

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIREZIONE TECNICA

### U.O. BIM E ASSET MANAGEMENT

### INGEGNERIA MANUTENZIONE E RAMS ASSURANCE

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

## POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA

## RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

## LOTTO 02

## Galleria MURANO

### DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO

*ai sensi del D.M. del 28/10/2005*

SCALA:

-

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

IR0F    02    R    04    SR    SC0001    002    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione Esecutiva	M. Ponte 	Ottobre 2021	P. Caiazzo 	Ottobre 2021	C. Urziuoli 	Ottobre 2021	M. Ciarniello Ottobre 2021 

File: Analisi di rischio

IR0F02R04SRSC0001002A.doc

n. Elab.:

## INDICE

<b>I</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>II</b>	<b>SINTESI DEI DATI DI BASE PER L'ANALISI .....</b>	<b>6</b>
II.1	DOCUMENTI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	6
II.2	CARATTERISTICHE DELLA TRATTA .....	7
II.3	DESCRIZIONE DELLA GALLERIA .....	10
II.4	MODELLI DI ESERCIZIO .....	14
<b>III</b>	<b>APPLICABILITÀ DELL'ANALISI DI RISCHIO AI SENSI DEL DM .....</b>	<b>16</b>
<b>IV</b>	<b>DEFINIZIONI ED ACRONIMI .....</b>	<b>18</b>
<b>1.</b>	<b>DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI ANALISI .....</b>	<b>20</b>
1.1	ANALISI PRELIMINARE DEI RISCHI: EVENTI CRITICI INIZIATORI .....	22
1.1.1	METODI DI IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI E CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI INCIDENTI .....	22
1.1.2	PERICOLI POTENZIALI ED EVENTI INIZIATORI PER UNA GENERICA LINEA FERROVIARIA .....	27
1.1.3	PERICOLI POTENZIALI ED EVENTI INIZIATORI PER IL SISTEMA GALLERIA .....	42
1.2	ANALISI DELL'INCIDENTALITÀ DELLA RETE FERROVIARIA ITALIANA .....	50
1.2.1	STUDIO DELLE CAUSE DI INNESCO DEGLI EVENTI INIZIATORI .....	53
1.2.2	TASSI INCIDENTALI E RATEI DEGLI EVENTI INIZIATORI .....	61
	<b>Deragliamenti</b> .....	65
	<b>Collisione</b> .....	70
	<b>Incendio</b> .....	76
1.3	EVENT TREE ANALYSIS .....	80
1.3.1	SEQUENZE INCIDENTALI E PRINCIPALI BIFORCAZIONI .....	81
	<b>Deragliamenti</b> .....	81
	<b>Collisione</b> .....	98
	<b>Incendio</b> .....	99
1.3.2	CONSEGUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI BASE .....	113
	<b>Deragliamenti</b> .....	115
	<b>Collisione</b> .....	117
	<b>Incendio</b> .....	118
1.3.3	CONSEGUENZE DEGLI SCENARI COMPLESSI DEFINITI DALLE SEQUENZE PRINCIPALI .....	135
1.4	STIMA DEL RISCHIO .....	146
1.4.1	INDICATORI DI RISCHIO .....	146
1.4.2	VALUTAZIONI DI TIPO ALARP .....	149
<b>2.</b>	<b>CALCOLO DEL LIVELLO DI RISCHIO DELLA GALLERIA MURANO .....</b>	<b>150</b>
2.1	ANALISI PRELIMINARE DEI RISCHI PER LA GALLERIA MURANO .....	152
2.1.1	VERIFICA DELL'APPLICABILITÀ DEI PERICOLI .....	152

**2.1.2 RIFERIMENTI PER LA VERIFICA DI APPLICABILITÀ E GESTIONE DEI PERICOLI**  
154

2.1.3 IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI INIZIATORI ..... 158

**2.2 DETERMINAZIONE DEI RATEI DEGLI EVENTI INIZIATORI ..... 159**

2.2.1 DERAGLIAMENTO..... 159

2.2.2 COLLISIONE..... 160

2.2.3 INCENDIO ..... 161

**2.3 SEQUENZE INCIDENTALI ..... 163**

2.3.1 FREQUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI FINALI ..... 163

2.3.2 CONSEGUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI FINALI ..... 164

Modelli di letalità applicati agli scenari di deragliamento ..... 164

Modelli di letalità applicati agli scenari di incendio..... 167

2.3.3 ALBERI DEGLI EVENTI ..... 172

**2.4 LIVELLO DI RISCHIO DELLA GALLERIA ..... 180**

Valutazione dell'incertezza dei risultati..... 181

**2.5 CONSIDERAZIONI DI TIPO ALARP ..... 184**

2.5.1 VALUTAZIONE DEI PROFILI DI RISCHIO ..... 184

2.5.2 ACCURATEZZA DEI VALORI DI RISCHIO ..... 186

2.5.3 ANALISI COSTI-BENEFICI ..... 189

**3. CONCLUSIONI ..... 192**

**APPENDICE ..... 193**

**BIBLIOGRAFIA ..... 198**

## I INTRODUZIONE

Il presente documento, redatto nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico economica in ottemperanza a quanto prescritto dal Decreto Ministeriale sulla sicurezza delle gallerie ferroviarie - DM 28/10/2005 (di seguito DM) ed in conformità al Manuale di progettazione delle opere civili RFI parte II – sezione 4 “Gallerie” (RFI DTC SI GA MA IFS 001 E), è finalizzato all'esposizione della metodologia utilizzata e all'illustrazione dei risultati dell'applicazione delle tecniche di analisi del rischio alla galleria ferroviaria Murano che si sviluppa in singola canna - doppio binario dalla pk 6+160 alla pk 7+308 (BD) lungo la linea Orte - Falconara, sulla tratta PM228 - Castelplanio, oggetto di raddoppio ed, in particolare, nell'ambito del lotto funzionale 2 Bivio Nord-Albacina - Serra San Quirico, nella configurazione prevista dal progetto (*Cfr.* § II.3), sulla base del modello di esercizio di progetto condiviso con la Committenza (*Cfr.* § II.4).

L'analisi, inoltre, è stata elaborata in conformità alla *Linea Guida RFI per l'applicazione dell'analisi del rischio estesa alle gallerie ferroviarie - DM del 28/10/2005* (RFI DSR SIGS LG 01 10 del 08/02/2011, di seguito Linea Guida).

L'analisi si prefigge l'obiettivo di valutare l'accettabilità del rischio associato all'esercizio della galleria, in rapporto agli obiettivi di sicurezza fissati nell'Allegato III del DM e con riferimento alla configurazione di galleria prevista dal progetto, dotata dei requisiti per il cui dettaglio si rimanda alle relazioni specialistiche.

Laddove il livello di rischio risultasse non accettabile ovvero in zona di attenzione, così come indicato nel DM, si procederà alle valutazioni in applicazione del criterio ALARP e, ove necessario, si procederà ad una valutazione costi-benefici.

Il processo di analisi del rischio, condotto nelle ipotesi di esercizio, e la presentazione dei risultati sono sviluppati ed esposti nel presente documento attraverso i seguenti capitoli:

- 1) Definizione della metodologia di analisi,
- 2) Calcolo del livello di rischio della galleria (eventuale risoluzione dell'ALARP),
- 3) Conclusioni dello studio.

In particolare nel Capitolo 1 si descrivono le tecniche e i metodi applicati per l'analisi preliminare dei rischi per una generica linea ferroviaria e si delineano i pericoli potenziali per il sistema galleria quale tipologico, incrociando i risultati derivanti da un approccio creativo (*i.e.* analisi HazOp per sottosistemi) ed empirico (analisi dell'incidentalità registrata), al fine di giungere alla definizione di eventi iniziatori e possibili sequenze incidentali, in base ai quali valutare gli indicatori di rischio significativi. Quanto illustrato nel Capitolo 1 per il sistema galleria tipologico viene applicato alla galleria in esame nel successivo capitolo, tenendo conto delle peculiarità della galleria oggetto di studio, come la configurazione (singola o doppia canna), il tipo di sistema di controllo della marcia del treno (ERTMS, SCMT), il modello di esercizio (traffico passeggeri, merci, merci pericolose) ed il tipo di trazione (elettrico, diesel), *etc.*

Nel Capitolo 2, pertanto, si procede ad una valutazione specifica dei pericoli rilevanti, degli eventi iniziatori e delle sequenze derivanti applicabili al particolare sistema, fino alla determinazione dei valori degli indicatori di rischio e all'accettabilità in rapporto agli obiettivi di sicurezza.

Nel Capitolo 3 si riportano le conclusioni dello studio elaborato nel Capitolo 2, al fine di sancire l'accettabilità del rischio associato o l'eventuale integrazione nel progetto di opportune misure contenitive.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>6 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	6 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	6 di 200											

## II SINTESI DEI DATI DI BASE PER L'ANALISI

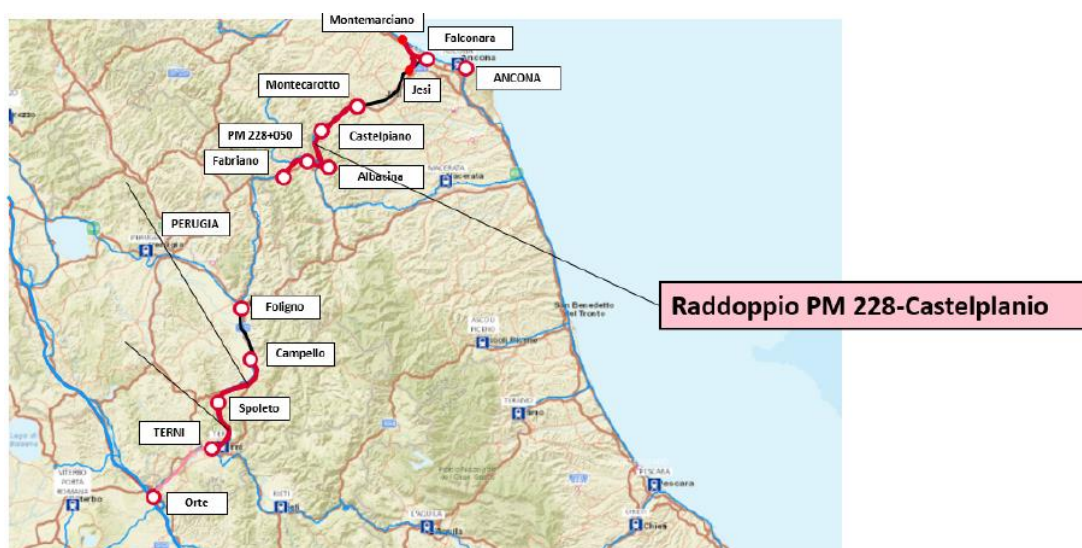
### II.1 DOCUMENTI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

I seguenti documenti/elaborati progettuali, in revisione corrente, cui si rimanda per i dettagli del caso, sono da considerarsi quale riferimento per il presente studio:

- Relazione generale, IR0F02R05RGMD0000001
- Relazione Tecnica di Esercizio, IR0F00R16RGES0001001
- Corografia generale di inquadramento, IR0F00R10C3IF0001001
- Planoprofilo su cartografia, IR0F02R10L5IF0001002
- Gallerie naturali: Sezioni di intradosso, IR0F02R07WBGN0000001
- Relazione tecnica delle opere in sotterraneo, IR0F02R07RHGN0000001
- Relazione Tecnica Impianti IS-SCMT-CTC Tratta Genga S. Vittore (i) - Serra S. Quirico (i), IR0F02R18ROAS0000001
- Profilo di linea IS Posto di Movimento KM 228 (P.M. 228) - Castelplanio, IR0F02R18DXAS0000001
- Relazione geotecnica generale e suscettibilità a liquefazione Lotto 2, IR0F02R11GEGE0006001
- Relazione geologica lotto 2, IR0F02R69RGGE0001001
- Relazione Idrologica generale, IR0F00R09RIID0001001
- Sottoservizi Interferenti - Relazione tecnica risoluzione interferenze Lotto 2, IR0F02R11ROSI0004001
- Dossier di censimento dei sottoservizi, IR0F02R53RGSII0000001
- Planimetria di censimento dei sottoservizi, IR0F02R53P6SII0000006/7
- Schema Generale Accessi e Predisposizioni di Sicurezza, IR0F02R17DXSC0003001
- Relazione di sicurezza della tratta, IR0F02R17RGSC0004001

## II.2 CARATTERISTICHE DELLA TRATTA

Nell'ambito del piano di potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Orte – Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Castelplanio.



**Figura 1:** Inquadramento generale della Orte-Falconara

Tale progetto è suddiviso nei 3 Lotti Funzionali di seguito elencati:

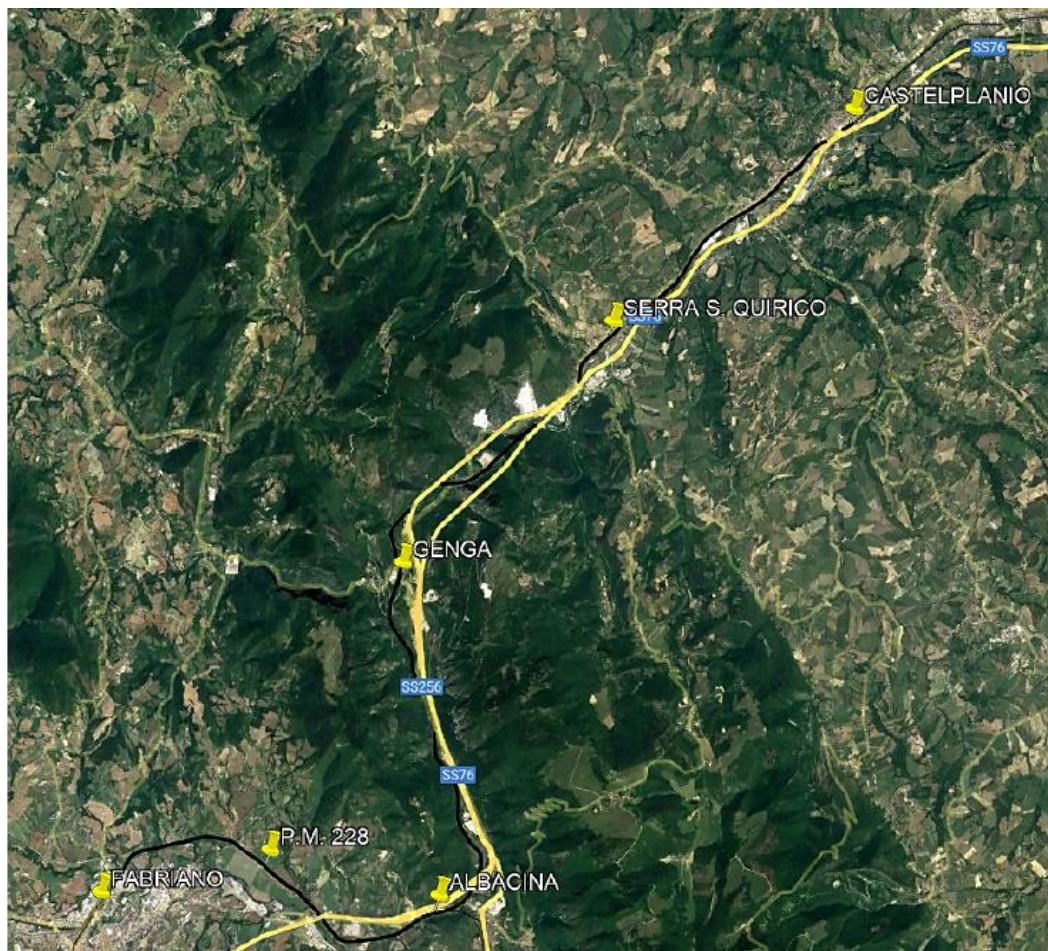
1. PM228-Bivio Nord-Albacina
2. Bivio Nord-Albacina- Serra San Quirico (i)
3. Serra San Quirico (e)-Castelplanio (e)

L'intervento di raddoppio della linea storica avverrà sia in stretto affiancamento che su nuovo tracciato in variante, diviso nei 3 lotti funzionali consecutivi.

Il Lotto 1 inizia alla pk 228+014 della linea storica, corrispondente alla pk di intervento pari a 0+000, per terminare alla pk 7+200.

Il Lotto 2 inizia alla pk 237+589 della linea storica mentre l'intervento termina sul binario dispari alla pk 246+958 per uno sviluppo pari a 8+889.

Il Lotto 3 inizia alla pk 246+245,953 della LS e termina alla pk riferita alla linea storica pari a 252+578 per uno sviluppo riferito al binario dispari pari a 6+272,075.



**Figura 2:** Inquadramento aereo della tratta PM228 - Castelplanio

In particolare, Il tracciato complessivo del Lotto 2 ha uno sviluppo complessivo pari a circa 8.900 m.

L'intervento ha inizio alla pk 7+200=0+47 di progetto, con una sovrapposizione di circa 47 m con i binari del Lotto 1, in corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria GN02, galleria "Valtreara".

Ad inizio intervento nei pressi del Bivio Nord Albacina, è prevista una Cabina TE per gestire il corretto assetto delle protezioni della LdC e garantire l'equipotenzialità delle condutture.

Il tracciato prosegue in galleria (Galleria Valtreara di circa 900m); all'uscita dalla galleria è prevista l'opera di scavalco di Via di San Vittore, e dopo un tratto in viadotto (circa 210m) si arriva nella stazione di Genga, dove viene realizzata una nuova stazione su scatolare



(in posizione rialzata rispetto all'esistente per problemi di incompatibilità idraulica dell'attuale tracciato), e vengono riorganizzati gli spazi dell'attuale parcheggio e delle attività commerciali previste in funzione della posizione del nuovo tracciato ferroviario. La nuova stazione prevederà marciapiedi H55cm, rampe scale e ascensori. Entrambi i marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie. Nell'area della fermata verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

Tra le viabilità di progetto c'è la Nuova Viabilità NV02 che risolve l'interferenza di Via Guglielmo Marconi fra gli abitati di S. Vittore e Genga Stazione, entrambi frazione di Genga, nella zona attorno all'attuale parcheggio per le grotte di Frasassi. In questo tratto la viabilità esistente viene interferita quasi perpendicolarmente dal tracciato della ferrovia di progetto: in progetto viene previsto che la nuova viabilità sottopassi la Linea ferroviaria di progetto; il PL esistente alla progressiva Km 239+600 viene eliminato a seguito dello spostamento della linea ferroviaria in nuova sede.

In uscita dalla nuova stazione di Genga è prevista la nuova galleria "Genga" di circa 570 m, e poi una serie di gallerie (galleria Mogiano 800m, Galleria Chiarodovo 280m, Galleria La Rossa 1.230m e Galleria Murano 1.100 m) alternate a tratti all'aperto, che costituiscono un sistema di gallerie equivalenti, che pertanto sono state attrezzate con le predisposizioni di sicurezza in galleria in ottemperanza al DM del 28.10.2005, con fabbricati di emergenza (PGEP) per la sicurezza in galleria e marciapiedi PES (aventi lunghezza pari a 250m) per gestire l'esodo delle persone in condizioni di sicurezza.

Nei tratti all'aperto in alternanza alle gallerie sono previsti 3 viadotti di circa 240m, 210m e 110m.

Infine, è prevista l'adeguamento a fermata dell'impianto di Serra San Quirico, con realizzazione di un nuovo sovrappasso, dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), realizzazione di due nuovi marciapiedi L utile pari a 250 m e H=55 cm. Entrambi i marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie.

Nell'area della fermata verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

E' prevista la soppressione del PL posto alla progressiva Km 246+400 circa, mediante viabilità sostitutiva che sovrappassa la linea ferroviaria in progetto.

Subito dopo la fermata di Serra San Quirico verrà realizzata una Cabina TE provvisoria

Il presente documento fa riferimento, in particolare, al lotto 2 Bivio Nord-Albacina - Serra San Quirico (i) del suddetto progetto di fattibilità tecnico-economica della tratta ferroviaria PM228 – Castelplanio in esame.

Nel lotto 2 ricade la galleria Murano (GN06), oggetto della presente analisi di rischio.

### II.3 DESCRIZIONE DELLA GALLERIA

La galleria naturale Murano, con configurazione a singola canna - doppio binario, si estende tra le pk 6+160 BD (lato Orte) e pk 7+308 (lato Falconara), di cui 214 m in artificiale e 934 m in naturale con una copertura massima pari a circa 230 m, per una lunghezza complessiva pari a 1,148 km. Per l'imbocco lato Castelplanio è prevista una galleria artificiale con un portale a "becco di flauto rovesciato".

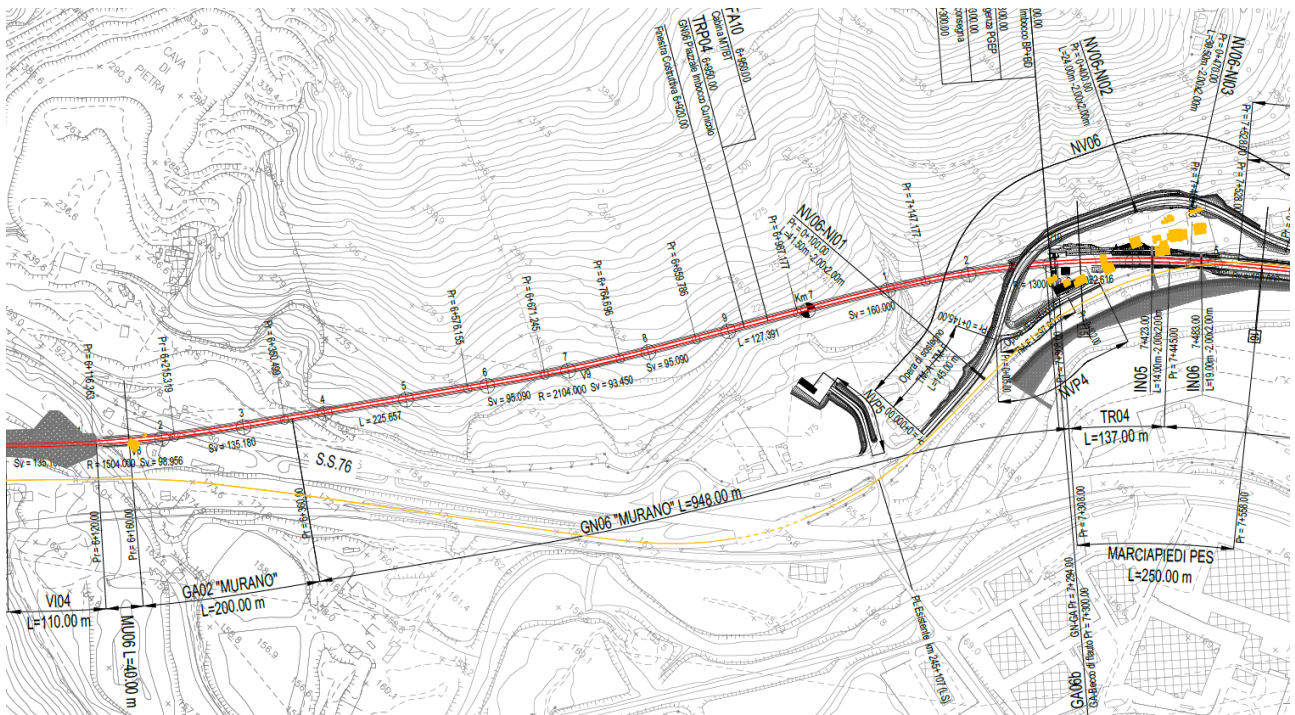
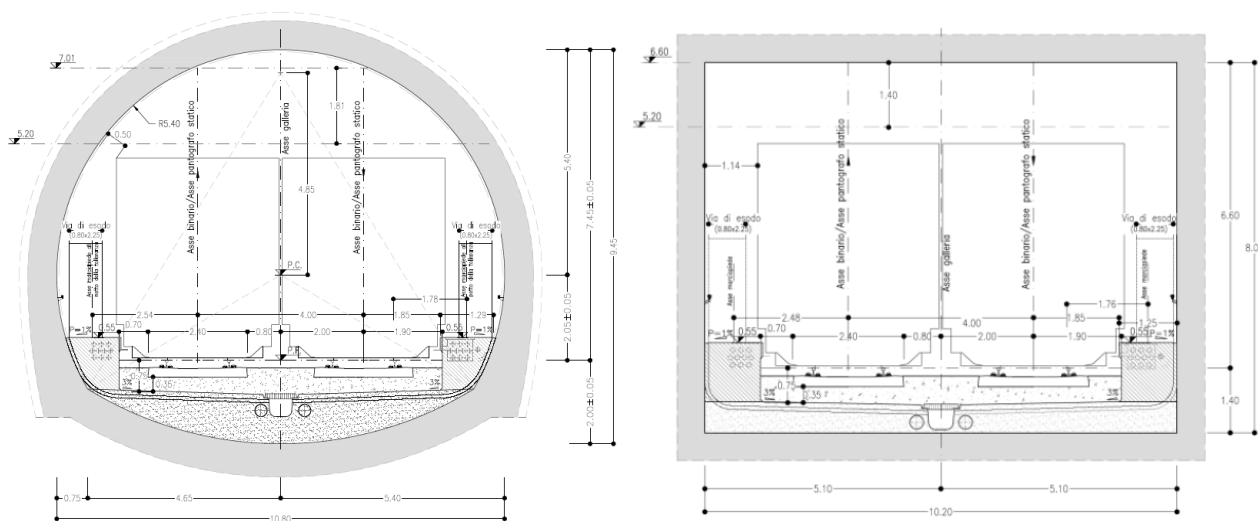


Figura 3: Stralci planimetrico galleria Murano

Si riporta di seguito la sezione di intradosso della galleria naturale, coincidente con quella prevista dal manuale di progettazione RFI per gallerie a doppio binario in scavo tradizionale e velocità di progetto compresa tra 160 e 200km/h, che consente il transito del PMO 5 (Gabarit C). Si riporta, inoltre, la sezione scatolare del tratto in artificiale.

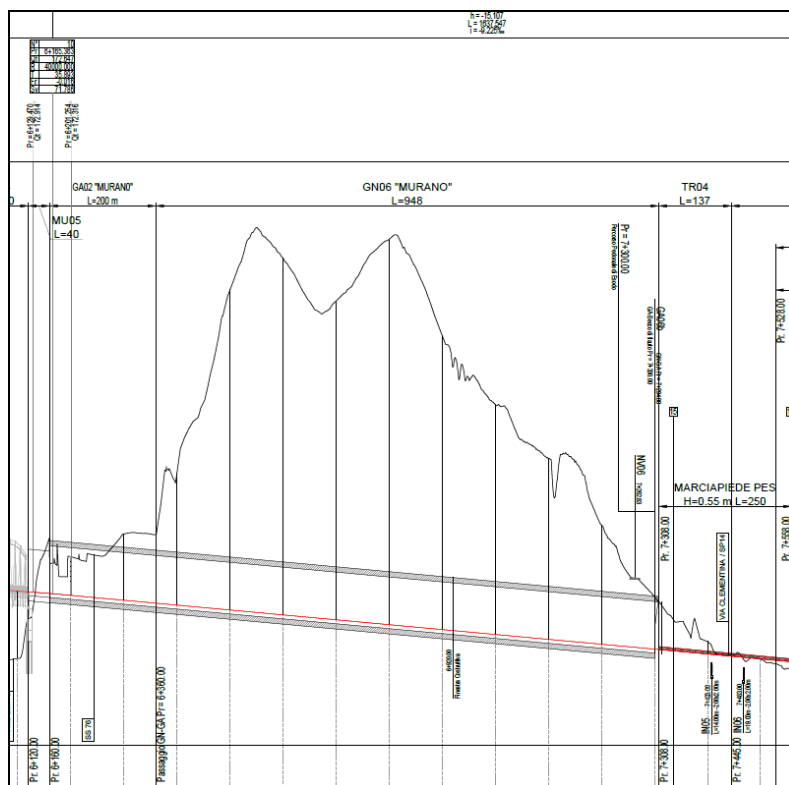
L'area libera della sezione è pari a circa 65 mq ed è previsto un marciapiede da ambo i lati a geometria variabile e di larghezza minima pari a 120 cm, dotato di mancorrente lungo l'intero sviluppo dell'opera. L'interasse è pari a 4m.

È prevista elettrificazione (alimentazione 3 kV cc, con predisposizione a 25 kV) e armamento di tipo tradizionale.



**Figura 4:** Sezioni tipo di intradosso per la galleria

Per quanto riguarda il profilo altimetrico (Figura 5), la galleria è monopendente in discesa verso Castelplanio con una pendenza costante pari a -9,225‰.



**Figura 5:** Profilo della galleria

La galleria è attrezzata con un'uscita pedonale intermedia costituita da una finestra lunga circa 100 m che si innesta alla pk 6+920 (lato BD); il collegamento tra l'uscita di emergenza ed il binario opposto è costituito da un sottopasso a valle di una zona compartimentata.

Sono previsti PES ad entrambi gli imbocchi della galleria equivalente (individuata ai sensi della STI SRT) di cui la galleria in esame fa parte e aree di sicurezza a servizio dei suddetti PES e dell'uscita.

Dal punto di vista del segnalamento, il progetto comprende modifiche ed implementazioni finalizzate al raddoppio della linea ed il passaggio da tecnologia elettromeccanica (ACEI) a tecnologia statica (ACC). Inoltre, verrà implementato il sistema di distanziamento BABcf eRSC 3/3 – 9 codici gestito da Apparato Centralizzato Computerizzato di Linea (ACC-L)

che sarà installato in opportuno fabbricato tecnologico nel PC/Bivio 228 (gestione della tratta PC/Bivio 228 – Genga S. Vittore) e nella stazione di Genga San Vittore (gestione della tratta Genga S. Vittore – Castelplanio). La linea è già attrezzata con SCMT per il controllo e la protezione del traffico ferroviario.

La linea attualmente è attrezzata con un impianto RTB nella tratta attuale PM 228 – Albacina al km 228+799 della LS, collegato con i segnali di partenza dei binari di corsa della Stazione di Fabriano. Per l'attrezzaggio tecnologico dell'intera tratta di raddoppio PM228-Castelplanio (Lotto 01, Lotto 02, Lotto 03) si prevede la riconfigurazione RTB.

Nel profilo IS si è ipotizzata la distribuzione dei nuovi segnali di stazione e di linea per il sistema di distanziamento scelto (Blocco automatico 3/3 a 9 codici) avendo ricevuto come input la realizzazione di sezioni di lunghezza 1350 m. Si stimano circa quattro sezioni di blocco da realizzare nella tratta Genga San Vittore – Serra San Quirico (passaggio doppio semplice binario), su una base di otto sezioni stimate sull'intero raddoppio della tratta Genga San Vittore – Castelplanio (futuro lotto 03) aventi lunghezza media di 1500 m. Infatti, l'ubicazione dei segnali dovrà essere funzionale all'intero collegamento, e per quanto possibile (condizioni di visibilità segnali) si cercherà di contrapporre i segnali di marcia sinistra con i segnali di marcia destra al fine di ridurre le installazioni lungo linea<sup>1</sup>.

