, forniscono livelli di sicurezza inaccettabili nella formulazione di un progetto, ovvero nella realizzazione di una struttura.
Le righe evidenziate in grigio concernono variabili di progetto non contemplate in modo esplicito dalla Direttiva.

	Azione		**Standard**	**Riferimento**	**Pericolo (ARP)**
	Preventiva	Protettiva			
Corsie di emergenza	•		Presenti	Marciapiedi e/o piazzole sosta	Mancanti

Piazzole di sosta	•		600 m	1000 m	> 1500 m
Uscite di emergenza		•	300 m	500 m	1000 m
Larghezza porte		•	150 cm	120 cm	90 cm
Larghezza marciapiedi		•	120 cm	90 cm	60 cm
Percorsi d'esodo		•	Liberi-rettilinei	Liberi	Ostacoli-Barriere-Tortuosità
Drenaggio	•		Presente (ADR)	Mancante (ADR frequenza ridotta)	Mancante (ADR)
Portata drenaggio			100 l/s	50 l/s	<50 l/s
Illuminazione ordinaria	•		Rinforzo regolato + Illuminazione Permanente + Illuminazione Sicurezza	Rinforzo non regolato + Illuminazione Permanente + Illuminazione Sicurezza	Illuminazione Permanente
Illuminazione esodo		•	5 lux	3 Lux	1 lux
Segnaletica esodo		•	35 m	75 m illuminata	100 m
Ventilazione longitudinale	•	•	Monodirezionali < 3000 m Bidirezionali < 1000 m (VDF = 300 m)	Monodirezionali 4000 m Bidirezionali 1500 m (VDF= 500 m)	Monodirezionali > 5000 m Bidirezionali > 1500 m (VDF> 500 m)
Ventilazione semitrasversale	•	•	Monodirezionali > 4000 m; urbane > 1500 m Bidirezionali > 1500 m (VDF = 500 m)	Monodirezionali 6000 m; urbane 2000 m Bidirezionali 3000 m (VDF = 500 m)	Monodirezionali > 7000 m o urbane > 3000 m Bidirezionali > 3000 m (VDF > 500 m)
Ventilazione naturale			1,5 m/s	2 m/s	4 m/s
Velocità longitudinale max			5 m/s	6 m/s	7 m/s
Velocità critica		•	4 m/s	2.5 m/s	1.5 m/s
Velocità controllata max		•	1 m/s	1.5 m/s	2 m/s
Portata estrazione fumi		•	200-250 m^3/s	150 m^3/s	100 m^3/s
Interdistanza bocchette estrazione		•	70	100	150
Tempo inversione ventilazione		•	120 s	180 s	300 s
Resistenza al fuoco ventilatori, serrande motorizzate, supporti			400°C 90 min	250 ° C 90 min	Mancante
Ventilazione uscite emergenza		•	Sanitaria + pressurizzazione	Pressurizzazione	Mancante
Velocità porte aperte vie di fuga		•	2-3 m/s	0,75	Mancante
Pressurizzazione		•	50 Pa	30 Pa	Mancante
Ricambio aria esterna		•	50 m3/h persona	20 m3/h persona	Mancante
Comunicazioni	•	•	PMV+GSM+SOS+Ri trasmissioni	PMV + SOS	Mancante
SOS	•		150 m	250 m	>500 m
Tempo allertamento servizi soccorso	•	•	60 s	120 s	180 s
Rilevazione	•		Telecamere + cavo	Cavo + OP o Telecamere +CO o OP	OP o CO o cavo
Tempi Rilevazione	•		120 s	180 s	300 s
Impianto antincendio		•	Mitigazione+Idranti	Idranti	Mancante
Interdistanza idranti			150 m	250 m	> 300 m
Tempo mitigazione autocarro		•	120 s	180-240 s	300 s

Tempo mitigazione pozza gasolio		•	30 s	60-120 s	180 s
Gestione traffico	•		DAI + Semafori in galleria + Sistema di gestione+comunicaz.	DAI + Sistema di gestione + comunicaz.	Mancante
Gestione emergenza		•	Automatica + manuale + ritorno esperienza	Automatica	Manuale
Tempo attivazione sistemi sicurezza		•	60 s	120 s	180 s
Tempo chiusura galleria		•	300 s	480 s	600 s
Tempo di permanenza utenti nella struttura		•	20 min	30 min	45 min
Alimentazione elettrica	•	•	Rete anello+ GE + UPS	Rete + GE 50%+ UPS	Rete
REI (R)		•	120	60	Nullo
Classe reazione al fuoco	•		0	1	Mancante

4.2.4 Prove di collaudo ed esercitazioni periodiche

Le prove di collaudo del sistema galleria perseguono i seguenti obiettivi:

- verifica del funzionamento dei singoli sottosistemi e del sistema galleria in condizioni di esercizio,
- verifica del funzionamento delle procedure di emergenza attuate dal sistema di gestione della galleria,
- verifica del funzionamento del sistema galleria in condizioni incidentali.

La verifica del funzionamento dei sottosistemi in condizioni di esercizio, e dei dispositivi che li compongono, è effettuata in conformità alla normativa vigente ove presente, ed in ogni caso deve:

- comprovare l'integrità e la funzionalità dei sistemi installati e dei singoli dispositivi,
- consentire la messa a punto ottimale della strumentazione necessaria all'esercizio della struttura.

La verifica della conformità dei dispositivi a normative vigenti è demandata alle indicazioni fornite nelle specifiche progettuali ed alle modalità previste dalla normativa e dagli enti di certificazione.

La verifica del funzionamento delle procedure di emergenza attuate dal sistema di gestione è effettuata mediante la simulazione dei segnali di allarme previsti al fine di consentire:

- la verifica della corretta risposta del sistema di gestione,
- la taratura delle soglie di attivazione per i falsi allarmi.

La verifica del funzionamento della galleria in condizioni incidentali prevede la realizzazione di prove a fuoco in galleria al fine di:

- verificare l'efficacia delle misure di sicurezza,
- verificare e mettere a punto le procedure di emergenza.

4.2.5 Esecuzione di prove a fuoco

L'attività di sperimentazione sul campo di eventi di incendio in galleria ha lo scopo di analizzare l'evoluzione dei parametri caratteristici di un evento di incendio, quali temperature raggiunte all'interno della struttura, velocità ed opacità dei prodotti della combustione, tenore di ossigeno presente all'interno della galleria nel corso della prova, al fine di:

- ottenere informazioni, indicazioni e suggerimenti tecnici che possano consentire di ridurre il rischio di incendio all'interno della struttura;
- approntare idonee procedure di intervento;
- verificare in sede di collaudo la risposta della struttura in presenza di un evento di incendio.

Le prove a fuoco possono essere realizzate con modalità differenti :
- incendio controllato;
- esercitazione a fuoco.

Una prova a fuoco concepita come un evento controllato ha lo scopo di misurare ed acquisire l'evoluzione dei parametri termofluidodinamici fondamentali caratteristici di un evento di incendio quali:
- il tasso di combustione,
- la distribuzione di temperatura all'interno di una struttura,
- le variazioni di pressione indotte dall'evento.

Essa è progettata al fine di:
- verificare l'affidabilità dei sistemi di rilevazione incendio,
- verificare le prestazioni effettive del sistema di ventilazione,
- verificare le prestazioni effettive dei sistemi e dei mezzi di spegnimento,
- caratterizzare la qualità dell'aria nella galleria misurando l'opacità e la composizione dei prodotti della combustione,
- visualizzare e registrare su supporti video e fotografici l'evoluzione dello strato dei fumi.

Inoltre le prove consentono di collaudare attrezzature, materiali, dispositivi, idonei a:
- rilevare e localizzare eventuali sorgenti di incendio,
- guidare gli addetti alle operazioni di soccorso e spegnimento individuando la posizione degli utenti in pericolo e la stima attraverso la mappatura del campo termico dell'effettiva estensione dell'incendio,
- contrastare ed indirizzare il moto dei fumi,
- contenere la generazione dei prodotti della combustione,
- ridurre gli effetti termici tanto sul focolaio quanto sulle strutture.

L'esercitazione a fuoco è mutuata dagli standard adottati nelle esercitazioni a fuoco dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, essa è realizzata in modo da:
- generare una curva di evoluzione della temperatura analoga alle curve temperatura-tempo adottate nella normativa vigente per la verifica strutturale dell'involucro,

- valutare l'efficienza dei sistemi di ricognizione, di gestione dei fumi e di contenimento del livello termico nella struttura.

La prova a fuoco può essere articolata in due fasi con la duplice finalità di:

- acquisire utili informazioni sull'evoluzione degli incendi nella galleria oggetto di collaudo utili alla redazione di un documento di determinazione del rischio incendio sulla popolazione esposta sui sistemi di sicurezza, sulla struttura, sull'ambiente; in modo particolare, esse possono essere utilizzate per verificare le prestazioni dei dispositivi e dei materiali e la rispondenza delle forniture alle specifiche di progetto;
- testare attrezzature, materiali ed apparati che possano consentire di contrastare efficacemente gli incendi in galleria, a vantaggio della sicurezza degli utenti e dei soccorritori e della continuità di esercizio della struttura.

Nel corso della prova a fuoco possono inoltre essere provate le seguenti attrezzature, materiali ed apparati:

- motoventilatori per l'orientamento ed abbattimento dei fumi, grazie anche alla generazione di acqua nebulizzata;
- nuovi tipi di agenti estinguenti;
- termocamere portatili per la localizzazione e la rilevazione della temperatura degli incendi;
- sistemi per la rilevazione locale degli incendi all'interno delle gallerie.

Un evento incidentale di riferimento può essere realizzato in modo controllato utilizzando come combustibile combustibili liquidi in pozze di diametro fissato disposte in modo tale da ricoprire una superficie equivalente ad uno o più autoveicoli.
L'accensione successiva e comandata delle pozze consente di riprodurre le varie fasi di un evento di incendio reale per focolai di potenza termica fissata.
La realizzazione di prove a fuoco prevede l'installazione in situ di sistemi di misura dei principali parametri termofluidodinamici caratteristici di un evento di incendio.
Le sonde sono distribuite all'interno della struttura su griglie affatto analoghe alle griglie utilizzate nelle simulazioni numeriche degli eventi mediante modelli di campo.
La realizzazione di incendi controllati di piccola e media intensità, variabili tra 2 – 12 MW, consente l'accesso di personale non esperto all'interno della struttura e l'osservazione diretta dell'evoluzione complessiva dell'evento.
La realizzazione di incendi controllati di media ed elevata intensità, ancorché possibili e gestibili, pregiudica le possibilità di accesso alla struttura da parte di personale non esperto in qualità di osservatore, è condizionata alla realizzazione di specifici sistemi di protezione al fuoco delle struttura e degli impianti, richiede l'installazione e la gestione di sistemi di visualizzazione idonei, con notevole incremento dei costi.
La realizzazione delle prove a fuoco, previa specifica progettazione, non comporta alcun pericolo e danno per le persone e la struttura.
Le fasi di progettazione di una prova a fuoco possono essere così sintetizzate:

- classificazione funzionale della struttura galleria,
- definizione del focolaio,

- simulazioni preliminari dell'evento di incendio,
- definizione dello schema funzionale e del lay-out della catena di misura dei parametri termofluidodinamici e del sistema di visualizzazione dell'evoluzione dell'evento,
- progettazione del sistema di protezione della struttura, dei dispositivi di misura, del sistema di visualizzazione e registrazione,
- organizzazione del servizio di sicurezza per gli addetti alla prova.

I focolai possono essere costituiti da:
- pozze di combustibile liquido (Pool fire),
- cataste di combustibile solido (Crib Fire),
- veicoli e sostanze combustibili (Vehicle and Burning Goods Fire).

La massa e la tipologia del combustibile determinano la magnitudo e la durata della prova.

Una catena di misura tipo dovrebbe comprendere i seguenti strumenti:
- *Bilancia a lettura digitale* per la determinazione del tasso di combustione.
- *Reticoli di anemometri* per la determinazione del campo di velocità.
- *Anemometri mobili* per la misura della velocità di aspirazione delle bocchette.
- *Reticoli di termocoppie e pirometri ad aspirazione* per la determinazione del campo di temperatura.
- *Tubi di Pitot* per la misura delle variazioni di pressione indotte dall'incendio.
- *Cavo termosensibile* per la localizzazione della sorgente di incendio.
- *Misuratori del tenore di O2,CO, CO_2* in galleria**.**
- *Opacimetro* per la stima della densità ottica dei fumi.

4.2.6 Collaudo dei sottosistemi di sicurezza

Le procedure di collaudo devono consentire la valutazione delle prestazioni del sistema tecnologico galleria.
Successivamente si riportano suggerimenti sulle procedure di collaudo da adottare per i singoli sottosistemi di sicurezza.
Le indicazioni fornite sono relative alla sicurezza in condizioni di emergenza ed in condizioni di esercizio e non trattano il dettaglio relativo all'affidabilità ed efficienza dei singoli dispositivi.

Alimentazione elettrica

Il sistema di alimentazione elettrica deve essere collaudato al fine di verificare:
- la continuità in caso di mancata erogazione del servizio da parte dell'ente gestore,
- i tempi di avviamento dei dispositivi dotati di motori elettrici in condizioni di fornitura da parte del gestore simulando condizioni di emergenza e condizioni di esercizio,
- i tempi di avviamento dei dispositivi dotati di motori elettrici in condizioni di fornitura da parte del gruppo elettrogeno simulando condizioni di emergenza e condizioni di esercizio,
- la durata dell'alimentazione di sicurezza simulando condizioni di emergenza e condizioni di esercizio.

Sistema di Monitoraggio

Il sistema di monitoraggio della qualità dell'aria in galleria deve essere collaudato al fine di verificare:

- la taratura degli strumenti installati,
- il corretto posizionamento degli strumenti installati,
- la taratura del sistema di gestione della ventilazione in condizioni di esercizio.

Il sistema di monitoraggio del traffico in galleria deve essere collaudato al fine di verificare:

- la taratura degli strumenti installati,
- il corretto posizionamento degli strumenti installati,
- la taratura del sistema di gestione della ventilazione in condizioni di esercizio,
- la taratura degli allarmi per la segnalazione di condizioni anomale,
- i parametri caratteristici dell'analisi statistica condotta (tempi di campionamento, finestre di analisi).

Il sistema di monitoraggio delle condizioni di illuminazione per condizioni di esercizio in galleria deve essere collaudato al fine di verificare:

- la taratura degli strumenti installati,
- il corretto posizionamento degli strumenti installati,
- la taratura del sistema di gestione dell'illuminazione in condizioni di esercizio,
- la taratura degli allarmi per la segnalazione di condizioni anomale.

La fase di collaudo deve essere prolungata per un tempo successivo all'apertura al traffico sufficiente alla messa a punto dei sottosistemi.

Sistema di Rilevazione

Il sistema di rilevazione installato deve essere collaudato al fine di verificare:

- i tempi di rilevazione per infrazioni od irregolarità standard nella circolazione stradale,
- i tempi di rilevazione per focolai standard,
- l'affidabilità del sistema di sicurezza.

Sistemi di Comunicazione

L'impianto di comunicazioni deve essere collaudato al fine di verificare:

- la copertura di tutta la galleria (radio e telefonia),
- la visibilità dei sistemi informativi di tipo visivo (semafori, PMV, segnaletica),
- l'intelligibilità dei segnali audio provenienti da sistemi di diffusione sonora e dalle colonnine SOS,
- l'intelligibilità dei segnali audio ricevuti dai centri di controllo,
- la coerenza e l'intelligibilità delle informazioni video fornite dai sistemi CCTV.

Sistemi di Spegnimento

L'impianto idrico antincendio deve essere collaudato al fine di verificare:

- la funzionalità dei dispositivi,

- la portata delle singole manichette per diverse combinazioni di utilizzo,
- i tempi di avviamento delle pompe di mandata,
- la portata di rincalzo fornita dall'acquedotto.

Eventuali impianti di spegnimento automatici devono essere collaudati al fine di verificare:

- la portata erogata dalle singole zone,
- i tempi di raggiungimento della condizione di regime nelle singole zone,
- l'uniformità della distribuzione dell'agente estinguente,
- le strategie di attivazione e l'interazione con il sistema di ventilazione,
- le prestazioni in termini di tempi di spegnimento per focolai standard.

Sistema di Ventilazione

La caratterizzazione delle prestazioni dei sistemi di ventilazione richiede, in fase preliminare, la determinazione delle caratteristiche del regime di ventilazione naturale in termini di:

- differenza di pressione barometrica tra i portali,
- anemologia del sito,
- direzione prevalente e velocità media dell'aria in galleria nell'arco della giornata.

La verifica del sistema di ventilazione deve essere condotta in modo diversificato in funzione della tipologia di impianto installato.

Sistemi longitudinali

La verifica dei sistemi longitudinali deve prevedere:

- verifica delle caratteristiche del vettore velocità dell'aria in galleria (direzione ed intensità) in funzione del numero e della disposizione delle coppie di acceleratori attivi;
- verifica del tempo di inversione del flusso d'aria in galleria e del tempo necessario al raggiungimento di un valore di velocità prefissata;
- verifica della pressurizzazione della canna non incidentata,
- verifica del contenimento del fenomeno di back-flow,
- verifica del mantenimento del fenomeno della stratificazione dei fumi per un tempo prefissato qualora sia previsto un sistema di controllo della velocità,
- verifica dei fenomeni di ricircolo dei fumi tra i portali,

Le misure effettuate consentono la taratura delle sonde anemometriche installate in galleria.

Sistemi trasversali o semi trasversali

La verifica dei sistemi trasversali deve prevedere:

- verifica delle caratteristiche del vettore velocità dell'aria in galleria (direzione ed intensità) in funzione delle strategie di ventilazione previste per il sistema in condizioni di emergenza;
- verifica del tempo di inversione del flusso d'aria in galleria e del tempo necessario al raggiungimento di un valore di velocità prefissata;
- verifica della pressurizzazione della canna non incidentata,
- verifica della portata complessiva di estrazione e di immissione,

- verifica della portata sulle singole bocchette di estrazione- immissione,
- verifica del sistema di controllo della velocità longitudinale (ove previsto) e verifica delle capacità dl sistema a favorire e controllare la stratificazione dei fumi per un tempo prefissato,
- verifica dei fenomeni di ricircolo dei fumi tra i portali,
- verifica del profilo di velocità nella zona interessata dall'estrazione dei fumi in condizioni di aria ambiente ed in presenza di fumi.

Le misure effettuate consentono la taratura delle sonde anemometriche installate in galleria.

Sistemi di Ventilazione dei luoghi sicuri e delle vie di fuga

Il sistema di ventilazione delle vie di fuga, dei luoghi sicuri, dei rifugi deve essere collaudato al fine di verificare:

- le portate d'aria immesse,
- la pressurizzazione di locali e la possibilità dell'apertura delle porte da parte degli utenti.

Sistema di illuminazione ordinaria

L'impianto di illuminazione ordinaria deve essere collaudato al fine di verificare:

- la luminanza nelle varie zone della galleria in condizioni di esercizio,
- l'illuminamento medio ed il coefficiente di uniformità,
- tempi di attivazione dell'illuminazione di riserva.

Sistema di Illuminazione di esodo

Il sistema di illuminazione dei percorsi d'esodo, delle vie di fuga, dei luoghi sicuri, dei rifugi deve essere collaudato al fine di verificare l'illuminamento minimo e medio fornito dal sistema.
L'illuminazione dei percorsi di esodo è verificata anche in presenza di fumi.

Sistema di Gestione della galleria

Tutte le procedure di gestione delle condizioni di emergenza sono soggette a collaudo.

In particolare è necessario verificare:

- la gestione degli allarmi,
- il controllo del traffico,
- la gestione di eventuali impianti di spegnimento automatici,
- la gestione della ventilazione in galleria,
- la gestione della ventilazione nei luoghi sicuri e nelle vie di fuga,
- la gestione delle comunicazioni,
- la gestione degli impianti di illuminazione,
- la gestione dell'interruzione del servizio di fornitura dell'energia elettrica o di eventuali guasti al sistema di alimentazione elettrica.

Simulazione del processo di esodo.

Al fine di verificare la visibilità in galleria, la correttezza di collocazione della segnaletica, l'agibilità dei percorsi di esodo è possibile effettuare simulazioni di esodo con un campione di utenti.
Le stesse verifiche dovrebbero essere effettuate includendo nella popolazione utenti con mobilità ridotta e disabili.

Esercitazioni periodiche

Le esercitazioni periodiche hanno lo scopo di:

- verificare lo stato dei sottosistemi di sicurezza,
- migliorare le procedure ed i piani di emergenza,
- addestrare gli addetti al soccorso.

Le esercitazioni possono essere effettuate realizzando prove a fuoco controllate progettate per il sistema galleria analizzato considerando le problematiche connesse ai tempi di intervento, alle caratteristiche della struttura, alla gestione ed alle prestazioni dei sottosistemi di sicurezza installati.