Sulla base di una prima ipotesi di posizionamento dei segnali (*Cfr.* piano schematico IS), nella galleria in esame ricadrebbe un segnale di avviso sul Binario Pari, mentre sul Binario Dispari il segnale di blocco verrebbe a posizionarsi all'esterno in prossimità dell'imbocco. Tenendo conto del livello di dettaglio correlato alla presente fase progettuale, cautelativamente, è stata considerata la possibilità di accodamento treni in galleria in entrambi i sensi di marcia.

<sup>1</sup> *Cfr.* Relazione Tecnica Impianti IS-SCMT-CTC Tratta Genga S. Vittore (i) - Serra S. Quirico (i), IR0F02R18ROAS0000001

## II.4 MODELLI DI ESERCIZIO

In merito al traffico di riferimento, la Linea Guida richiede la valutazione del rischio secondo i tre modelli di esercizio seguenti:

- A. modello di esercizio “*di progetto*”, riferito ad uno scenario che tiene conto dei soli interventi di sviluppo della rete Infrastrutturale completamente finanziati dal vigente Contratto di Programma;
- B. modello di esercizio “*di lungo termine*”, riferito ad uno scenario che tiene conto di tutti gli interventi di sviluppo della rete infrastrutturale, finanziati e non, compresi nel vigente Contratto di Programma;
- C. modello di esercizio indicato nella documentazione *alla base degli atti autorizzativi*.

Per la galleria in oggetto i modelli di esercizio di cui ai casi A, B e C sono stati ipotizzati coincidenti e riferibili allo scenario di traffico di progetto desunto a partire dai dati di base condivisi dalla Committenza.

Di seguito, in tabella, si riepiloga tale scenario di traffico preso a riferimento nell'analisi in termini di treni/giorno, precisandone la ripartizione diurni/notturni:

SCENARIO DI PROGETTO (caso A) = SCENARIO DI LUNGO TERMINE (caso B) = SCENARIO ALLA BASE DEGLI ATTI AUTORIZZATIVI (caso C):

Tipologia treno		Treni/giorno	diurni	notturni
TP	LP	40	35	5
	REG	48	42	6
TM		8	5	3
<b>Totale</b>		<b>96</b>	<b>82</b>	<b>14</b>

Nel complesso: 88 treni passeggeri/giorno, di cui 40 lunga percorrenza, e 8 treni merci/giorno.

In assenza di un dato specifico per la linea, si assume una percentuale di treni merci pericolose pari al 10% sul totale treni merci (valore cautelativo rispetto al dato medio nazionale riportato nel Conto Nazionale delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili,

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>15 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	15 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	15 di 200											

Anni 2019-2020, pari al 5% che fa riferimento al trasporto effettuato solo da Mercitalia Rail)

La trazione è di tipo elettrico nell'ordinario esercizio, ma si è tenuto conto nell'analisi di eventuali instradamenti occasionali di treni passeggeri a trazione diesel. Come per i treni TMP, anche per i treni a trazione diesel non è quantificabile un dato consolidato: si è assunto quindi un incremento dell'1% del traffico passeggeri per tenere conto di tali eventuali instradamenti<sup>2</sup>.

I treni si considerano equamente ripartiti tra il binario pari ed il dispari.

In coerenza con la Linea Guida, l'occupazione dei treni passeggeri considerata nell'analisi è pari a 180 viaggiatori per i treni regionali e 420 per i treni lunga percorrenza (considerando un coefficiente di riempimento pari a 0,6 ed una capacità media dei rotabili di 300 passeggeri per i treni locali e 700 per i treni lunga percorrenza).

Con riferimento, poi, alle velocità nella galleria, come indicato nella Linea Guida, la velocità dei treni al momento dell'incidente è stata assunta pari a quella di rango.

Per la galleria in esame le velocità di rango sono pari a 120km/h per i treni merci, 160km/h per i treni regionali e 185km/h per i lunga percorrenza.

Per tutti i dettagli relativi all'esercizio si rimanda alla relazione specialistica di progetto IR0F00R16RGES0001001.

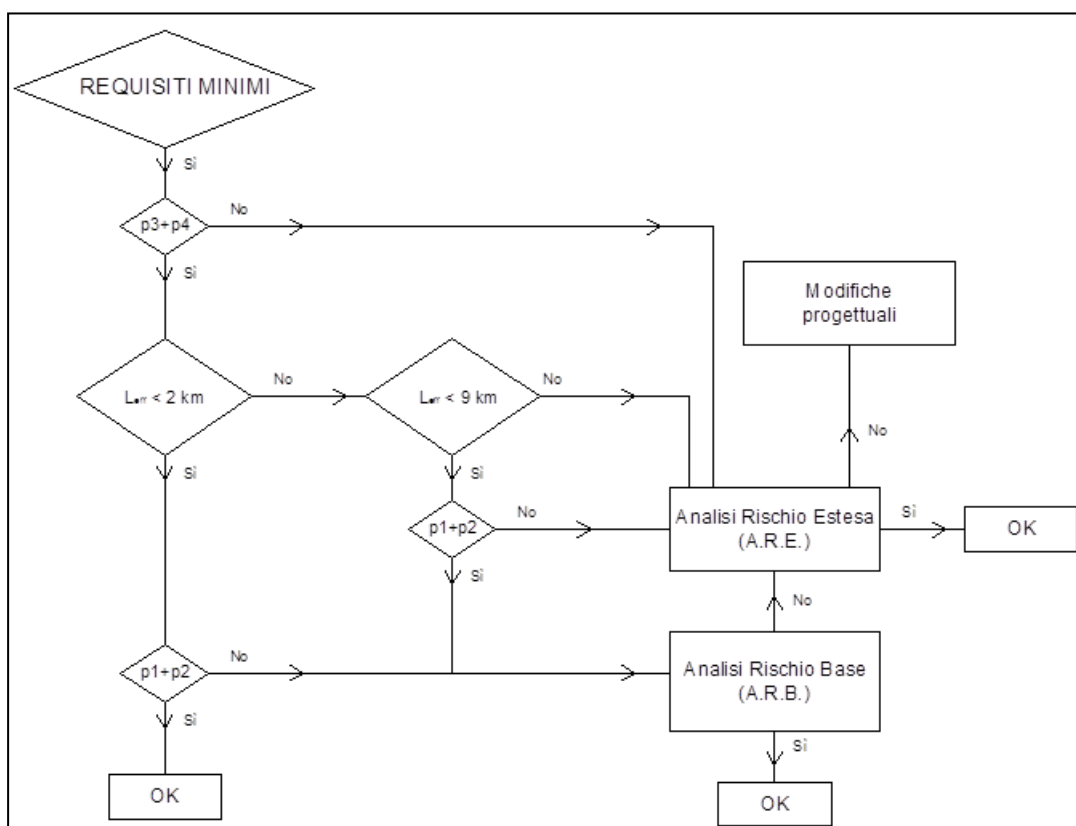
<sup>2</sup> Dato in linea con quello fornito dalla Committenza (fonte: DT RFI) per analoghe valutazioni per gallerie su altre tratte.

### III APPLICABILITÀ DELL'ANALISI DI RISCHIO AI SENSI DEL DM

Ai sensi del DM, l'effettuazione dell'Analisi di Rischio Estesa per la galleria in esame è subordinata alla valutazione dei seguenti elementi caratterizzanti la stessa:

- lunghezza;
- parametri caratteristici:
  - p1: volume di traffico;
  - p2: andamento altimetrico;
  - p3: tipologia di traffico;
  - p4: rischi di area specifici in prossimità degli imbocchi.

per poi seguire il diagramma di flusso:



**Figura 6:** Procedura per la scelta dei metodi di verifica della sicurezza (fonte: tavola 6.II del DM)



Relativamente ai parametri indicati, la galleria in esame, di lunghezza complessiva tra 1 e 2 km, soddisfa il parametro p1 (volume di traffico non superiore ai 220 treni/giorno) per il modello di esercizio considerato (caso A=caso B=caso C) (si veda § II.4).

In merito al parametro p2, la galleria non presenta inversione di pendenza e pertanto lo stesso risulta soddisfatto.

In relazione al parametro p3, considerando la sezione a singola canna-doppio binario e tenendo conto dello scenario di traffico preso in esame che prevede il trasporto di merci, risulta possibile la contemporanea presenza all'interno della galleria stessa di treni passeggeri e treni trasportanti merci pericolose. Pertanto, il parametro p3 non risulta soddisfatto nei casi A=B=C.

Infine, il parametro p4 è stato verificato, come da indicazioni della Linea Guida, sulla base dell'inventario nazionale degli stabilimenti a rischio di Incidente rilevante, coordinato dal Ministero della Transizione Ecologica e predisposto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che contiene l'elenco degli stabilimenti notificati ai sensi del decreto legislativo 26 giugno 2015, n. 105 relativo al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose. Il suddetto inventario, in base agli esiti di valutazione dei rapporti di sicurezza e delle ispezioni, fornisce indicazioni sulla soglia di assoggettabilità (inferiore o superiore) delle aziende al suddetto decreto e, per ciascuna di esse, le informazioni al pubblico sulla natura del rischio e sulle misure da adottare in caso di emergenza. In esito a tale verifica condotta con riferimento alla Regione Marche (ultimo aggiornamento disponibile), ed in particolare per la Provincia di Ancona e per i comuni di interesse in cui ricade la galleria in esame o sono ad essa prossimi, il parametro p4 è soddisfatto non risultando presenti stabilimenti a rischio.

In conclusione, in base all'analisi dei parametri sopra riportata, per la galleria Murano ai sensi del DM occorre sviluppare un'Analisi di Rischio Estesa.

Nei capitoli seguenti viene illustrato lo studio condotto per la galleria.

#### IV DEFINIZIONI ED ACRONIMI

Di seguito sono elencate le definizioni e gli acronimi che saranno utilizzati nel documento:

**Analisi del Rischio** Un approccio strutturato che identifica sia la probabilità che la severità delle conseguenze dannose che possono essere generate da una specifica attività

**Errore Umano** Un'azione umana che può portare ad un indesiderato comportamento / guasto di sistema

**Evento Iniziatore** Evento che pone inizio ad una catena incidentale

**Guasto** Condizione in cui il servizio fornito devia dal servizio specificato. Il servizio specificato è descritto nelle specifiche di servizio ed è una descrizione concordata del servizio atteso

**Misure di Sicurezza** Predisposizioni (strutturali, impiantistiche, organizzative) che garantiscono alcune funzioni essenziali al "sistema galleria" al fine di prevenire l'insorgere di situazioni di pericolo e mitigarne le eventuali conseguenze

**Incidente** Un evento improvviso indesiderato e non intenzionale o specifica catena di siffatti eventi aventi conseguenze dannose; gli incidenti si dividono nelle seguenti categorie: collisioni, deragliamenti, incidenti ai passaggi a livello, incidenti a persone causati da materiale rotabile in movimento, incendi e altro

**Incidente Significativo** Qualsiasi incidente che coinvolge almeno un veicolo ferroviario in movimento e causa almeno un decesso o un ferito grave, oppure danni significativi a materiale, binari, altri impianti o all'ambiente,

oppure un'interruzione prolungata del traffico, esclusi gli incidenti nelle officine, nei magazzini e nei depositi

**Inconveniente**      Qualsiasi evento diverso da un incidente avente un'incidenza sulla sicurezza dell'esercizio ferroviario

**Pericolo (*hazard*)**      Una situazione fisica con una potenzialità di arrecare lesioni alle persone

**Pericolo Potenziale**      (definito anche *evento pericoloso*) un evento, o una serie di eventi, che abbia la potenzialità di causare un pericolo

**Rischio**      La combinazione di frequenza o probabilità di incidente con la relativa conseguenza in termini di severità di pericolo

**Rischio Cumulato**      Valore normalizzato della probabilità cumulata di superare una fissata soglia di danno

**Rischio Individuale**      Valore atteso del danno, normalizzato rispetto al numero dei passeggeri, ai chilometri di galleria e per l'anno

**Sequenza di Eventi**      Una sequenza di eventi pericolosi che possa portare ad un incidente

ACB      Analisi Costi-Benefici

ALARP      *As Low As Reasonably Practicable*

BDP      Banca Dati Pericoli

BDS      Banca Dati Sicurezza

CR      Rischio Cumulato

ETA      *Event Tree Analysis* (Analisi ad Albero degli Eventi)

FTA      *Fault Tree Analysis* (Analisi ad Albero dei Guasti)

IR      Rischio Individuale

R      Rischio Totale

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>20 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	20 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	20 di 200											

## 1. DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI ANALISI

Il presente Capitolo definisce ed espone la metodologia impiegata per lo svolgimento dell'analisi di rischio della galleria, in accordo con i principi di cui all'Allegato III al DM e con la Linea Guida.

La metodologia adottata per lo svolgimento dell'analisi di rischio si sviluppa attraverso i seguenti passi principali:

a) analisi preliminare dei rischi:

- individuazione dei pericoli potenziali afferenti a una generica linea ferroviaria;
- identificazione dei pericoli e selezione di quelli rilevanti per la galleria oggetto di studio e successiva valutazione semi-quantitativa dei rischi da essi originati, con conseguente definizione della classe degli eventi iniziatori da sottoporre ad analisi quantitativa;

b) analisi dell'incidentalità della rete ferroviaria italiana:

- studio delle cause di innesco dei singoli eventi iniziatori;
- valutazione dei tassi incidentali e determinazione dei ratei degli eventi iniziatori individuati;

c) sviluppo delle sequenze incidentali relative agli eventi selezionati tramite ETA, al fine di individuare gli scenari finali ritenuti credibili, con conseguente:

- calcolo delle frequenze di accadimento, tramite valutazione delle probabilità associate ai "gate" degli alberi;
- valutazione delle conseguenze (numero di fatalità attese), tramite utilizzo di "modelli di letalità" basati sullo sviluppo di studi deterministici, per la valutazione dei fenomeni in gioco, e su modelli probabilistici, per la valutazione degli effetti dei fattori di rischio sulle persone esposte;

d) stima del Rischio:

- calcolo del livello di Rischio Atteso Totale, Rischio Atteso Individuale e Rischio Cumulato (mediante lo sviluppo di curve F-N);
- valutazioni di tipo ALARP (con eventuale analisi Costi-Benefici).

Il procedimento è schematizzato in Figura 7.

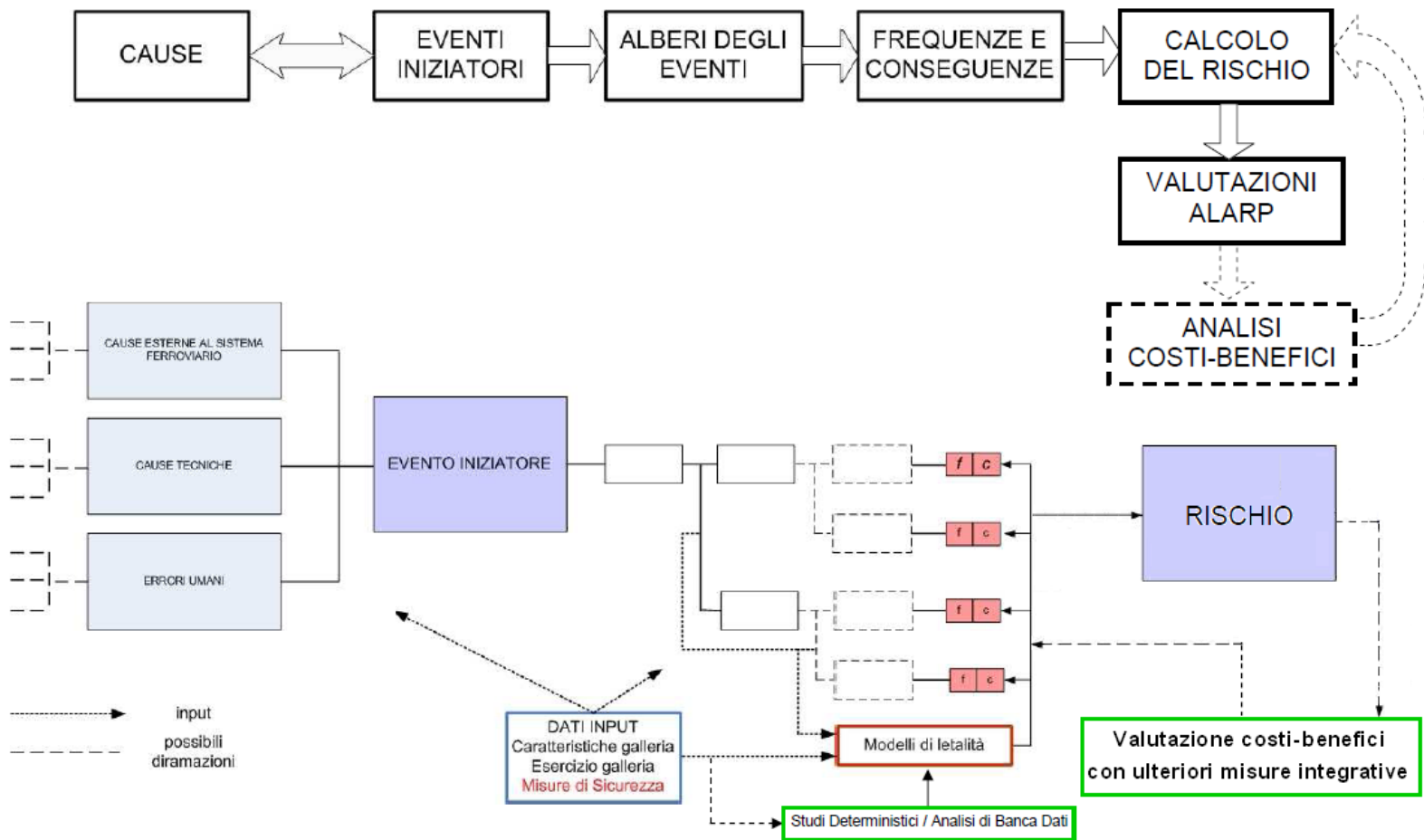
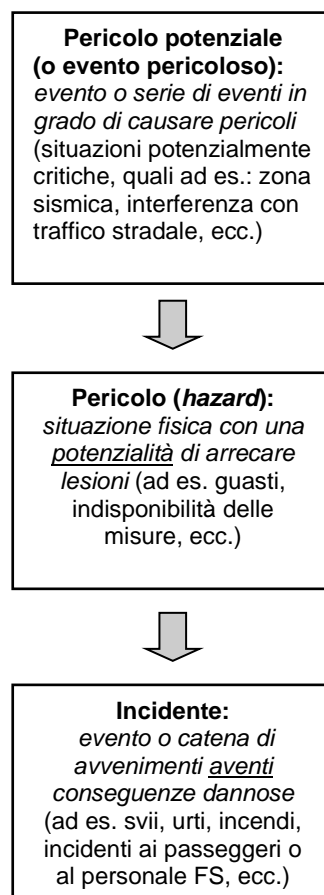


Figura 7: Schema procedurale

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>22 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	22 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	22 di 200											

## 1.1 ANALISI PRELIMINARE DEI RISCHI: EVENTI CRITICI INIZIATORI

Al fine di identificare i rischi associati all'esercizio di una galleria ferroviaria è necessario valutare, innanzitutto, i pericoli potenziali afferenti al sistema, quindi i principali *hazard*:



### 1.1.1 METODI DI IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI E CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI INCIDENTI

La lista dei pericoli viene definita attraverso un processo sistematico, tale da garantirne la completezza ed allo stesso tempo la chiara separazione degli stessi pericoli in base alle loro cause, in modo da evitare sovrapposizioni e ridondanze nella successiva fase di analisi quantitativa degli scenari incidentali.

L'identificazione dei pericoli può essere condotta attraverso diverse tecniche:

- empirica;
- creativa

L'identificazione empirica delle situazioni pericolose si fonda sulla conoscenza e sull'esperienza pregressa per identificare le situazioni pericolose potenziali.

Alcuni dei metodi di identificazione empirica delle situazioni pericolose sono di seguito elencati:

- ✓ liste di controllo (*check-list*)
- ✓ analisi dei Modi e degli Effetti dei Guasti (FMEA) per apparecchiature e sistemi;
- ✓ analisi delle attività per le interfacce uomo-macchina.

Queste ultime tecniche identificano particolari guasti di componenti o errori umani che possono condurre al verificarsi di situazioni pericolose. Esse richiedono comunque una dettagliata conoscenza dei modi di guasto di componenti e sottosistemi, inclusi gli interventi umani e i probabili errori.

I metodi di identificazione creativa delle situazioni pericolose si basano su gruppi di lavoro per sfruttare le diverse e complementari esperienze e competenze di un insieme di individui e prevedono:

- ✓ riunioni di discussione critica;
- ✓ studi delle situazioni pericolose e dell'operatività (HAZOP)

Poiché una situazione pericolosa è il precursore di un incidente, l'identificazione degli incidenti prevedibili è una fase importante del processo di valutazione del rischio, da affrontare tenendo conto di documentazione e dati pregressi, studi precedenti, gruppi esposti, itinerari percorsi dai treni (considerando ad esempio la presenza di gallerie, lunghi ponti, stazioni sotterranee,) etc.

La UIC (*Union Internazionale des Chemins de Fer*) è un Ente europeo che riunisce i dati incidentali ferroviari delle compagnie membri. La UIC stessa rende omogenei i dati secondo proprie regole.

Gli eventi che vengono classificati come incidenti ferroviari sono quelli che si verificano sulle linee principali e di servizio, intese sia come tratte in piena linea, che nell'ambito delle stazioni.

La UIC classifica gli incidenti secondo le modalità seguenti:

- collisioni: scontro tra unità rotabili o con ostacoli;
- deragliamenti: svii di unità rotabili;
- incidenti a persone causate da materiale rotabile in movimento;
- incidenti ai passaggi a livello;
- altri incidenti.

Nella tipologia "altri incidenti" rientrano incendi ed esplosioni.

Fino al 31 dicembre 2005, gli incidenti venivano distinti in "Lievi" e "UIC" sulla base delle conseguenze verificatesi.

Gli incidenti UIC comportano:

- morte di una persona (suicidi esclusi);
- ferimento grave di una persona: inabilità al lavoro per un periodo superiore ai 14 giorni;
- danno grave al materiale di trasporto od alle strutture (compresa interruzione totale del servizio di almeno 6 ore) con danni superiori ai 10.000 euro.

A partire dal 01 gennaio 2006:

- Viene considerato "ferito grave" colui che ha subito un'ospedalizzazione di almeno 24 ore;



	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>25 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	25 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	25 di 200											

- Vengono considerate “avarie importanti al materiale rotabile, all’infrastruttura o agli impianti” quelle con danni a partire dai 150.000 euro, restando immutati gli altri criteri.

Per convenzione, viene accettata dai Paesi aderenti all’UIC un’ulteriore suddivisione degli incidenti in Tipici e Atipici.

- *Tipici* sono gli incidenti accaduti:

- in circolazione (relativi ai treni);
- in manovra (avvenuti durante le operazioni negli scali di stazione o nei binari di circolazione per l’aggancio/sgancio di vetture o carri);
- ai mezzi speciali (i veicoli ferroviari con cui operano gli addetti alla manutenzione dell’infrastruttura ferroviaria – siano essi appartenenti ad RFI o a Ditte esterne operanti per conto di RFI);
- ai Passaggi a livello (le collisioni tra treni o manovre e veicoli stradali o ogni altro ostacolo provocato dalla circolazione stradale, esclusi i pedoni).

Rientrano nella tipologia di incidenti “Tipici” le collisioni, i deragliamenti e gli incendi dei rotabili (cioè delle vetture o dei carri).

- *Atipici* sono incidenti accaduti ad una singola persona in relazione a rotabili in movimento:

- Personale FS che partecipa ad un’operazione di manovra o di aggancio veicoli;
- Viaggiatori, Personale FS, Personale di Ditte o Estranei che stazionano o circolano nell’ambito della ferrovia e subiscono danni da treni o rotabili;
- Viaggiatori, Personale FS, Personale di Ditte o Estranei che subiscono danni mentre sono trasportati su di un veicolo ferroviario, oppure sono urtati da un ostacolo o da un altro veicolo;

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>26 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	26 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	26 di 200											

- Viaggiatori, Personale FS, Personale di Ditte o Estranei che cadono da un veicolo ferroviario in movimento;
- Pedoni che vengono investiti mentre attraversano un Passaggio a livello.

L'Italia ha adottato la classificazione degli incidenti secondo i criteri scelti dall'UIC, recependo, inoltre, le indicazioni dell'ERA - European Railway Agency (*Implementation of Guidance for CSIs, Annex 1 of Directive 2004/49/EC as amended by Directive 2009/149/EC*). La suddetta Direttiva è stata successivamente modificata dalla Direttiva 2014/88/UE della Commissione del 9 luglio 2014 (recepita in Italia con Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 26 giugno 2015) per quanto riguarda gli indicatori comuni di sicurezza e i metodi comuni di calcolo dei costi connessi agli incidenti (Allegato I). In particolare, per gli incidenti è stata introdotta la dicitura "Incidente significativo" (*cf.* § IV) lasciando inalterati i criteri di classificazione ("danni significativi" quantificabili in 150.000 EUR o più; "interruzione prolungata del traffico" per 6 ore o più; "persona deceduta" immediatamente o entro 30 giorni dall'incidente e "persona gravemente ferita" ricoverata per più di 24 ore – esclusi i suicidi/tentativi di suicidio).

Nel 2019 il decreto n° 50 di *Attuazione della direttiva 2016/798 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 maggio 2016, sulla sicurezza delle ferrovie* ha stabilito disposizioni volte a sviluppare e a migliorare la sicurezza del sistema ferroviario, precisando gli indicatori comuni di sicurezza da adottare, senza comunque apportare sostanziali modifiche rispetto a quanto già recepito in Italia sulla base delle precedenti Direttive.

Nell'ambito della metodologia di analisi di rischio per le gallerie ferroviarie per l'identificazione dei pericoli si utilizza un approccio empirico basato sull'analisi statistica dei dati storici incidentali italiani (Banca Dati Pericoli - BDP e Banca Dati Sicurezza - BDS).

A seguito dell'individuazione dei pericoli potenziali afferenti ad una generica linea ferroviaria e in particolare il sistema galleria, vengono definiti gli eventi critici iniziatori, associando ai pericoli ritenuti significativi i possibili incidenti e tenendo presente gli scenari incidentali di riferimento (DM, Allegato III).

### 1.1.2 PERICOLI POTENZIALI ED EVENTI INIZIATORI PER UNA GENERICA LINEA FERROVIARIA

Al fine di identificare gli *hazard* associati ad un sistema ferroviario, è stata condotta un'attività di indagine basata sui dati registrati in BDP/BDS, tenendo conto anche di precedenti studi di settore, il cui risultato viene sintetizzato di seguito in coerenza e ad integrazione della lista preliminare degli eventi pericolosi e delle cause riportata nell'Allegato III, Annesso B al DM.

La classificazione dei pericoli è strutturata in maniera tale da evidenziare per ciascuno di essi:

- **hazard cluster**, che rappresenta la famiglia di *hazard* di appartenenza sulla base delle cause (*pericoli/hazard* riconducibili a *cause tecniche relative al materiale rotabile, infrastruttura, esterne al sistema ferroviario, hazard* ascrivibili a *personale e/o utenti*);
- **possibili incidenti derivanti** (deragliamento, collisione, etc.);
- **sorgenti del pericolo stesso**, intese come i sottosistemi da cui può originare la causa dell'*hazard* (*materiale rotabile, infrastruttura, personale di bordo/terra, utenti del servizio e/o sorgenti esterne al sistema ferroviario*).

**Tabella 1: Cluster per principali sorgenti dei pericoli potenziali**

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>							Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario
			Materiale Rotabile		Infrastruttura							
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento	Altre strutture				
pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a <i>cause tecniche relative al materiale rotabile</i>	deterioramento/cedimento meccanico dell'impianto frenante	deragliamento, collisione	X	X								
	guasto alla logica di gestione dell'impianto frenante	deragliamento, collisione	X	X								
	cedimento strutturale del veicolo	deragliamento	X	X								
	perdita di trazione del veicolo	deragliamento, collisione	X									
	corto circuito degli impianti elettrici di bordo	incendio di materiale rotabile	X	X								
	guasto all'equipaggiamento termico del sistema di trazione diesel	incendio di materiale rotabile	X									
	rilascio di combustibile da locomotore diesel	Incendio di materiale rotabile, esplosione	X									
	surriscaldamento organi meccanici	incendio di materiale rotabile	X	X								

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>							Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario	
			Materiale Rotabile		Infrastruttura			Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio				Esterna al sistema ferroviario
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento						
(pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile)	surriscaldamento organi elettrici	incendio di materiale rotabile	X	X									
	emissione / rilascio di sostanze pericolose da treno merci pericolose danneggiato	rilascio sostanze tossiche, incendio, esplosione		X									
	difettosità/usura delle strutture e dei componenti dei carri	rilascio sostanze tossiche, incendio, esplosione	X	X									
	guasto al sistema di condizionamento di bordo	generici incidenti ai passeggeri		X									
pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura	guasto all'impianto di rilevamento boccole calde	deragliamento, collisione, incendio di materiale rotabile		X			X						
	perdita completa di potenza elettrica	deragliamento, collisione				X		X					
	sezione di linea disalimentata	deragliamento, collisione				X		X					
	perdita completa di alimentazione agli apparati di linea	deragliamento, collisione				X		X					
	cedimento strutturale dell'armamento	deragliamento			X								

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>							Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario
			Materiale Rotabile		Infrastruttura			Altre strutture				
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento					
(pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a cause tecniche relative all' <i>infrastruttura</i> )	cedimenti strutturali delle opere civili	deragliamento, urto contro ostacoli							X			
	guasto al sistema che gestisce le logiche di blocco	deragliamento, collisione						X				
	indisponibilità/guasto del sistema che gestisce le logiche di <i>interlocking</i>	deragliamento, collisione			X		X					
	sovrappressioni, effetto pistone	generici incidenti per i passeggeri							X			
	allagamento galleria: guasto ai sistemi di pompaggio	deragliamento							X			
	allagamento galleria: rottura condotte dell'impianto antincendio	deragliamento							X			
	corto circuito degli impianti di trazione elettrica	incendio di materiale rotabile					X					
	corto circuito/difettosità della linea di alimentazione	incendio in linea					X					
	corto circuito/difettosità degli impianti nei locali tecnici	incendio in linea							X			

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>									
			Materiale Rotabile		Infrastruttura				Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario	
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento	Altre strutture				
(pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a cause tecniche relative all' <i>infrastruttura</i> )	corto circuito/difettosità degli impianti nei collegamenti trasversali tra le due canne di una galleria	incendio in linea							X			
	corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi/finestre di accesso	incendio in linea							X			
	corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi di estrazione	incendio in linea							X			
	evacuazione in viadotto/ponte/trincea	generici incidenti ai passeggeri							X			
	evacuazione in tunnel	generici incidenti ai passeggeri							X			
	inversione di pendenza "a schiena d'asino": aumento localizzato della concentrazione dei fumi	generici incidenti ai passeggeri (connessi all'esodo in caso di incendio)							X			
	ristagno delle acque intercluse: inversione di pendenza "a corda molle"	deragliamento							X			







hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>							Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario
			Materiale Rotabile		Infrastruttura							
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento	Altre strutture				
pericoli/ <i>hazard</i> ascrivibili a <i>personale e/o utenti</i>	intrappolamento tra convoglio e banchina	generici incidenti ai passeggeri									X	
	intrappolamento nelle porte	generici incidenti ai passeggeri									X	
	tentativo di discesa a treno già avviato	generici incidenti ai passeggeri									X	
	caduta sui binari in stazione	generici incidenti ai passeggeri									X	
	generico pericolo in stazione	generici incidenti ai passeggeri									X	
	eccessivo affollamento piattaforma	generici incidenti ai passeggeri									X	
	attraversamento del binario	generici incidenti ai passeggeri									X	
	treno in movimento con porte aperte	generici incidenti ai passeggeri							X			

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Sorgente dei pericoli potenziali/ <i>hazard</i>							Personale di Bordo / di Terra	Utenti del servizio	Esterna al sistema ferroviario	
			Materiale Rotabile		Infrastruttura								
			Locomotore	Materiale Rimorchiato	Armamento	Linea Area	Segnalamento						
pericoli/ <i>hazard</i> ascrivibili a <i>personale e/o utenti</i>	porte aperte dal lato sbagliato	generici incidenti ai passeggeri							X				
	oggetti abbandonati sulla linea	deragliamento, urto contro ostacoli							X				
	mancato rispetto regolamenti/prescrizioni/segnali	deragliamento, collisione, urto contro ostacoli							X				
	supero velocità massima	deragliamento							X				
	manutenzione inadeguata	deragliamento, urto contro ostacoli, incendio							X				
	interventi di emergenza sulla linea ferroviaria	deragliamento, urto contro ostacoli, incendio							X				

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>36 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	36 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	36 di 200											

I pericoli sopra elencati garantiscono una copertura delle tipologie credibili di *hazard* che possono presentarsi durante l'esercizio di un sistema ferroviario.

Essi possono essere diversamente raggruppati in funzione, ad esempio, del potenziale evento incidentale correlato, come di seguito riportato. Tale classificazione consente di individuare con maggiore efficacia gli eventi iniziatori significativi per il sistema ferroviario:

- **Deragliamenti** [incidente/rischio]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile:
    - deterioramento/cedimento meccanico dell'impianto frenante,
    - guasto alla logica di gestione dell'impianto frenante,
    - cedimento strutturale del veicolo,
    - perdita di trazione del veicolo,
    - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde;
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura:
    - Armamento:
      - cedimento strutturale dell'armamento,
      - indisponibilità del sistema che gestisce le logiche di interlocking;
    - Linea Aerea:
      - perdita completa di potenza elettrica,
      - sezione di linea disalimentata,
      - perdita completa di alimentazione agli apparati di linea;
    - Sistemi di segnalamento e sicurezza<sup>3</sup>:
      - guasto al sistema che gestisce le logiche di blocco,
      - guasto al sistema che gestisce le logiche di interlocking,
      - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde;
    - Altre strutture (nell'ambito dell'infrastruttura: opere civili e impianti):
      - cedimenti strutturali delle opere civili,
      - ristagno acque intercluse: inversione di pendenza a corda molle,

<sup>3</sup> Si considerano tra le cause di guasto dei sistemi di segnalamento e sicurezza i fenomeni di interferenza elettromagnetica.

- allagamento galleria: guasto sistemi pompaggio,
  - allagamento galleria: rottura condotte impianto antincendio,
  - perdita completa di potenza elettrica,
  - sezione di linea disalimentata,
  - perdita completa di alimentazione agli apparati di linea;
- pericoli (*hazard*) ascrivibili a personale di bordo/terra e/o utenti:
- oggetti abbandonati sulla linea,
  - manutenzione inadeguata,
  - interventi di emergenza sulla linea ferroviaria,
  - mancato rispetto regolamenti/prescrizioni/segnali,
  - supero velocità massima;
- pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
- di natura ambientale/relativi ad interferenze:
    - ostruzioni sulla linea,
    - sisma,
    - fenomeni alluvionali,
    - instabilità dei pendii,
    - effetto del vento,
    - valanghe,
    - esondazioni in corrispondenza di corsi d'acqua o canali artificiali/infiltrazione acque di falda,
    - uscita dalla sede stradale di mezzi e merci verso il tracciato ferroviario,
    - abbagliamento mezzi stradali in transito,
    - interventi di emergenza sulla sede stradale,
    - interferenza con traffico aereo,
    - aree a rischio specifico agli imbocchi;
  - ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio:
    - oggetti lanciati sulla linea,

- intrusione nei locali tecnici e centro di controllo;
- **Collisione** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile:
    - cedimento strutturale del veicolo,
    - perdita di trazione del veicolo,
    - deterioramento/cedimento meccanico dell'impianto frenante,
    - guasto alla logica di gestione dell'impianto frenante,
    - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde;
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura:
    - Armamento:
      - indisponibilità del sistema che gestisce le logiche di interlocking,
    - Linea Aerea:
      - perdita completa di potenza elettrica,
      - sezione di linea disalimentata,
      - perdita completa di alimentazione agli apparati di linea;
    - Sistemi di segnalamento e sicurezza:
      - guasto al sistema che gestisce le logiche di blocco,
      - guasto al sistema che gestisce le logiche di interlocking,
      - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde;
    - Altre strutture (nell'ambito dell'infrastruttura: opere civili e impianti):
      - perdita completa di potenza elettrica,
      - sezione di linea disalimentata,
      - perdita completa di alimentazione agli apparati di linea;
  - pericoli (*hazard*) ascrivibili a personale di bordo/terra e/o utenti:
    - mancato rispetto regolamenti/prescrizioni/segnali;
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
    - di natura ambientale / relativi ad interferenze:
      - abbagliamento mezzi stradali in transito,
      - interferenza con traffico aereo;

- ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio:
  - intrusione nei locali tecnici e centro di controllo;
- **Urto contro ostacoli** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura:
    - Altre strutture (nell'ambito dell'infrastruttura: opere civili e impianti):
      - cedimenti strutturali delle opere civili;
    - pericoli (*hazard*) ascrivibili a personale di bordo/terra e/o utenti:
      - oggetti abbandonati sulla linea,
      - manutenzione inadeguata,
      - interventi di emergenza sulla linea ferroviaria;
      - mancato rispetto regolamenti/prescrizioni/segnali
    - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
      - di natura ambientale / relativi ad interferenze:
        - ostruzioni sulla linea/presenza di animali sul binario,
        - uscita dalla sede stradale di mezzi o merci verso il tracciato ferroviario,
        - interventi di emergenza sulla sede stradale,
        - instabilità dei pendii,
        - valanghe,
        - aree a rischio specifico agli imbocchi;
      - ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio:
        - oggetti lanciati sulla linea;
- **Incendio di materiale rotabile** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile:
    - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde,
    - corto circuito degli impianti elettrici di bordo,
    - guasto all'equipaggiamento termico del sistema di trazione diesel,
    - rilascio di combustibile da locomotore diesel,

- surriscaldamento organi meccanici,
- surriscaldamento organi elettrici;
- pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura:
  - Linea aerea:
    - corto circuito degli impianti di trazione elettrica;
  - Sistemi di segnalamento e sicurezza:
    - guasto all'impianto di rilevamento boccole calde;
- pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
  - ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio:
    - atti vandalici all'interno del treno o nelle vicinanze della linea;
- **Incendio in linea** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
- pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura
  - Linea aerea:
    - corto circuito/difettosità della linea di alimentazione;
  - Altre strutture:
    - corto circuito/difettosità degli impianti nei locali tecnici,
    - corto circuito/difettosità degli impianti nei collegamenti trasversali tra le due canne di una galleria,
    - corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi di accesso,
    - corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi di estrazione,
    - corto circuito/difettosità degli impianti nelle finestre di accesso;
- pericoli (*hazard*) ascrivibili a personale di bordo/terra e/o utenti:
  - manutenzione inadeguata,
  - interventi di emergenza sulla linea ferroviaria;
- pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
  - di natura ambientale / relativi ad interferenze:
    - sisma,
    - aree a rischio specifico agli imbocchi,
    - rilascio di gas o liquidi pericolosi da sistemi di distribuzione;



- presenza di gas infiammabili nel sottosuolo;
- interferenza con traffico aereo
- ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio:
  - atti vandalici all'interno del treno o nelle vicinanze della linea,
  - intrusione nei locali tecnici e centro di controllo;
- **Incidenti relativi alle merci pericolose: rilasci/incendi/esplosioni** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile:
    - emissione/rilascio di sostanze pericolose da treno merci pericolose danneggiato,
    - difettosità/usura delle strutture e dei componenti dei carri;
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause esterne:
    - aree a rischio specifico agli imbocchi,
    - rilascio di sostanze pericolose da parte di sistemi di distribuzione di gas o liquidi;
- **Generici incidenti ai passeggeri** [*incidente / rischio*]: *pericoli potenziali e hazard origine*
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile:
    - guasto al sistema di condizionamento di bordo;
  - pericoli (*hazard*) riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura:
    - Altre strutture:
      - Sovrappressione effetto pistone,
      - Evacuazione in viadotto o ponte,
      - Evacuazione in tunnel,
      - Aumento localizzato della concentrazione dei fumi: inversione di pendenza "a schiena d'asino";
  - pericoli (*hazard*) ascrivibili a personale di bordo/terra e/o utente:
    - attraversamento del binario,
    - intrappolamento tra convoglio e banchina,

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>42 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	42 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	42 di 200											

- intrappolamento nelle porte,
- tentativo di discesa a treno già avviato,
- caduta sui binari in stazione,
- generico pericolo in stazione,
- eccessivo affollamento piattaforma,
- treno in movimento con porte aperte,
- porte aperte dal lato sbagliato.

In esito a tale analisi, per una generica linea ferroviaria sono stati individuati i seguenti eventi iniziatori base:

- Deragliamento
- Collisione
- Urto contro ostacoli
- Incendio di materiale rotabile
- Incendio in linea
- Incidenti relativi al trasporto di merci pericolose (emissioni gas/liquidi, ecc.)
- Generici incidenti ai passeggeri

### 1.1.3 PERICOLI POTENZIALI ED EVENTI INIZIATORI PER IL SISTEMA GALLERIA

I pericoli potenziali e i relativi incidenti prevedibili individuati per una generica linea ferroviaria sono in generale applicabili al sistema galleria. Tuttavia, alcune classi di pericoli lo sono solo in presenza di determinate condizioni (tipo di traffico, collocazione geografica, fattori ambientali, etc.) e/o caratteristiche strutturali dell'infrastruttura (tipo di configurazione, profilo piano-altimetrico, presenza di stazioni in sotterraneo, etc.).

Pertanto, la possibilità che i singoli *hazard* si configurino quali applicabili alla galleria oggetto di analisi dipende dal tipologico di galleria oggetto di esame e dalle sue peculiarità, come sarà evidenziato nel capitolo 2.

Di seguito sono analizzate in dettaglio le classi di pericolo individuate nel precedente paragrafo evidenziandone le condizioni di applicabilità generali al sistema galleria.

### **Pericoli/hazard riconducibili a cause tecniche relative al materiale rotabile**

#### *Cedimenti, guasti, difettosità*

Rientrano in questa classe di pericoli potenziali tutti quelli associati genericamente a criticità connesse al materiale rotabile (ad es. cedimento strutturale del veicolo) e/o ad un malfunzionamento degli impianti di cui è dotato (ad es. guasto alla logica di gestione dell'impianto frenante). I suddetti pericoli sono in ogni caso applicabili al sistema galleria.

#### *Rilasci, emissioni di combustibile diesel*

Rientrano in questa classe di pericoli potenziali le emissioni/rilasci di combustibile diesel dovuti a difettosità/guasti e/o danneggiamenti del locomotore e sono in generale applicabili al sistema galleria. I suddetti pericoli possono avere origine sia dal transito di treni a trazione diesel nell'ordinario esercizio che dall'instradamento occasionale, nonché dal transito di locomotori *diesel* isolati e/o di mezzi diesel per la manutenzione.

#### *Rilasci, emissioni di merce/merci pericolose*

Rientrano in questa classe di pericoli potenziali le emissioni/rilasci di merce/sostanze pericolose dovuti a difettosità/guasti e/o danneggiamenti dei carri.

I suddetti pericoli sono in generale applicabili al sistema galleria, ma si configurano come tali solo laddove sia previsto transito nell'ordinario esercizio di treni trasportanti merci/merci pericolose.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>44 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	44 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	44 di 200											

## **Pericoli/hazard riconducibili a cause tecniche relative all'infrastruttura**

### Cedimenti, guasti, difettosità

Rientrano in questa classe di pericoli potenziali tutti quelli associati genericamente ad una criticità connessa all'infrastruttura (ad es. cedimento strutturale dell'armamento, delle opere civili, ecc.) e/o ad un malfunzionamento degli impianti di cui è dotata l'infrastruttura (ad es. indisponibilità/guasto ai sistemi di segnalamento, perdita di alimentazione apparati di linea, ecc.). I suddetti pericoli sono in ogni caso applicabili al sistema galleria.

### Pericoli derivanti dalle caratteristiche/peculiarità dell'infrastruttura

Rientrano in questa classe i pericoli derivanti dalla presenza di tunnel, viadotti, ponti, trincee lungo linea in caso di emergenza (incidenti ai treni che comportino l'esodo di passeggeri o avverse condizioni ambientali, quali alluvioni, ecc.).

Ad esempio, l'esodo dei passeggeri in galleria può rappresentare un *hazard*, reso potenzialmente più gravoso, in presenza di incendio, da un andamento del profilo altimetrico con inversione di pendenza "a schiena d'asino", in quanto potrebbe provocare un aumento localizzato della concentrazione dei fumi in corrispondenza del punto di inversione.

A tal proposito il DM prevede in Allegato II, sia nell'ambito *Infrastruttura* che *Procedure Operative* una serie di requisiti per la facilitazione dell'esodo (marciapiedi, corrimano, illuminazione d'emergenza, ecc.) che consentono la gestione dell'evacuazione in tunnel in caso di incendio e di emergenza in generale (treno fermo in galleria per avaria, deragliamento, collisione, ecc.). Con riferimento, in particolare, all'effetto dell'inversione di pendenza a schiena d'asino in caso di incendio, considerando le limitate pendenze massime ammissibili in galleria, si può ritenere trascurabile il delta rischio associato anche in virtù della localizzazione puntuale dei fumi.

L'esodo su viadotto/ponte/trincea, allo stesso modo, può costituire potenzialmente una criticità, soprattutto quando questo avvenga in uscita da un tunnel, che è dotato di predisposizioni atte ad assistere l'evacuazione. In questi casi, in virtù della buona pratica applicata alla progettazione della sicurezza, l'attrezzaggio con idoneo marciapiede,

illuminazione, segnaletica anche del tratto in viadotto/ponte/trincea in contiguità garantisce la continuità del flusso di esodo.

Un'inversione di pendenza "a corda molle", invece, associata a precipitazioni straordinarie, potrebbe indurre un ristagno delle acque causando potenzialmente un allagamento, con conseguente aumentato rischio di deragliamenti. Anche in tal caso, tuttavia, le limitate pendenze massime ammissibili in galleria si possono ritenere tali da considerare trascurabile l'effetto dell'inversione a corda molle sulle frequenze di svio; peraltro, in genere, quale applicazione di buona pratica, in presenza di corda molle si predispongono idonei sistemi di pompaggio per evitare ristagni, dimensionati su eventi con calcolati tempi di ritorno.

I pericoli di questa classe sono in parte applicabili *sempre* al sistema galleria (evacuazione in tunnel) e in parte applicabili *condizionatamente* alla presenza in contiguità di ulteriori elementi infrastrutturali critici (evacuazione su ponti/viadotti/trincee) o alla presenza di caratteristiche geometriche particolari (profili altimetrici non monopendenti: ristagni d'acqua per corde molli, aumento della concentrazione dei fumi per schiene d'asino).

### **Pericoli/hazard riconducibili a cause esterne al sistema ferroviario**

#### **Pericoli di natura ambientale**

Rientrano in tale classe i pericoli riconducibili ad aspetti geologici (instabilità dei pendii, ecc.), idrografici/idrogeologici (esondazioni/infiltrazioni acque di falda, ecc.), attività sismica e fenomeni naturali/aspetti ambientali (valanghe, presenza di gas nel sottosuolo, alluvioni, presenza di animali, ecc.).

I suddetti pericoli sono in generale applicabili al sistema galleria, avendo effetti prevalentemente nelle aree di imbocco (frane, esondazioni, valanghe, presenza di animali sul binario) e nella struttura portante (infiltrazioni, possibili venute di gas, danni da sisma, ecc.).

Tuttavia, i suddetti pericoli si configurano come tali solo laddove l'infrastruttura sia situata in aree classificate come zone sismiche e/o soggette a rischio idrogeologico e/o ambienti rurali e/o ubicate in ambito di terreni grisutosi etc.

### Pericoli relativi ad interferenze

Rientrano in questa classe i pericoli derivanti dalla prossimità alla linea ferroviaria di altre infrastrutture (strade, aeroporti, oleodotti/gasdotti, stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti ecc.).

La distanza associata ad una prossimità intesa come critica dipende dal raggio d'azione dei potenziali incidenti che trasferiscano effetti sulla linea, da valutare in funzione delle caratteristiche dell'interferenza stessa.

#### ⇒ *Strada/ferrovia:*

Con riferimento all'interferenza strada-ferrovia, intersezioni o parallelismi, i pericoli potenziali derivanti sono ad esempio relativi alla caduta di oggetti sulla linea<sup>4</sup> e ad abbagliamento o invasione da parte dei mezzi stradali in transito, ecc.

In generale i suddetti pericoli risultano applicabili al sistema galleria solo laddove in corrispondenza delle aree di imbocco siano presenti parallelismi/intersezioni.

Tuttavia, le *Linee Guida per le interferenze strada – ferrovia e le distanze ferrovia-fabbricati* (cfr. Manuale di Progettazione delle Opere Civili di RFI) forniscono le opportune indicazioni in relazione alle misure di contenimento di tali pericoli (reti di protezione, barriere di sicurezza e/o realizzazione di cunette e rilevati del terreno, ecc.).

#### ⇒ *Aeroporto/ferrovia:*

La collocazione del sistema ferroviario a ridosso di un aeroporto richiede il coordinamento delle autorità aeroportuali e di tutti i soggetti presenti sull'area, nella gestione congiunta delle emergenze. Dall'ipotesi di base di una corretta gestione di tali coordinamenti ne deriva che nel processo di calcolo del rischio si potrà non tener conto di tali elementi.

<sup>4</sup> Il lancio di oggetti è considerato atto vandalico.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>47 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	47 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	47 di 200											

⇒ *Interferenza con gasdotti/oleodotti*

Con riferimento all'interferenza con gasdotti/oleodotti, intersezioni o parallelismi, i pericoli potenziali derivanti sono relativi al rilascio di sostanze pericolose, i cui successivi sviluppi interessino la linea ferroviaria. In generale, i suddetti pericoli risultano applicabili al sistema galleria solo laddove tali sistemi di distribuzione si sviluppino nella copertura, al di sotto del piano ferro, in prossimità del tratto di linea all'imbocco, ecc.

Tuttavia, le *Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto* forniscono le opportune indicazioni in relazione alle misure di contenimento di tali pericoli (distanze di rispetto, tubi di protezione, ecc.).

⇒ *Stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti*

Con riferimento alla presenza di stabilimenti a rischio di incidenti rilevanti in prossimità dell'infrastruttura ferroviaria, i pericoli potenziali sono relativi agli effetti sulla linea degli incidenti aventi origine all'interno degli stabilimenti stessi.

I suddetti pericoli risultano applicabili al sistema galleria solo laddove gli imbocchi ricadano nelle aree circostanti gli stabilimenti soggette al rischio di coinvolgimento nell'incidente.

La distanza associata ad una prossimità intesa come critica dipende dalla categoria di stabilimenti a rischio, definita dalla specifica normativa di settore<sup>5</sup>, sulla base della tipologia e quantità di sostanze trattate, e quindi dalle classi incidentali associate e relative aree di danno.

*Pericoli ascrivibili a vandalismo/terrorismo/sabotaggio*

Rientrano in questa classe i pericoli derivanti da atti vandalici e attacchi terroristici aventi come oggetto il sistema ferroviario (materiale rotabile, infrastruttura, impianti, ecc.), quali ad esempio lancio di oggetti sulla linea, intrusione nei locali tecnici, atti vandalici sui treni o in linea, etc.

<sup>5</sup> Decreto Legislativo 26 giugno 2015 n. 105.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>48 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	48 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	48 di 200											

In relazione all'applicabilità al sistema galleria, in generale tali pericoli presuppongono una violazione della protezione degli accessi, normalmente prevista per un tunnel ferroviario ai sensi del DM (requisito 1.1.4, Allegato II).

### **Pericoli/hazard ascrivibili a personale e/o utenti**

#### **Pericoli riconducibili ad errore del personale di bordo/terra**

Rientrano in questa classe i pericoli derivanti da errori nell'applicazione delle procedure di esercizio e manutenzione, conduzione degli impianti, ecc. da parte di tutto il personale coinvolto nella gestione della circolazione treni (personale di bordo / personale di terra).

I suddetti pericoli sono in generale applicabili al sistema galleria.

Tuttavia, alcuni dei pericoli ricadenti in questa classe (in particolare quelli che possono condurre a generici incidenti ai passeggeri quali, ad esempio, treno in movimento con porte aperte, ecc.) si configurano come tali solo in presenza di una stazione/fermata lungo la galleria o in stretta contiguità con la stessa.

#### **Pericoli riconducibili ad errore degli utenti del servizio**

Rientrano in questa classe i pericoli derivanti da errori commessi dagli utenti del servizio.

I suddetti pericoli sono in generale applicabili al sistema galleria in presenza di una stazione/fermata sotterranea.

Sulla base di quanto esposto, i pericoli afferenti ad una generica linea sono tutti in generale compatibili con il sistema galleria, seppure in alcuni casi l'applicabilità sia definibile in subordine alla presenza di particolari condizioni di natura ambientale/idrogeologica o di contiguità/interferenze con altre infrastrutture ecc., e quindi solo a valle di un'analisi specifica riferita alla galleria oggetto di studio (*cf.* capitolo 2).

L'esito della verifica dell'applicabilità dei pericoli identificati per una generica linea ferroviaria al sistema galleria in generale non consente di escludere nessuna delle categorie di incidente individuate per una generica linea ferroviaria.



	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>49 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	49 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	49 di 200											

Tuttavia, in accordo alle indicazioni delle Direttive Europee, sulla base delle quali un evento per essere preso in esame deve essere non intenzionale, gli incidenti dovuti ad atto vandalico non rientrano nell'analisi quantitativa.

Inoltre, in accordo con quanto previsto dal DM (Allegato III), l'analisi di rischio quantitativa applicata alle gallerie ferroviarie ha lo scopo di valutare il livello di sicurezza associato all'esercizio ferroviario dell'infrastruttura corredata dei requisiti di sicurezza previsti atti a prevenire/mitigare gli *incidenti ai treni*. I requisiti in Allegato II al DM *non* costituiscono, infatti, misure per il controllo di scenari incidentali che non interessino direttamente i treni o che coinvolgano individualmente le persone in relazione al movimento dei rotabili (caduta dal veicolo ferroviario in movimento, ecc.).

In tal senso, risulta coerente assumere quali eventi incidentali di riferimento quelli definiti dalla classificazione UIC come *tipici* (ai treni), escludendo gli *atipici* (generici incidenti ai passeggeri/incendi in linea) dall'analisi quantitativa, pur fornendo evidenza circa l'applicabilità alla specifica galleria dei pericoli ad essi correlati.

Inoltre, in linea con il DM Allegato III (punto 3.2), scenari riconducibili ad attacchi terroristici (esplosione di ordigni, ecc.), non classificabili come caratteristici del sistema treno-galleria, e/o ad atti vandalici non costituiscono oggetto di studio.

Nell'ambito dell'incidentalità tipica, l'analisi quantitativa si focalizza sugli incidenti *tipici in circolazione*, escludendo quelli in manovra e ai mezzi speciali, sulla base del fatto che non si ritiene pratica consueta/ordinaria la manovra in galleria e si considerano gli incidenti ai mezzi speciali (e in generale correlati alle attività di manutenzione) quali incidenti sul lavoro, gestiti per la tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, regolata da apposita normativa dedicata (D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i.).

Eventi naturali, come già evidenziato nell'analisi dei pericoli, vengono presi in considerazione quali cause dei suddetti incidenti, ma non come eventi a sé stanti e pertanto non vengono analizzati in termini di frequenza, considerando che la progettazione ne tiene conto per la determinazione di carichi di progetto e misure di contenimento del rischio.

Pertanto, gli eventi iniziatori oggetto dei successivi *step* di analisi sono i seguenti:

- Deragliamento
- Collisione
- Urto contro ostacoli
- Incendio di materiale rotabile
- Incidenti relativi al trasporto di merci pericolose (emissioni gas/liquidi, ecc.)

Gli eventi iniziatori selezionati assicurano una copertura delle tipologie plausibili di incidenti che possono presentarsi durante l'esercizio di una galleria ferroviaria.

## **1.2 ANALISI DELL'INCIDENTALITÀ DELLA RETE FERROVIARIA ITALIANA**

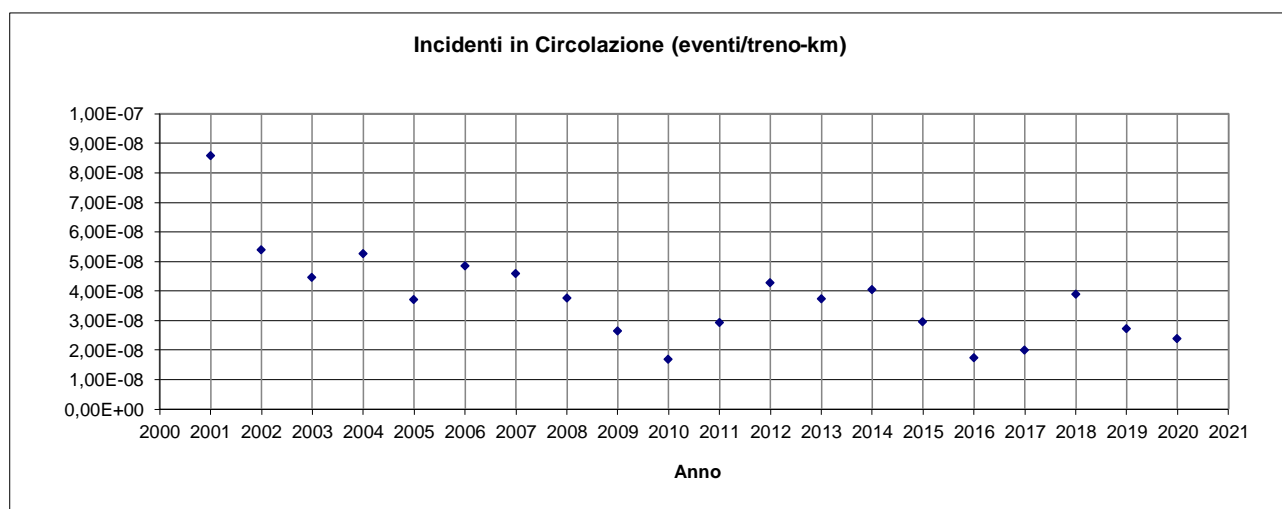
Ai fini del presente studio, sono presi in esame i dati incidentali italiani relativi agli incidenti "Significativi" *tipici in circolazione* riportati per il periodo 1/1/2001-31/12/2020 nella Banca Dati Sicurezza (BDS) e Banca Dati Pericoli (BDP). Gli incidenti classificati "Lievi" non sono considerati nell'analisi per la determinazione dei tassi di accadimento degli eventi incidentali iniziatori, in quanto comportanti conseguenze trascurabili, ma sono presi in esame per la determinazione di alcune delle probabilità di accadimento dei sottoeventi ipotizzati nello sviluppo delle sequenze incidentali.

Il numero degli incidenti UIC/Significativi (classificati come tali sulla base dei criteri attuali), delle fatalità e dei feriti gravi è indicato nella tabella di seguito riportata e rappresentato, normalizzato rispetto ai treni-km, rispettivamente in Figura 8, Figura 9, Figura 10 per tutto il periodo preso in esame (2001-2020).