Riferimenti bibliografici

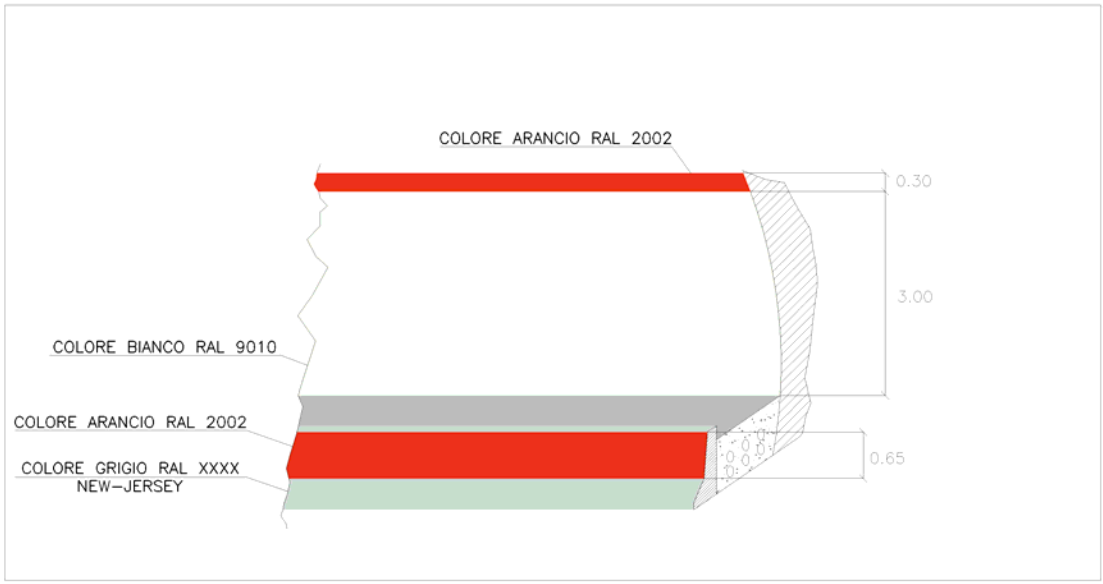
[1] PIARC, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, 1999
[2] Commissione Basile – Dossier ANAS sull'Incidente del Traforo del Monte Bianco – Allegato Tecnico a cura del GRF-DENER-C-Politecnico di Torino, Agosto, 1999
[3] HSE Reducing Risks, Protecting People Decision Making Process, 2001
[4] OECD-PIARC 2001Transport of Dangerous Goods Through Road Tunnels
[5] Antonio Valente, Luigi Carrarini, Alessandro Micheli, Francesco Bezzi, Progettazione e realizzazione della sicurezza nelle gallerie stradali, INTERtunnel 2006, convegno SIG , Torino - Lingotto 17 Maggio 2006.
[6] Emilio Cafaro, Alessandro Focaracci, Massimo Guarascio, Luca Stantero, Quantitative Risk Analysis for Tunnels, Tunnel Management International Conference Torino, Maggio 2006.

Riferimenti normativi

1] IEC, International Standard 60300 –3 – 9, Risk Analysis of technological systems, Geneve, 1995
[2] ISO 13387 Fire Safety Engineering Parts 1-8, 1999
[3] SEVESO Direttive ed Emendamenti, 1982, 1996,2003
[4] Legge n.226 13/07/1999 conversione in Legge, con modificazioni, del Decreto Legge 13/05/1999 n. 132, recante interventi urgenti in materia di protezione civile.
[5] Circolare ANAS 7735 del 8/9/1999 Direttive per la sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali
[6] Circolare Ministeriale n. 7938 del 6/12/1999 sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi
[7] Decreto Ministeriale 5/6/2001 Sicurezza nelle gallerie stradali
[8] Decreto Ministeriale 5/11/2001 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade
[9] NFPA 551 Evaluation of Fire Risk Assessments, 2004
[10] NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and other limited access highways, 2004
[11] Direttiva Europea 2004/54/CE, relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea
[12] Circolare ANAS n. 33/2005 Sagome interne e principali dotazioni infrastrutturali delle gallerie stradali
[13] Decreto Ministeriale 14/9/2005 Norme di illuminazione delle gallerie stradali
[14] Decreto Interministeriale 28/10/2005 Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie G.U. n.83 8/4/2006-Supplemento ordinario n. 89
[15] Voto V sez. 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.
[16] Adunanza V sez. 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.
[17] D. Lgs Ottobre 2006 Attuazione della Direttiva 2004/54/CE relativa ai requisiti di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
[18] D.M. 14.09.2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Allegato 1 "Figure esemplificative"

PARTICOLARE COLORAZIONE PARETI INTERNE GALLERIA



PARTICOLARE VERNICIATURA PARETI IN CORRISPONDENZA DELLE PIAZZOLE DI SOSTA

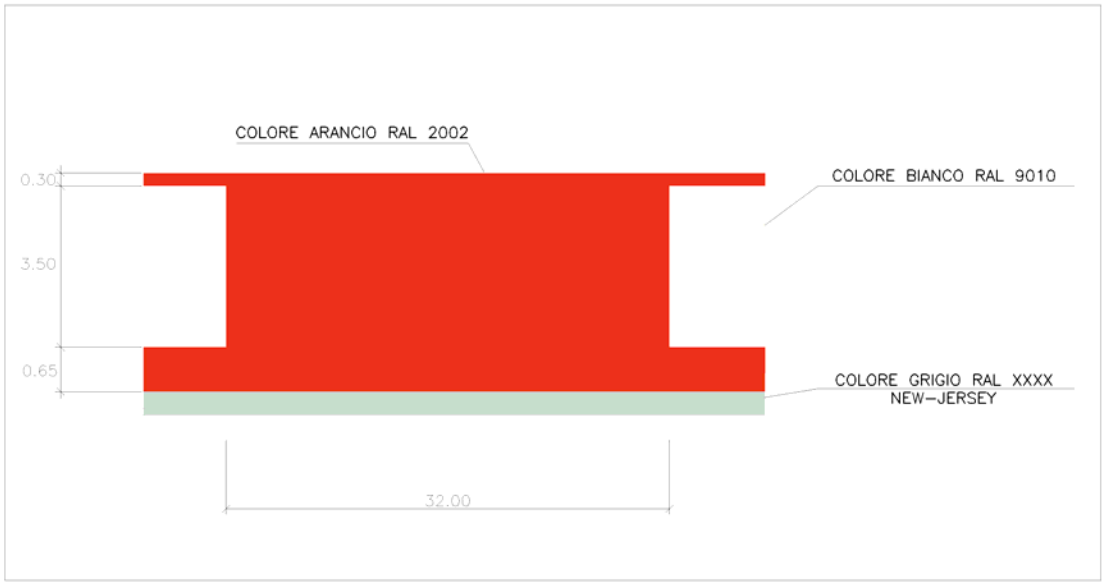


Fig. 1

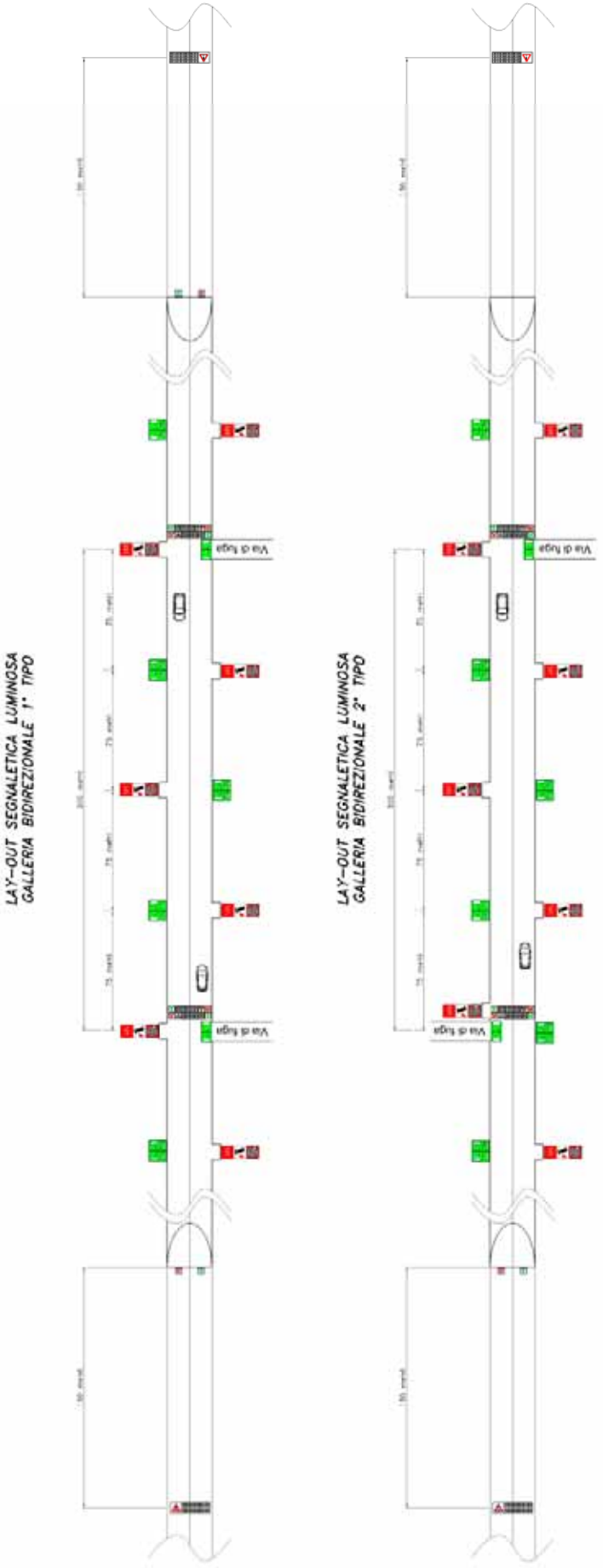

LAY-OUT SEGNALETICA LUMINOSA
GALLERIA BIDIREZIONALE 1° TIPO
Via di fuga
LAY-OUT SEGNALETICA LUMINOSA
GALLERIA BIDIREZIONALE 2° TIPO
Via di fuga

Fig 2

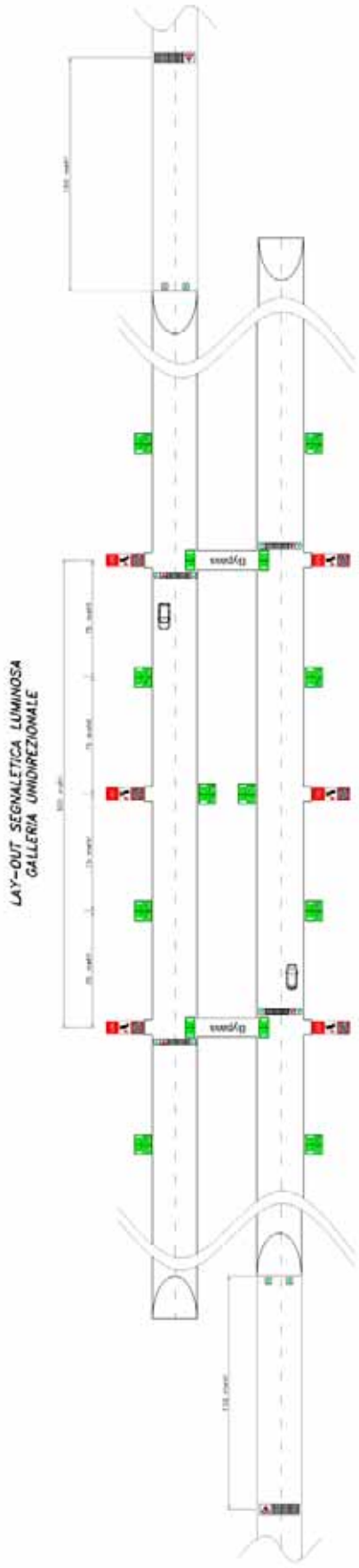


Fig 3

Fig. 4

Fig. 5

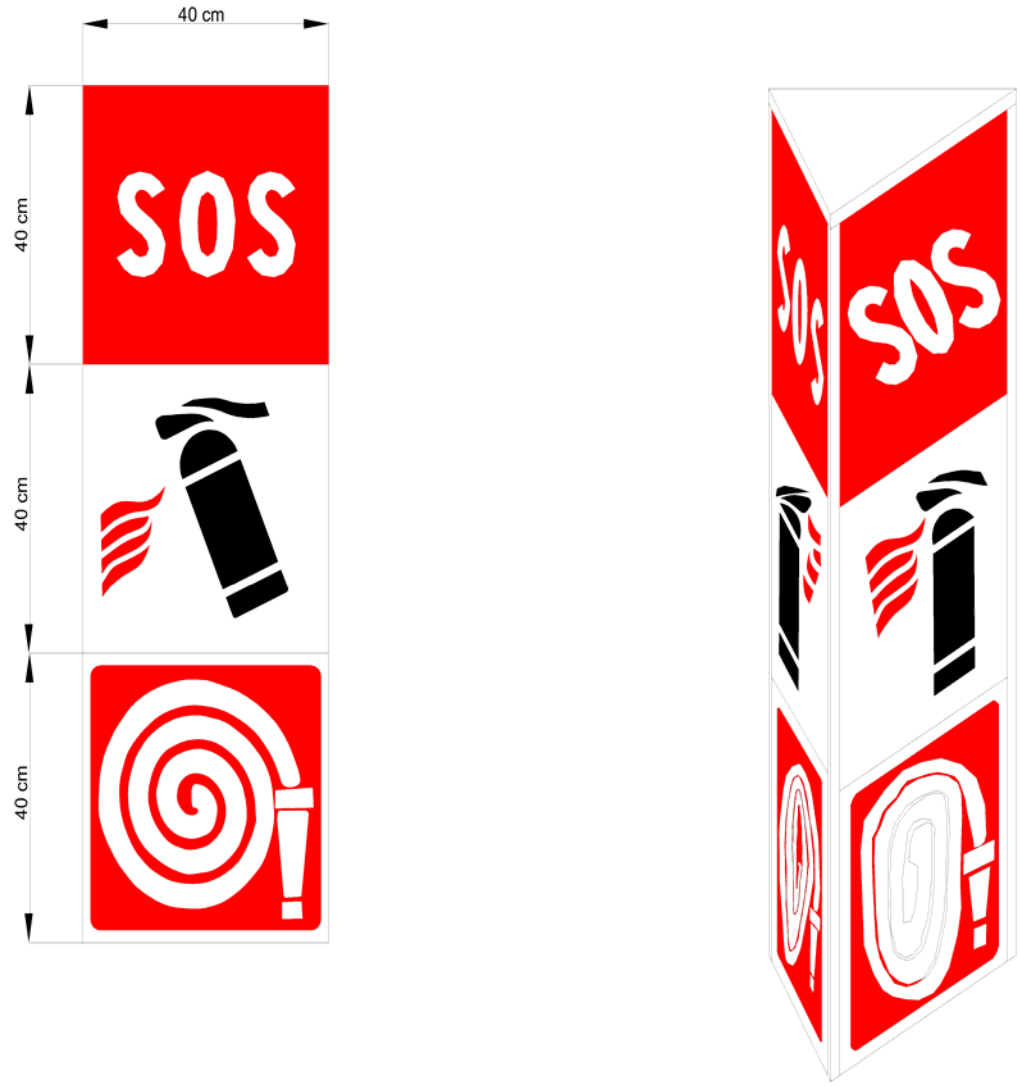


Fig. 6

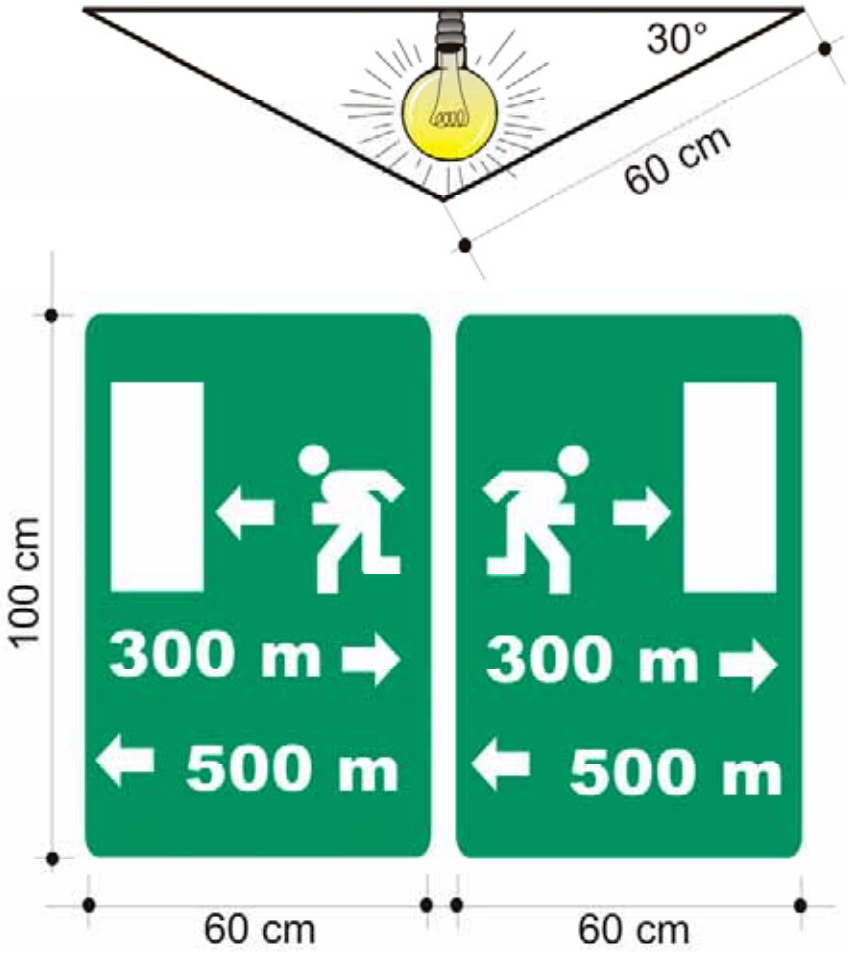
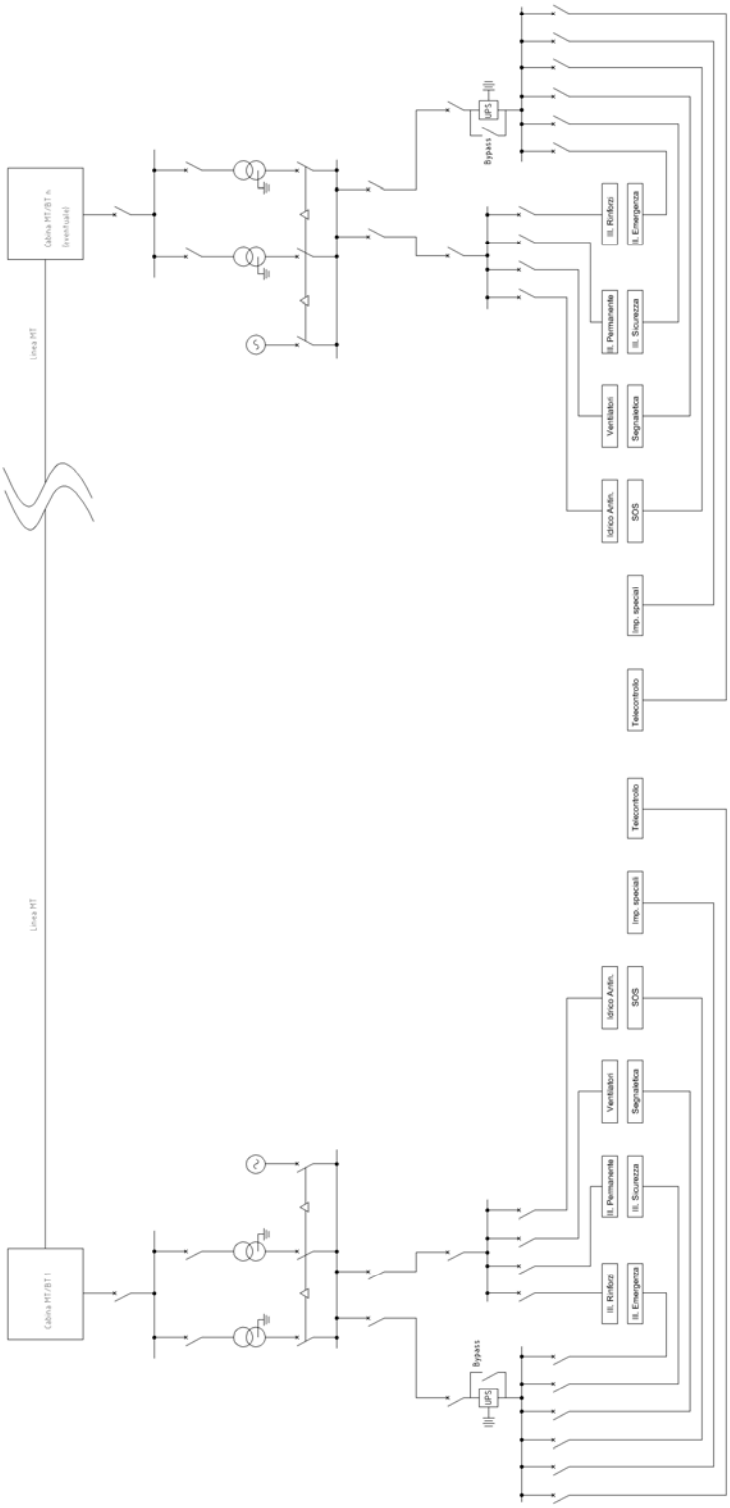
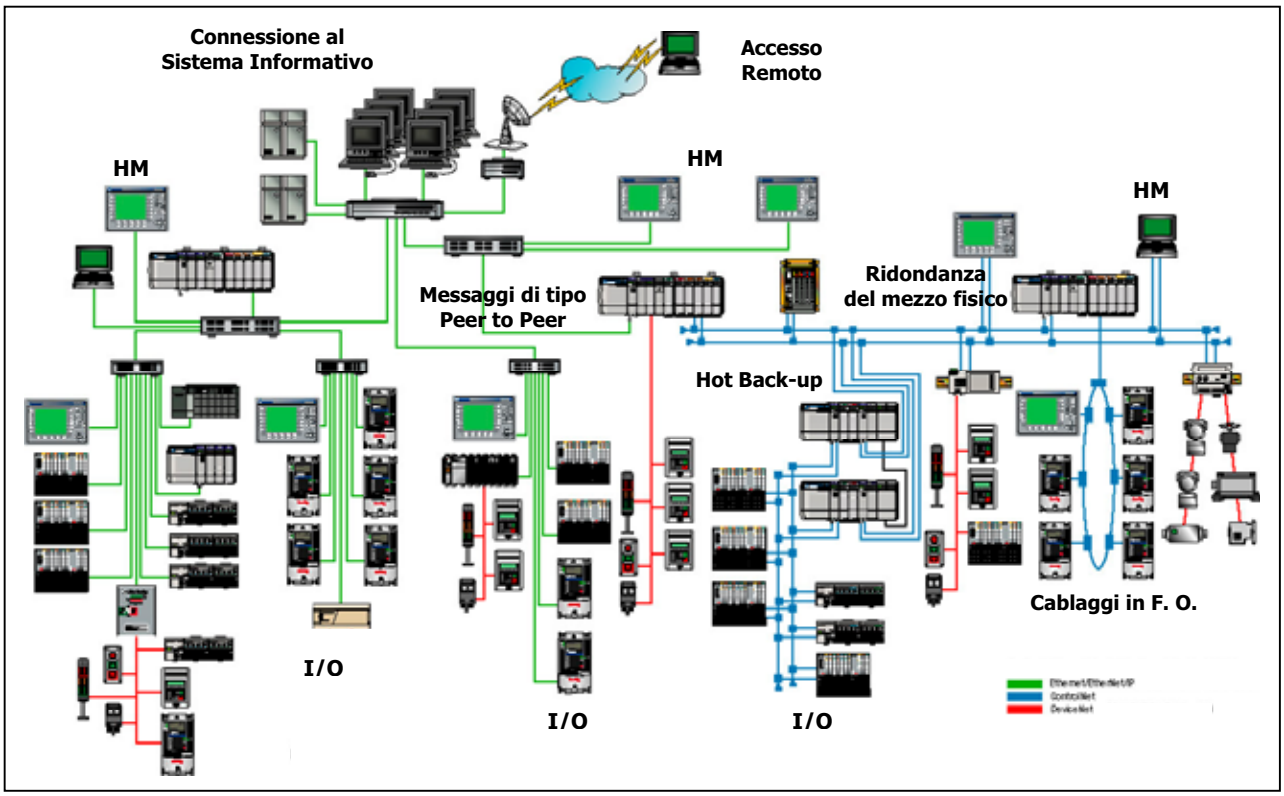


Fig. 7



DISTRIBUZIONE ELETTRICA TIPICA

Fig 8


Connessione al
Sistema Informativo
Accesso
Remoto
HM
HM
HM
Messaggi di tipo
Peer to Peer
Ridondanza
del mezzo fisico
Hot Back-up
Cablaggi in F. O.
I/O
I/O
I/O

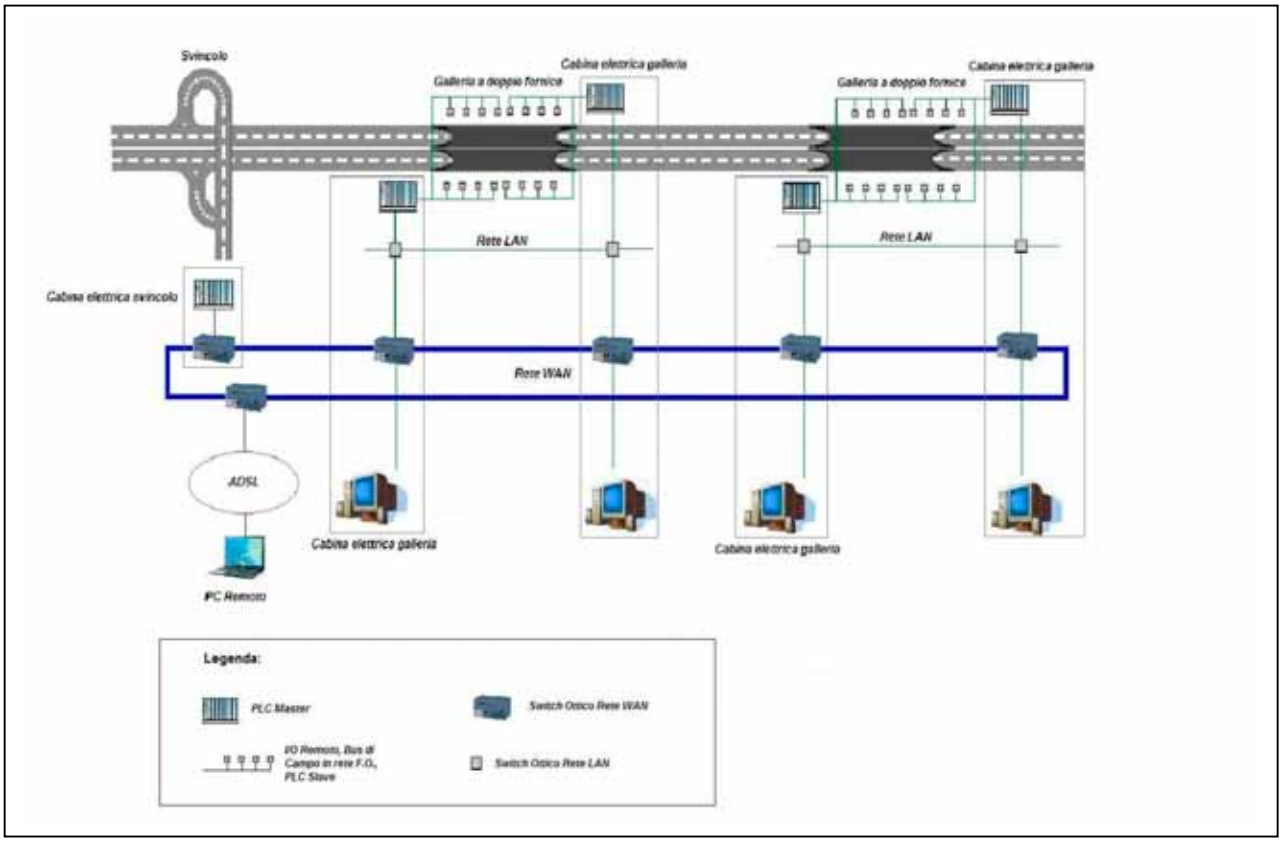

Svincolo
Galleria a doppio fornice
Cabina elettrica galleria
Galleria a doppio fornice
Cabina elettrica galleria
Rete LAN
Rete LAN
Cabina elettrica svincolo
Rete WAN
ADSL
PC Remoto
Cabina elettrica galleria
Cabina elettrica galleria
Legenda:
PLC Master
Switch Ottico Rete WAN
Switch Ottico Rete LAN

Fig 9

Allegato 2 Modello di schedatura del sistema galleria

Scheda 1	**IDENTIFICATIVO DEL PROGETTO**		
Nome Tratta Stradale			
Nome della Galleria			
Anno di costruzione		**Anno di inizio gestione**	
Società diGestione			
Numero gallerie presenti sulla tratta			

Tipologia progetto	**Affidamento**	**Consegna**
☐ Studio fattibilità		
☐ Progetto preliminare		
☐ Progetto definitivo		
☐ Progetto definitivo per appalto integrato		
☐ Progetto esecutivo		
☐ Revisione di progetto		
☐ Progetto di adeguamento		

Tipologia progetto		
	Galleria di nuova realizzazione	☐
	Galleria esistente	☐
	Galleria in corso di realizzazione	☐
	Altro:	☐
Osservazioni		

Scheda 2	**IDENTIFICATIVO DELLA GALLERIA**				
Nome Galleria					
Anno di costruzione					
Nome Tratta Viaria					
Classe tratta viaria					
Tipologia		**Costruzione**			
Autostradale	☐	Naturale	☐		
Stradale urbano	☐	Artificiale	☐		
Stradale extra-urbano	☐	Trincea coperta	☐		
Altro	☐	Sottomarina	☐		
	☐	Altro	☐		
Numero canne					
Direzionalità	Unidirezionale	☐	Bidirezionale	☐	
Canna 1*	Direzione				
Progressiva Chilometrica					
Coordinate UTM					
Localizzazione Portale di ingresso			Orientamento		
Quota s.l.m.					
Localizzazione Portale di uscita			Orientamento		
Quota s.l.m.					
Canna 2	Direzione				
Progressiva Chilometrica					
Coordinate UTM					
Localizzazione Portale di ingresso			Prov.		
Quota s.l.m.					
Localizzazione Portale di uscita			Prov.		
Quota s.l.m.					
Trasporto ADR	NO				☐
	SI		Libero		☐
			Scortato		☐
			Limitato nel Tempo		☐
			Limitato nella Tipologia		☐
Accessibilità ai fonici	Canna 1	Si ☐ NO ☐	Canna 2	Si ☐ NO ☐	

Scheda 3	**CARATTERIZZAZIONE GEOMETRICA DELLA GALLERIA**							
Canna 1*	Direzione							
Dimensioni Lineari	Lunghezza		m					
	Larghezza		m					
	Altezza		m					
Pendenza media	%							
Forma della Sezione								
Contro soffitto	☐	N° vani		Area sezione [m^2]				
Cunicolo sotto traccia	☐	N° vani		Area sezione [m^2]				
N° Corsie		N° Corsie emergenza						
Area della Sezione	m^2							
Canna 2	Direzione							
Dimensioni Lineari	Lunghezza	m						
	Larghezza	m						
	Altezza	m						
Pendenza Media	%							
Forma della Sezione								
Contro soffitto	☐	N° vani		Area sezione [m^2]				
Cunicolo sotto traccia	☐	N° vani		Area sezione [m^2]				
N° Corsie		N° Corsie emergenza						
Area della Sezione	m^2							
Numero by-pass / gallerie pedonali	N°		Interdistanza	m				
Numero by-pass / gallerie carrabili	N°		Interdistanza	m				
Numero svincoli interni			Interdistanza	m				
Altezza sagoma limite	m							
Marciapiedi	☐	N° per carreggiata		Larghezza	m			
Caratteristiche delle Vie di Accesso	Pendenza (≤ 10 %)				%			
	Resistenza al Carico (≥ 20 t)				T			
	Altezza Libera (≥ 4 m)				m			
	Raggio di Volta (≥ 3 m)				m			
Tracciato	Imbocchi in curva							
	Numero curve in galleria							
	Raggio di curvatura	max	min	med				
	Restringimenti di carreggiata in galleria							
	Svincoli o incroci in galleria							
Sistema di Vie di Uscita				Lunghezza m	Sezione m^2			
Percorsi di Esodo	Interno Galleria	☐						
	Canna Parallela	☐						
	Galleria Servizio	☐						
	Canale Ventilazione	☐						
Luoghi sicuri	Dinamici	n°						
	Rifugi	n°						
		Capacità	n° persone					
		Classe REI						
		Filtro antifumo	☐					
		Dimensioni	m					
		Spaziatura	m					
		Impianto Ventilazione	☐	Aria esterna	☐			
		Impianto Trasmissioni	☐	Videocamera/TV	☐			
Uscite di Emergenza	Uscite Luoghi Sicuri Statici	N°	Uscite Dirette Esterno	N°				
	Uscite Luoghi Sicuri Dinamici	N°	Uscite Canna Parallela	N°				
	Uscite Canale Ventilazione	N°	Uscite Galleria Servizio	N°				
	Uscite By-pass	N°		N°				
Piazzole di sosta	☐	Interdistanza	m					
Attraversamento all'esterno dei portali	Portale 1	☐	Portale 2	☐				
Osservazioni								

Scheda 4	**CARATTERISTICHE AMBIENTALI**			
Località				
Zona climatica				
Temperatura media invernale		°C		
Temperatura media estiva		°C		
Precipitazioni		Giorni/anno		
Nebbia		Giorni/anno		
Velocità media del vento ai portali		m/s	Dev. St	
Direzione prevalente del vento		°Nord	Dev. st.	
Differenza di pressione barometrica tra i portali		Pa		
Fenomeni anemologici anomali storici catalogati				
Categoria di stabilità atmosferica prevalente				
Distanza comando VVF	km			
Distanza comando servizi di pubblica sicurezza	km			
Distanza servizi di pronto intervento sanitario	km			
Distanza struttura sanitaria attrezzata per l'emergenza	Km			
Distanza eliporto – aeroporto	Km			
Viabilità alternativa	Si □ No □			
Tipologia viabilità alternativa	Autostradale-Urbana-Extraurbana			
Presenza di intersezioni a valle dei portali di uscita	Precedenza	□		
	Semaforo	□		
	Rotonda	□		
Centro abitato prossimo alla struttura				
Distanza centro abitato	km			
Densità media di popolazione nella zona di influenza dei portali	Portale 1 (abitanti /km^2)		Portale 2 (abitanti /km^2)	
Portale 1				
Distanza recettore sensibile prossimo al portale				
Tipologia recettore				
Zonizzazione acustica	Classe			
Portale 2				
Distanza recettore sensibile prossimo al portale				
Tipologia recettore				
Zonizzazione acustica	Classe			
Camini ventilazione				
Distanza recettore sensibile prossimo al portale				
Tipologia recettore				
Zonizzazione acustica	Classe			
Presenza di impianti di processo, sistemi di trasporto dell'energia, terminali sistemi di trasporto				
Impianti chimici	□	Distanza km		
Impianti petrolchimici	□	Distanza km		
Impianti di produzione industriale	□	Distanza km		
Porto marittimo	□	Distanza km		
Dogana	□	Distanza km		
Terminal-nodo intermodale	□	Distanza km		
Centri smistamento merci	□	Distanza km		
Oleodotti	□	Distanza km		
Gasdotti	□	Distanza km		

Scheda 5.1	**TRAFFICO CANNA 1 / DIREZIONE 1**			
Tipologia di Traffico	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	%	Dev. Standard	
	Veicoli Pesanti	%	Dev. Standard	
Regime di Traffico	Rado	□	Frequenza	sulla tratta
	Scorrevole	□	Frequenza	sulla tratta
	Congestionato	□	Frequenza	sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Trasporto ADR	□ No	□ Sulla tratta	□ Al casello di prossimità	
	□ Si	□ Libero		
		□ Scortato		
		□ Limitato nel tempo		
		□ Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero (media annua)		Veicoli/Giorno		
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)		Veicoli/Giorno		
Stagionalità				
Traffico di Punta	Veicoli/Ora	Ora/e di punta		

Scheda 5.2	**TRAFFICO CANNA 2 / DIREZIONE 2**			
Tipologia di Traffico	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	%	Dev. standard	
	Veicoli Pesanti	%	Dev. standard	
Regime di Traffico	Rado	□	Frequenza	sulla tratta
	Scorrevole	□	Frequenza	sulla tratta
	Congestionato	□	Frequenza	sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Trasporto ADR	□ No	□ Sulla tratta	□ Al casello di prossimità	
	□ Si	□ Libero		
		□ Scortato		
		□ Limitato nel tempo		
		□ Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero		Veicoli/Giorno		
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)		Veicoli/Giorno		
Stagionalità				
Traffico di Punta	Veicoli/Ora	Ora/e di punta		

Scheda 5.3	TRAFFICO AMBIENTE CIRCOSTANTE			
Viabilità alternativa				
Tipologia di Traffico	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	%	Dev. standard	
	Veicoli Pesanti	%	Dev. standard	
Regime di Traffico	Rado	□	Frequenza	sulla tratta
	Scorrevole	□	Frequenza	sulla tratta
	Congestionato	□	Frequenza	sulla tratta
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Trasporto ADR	□ No	□ Sulla tratta	□ Al casello di prossimità	
	□ Si	□ Libero		
		□ Scortato		
		□ Limitato nel tempo		
		□ Limitato nella tipologia		
Traffico Medio Giornaliero		Veicoli/Giorno		
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)		Veicoli/Giorno		
Stagionalità				
Traffico di Punta	Veicoli/Ora	Ora/e di punta		

Scheda 5.4	TRAFFICO AMBIENTE CIRCOSTANTE			
Accesso servizi di soccorso				
Tipologia di Traffico	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Composizione traffico	Veicoli Leggeri	%	Dev. standard	
	Veicoli Pesanti	%	Dev. standard	
Regime di Traffico	Rado	□	Frequenza	
	Scorrevole	□	Frequenza	
	Congestionato	□	Frequenza	
Volume di traffico in ingresso dal casello di prossimità	A.Leggero	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	B.Misto	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
	C.Pesante	□	% su (A+B+C)	% sulla tratta
Traffico Medio Giornaliero		Veicoli/Giorno		
Traffico Medio Giornaliero (massimo mensile)		Veicoli/Giorno		
Stagionalità				
Traffico di Punta	Veicoli/Ora	Ora/e di punta		

Scheda 6.1	SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA				
Sistema di Illuminazione	Ordinario				☐
	Sicurezza		Linea Preferenziale Cabina		☐
			Linea Preferenziale G.E.		☐
			Batterie Tampone		
	Evacuazione	☐	Picchetti luminosi		☐
			Altezza		m
Sistema di Ventilazione					
Tipologia	Naturale				☐
	Longitudinale				☐
	Semitrasversale/Trasversale		Invertibile		☐
			Non Invertibile		☐
			Ibrido		☐
	Trasversale	☐	Ibrido		☐
Configurazione	Numero centrali		Numero camini		
	Numero tratti		Lunghezza max tratto		m
Canna 1	Numero acceleratori				
	Diametro acceleratori		mm		
	Spinta acceleratori		N		
Canna 2	Numero acceleratori				
	Diametro acceleratori		mm		
	Spinta acceleratori		N		
Circuito di Estrazione					
Portata Volumetrica	Totale		m^3/s		
	Singolo Canale		m^3/s		
Numero Bocchette			Apertura indipendente		☐
Dimensioni Bocchette	Lunghezza		m		
	Altezza		m		
	Area		m^2		
Spaziatura Bocchette			m		
Densità Areica Bocchette	Area/Spaziatura		m^2/m		
Circuito di Immissione					
Portata Volumetrica	Totale		m^3/s		
	Singolo Canale		m^3/s		
Numero Bocchette					
Dimensioni Bocchette	Lunghezza		m		
	Altezza		m		
	Area		m^2		
Spaziatura Bocchette			m		
Controllo velocità longitudinale	Con acceleratori				
	Push-pull				
	Tempo di controllo		s		
	Adattativi				
	Tipo logica		Booleana /Fuzzy/Neurale		
	Controllo		Anello aperto anello chiuso		
	Modello		Mappatura/CFD/Regressivo		

Impianto di depurazione	Numero centrali		
	Portata singola centrale	m^3/s	
	Filtrazione meccanica □	Precipitazione elettrostatica □	
	Abbattimento NOx □	Abbattimento CO □	
Ventilazione delle vie di fuga e dei rifugi	Aria esterna □	Ricircolo canna non incidentata □	
	Portata per singolo rifugio	m^3/h	
	Portata complessiva centrale	m^3/h	
	Numero ricambi ora		
	Sovrapressione	Pa	
	Velocità aria attraverso le porte	Esodo m/s	Intervento m/s
	Filtrazione aria □	Climatizzazione □	
	Serrande tagliafiamma □	Ridondanza □	

Scheda 6.2	**SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA**				
Sistema di Comunicazione	Segnalazione Acustica	Altoparlanti	☐		
		Guida sonora	☐		
	Segnalazione Ottica	TV-CC	☐		
		Pannelli a Messaggio Variabile	☐		
		Ai portali	☐		
		Interdistanza in galleria	m		
		Semafori	☐		
		Ai portali	☐		
		Interdistanza in galleria	m		
		Segnaletica di Sicurezza	☐		
	Segnalazione Radio	Cavo Fessurato	☐		
		Messaggi agli utenti	☐		
		Frequenze Attive	PS	☐	
			VVF	☐	
				☐	
Sistema Servizi Ausiliari	Circuito Aria Compressa	☐			
	Altro:	☐			
Stazioni di emergenza	Interdistanza	m			
	Telefono	☐	Estintori	☐	
	Pulsante allarme	☐	Armadio/nicchia		
Monitoraggio parametri Ambientali	Anemometri	☐	Sensori CO_2	☐	
	Sensori CO	☐	Opacimetri	☐	
	Sensori NOx	☐		☐	
Sistema di Rivelazione Segnalazione Incendio	Rivelatori Fumi	☐	Opacimetri	☐	
	Sensori CO	☐	Rivelatori Gas Tossici	☐	
	Sensori CO_2	☐	Telecamere	☐	
	Sensori Termici		Interni	☐	Lineari ☐
			Esterni	☐	
Sistema di Allarme Incendio	Manuale	☐			
	Automatico	☐			
Osservazioni					