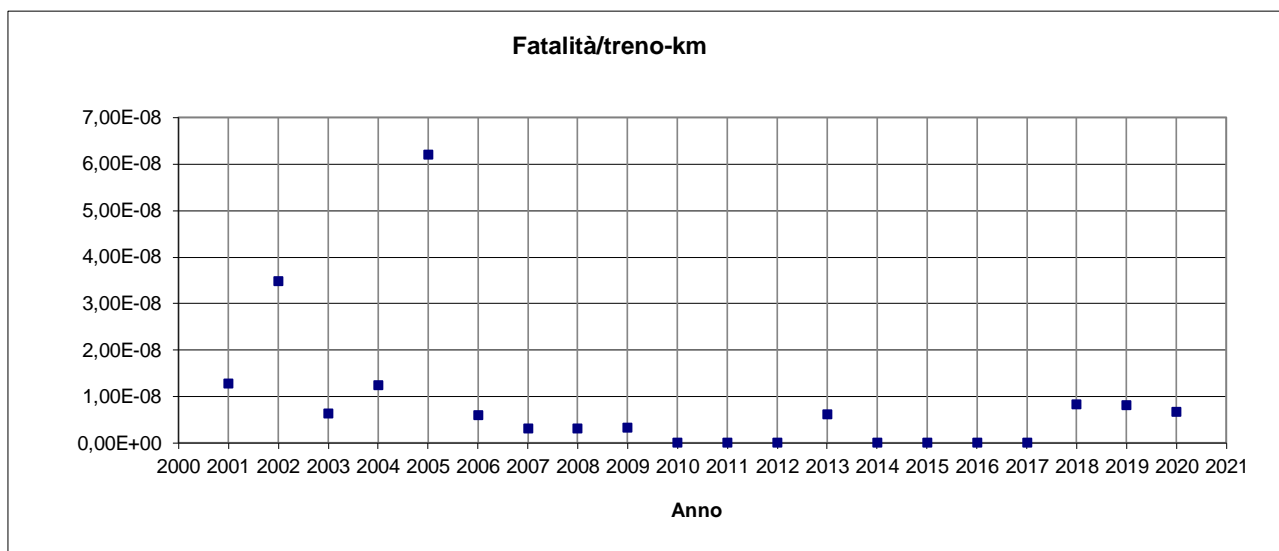
**Tabella 2:**

Riepilogo Incidenti UIC/Significativi in circolazione (2001-2020)

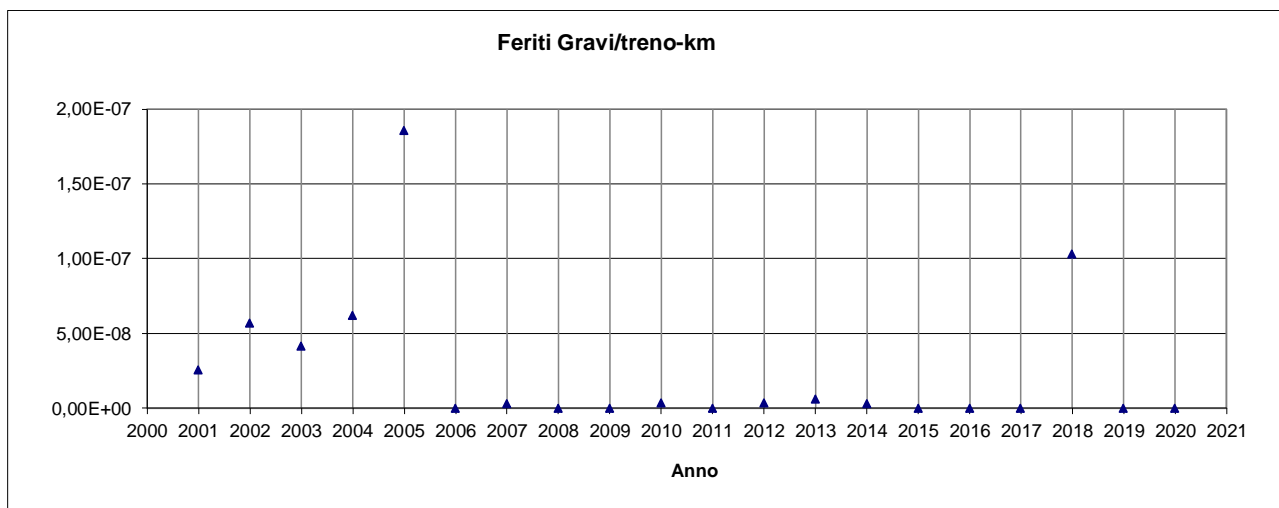
Anno	Incidenti TOT.	Morti TOT.	Feriti Gravi TOT.	Percorrenza Tot. (treni-km)	Tasso Incidenti (eventi/treno-km)	Morti/treno-km	Feriti Gravi/treno-km
2001	27	4	8	3,15E+08	8,58E-08	1,27E-08	2,54E-08
2002	17	11	18	3,16E+08	5,39E-08	3,49E-08	5,70E-08
2003	14	2	13	3,14E+08	4,45E-08	6,36E-09	4,14E-08
2004	17	4	20	3,22E+08	5,27E-08	1,24E-08	6,20E-08
2005	12	20	60	3,23E+08	3,72E-08	6,20E-08	1,86E-07
2006	16	2	0	3,29E+08	4,86E-08	6,08E-09	0,00E+00
2007	15	1	1	3,27E+08	4,59E-08	3,06E-09	3,06E-09
2008	12	1	0	3,20E+08	3,75E-08	3,13E-09	0,00E+00
2009	8	1	0	3,02E+08	2,64E-08	3,31E-09	0,00E+00
2010	5	0	1	2,98E+08	1,68E-08	0,00E+00	3,35E-09
2011	9	0	0	3,08E+08	2,93E-08	0,00E+00	0,00E+00
2012	13	0	1	3,04E+08	4,28E-08	0,00E+00	3,29E-09
2013	12	2	2	3,21E+08	3,73E-08	6,22E-09	6,22E-09
2014	13	0	1	3,21E+08	4,06E-08	0,00E+00	3,12E-09
2015	10	0	0	3,37E+08	2,97E-08	0,00E+00	0,00E+00
2016	6	0	0	3,46E+08	1,73E-08	0,00E+00	0,00E+00
2017	7	0	0	3,50E+08	2,00E-08	0,00E+00	0,00E+00
2018	14	3	37	3,60E+08	3,89E-08	8,34E-09	1,03E-07
2019	10	3	0	3,67E+08	2,72E-08	8,16E-09	0,00E+00
2020	7	2	0	2,95E+08	2,38E-08	6,79E-09	0,00E+00



**Figura 8:** Incidenti UIC/Significativi in circolazione (2001-2020)



**Figura 9:** Fatalità/treno-km negli incidenti UIC/Significativi in circolazione (2001-2020)



**Figura 10:** Feriti gravi/Treno-km negli incidenti UIC/Significativi in circolazione (2001-2020)

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>53 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	53 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	53 di 200											

### 1.2.1 STUDIO DELLE CAUSE DI INNESCO DEGLI EVENTI INIZIATORI

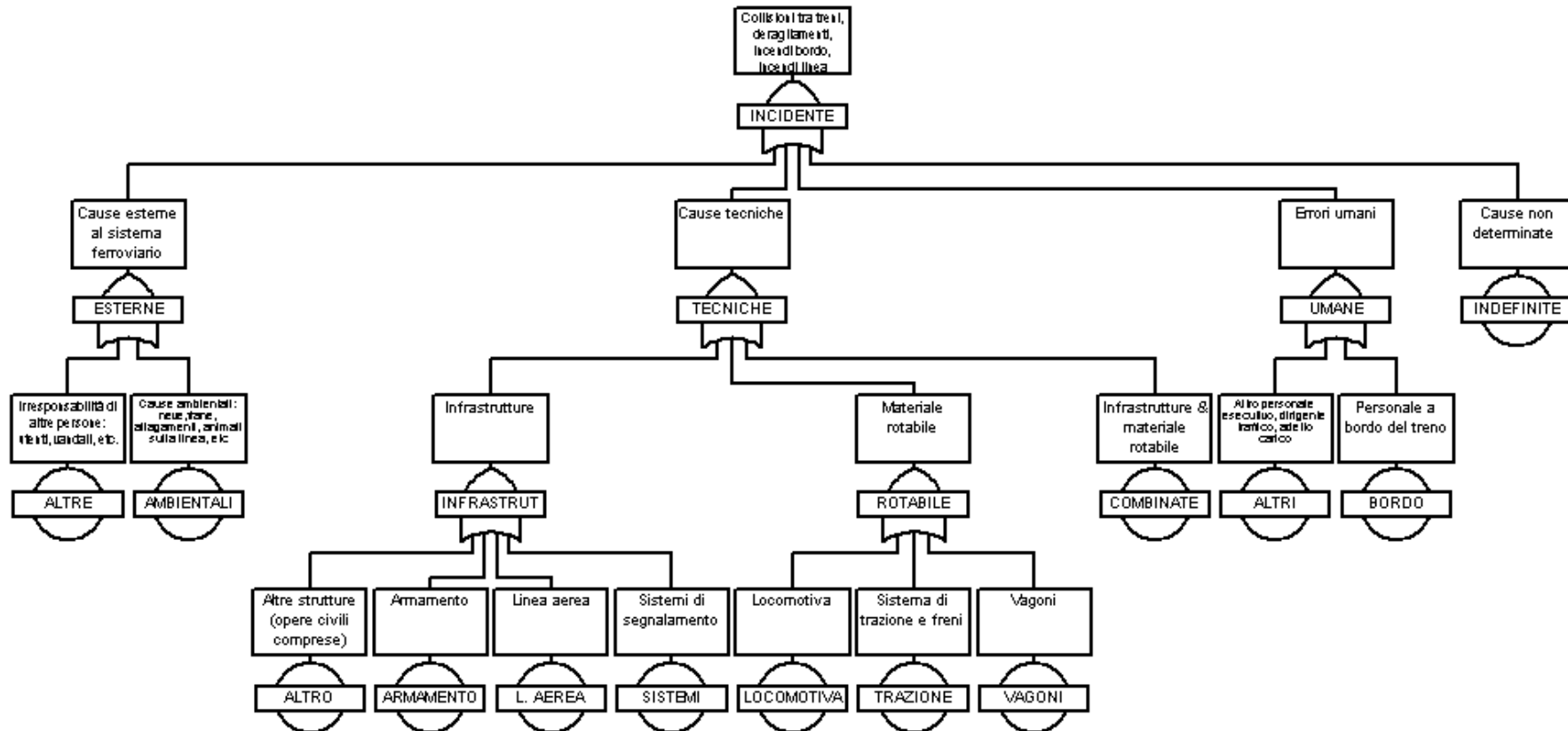
A partire dagli eventi iniziatori selezionati nel precedente paragrafo viene condotta un'analisi su base storica (BDP-BDS) delle principali cause di innesco.

In analogia a quanto già rappresentato nell'identificazione dei pericoli potenziali (e relativi rischi) associati alle diverse sorgenti, le cause di incidente possono essere raggruppate nelle seguenti categorie:

- errore umano (personale di bordo, altro personale),
- cause tecniche (infrastruttura, materiale rotabile),
- cause esterne al sistema ferroviario (ambientali, fattore umano).

L'attribuzione delle cause, nell'ambito di ciascuna categoria, ai diversi sistemi-sottosistemi costituenti la sorgente dei pericoli potenziali, viene effettuata mediante la tecnica ad Albero delle Cause, secondo lo schema riportato in Figura 11.

Tale ripartizione consente di valutare le possibili interrelazioni tra le cause al fine di determinare in maniera univoca la catena causa-effetto che conduce all'evento incidentale e quindi di individuare misure di sicurezza presenti, con impatto sulla sequenza, e/o da introdurre, per mitigare il rischio.



**Figura 11: Incidente ferroviario, Albero delle Cause**

L'analisi di banca dati ha fornito evidenza, in relazione agli eventi iniziatori individuati precedentemente, del peso delle singole categorie di cause sull'incidente.

In particolare, le cause attribuibili ad errore umano risultano determinanti per la collisione tra treni, mentre le cause tecniche sono prevalenti per eventi di svio e di incendio. Le cause esterne intese quali interferenze con altre infrastrutture/ambiente (veicoli stradali/animali sulla sede, frane, ecc.) risultano prevalenti negli urti contro ostacoli (in particolari quelli gravi).

Tuttavia, dall'analisi delle cause risulta anche una riduzione nel tempo degli eventi dovuti ad errore umano (SPAD, supero velocità, ecc.) in coerenza con il progressivo attrezzaggio della linea ferroviaria con sistemi ATP/ATC (*automatic train protection and control*).

Con riferimento alle cause esterne, un approfondimento relativamente agli eventi occorsi in galleria ha evidenziato che il peso delle cause esterne risulta trascurabile, in virtù della natura puntuale di alcune tipologie di incidente, non applicabili a tutte le gallerie in generale (ad esempio, la presenza di veicoli stradali sulla sede è possibile solo in caso di interferenza strada-ferrovia agli imbocchi) e in coerenza con l'adozione dei sistemi di protezione (da atti vandalici, eventi naturali, ecc.) posti agli imbocchi, considerati punti singolari da salvaguardare.

L'utilizzo, infatti, di idonee barriere stradali, difese/recinzioni e sistemi di protezione da frane/caduta massi/alberi consente di preservare gli imbocchi della galleria da possibili interferenze con l'ambiente esterno.

Alla luce di quanto sopra, l'evento di urto contro ostacoli, dovuto prevalentemente alle cause esterne, non sistematicamente applicabili a tutte le gallerie, oltre che opportunamente gestite mediante l'adozione di misure preventive nell'ambito della security e della protezione da interferenze dell'infrastruttura, non viene considerato in generale quale evento iniziatore significativo per il sistema galleria (a meno di esigenze specifiche derivanti da peculiarità territoriali/orografiche/meteorologiche) e pertanto non rientra nei successivi *step* di analisi quantitativa.



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**Galleria MURANO**

DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI  
RISCHIO *ai sensi del DM del 28/10/2005*

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	56 di 200

Pertanto, nelle tabelle seguenti si riportano solo le cause degli eventi iniziatori di **deragliamento, collisione tra treni ed incendio di materiale rotabile** (distinguendo tra materiale rimorchiato e mezzo di trazione), per gli incidenti italiani presi in esame, relativi al periodo 2001-2020 (fonte BDP/BDS).



**Tabella 3:**  
Cause Deraggiamento

	<i>Tipologia treno</i>	<i>TP</i>	<i>TM</i>	
<b>Errore Umano</b>				<b>12,6%</b>
Mancato-errato rispetto regolamenti		0	0	0,0%
Mancato/errato rispetto prescrizioni movimento/tecniche		3	3	5,4%
Irregolari movimenti di manovra		0	0	0,0%
SPAD		1	1	1,8%
Errata predisposizione di itinerario/istadamento		2	3	4,5%
Supero velocità massima ammessa (dalla linea/dalle prescrizioni/dai rotabili in composiz.)		1	0	0,9%
<b>Cause Tecniche</b>				<b>74,8%</b>
<b>Infrastruttura</b>				<b>32,4%</b>
Irregolarità alla infrastruttura (binari/deviatoi/portali)		2	1	2,7%
Irregolarità alla geometria del binario (sobbalzi/slineamento/rotaia rotta) o alla sede/infrastruttura		21	12	29,7%
<b>Materiale Rotabile</b>				<b>42,3%</b>
Difettosità-usura meccanica o elettrica del materiale rotabile-mezzo di trazione		8	24	28,8%
Sfrenature materiale rotabile/surriscaldamento		0	1	0,9%
Contenitori/containers/ferro cisterne circolanti con difetti alle strutture o ai componenti		0	2	1,8%
Boccole calde/RTB con esito positivo		1	1	1,8%
Carico non conforme (spostato/eccessivo peso/mal ripartito)		0	4	3,6%
Perdita componenti dal mat. rotabile (compresi fanali)		2	3	4,5%
Rottura organi di aggancio dei rotabili		0	1	0,9%
<b>Cause esterne al sistema ferroviario</b>				<b>9,9%</b>
Frane/massi/alberi ingombranti la sede ferroviaria		4	0	3,6%
Anormalità per evento esterno/Allagamento binario		2	1	2,7%
Anormalità riguardanti le squadre/cantieri di lavoro		4	0	3,6%
<b>Cause di altra natura</b>				<b>0,0%</b>
Ostacoli interferenti con la sagoma		0	0	0,0%
<b>Cause non determinate</b>				<b>2,7%</b>
		1	2	2,7%

**Tabella 4:**

Cause Collisione tra treni

<b>Errore Umano</b>		<b>100,0%</b>
Mancato-errato rispetto regolamenti	0	0,0%
Mancato/errato rispetto prescrizioni movimento/tecniche	2	25,0%
Irregolari movimenti di manovra	0	0,0%
SPAD	6	75,0%
Errata predisposizione di itinerario/istradamento	0	0,0%
Supero velocità massima ammessa (dalla linea/dalle prescrizioni/dai rotabili in composizione)	0	0,0%
<b>Cause Tecniche</b>		<b>0,0%</b>
<b>Infrastruttura</b>		<b>0,0%</b>
Irregolarità alla infrastruttura (binari/deviatoi/portali)	0	0,0%
Irregolarità alla geometria del binario (sobbalzi/slineamento/rotaia rotta) o alla sede/infrastruttura	0	0,0%
<b>Materiale Rotabile</b>		<b>0,0%</b>
Difettosità-usura meccanica o elettrica del materiale rotabile-	0	0,0%
Contenitori/containers/ferro cisterne circolanti con difetti alle	0	0,0%
Boccole calde/RTB con esito positivo	0	0,0%
Carico non conforme (spostato/eccessivo peso/mal ripartito)	0	0,0%
Perdita componenti dal mat. rotabile (compresi fanali)	0	0,0%
Rottura organi di aggancio dei rotabili	0	0,0%
<b>Cause esterne al sistema ferroviario</b>		<b>0,0%</b>
Frane/massi/alberi ingombranti la sede ferroviaria	0	0,0%
Anormalità per evento esterno/Allagamento binario	0	0,0%
Anormalità riguardanti le squadre/cantieri di lavoro	0	0,0%
<b>Cause di altra natura</b>		<b>0,0%</b>
Ostacoli interferenti con la sagoma	0	0,0%
<b>Cause non determinate</b>		<b>0,0%</b>
	0	<b>0,0%</b>

**Tabella 5:**

Cause Incendio di Materiale Rimorchiato

	Tipologia treno		
	TP	TM	
<b>Errore Umano</b>			<b>0,0%</b>
Mancato-errato rispetto regolamenti	0	0	0,0%
Mancato/errato rispetto prescrizioni movimento/tecniche	0	0	0,0%
Irregolari movimenti di manovra	0	0	0,0%
SPAD	0	0	0,0%
Errata predisposizione di itinerario/istadamento	0	0	0,0%
Supero velocità massima ammessa (dalla linea/dalle prescrizioni/dai rotabili in composizione)	0	0	0,0%
Disattenzione-caduta personale FS	0	0	0,0%
<b>Cause Tecniche</b>			<b>87,5%</b>
<b>Infrastruttura</b>			<b>0,0%</b>
Irregolarità alla infrastruttura (binari/deviatoi/portali)	0	0	0,0%
Irregolarità alla geometria del binario (sobbalzi/slineamento/rotaia rotta) o alla sede/infrastruttura	0	0	0,0%
<b>Materiale Rotabile</b>			<b>87,5%</b>
Difettosità-usura meccanica o elettrica del materiale rotabile-mezzo di trazione	1	0	12,5%
Difettosità impianto elettrico	4	0	50,0%
Contenitori/containers/ferro cisterne circolanti con difetti alle strutture o ai componenti	0	0	0,0%
Boccole calde/RTB con esito positivo	0	0	0,0%
Sfrenature materiale rotabile/surriscaldamento	0	2	25,0%
Carico non conforme (spostato/eccessivo peso/mal ripartito)	0	0	0,0%
Perdita componenti dal mat. rotabile (compresi fanali)	0	0	0,0%
Portellone aperto	0	0	0,0%
Rottura organi di aggancio dei rotabili	0	0	0,0%
<b>Cause esterne al sistema ferroviario</b>			<b>0,0%</b>
Frane/massi/alberi ingombranti la sede ferroviaria	0	0	0,0%
Anormalità per evento esterno/Allagamento binario	0	0	0,0%
Atto vandalico	0	0	0,0%
Accensione di fuochi all'interno dei rotabili da parte di ignoti	0	0	0,0%
Incendio	0	0	0,0%
Anormalità riguardanti le squadre/cantieri di lavoro	0	0	0,0%
<b>Cause di altra natura</b>			<b>0,0%</b>
Ostacoli interferenti con la sagoma	0	0	0,0%
<b>Cause non determinate</b>			<b>12,5%</b>
	1	0	<b>12,5%</b>

**Tabella 6:**  
Cause Incendio Mezzo di Trazione

Tipologia treno	TP	TM	
<b>Errore Umano</b>			<b>3,6%</b>
Mancato-errato rispetto regolamenti	0	0	0,0%
Mancato/errato rispetto prescrizioni movimento/tecniche	0	1	3,6%
Irregolari movimenti di manovra	0	0	0,0%
SPAD	0	0	0,0%
Errata predisposizione di itinerario/istadamento	0	0	0,0%
Supero velocità massima ammessa (dalla linea/dalle prescrizioni/dai rotabili in composizione)	0	0	0,0%
Disattenzione-caduta personale FS	0	0	0,0%
<b>Cause Tecniche</b>			<b>89,3%</b>
<b>Infrastruttura</b>			<b>0,0%</b>
Irregolarità alla infrastruttura (binari/deviatoi/portali)	0	0	0,0%
Irregolarità alla geometria del binario (sobbalzi/slineamento/rotaia rotta) o alla sede/infrastruttura	0	0	0,0%
<b>Materiale Rotabile</b>			<b>89,3%</b>
Difettosità-usura meccanica o elettrica del materiale rotabile-mezzo di trazione	10	4	50,0%
Difettosità impianto elettrico	9	1	35,7%
Contenitori/containers/ferro cisterne circolanti con difetti alle strutture o ai componenti	0	0	0,0%
Boccole calde/RTB con esito positivo	0	1	3,6%
Sfrenature materiale rotabile/surriscaldamento	0	0	0,0%
Carico non conforme (spostato/eccessivo peso/mal ripartito)	0	0	0,0%
Perdita componenti dal mat. rotabile (compresi fanali)	0	0	0,0%
Portellone aperto	0	0	0,0%
Rottura organi di aggancio dei rotabili	0	0	0,0%
<b>Cause esterne al sistema ferroviario</b>			<b>7,1%</b>
Frane/massi/alberi ingombranti la sede ferroviaria	0	0	0,0%
Anormalità per evento esterno/Allagamento binario	1	0	3,6%
Atto vandalico	0	0	0,0%
Accensione di fuochi all'interno dei rotabili da parte di ignoti	0	0	0,0%
Incendio	0	1	3,6%
Anormalità riguardanti le squadre/cantieri di lavoro	0	0	0,0%
<b>Cause di altra natura</b>			<b>0,0%</b>
Ostacoli interferenti con la sagoma	0	0	0,0%
<b>Cause non determinate</b>			<b>0,0%</b>
	0	0	0,0%

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>61 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	61 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	61 di 200											

### 1.2.2 TASSI INCIDENTALI E RATEI DEGLI EVENTI INIZIATORI

La presente sezione ricopre un'importanza notevole all'interno dell'analisi in quanto dai tassi incidentali dipendono le frequenze di accadimento degli eventi iniziatori che incidono in modo determinante sul calcolo del rischio.

Al fine di avere una stima affidabile dei tassi è stata sviluppata la seguente analisi:

- analisi della qualità della base statistica (interpretazione critica dei dati);
- stima di eventuali *trend* dei tassi incidentali (eventi/treno-km);
- stima dell'incertezza dei tassi.

Come già anticipato nella descrizione degli esiti dell'analisi delle cause, per il calcolo dei tassi sono stati utilizzati dati incidentali della rete ferroviaria italiana relativi al periodo 2001-2020 (BDP-BDS), riferiti ad eventi classificabili come incidenti UIC/Significativi tipici accaduti in circolazione.

L'analisi dei dati storici presenta, in generale, alcune difficoltà:

- generalmente i dati reperibili si riferiscono a intere reti ferroviarie, comprendenti stazioni, piazzali di manovra, tratti in linea aperta e tratti in galleria; porzione di linea, quest'ultima, che può essere considerata "protetta" per determinate tipologie di eventi;
- i dati di riferimento coprono circa un ventennio, in cui il sistema si è evoluto da un punto di vista infrastrutturale e tecnologico;
- i dati sono associati a linee caratterizzate da attrezzaggi ed equipaggiamenti differenti, oltre che da un traffico diverso per entità e tipologia (*i.e.* linee tradizionali o di recente realizzazione, linee lente e linee AV, linee scarso traffico o alta capacità, etc.);
- i dati sono associati a linee ricadenti in aree con caratterizzazione idrogeologica potenzialmente differente.

Per tenere in conto e superare la disomogeneità caratterizzante il sistema, si è proceduto, quindi, ad un'interpretazione critica dei dati disponibili, finalizzata anche a ricondurli alla particolare situazione in esame: *tratta in galleria*. Si è valutato, quindi, di escludere eventi tipici di stazione e/o manovra. Inoltre, essendo le informazioni relative ad un intervallo temporale che include anche eventi occorsi su strutture datate è risultato necessario verificare l'incidenza della modernizzazione delle infrastrutture e delle procedure, processo da considerarsi in atto con continuità, sull'andamento dei tassi incidentali. Tale verifica è stata implementata, laddove possibile, attraverso l'individuazione di una linea di tendenza dei valori dei tassi incidentali; la curva così individuata ha consentito l'estrapolazione del valore del tasso dell'evento incidentale considerato, riferito al solo anno successivo (2021).

Infine, la modifica delle soglie stabilite dall'UIC dal gennaio 2006, per la ridefinizione del danno significativo e dei feriti gravi, ha reso necessaria la riclassificazione degli incidenti relativi al periodo 2001-2005 e comunque la revisione generale dei dati:

- registrati in BDS, dal 2001 al 2005 (incidenti "gravi" secondo la stessa Fiche adottata negli anni precedenti ma anche i cosiddetti "lievi", distinti in tipici e atipici);
- registrati in BDP/BDS, dal 2006 in poi (secondo le nuove soglie di danno e definizione di ferito grave rispetto a quanto previsto dalla Fiche UIC 91).

Pertanto, al fine di tenere conto della discontinuità nei criteri di classificazione e quindi della conseguente disomogeneità nella registrazione degli incidenti in banca dati, disponendo al 2020 di un numero statisticamente significativo, si è proceduto ad una rielaborazione di tutti i dati disponibili per l'intero periodo (2001-2020), applicando le nuove soglie di danno (stabilite dall'UIC nel 2006 e mantenute dagli attuali criteri) anche a tutti gli incidenti registrati negli anni precedenti. In tal modo le informazioni disponibili sono state rese coerenti, rendendo quindi possibile, sulla base delle percorrenze, il calcolo dei tassi incidentali degli eventi iniziatori presi in esame dalla presente analisi.



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**Galleria MURANO**

DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI  
RISCHIO *ai sensi del DM del 28/10/2005*

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	63 di 200

La Tabella 7 riporta le percorrenze (treni-km) suddivise per tipologia di treno (passeggeri e merci) e per anno (dal 2001 al 2020) (fonte BDSTAT-Trenitalia per gli anni 2001-2010 e PIC per gli anni 2011-2020).



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**Galleria MURANO**

DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI  
RISCHIO *ai sensi del DM del 28/10/2005*

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	64 di 200

**Tabella 7: Percorrenze Italia 2001-2020 (Treni-km, valori in migliaia)**

	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
<b>Viaggiatori</b>	242.645	313.545	307.847	298.094	294.481	286.668	279.772	281.052	263.572	267.253	267.383	264.568	264.845	265.516	266.533	262.658	260.056	255.584	253.925	252.296
- di cui media/lunga percorrenza			111.464	103.533	98.961	93.125	91.354	90.541	75.708	76.783	78.097	77.428	77.359	79.678	81.207	82.144	82.946	82.574	82.550	82.473
- di cui trasporto regionale			193.817	194.495	195.520	193.542	188.418	190.511	187.864	190.470	189.286	187.140	187.485	185.838	185.326	180.514	177.110	173.010	171.375	169.823
<b>Viaggiatori Cisalpino (100% Nazionale)/altro</b>				66								1.797	2.771	2.708	2.445	1.830				
<b>Merci</b>	52.000	53.914	52.041	51.724	51.472	50.115	40.818	40.298	39.932	40.398	30.750	36.110	52.214	58.679	60.099	58.309	62.270	58.805	61.700	62.420
<b>Servizio</b>	3.886	3.762	3.646	3.793	3.726	11.190	10.271	10.854	11.130	10.426	3.681	4.702	6.532	6.484	9.450	8.408	9.953	7.177	3.541	10.325
<b>Nei complesso</b>	<b>298.532</b>	<b>371.221</b>	<b>363.534</b>	<b>353.611</b>	<b>349.678</b>	<b>347.972</b>	<b>330.861</b>	<b>332.204</b>	<b>314.633</b>	<b>318.078</b>	<b>301.815</b>	<b>307.177</b>	<b>326.361</b>	<b>333.387</b>	<b>338.527</b>	<b>331.206</b>	<b>332.279</b>	<b>321.566</b>	<b>319.166</b>	<b>325.041</b>

Fonte: BDSTAT-Trenitalia, per i dati fino al 2010, e PIC, per gli anni 2011-2020.



	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>65 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	65 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	65 di 200											

Nel rispetto della natura aleatoria della variabile “tasso”, la *trend analysis* condotta è stata integrata con il calcolo delle incertezze.

A ciascun punto della linea di tendenza interpolante, in corrispondenza del punto reale misurato (rappresentativo di un determinato tasso annuo), è stata associata una banda di errore, calcolato come scostamento medio percentuale, secondo la relazione:

$$I_c = \sum_{i=1}^n \frac{t_i - T_i}{T_i}$$

dove

$I_c$  = incertezza del tasso, espressa in percentuale (valore assoluto)

$t_i$  = valore del tasso reale riferito ad un certo anno

$T_i$  = valore del tasso calcolato in base alla curva esponenziale interpolante

$n$  = numero dei dati (*i.e.* tassi) utilizzati per il calcolo.

Laddove i dati disponibili non hanno consentito un'interpolazione mediante linea di tendenza (in particolare nella determinazione del tasso di collisione come di seguito evidenziato) si è proceduto all'elaborazione statistica degli stessi operando una media dei valori registrati in banca dati nel periodo disponibile.

Valutati i tassi incidentali, per ogni evento iniziatore occorre determinare la frequenza di accadimento (rateo), funzione del traffico previsto per la tratta in esame e delle caratteristiche della galleria oggetto di studio.

### **Deragliamento**

Per ogni anno è stato calcolato il valore del tasso di deragliamento, espresso in eventi/treno-km, e si è individuato il *trend* dei dati ottenuti (Tabella 8). Dall'analisi dei dati incidentali disponibili si evince che il tasso di deragliamento dipende dal tipo di servizio (passeggeri o merci).

**Tabella 8:**

Deragliamenti UIC/Significativi treni passeggeri e treni merci (BDP-BDS, 2001 – 2020)

Anno	Der TP	Der TM	Percorrenze TP [treno-km]	Percorrenze TM [treno-km]	Tasso di deragliamento TP [eventi/treno-km]	Tasso di deragliamento TM [eventi/treno-km]
2001	3	6	2,52E+08	6,24E+07	1,19E-08	9,61E-08
2002	7	2	2,54E+08	6,17E+07	2,76E-08	3,24E-08
2003	0	1	2,56E+08	5,88E+07	0,00E+00	1,70E-08
2004	5	5	2,60E+08	6,23E+07	1,92E-08	8,03E-08
2005	2	2	2,64E+08	5,83E+07	7,56E-09	3,43E-08
2006	4	6	2,69E+08	6,01E+07	1,49E-08	9,98E-08
2007	4	4	2,68E+08	5,87E+07	1,49E-08	6,82E-08
2008	3	5	2,68E+08	5,22E+07	1,12E-08	9,58E-08
2009	1	4	2,66E+08	3,61E+07	3,75E-09	1,11E-07
2010	2	1	2,67E+08	3,08E+07	7,48E-09	3,25E-08
2011	1	2	2,67E+08	4,04E+07	3,74E-09	4,95E-08
2012	4	1	2,64E+08	3,99E+07	1,52E-08	2,50E-08
2013	3	3	2,81E+08	4,03E+07	1,07E-08	7,44E-08
2014	2	2	2,80E+08	4,08E+07	7,15E-09	4,90E-08
2015	1	2	2,87E+08	5,01E+07	3,49E-09	3,99E-08
2016	1	1	2,94E+08	5,15E+07	3,40E-09	1,94E-08
2017	3	1	2,98E+08	5,17E+07	1,01E-08	1,93E-08
2018	2	4	3,08E+08	5,20E+07	6,50E-09	7,69E-08
2019	1	4	3,14E+08	5,39E+07	3,19E-09	7,42E-08
2020	3	3	2,43E+08	5,20E+07	1,24E-08	5,77E-08

I tassi calcolati mostrano un andamento decrescente nel tempo, compatibile con il processo di modernizzazione delle infrastrutture (miglioramento tecnologico delle strutture e dei rotabili) e delle procedure, sia per l'evento deragliamento di treni passeggeri che per quello di treni merci.