Scheda 6.3	**SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA**					
Sistema di Spegnimento (Mezzi ed Impianti Estinzione Incendi)	Fisso	**Tipologia rete**			Anello □	Pettine □
		Portata Volumetrica		l/min	Diametro collettore principale	DN
		Volume Vasca Accumulo		m^3	Pressione massima in rete	bar
		Attacchi di mandata VVF				□
		Sezionamenti				□
		Idranti	Manichetta			□
			UNI 45			□
			UNI 70			□
			Spaziatura			m
			Portata			m^3/s
			Pressione Bocchello			Mpa
		Sistema di mitigazione				□
			Ugelli parete-soffitto (altezza)			□ (m)
			Ugelli marciapiede			□
			Densità scarica			l/m m^2
			Acqua			□
			Acqua nebulizzata			□
			Schiuma			□
			Pressione			Bar
	Mobile		Estintore Carrellato			□
			Estintore Portatile			□
			Spaziatura			m
	Postazione Antincendio		Autorespiratore	ARO		N°
				ARA		N°
			Maschere a Filtro			N°
			Tute Antifiamma			N°
			Spaziatura			m
	Squadra Aziendale		APS			□
			Mezzo Polivalente			□
Sistema di Drenaggio	Fognatura (acque di piattaforma)					□
	Vasca di Raccolta		□	Capacità		m^3
	Caditoie sifonate		□	Interdistanza Caditoie		m
	Portata					l/s
Stazioni di pompaggio e Miscelazione	Numero stazioni pompaggio		n°	Potenza elettrica installata		kW
	Superficie in pianta locali stazione		m^2	Battente vasca accumulo/invaso		m
	Distanza dal portale più vicino		m	Portata volumetrica		l/min
	Volume vasca di accumulo		m^3	Volume serbatoio schiumogeno		m^3
Osservazioni						

Scheda 6.4	SINOSSI DEI SISTEMI DI SICUREZZA DELLA GALLERIA							
Blocco del traffico	Barriere		☐			Interdistanza		m
Monitoraggio traffico	Telecamere	☐	N°		Interdistanza		M	
	Rilevazione automatica incidente	☐	Conteggio veicoli					☐
	Velocità media traffico	☐	Tipologia veicoli					☐
Centro di controllo	Remoto	☐	In loco	☐		Outsourcing		☐
Sistema di gestione galleria	Assente	☐	Automatico	☐		Operatore		☐
	Ridondanza	☐	Client/server	☐		N° postazioni locali		
	Procedura emergenza standard	☐	Procedure emergenza diversificate	☐		Comunicaz. servizi soccorso		☐

Impianto elettrico	Tipologia rete	
	N° punti fornitura	
	Potenza complessiva installata	KW
	Potenza elettrica gruppo elettrogeno	KVA
	Numero gruppi elettrogeni	n°
	Potenza elettrica UPS	kVA
	Durata prevista UPS	Min
	Dispostivi sotto gruppo elettrogeno	
	impianto di alimentazione di emergenza	☐
	impianto di ventilazione della galleria per la gestione dei fumi generati da un evento di incendio,	☐
	impianto di ventilazione delle vie di fuga	☐
	impianto idrico antincendio	☐
	impianto Illuminazione diurna e notturna della galleria	☐
	Dispostivi sotto UPS	
	impianto di illuminazione notturna e di sicurezza	☐
	impianto di illuminazione delle vie di fuga	☐
	impianto di illuminazione centro di controllo e locali tecnici, segnaletica in galleria e nei tratti in prossimità degli imbocchi	☐
	impianto di sorveglianza	☐
	impianti di rilevazione incidenti ed incendio	☐
	sistema di gestione della galleria	☐
	Impianti di comunicazione	☐
Sistema Servizi Ausiliari	Circuito Aria Compressa	☐
	Altro:	☐

Studi Simulazione	Esistenti	SI	☐
		NO	☐
	Modelli Adottati	Modelli Zone	☐
		Modelli Campo	☐
	Suggerimenti		☐

Scheda 7.1	**COMPORTAMENTO AL FUOCO DELLA STRUTTURA**			
Costruzione				
Rivestimento	**Tipo calcestruzzo**			
	Resistenza a compressione	Mpa		
	Porosità			
	Additivi speciali	Fibre: polimeriche, metalliche		
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento	Mm		
	Materiale armatura			
	Carico di rottura	Mpa		
	Carico di rottura residuo	%	Temperatura	°C
	Spessore copriferro	Mm		
	Classe di resistenza strutturale	R		
	Resistenza spalling	Min		
Controsoffitto	Tipo calcestruzzo			
	Resistenza a compressione	Mpa		
	Porosità			
	Additivi speciali	Fibre: polimeriche, metalliche		
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento	Mm		
	Materiale tasselli di fissaggio			
	Carico di rottura	Mpa		
	carico di rottura residuo	%	Temperatura	°C
	Materiale armatura			
	Carico di rottura	Mpa		
	Carico di rottura residuo	%	Temperatura	°C
	Spessore copriferro	Mm		
	Classe di resistenza	REI		
	Resistenza spalling	Min		
Cunicoli **Sotto traccia**	Tipo calcestruzzo			
	Resistenza a compressione	Mpa		
	Porosità			
	Additivi speciali	Fibre: polimeriche, metalliche		
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento	Mm		
	Materiale armatura			
	Carico di rottura	Mpa		
	carico di rottura residuo	%	Temperatura	°C
	Spessore copriferro	Mm		
	Classe di resistenza	REI		
	Resistenza spalling	Min		

Vie di fuga	Tipo calcestruzzo			
	Resistenza a compressione	Mpa		
	Porosità			
	Additivi speciali	Fibre: polimeriche, metalliche		
	Materiale di rivestimento			
	Spessore rivestimento	Mm		
	Materiale armatura			
	Carico di rottura	Mpa		
	carico di rottura residuo	%	Temperatura	°C
	Spessore copriferro	Mm		
	Classe di resistenza	REI		
	Resistenza spalling	Min		
Locali tecnici	Centrali di ventilazione	Classe REI		
	Sale pompe	Classe REI		
	Locali quadri elettrici	Classe REI		
	Locali G.E.	Classe REI		
	Autorimesse non a cielo aperto	N° Veicoli		
		Classe REI		
Porte vie di fuga	Classe	REI	Larghezza	Cm
	Apertura a spinta < 200 N		Autochiusura	
Vernici	Tipo			
	Classe reazione al fuoco			
	Emissione sostanze tossiche		Temperatura limite	°C
Asfalto	Tipo rivestimento bituminoso		Drenante	
	Classe reazione al fuoco			
	Temperatura di rammollimento	°C	Pirolisi	°C

Tabella 7.2	COMPORTAMENTO AL FUOCO DEI DISPOSITIVI			
Ventilatori in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Serrande in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Canali in centrale	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Bocchette di estrazione	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Bocchette di immissione	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Acceleratori	Resistenza a temperatura	°C	min	C.R.F.
Cavi acceleratori	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cavi illum. emergenza	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cavi illum. vie di fuga	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cavi illum picchetti	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cavi impianto radio	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cavi rete monitoraggio	Durata in emergenza	min		C.R.F
Corpi illuminanti	Durata in emergenza	min		C.R.F
Corpi ill. emergenza	Durata in emergenza	min		C.R.F
Corpi ill. vie di fuga	Durata in emergenza	min		C.R.F
Corpi ill. picchetti	Durata in emergenza	min		C.R.F
Tubi impianto idrico	Durata in emergenza	min		C.R.F
Condotti imp. ventilazione	Durata in emergenza	min		C.R.F
Opacimetri	Durata in emergenza	min		C.R.F
Sensori CO	Durata in emergenza	min		C.R.F
Anemometri	Durata in emergenza	min		C.R.F
Sensori termici	Durata in emergenza	min		C.R.F
Supporti ventilatori	Durata in emergenza	min		C.R.F
Supporti corpi illum.	Durata in emergenza	min		C.R.F
Supporti segnaletica	Durata in emergenza	min		C.R.F
Trasformatori	Durata in emergenza	min		C.R.F
Gruppo continuità	Durata in emergenza	min		C.R.F
Gruppo elettrogeno	Durata in emergenza	min		C.R.F
Sezionatori in galleria	Durata in emergenza	min		C.R.F
Segnaletica	Durata in emergenza	min		C.R.F
Pulsantiere in galleria	Durata in emergenza	min		C.R.F
Strumentazione in campo	Durata in emergenza	min		C.R.F
Valvole sistema idrico	Durata in emergenza	min		C.R.F
Cassette idrante	Durata in emergenza	min		C.R.F

Scheda 8	**CARATTERIZZAZIONE DEGLI EVENTI INCIDENTALI**
Sinossi Incidentalità in galleria	
Numero di incidenti stradali	Periodo di riferimento
Numero di incidenti stradali con vittime	Periodo di riferimento
Numero di vittime per incidente	
Medio	Min - Max
Numero di eventi incidentali rilevanti	Periodo di riferimento
Numero di eventi incidentali rilevanti con vittime	Periodo di riferimento
Numero di vittime per di eventi incidentali rilevanti	
Medio	Min - Max

Serie Storiche			
Evento Incidentale Ricorrente	Descrizione sommaria:		
	Danni Strutturali	Tipo di danni	
		Valore dei danni (€)	
		Tempi di ripristino	
	Danni Infrastrutturali	Tipo di danni	
		Valore dei danni (€)	
		Tempi di ripristino	
	Danni Agli Utenti	Persone	Morti
			Feriti
			Coinvolti
		Mezzi	Leggeri
			Pesanti
			ADR
	Stima dei danni indiretti:		
Evento Incidentale Rlevante	Descrizione sommaria:		
	Danni Strutturali	Tipo di danni	
		Valore dei danni (€)	
		Tempi di ripristino	
	Danni Infrastrutturali	Tipo di danni	
		Valore dei danni (€)	
		Tempi di ripristino	
	Danni Agli Utenti	Persone	Morti
			Feriti
			Coinvolti
		Mezzi	Leggeri
			Pesanti
			ADR
	Stima dei danni indiretti:		

CARATTERIZZAZIONE EVENTI INCIDENTALI		
Condizioni Traffico Inizio Evento Incidentale		
Tipologia di Traffico	Leggero	☐
	Misto	☐
	Pesante	☐
Tipologia di Veicoli	Veicoli Leggeri	%
	Veicoli Pesanti	%
Regime di Traffico	Rado	☐
	Scorrevole	☐
	Congestionato	☐
Frequenza Ingresso Veicoli		veicoli/ora

Tipo Veicolo Incidentato	Automobile			☐
	Autocarro	Cassonato		☐
		Cisterna		☐
	Autobus			☐
	Autotreno	Motrice		☐
		Rimorchio	Cassonato	☐
			Cisterna	☐
	Locomotore Ferroviario			☐
	Carrozza Ferroviaria			☐
	Carro Merci			☐

Carico Trasportato		**Nome**	**Quantità**	**Numero Kembler**	**Numero ONU**
Esplosivi					
Gas Infiammabili	Leggeri				
	Pesanti				
Liquidi Infiammabili					
Solidi Infiammabili					
Comburenti – Perossidi					
Sostanze Corrosive					
Sostanze Radioattive					
Sostanze Tossico-nocive					
Inerti					

Caratteristiche evento di incendio	
Carico di incendio	MJ
Potenza termica generata	MW
Durata fase di crescita	Min
Durata fase stazionaria	Min
Durata evento	Min
Portata di fumi generata	m^3/s
Temperatura massima raggiunta dai fumi	°C

Emergenza

Canna 1 fornice di ingresso (se si)			
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2 SI ☐ NO ☐		Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello	
Distanza tra fornice e cancello		Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice	
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza			
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza		Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza	
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza			
Tipo di custodia			
Canna 1 fornice di uscita (se si)			
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2 SI ☐ NO ☐		Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello	
Distanza tra fornice e cancello		Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice	
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza			
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza		Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza	
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza			
Tipo di custodia			
Tipo di custodia			
Canna 2 fornice di ingresso (se si)			
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2 SI ☐ NO ☐		Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello	
Distanza tra fornice e cancello		Tempo medio di percorrenza cancello-fornice	
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza			
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza		Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza	
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza			
Tipo di custodia			
Canna 2 fornice di uscita (se si)			
Esiste interoperabilità tra Canna 1 e Canna 2 SI ☐ NO ☐		Distanza dal fornice dell'innesto della viabilità di emergenza strada al cancello	
Distanza tra fornice e cancello		Tempo medio di percorrenza tra cancello e fornice	
Localizzazione della superficie per la logistica di emergenza			
Dimensione della superficie per la logistica di emergenza		Tempi e mezzi per l'attivazione operativa della superficie per la logistica di emergenza	
Attrezzature, impianti e dotazioni esistenti in piazzale di emergenza			
Tipo di custodia			
Tipo di custodia			
Esiste piano di emergenza del Gestore	SI ☐ NO ☐	**Anno di aggiornamento / revisione**	
Esiste piano di emergenza del Esterno	SI☐ NO ☐	**Anno di aggiornamento / revisione**	
Osservazioni			

Canna 1 Portale Ingresso			
Tipo di condotta di drenaggio	Retro rivestimento		
	Longitudinale		
Tipo di reticolo di drenaggio	Retro rivestimento		
	Longitudinale		
Posizione del reticolo di drenaggio	Retro rivestimento		
	Longitudinale		
Condotta di drenaggio delle acque di piazzale	Ø		
Vasche per la raccolta di acque di piazzale inquinate	No □	Si □	Altezza
			Larghezza
			Lunghezza
Canna 1 Portale Uscita			
Tipo di condotta di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Tipo di reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Posizione del reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Condotta di drenaggio delle acque di piazzale	Ø		
Vasche per la raccolta di acque di piazzale inquinate	No □	Si □	Altezza
			Larghezza
			Lunghezza

Canna 2 Portale Ingresso			
Tipo di condotta di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Tipo di reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Posizione del reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Condotta di drenaggio delle acque di piazzale	Ø		
Vasche per la raccolta di acque di piazzale inquinate	No □	Si □	Altezza
			Larghezza
			Lunghezza
Canna 2 Portale Uscita			
Tipo di condotta di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Tipo di reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Posizione del reticolo di drenaggio	Verticale		
	Orizzontale		
Condotta di drenaggio delle acque di piazzale	Ø		
Vasche per la raccolta di acque di piazzale inquinate	No □	Si □	Altezza
			Larghezza
			Lunghezza
Descrizione sommaria della Geologia attraversata:			
Descrizione sommaria delle Geostrutture attraversate:			
Descrizione dell' idrogeologia di contorno:			
Volumi/Impianti/Attrezzature esistenti in galleria, con accesso diretto dal cavo transitabile aventi destinazione d'uso differenti			
Descrizione sommaria			
Descrizione delle condotte ed impianti di interferenza			
Indicazione dei responsabili/gestori			

Allegato 3 Gruppi Omogenei di Requisiti Minimi di Sicurezza

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

Gruppo II			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Unidirezionale VT≤2000 [Veic/corsia] L > 1000 [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

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

Gruppo IV			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Unidirezionale VT > 2000 [Veic/corsia] L (1000 - 3000) [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Uscite di emergenza ogni 500 m
			Gallerie trasversali ogni 1500 m
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Ventilazione	Ventilazione meccanica
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Ritrasmissioni radio
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Gruppo V			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Unidirezionale V T > 2000 [Veic/corsia] L > 3000 [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Uscite di emergenza ogni 500 m
			Gallerie trasversali ogni 1500 m
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Ventilazione	Ventilazione meccanica
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Ritrasmissioni radio
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Sistema	Centro di controllo
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
			Semafori in galleria ogni 1000 m
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

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

Gruppo VII			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Bidirezionale VT≤2000 [Veic/corsia] L > 1000 [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Gruppo VIII			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Bidirezionale 2000 < VT < 10000 [Veic/corsia] L (500-1000) [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Uscite di emergenza ogni 500 m
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Gruppo IX			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Bidirezionale 2000 < VT < 10000 [Veic/corsia] L (1000-3000) [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Uscite di emergenza ogni 500 m
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Piazzole di sosta ogni 1000 m
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Ventilazione	Ventilazione meccanica
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Ritrasmissioni radio
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Estintori
			Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Gruppo X			
Parametri di Sicurezza	*Misure*	*Sistemi di sicurezza*	*Requisiti Minimi di Sicurezza*
Bidirezionale 2000 < VT < 10000 [Veic/corsia] L > 3000 [m]	**Misure Strutturali**		Dislivelli ≤ 5%
			Banchine pedonabili di emergenza
			Uscite di emergenza ogni 500 m
			Gallerie trasversali ogni 1500 m
			Attraversamento spartitraffico imbocchi
			Piazzole di sosta ogni 1000 m
			Drenaggio liquidi infiammabili e tossici
			Resistenza al fuoco delle strutture
	Misure Impiantistiche	Illuminazione	Illuminazione Ordinaria
			Illuminazione Sicurezza
			Illuminazione Emergenza
		Ventilazione	Ventilazione meccanica
			Ventilazione (semi) trasversale
			Bocchette di estrazione separate
			Controllo della velocità
		Comunicazione	Altoparlanti nei rifugi ed alle uscite
			Messaggi radio agli utenti
			Ritrasmissioni radio
			Stazioni di emergenza
		Rilevazione	Rilevamento automatico incidenti
			Rilevamento automatico incendi
			Telecamere
		Gestione Incendio	Erogazione idrica
			Idranti ogni 250 m
			Erogazione idrica
		Gestione Sistema	Centro di controllo
		Gestione Traffico	Segnaletica stradale
			Semafori prima degli ingressi
			Semafori in galleria ogni 1000 m
		Alimentazione elettrica	Alimentazione elettrica Ordinaria
			Alimentazione elettrica di emergenza
			Resistenza e reazione al fuoco dei componenti dei sistemi di sicurezza

Allegato 4 Analisi statistica eventi incidentali in galleria

Serie storiche

Le ricerche mirate a modellare l'incidentalità stradale, reperibili nella letteratura libera, possono essere suddivise in due gruppi:

- le ricerche finalizzate a quantificare i fattori di rischio non connessi al comportamento degli utenti, ovvero, i fattori di rischio connessi alle caratteristiche geometriche del tracciato stradale, alle caratteristiche del traffico, alle condizioni atmosferiche;
- le ricerche finalizzate a quantificare l'efficacia delle azioni intraprese dalle autorità competenti per ridurre i fattori di rischio connessi al comportamento degli utenti, ovvero, la regolamentazione del traffico ed il divieto al consumo di alcool e droghe.

Le distribuzioni delle frequenze di accadimento di eventi incidentali con fatalità come rilevate su uno specifico tratto di strada, sono analizzate applicando modelli regressivi di tipo poissoniano e di tipo binomiale negativo.
Le proprietà dei modelli citati suggeriscono di utilizzare i modelli poissoniani come modelli di interpolazione preliminare e modelli binomiali negativi come modelli di interpolazione alternativi in presenza di dispersione significativa dei dati rilevati.
L'applicazione di una procedura di analisi statistica basata su un modello regressivo binomiale negativo sui dati di incidentalità rilevati su base annua e per tratti omogenei della rete stradale nazionale ha fornito le seguenti stime per i coefficienti del modello e per la elasticità delle variabili di interesse:

Variabile	Coefficiente	
Costante	-2.340	
Lunghezza (km)	0.842	Elasticità
Numero di corsie	0.367	**0.81**
Allineamento verticale Pendenza (≥ 3%)	0.353	0.30
Allineamento verticale Curvatura (≥ 6%)	-0.538	-0.71
ADT per corsia (1000 v)	$2.8\ 10^{-2}$	**0.58**
% VP (≥ 30%)	0.268	0.24
Picco orario (≥ 0.95)	-0.346	-0.41
Nebbia	$-9.4\ 10^{-2}$	**-0.10**
Precipitazioni (mm)	$-1.6\ 10^{-4}$	-0.35

L'aumento del numero e della lunghezza delle gallerie, l'incremento del traffico, le caratteristiche chimico-fisiche e merceologiche dei carichi trasportati e dei materiali con i quali sono costruiti gli attuali mezzi di trasporto sono i principali fattori che hanno contribuito ad aumentare la probabilità

di accadimento di eventi di incendio in galleria, la difficoltà ed il rischio connesso con l' autosalvataggio ed esodo degli utenti, l'intervento ad opera degli addetti al soccorso ed allo spegnimento.
Gli eventi di incendio caratterizzati da elevate conseguenze verificatisi in gallerie stradali in differenti paesi sono sintetizzati in Tabella 1.
Gli eventi incidentali, identificati come rilevanti nell'ambito dell'analisi di sicurezza della struttura galleria, sono gli eventi di incendio. La configurazione del dominio all'interno del quale l'evento di incendio si sviluppa, amplifica i danni sia alle persone che alle strutture che agli impianti.
Gli eventi di incendio in galleria sono eventi caratterizzati da rara probabilità di accadimento e elevate conseguenze.
Lo sviluppo di un incendio non sempre è una diretta conseguenza della collisione fra due veicoli. Spesso la causa inducente è da ricercarsi nella rottura del circuito di alimentazione del carburante, in inconvenienti ai circuiti elettrici, in guasti di tipo meccanico.
I mezzi pesanti costituiscono, dal punto di vista statistico e per caratteristiche intrinseche, i potenziali focolai di eventi di incendio caratterizzati da elevato rilascio di energia termica e conseguente intensa generazione di fumi. Un maggior numero di circuiti elettrici e parti meccaniche, una maggiore capacità del serbatoio del carburante, l'entità e le caratteristiche merceologiche del carico trasportato, costituiscono un aggravio di rischio in caso d'incidente o di guasto.
L'esame dei danni riportati in Tabella 1 evidenzia come l'accadimento di un evento di incendio in galleria determini:

- danno grave alla salute degli utenti e dei soccorritori (intossicazione, soffocamento, ustioni);
- danno alla struttura (sfogliatura e distacco del calcestruzzo, surriscaldamento delle armature metalliche, crollo dei controsoffitti, pavimentazione stradale);
- danno grave agli impianti installati in galleria (acceleratori, corpi illuminanti, cablaggi, sensori controllo e monitoraggio);
- danno grave ai veicoli coinvolti ed ai beni trasportati;
- danno economico derivante dall'interruzione del servizio.