Al fine di proiettare il valore del tasso all'anno 2021 è stata utilizzata una legge di tipo esponenziale:

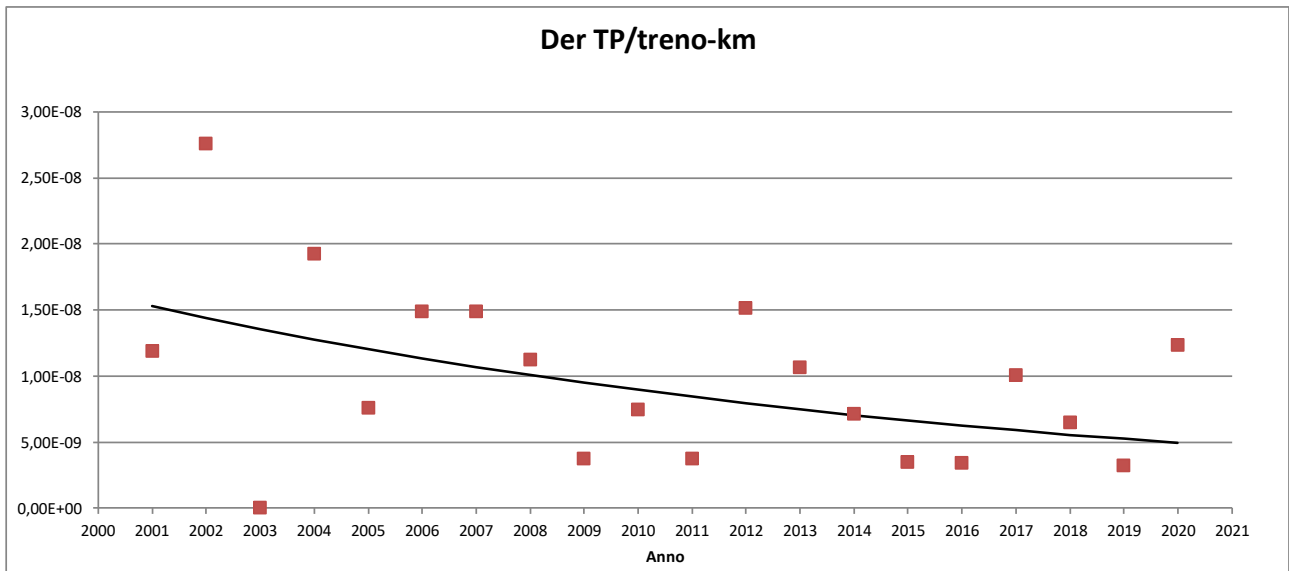
$$f(t) = \gamma_0 e^{\gamma t}$$

dove:

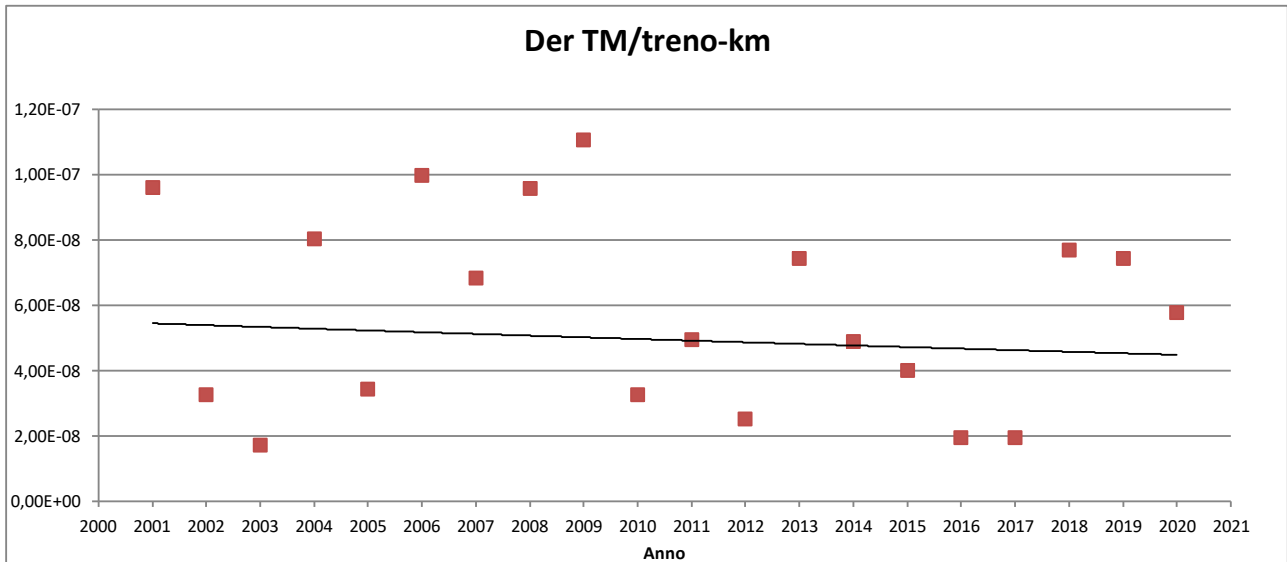
$f(t)$  = tasso di deragliamento espresso in eventi/treno-km;

$t$  = tempo.

La Figura 12 e la Figura 13 rappresentano i dati ottenuti e il *trend* identificato, rispettivamente nel caso di deragliamento di un treno passeggeri e di un treno merci.



**Figura 12:** Regressione deragliamenti treni passeggeri/treno-km



**Figura 13:** Regressione deragliamenti treni merci/treno-km

Il tasso di deragliamento treno passeggeri ( $f_{Der TP}$ ), eventi/treno-km, viene ricavato dalla relativa curva di regressione che consente l'extrapolazione all'anno 2021, restituendo il seguente valore:

$$f_{Der TP} = 4,65 \cdot 10^{-9} \text{ eventi/treno-km}$$

Dai dati analizzati per l'evento deragliamento di treni passeggeri si ricava che il 17,3% degli incidenti conteggiati nell'analisi di regressione (Tabella 8) ha prodotto fatalità o feriti gravi.

Il tasso di deragliamento treno merci ( $f_{Der TM}$ ), eventi/treno-km, sempre ricavato dalla relativa curva di regressione e riferito all'anno 2021, presenta il seguente valore:

$$f_{Der TM} = 4,45 \cdot 10^{-8} \text{ eventi/treno-km}$$

La media degli scostamenti percentuali tra il valore dei tassi di deragliamento ricavati dalla banca dati incidentali ed il valore dei tassi desunti dalla linea di tendenza è pari a circa il 14% nel caso di treno passeggeri e circa il 16% per il treno merci.

Dipendendo il tasso di deragliamento dal tipo di servizio, anche il rateo viene valutato distintamente per i treni passeggeri e per i treni merci, prendendo in esame il relativo traffico, la lunghezza della galleria, nonché l'eventuale presenza di elementi infrastrutturali, che possono introdurre un aumentato rischio di deragliamento (quali i deviatori). Lo studio degli incidenti registrati nell'ultimo ventennio nella banca dati consente, infatti, di ritenere i deviatori elementi in grado di innescare e/o favorire dinamiche incidentali di deragliamento fungendo da *triggering* per lo svio, costituendo in qualche caso la causa diretta e talvolta una sorta di elemento "attivatore" di cause legate al rodiggio. L'impatto della presenza dei deviatori influisce in misura diversa per treni passeggeri e merci. Inoltre, si è osservato che l'incidenza di svio presenta una dipendenza dal tipo linea/tipo treno, anche indipendentemente dal fattore deviatori. Al fine dunque di tenere in giusto conto gli eventi incidentali registrati in banca dati nel periodo di osservazione, è stato valutato il peso di tali

	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>Galleria MURANO</p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>69 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	69 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	69 di 200											

elementi, calcolando opportuni fattori associati alla presenza di deviatori e al tipo di linea/materiale rotabile.

Pertanto, il numero di eventi di deragliamento treni passeggeri all'anno (rateo) può essere espresso dalla seguente formula:

$$Rateo_{DerTP} = Tr_{TP} \times 365 \times f_{DerTP} \times L_{gall} \times F_{DTP} \times F_{LP}$$

che vale per gallerie in cui non siano presenti deviatori e si estendano lungo linee dove sia prevalente il traffico lunga percorrenza.

I diversi fattori sono di seguito in dettaglio richiamati:

$Tr_{TP}$  è il numero di treni passeggeri giornaliero,

$f_{DerTP}$  rappresenta il tasso di deragliamento treno passeggeri,

$L_{gall}$  indica la lunghezza della galleria,

$F_{DTP}$  è un termine che tiene conto degli eventi di svio TP in assenza di deviatori nella galleria,

$F_{LP}$  è un fattore che tiene conto degli eventi di svio correlati alla tipologia di materiale rotabile (treni lunga percorrenza piuttosto che treni regionali).

Nel calcolo del rateo, l'applicabilità dei suddetti fattori si valuta caso per caso sulla base delle caratteristiche della galleria da esaminare, pertanto per gallerie in cui siano presenti deviatori il fattore  $F_D$  non viene considerato, così come per linee con un traffico viaggiatori non prevalentemente lunga percorrenza il fattore  $F_{LP}$  non viene utilizzato. Il valore di tali parametri è il risultato dell'analisi della banca dati incidentale disponibile, in particolare delle cause che conducono all'evento incidentale preso in esame.

Per il calcolo dei suddetti fattori, in relazione ai dati utilizzati, relativi al periodo 2001-2020, si è valutato che al 2020:

- sono stati complessivamente registrati 52 eventi significativi di deragliamento TP, di cui 14 relativi ai treni LP e 38 ai treni regionali;

- 10 tra questi eventi sono avvenuti con dinamiche tipiche dell'ambito stazione per la presenza di deviatori, di cui 3 eventi relativi a treni LP e 7 eventi ai treni regionali;
- Complessivamente gli eventi di svio significativi avvenuti non su deviatoio sono pari a  $52-10=42$ , di cui 31 hanno visto coinvolti treni regionali e 11 treni LP.

Ciò considerato, il fattore  $F_{DTP}$  correttivo che tiene conto dell'assenza di deviatori in galleria vale in generale 0,81 (*i.e.*  $1-10/52$ , ossia il complemento a 1 del rapporto tra svii avvenuti su deviatoio e svii totali) mentre  $F_{LP}$  vale 0,262 (*i.e.*  $1-31/42$ ).

In analogia al calcolo del rateo per i treni passeggeri, il rateo di deragliamento di treni merci e merci pericolose è funzione del traffico merci, della percentuale dei treni trasportanti merci/merci pericolose, della lunghezza della galleria e dell'eventuale presenza di deviatori.

Pertanto, il numero di eventi di deragliamento treni merci/merci pericolose all'anno può essere espresso dalle seguenti formule:

$$Rateo_{DerTM} = Tr_{TM} \times \%TM \times 365 \times f_{DerTM} \times L_{gall} \times F_{DTM}$$

$$Rateo_{DerTMP} = Tr_{TM} \times \%TMP \times 365 \times f_{DerTM} \times L_{gall} \times F_{DTM}$$

dove il significato dei termini è analogo a quanto riportato per la formula relativa ai treni passeggeri. Il fattore che tiene conto dell'eventuale assenza di deviatori anche in tal caso viene adottato solo per gallerie in cui non siano previsti deviatori e viene calcolato considerando che al 2020 sono stati complessivamente registrati 59 eventi significativi di deragliamento TM, di cui 20 sono avvenuti su deviatoio, per cui  $F_{DTM}$  vale 0,66 (*i.e.*  $1-20/59$ ).

### **Collisione**

I dati disponibili relativi alle collisioni tra treni sono suddivisi tra:

- Urto tra treni marcianti in senso opposto,

- Urto tra treni marcianti nello stesso senso,
- Urto di treno contro treno fermo.

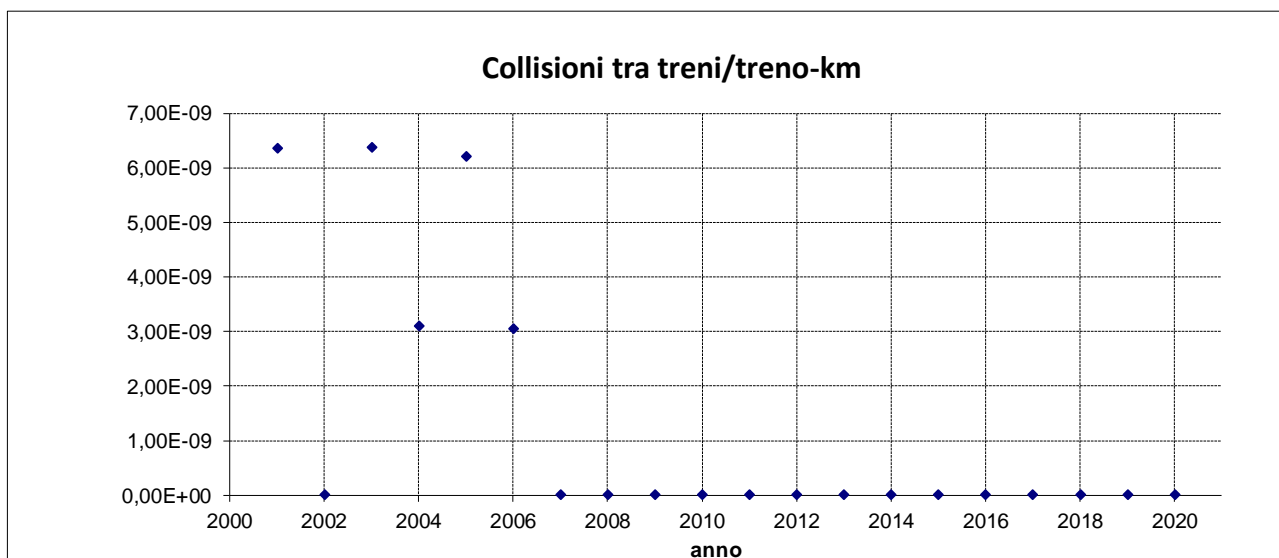
Per ogni anno è stato calcolato il numero delle collisioni tra treni espresso in relazione ai treni-km, valutando distintamente il tasso di collisioni tra treni applicabile a gallerie nelle quali non sia previsto il transito di treni marcianti in senso opposto, come riportato in Tabella 9.

**Tabella 9:**

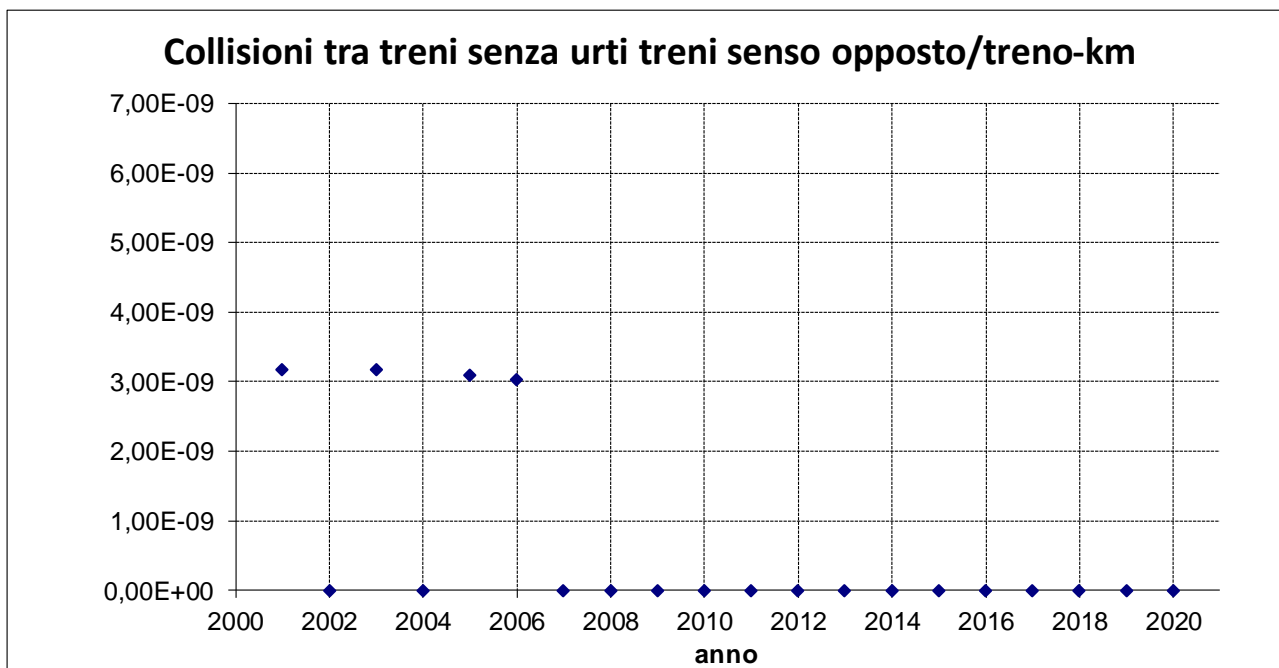
Collisioni UIC/Significative tra treni (BDP-BDS, 2001 – 2020)

Anno	Collisioni fra treni	Collisioni tra treni (senza urti tra treni marcianti in senso opposto)	Percorrenze [treno-km]	Tasso di collisioni tra treni [eventi/treno-km]	Tasso di collisione tra treni (senza urti tra treni marcianti in senso opposto) [eventi/treno-km]
2001	2	1	3,15E+08	6,35E-09	3,18E-09
2002	0	0	3,16E+08	0,00E+00	0,00E+00
2003	2	1	3,14E+08	6,36E-09	3,18E-09
2004	1	0	3,22E+08	3,10E-09	0,00E+00
2005	2	1	3,23E+08	6,20E-09	3,10E-09
2006	1	1	3,29E+08	3,04E-09	3,04E-09
2007	0	0	3,27E+08	0,00E+00	0,00E+00
2008	0	0	3,20E+08	0,00E+00	0,00E+00
2009	0	0	3,02E+08	0,00E+00	0,00E+00
2010	0	0	2,98E+08	0,00E+00	0,00E+00
2011	0	0	3,08E+08	0,00E+00	0,00E+00
2012	0	0	3,04E+08	0,00E+00	0,00E+00
2013	0	0	3,21E+08	0,00E+00	0,00E+00
2014	0	0	3,21E+08	0,00E+00	0,00E+00
2015	0	0	3,37E+08	0,00E+00	0,00E+00
2016	0	0	3,46E+08	0,00E+00	0,00E+00
2017	0	0	3,50E+08	0,00E+00	0,00E+00
2018	0	0	3,60E+08	0,00E+00	0,00E+00
2019	0	0	3,67E+08	0,00E+00	0,00E+00
2020	0	0	2,95E+08	0,00E+00	0,00E+00

Sulla base di quanto elaborato e riportato in tabella è stato diagrammato l'andamento del tasso di collisione tra treni, anche per il tasso relativo ai casi di treni non marcianti in senso opposto (riferibile in generale a tratti di galleria a doppia canna):



**Figura 14:** Collisioni totali tra treni (eventi/treno-km)



**Figura 15:** Collisioni tra treni senza urti tra treni marcianti in senso opposto (eventi/treno-km)

I tassi calcolati presentano un andamento nettamente decrescente (si vedano Figura 14 e Figura 15), in virtù dell'assenza in banca dati di eventi di collisione tra treni a partire dal



2007, mostrando quindi l'incidenza della modernizzazione delle infrastrutture (in particolare l'effetto dell'implementazione di sistemi di segnalamento più evoluti) e delle procedure.

Al fine di definire un valore di riferimento per l'anno 2021 (in coerenza con quanto fatto per il deragliamento), è stato valutato cautelativamente il valore medio dei tassi (espresso in eventi per treno-km) tenendo conto di tutti i dati disponibili (relativi al periodo 2001-2020):

$$f_{Colltreni-DB} = 1,25 \cdot 10^{-9} \text{ eventi/treno-km (per le collisioni totali tra treni)}$$

$$f_{Colltreni-SB} = 6,25 \cdot 10^{-10} \text{ eventi/treno-km (per le collisioni tra treni senza urti tra treni marcianti in senso opposto)}$$

Il rateo dell'evento collisione, espresso in eventi all'anno, è in generale uguale al prodotto del tasso incidentale delle collisioni tra treni moltiplicato per il traffico della tratta in esame e per la lunghezza della galleria.

Nello studio di tale evento incidentale, inoltre, occorre tenere conto della presenza del sistema di segnalamento che incide sull'evento collisione annullandone le cause (dovute esclusivamente ad errore umano, come evidente dalla Tabella 4) nel suo corretto funzionamento. Pertanto, al fine di valutare il rateo atteso di collisione per la galleria, viene considerato unicamente il caso di fallimento del sistema di segnalamento.

In tale situazione, il rateo può essere genericamente espresso dalla seguente formula:

$$Rateo_{Coll} = f_{Colltreni} \times Tr_{giorno} \times 365 \times P_S \times L_{gall}$$

dove  $f_{Colltreni}$  è il tasso di collisione tra treni,  $Tr_{giorno}$  rappresenta il numero di treni giornaliero,  $P_S$  la probabilità di fallimento del sistema di segnalamento e  $L_{gall}$  la lunghezza della galleria. Per gallerie con uno sviluppo parte a doppio binario e parte a singolo binario, il rateo di collisione è espresso dalla seguente formula:

$$Rateo_{Coll} = [(f_{Colltreni-SB} \times L_{gall-SB}) + (f_{Colltreni-DB} \times L_{gall-DB})] \times Tr_{giorno} \times 365 \times P_S$$

Nelle gallerie in cui è presente il sistema di controllo marcia treno SCMT, allo scopo di valutare il caso di fallimento del sistema di controllo della marcia del treno, vengono presi in esame i seguenti possibili scenari:

1. guasto grave al SSB che quindi non protegge la marcia (in questo caso le procedure prevedono di condurre il convoglio sino al punto dove sia possibile effettuare la sostituzione del mezzo) in concomitanza con errore umano (*i.e.* supero segnale a v.i.);
2. perdita di un PI e di almeno una boa del PI successivo (in sostanza perdita di 3 boe consecutive) in concomitanza con errore umano (*i.e.* supero segnale a v.i.). La perdita del primo PI determina la frenatura ma interrompe la catena di appuntamento e la perdita di una boa del successivo PI (*e.g.* in asse ad un segnale disposto a v.i.) non consentendo al SSB di utilizzarne il contenuto, poiché il SSB non le può attribuire il verso di validità;
3. perdita del PI in asse ad un segnale disposto a v.i. con conseguente frenatura da parte del SSB; alla ripartenza il SSB protegge solo rispetto al tetto di velocità di linea pertanto un errore nel dialogo tra PdC e DM o nell'accertamento della libertà della via o nel rispetto delle prescrizioni date dal DM, può portare a far ripartire il convoglio ad una velocità incompatibile con l'arresto prima di un ostacolo.

Dei tre casi possibili, sopra descritti, il primo risulta il più probabile in base all'analisi delle cause. La probabilità, quindi, che l'SCMT fallisca può essere calcolata considerando che l'SSB presenta mediamente un guasto ogni 100.000h di funzionamento<sup>6</sup>, tenendo conto del tempo di percorrenza medio relativo alla galleria (e quindi del modello di esercizio previsto):

$$P_{SCMT} = \frac{L_{gall} \sqrt{v}}{100000}$$

<sup>6</sup> MTBF di progetto indicato nella specifica RFI 2001 (*cf.* Bibliografia).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>75 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	75 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	75 di 200											

Poiché le cause relative agli scenari 2 e 3 sopra descritti, da considerare affinché si verifichi un evento pericoloso, presentano frequenze inferiori, le stesse non vengono ivi calcolate.

Nelle gallerie in cui è presente il sistema di controllo della marcia dei treni ERTMS/ETCS di livello 2, la cui architettura è descritta nella specifica di RFI<sup>7</sup>, allo scopo di valutare il caso di fallimento del sistema sono considerati i guasti immobilizzanti, in quanto, essendo autorizzata in tali casi la marcia *on sight* (con velocità massima garantita pari a 30 km/h) o *staff responsible* (prosecuzione della marcia nel rispetto del distanziamento), gli stessi introducono la possibilità dell'errore umano escluso dal corretto funzionamento del sistema.

L'evento più probabile tra quelli afferenti tale sistema individuato dalla sequenza incidentale di collisione è quello che prevede un guasto immobilizzante al SST distribuito, che quindi non protegge la marcia, in concomitanza con errore umano.

La probabilità, dunque, che l'ERTMS/ETCS di livello 2 fallisca può essere calcolata considerando il prodotto di due probabilità,  $P_1$  e  $P_2$ :

$$P_{ERTMS} = P_1 \times P_2$$

dove  $P_1$  è pari al tempo di permanenza in galleria, calcolato come rapporto della lunghezza percorsa e della velocità (ottenuta come media pesata delle velocità massime previste per le diverse tipologie di treno), moltiplicato per il traffico totale:

$$P_1 = \frac{L_{gall}}{24 \cdot \bar{v}} \cdot Tr_{tot}$$

mentre  $P_2$ , tiene conto del tempo di risposta del sistema, che può essere stimato cautelativamente dell'ordine dei 10 secondi, e del fatto che il sottosistema di terra distribuito presenta mediamente un guasto ogni 120000 h di funzionamento:

<sup>7</sup> RFI, 2002, "ERTMS/ETCS L2 Specifica dei requisiti di sistema" (cfr. Bibliografia).

$$P_2 = \frac{10/3600}{120000} = 2,31 \times 10^{-8}$$

### **Incendio**

Per ogni anno, è stato calcolato il valore del tasso di incendio di materiale rotabile/treno-km e si è individuato il *trend* dei dati ottenuti (Tabella 10). Dall'analisi dei dati incidentali disponibili, si evince che il tasso di incendio dipende dal tipo di servizio (passeggeri o merci).

**Tabella 10:**

Incendi UIC/Significativi treni passeggeri e treni merci (BDP-BDS, 2001 – 2020)

Anno	Incendi TP	Incendi TP gravi	Incendi TM	Percorrenze TP [treno-km]	Percorrenze TM [treno-km]	Tasso di incendio TP [eventi/treno-km]	Tasso di incendio TM [eventi/treno-km]
2001	4	0	0	2,52E+08	6,24E+07	1,59E-08	0,00E+00
2002	3	1	0	2,54E+08	6,17E+07	1,18E-08	0,00E+00
2003	5	0	0	2,56E+08	5,88E+07	1,96E-08	0,00E+00
2004	1	0	2	2,60E+08	6,23E+07	3,85E-09	3,21E-08
2005	2	0	1	2,64E+08	5,83E+07	7,56E-09	1,72E-08
2006	2	0	0	2,69E+08	6,01E+07	7,44E-09	0,00E+00
2007	1	0	2	2,68E+08	5,87E+07	3,73E-09	3,41E-08
2008	2	0	0	2,68E+08	5,22E+07	7,47E-09	0,00E+00
2009	0	0	0	2,66E+08	3,61E+07	0,00E+00	0,00E+00
2010	0	0	0	2,67E+08	3,08E+07	0,00E+00	0,00E+00
2011	0	0	0	2,67E+08	4,04E+07	0,00E+00	0,00E+00
2012	0	0	1	2,64E+08	3,99E+07	0,00E+00	2,50E-08
2013	2	0	0	2,81E+08	4,03E+07	7,12E-09	0,00E+00
2014	0	0	0	2,80E+08	4,08E+07	0,00E+00	0,00E+00
2015	1	0	1	2,87E+08	5,01E+07	3,49E-09	2,00E-08
2016	1	0	0	2,94E+08	5,15E+07	3,40E-09	0,00E+00
2017	1	0	1	2,98E+08	5,17E+07	3,35E-09	1,93E-08
2018	1	0	1	3,08E+08	5,20E+07	3,25E-09	1,92E-08
2019	0	0	1	3,14E+08	5,39E+07	0,00E+00	1,85E-08
2020	0	0	0	2,43E+08	5,20E+07	0,00E+00	0,00E+00

Il tasso calcolato di incendio treno passeggeri (eventi per treno-km) mostra un andamento decrescente nel tempo, compatibile con il processo di modernizzazione delle infrastrutture (miglioramento tecnologico delle strutture e dei rotabili) e delle procedure.

Al fine di estrapolare il valore del tasso all'anno 2021 è stata utilizzata una legge di tipo esponenziale:

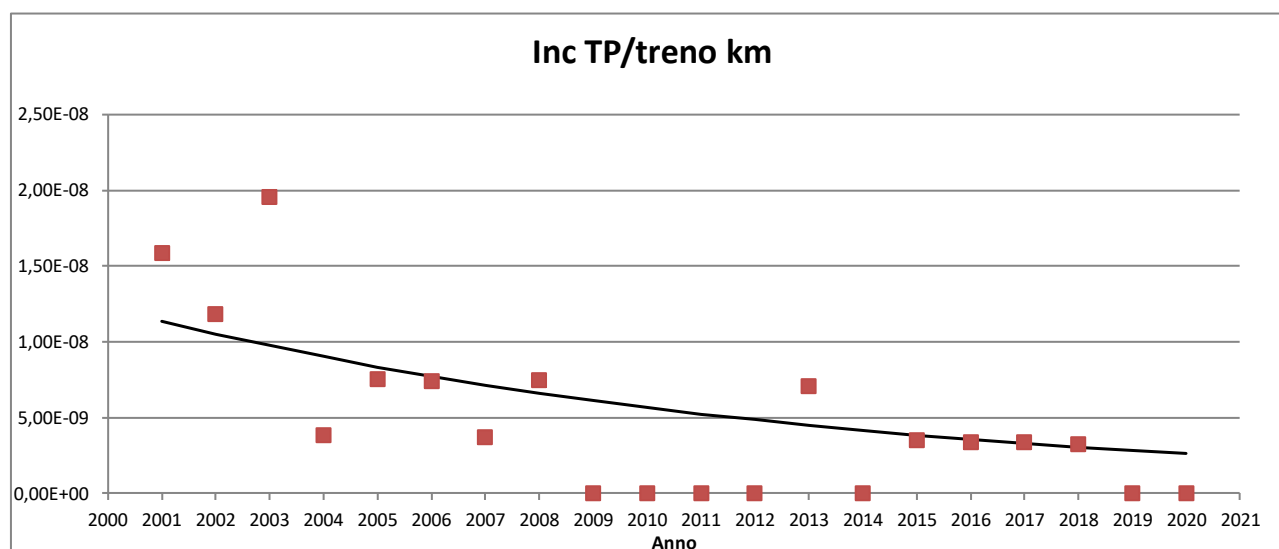
$$f(t) = \gamma_0 e^{\gamma_1 t}$$

dove:

$f(t)$  = tasso di incendio espresso in eventi/treno-km;

$t$  = tempo.

La Figura 16 rappresenta i dati ottenuti e il *trend* identificato nel caso di incendio di treno passeggeri.



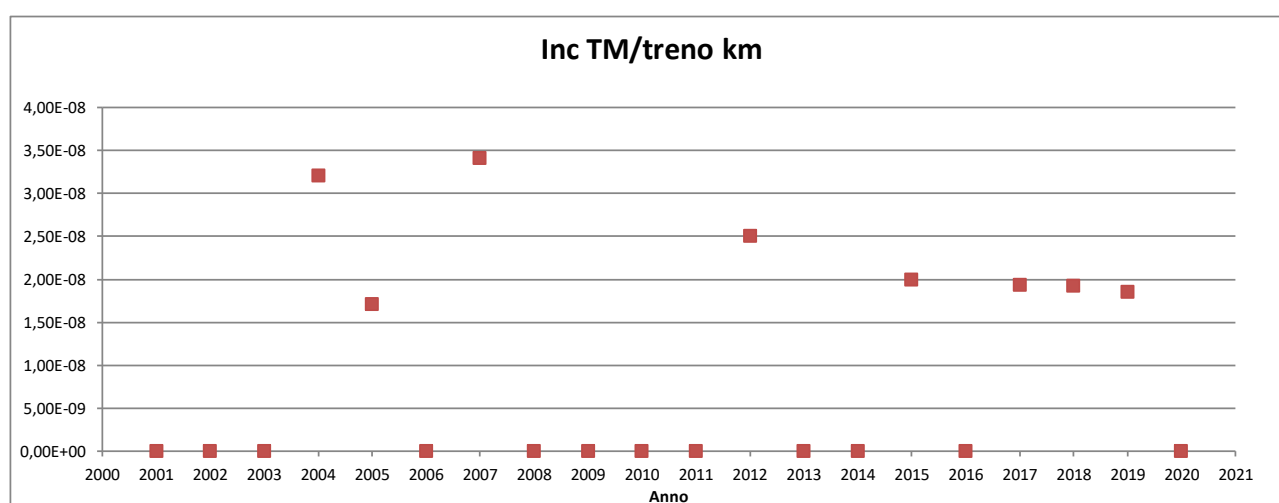
**Figura 16:** Regressione incendio di treno passeggeri/treno-km

Il tasso di incendio di treno passeggeri ( $f_{Inc,TP}$ ), eventi/treno-km, viene ricavato dalla relativa curva di regressione che estrapolata all'anno 2021 restituisce il seguente valore:

$$f_{Inc,TP} = 2,41 \cdot 10^{-9} \text{ eventi/treno-km}$$

Il tasso di incendio treno merci ( $f_{Inc.TM}$ ), invece, non presenta un marcato *trend* decrescente (si veda la Figura 17), pertanto è stato considerato un valore medio, ottenendo:

$$f_{Inc.TM} = 9,27 \cdot 10^{-9} \text{ eventi/treno-km}$$



**Figura 17:** Incendio di treno merci: eventi /treno-km

Nel caso di treno passeggeri la media degli scostamenti percentuali tra il valore dei tassi di incendio desunti dalla banca dati incidentali ed il valore dei tassi desunti dalla curva interpolante è pari a circa l'8%. Per i treni merci, al fine di stimare uno scostamento non nullo dei valori registrati rispetto al suddetto tasso di svio, assunto pari al valore medio nel periodo di 2001-2020, è stato preso a riferimento l'ultimo periodo temporale, dal 2010 in poi e in tali ipotesi lo scostamento percentuale medio calcolato è risultato circa il 0,1%.

Dipendendo il tasso di incendio dal tipo di servizio, anche il rateo viene di conseguenza valutato distintamente per i treni passeggeri e per i treni merci, prendendo in esame il relativo traffico e la lunghezza della galleria.

Dall'elaborazione delle informazioni disponibili in banca dati per gli incendi di treno passeggeri è risultato che gli eventi gravi (comportanti una o più fatalità o feriti gravi) dal punto di vista delle conseguenze costituiscono una percentuale pari a circa il 4% di quelli

registrati (Tabella 10). Pertanto, al rateo viene applicato il seguente fattore  $F_G \cong 0,038$  dovuto alla percentuale di incendi di treno passeggeri, mortali o con feriti gravi, rispetto al totale incendi di treno passeggeri.

Quindi il numero di eventi di incendio grave di treni passeggeri all'anno può essere espresso dalla seguente formula:

$$Rateo_{IncTP} = Tr_{TP} \times L_{gall} \times 365 \times F_G \times f_{incTP}$$

dove:

$Tr_{TP}$  è il numero di treni passeggeri giornaliero,

$L_{gall}$  indica la lunghezza della galleria,

$F_G$  è un fattore che tiene conto degli incendi gravi,

$f_{incTP}$  rappresenta il tasso di incendio treno passeggeri.

Per i treni merci, il rateo di incendio è pari al prodotto del tasso di incendio treni merci per il relativo traffico e per la lunghezza della galleria in esame. Il numero di eventi di incendio treni merci all'anno può essere, quindi, espresso dalla seguente formula:

$$Rateo_{IncTM} = f_{Inc.TM} \times Tr_{TM} \times 365 \times L_{gall}$$

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>80 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	80 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	80 di 200											

### 1.3 EVENT TREE ANALYSIS

L'analisi per la determinazione degli scenari incidentali finali "credibili", a partire dagli eventi iniziatori selezionati attraverso l'analisi preliminare dei rischi, è sviluppata utilizzando la tecnica degli Alberi degli Eventi (ETA).

Preliminarmente sono studiate le sequenze incidentali principali, costituite dalle combinazioni di eventi base originati dall'evento iniziatore.

In generale per eventi base si intendono eventi non scomponibili ulteriormente in eventi elementari: in questo caso essi descrivono, indipendentemente e sequenzialmente, il decorso delle conseguenze originate dall'occorrenza dell'evento iniziatore. Nel presente studio sono stati caratterizzati eventi base di differente natura, ovvero:

- eventi generici, non dipendenti dalle particolari caratteristiche sia del traffico che della linea, la cui probabilità di accadimento viene quindi ricavata dalle basi dati statistiche;
- eventi specifici, la cui probabilità di accadimento viene calibrata in funzione delle caratteristiche specifiche della linea.

La metodologia adottata per lo studio delle sequenze incidentali si articola nei passi seguenti:

1. identificazione degli eventi ritenuti dominanti nell'evoluzione degli scenari incidentali;
2. stima quantitativa della probabilità di accadimento degli scenari incidentali finali;
3. calcolo delle conseguenze per ogni scenario incidentale finale.



### 1.3.1 SEQUENZE INCIDENTALI E PRINCIPALI BIFORCAZIONI

Definite le sequenze incidentali sulla base dello sviluppo degli alberi degli eventi, la frequenza degli scenari finali individuati viene valutata combinando le probabilità associate a ciascun sottoevento ("gate" dell'albero) caratterizzante le sequenze stesse.

Tali probabilità vengono generalmente determinate sulla base delle caratteristiche della galleria in esame e del traffico considerato; alcune di esse tengono conto di assunzioni di carattere generale che sono anche il risultato di un'analisi di dettaglio della banca dati incidentale utilizzata.

Le suddette ipotesi, unitamente alle modalità di calcolo delle relative probabilità, sono di seguito riportate per i sottoeventi che possono essere, in generale, presi in esame nella sequenza incidentale di deragliamento per il sistema galleria.

#### Deragliamento

La possibile sequenza incidentale a partire da un evento di deragliamento viene sviluppata sulla base delle caratteristiche della galleria in esame e del traffico considerato e in coerenza con i dati incidentali.

In particolare, per i treni passeggeri vengono studiati separatamente gli eventi di deragliamento con diretto pericolo per i viaggiatori (**deragliamento grave**), rispetto agli incidenti in grado di provocare danni solo in seguito a successivi sviluppi.

In funzione del modello di esercizio di riferimento, può essere necessario distinguere la **tipologia di trazione** prevista (**elettrica/diesel**), in virtù della differente potenziale sequenza incidentale ipotizzabile.

Per gallerie con una diversa configurazione lungo il loro sviluppo, viene valutata la probabilità che il treno percorra il **tratto a doppio binario** piuttosto che quello **a singolo**, potendosi avere sviluppi differenti nella sequenza incidentale nei due casi.

Per gallerie/tratti a doppio binario, nello sviluppo della sequenza incidentale viene presa in considerazione l'eventuale **occupazione del binario adiacente**, condizione che rende

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>82 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	82 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	82 di 200											

possibile un'invasione di sagoma e quindi la **collisione secondaria** con un altro treno, di qualunque **tipologia**.

L'albero si ramifica successivamente considerando che i danni subiti a seguito dell'incidente possono condurre a **rilascio-incendio**: tale eventualità viene stimata normalmente quale trascurabile per treni a trazione elettrica (ipotesi supportata anche da un'analisi ad hoc condotta su banca dati), mentre in generale può risultare significativa nel caso in cui il deragliamento riguardi treni trasportanti merci pericolose o treni a trazione *diesel*, a causa del possibile sversamento del combustibile. La dinamica di un incendio da rilascio combustibile diesel sarà evidentemente di minore entità rispetto a incendi originati da rottura/cedimento di ferrocisterne in relazione e rapporto alle quantità in gioco, in termini di potenze di picco, di durata dell'evento e severità, come sarà descritto nel dettaglio al successivo § 1.3.2, in cui si esplicitano le ipotesi sull'analisi di scenario.

Nel caso in cui l'incendio a seguito di deragliamento riguardi un treno merci pericolose (o *diesel*), vengono presi in esame i possibili **accodamenti e/o coinvolgimenti** (per gallerie/tratti a doppio binario) di treni passeggeri nell'incendio.

Per incendi di merci pericolose a seguito di svio e/o collisione secondaria, ulteriori sottoeventi di coinvolgimento/accodamento risultano in generale associati a frequenze molto basse, in coerenza con i dati BDP-BDS. Tali scenari comporterebbero infatti la presenza di tre treni nell'ambito della catena incidentale (treno deragliato, treno colliso o coinvolto e ulteriore treno accodato), condizione teoricamente prevenibile, confrontando i tempi di gestione dell'emergenza e i tempi di sviluppo della sequenza.

Di seguito, per le principali biforcazioni evidenziate si riportano le valutazioni di dettaglio.

#### Gravità del deragliamento (solo per treni passeggeri)

Il sottoevento che distingue i deragliamenti in grado di produrre conseguenze in termini di fatalità per i soggetti esposti è modellizzato in base all'analisi dei dati statistici (BDP/BDS). Il ramo associato allo sviluppo dell'evento di deragliamento in grado di produrre in maniera diretta conseguenze in termini di fatalità è caratterizzato da una probabilità pari al rapporto

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>83 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	83 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	83 di 200											

tra gli svii con conseguenze (feriti gravi e/o fatalità) e tutti gli svii classificati come significativi. Sulla base dei dati a disposizione, riferiti al periodo 2001-2020, il valore di tale rapporto è pari a 0,173.

Tale sottoevento si applica a tutte le tipologie di gallerie.

#### Tipologia di trazione elettrica/diesel

La probabilità associata a tale *gate* è pari all'aliquota di treni a trazione diesel sul totale.

Il sottoevento è applicabile in presenza di transito in galleria di treni diesel (previsto nell'ordinario esercizio oppure occasionale).

#### Tratto a doppio/singolo binario

La probabilità associata a tale *gate* è pari alla lunghezza del tratto a doppio binario sulla lunghezza totale della galleria.

Tale biforcazione è possibile solo in presenza di gallerie con diverse configurazioni lungo il proprio sviluppo.

#### Occupazione del binario adiacente

Per le sole gallerie a doppio binario, nello sviluppo della sequenza incidentale viene presa in considerazione l'eventuale occupazione del binario adiacente. La probabilità che il binario adiacente venga occupato dal treno deragliato è pari al prodotto di due fattori: il primo termine,  $P_1$ , è la probabilità che il treno deragli in direzione di un altro binario; il secondo,  $P_2$ , è la probabilità che il treno, uscendo dalla guida delle rotaie, percorra una distanza in direzione perpendicolare alle stesse tale da interferire con la sagoma dinamica nell'altro senso di marcia:

$$P_{occbinad} = P_1 \times P_2$$

dove:

P1 è posto pari a 0,5;

P2 viene stimata utilizzando dati di deviazione laterale in caso di deragliamento (Tabella 11) già utilizzati in studi precedenti (fonte D'Appolonia); la probabilità è condizionata quindi all'ampiezza dell'interasse tra i binari dedicati ai sensi di marcia della galleria oggetto di studio.

**Tabella 11:**

Deviazione laterale a seguito di deragliamento

DISTANZA (metri)	EVENTI OSSERVATI	PROBABILITA'	PROBABILITA' CUMULATA
0.15	3	0.0484	1.00
0.24	1	0.0161	0.95
0.27	1	0.0161	0.94
0.30	16	0.2581	0.92
0.46	3	0.0484	0.66
0.67	12	0.1935	0.61
0.91	6	0.0968	0.42
1.22	4	0.0645	0.32
1.37	1	0.0161	0.26
1.52	3	0.0484	0.24
1.83	2	0.0323	0.19
2.74	1	0.0161	0.16
3.05	4	0.0645	0.15
3.67	1	0.0161	0.08
5.49	1	0.0161	0.06
6.40	1	0.0161	0.05
10.70	1	0.0161	0.03
18.30	1	0.0161	0.02
<b>Totale</b>	62	1.0000	-

### Scontro con un treno

Nel caso in cui vi sia invasione del binario adiacente, la probabilità associata all'evento di collisione secondaria con treno sopraggiungente è in generale la media delle probabilità di collisione per ciascuna tipologia di treno (merci/passeggeri eventualmente distinti per velocità di marcia), rappresentata dalla seguente espressione:

$$P_{col} = p_{att} \cdot \sum_i \frac{t_{fi} \cdot v_{fi} \cdot n_i}{t_{cd} \cdot \bar{v} \cdot n} + (1 - p_{att}) \cdot \sum_i \frac{(n_i \cdot t_{all} \cdot v_i + n_i \cdot t_{fi} \cdot v_{fi})}{t_{cd} \cdot \bar{v} \cdot n}$$

dove:

- $i$  è l'indice che distingue le tipologie di treni presenti (merci/passeggeri);
- $p_{att}$  rappresenta la probabilità che il convoglio sviato occupi il circuito di binario sul binario adiacente
- $t_{cd}$  è il tempo di cadenzamento medio;
- $\bar{v}$  è la velocità media pesata per tipologia di treno;
- $v_i$  la massima velocità di ogni tipologia di treno;
- $t_{fi}$  è il tempo di frenatura della tipologia i-esima di treno;
- $v_{fi}$  è la velocità di frenatura della tipologia i-esima di treno;
- $n_i$  indica il numero della tipologia i-esima di treni, con  $n$  il numero totale di treni
- $t_{all}$  è il tempo di allarme necessario a comunicare l'avvenuto lo svio: si stima che dopo tale tempo abbia inizio la frenatura del treno sopraggiungente.

La probabilità  $p_{att}$  è calcolata mediante la formula di *Bayes*; il suo valore, infatti, è condizionato dal verificarsi del sottoevento di occupazione del binario adiacente, che può essere rilevato solo in presenza di blocco automatico in virtù del circuito di binario.

In caso di blocco conta-assi l'occupazione del binario non può essere direttamente rilevata dal sistema (assenza di cdb), pertanto  $p_{att}$  è nulla.

Il tempo di allarme viene stimato pari a 2 minuti.

Il tempo di frenatura è valutato separatamente per i treni passeggeri e per i merci, tenendo conto della differente velocità iniziale e della diversa decelerazione.

Tale sottoevento si applica solo a gallerie a doppio binario.

### Tipologia treno colliso

La probabilità che la collisione su binario adiacente coinvolga un treno passeggeri/merci dipende dal numero di treni/giorno in transito e dal tempo di frenatura della i-esima tipologia:

$$P_{colTP} = \frac{1}{1 + \frac{n_{TM} \cdot t_{fTM}}{n_{TP} \cdot t_{fTP}}}$$

$$P_{colTM} = 1 - P_{colTP}$$

Ove si è indicato con  $n_{TM}$  ( $n_{TP}$ ) il numero di treni merci (passeggeri) in transito in galleria e con  $t_{fTM}$  ( $t_{fTP}$ ) il tempo di frenatura dei treni merci (passeggeri) in transito in galleria.

Tale sottoevento si applica solo a gallerie a doppio binario.

### Treno colliso merci pericolose

La probabilità che il treno colliso trasporti merci pericolose è pari al rapporto tra il numero di treni trasportanti merci pericolose e il totale dei treni merci, riferito all'esercizio della galleria.

Tale sottoevento si applica solo a gallerie a doppio binario, il cui modello di esercizio preveda il transito di TMP.

### Rilascio-Incendio

Tale sottoevento può essere associato in teoria a treni passeggeri (per il solo incendio) e a treni merci /merci pericolose.

In generale, per i treni passeggeri e merci a trazione elettrica uno svio, e/o un urto, possono indurre danneggiamenti tali da favorire l'innescò di un incendio, tuttavia i dati incidentali registrati in banca dati evidenziano un'occorrenza trascurabile dello scenario in esame, a differenza del caso di TMP.

Nel caso in cui il treno incidentato trasporti merci pericolose, al fine di valutare quantitativamente la probabilità di rilascio-incendio a seguito di deragliamento e/o collisione, si è proceduto ad un approfondimento in banca dati che ha mostrato l'assenza di rilasci di sostanze tossiche a seguito di svii/urti UIC/Significativi, mentre si registrano sversamenti di sostanze infiammabili con successivo incendio.

Pertanto, il sottoevento considerato nell'analisi non prende in esame i rilasci tossici, ma solo gli incendi a seguito di sversamento; tale scenario di riferimento risulta comunque cautelativo rispetto a quello del solo rilascio, in quanto le conseguenze da esso potenzialmente derivanti presentano un maggiore livello di severità, dovuto alla dinamica incidentale (rischio chimico associato al rischio termico).

Elaborando i dati a partire dal 2001 fino al 2006 si è osservato un evento catastrofico su 5 deragliamenti coinvolgenti merci pericolose: in particolare l'evento registrato è stato caratterizzato dall'innescò di un incendio di elevata potenza termica a seguito di rilascio di sostanza.

Equiparando la collisione al deragliamento come potenziale causa dello sversamento della sostanza pericolosa dalla ferrocisterna, si è verificato nel 2006 un evento di urto UIC coinvolgente un treno TMP, cui però non ha fatto seguito alcuno sversamento catastrofico. Nel 2007 la statistica si arricchisce di un ulteriore evento di svio di treno merci pericolose che non ha comportato sversamenti.

Nel 2008 non vi sono stati eventi di deragliamento e/o collisione che abbiano interessato treni merci pericolose, mentre nel 2009 vi sono stati 2 svii, di cui uno con rilascio di sostanza infiammabile e successivo incendio.

Nel periodo 2010-2014 non sono stati registrati incidenti in circolazione ai TMP.

Sia nel 2015 che nel 2016 si è verificato un urto UIC/Significativo di treno trasportante merci pericolose contro ostacoli, sebbene senza sversamento.

Negli anni successivi, 2017-2020, si è verificato uno svio significativo coinvolgente un treno trasportanti merci pericolose, ma senza sversamenti (nel 2018).

Elaborando tutti i dati, la probabilità di incendio di merce pericolosa a seguito di deragliamento di un TMP è pari a:

$$P_{incMP} = \frac{n_{sversMP}}{n_{der-collTMP}} \times \frac{n_{incMP}}{n_{sversMPinf}} = 0,182$$

dove:

- $n_{sversMP}$  rappresenta il numero di eventi di sversamento di sostanze pericolose a seguito di deragliamento e/o collisione di un TMP;
- $n_{sversMPinf}$  rappresenta il numero di eventi di sversamento di sostanze pericolose infiammabili a seguito di deragliamento e/o collisione di un TMP;
- $n_{der-collTMP}$  rappresenta il numero di eventi di deragliamento e/o collisione di un TMP registrati in banca dati;
- $n_{incMP}$  rappresenta il numero di eventi di incendio di sostanze pericolose a seguito di sversamenti di un TMP registrati in banca dati.

In generale il verificarsi del rilascio-incendio risulta possibile quando intervengano treni TMP nella sequenza incidentale (quali treni sviati o collisi) e il valore della probabilità associata a tale sottoevento è lo stesso nel caso di solo svio di treni della suddetta tipologia o solo urto contro di essi, in virtù dell'elaborazione dei dati statistici che ha preso in esame tutti gli eventi di svio/urto che hanno comportato sversamento.

Laddove al deragliamento di treni TMP segua una collisione con treni suscettibili di generare a loro volta incendio le probabilità di rilascio-incendio vengono sommate.

Tale sottoevento si applica a tutti i tipi di gallerie, il cui modello di esercizio preveda il transito di TMP.

Il sottoevento di rilascio-incendio, come precisato sopra, risulta avere un'occorrenza trascurabile per treni passeggeri e merci. Tuttavia, per treni a trazione *diesel* il possibile



sversamento di combustibile (tracciato nella lista pericoli quale pericolo potenziale), seppure remoto, per difetti/manutenzione inadeguata o a seguito di eventuali danneggiamenti dovuti a deragliamento e/o collisione, genera una condizione favorevole all'innescio di un incendio: condizione che ha indotto un'analisi specifica.

Per un treno a trazione diesel (passeggeri) la probabilità di incendio a seguito di deragliamento e/o collisione è stata valutata tramite un approfondimento di analisi sugli eventi registrati in banca dati nell'ultimo decennio (dal 2007 in poi, secondo i nuovi criteri).

In tale arco temporale sono stati presi a riferimento tutti gli eventi di svio e urto relativi a treni passeggeri a trazione diesel, classificati sia come incidenti lievi che UIC/Significativi, al fine di ottenere un dato numericamente rappresentativo. Dalla descrizione dell'evento e/o dalle ulteriori note, una volta identificati deragliamenti e collisioni coinvolgenti treni con locomotori ALN, sono stati distinti gli incidenti con danni potenzialmente associabili ad un rilascio di combustibile (rottura, forature serbatoio, ecc.) da quelli in cui si fosse verificata una perdita effettiva.

In particolare, nel 2007 si sono verificati 14 urti e 1 svio (tutti lievi) coinvolgenti TP diesel, di cui 4 urti con danni a serbatoio/tubi/cannette. Nel 2008 uno svio UIC non ha indotto danni simili, mentre dei 26 urti lievi 3 hanno comportato rotture compatibili con sversamenti e in un caso si è verificata una perdita. Nel 2009 non si sono registrati svii treni diesel ma dei 26 urti (di cui uno UIC) in un caso c'è stato rilascio e in altri due eventi danneggiamenti potenzialmente associabili ad una perdita.

Nel 2010 uno svio UIC non ha provocato danni al serbatoio ma tra i 36 urti (di cui 1 UIC) due hanno registrato perdite effettive e altri due danni compatibili.

Dal 2011 al 2013, nella descrizione degli svii (uno lieve, 2 UIC) non vi è evidenza di rilasci, anche solo potenziali, mentre dei 167 urti (di cui uno solo UIC) 11 hanno indotto rotture/forature di cannette e/o serbatoio compatibili con perdite.

Nel 2014 non vi sono stati svii TP diesel, mentre dei 44 urti lievi se ne è registrato uno con rilascio e altri 3 con potenziale perdita.

Nel 2015, come nell'anno precedente, non vi sono stati deragliamenti TP diesel, mentre sono stati registrati 5 urti, di cui uno UIC, senza sversamenti.

Nel 2016 ancora nessuno svio di TP diesel, ma 32 urti lievi (di cui 2 con potenziale perdita) e 1 urto significativo senza sversamento.

Nel 2017 non vi è evidenza di svii diesel; si sono registrati invece 17 eventi lievi di urti a carico di treni diesel, tra cui 3 hanno indotto rotture/forature di cannette e/o serbatoio compatibili con perdite, e 1 ha comportato una fuoriuscita di gasolio.

Nel 2018 non sono avvenuti svii di TP diesel, ma sono stati registrati 10 urti lievi relativi a treni diesel, per 4 dei quali in banca dati non è esplicitamente riferita la perdita diesel, ma solo danni al serbatoio/tubo.

Nel 2019 non vi è evidenza di svii occorsi a treni a trazione diesel, mentre si sono registrati 16 urti che hanno coinvolto treni passeggeri diesel, di cui uno significativo e 15 lievi, che hanno comportato danni alla motrice ma nessuna perdita.

Nel 2020 vi è evidenza di uno svio lieve occorso a treni a trazione diesel (senza sversamento) e si sono registrati 6 urti che hanno coinvolto treni passeggeri diesel, classificati come lievi, di cui 3 hanno comportato danni alla motrice con perdita di gasolio in un caso.

Nell'intero arco temporale esaminato, tuttavia, in nessun caso vi è evidenza dell'innescò di un incendio a seguito di sversamento del carburante.

Al fine quindi di valutare la probabilità di incendio di carburante sversato a seguito di svio e/o urto di un treno diesel sono stati elaborati i dati analizzati, assumendo cautelativamente che il rapporto tra tutti i deragliamenti/collisioni associati a perdite potenziali e il totale incidenti occorsi a treni diesel rappresenti la **probabilità di sversamento**.

Per stimare la **probabilità di incendio a seguito di sversamento**, si è tenuto conto del rapporto tra svii e urti con perdita ed eventi associati a perdite potenziali e della probabilità di innescò, valutata come il rapporto tra le tensioni di vapore del combustibile diesel e dell'ottano, altra sostanza di riferimento per le simulazioni di incendio da pozza:

$$\frac{P^{\circ}_{GASOLIO}}{P^{\circ}_{OTTANO}} = 0,007$$

dove:

- $P^{\circ}_{\text{GASOLIO}}$  rappresenta la tensione di vapore del gasolio a temperatura ambiente;
- $P^{\circ}_{\text{OTTANO}}$  rappresenta la tensione di vapore dell'ottano a temperatura ambiente.

Tale ultima ipotesi è stata formulata al fine di tenere in giusto conto le caratteristiche di infiammabilità del gasolio rispetto all'ottano, che nello scenario di incendio modellato sono fortemente dipendenti dalla quantità di vapore in equilibrio con il liquido sversato (e quindi proporzionali alle volatilità). La probabilità è dunque pari a:

$$P_{incTPd} = \frac{n_{svers-pot-dies}}{n_{der-collTPd}} \times \frac{n_{svers-dies}}{n_{svers-pot-dies}} \times \frac{P^{\circ}_{\text{GASOLIO}}}{P^{\circ}_{\text{OTTANO}}} = 0,0001$$

dove:

- $n_{svers-pot-dies}$  rappresenta il numero di eventi di sversamento potenziale a seguito di deragliamento e/o collisione di un treno diesel;
- $n_{svers-dies}$  rappresenta il numero di eventi di sversamento di carburante a seguito di deragliamento e/o collisione di un treno diesel;

Pertanto, il verificarsi del rilascio-incendio si assume cautelativamente possibile anche nel caso di treni diesel sviati o collisi con un valore della probabilità associata a tale sottoevento analogo nel caso di solo svio di treni della suddetta tipologia o solo urto.

Laddove al deragliamento di treni diesel segua una collisione con treni suscettibili di generare incendio le probabilità di rilascio-incendio vengono sommate.

Tale sottoevento si applica a tutti i tipi di gallerie, in presenza di transito di treni a trazione diesel (occasionale o ordinario).

Coinvolgimento di un TP su binario adiacente e/o sullo stesso binario (accodamento pericoloso)

Per gallerie a doppio binario, la configurazione rende in teoria possibile la copresenza di treni in transito sul binario adiacente e treni accodati sul medesimo binario.

In caso di emergenza che interessi già due treni, l'ulteriore implicazione di un terzo treno nella sequenza incidentale risulta una condizione in teoria prevenibile, in virtù dei tempi di gestione dell'emergenza stessa.

Nel caso in cui, a seguito di svio e collisione secondaria, si verifichi l'incendio (treni *diesel* o TMP interessati nella dinamica), la sequenza incidentale può presentare al più l'accodamento come ulteriore sottoevento, essendo il coinvolgimento degenerato in un vero e proprio urto.

Invece, in assenza di collisione secondaria, a seguito del solo svio il successivo incendio può comportare, nell'ordine, coinvolgimento e accodamento di un ulteriore treno.

Tra i due sottoeventi risulta infatti più probabile lo scenario di coinvolgimento su binario attiguo che sul medesimo binario (accodamento), in virtù dell'aleatorietà della posizione relativa di due treni su binari adiacenti contro il distanziamento garantito tra treni marcianti nella stessa direzione.

La probabilità di coinvolgimento di un TP sopraggiungente sul binario adiacente dipende dai seguenti fattori:

- esercizio ferroviario (*i.e.* numero treni circolanti sulla tratta, velocità, ecc.);
- tempo di allarme (*i.e.* tempo medio necessario per la comunicazione dell'incidente al Personale di Macchina);
- tempo di frenatura;
- posizione dei treni relativa e assoluta, all'interno della galleria;
- presenza e funzione del sistema distanziamento treni;
- distanza di esodo da percorrere.

Nell'ambito del segnalamento, anche il tipo di blocco va tenuto in conto, in quanto ad esempio il blocco automatico è in grado di rilevare la presenza di "via impedita" (occupazione cdb) nel caso in cui lo svio abbia causato l'invasione del binario adiacente: l'informazione così acquisita consente di gestire l'ingresso di ulteriori treni, influenzando sui tempi di allarme e, quindi, potenzialmente sulla distanza relativa tra i convogli.

Tale distanza è di fondamentale importanza nella determinazione della probabilità di coinvolgimento, congiuntamente alle valutazioni in merito al raggio d'azione dell'incendio,

in quanto dal “confronto” di queste variabili è possibile ricavare una misura di probabilità e danno associati allo scenario.

Il raggio di azione dell'incendio, la cui estensione è funzione della dinamica di incendio nella galleria e quindi di sezione, lunghezza, larghezza marciapiedi oltre che dei parametri di modellazione, principalmente potenza di picco e tempo di sviluppo.

Per determinare il raggio d'azione si analizzano infatti gli andamenti della letalità in funzione della lunghezza del percorso di esodo e in dipendenza parametrica da distanza dal focolaio e velocità di evacuazione, correlata a visibilità e densità di persone lungo i percorsi, ottenuti mediante simulazioni numeriche di incendio effettuate tramite il codice CFD FDS.

In generale, per gallerie lunghe a sezione ridotta (30-35 mq fino a 40-45mq) le condizioni di visibilità si considerano tali da comportare velocità di esodo prossime a 0,3 m/s nelle vicinanze del focolaio e la rapidità di diffusione dei fumi lungo i percorsi limita comunque tali velocità a valori intorno a 0,6 m/s anche a distanze di centinaia di metri dal focolaio. In tali condizioni il raggio d'azione varia tra 200÷400m fino a circa 1000 m in funzione del picco di potenza (da 10 MW a 150 MW). Sulla base della larghezza del marciapiede, dell'affollamento treni e quindi della densità di persone lungo il percorso di evacuazione, tali velocità possono subire incrementi, nel range 0,3 m/s e 0,6 m/s, in allontanamento dal focolaio, tanto più significativi in ragione dell'ampiezza dell'area libera della sezione; il range diventa più ampio, con velocità massime anche fino a più di 1 m/s, per gallerie di sezione con aria libera maggiore (da 50÷60 mq in poi). In tali condizioni, il raggio d'azione può arrivare a ridursi fino a dimezzare la sua estensione rispetto alle dimensioni valutate nel caso di gallerie lunghe di sezione ridotta.

Le simulazioni numeriche di incendio effettuate tramite il codice CFD FDS e le valutazioni relative all'effetto tossico degli effluenti dell'incendio sui passeggeri consentono una stima del raggio d'azione e avvalorano l'influenza, intuibile, sul livello di danno, della distanza relativa tra i convogli (indicata di seguito con la notazione  $d_{pool}$ ), nonché della distanza da percorrere da parte degli esodanti sino all'uscita (indicata di seguito con la notazione  $d_{eva}$ ).

Quale sintesi numerica dei risultati si può dunque definire una funzione di danno  $\lambda_{ij}$ , variabile tra 0 e 1, in forma matriciale, dove  $d_{pool}$  e  $d_{eva}$ , indicate quali pedici, identificano i *range* di riferimento in base alle simulazioni numeriche CFD.

Sulla base di tali considerazioni, stimando la probabilità di coinvolgimento come rapporto dei casi in cui la distanza relativa tra i convogli ricade all'interno del raggio d'azione su tutti i casi possibili, per l'esplorazione degli esiti della sequenza incidentale nel dominio delle variabili aleatorie significative (individuate in  $d_{pool}$  e  $d_{eva}$ ) si utilizza il metodo probabilistico Montecarlo, implementato tramite il software @risk, prodotto da Palisade.

L'applicazione di questo metodo numerico implica una preventiva determinazione delle funzioni di densità di probabilità (PDF) da assegnare a ciascuna delle variabili in gioco (ad es. il deragliamenti con rilascio in galleria si considera isoprobabile in ogni punto del tracciato, come pure la posizione del treno incrociante, all'interno di uno spazio di estensione pari al cadenzamento medio).