ANNO	GALLERIA (LUNGHEZZA)	PAESE	VEICOLI ORIGINE INCENDIO (CARICO)	CAUSA PROBABILE	DURATA EVENTO	DANNO	
						Persone	Struttura
1968	Moorfleet (243 m)	Amburgo Germania	1 rimorchio di VP (14 t. imballi polietilene)	Guasto ai freni	1 h 30 min	Nessuna	Danno grave per 34 m
1975	Guadarrama (3.330 m)	Guadarrama Spagna	1 VP (contenitori di resine vegetali)	Sconosciuta	2 h 45 min	Nessuna	Danno grave per 210 m
1976	B6 (430 m)	Parigi Francia	1 VP (16 t. rotoli poliestere)	Sconosciuta	1 h	12 intossicati	Danno grave per 150 m
1978	Velsen (770 m)	Velsen Olanda	2 VP + 4 VL	Tamponamento	1 h 20 min	5 morti 5 feriti	Danno grave per 30 m
1983	Fréjus (12.868 m)	Modane Francia-Italia	1 VP (materie plastiche)	Rottura cambio	1 h 50 min	Nessuna	Danno grave per 200 m
1984	Felbertauern (5.130 m)	Austria	1 autobus	Grippaggio dei freni	1 h 30 min	Nessuna	Danno al soffitto ed agli impianti per 100 m

1984	Gotthard (16.321 m)	Goeschenen Svizzera	1 VP rotoli di material plastica	Motore	24 min	Nessuna	Danno grave per 30 m
1987	Gumfens (340 m)	Berna Svizzera	1 VP *1 VP + 1 furgone*	Collisione	2 h	2 morti	Danno leggero
1993	Serra Ripoli (442 m)	Bologna Italia	1 VL + 1 VP (rotoli di carta) *3 VP + 10 VL*	Collisione	2 h 30 min	4 morti / feriti	Danno grave al rivestimento
1994	Gotthard (16.321 m)	Goeschenen Svizzera	1 VP (biciclette imballate con platica e cartone)	Cedimento piano di carico con strisciamento su ruote	2 h	Nessuna	Danno grave al soffitto, pavimentazione e dotazioni impiantistiche, chiusura per 2.5 giorni
1995	Pfänder (6.719 m)	Austria	1 VP + 1 furogne + 1 VL	Collisione	1 h	3 morti	Danno grave al soffitto, e dotazioni impiantistiche, chiusura per 2.5 giorni
1996	Isola delle Femmine (150 m)	Italia (Sicilia)	1 autocisterna (gas liqueefatto) + 1 autobus *18 VL*	Collisione, esplosione	Sconosciuta	5 morti 20 feriti	Danno grave al ricoprimento ed alle dotazioni impiantistiche
1999	Tunnel Monte Bianco (11.600 m)	Italia - Francia	1 VP (grassi vegetali refrigerati) *7 VP +11 VL*	Sconosciuta	72 h	39 morti	Danno grave al ricoprimento ed alle dotazioni impiantistiche per 700 m
1999	Tauern Tunnel (8.552 m)	Austria (Flachau)	1 VP (vernici)	Tamponamento	Unknown	12 morti	Danno grave al ricoprimento ed alle dotazioni impiantistiche
2000	Gothard Tunnel (16.321 m)	Svizzera	1 VP (pneumatici) *1VP*	Collisione frontale	36 h	11 morti	Danno grave al ricoprimento ed alle dotazioni impiantistiche per 300 m
2003	Colli berici	Italia	1 Autobus	Ribaltamento		6 morti 50 feriti	
2005	Fréjus (12.868 m)	Italia-Francia	1 VP (pneumatici) *2 VP*	Guasto al motore	15 h	2 morti 20 feriti	Danni al controsoffitto ed alle dotazioni impiantisitche per 50 m

Tabella 1 eventi di incendio caratterizzati da elevate conseguenze verificatisi in gallerie stradali in differenti paesi

Frequenza di accadimento degli eventi incidentali

Le statistiche relative agli eventi di incendio verificatisi nelle gallerie stradali e sulla rete stradale soffrono dei seguenti limiti:

- numero ridotto di eventi;
- registrazione non obbligatoria degli eventi incidentali ad opera delle forze dell'ordine preposte al controllo della circolazione stradale;
- accessibilità ridotta alle banche dati delle compagnie assicurative.

I tassi di accadimento degli eventi di incendio (T_i) sono per prassi riferiti al numero di veicoli al chilometro, in funzione della tipologia dei veicoli coinvolti e della tipologia del tratto stradale.

La frequenza degli eventi di incendio in una galleria stradale può essere stimata attraverso la formula:

$$f_i = T_i(365 * VT * L)$$

dove VT è il traffico medio giornaliero annuo, L è la lunghezza della galleria.

Gli scarti tra le frequenze calcolate secondo la relazione introdotta per gallerie diverse sono elevati stante la dispersione dei parametri VT, lunghezza L, tassi di accadimento T_i.

La frequenza di accadimento di un evento di incendio in galleria può essere espressa in diversi modi:

- numero di incendi per galleria per anno
- numero di incendi per numero di veicoli e per chilometro.

La successiva tabella sintetizza i tassi di accadimento di eventi incidentali e di eventi di incendio in galleria come determinati a partire da dati reperiti nella letteratura libera.

Tasso di accadimento degli incidenti in galleria:	
Incidenti con soli danni materiali	
Tunnel urbani	da 40 a 150 per 10^8 veicoli.km
Tunnel autostradali	da 30 a 80 per 10^8 veicoli.km
Tunnel extra-urbani bi-direzionali	da 20 a 100 per 10^8 veicoli.km
Incidenti con danni alle persone	
Tunnel urbani	da 10 a 50 per 10^8 veicoli.km
Tunnel autostradali	da 0 a 15 per 10^8 veicoli.km
Tunnel extra-urbani bi-direzionali	da 0 a 20 per 10^8 veicoli.km
Feriti	
Tunnel urbani	da 10 a 50 per 10^8 veicoli.km
Tunnel autostradali	da 0 a 15 per 10^8 veicoli.km
Tunnel extra-urbani bi-direzionali	da 0 a 20 per 10^8 veicoli.km
Morti	
Tunnel urbani	da 0 a 3 per 10^8 veicoli.km
Tunnel autostradali	da 0 a 1 per 10^8 veicoli.km
Tunnel extra-urbani bi-direzionali	da 0 a 2 per 10^8 veicoli.km
Tasso di accadimento degli eventi di incendio in galleria:	
tunnel urbani	da 0 a 10 per 10^8 veicoli.km
Tunnel autostradali	da 0 a 10 per 10^8 veicoli.km
Tunnel extra-urbani bi-direzionali	da 0 a 15 per 10^8 veicoli.km

La successiva tabella sintetizza valori indicativi per i tassi di accadimento di eventi di incendio in galleria derivanti da collisioni in funzione della tipologia dei veicoli sorgente e della tipologia del tracciato.

Tipologia del veicolo	**Tipologia del tracciato**	
	Autostradale	Stradale
VL	0,07	0,2
VP	0,05	0,15

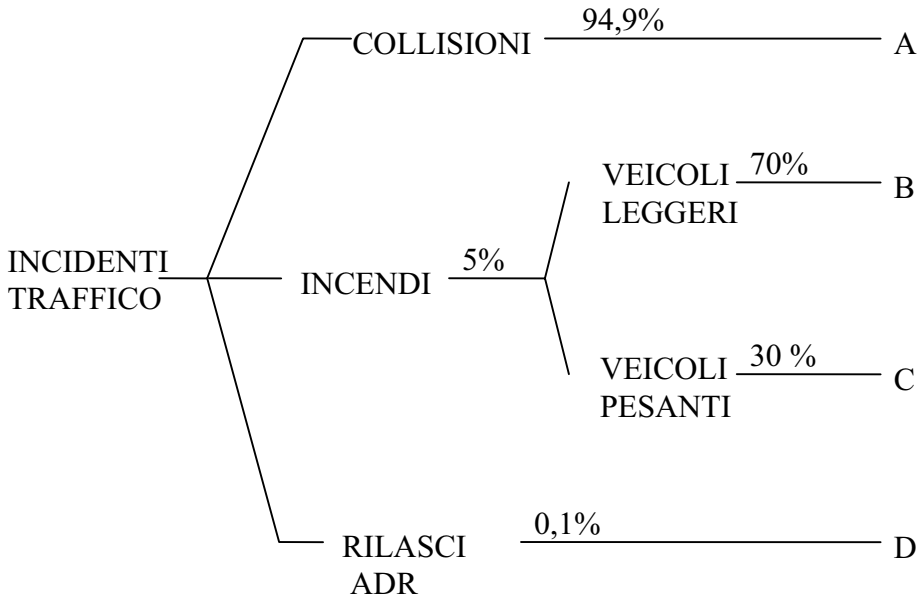
Valori riferiti a 10^8 veicoli km

La stima delle frequenze di accadimento degli eventi di incendio in una galleria può essere effettuata dall'analisi statistica di serie storiche relative a gallerie in esercizio, utilizzando l'approccio bayesiano per determinare la densità di distribuzione degli eventi di incendio per diverse categorie di veicoli.
Le densità di distribuzione adottate per le diverse categorie di veicoli sono:

10^8 Veh*km	AUTOVETTURE	DISTRIBUZIONE UNIFORME {4.5} (2; 5)
	VAN – BUS – HGV	DISTRIBUZIONE POISSONIANA {9.2} (8.5; 9.5)
	VEICOLI ADR	DISTRIBUZIONE GAUSSIANA {21, 3.5} (19; 21, 3.3; 3.7)

N.B. I tassi di accadimento indicati in tabella sono da riferirsi al volume di traffico ripartito secondo la sua composizione.

La successiva figura mostra l'albero degli eventi per gli incidenti da traffico nella galleria considerata.



I valori indicati possono essere utilizzati in assenza di dati relativi ad una specifica galleria.
I valori indicati non possono essere utilizzati qualora la galleria in esame sia caratterizzata da tassi di incidentalità anomali.
Le probabilità ed i tassi di accadimento riportati devono essere intese come valori indicativi suscettibili di modifica da parte della commissione permanente per le gallerie.

Allegato 5 Standardizzazione del termine di sorgente

Il termine di sorgente, nella modellazione di un evento di incendio è quantificato utilizzando come grandezza caratteristica la potenza termica generata dai focolai potenziali identificati con i veicoli ammessi al transito.
La scelta della potenza termica generata dai focolai potenziali come grandezza caratteristica è giustificata dalle indicazioni derivanti dallo stato attuale delle conoscenze inerenti la dinamica degli eventi di incendio.
L'incendio di un veicolo si assume assimilabile ad un processo caratterizzato da una evoluzione rapida.
La dizione evoluzione rapida di un evento di incendio è mutuata dalla prassi dell'ingegneria antincendio per gli edifici.
La maggiorazione introdotta sulla velocità di evoluzione dell'evento si giustifica, nell'ottica dell'approccio prestazionale proposto come funzionale alla verifica della resistenza al fuoco dei dispositivi costituenti i sistemi di sicurezza, delle procedure di gestione degli scenari incidentali, delle procedure di esodo degli utenti.
Lo sviluppo di un evento di incendio può essere modellato adottando funzioni diverse ed identificando intervalli temporali caratteristici dell'evoluzione dell'evento.
Funzioni analitiche idonee alla rappresentazione dello sviluppo di un evento di incendio possono essere tanto funzioni definite a tratti quanto funzioni continue.
La scelta è subordinata alla tipologia dell'evento da modellare.
Esempi paradigmatici di funzioni di rappresentazione sono:

- funzioni triangolari,
- funzioni trapezoidali,
- funzioni esponenziali,
- curve di Gompertz.

Le funzioni triangolari sono idonee alla caratterizzazione di eventi di incendio relativi a singoli veicoli assumendo che il processo di propagazione ai veicoli adiacenti (effetto domino) sia caratterizzato da una probabilità di accadimento trascurabile.
Le funzioni trapezoidali sono idonee alla caratterizzazione di eventi di incendio per i quali la probabilità di accadimento dell'effetto domino può essere considerata non trascurabile.
L'instaurazione dell'effetto domino è condizionata da:

- distribuzione spaziale dei veicoli in prossimità del focolaio principale, determinata dalla dinamica dell'evento iniziatore,
- caratteristiche fisico-chimiche e merceologiche e le modalità di stoccaggio del carico determinanti la cinetica di combustione e la potenza generata dal focolaio,
- regimi di ventilazione caratterizzanti lo scenario che possono influenzare la stechiometria e la cinetica della combustione.

Le grandezze rilevanti nella caratterizzazione del termine di sorgente possono esser identificate con:

- il potere calorifico dei materiali combustibili,
- la velocità di combustione,
- la durata dell'evento.

La caratterizzazione del fenomeno della combustione di focolai costituiti da veicoli di stazza medio-piccola è attualmente oggetto di ricerca presso diversi laboratori pubblici e privati.
La caratterizzazione del processo di combustione di focolai costituiti da veicoli pesanti è in fase embrionale di sviluppo dal punto di vista della ricerca teorica e sperimentale.
I dati disponibili sono derivati da un numero ridotto di prove condotte su scala reale finalizzate ad obiettivi diversi dalla caratterizzazione del processo di combustione.
La caratterizzazione del termine di sorgente per un evento di incendio nel quale sia coinvolto un veicolo pesante non può essere condotta su base rigorosa a causa della mancanza di procedure assodate e sostanziate dal punto di vista scientifico.
L'attuale sviluppo della ricerca suggerisce una standardizzazione ad interim dei termini di sorgente avulsa dalla descrizione quantitativa del processo di combustione dei focolai costituiti da autoveicoli pesanti.
La standardizzazione ad interim potrebbe essere attuata introducendo il concetto di "focolaio equivalente" quantificato attraverso "modelli di sorgente equivalente" definiti per macro categorie di veicoli in funzione del carico prevalentemente trasportato ed esclusivamente mirati ad una caratterizzazione energetica delle diverse tipologie di focolai di incendio possibili in galleria.
La caratterizzazione del termine di sorgente dovrebbe includere la quantificazione, in termini di composizione e tasso di generazione, dei prodotti della combustione tenendo in debito conto le interazioni tra "il ciclo del combustibile" ed il "ciclo del comburente" in un ambiente confinato, responsabili dei pericoli potenziali ai quali possono essere soggetti gli utenti e le squadre di soccorso.
La caratterizzazione potrebbe essere effettuata assumendo come grandezze rappresentative:

- il deficit di ossigeno,
- la produzione di monossido di carbonio,
- la produzione di vapore acqueo,
- la tossicità specifica del carico e dell'involucro.

Lo stato fisico dei fumi potrebbe essere caratterizzato assumendo come grandezze rappresentative:

- la temperatura media,
- il coefficiente di assorbimento,
- il coefficiente di diffrazione,
- l'opacità.

La caratterizzazione energetica dei focolai in termini di potenza termica generata accoppiata a modelli semiempirici di rappresentazione del pennacchio di fumi generati dal focolaio è correntemente adottata per riprodurre i valori di portata dei fumi utilizzati nella fase preliminare di dimensionamento degli impianti di ventilazione.
I focolai di incendio costituiti da veicoli possono essere altresì caratterizzati formulando e risolvendo modelli di complessità formale crescente in funzione del livello di rappresentazione richiesto quali:

- modelli mono-dimensionali di rappresentazione del fenomeno della combustione omogenea atti a descrivere l'evoluzione di focolai costituiti da pozze di combustibile,
- modelli bi-tridimensionali di rappresentazione del fenomeno della combustione eterogenea atti a descrivere l'evoluzione di focolai costituiti da materiali eterogenei in fase solida e riprodurre il fenomeno della combustione superficiale.

La potenza termica generata da un focolaio costituito da autoveicoli può essere stimata a partire dall'energia posseduta dal combustibile attraverso la seguente relazione semi-empirica determinata correlando dati sperimentali ottenuti nell'ambito di prove condotte su scala reale in condizioni di ventilazione naturale:

$$\dot{Q} = A + a \cdot E^{b}$$

I risultati ottenibili dalla relazione riportata sono sintetizzati nella successiva tabella.

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

dove E è l'energia attribuita ai singoli componenti costituenti il focolaio, P_T è l'energia complessiva attribuita al focolaio, $\dot{Q}_M$ è la potenza massima generata dal focolaio.

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

La successiva tabella sintetizza i parametri utili per la caratterizzazione energetica dei focolai di incendio in galleria correntemente utilizzati nel dimensionamento del sottosistema di ventilazione.

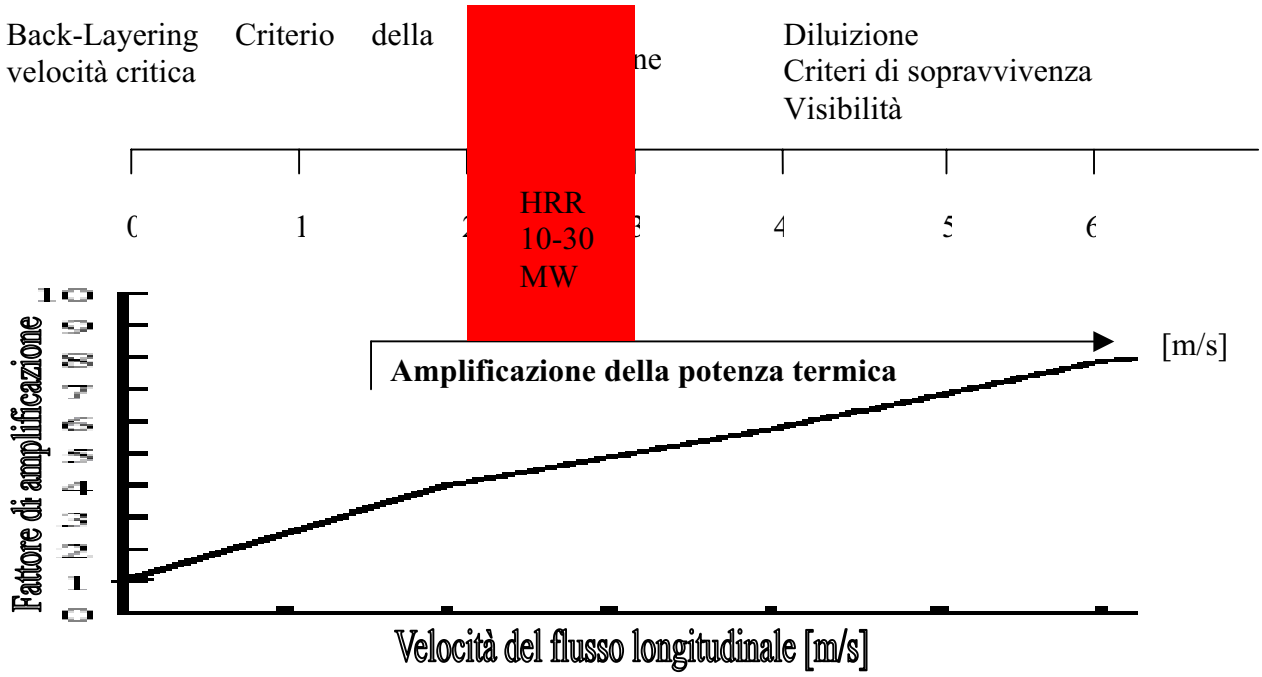
Tipologia della sorgente	E	$\dot{Q}_M$	t_c	t_{max}	t_e	v_a	$\dot{G}_f$	$\dot{G}_f^*$
	[MJ]	[MW]	[min]	[min]	[min]	[m/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
2-3 Autovetture	15000 18000	8	5	20-25	20	2	30	30
1 furgone	40000 65000	15	5	30	15-20	2.5	50	50-70
1veicolo pesante	125000 150000	30-50	10	50-60	30	3	80-120	110-250
1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

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, correntemente indicata come portata di estrazione.

La portata di estrazione è determinata attraverso la relazione:
$\dot{G}_f^* = A(v_a + 1)$
dove A è la sezione della galleria.