In tal modo, ciascuna delle combinazioni generate dal metodo probabilistico,  $(P_{ij}, \lambda_{ij})$ , rappresenta uno scenario incidentale differente, il cui esito è espresso dalle variabili di danno atteso e dalla probabilità di coinvolgimento sul binario attiguo, di volta in volta ricalcolate in funzione della posizione assoluta del treno incidentato in galleria (variabile random all'interno del dominio) e del treno sopraggiungente, corrispondenti ai valori  $d_{eva}$  e  $d_{pool}$  che costituiscono le coordinate di ingresso nella matrice del danno per la lettura del correlato  $\lambda_{ij}$ .

Come per il coinvolgimento sul binario adiacente, anche l'accodamento dipende dall'esercizio ferroviario (*i.e.* il numero e la tipologia dei treni passeggeri e merci circolanti in galleria), tempo di allarme, tempo di frenatura.

La formula che viene utilizzata per valutarne la probabilità è la seguente:

$$P_{accperTP} = P_{sb} \times P_{TP} \times P_{err} \times P_{ra1^{\circ}treno} \times P_{ra2^{\circ}treno}$$

dove:

$P_{\text{accperTP}}$  è la probabilità di accodamento pericoloso di un TP;

$P_{\text{sb}}$  è la probabilità che il treno incidentato si fermi all'interno della galleria ma non nella prima sezione di blocco che incontra nel senso di marcia;

$P_{\text{TP}}$  è la probabilità che il treno seguente rispetto al quello incidentato sia un TP;

$P_{\text{err}}$  è la probabilità che si verifichi errore umano nella gestione dell'emergenza, in seguito all'incidente.

$P_{\text{ra1}^{\text{treno}}}$  è la probabilità che il treno incidentato superi il segnale di blocco di una distanza pari a  $R_a$ .

$P_{\text{ra2}^{\text{treno}}}$  è la probabilità che il treno seguente si accodi ad una distanza confrontabile con il raggio d'azione dell'incendio.

Infatti, affinché sia possibile l'accodamento in galleria di un treno passeggeri al treno incidentato, l'evento incidentale deve innanzitutto aver luogo nella seconda sezione di blocco in galleria secondo il senso di marcia, in quanto, se avvenisse nella prima, l'eventuale treno seguente resterebbe all'esterno della galleria stessa.

La probabilità che il treno deragli e si incendi dopo il primo segnale di blocco è quantificabile rapportando il numero di sezioni di blocco decurtato di 1 (dalla seconda in poi) e il numero di sezioni blocco totali  $N_{\text{sb-tot}}$ :

$$P_{\text{sb}} = (N_{\text{sb-tot}} - 1) / N_{\text{sb-tot}}$$

Tuttavia, va considerato che in presenza di un incidente in galleria l'ingresso di un ulteriore treno costituisce la conseguenza di un errore nell'esecuzione delle procedure, attribuibile all'intervento umano, come ad esempio un ritardo da parte del macchinista del treno incidentato nel comunicare l'allarme al DM/DCO.

Al fine di quantificare la probabilità di errore umano, si è fatto ricorso ai modelli per la valutazione quantitativa dell'affidabilità umana, disponibili in letteratura.

In particolare, è stato utilizzato il modello denominato TESEO definito in base ad una funzione di cinque fattori, da considerarsi rappresentativi della tipologia di attività e delle condizioni specifiche di lavoro. I fattori sono di seguito descritti:

- k1: fattore rappresentativo della tipologia di attività oggetto del processo decisionale;
- k2: fattore legato al tipo di stress che caratterizza l'attività ed in particolare al tempo disponibile per l'effettuazione dell'operazione;
- k3: fattore legato alla qualità dell'operatore;
- k4: fattore legato allo stato di ansietà, in particolare al tempo disponibile per l'operazione (ad esempio il tempo occorrente per il processo decisionale che conduce alla comunicazione dell'allarme);
- k5: fattore legato alle condizioni ambientali in cui è inserito l'operatore.

I possibili valori degli indici utilizzabili per calcolare la probabilità di errore umano con il modello TESEO sono riportati nelle tabelle seguenti:

Fattore tipo di attività	
Tipo di attività	<b>k1</b>
Semplice, di routine	0,001
Di routine, richiede attenzione	0,01
Non di routine	0,1

Fattore di stress per attività di routine	
Tempo a disposizione (sec)	<b>k2</b>
2	10
10	1
20	0,5

Fattore relativo all'operatore	
Qualità dell'operatore	<b>k3</b>
Selezionato con cura, esperto, ben addestrato	0,5
Conoscenze ed addestramento medio	1
Scarse conoscenze ed addestramento	3



<b>Fattore relativo allo stato di ansietà</b>	
Stato di ansietà	<b>k4</b>
Situazione di emergenza grave	3
Situazione di emergenza potenziale	2
Situazione normale	1

<b>Fattore legato alle condizioni ambientali e all'ergonomia</b>		
Microclima	Interfaccia con l'impianto	<b>k5</b>
Ottimo	Ottima	0,7
Buono	Buona	1
Discreto	Discreta	3
Discreto	Scadente	7
Cattivo	Scadente	10

La probabilità risultante, associata ad una azione errata nell'esecuzione della procedura, è stata stimata in ragione dei seguenti valori attribuiti ai fattori sopra descritti:

- k1: attività semplice: 0,001;
- k2: tempo disponibile per l'operazione (tempo pari a 2 s): 10;
- k3: operatore esperto e ben addestrato: 0,5;
- k4: stato di emergenza grave: 3;
- k5: condizione ambientale buona: 1.

$$P_{err} = 0,001 \times 10 \times 0,5 \times 3 \times 1 = 0,015$$

Un ulteriore aspetto di cui tenere conto per il calcolo della frequenza associata agli scenari di accodamento pericoloso è connesso alla distanza relativa alla quale si trovano i due treni accodati. In particolare, considerando quale variabile aleatoria la posizione dell'incendio e la posizione del treno stesso nella sezione di blocco che occupa, una delle condizioni che devono verificarsi perché l'incendio possa avere effetti non trascurabili su un treno seguente è che il TMP superi il segnale a protezione della sezione di blocco che occupa al massimo di una lunghezza pari al raggio di azione e quindi:

$$P_{ra1^{\circ}treno} = R_a / L_{sb}$$

dove  $L_{sb}$  è la lunghezza media delle sezioni di blocco in galleria mentre  $R_a$  è il raggio di azione dell'incendio, definito come sopra.

Affinché l'incendio abbia effetti sul treno seguente anche il secondo treno deve fermarsi in uno spazio entro il raggio d'azione prima del segnale di protezione della sezione occupata dal TMP e la probabilità associata a questa condizione è inversamente proporzionale al cadenzamento e dipende dall'estensione di  $R_a$  e dallo spazio di frenatura ( $S_{fren}$ ):

$$P_{ra2^{\circ}treno} = R_a / S_{cad} - S_{fren}$$

### **Collisione**

La possibile sequenza incidentale a partire da un evento di collisione viene sviluppata, sulla base delle caratteristiche della galleria in esame e del traffico considerato, solo nei casi di fallimento/indisponibilità del sistema di segnalamento agente sulla tratta in esame (che nel suo corretto funzionamento di fatto ne abbatte le cause, riconducibili unicamente ad errore umano, come evidente dalla Tabella 4) combinati con la possibilità che ci sia transito di treni ed errore umano.

A partire dalla collisione tra due treni, la sequenza incidentale può prevedere il possibile successivo incendio. Come già detto per il deragliamento, tale sottoevento viene considerato solo nel caso in cui nella collisione sia coinvolto almeno un treno trasportante merci pericolose (o treni a trazione *diesel*, a causa del possibile sversamento del combustibile).

Ulteriori coinvolgimenti e/o accodamenti di altri treni nell'incendio in generale risultano associati a frequenze molto basse, il cui tempo di sviluppo si considera in generale compatibile con i tempi di gestione dell'emergenza.

La biforcazione relativa al sottoevento *Rilascio-Incendio* viene valutata come indicato per il deragliamento.

## Incendio

La possibile sequenza incidentale a partire da un evento di incendio viene sviluppata sulla base delle caratteristiche della galleria in esame e del traffico considerato.

Le sequenze incidentali prese in considerazione nello studio tengono, comunque, conto di assunzioni di carattere generale che sono anche il risultato di un'analisi di dettaglio della banca dati incidentale utilizzata.

In particolare, per i treni passeggeri viene sviluppata la sequenza incidentale a partire dagli eventi di incendio grave (incendio pienamente sviluppato che può potenzialmente comportare feriti gravi e/o fatalità e/o danni severi al materiale rotabile).

In tutti i casi di incendio (treno passeggeri e merci/merci pericolose) viene cautelativamente considerato possibile l'arresto in galleria del treno a seguito dell'incendio, sebbene le norme vigenti stabiliscano i requisiti concernenti la disponibilità della funzione di trazione in caso di incendio a bordo (*cf.* punto 2.1.5 del DM Sicurezza nelle gallerie ferroviarie applicabile ai treni passeggeri).

Si precisa, comunque, che, in termini di gestione dell'emergenza, in generale un arresto del treno incendiato in galleria deve essere, se possibile, evitato, fermando il treno prima o portandolo fuori.

Per il treno passeggeri l'arresto in galleria è funzione della localizzazione **dell'incendio (locomotore/materiale rimorchiato)**, dell'acclività della galleria e della sua lunghezza, e della tipologia di materiale rotabile (sui treni regionali si considera la presenza di freno di emergenza azionabile dai passeggeri).

Per treni merci e merci pericolose, l'arresto dipende allo stesso modo dalla localizzazione dell'incendio, dall'acclività della galleria e della sua lunghezza, ma anche dall'eventuale partecipazione delle merci trasportate all'incendio e, pertanto, nello sviluppo della sequenza incidentale viene precisata la **tipologia di treno (merci/merci pericolose)** ad essere coinvolta nell'incendio.

Nello sviluppo della sequenza incidentale, a seguito dell'**arresto in galleria** di un treno incendiato viene preso in considerazione il possibile **coinvolgimento** di ulteriori treni passeggeri sopraggiungenti sul binario adiacente o in **accodamento**.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>100 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	100 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	100 di 200											

Di seguito per le principali biforcazioni evidenziate si riportano le valutazioni di dettaglio.

*Incendio al locomotore/materiale rimorchiato*

Per valutare la probabilità associata a tale *gate* è stata approfondita l'analisi degli incendi registrati in BDP-BDS per stabilire, in primo luogo, le rispettive aliquote di incendi al locomotore ed al materiale rimorchiato.

L'analisi di dettaglio dei rapporti relativi agli eventi di incendio verificatisi sulla rete italiana nel periodo 2001 – 2020 per gli incidenti UIC/Significativi (fonte BDP-BDS) è sinteticamente riportata nelle tabelle seguenti:

**Tabella 12:** Incendi UIC/Significativi mortali e/o con feriti gravi (agg. al 2020)

INCENDI UIC mortali o con feriti gravi (Tot. 1)						
Localizzazione incendio	Tipo treno		TOT	Causa		
	TP	TM		Sfrenature Materiale Rotabile/ Surriscaldamento	Anormalità per evento esterno	Difettosità Impianto Elettrico
Incendio del mezzo di trazione	1	-	1	-	-	1
Incendio al materiale rimorchiato	-	-	-	-	-	-

**Tabella 13:** Incendi UIC/Significativi solo con danni e/o interruzione (agg. al 2020)

INCENDI UIC solo con danni e/o interruzione (Tot. 35)											
Localizzazione incendio	Tipo treno		TOT	Causa							
	TP	TM		Mancato/errato rispetto prescrizioni tecniche	Difettosità-Usura meccanica o elettrica del materiale rotabile/mezzo di trazione	Difettosità Impianto Elettrico	Boccole calde/RTB con esito positivo	Sfrenature Materiale Rotabile/Surriscaldamento	Incendio	Anormalità per evento esterno	Cause non determinate
Incendio del mezzo di trazione	19	8	27	1	14	9	1	-	1	1	-
Incendio al materiale rimorchiato	6	2	8	-	1	4	-	2	-	-	1

	<b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b>									
	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA Galleria MURANO</b>									
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	
	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	102 di 200	

La probabilità associata a tale biforcazione viene calcolata considerando i dati riportati in Tabella 12 e Tabella 13, rapportando in particolare gli incendi al locomotore al totale eventi di incendio:

$$P_{incTP-loc} = n_{incTP-loc} / n_{incTP-TOT} = 0,77$$

$$P_{incTM-loc} = n_{incTM-loc} / n_{incTM-TOT} = 0,80$$

dove

- $n_{incTP\ loc}$  rappresenta il numero di incendi UIC/Significativi tipici in circolazione al locomotore registrati in BDP-BDS per TP, pari a 20 (*cf.* Tabella 12 e Tabella 13)
- $n_{incTP\ tot}$  rappresenta il numero di incendi UIC/Significativi tipici in circolazione totali in BDP-BDS per TP, pari a 26 (*cf.* Tabella 12 e Tabella 13)
- $n_{incTM\ loc}$  rappresenta il numero di incendi UIC/Significativi tipici in circolazione al locomotore registrati in BDP-BDS per TM, pari a 8 (*cf.* Tabella 12 e Tabella 13)
- $n_{incTM\ tot}$  rappresenta il numero di incendi UIC/Significativi tipici in circolazione totali in BDP-BDS per TM, pari a 10 (*cf.* Tabella 12 e Tabella 13)

#### Tipologia treno TMP/TM (solo per treni merci/merci pericolose)

Per definire il tipo treno in corrispondenza di tale *gate* si pone l'aliquota TMP sul totale TM.

#### Incendio combustibile diesel

Per valutare tale probabilità si tiene conto dell'aliquota di treni a trazione diesel e delle caratteristiche di infiammabilità del gasolio (come descritto per le sequenze di svio):

$$\frac{n_{TPdies}}{n_{TPTOT}} \times \frac{P^{\circ}_{GASOLIO}}{P^{\circ}_{OTTANO}}$$

### Arresto del treno in galleria

Per valutare la probabilità di arresto del treno in galleria occorre considerare che l'incendio si può sviluppare sul mezzo di trazione oppure sul materiale rimorchiato.

In presenza di incendi al locomotore, pur ipotizzando sempre perdita di trazione, occorre tenere presente che la perdita di trazione non necessariamente comporta la perdita di mobilità del treno, in virtù del contenuto cinetico inerziale sfruttabile ai fini della fuga dalle condizioni critiche dell'ambiente confinato.

La perdita di mobilità in caso di incendi al locomotore è dunque funzione delle caratteristiche geometriche della galleria (lunghezza, presenza di inversioni di pendenza, dislivello tra gli imbocchi).

Per quanto riguarda gli incendi al materiale rimorchiato, un treno passeggeri potrebbe arrestarsi in galleria a seguito dell'azionamento intempestivo da parte dei passeggeri del freno di emergenza, che si assume possa avvenire nel 50% dei casi di incidente. Tuttavia, la probabilità di arresto è condizionata alla presenza a bordo del freno di emergenza a blocco diretto, che si considera presente solo su treni regionali.

Per treni merci/merci pericolose, in caso di incendio al materiale rimorchiato, per definire la probabilità di arresto in galleria, si valuta se la merce è coinvolta nell'incendio (probabilità illustrata nei paragrafi seguenti), in quanto solo in questa eventualità si ritiene non trascurabile l'arresto (in banca dati non sono registrati incendi al materiale rimorchiato in galleria).

Sulla base delle considerazioni riportate, la probabilità di arresto del treno in galleria è pari a:

$$P_{arr} = A \quad \rightarrow \quad \text{per incendi al locomotore}$$

dove:

- A rappresenta un fattore che tiene conto della acclività, della lunghezza della galleria, del dislivello tra gli imbocchi e in generale degli elementi che possono favorire, a seguito del taglio di trazione dovuto all'incendio, la perdita di mobilità.

L' espressione delle probabilità di arresto in galleria per incendi al locomotore vale per TM e per TP elettrici/diesel, in assenza di coinvolgimento del combustibile nell'incendio. In quest'ultimo caso, infatti, si assume che la dinamica dell'incidente che ha comportato l'incendio a seguito del rilascio del combustibile diesel sia tale da causare la perdita di mobilità.

Per incendi al materiale rimorchiato la probabilità di arresto presenta espressioni diverse a seconda della tipologia di treno.

Per i treni passeggeri la probabilità di arresto in galleria a seguito di incendio al materiale rimorchiato si può esprimere come segue:

$$P_{armatrimTP} = 0,5 \times \frac{N_R}{N_{TOT}} \quad \rightarrow \quad \text{per incendi al materiale rimorchiato TP}$$

dove:

- 0,5 è la probabilità che venga azionato il freno di emergenza
- $N_R$  è il numero di treni regionali, per cui il freno di emergenza è ad azione bloccante diretta,  $N_{TOT}$  è il numero di treni totali TP

Per i treni merci e merci pericolose, in caso di incendio al materiale rimorchiato, l'espressione della probabilità di arresto in galleria dipende dalla partecipazione della merce all'incendio e dal tipo di merce trasportata. In particolare, se la merce non partecipa all'incendio la probabilità di arresto è trascurabile (in coerenza con i dati BDP-BDS), mentre laddove sia coinvolta, tale probabilità varia a seconda che si tratti di merce/merce pericolosa, in funzione della severità dell'incendio modellato.

Per valutare la probabilità di coinvolgimento del carico nell'incendio al materiale rimorchiato si è proceduto ad un approfondimento di analisi in banca dati.

Gli incendi treni merci al materiale rimorchiato registrati quali UIC/Significativi sono complessivamente pari a 2 (uno avvenuto nel 2005 e uno nel 2019) per tutto il periodo di osservazione 2001 - 2020 e non è fornita evidenza di una partecipazione all'incendio del carico; la causa cui risulta ascrivibile è riconducibile, per entrambi gli incidenti, a



sfrenatura/surriscaldamento del materiale rotabile, quindi principalmente al rodiggio e agli equipaggiamenti sottocassa.

La probabilità di trasferimento alla merce, in caso di incendio al materiale rimorchiato, è funzione delle caratteristiche del carico (che può partecipare o meno allo sviluppo dell'incendio) ma anche della tipologia del carro utilizzato per il trasporto (ad esempio i carri pianale sono carri aperti con pavimento in legno).

Per quanto riguarda le caratteristiche del carico, un riferimento generale su base nazionale è costituito dai dati raccolti dall'ISTAT ai fini delle rilevazioni sul trasporto ferroviario effettuate ai sensi del Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio N. 91/2003 (modificato dal Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio N. 2032/2016). Tale indagine rileva, con periodicità annuale, trimestrale e quinquennale, i dati sul trasporto di merci e di viaggiatori (con un maggior dettaglio delle informazioni per le imprese che superano la soglia di traffico prevista dal regolamento), quelli sull'incidentalità ferroviaria relativi a tutte le imprese del settore e quelli sull'infrastruttura della rete ferroviaria nazionale.

Per i treni merci, un'estrazione dei dati disponibili per il decennio 2008 – 2019, restituisce le migliaia di tonnellate-chilometro trasportate su ferrovia classificate per categoria merceologica secondo la NST 2007<sup>8</sup>.

Rielaborando tali dati è stata calcolata una frazione di trasporto media e si è valutato per ciascuna categoria la possibile partecipazione all'incendio sulla base delle caratteristiche delle merci comprese nella classificazione.

Nella tabella seguente si riportano, per ciascuna categoria, la valutazione sulla partecipazione all'incendio e la frazione media calcolata.

<sup>8</sup> Adottata nel giugno 2007 dalla Commissione economica per l'Europa dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (UNECE) al fine di assicurare la coerenza con la versione riveduta della NACE, *nomenclatura generale delle attività economiche nelle comunità europee* e sancita con Regolamento CE 1304/2007 del 7 novembre.

Tipo merce NST 2007	partecipazione ad incendio	Frazione media
prodotti dell'agricoltura, della caccia e della silvicoltura, pesci ed altri prodotti della pesca	X	0,041869216
carboni fossili e ligniti, petrolio greggio e gas naturale	X	0,002122474
minerali metalliferi ed altri prodotti delle miniere e delle cave, torba, uranio e torio		0,042482641
prodotti alimentari, bevande e tabacchi	X	0,070226893
prodotti dell'industria tessile e dell'industria dell'abbigliamento, cuoio e prodotti in cuoio	X	0,002207161
legno e prodotti in legno e sughero (esclusi i mobili), articoli di paglia e materiali da intreccio, pasta da carta, carta e prodotti di carta, stampati e supporti registrati	X	0,031662229
coke e prodotti petroliferi raffinati	X	0,025162978
prodotti chimici e fibre sintetiche e artificiali, articoli in gomma e in materie plastiche, combustibili nucleari	X	0,042967506
altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi	n.d.	0,010269125
metalli, manufatti in metallo, escluse le macchine e gli apparecchi meccanici	-	0,154137321
macchine ed apparecchi meccanici n.c.a., macchine per ufficio, elaboratori e sistemi informatici, macchine ed apparecchi elettrici n.c.a., apparecchi radiotelevisivi e apparecchiature per le comunicazioni, apparecchi medicali, apparecchi di precisione e strumenti ottici, orologi	X	0,003899871
mezzi di trasporto	X	0,032029278
mobili, altri manufatti n.c.a.	X	0,005443776
materie prime secondarie, rifiuti urbani e altri rifiuti	X	0,025885538
posta, pacchi	X	0
attrezzature e materiali utilizzati nel trasporto di merci	-	0,015140507
merci trasportate nell'ambito di traslochi (uffici e abitazioni), bagagli e articoli viaggianti come bagaglio accompagnato, autoveicoli trasportati per riparazione, altre merci non destinabili alla vendita n.c.a.	X	0,000354393
merci raggruppate: merci di vario tipo trasportate insieme	n.d.	0,043388356
merci non individuabili: merci che per un qualunque motivo non possono essere individuate e quindi non possono essere attribuite ai gruppi 01-16	n.d.	0,446905734
altre merci n.c.a.	n.d.	

*n.d. non determinabile*

**Tabella 14:** Analisi delle categorie merceologiche delle merci trasportate su ferrovia e loro frazione media.

Considerando la varietà di merci che rientrano nella medesima categoria, alcune riconducibili anche a merci RID, l'analisi sulla modalità di trasporto non fornirebbe un esito univoco per ciascuna categoria (ad esempio, guardando alla prima, le merci in essa ricadenti sarebbero compatibili sia con carro tramoggia che con carro pianale, per la seconda potrebbero essere utilizzati container o ferrocisterne, etc.). In tal senso e in via cautelativa, si assume quindi che la tipologia di carro non costituisca un ostacolo alla

trasferibilità di un incendio avente origine dal sottocassa e che, pertanto, la probabilità di partecipazione all'incendio sia unicamente dipendente dal tipo di merce.

La probabilità di trasferimento dell'incendio dal sottocassa alla merce sarà posta pari alla somma delle frazioni di trasporto delle merci con possibilità di sviluppare incendio, pari a circa il 30% del totale:

$$P_{\text{trasf merce}}=0,3$$

Per le merci pericolose, come sopra evidenziato, per la valutazione della probabilità di trasferibilità alla merce di un incendio al materiale rimorchiato si può seguire un approccio simile, facendo riferimento ai dati ISTAT riferiti alle merci pericolose secondo le categorie RID. Rielaborando, quindi, analogamente i dati relativi al decennio 2008 – 2019 in termini di migliaia di tonnellate-chilometro trasportate su ferrovia ed evidenziando le categorie di merci pericolose infiammabili<sup>9</sup> si ottiene la tabella:

Categoria di merci pericolose	fraz media
materie e oggetti esplosivi	0,00154063
gas compressi, liquidi o disciolti sotto pressione	0,27765848
<b>materie liquide infiammabili</b>	<b>0,33489708</b>
<b>materie solide infiammabili</b>	<b>0,01519792</b>
materie soggette ad esplosione spontanea	0,00791545
<b>materie che, a contatto con l'acqua, liberano gas infiammabili</b>	<b>0,00822501</b>
materie comburenti	0,02235039
perossidi organici	0,00493947
materie tossiche	0,0618702
materie suscettibili di produrre infezioni	1,4959E-06
materie radioattive (a)	0,00030772
materie corrosive	0,12405565
materie e oggetti pericolosi diversi	0,14124691
	<b>media</b>
	<b>0,36</b>

**Tabella 15:** Analisi delle categorie RID delle merci pericolose trasportate su ferrovia e loro frazione media.

<sup>9</sup> Sulla base della definizione delle categorie.

In analogia a quanto assunto per le merci, anche in tal caso si assume cautelativamente che la modalità di trasporto non costituisca un ostacolo al trasferimento di un incendio dal sottocassa alla merce pericolosa e si pone tale probabilità pari alla somma delle frazioni trasportate di merce pericolosa infiammabile, restituendo:

$$P_{\text{trasmerceper}}=0,36$$

D'altra parte, un'analisi di banca dati che ha incluso anche gli incidenti lievi (al fine di garantire una base di dati più ampia rispetto ai soli incidenti significativi) e che ha seguito la logica di indagare i principi di incendio per valutare quanti hanno avuto ricadute sulla merce, coinvolgendola, restituisce un valore di probabilità sostanzialmente in linea.

Si è proceduto in particolare ad analizzare l'incidentalità lieve e significativa a partire dal 2001, con particolare riferimento agli incendi occorsi a treni merci con merci pericolose in composizione che abbiano interessato il materiale rimorchiato (cod 22) o direttamente il carico (codice 100) e quelli al locomotore (codice 23), distinguendo i treni trasportanti merci pericolose infiammabili. Gli eventi di principio di incendio al locomotore non hanno comportato in nessun caso la partecipazione della merce pericolosa, mentre tra gli eventi con origine riconducibile al carico (uno solo, del 2009, lieve, riguardante l'incendio di un solido organico tossico) e al materiale rimorchiato con merci pericolose infiammabili in composizione (5 in tutto, nel 2007, 2010, 2015, 2016 e 2019) due incendi hanno interessato la merce pericolosa, senza tuttavia dar luogo a dinamiche severe (gli eventi sono classificati come lievi).

Nella seguente tabella si riassumono gli esiti dell'analisi descritta e si riporta il valore di probabilità di partecipazione di merce pericolosa all'incendio di materiale rimorchiato calcolata come rapporto tra gli eventi di merce coinvolta e gli incendi occorsi al materiale rimorchiato:

incendi classificati in BDP		tot		di cui MP inf		partecipazione inc		Probabilità di partecipazione
		Lievi	Significativi	Lievi	Significativi	Lievi	Significativi	
Incendi al materiale rimorchiato/carico	Incendio di merce pericolosa, codice 100	1				1		<b>0,33</b>
	Incendio al materiale rimorchiato (codice 22) occorsi ai TMP	6		5		1		
	<i>tot</i>	7		5		2		
Incendi al locomotore	Incendio al locomotore (codice 23) occorsi ai TMP	12	1	8				-

**Tabella 16:** Analisi incendi, lievi e significativi, riferibili a TMP (BDS-BDP, 2001-2020).

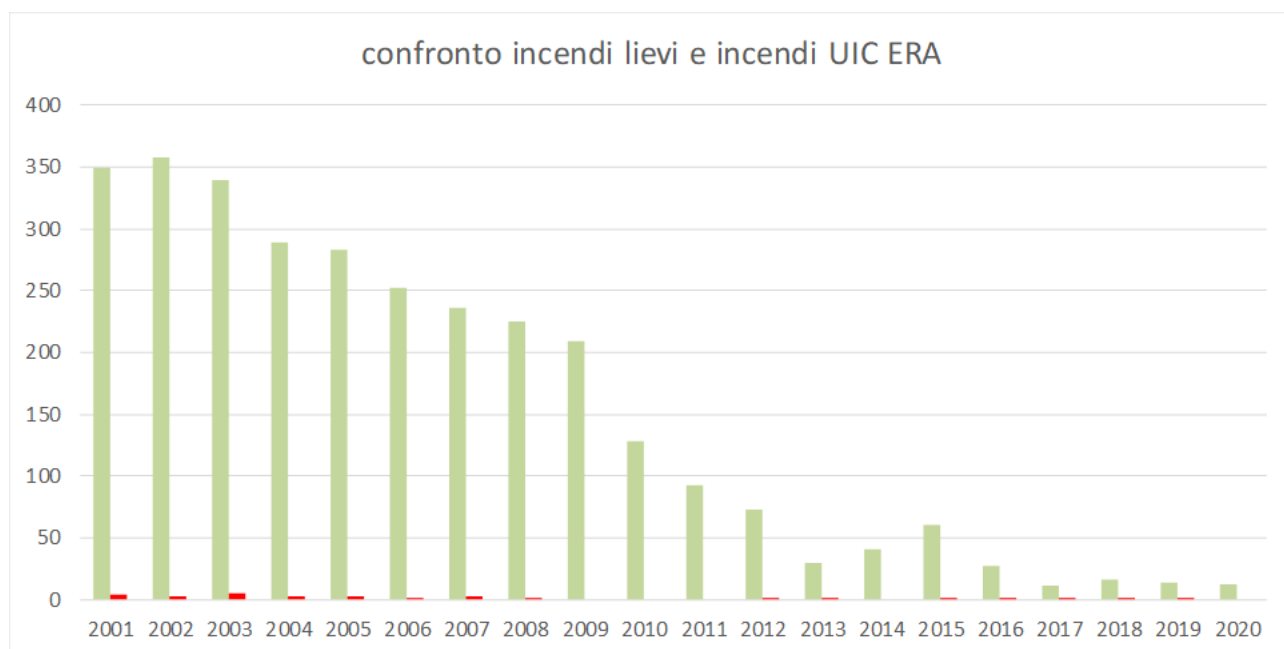
Le probabilità di partecipazione per merci e merci pericolose valutate come sopra descritto vanno tuttavia inquadrate nella sequenza in cui saranno utilizzate, al fine di tenere conto anche dell'evoluzione fino allo scenario finale, rappresentato da un incendio di merce o merce pericolosa pienamente sviluppato, con potenze di picco rispettivamente di 50 e 150 MW. In quest'ottica occorre tenere conto che in BDS/BDP eventi di questo tipo non sono stati registrati quali eventi iniziatori significativi e che proprio in virtù di tale aspetto è stato necessario estendere l'analisi anche all'incidentalità lieve, al fine di disporre di una base dati più ampia. In tal senso, considerando che nell'ultimo ventennio è netto il divario tra l'incidentalità classificata come lieve e significativa, è lecito ritenere che l'evento di partecipazione di merce/merce pericolosa all'incendio al materiale rimorchiato possa condurre al pieno sviluppo fino alla potenza di picco con una probabilità proporzionale al rapporto tra il numero di eventi significativi e il numero totale di eventi registrati.