I valori riportati devono essere considerati valori di confronto e non essere assunti a dettati progettuali.
La successiva figura esemplifica l'effetto della velocità del flusso d'aria in galleria sulla dinamica del focolaio ed evidenzia come essa possa modificare in modo sostanziale il flusso del pericolo all'interno della struttura.



Lo sviluppo di un evento di incendio, essendo stati indicati i tempi caratteristici di evoluzione del fenomeno, può essere modellato con funzioni triangolari, trapezoidali, esponenziali.
Una rappresentazione analitica della fase di crescita di un evento di incendio può essere ottenuta ipotizzando che esso evolva secondo un modello t^2 definito dall'equazione:

$\dot{Q}(t) = \alpha t^2$
dove α è un idoneo coefficiente di crescita e t è il tempo.

La successiva tabella sintetizza i parametri utili per la caratterizzazione del fenomeno della combustione.

Consumo di ossigeno	1 kg per 13 MJ di combustibile bruciato

Produzione di CO_2	0,1 kg/s per 1 MW
Produzione di CO *(dipendente dal fattore di ventilazione)*	$[CO_2]/[CO]$ = 5 per combustione in difetto d'aria 25 per combustione in eccesso d'aria

Le curve rappresentative dei parametri:

- consumo di ossigeno,
- produzione di anidride carbonica,
- produzione di monossido di carbonio,
- possono essere tracciate utilizzando i fattori di consumo e di produzione indicati, essendo nota e fissata la curva di evoluzione della potenza termica generata dal focolaio.

Opacità dei fumi

Il coefficiente di estinzione in galleria può essere stimato dalla seguente espressione:

$$k = 83000 \frac{[CO_2]}{T_{gas}} \quad [m^{-1}]$$

dove $[CO_2]$ è la frazione in volume di anidride carbonica nei prodotti della combustione e T_{gas} [K] è la temperatura media della miscela aria-fumi valutata in una generica sezione trasversale della galleria.
La distanza di visibilità può essere determinata dalla relazione:

$$d = \frac{C}{K}$$

con

$$2 \le C \le 6$$

dove la costante C è funzione delle condizioni di illuminazione e contrasto dei pannelli di segnalazione.
Il tasso di evaporazione di composti chimici liquidi e gassosi liquefatti che generano una pozza in conseguenza di un evento di sversamento può essere stimato dalla relazione:

$$ER = 2.32 * 10^{-7} \left[\left(M * A_p * p_v \right) / T_a \right] v_a^{0.8} \text{ [kg/s]}$$

dove ER è il tasso di evaporazione, M è il peso molecolare del composto [kg/kmol], A_p è l'area della pozza [m^2], p_v è la tensione di vapore [Pa], T_a è la temperatura dell'aria ambiente, v_a è la velocità dell'aria ambiente.

Allegato 6 Eventi critici e probabilità di accadimento

La determinazione del rischio associato ad una galleria richiede siano individuati:

- gli insiemi di eventi critici rilevanti pertinenti al sistema,
- le probabilità di accadimento degli eventi critici rilevanti,
- le conseguenze ascrivibili agli insiemi di eventi critici rilevanti.

Gli insiemi di eventi critici rilevanti per la valutazione del livello di sicurezza del sistema galleria stradale sono identificati con eventi caratterizzati da basse probabilità di accadimento ed elevate conseguenze:

- 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.

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.

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.
Le probabilità di accadimento di eventi critici rilevanti di magnitudo diverse sono modellate da specifiche funzioni di distribuzione per tipologia di veicoli coinvolti.
Eventi critici rilevanti appartenenti ad un determinato insieme determinano l'instaurarsi di fenomeni termo-chimici e fluidodinamici specifici nell'intensità, nell'estensione, nella durata, negli effetti.
L'evoluzione dei fenomeni di trasporto di massa ed energia e l'entità degli effetti da essi derivanti sulla salute degli utenti e degli addetti al soccorso, condizionate dall'affidabilità e dall'efficacia dei sistemi di protezione e mitigazione adottati, determina il flusso del pericolo nella struttura e le conseguenze sulla popolazione esposta in regioni diverse della galleria .

Gli eventi critici rilevanti devono essere:

- scelti in numero ridotto,
- caratterizzati da un idoneo indice di pericolosità dipendente dalla tipologia dei veicoli coinvolti,
- compatibili con le regole di circolazione previste per la struttura,
- includenti le caratteristiche geometrico-architettoniche essenziali della struttura e le specificità derivanti dalla localizzazione nell'ambiente.

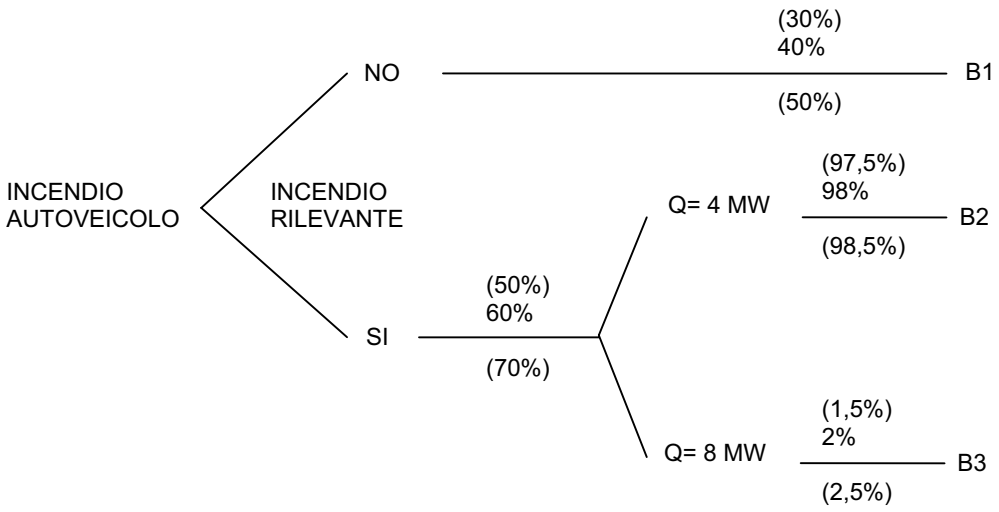
Eventi di incendio da veicoli non-ADR

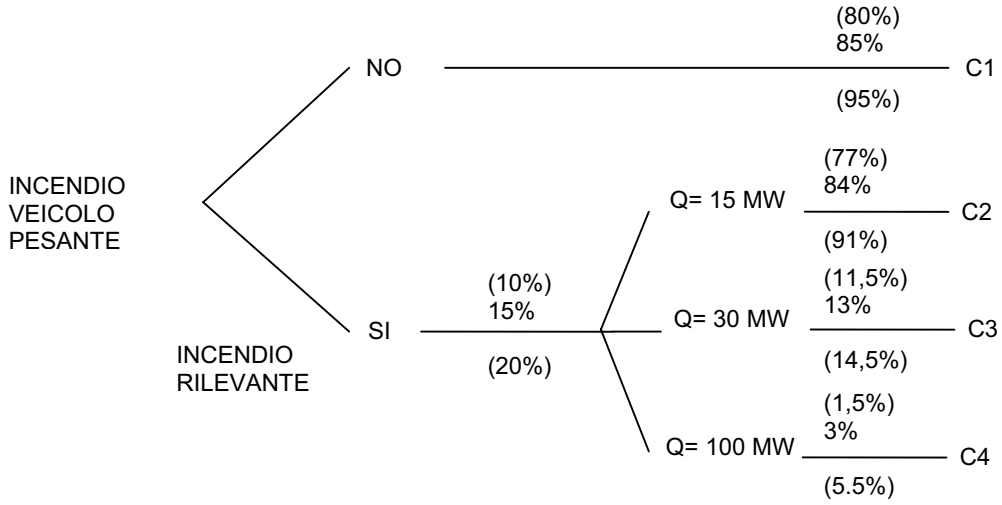
La successiva tabella sintetizzano gli elementi essenziali nella caratterizzazione degli eventi critici rilevanti tipo incendio.

	Autovettura	**Furgone**	**Autobus**	**Veicolo pesante<10 t**	**Veicolo pesante>10 t**
Allestimenti	Incendio	Incendio	Incendio	Incendio	Incendio
Alimentazione dei veicoli	Incendio	Incendio	Incendio	Incendio	Incendio
Carico trasportato combustibile di classe A		Incendio (modalità di stoccaggio)		Incendio (modalità di stoccaggio)	Incendio (modalità di stoccaggio)
Carico trasportato combustibile di classe B				Sversamento Incendio	Sversamento Incendio
Effetto domino (veicoli coinvolti)	4	3	2	2	2

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 e rappresentate utilizzando una tecnica albero degli eventi per due categorie di veicoli:

- veicoli leggeri
- veicoli pesanti. .





La variabilità dei dati sulla potenza termica generata da un focolaio costituito da un autobus suggerisce di adottare nell'analisi di rischio:

Potenza massima focolaio

Distribuzione triangolare

$\dot{Q}_M(BUS)$ $[MW]$

[20,30,35]

Modello di crescita t^2

Distribuzione triangolare

$\alpha(BUS)$ $[kW/s^2]$

[0,08,0,1,0,13]

(Ultra Fast)

Energia Focolaio

Distribuzione uniforme

$E(BUS)$ $[GJ]$

[min = 40 max = 55]

La caratterizzazione energetica del focolaio costituito da un veicolo pesante costituisce un ulteriore esempio dell'attività di selezione di un valore rappresentativo ovvero della definizione di una funzione di distribuzione rappresentativa della potenza termica generata che è necessario svolgere data l'elevata incertezza sui valori proposti in letteratura.

Prove effettuate nel Runehamar- Tunnel (2003) indicano come "valore record" per la potenza termica massima:

$\dot{Q}_M(HGV) = 200[MW]$

L'intervallo di variazione della potenza termica massima generata da un focolaio costituito da un veicolo pesante, come determinato dai dati reperiti in letteratura risulta essere variabile entro l'intervallo:

$15 \le \dot{Q}_M(HGV) \le 150[MW]$

Il tempo stimato come necessario per raggiungere i valori massimi di potenza risulta essere pari a:
$t_c = 13[\text{min}]$

I coefficienti di crescita corrispondenti risultano essere:
$0.025 \le \alpha \le 0.215[KW/s^2]$

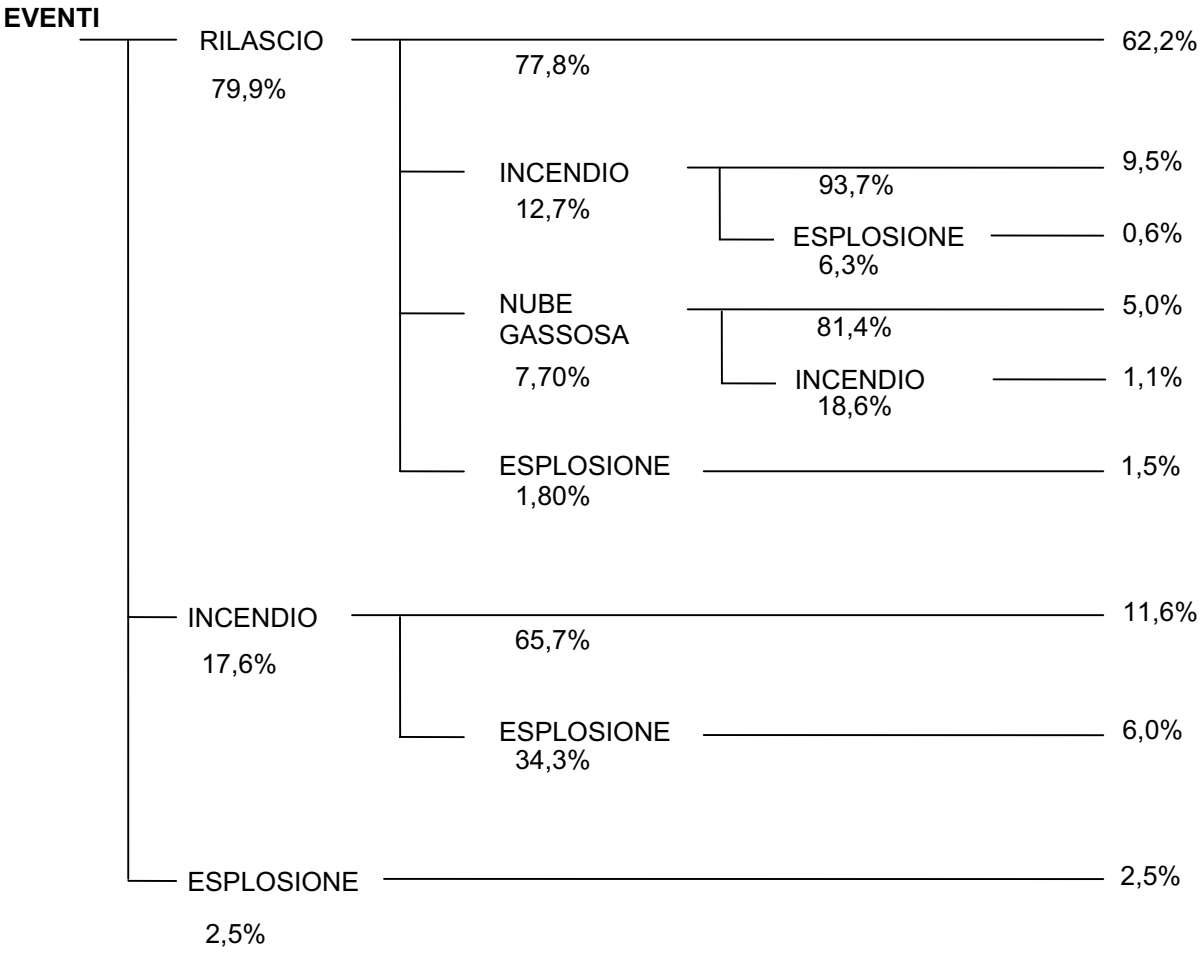
L'energia associata al focolaio di potenza inferiore ed al focolaio di potenza superiore risultano essere:
$60 \le E \le 90[GJ]$

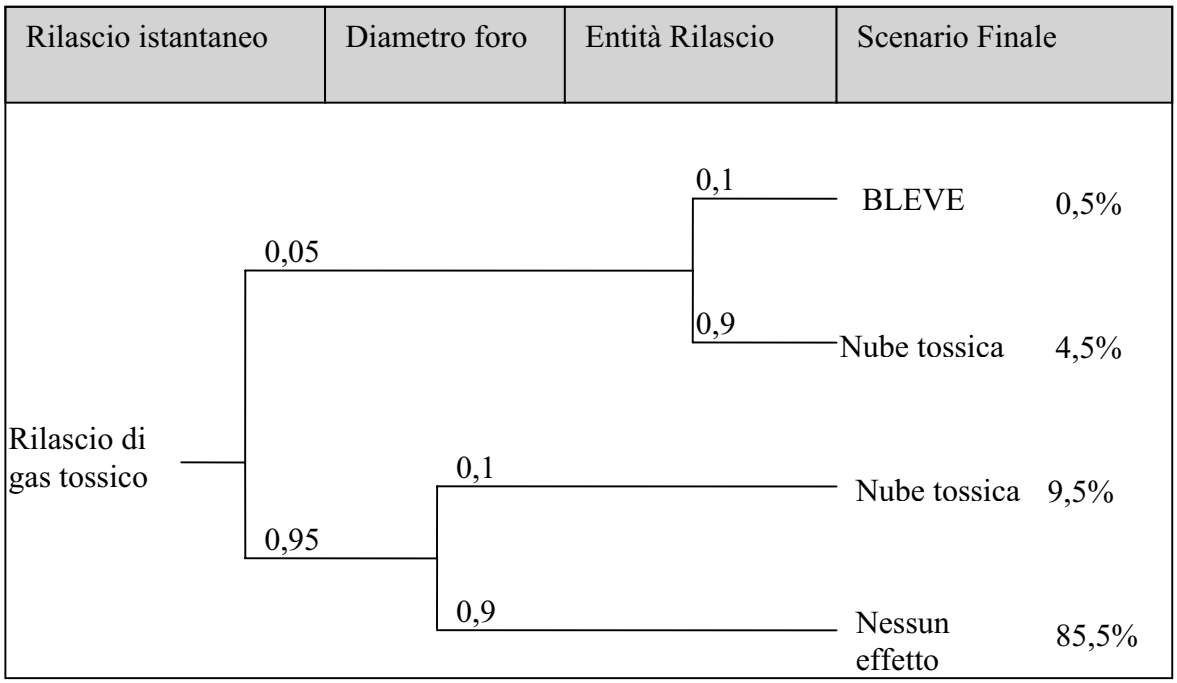
Eventi critici da veicoli ADR

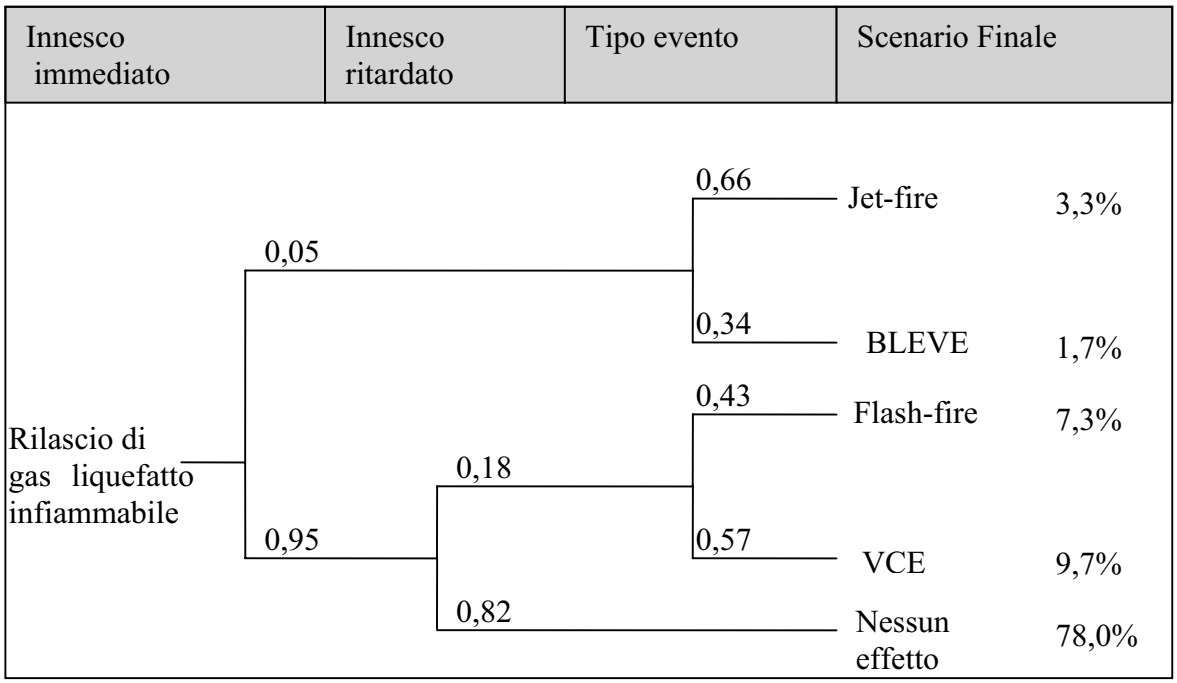
La successiva tabella riporta le ripartizioni degli eventi critici relativi al trasporto di merci pericolose.

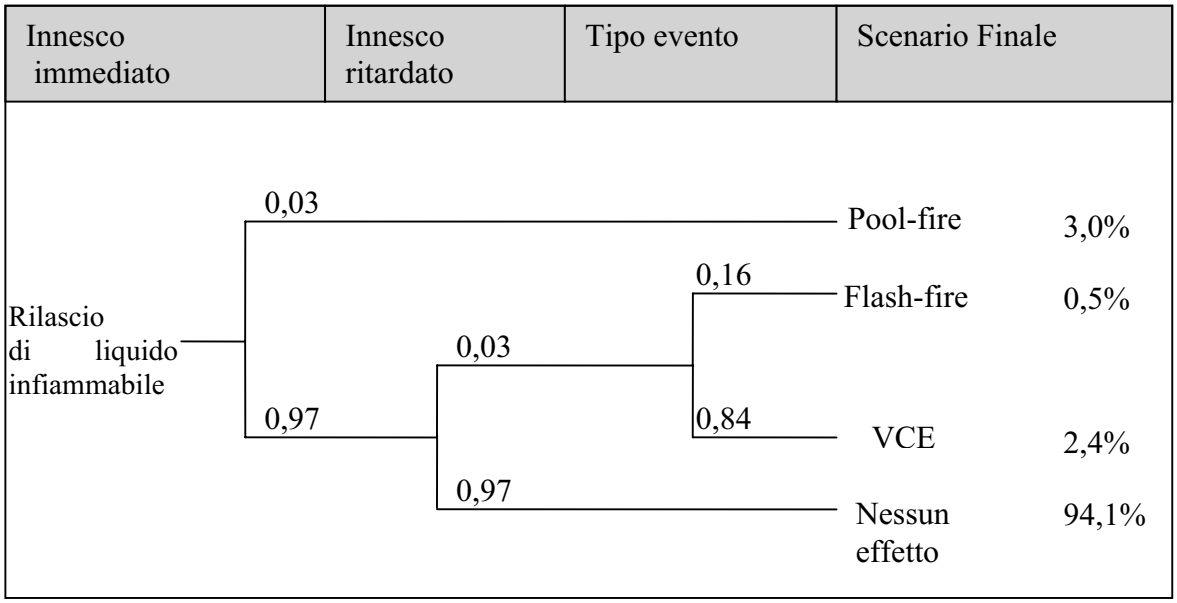
VEICOLI ADR	
Tipo incidente	***Ripartizione rilasci a seguito di incidente***
Gas liquefatto tossico	24%
Gas liquefatto infiammabile	26%
Liquido infiammabile	33%
Liquido tossico	17%

Le successive figure mostrano possibili del sottoinsieme degli eventi critici relativi al trasporto di merci pericolose in una galleria stradale come determinate dall'analisi di serie storiche di dati di incidentalità e rappresentate utilizzando una tecnica albero degli eventi.
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)


EVENTI
RILASCIO
79,9%
77,8%
62,2%
INCENDIO
12,7%
93,7%
9,5%
ESPLOSIONE
6,3%
0,6%
NUBE GASSOSA
7,70%
81,4%
5,0%
INCENDIO
18,6%
1,1%
ESPLOSIONE
1,80%
1,5%
INCENDIO
17,6%
65,7%
11,6%
ESPLOSIONE
34,3%
6,0%
ESPLOSIONE
2,5%
2,5%


Rilascio istantaneo
Diametro foro
Entità Rilascio
Scenario Finale
Rilascio di gas tossico
0,05
0,95
0,1
0,9
0,1
0,9
BLEVE
0,5%
Nube tossica
4,5%
Nube tossica
9,5%
Nessun effetto
85,5%


Innesco immediato
Innesco ritardato
Tipo evento
Scenario Finale
Rilascio di gas liquefatto infiammabile
0,05
0,95
0,18
0,82
0,66
0,34
0,43
0,57
Jet-fire
3,3%
BLEVE
1,7%
Flash-fire
7,3%
VCE
9,7%
Nessun effetto
78,0%

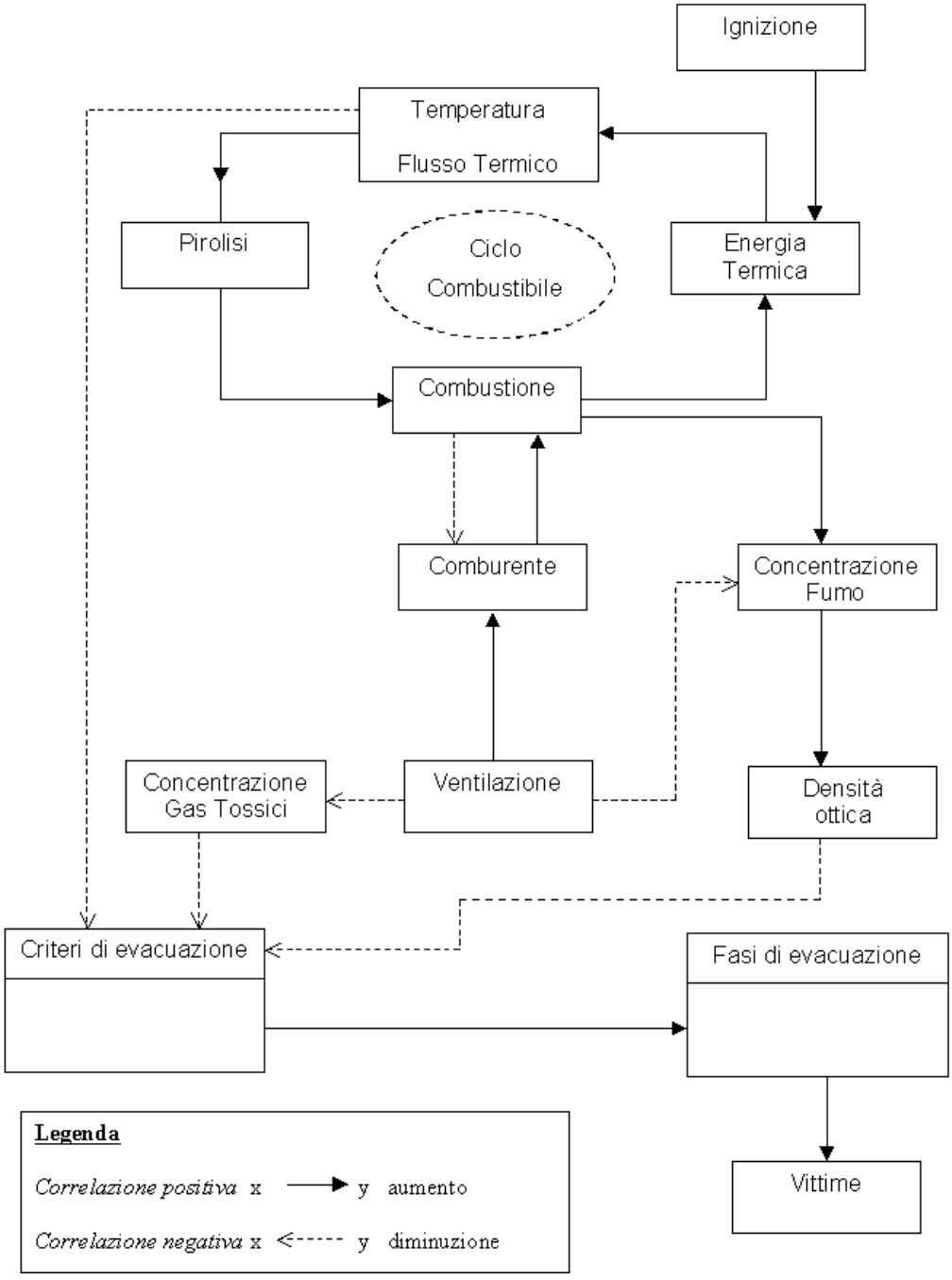


Le probabilità di accadimento riportate devono essere intese come valori indicativi suscettibili di modifica da parte della commissione permanente per le gallerie.

Allegato 7 Relazioni causali nella produzione dei rischi primari

La successiva figura riporta uno schema delle relazioni tra ciclo combustibile e ciclo comburente che concorrono alla produzione dei rischi primari in un evento di incendio.

Relazioni Causali che Controllano la Produzione Rischi Primari



Allegato 8 Modellazione del flusso del pericolo

Il flusso del pericolo in galleria, definito come il flusso indotto dai fenomeni termodinamici e fluidodinamici conseguenti all'accadimento di un evento critico rilevante, è determinato da:

- configurazione geometrica della struttura ,
- destinazione d'uso della struttura ,
- dinamica della sorgente
- caratteristiche specifiche dei fenomeni e dei processi di trasporto delle grandezze massa, quantità di moto, energia.

La configurazione geometrica della struttura condiziona la propagazione dei prodotti della combustione, i processi di scambio termico, il processo di dispersione delle sostanze tossiche.
La destinazione d'uso della struttura rende rilevante, ai fini della sicurezza, il comportamento degli utenti.
Considerato come paradigmatico degli insiemi possibili degli eventi critici rilevanti un evento di incendio, la propagazione dei prodotti della combustione all'interno della galleria può essere rappresentati modellato formulando e risolvendo modelli di complessità formale crescente quali:

- modelli termodinamici mono-dimensionali per i quali il sistema galleria è assimilato ad uno scambiatore di calore;
- modelli bi-tridimensionali per i quali la propagazione dei prodotti della combustione è descritta simulando un flusso turbolento non isotermo condizionato nello sviluppo e determinato nelle caratteristiche dai vincoli fluidodinamici e di scambio termico imposti all'interno e sul contorno della galleria.

I modelli termodinamici possono essere risolti per via analitica mentre i modelli fluidodinamici possono essere risolti solo per via numerica data la natura non lineare delle equazioni di definizione e dei relativi accoppiamenti.
La formulazione e la soluzione dei modelli bi-tridimensionali può essere effettuata utilizzando il metodo della fluidodinamica numerica.
La propagazione dei prodotti della combustione è un processo sensibile alle variazioni di numerosi parametri di natura diversa:

- parametri geometrici,
- parametri fluidodinamici,
- parametri di scambio termico,
- parametri caratterizzanti il trasporto di massa.

I modelli, in modo indipendente dal livello di complessità formale, sono affetti da limiti ed incertezze:

- limiti di rappresentazione dei fenomeni e dei processi,
- incertezze nelle condizioni iniziali ed al contorno,
- errori connessi al processo di discretizzazione ed ai metodi numerici di soluzione, quando non si utilizzino modelli semplificati suscettibili di soluzioni analitiche.

La modellazione degli scenari è preposta a:

- mostrare in modo univoco il ruolo svolto da ciascuno dei sistemi di sicurezza e delle procedure di gestione nel limitare l'evoluzione dei processi e gli effetti nocivi sulla sicurezza degli utenti,
- evidenziare le mutue interazioni tra sistemi di sicurezza e procedure di gestione in condizioni di emergenza,
- identificare gli elementi di debolezza di ciascun sottosistema di sicurezza e gli effetti sulla risposta complessiva in termini di sicurezza globale della struttura,
- determinare l'esistenza e l'estensione di zone pericolose all'interno della struttura e nell'ambiente circostante,
- determinare i tempi di instaurazione e di permanenza delle zone pericolose.

L'atto di moto dei prodotti della combustione in un evento di incendio all'interno di una galleria stradale è influenzato da numerosi fattori:

- le caratteristiche geometriche ed architettoniche della galleria;
- le caratteristiche energetiche del focolaio principale;
- la localizzazione del focolaio principale all'interno della galleria;
- la distribuzione dei veicoli nell'intorno del focolaio principale;
- gli scambi termici tra il focolaio e lo strato dei fumi;
- gli scambi termici tra lo strato dei fumi e le pareti della struttura;
- gli scambi termici tra il focolaio, lo strato dei fumi e i veicoli adiacenti;
- la differenza di pressione tra i portali;
- l'effetto camino;
- l'effetto pistone dei veicoli;
- le caratteristiche del sistema di ventilazione;
- tipologia;
- caratteristiche aerauliche;
- modalità di controllo.

Un modello di incendio all'interno di una galleria stradale, adottando una rappresentazione euleriana di descrizione dell'evento, è definito da un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali corredate di idonee condizioni al contorno.
Le equazioni differenziali alle derivate parziali attraverso le quali si definisce il modello sono:

- l'equazione di bilancio della massa;
- l'equazione di bilancio della quantità di moto;
- l'equazione di bilancio dell'energia;
- l'equazione di dispersione dei prodotti della combustione.

Le condizioni iniziali e le condizioni al contorno definiscono i vincoli fluidodinamici e termici propri del sistema galleria.
Un modello di incendio in una galleria stradale deve comprendere idonei sotto-modelli per:

- il fenomeno della combustione;
- il fenomeno della turbolenza;
- i processi di scambio termico;
- i processi di trasporto di massa.

Un evento di incendio in una galleria stradale definisce un flusso turbolento e reattivo in un dominio parzialmente confinato.
La complessità formale di un modello di evento di incendio in galleria determina l'utilizzo del metodo della fluidodinamica numerica come strumento principe nell'analisi di scenario.
La modellazione del processo di dispersione di una nube tossica può essere condotta in modo affatto analogo alla modellazione del moto dei fumi, ricordando che il processo di dispersione può essere assimilato ad un processo isotermo cosicché per esso non devono essere modellati i processi ed i fenomeni connessi all'esistenza di differenze finite di temperatura all'interno del dominio di calcolo identificato con la struttura.

Modelli di campo

I modelli numerici per la determinazione del flusso del pericolo possono essere raggruppati in due categorie:

- modelli mono-dimensionali;
- modelli tri-dimensionali.

Modelli mono-dimensionali

I modelli mono-dimensionali (modelli 1D) sono definiti dalle equazioni della meccanica dei fluidi assumendo:

- la validità dell'approssimazione di Boussinesq;
- l'uniformità dei parametri di stato in una generica sezione della galleria.

I modelli 1D non consentono, in modo esplicito, la stratificazione del flusso.
La pletora di modelli 1D disponibili può essere ricondotta alle seguenti famiglie:

- modelli isotermi stazionari;
- modelli anisotermi stazionari;
- modelli anisotermi non stazionari.

I risultati forniti dai modelli 1D sono fortemente influenzati dai valori numerici dei seguenti parametri:

- coefficienti di perdita di carico per le sezioni di ingresso e di uscita;
- coefficienti di perdita di carico per le bocchette di ventilazione;
- rugosità delle pareti;
- coefficienti aerodinamici dei veicoli;
- coefficienti delle curve caratteristiche degli acceleratori;
- coefficienti per le variazioni della sezione trasversale;
- coefficienti globali di scambio termico.

I modelli 1D, in virtù delle drastiche semplificazioni apportate nella descrizione dei fenomeni e dall'uso diffuso di correlazioni semi-empiriche assunte come rappresentative di numerosi aspetti caratterizzanti la dinamica del processo di trasporto dei fumi, costituiscono lo strumento di simulazione correntemente adottato nella prassi ingegneristica per:

- l'apprezzamento del comportamento aeraulico della struttura galleria;
- la stima dei tempi di risposta del sotto-sistema di ventilazione;
- l'analisi parametrica degli scenari incidentali a costo ridotto in termini di strumenti e tempi di simulazione.

I modelli 1D sono generalmente adottati nel dimensionamento dei sotto-sistemi di ventilazione di tipo longitudinale. I risultati forniti dai modelli 1D nel dimensionamento di sotto-sistemi di

ventilazione di tipo trasversale (semi-trasversale) sono fortemente condizionati dalla "perizia" del progettista.
I modelli 1D, ad esempio, non sono in grado di:

- simulare il fenomeno del back-layering;
- stimare la temperatura del flusso ad altezza d'uomo, e, per essa, la verifica dei criteri di sopravvivenza;
- stimare la temperatura massima in volta;
- stimare la temperatura media dell'aria in galleria in condizioni di flusso stagnante a monte del focolaio.

Il livello di complessità nella modellazione del moto dei fumi è determinato dalla destinazione d'uso dei risultati definizione della:

- strategia di controllo e gestione dei fumi;
- strategia di esodo degli utenti.

Modelli tri-dimensionali

I modelli di campo consentono, entro i limiti propri degli attuali modelli di combustione e di turbolenza, una descrizione dettagliata e verosimile delle caratteristiche tridimensionali dei flussi delle masse d'aria indotti da un incendio e dell'evoluzione dello strato di fumi da esso generati in domini geometrici comunque complessi ed in condizioni di flusso diverse.
Le informazioni ottenute dalla soluzione di un modello di campo possono essere utilizzate dal progettista per posizionare in modo ottimale i rivelatori di fumo ed i componenti attivi dei sistemi di spegnimento, nonché, per una scelta oculata della tipologia e delle caratteristiche dei componenti dei sistemi di ventilazione anche dal punto di vista del risparmio energetico.
L'uso limitato ad applicazioni particolari dei modelli di campo nella pratica ingegneristica, nonostante l'esistenza di codici commerciali di fluidodinamica numerica che ne consentono l'integrazione , è condizionato dalla disponibilità di idonei strumenti di calcolo e dagli elevati tempi di esecuzione.
L'analisi dell'interazione dell'impianto di ventilazione con lo strato dei fumi generati da un evento di incendio può essere condotta utilizzando idonei modelli di campo e/o ibridi.
L'analisi numerica di un evento di incendio in galleria richiede la formulazione di un idoneo modello di campo da risolvere mediante codici di fluidodinamica numerica (CFD).
La procedura di costruzione del modello di campo è sintetizzata, nelle sue fasi essenziali, nella successiva tabella.

Geometria	Lunghezza Larghezza Altezza	Tipologia della sezione trasversale
Incendio	Macro-elemento focolaio	
	Dimensione Forma	Potenza termica generata Tasso di generazione dei fumi
	Modello di combustione	
	Omogenea	Eterogenea
Sversamento	Macro-elemento pozza di combustibile liquido	
	Dimensione Forma	Tasso di evaporazione del combustibile
Condizioni al contorno	Portali-Canali di ventilazione Inflow-Fan model Outflow Free Boundaries	Pareti Wall functions approach Conductive heat transfer
Metodo di discretizzazione	Volumi finiti	

Griglia di calcolo	Structured Cartesian Body Fitted Coodinates	Unstructured Grids Adaptive grids
Schemi di integrazione **Algoritmi di soluzione** **Espliciti Impliciti** **Semi-Impliciti**	Convection Diffusion Flows Power law Hybrid scheme QUICK scheme	Velocity pressure coupling SIMPLE SIMPLER SIMPLE-C PISO
Sottomodelli	Turbolenza k-ε -Buoyancy k-ε -RNG Reynolds Stresses LES DNS	Scambio termico radiativo Rosseland P1 Discrete Transfer Discrete Ordinate Method Monte Carlo Method

La formulazione di modelli tridimensionali degli eventi incidentali ad elevata pericolosità in un sistema galleria richiede conoscenza specifica ed approfondita in branche diverse della fisica, quali la fluidodinamica, la termodinamica, lo scambio termico, la combustione.
La modellazione del fenomeno della turbolenza, del processo della combustione eterogenea turbolenta, dello scambio termico per irraggiamento, costituiscono argomento della ricerca di base ed è ridotto il numero delle verifiche sperimentali disponibili per gli eventi ad elevata pericolosità possibili in galleria. Il realismo dei risultati ottenuti dalla soluzione dei modelli attualmente disponibili non è un dato acquisito ed è fortemente condizionato dal livello di formazione e dall'esperienza posseduta dall'utilizzatore di codici commerciali di fluidodinamica numerica.
I risultati ottenuti da utilizzatori diversi, pur derivando da codici commerciali identici, possono variare in modo significativo sia in termini di andamenti qualitativi che in termini di profili quantitativi delle grandezze termofluidodinamiche rilevanti per la sicurezza.
L'affermazione non è stupefacente ricordando che:
la formulazione di modelli di fluidodinamica numerica richiede dati di ingresso dettagliati inerenti l'estensione del dominio di calcolo, le caratteristiche della griglia di discretizzazione, gli indicatori locali della turbolenza, la caratterizzazione dei focolai, la rappresentazione degli ostacoli, le condizioni di scambio termico tra fluido di processo e pareti dell'involucro;
l'implementazione dei sottomodelli di turbolenza, combustione, scambio termico è diversa in ogni codice commerciale ed è fortemente condizionata dal modello di discretizzazione adottato;
ogni schema di soluzione numerica deve soddisfare i requisiti di:

- consistenza,
- stabilità,
- convergenza.

Scelta del livello di modellazione

Gli strumenti essenziali nella scelta del livello di modellazione degli eventi ad elevata pericolosità in galleria risultano essere:

- gli scenari incidentali ipotizzati,
- la strategia di ventilazione adottata,
- la strategia di esodo prevista.

La scelta del livello di modellazione può essere condotta, in prima approssimazione, in accordo alle seguenti indicazioni:

- per gallerie monodirezionali di media lunghezza, caratterizzate da sezioni trasversali ridotte e dotate di sistemi di ventilazione longitudinale, una modellazione del flusso del pericolo

con modelli mono-dimensionali può essere accettata, ferma restando l'impossibilità per i codici mono-dimensionali di riprodurre il fenomeno della stratificazione del flusso e, per esso, consentire la verifica dei criteri di sopravvivenza;
- per gallerie bidirezionali il flusso del pericolo deve essere determinato formulando modelli di campo tri-dimensionali degli eventi ad elevata pericolosità in galleria, risolti per via numerica.

Valutazione dei risultati di modelli di campo

Le simulazioni degli eventi ad elevata pericolosità condotte utilizzando codici commerciali di fluidodinamica numerica dovrebbero essere presentate seguendo un piano strutturato in modo da evidenziare i seguenti aspetti:
- principi di simulazione,
- dominio di calcolo e griglia di discretizzazione,
- condizioni iniziali e condizioni al contorno,
- modello di discretizzazione ed algoritmi di soluzione,
- presentazione e discussione dei risultati.
- Il paragrafo inerente i principi di simulazione deve contenere informazioni dettagliate su:
- variabili di rappresentazione,
- tipologia e regime di flusso,
- sotto-modello di turbolenza,
- sotto-modello di combustione, ovvero, sotto-modello del focolaio,
- sotto-modello di scambio termico radiativo.

Il paragrafo inerente il dominio di calcolo e la griglia di discretizzazione deve contenere informazioni dettagliate su:
porzione di galleria simulata, caratteristiche plano-altimetriche della struttura, semplificazioni architettoniche introdotte, vista trasversale e vista longitudinale della griglia di calcolo adottata in sezioni rappresentative della struttura, in corrispondenza del focolaio, in corrispondenza di un acceleratore, in corrispondenza di una bocchetta di aspirazione / immissione,
numero totale di celle, numero di celle nelle sezioni rappresentative, dimensioni delle celle in prossimità delle pareti.
Il paragrafo inerente le condizioni iniziali e le condizioni al contorno deve contenere informazioni dettagliate su:

- condizioni ai portali,
- natura delle condizioni al contorno: pressione, portata in massa, velocità, profili completamente sviluppati,
- valori adottati per gli indicatori locali di turbolenza corredati di idonea giustificazione,
- modellazione dei veicoli, modellazione dell'effetto pistone, modellazione dell'effetto di bloccaggio,
- modellazione degli acceleratori,
- modellazione delle bocchette di aspirazione / immissione,
- rugosità delle pareti,
- vincoli termici a parete.

Il paragrafo inerente il modello di discretizzazione e gli algoritmi di soluzione deve contenere informazioni dettagliate su:

- schemi di discretizzazione nello spazio e nel tempo,
- algoritmo di risoluzione,
- passo temporale,
- criteri di convergenza.

Il paragrafo inerente le presentazione e discussione dei risultati deve contenere informazioni dettagliate su:

- risultati delle simulazioni utilizzati nelle stime del danno,
- criterio utilizzato per determinare il grado di stratificazione dei fumi,
- modello di calcolo della visibilità,
- modello di calcolo della potenza irraggiata;
- realismo delle simulazioni
- dettagli sul flusso,
- campi di temperatura e campi di concentrazione in diversi istanti chiave dell'evoluzione dell'evento,
- profili verticali di concentrazione in corrispondenza delle vie di fuga,
- temperatura media del focolaio,
- estensione della zona di combustione.

Le successive tabelle sintetizzano le caratteristiche dei modelli numerici per la simulazione degli eventi incidentali in galleria.

Principali Vantaggi dei Modelli Numerici		
Proprietà	*Modelli 1D*	*Modelli 3D*
Definizione della geometria	Semplificata	Esatta**
Definizione della ventilazione	Semplificata	Esatta
Sorgente termica	Semplificata	Semplificata - Esatta
Complessità del modello	Bassa	Alta
Risultati	Globali, integrali	Locali
Verifica	Costosa	Costosa
Test di plausibilità	Semplice	Costoso
Dipendenza dalle dimensioni	Medio-bassa	Alta**
Accuratezza dei risultati locali	Ordine della soluzione	Dimensioni cella
Costo di utilizzo	Basso	*Molto alto**

* Tempi di calcolo crescenti in modo esponenziale con il numero di celle.
** Dipendenza dalle dimensioni della griglia e dagli errori di discretizzazione.

Capacità Previsionali dei Modelli Numerici		
Capacità Previsionale	Modelli 1D	Modelli 3D
Temperatura locale del pennacchio	No	Si
Temperatura locale esterna al pennacchio	Media spaziale	Si
Temperatura degli strati	No	Si
Concentrazione Fumi	Si	Si
Campo di velocità	Media spaziale	Si
Geometria complessa	No	Si - Onerosa
Temperature di parete	No	Si - Equazione della Conduzione
Analisi parametrica	Semplice	Possibile - Onerosa

Allegato 9 Modellazione degli scenari di esodo

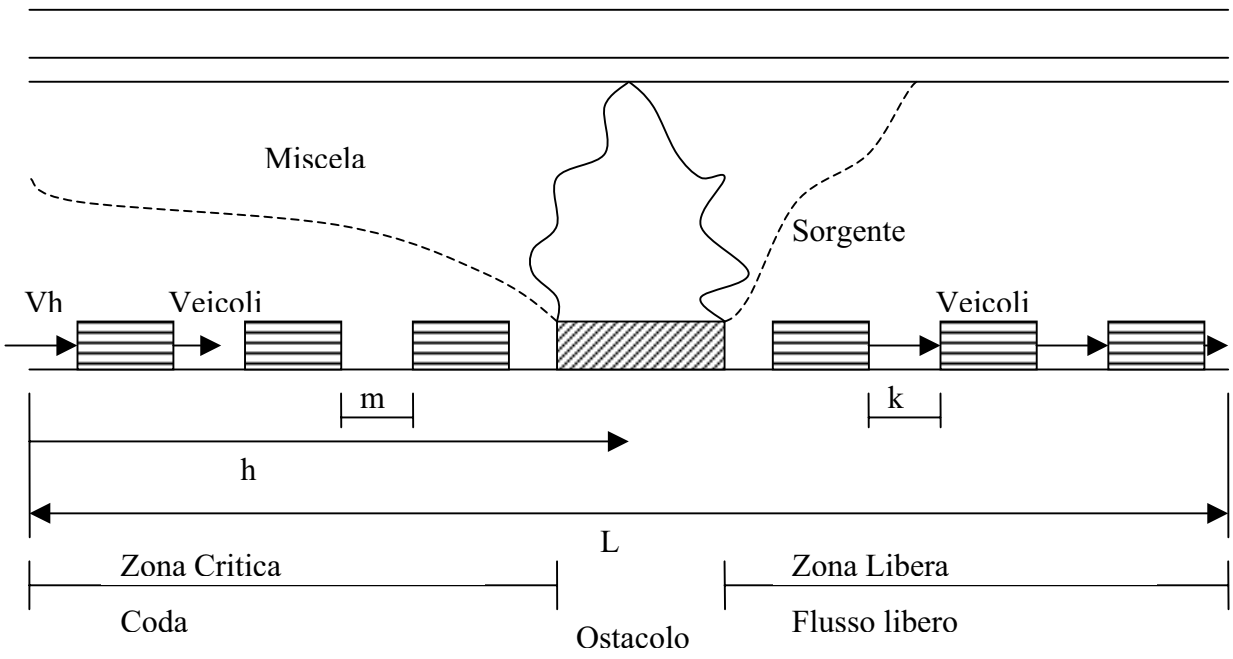
La modellazione degli scenari di esodo richiede la formulazione e la soluzione di:

- un modello di formazione delle code all'interno della galleria;
- un modello di esodo degli utenti dalla struttura.

Un modello semplificato di formazione delle code in galleria può essere formulato riferendosi ai parametri correntemente utilizzati nella caratterizzazione della circolazione in galleria in termini di regimi di traffico, sottolineandone il ridotto livello di rappresentazione ed accuratezza.

Caratterizzazione del traffico in galleria

La successiva figura schematizza il processo di formazione di una coda all'interno di una galleria in presenza di un evento incidentale.



Supponiamo verificate le condizioni:

- rappresentazione euleriana del traffico;
- flusso di traffico stazionario;
- flusso di traffico omogeneo.

Identifichiamo come parametro caratterizzante il traffico l'interdistanza tra i veicoli.
Si ha:

$$I = \frac{V}{D}$$

$$N = \frac{L}{I}$$

Quindi

$$N = \frac{LD}{V}$$

dove I è l'interdistanza tra i veicoli in movimento [m], V è la velocità dei veicoli [m/s], N è il numero dei veicoli presenti nella galleria su una carreggiata, L è la lunghezza della galleria [m].
Le condizioni di flusso scorrevole potrebbero essere caratterizzate come le condizioni per le quali sia verificata la relazione d'ordine:

$$I \geq I^*$$

dove I* è l'interdistanza di sicurezza tra i veicoli.

L'interdistanza di sicurezza è una grandezza dipendente da:

- lunghezza media dei veicoli;
- velocità dei veicoli.

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

$$I < I^*$$

Il modello descritto evidenzia come il numero dei veicoli presenti nella galleria non cresca con il flusso dei veicoli per carreggiata.
Supponiamo si verifichi un evento di incendio e siano soddisfatte le condizioni:

- traffico bloccato sopravvento al focolaio all'istante iniziale;
- focolaio localizzato ad una distanza d dal portale d'accesso.
- Le condizioni introdotte determinano la formazione di un tappo.

La cinematica del tappo può essere descritta introducendo una velocità di risalita caratteristica stimabile attraverso la relazione:

$$u = \frac{D}{\frac{1}{I_0} - \frac{D}{V}}$$

dove I_0 è l'interdistanza dei veicoli all'istante iniziale.
La velocità di risalita del tappo influenza la probabilità di una carambola di veicoli al termine della coda.

Il tempo di risalita del tappo è dato da:

$$\tau = \frac{d}{u}$$

Il valore numerico del tempo di risalita del tappo deve essere confrontato con il tempo necessario alla chiusura della galleria.

Modello di esodo

La determinazione delle fatalità connesse ad un singolo ramo dell'albero degli eventi è ottenuta risolvendo uno specifico modello del processo di esodo degli utenti dalla struttura.
Il modello di esodo ingloba un modello di formazione delle code dei veicoli in galleria dopo l'accadimento di un evento critico rilevante che risolto consente la determinazione della popolazione esposta essendo fissato il numero medio di passeggeri per veicolo.
Il processo di esodo degli utenti verso le uscite di soccorso in condizioni incidentali è un processo realizzato da aggregati di individui segnati da comportamenti specifici.
Un modello semplificato per il processo di esodo degli utenti può essere formulato assumendo come parametri fondamentali:

- i tempi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti;
- la velocità di esodo degli utenti.

Il processo di esodo è altresì dipendente da:
- modalità di avanzamento degli utenti all'interno della galleria;
- orientamento corretto verso le uscite di sicurezza.

Le attività preliminari necessarie a formulare un modello di simulazione del processo di esodo sono:

- stabilire i fattori che controllano il movimento degli utenti nello spazio,
- costruire una configurazione del flusso di utenti in accordo con il progetto della struttura simulata,
- assumere differenti situazioni (come evacuazione ideale, fasi dell'evacuazione, blocco statico o dinamico di comportamenti critici durante l'evacuazione), o informazioni necessarie di ingresso come il numero degli occupanti, la distanza tra gli occupanti, ecc.,

Valori indicativi dei tempi medi di abbandono dei veicoli da parte degli utenti possono essere:

Veicoli leggeri: 300 s
Veicoli pesanti: 90 s

Valori indicativi della velocità di esodo degli utenti, riferiti alle condizioni di visibilità all'interno della galleria in condizioni incidentali, possono essere:

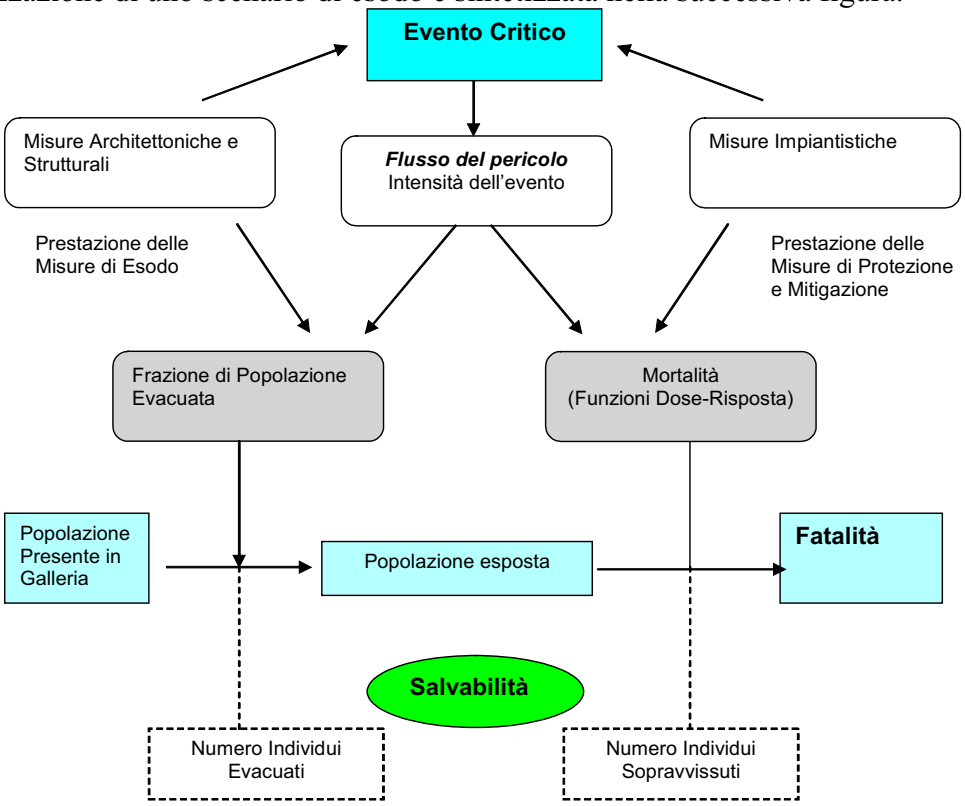
Condizioni di visibilità	**Velocità di allontanamento**
Buona	1 m/s

Ridotta	0,5 m/s
Nulla	0,3 m/s

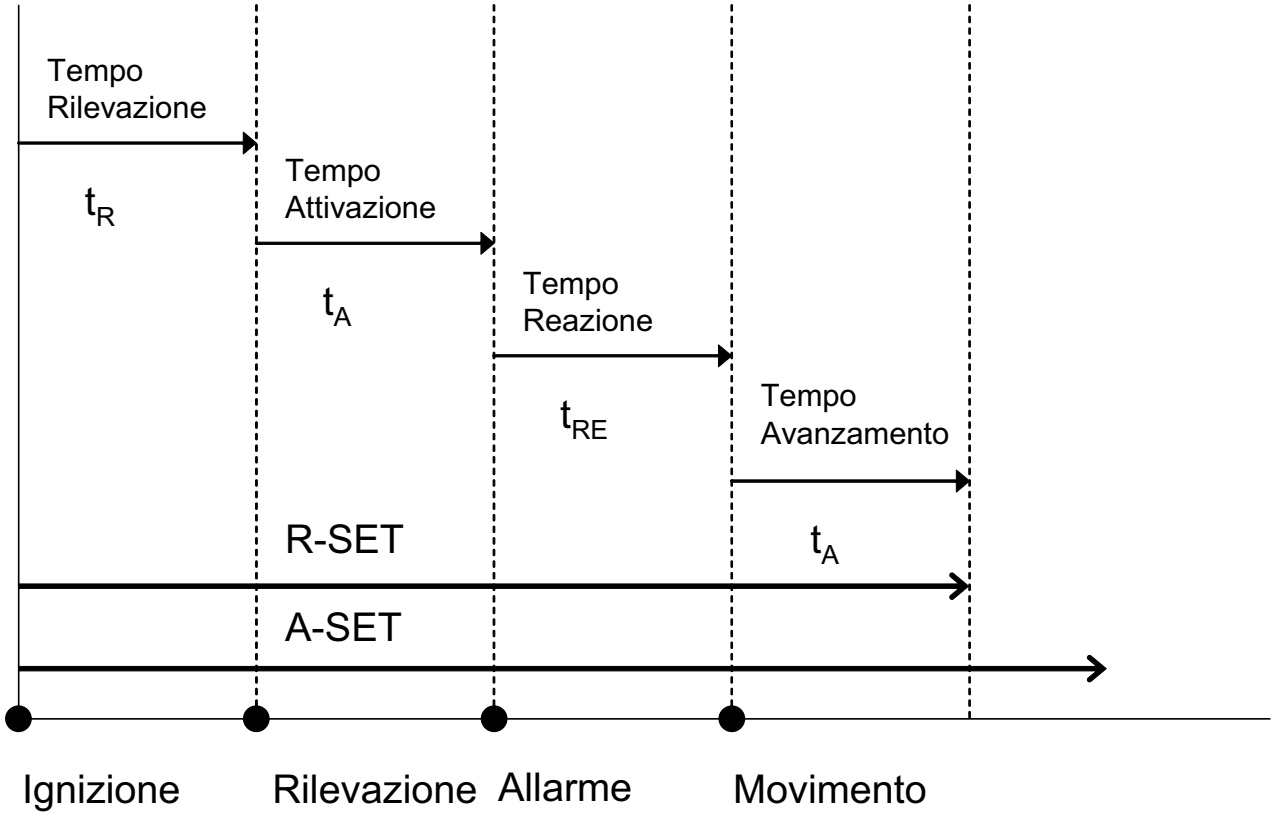
Il processo di esodo è altresì dipendente da:

- modalità di avanzamento degli utenti all'interno della galleria;
- orientamento corretto verso le uscite di sicurezza.

La caratterizzazione di uno scenario di esodo è sintetizzata nella successiva figura.



La scansione sei tempi caratteristici del processo di esodo può essere rappresentata come mostrato in figura



Criteri di sopravvivenza

Le dosi frazionali inabilitanti (Fractional Effective Dose) secondo la norma ISO 13571, Life threat of fires – Guidance on the estimation of time available for escape using fire data, sono classificati come indicatori di rischio chimico (concentrazioni di sostanze tossiche, irritanti, nonché dell'ossigeno, ai fini della valutazione della ipossia), indicatori di rischio termico (temperature dei gas e dell'aria, valori di irraggiamento termico ai quali gli utenti sono esposti in galleria).
I parametri di sopravvivenza sono rappresentativi delle condizioni di vivibilità all'interno della galleria ed in particolare lungo i percorsi di esodo.
Gli andamenti nel tempo dei valori dei parametri di rischio costituiscono la base dei dati utilizzata per l'applicazione dei modelli di esodo e sono determinati dall'analisi di scenario.
L'approccio utilizzato si basa sul calcolo del tempo disponibile per l'esodo della popolazione esposta attraverso un percorso interessato dalla propagazione dei prodotti della combustione.
Gli effetti sulla salute sono determinati in base ai valori assunti dai parametri di rischio lungo la galleria ed al tempo di esposizione dei soggetti a ciascun elemento di rischio. Gli effetti sono funzione del prodotto delle concentrazioni di ciascun parametro di rischio (CO, CO_2, HCl, HCN, etc.) 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.

GLOSSARIO

ALARP
Acronimo dell'espressione inglese As Low As Reasonably Practicable che individua la porzione del diagramma frequenza di accadimento – numero di fatalità compresa 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.

ALBERO DEGLI EVENTI
Sequenza di eventi, ognuno caratterizzabile in termini di probabilità di accadimento condizionate dall'azione delle misure di prevenzione e protezione adottate.

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 di pericolo e la determinazione dell'esposizione della popolazione al pericolo ed include la stima delle incertezze connesse.
La gestione del rischio è l'atto decisionale, susseguente alla 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.

CONSEGUENZA
Risultanza dell'accadimento di un evento pericoloso sulla popolazione esposta, sulla struttura, sugli impianti, sull'economia, sull'ambiente.

EVENTO ELEMENTARE
Singolo accadimento di una successione di eventi consequenziali.

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.

EVENTO CRITICO
Evento caratterizzato da bassa probabilità di accadimento ed elevate conseguenze.

FLUSSO VEICOLARE
Numero di veicoli transitati in una sezione stradale nell'unità di tempo conteggiati indipendentemente dalle loro caratteristiche tipologiche.

GALLERIA SPECIALE –FATTORI DI PERICOLO

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.

GALLERIA VIRTUALE
Galleria che possiede tutte le misure di sicurezza corrispondenti ai requisiti minimi obbligatori operanti in condizioni ideali.

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.

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

INDICE DI RISCHIO
Indicatore quantitativo di rischio espresso in funzione della probabilità di accadimento di un evento incidentale e dell'entità delle conseguenze da esso derivanti

LIVELLO DI RISCHIO ACCETTABILE
Livello di rischio proprio della galleria virtuale.

LIVELLO DI RISCHIO TOLLERABILE
Livello di rischio associato al livello globale di sicurezza del sistema galleria rispondente ai requisiti minimi di sicurezza.

LIVELLO GLOBALE DI SICUREZZA
Livello di sicurezza del sistema galleria fornito dalle misure di sicurezza installate

LUNGHEZZA DI TRANSIZIONE
Sviluppo stradale di limitata estensione ove, in fase di esercizio, l'utente adegua la marcia a diverse situazioni geometrico-funzionali.

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.

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.

MISURE DI SICUREZZA
Provvedimenti strutturali, impiantistici, gestionali mirati a ridurre la probabilità di accadimento e/o le conseguenze di eventi incidentali.

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.

POPOLAZIONE ESPOSTA
Insieme costituito dagli utenti, dal personale di esercizio, dal personale addetto al soccorso.

PREVENZIONE
Misure ed azioni intese a ridurre la probabilità di accadimento di un evento pericoloso.

PROBABILITÀ DI INCIDENTE
Sommatoria delle probabilità individuali di incidente estesa al flusso transitato su un tronco stradale in un definito arco temporale.

PROBABILITÀ INDIVIDUALE DI INCIDENTE
Sommatoria delle produttorie delle probabilità degli eventi elementari intercettati da ciascun percorso critico dell'albero degli eventi.

PROBABILITÀ DI MALFUNZIONAMENTO
Rapporto normalizzato tra il numero di eventi anomali rispetto al totale degli eventi possibili nelle condizioni di ordinario funzionamento.

PROTEZIONE
Misure ed azioni intese a ridurre le conseguenze di un evento pericoloso.

QUALIFICAZIONE FUNZIONALE DELLA STRADA
Caratterizzazione dell'itinerario stradale in funzione della tipologia prevista dal CdS e dell'ambito territoriale attraversato.

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.

REQUISITI MINIMI DI SICUREZZA
Provvedimenti strutturali, infrastrutturali ed impiantistici necessari a garantire il livello globale di sicurezza associato alla soglia di rischio tollerabile.

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.

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.

SISTEMA GALLERIA

E' il complesso costituito dagli elementi strutturali, dall'ambiente circostante l'opera, dal 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.

SITUAZIONI CRITICHE
Condizioni strutturali, ambientali e/o funzionali che determinano un'elevata probabilità di accadimento e/o gravi conseguenze per un evento incidentale.

TASSO INCIDENTALE
Numero di eventi incidentali per unità di sviluppo

TRONCO STRADALE
Sezione longitudinale di un itinerario stradale dello sviluppo di alcuni chilometri caratterizzata da omogeneità strutturali, di traffico o funzionali.

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.

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.

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.

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.