Ferma restando, infatti, l'evidenza che anche gli incendi UIC/ERA registrati non sono associati ad un effettivo coinvolgimento di merce/merce pericolosa e quindi neanche ad eventi raggiungenti le potenze di picco considerate nei modelli, ritenere il rapporto tra eventi significativi e totali una misura della possibilità di sviluppare pienamente l'incendio è un'ipotesi cautelativa ma sostenibile. Per valutare quindi il peso relativo degli incidenti lievi e significativi sono stati analizzati tutti gli eventi di incendio dal 2001 al 2020:

anno	incendi totali (lievi+UIC/ERA)	incendi UIC/ERA	solo lievi	rapporto inc UIC/ERA su incendi totali
2001	354	4	350	0,0113
2002	361	3	358	0,0083
2003	345	5	340	0,0145
2004	292	3	289	0,0103
2005	286	3	283	0,0105
2006	254	2	252	0,0079
2007	239	3	236	0,0126
2008	227	2	225	0,0088
2009	209	0	209	0,0000
2010	128	0	128	0,0000
2011	92	0	92	0,0000
2012	74	1	73	0,0135
2013	32	2	30	0,0625
2014	41	0	41	0,0000
2015	63	2	61	0,0317
2016	29	1	28	0,0345
2017	13	2	11	0,1538
2018	18	2	16	0,1111
2019	15	1	14	0,0667
2020	13	0	13	0,0000

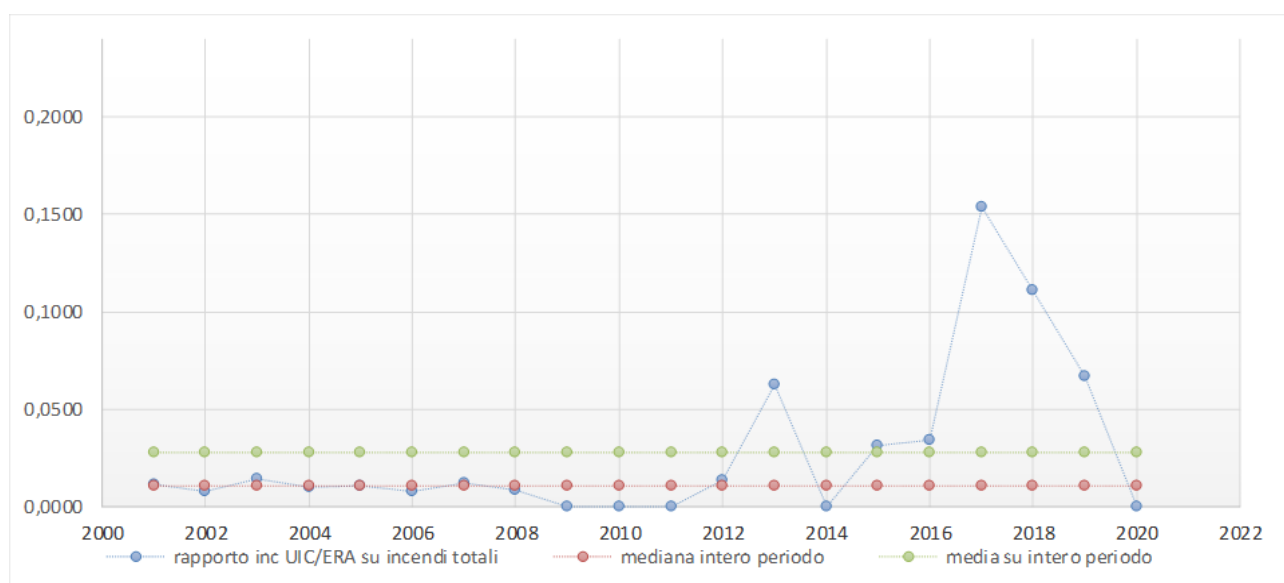
**Tabella 17:** Analisi incendi (BDS-BDP, 2001-2020).

Come evidente dalla tabella il numero di incendi durante il periodo di osservazione si è ridotto nel complesso, ciò anche grazie all'avanzamento tecnologico e al rinnovo del parco rotabili; nell'ultimo decennio si è ridotto a meno di un terzo, in media, mentre l'effetto sui significativi è ovviamente meno netto considerando i numeri, anche se si può osservare un aumento progressivo del numero di anni in cui non sono stati registrati incendi significativi. La figura seguente rappresenta in maniera efficace quanto esaminato:



**Figura 18:** Andamento degli incendi UIC/Era (in rosso) e incendi Lievi (in verde), 2001 - 2020.

Calcolando anno per anno il rapporto incidenti significativi sul totale e confrontandone l'andamento con la media aritmetica nel periodo di osservazione, sulla base della dispersione dei dati, si è stabilito di far riferimento alla mediana:



**Figura 18:** Rapporto incidenti UIC/Era su incendi totali, 2001 - 2020.

Considerando il valore della mediana del rapporto, pari a 0,0113 e i valori di probabilità di trasferibilità dell'incendio alla merce calcolate sopra (0,3 per i treni merci e 0,33 per i treni merci pericolose, facendo riferimento all'analisi di banca dati) si ottiene:

Tipo treno merci	Probabilità di coinvolgimento della merce/merce pericolosa
TM	0,0031
TMP	0,0036

In tale ipotesi, gli scenari finali associati ad un incendio al materiale rimorchiato con coinvolgimento della merce/merce pericolosa così valutate sono riconducibili alla dinamica più severa, da incendio pienamente sviluppato (con potenza di picco di 50 MW raggiunta in 10 minuti per le merci e 150 MW in 5 minuti per le merci pericolose).

Considerando che per le merci nel 50% dei casi lo scenario si concluda con un arresto in galleria (perdita di trazione e mobilità) e per i merci pericolose nel 100% dei casi, cautelativamente, si ricava:

Tipo treno merci	Probabilità di coinvolgimento della merce/merce pericolosa	Probabilità di arresto a seguito coinvolgimento	Arresto in galleria
TM	0,0031	0,5	0,0015
TMP	0,0036	1	0,0036

La cautelatività dell'approccio finora descritto può essere evidenziata sottolineando quanto segue:

1. Per quanto riguarda i TMP, il trasporto di liquidi infiammabili e in generale di prodotti petroliferi avviene – anche alla rinfusa - ma in ferrocisterne dotate, peraltro, in considerazione dello stato fisico del carico e dell'alta infiammabilità, di dischi di rottura/valvole di sicurezza. Pertanto, assumere che un punto caldo nel sottocassa conduca ad un rilascio catastrofico di sostanza, formazione di pozza e innesco con picco fino a 150 MW, risulta certamente un'ipotesi cautela.



2. In BDS-BDP le emissioni di gas e liquidi (codici 101-102) sono tutti incidenti classificati come lievi e non vi è evidenza di successivo incendio, essendo rilasci di entità trascurabile. Tale interpretazione dei dati è supportata dal fatto che, al contrario, una simile sequenza (rilascio con incendio) è invece stata registrata solo in casi di emissioni rilevanti, seguite ad eventi scatenanti *freddi* con danni come svii e/o collisioni (due eventi UIC, 2002 e 2009).
3. Gli eventi di incendio al materiale rimorchiato coinvolgenti treni merci pericolose registrati in BDP-BDS sono solo lievi.

L'approccio utilizzato nel calcolo della probabilità di coinvolgimento della merce pericolosa in un incendio al materiale rimorchiato ha fornito ulteriore evidenza del fatto che lo scenario di pozza non risulta presente quale evento iniziatore in banca dati.

Tuttavia, il livello di conseguenze attese per scenari di questo tipo risulta associato ad una maggiore severità, confrontato con scenari di incendio di materiali solidi, pertanto, assumere quale evento di riferimento l'incendio di pozza risulta un'ipotesi cautelativa.

*Coinvolgimento di un TP su binario adiacente e/o sullo stesso binario (accodamento pericoloso)*

Valgono i modelli presentati nell'omonimo *gate* analizzato per gli alberi di deragliamenti.

### 1.3.2 CONSEQUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI BASE

La valutazione delle conseguenze di eventi complessi necessita di un approccio sistematico e si basa, pertanto, su "modelli di letalità".

Per ogni evento iniziatore (deragliamenti, collisione, incendio di materiale rotabile), il modello stima il numero atteso di fatalità utilizzando come dati in input i seguenti:

- tipologia di treni coinvolti;
- occupazione dei convogli;
- velocità al momento dell'incidente;
- sviluppo degli eventi consecutivi.

Le conseguenze di “deragliamento” e collisione” sono influenzate principalmente dall’esercizio della galleria (velocità dei convogli), mentre le conseguenze relative agli “incendi” dipendono fortemente dalle caratteristiche della galleria e dalla tipologia di materiale rotabile.

In particolare, i modelli di letalità utilizzati per gli scenari freddi sono il risultato di studi effettuati su banche dati internazionali, in considerazione del fatto che i dati presenti in BDP-BDS non presentano in generale nella descrizione particolari connessi alle velocità e al carico di passeggeri dei treni coinvolti, rendendo di difficile esplorazione le dipendenze tra le variabili in gioco.

Considerando peraltro che ad oggi non risultano pubblicati studi sperimentali accreditati in merito (quali ad es. *crash tests* nell’ambito del ferroviario), per indagare l’evidente correlazione tra la letalità attesa e le velocità registrate al momento del deragliamento o della collisione (da cui dipende il contenuto di energia cinetica liberato durante l’impatto) la conoscenza, per ciascun evento registrato, del numero di fatalità e/o feriti gravi associato, della linea di riferimento o della dinamica dell’incidente non rappresenta un dato esaustivo. Nell’analisi si è fatto pertanto uso dei modelli costruiti sulla base di più ampi studi (fonte: Ernst-Basler), caratterizzati da una forma funzionale che, in dipendenza della velocità al momento dell’impatto, restituisce la letalità attesa da applicare al carico di passeggeri per ottenere una stima del numero di conseguenze.

La velocità attesa dei convogli al momento dell’evento viene assunta pari a quella di rango.

In relazione all’occupazione dei treni, la LG individua, quali valori da utilizzare per le analisi, un numero di viaggiatori pari a 420 per i treni a lunga percorrenza (LP) e 180 per i treni regionali, corrispondenti rispettivamente ad una capienza di 700 passeggeri per treni LP e di 300 per treni regionali (coefficiente di riempimento pari a 0,6).

Per i treni merci si considera la presenza di 2 macchinisti.

Nel calcolo delle conseguenze relativo a ciascuno scenario si è pertanto fatto riferimento a tali valori assumendo quale popolazione esposta il numero di passeggeri cui si è sommato

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>115 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	115 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	115 di 200											

il numero dei macchinisti (considerato pari a 2, cautelativamente, anche per i treni passeggeri).

Di seguito si presentano le principali ipotesi e assunzioni alla base della modellazione delle conseguenze attese a seconda dei diversi scenari incidentali.

Si precisa che l'applicabilità alla galleria in esame dei modelli di letalità è correlata ai particolari modelli di esercizio previsti nonché alle considerazioni sulle sequenze incidentali e sulle frequenze.

### **Deragliamento**

La stima della magnitudo delle conseguenze si basa su un modello di letalità che considera il tipo di treni coinvolti, l'occupazione dei convogli, la velocità e lo sviluppo degli eventi consecutivi.

Dato il possibile sviluppo in sequenza dell'evento, quale ad es.: collisione post-deragliamento per invasione di sagoma (per gallerie doppio binario) ed eventuale incendio oppure deragliamento treno TMP seguito da incendio con successivi coinvolgimenti di TP, etc., il modello di letalità applicato per il semplice svio si associa, a seconda degli eventuali sottoeventi previsti, agli altri modelli per tener conto della dinamica complessiva dell'incidente (l'incendio produce fattori di rischio aggiuntivi rispetto allo svio semplice) e del numero di persone esposte (dai macchinisti del treno merci che deraglia e si incendia ai passeggeri del TP coinvolto successivamente). Pertanto, il deragliamento di un treno è l'evento di base; tutti gli altri scenari prendono inizio da quest'evento, sono cioè sviluppi dello stesso.

La funzione di magnitudo (fonte Ernst-Basler) per il deragliamento di un treno passeggeri è definita nel modo seguente:

$$D1 = N_{pers}(TP) * \lambda_{der}(TP)$$

dove:

- $N_{pers}(TP)$  numero di passeggeri
- $\lambda_{der}(TP)$  letalità a seguito di deragliamento di un treno passeggeri

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>116 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	116 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	116 di 200											

La funzione  $\lambda_{der}(TP)$  di letalità è definita come segue:

$$\lambda_{der}(TP) = a + (b * v(TP)); \text{ per } v(TP) < 100 \text{ km/h vale } \lambda_{der}(TP) = 0.01$$

con

- $v(TP)$  velocità dei treni passeggeri
- $a = -0.01$ , costante della funzione di letalità
- $b = 0.0002$ , inclinazione della funzione della letalità

Per i treni merci la funzione  $\lambda_{der}(TM)$  è calcolato in analogia al caso di treno passeggeri, assegnando al parametro  $N_{pers}(TM)$  il valore 2 (*i.e.* numero di macchinisti).

Per i deragliamenti per i quali non vi è una immediata manifestazione di pericolo per gli stessi passeggeri è stato assunto un numero di fatalità, dovute al solo evento iniziatore, pari a zero. In tali casi, infatti, eventuali vittime possono essere generate solo a causa di successivi sviluppi nella sequenza incidentale.

Le estensioni di danno degli scenari complessi sono in parte composte di più eventi concatenati (collisione, incendio, ecc.). Gli ulteriori parametri necessari per la previsione della magnitudo delle conseguenze sono di seguito riportati:

- $\lambda_{col}(TP)$  letalità per collisioni con treni passeggeri
- $\lambda_{col}(TM)$  letalità per collisioni con treni merci
- $\lambda_{inc_e}(TP)$  letalità per gli esodanti per incendi in treni passeggeri
- $\lambda_{inc_f}(TP)$  letalità per i feriti per incendi in treni passeggeri
- $\lambda_{inc_e}(TM)$  letalità per gli esodanti per incendi in treni merci
- $\lambda_{inc_f}(TM)$  letalità per i feriti per incendi in treni merci
- $N_f(TP)$  numero di feriti per treno passeggeri
- $N_f(TM)$  numero di feriti per treno merci

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>117 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	117 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	117 di 200											

Sulla base dei dati incidentali disponibili è stato stimato che il rapporto tra il numero di feriti gravi e quello delle fatalità in caso di deragliamento è pari a 4,4 (aggiornato al 2020).

In caso di incendio di materiale rotabile a seguito di deragliamento occorre studiare separatamente la letalità degli esodanti rispetto a quella dei feriti.

### **Collisione**

Come per il deragliamento, la stima delle conseguenze si basa su un modello di letalità che considera il tipo di treni coinvolti, l'affollamento medio dei convogli, la velocità e lo sviluppo degli eventi (eventi che si susseguono).

Analogamente al deragliamento, la "collisione di due treni" è l'evento di base e tutti gli altri scenari si sviluppano quale conseguenza di tale evento.

La funzione di letalità è definita nel modo seguente:

$$C1=2*Npers(TP)*\lambda_{col}(TP)$$

con

- Npers (TP) numero di passeggeri,
- $\lambda_{col}$  (TP) letalità per collisioni in cui è coinvolto almeno un treno passeggeri

La funzione di letalità  $\lambda_{col}(TP)$  è definita come segue:

$$\lambda_{col}(TP) = a + (b * v(TP)); \text{ per } v(TP) < 100 \text{ km/h vale } \lambda_{col}(TP) = 0.015$$

con:

- v(TP) velocità dei treni passeggeri
- a = -0.0075, costante della funzione di letalità
- b = 0.000225, pendenza della funzione di letalità

Per collisioni fra treni merci (TM/TM),  $\lambda_{col}(TM)$  è calcolato analogamente con v(TM).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>118 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	118 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	118 di 200											

Sulla base dei dati incidentali disponibili è stato calcolato un rapporto tra il numero di feriti e quello delle fatalità in caso di collisione, pari a 1,7 (aggiornato al 2020).

### **Incendio**

Per la stima delle conseguenze di un incendio sono stati adottati modelli CFD (per lo studio dell'evoluzione degli incendi in base alla predizione dei fenomeni chimico-fisici coinvolti), modelli di esodo e modelli probabilistici per la valutazione degli effetti dell'incendio sulle persone esposte agli stessi.

In particolare, sono stati studiati i seguenti aspetti:

- evoluzione della potenza termica;
- movimentazione dei fumi;
- produzione delle specie chimiche tossiche/irritanti;
- esodo delle persone.

Gli scenari di incendio sono principalmente caratterizzati, dal punto di vista dell'impatto sulle persone, da una curva del fuoco (e.g. potenza termica e velocità di sviluppo sino al valore di picco) nonché dal numero e dalle caratteristiche di mobilità dei soggetti esposti (e.g. feriti a seguito di deragliamento/collisione in grado o meno di effettuare l'autosoccorso).

In base ai risultati di studi deterministici effettuati, gli incendi originati su treni passeggeri/treni merci sono caratterizzati da un tempo di sviluppo del picco di potenza, rispettivamente 10 MW e 50 MW per i treni merci con coinvolgimento della merce, pari a 10 min dall'innesco e da una durata del fenomeno nell'ordine dell'ora.

Per i TMP in caso di coinvolgimento della merce pericolosa i tempi di sviluppo considerati sono pari a 5 min e le potenze di picco sono nel *range* 150 MW, con durata dello stesso ordine di grandezza di TP e TM.

Per incendi di locomotori diesel le potenze di picco sono dell'ordine dei 100 MW, con durata nell'ordine dei minuti.

### *Descrizione generale dell'approccio*

Il computo della letalità associata agli scenari di incendio di materiale rotabile viene espletato attraverso l'adozione di un approccio probabilistico, applicato su una base di dati, rappresentativi del flusso di pericolo associato allo scenario ipotizzato, ottenuta attraverso metodi deterministici di analisi del fenomeno dell'incendio (*i.e.* simulazioni di incendio con codici di calcolo per la risoluzione dei fenomeni chimico fisici dell'incendio – CFD). L'approccio deterministico viene dunque utilizzato per quel che attiene la predizione della evoluzione nel tempo dei fattori di rischio dovuti all'incendio all'interno della galleria; i risultati ottenuti sono, quindi, utilizzati per stimare il numero probabile di fatalità attese tra i passeggeri esposti a quel determinato flusso di pericolo. I fattori di rischio presi in considerazione per il calcolo delle fatalità attese in caso di incendio sono i seguenti:

- concentrazione del monossido di carbonio, utilizzata con un fattore correttivo pari a 1,5 per tenere in conto ulteriori specie chimiche tossiche prodotte dalla combustione; essa è dunque rappresentativa del rischio chimico<sup>10</sup>;
- flusso termico radiativo, incidente sulle persone ovvero sul convoglio, esso è rappresentativo del rischio termico.

Ulteriori fattori di rischio, quali la concentrazione del particolato (*soot*) che incide sulla visibilità lungo i percorsi di esodo, sono computati al fine di stimare i valori delle variabili dei sottomodelli di esodo, restituendo in definitiva il valore della velocità di deflusso dei passeggeri. Essendo il modello utilizzato per l'analisi di rischio un modello dinamico, in quanto gli esodanti sono in movimento, i valori dei fattori di rischio a cui i passeggeri sono sottoposti non sono costanti nel tempo e neanche nello spazio, per cui il valore limite per la sopravvivenza è funzione dei tempi di esposizione a tali fattori lungo il percorso di esodo.

A tale scopo, l'andamento nel tempo dei fattori di rischio è calcolato a livello puntuale in tutta la porzione di galleria ove l'incendio è ipotizzato, attraverso l'impiego di codici di risoluzione delle equazioni di governo dei fenomeni chimico fisici dell'incendio.

<sup>10</sup> Tale fattore è applicato quando quale combustibile si considera il PVC, la cui combustione è associata alla produzione di sottoprodotti alogenati

Al fine di fornire indicazioni in merito ai valori di flusso termico radiativo che possono comportare un rischio, si riporta la Figura 19 che mostra i possibili effetti sull'uomo conseguenti all'esposizione a radiazione termica<sup>11</sup>.

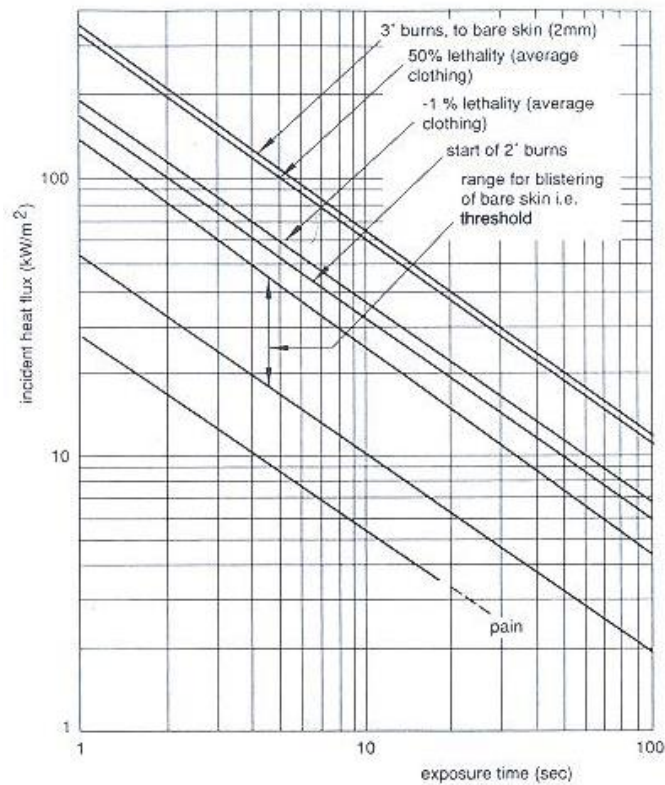


Figure 9.1. Injury and fatality levels for thermal radiation (Hymes 1983).

**Figura 19: Livelli di lesioni e fatalità per irraggiamento termico**

Analogamente, la Figura 20 riporta le concentrazioni di monossido di carbonio che comportano incapacitazione (perdita di coscienza) e morte dopo circa 5 min e 30 min di esposizione<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Hymes 1983

<sup>12</sup> ISO/IEC TR 9122-1



Narcotic	5 min		30 min	
	Incapacitation	Death	Incapacitation	Death
CO	6 000 ppm to 8 000 ppm	12 000 ppm to 16 000 ppm	1 400 ppm to 1 700 ppm	2 500 ppm to 4 000 ppm [B.1], [B.2]
HCN	150 ppm to 200 ppm	250 ppm to 400 ppm	90 ppm to 120 ppm	170 ppm to 230 ppm [B.1], [B.3]
low O <sub>2</sub>	10 % to 13 %	< 5 %	< 12 %	6 % to 7 % [B.1], [B.4], [B.5]
CO <sub>2</sub>	7 % to 8 %	> 10 %	6 % to 7 %	> 9 % [B.1], [B.4], [B.5]

**Figura 20:** Valori di concentrazione che comportano incapacitazione e fatalità per esposizione

La funzione Probit (PROBability unIT) restituisce un valore percentuale di fatalità dei soggetti esposti al flusso di pericolo, in base a due argomenti: 1) valore dei fattori di rischio (*i.e.* concentrazione/flusso termico radiativo), 2) tempo di esposizione.

Il tempo di esposizione ad un certo valore del fattore di rischio, è determinato in base all'esodo dei passeggeri, descritto dal sottomodulo di esodo, in particolare dalla velocità di esodo, funzione delle stesse condizioni di vivibilità dei percorsi, oltre che dell'affollamento e delle caratteristiche geometriche degli stessi percorsi di esodo.

La lunghezza media del percorso di esodo viene assunta pari a  $d_{eva}$ , calcolata come di seguito indicato:

$$d_{eva} = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2}{L_{gal}}$$

in cui  $L_i$  è l'interdistanza tra accessi/uscite ed  $L_{gal}$  è la lunghezza della galleria.

I valori dei fattori di rischio per ciascun tratto di percorso sono determinati in base ai risultati delle simulazioni di incendio, che forniscono la loro evoluzione nel tempo lungo gli stessi percorsi, nonché in base ai tempi di esodo dei passeggeri.

Le funzioni Probit, utilizzate per il calcolo delle fatalità associate al rischio termico e chimico dell'incendio, in percentuali dei soggetti esposti, sono definite in base all'espressione generica seguente:

$$Pr = A + B \ln x$$

dove A e B sono costanti funzioni dello specifico scenario incidentale; x è la variabile che descrive l'entità dell'impatto fisico e Pr è una misura della percentuale del danno sulle risorse (umane e/o materiali) esposte.

La funzione Probit per la letalità da esposizione al CO è definita come di seguito indicato:

$$Pr = -37,98 + 3,7 \ln\left(\sum_{i=1}^n t_i C_i\right)$$

dove le variabili  $C_i$  e  $t_i$  sono rispettivamente la concentrazione, espressa in [ppm], ed il tempo di esposizione, espresso in minuti per il rischio chimico.

La funzione Probit per la letalità da esposizione all'irraggiamento termico è definita come di seguito [Eisenberg *et al.* 1975]:

$$Pr = -14,9 + 2,56 \ln\left(\sum_{i=1}^n \frac{t_i I_i^{4/3}}{10^4}\right)$$

dove le variabili  $I_i$  e  $t_i$  sono rispettivamente l'intensità del flusso termico, espresso in [W/m<sup>2</sup>] ed il tempo di esposizione, espresso in secondi per il rischio da esposizione al flusso termico radiativo.

Tale percentuale è espressa dalla seguente equazione [Finney, 1971]:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

La probabilità di danno P, il cui legame matematico con la variabile di Probit è definito dall'equazione sopra riportata, esprime proprio la funzione di letalità generica  $\lambda_{inc}$ .

### *Modelli di esodo*

La modellazione del moto dei passeggeri esodanti dal luogo dell'evento incidentale risulta fondamentale al fine di valutare il valore minimo della velocità di esodo nel tratto di percorso ove i fattori di rischio sono maggiormente significativi.

Una ridotta velocità di esodo, congiuntamente ad elevati valori di concentrazione delle sostanze tossiche e/o dell'irraggiamento termico, rappresenta infatti una forte criticità per la salvabilità degli esodanti.

In tal senso, al fine di individuare il tratto del percorso di esodo maggiormente problematico si considera quanto segue:

- i fattori di rischio attesi in prossimità del treno incendiato sono di entità superiore presentando altresì gradienti maggiori rispetto al resto del percorso (*i.e.* elevato irraggiamento e maggiore concentrazione delle specie chimiche prodotte dalla combustione),
- la fase dell'esodo in prossimità delle carrozze presenta un grado di complessità maggiore rispetto alla fase di esodo lungo il percorso a distanza dal convoglio stesso, in quanto in corrispondenza delle carrozze ci sono più flussi che si incrociano: quello puntuale di discesa dalle carrozze e quello dovuto alle persone già scese che proseguono l'esodo lungo il treno.

La modellazione dell'esodo dovrà tenere conto di tali fattori consentendo una accuratezza e affidabilità nel calcolo degli effetti sugli esodanti soprattutto in tale tratto.

La funzione fondamentale del modello di esodo si esplica infatti nella fase di calcolo delle conseguenze, con particolare riferimento agli scenari caldi: in presenza di incendio di un treno in galleria la dinamica di pericolo innescata dall'evento non si esaurisce quando viene evacuato il treno incidentato (come può assumersi per gli scenari freddi), ma si estende per tutta la durata dell'esodo.

Nel caso di scenari freddi, infatti, l'andamento dell'esodo delle persone dipende essenzialmente dalle caratteristiche geometriche del percorso (larghezza, distanza dall'uscita di emergenza, presenza di scale) e dalla presenza di facilitazioni (quali ad es. diffusione sonora, laddove prevista, segnaletica), che possono influenzare le velocità di deflusso ma che non hanno un impatto significativo sulla salvabilità degli esodanti.

Nel caso di incendio di materiale rotabile l'esodo avviene in presenza di fattori di rischio (irraggiamento, CO, soot, ecc.): in tal senso il modello di esodo non può limitarsi a fornire una misura della velocità di deflusso in funzione delle dimensioni delle vie di fuga e delle

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>124 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	124 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	124 di 200											

misure di facilitazione, ma deve considerare anche le condizioni di visibilità/vivibilità lungo il percorso (risultato delle simulazioni CFD).

Il risultato atteso da una simulazione di esodo per scenari caldi è rappresentato quindi dalla distribuzione delle velocità all'interno della massa dei passeggeri che si traduce in tempi di esposizione ai fattori di pericolo e, grazie al confronto con modelli di letalità basati su dati sperimentali (quali ad es. la funzione Probit), nell'indicazione della salvabilità delle persone.

In generale, i dati di ingresso al modello di esodo per scenari caldi (*i.e.* incendio di un treno passeggeri) derivano sia dalle ipotesi di base per la descrizione dello scenario (ad esempio localizzazione del focolaio d'incendio, distribuzione dei passeggeri a bordo treno, modellazione del moto degli esodanti, ecc.), che dall'output di altri step metodologici quali, ad es., le simulazioni di incendio che forniscono informazioni in merito all'irraggiamento, agli andamenti nel tempo e nello spazio dei prodotti della combustione, alla visibilità in galleria. I risultati di tale modellazione consentono di calcolare le conseguenze da incendio mediante modelli di letalità.

Il modello di esodo utilizzato per la presente analisi assume quale base di partenza quello proposto per l'esodo dagli edifici da H. E. "Bud" Nelson e F. W. Mowrer (SFPE Handbook) che correla tramite leggi lineari la velocità di movimento degli esodanti alla densità di affollamento lungo le vie di fuga.

Tale modello, per le considerazioni sopra espresse, è stato integrato con la dipendenza della velocità di esodo dalla visibilità sui percorsi, come sarà in seguito descritto.

La descrizione matematica dell'esodo delle persone secondo l'approccio adottato (NFPA, Harold Nelson) è basata sulla suddivisione di ciascun percorso di esodo secondo nodi (aree e tratti di percorso a densità omogenea di persone) e flussi (di persone uscenti ed entranti in ciascun nodo).

In particolare, ogni nodo fa riferimento al tratto di marciapiede antistante una carrozza: sarà pertanto caratterizzato da una lunghezza di 26 m, pari alla lunghezza di una

carrozza, e larghezza pari al marciapiede; per ciascun nodo sono definiti flussi di persone (entranti ed uscenti) in base alla velocità di percorrenza, alla densità all'interno del nodo ed alla larghezza dei varchi tra nodo e nodo.

Si tiene conto, nella stima del flusso di persone uscenti dall'area considerata, sia dei passeggeri che scendono dal treno che di quelli già presenti sul marciapiede in quanto scesi dalle carrozze precedenti. Tali flussi sono espressi in  $[p/s*m]$ , cioè persone al secondo per ogni metro lineare di varco.

La relazione tra velocità di esodo dei passeggeri e caratteristiche geometriche del percorso di esodo (*i.e.* larghezza del marciapiede) nel tratto adiacente il convoglio in fiamme, espressa dalle formule empiriche proposte dal NFPA Handbook (H.Nelson), si basa un rapporto lineare tra la velocità di movimento dei passeggeri e la densità di affollamento sul marciapiede di esodo.

La relazione utilizzata per calcolare il rapporto lineare tra velocità e densità è la seguente:

$$V = k - a k D \quad [m/s]$$

dove:

- $V$  [m/s] è la velocità lineare
- $D$  [pers/m<sup>2</sup>] è la densità di persone per unità di superficie
- $k$  è 0.8 [m/s] (rappresenta la velocità dell'individuo quando la densità è nulla)
- $a$  è pari a 0.266 [m<sup>2</sup>/pers]

Per ogni carrozza si è presunto che ogni 3 s scenda una persona per porta, quindi, considerate due porte per carrozza, ogni secondo affluiscono sul tratto di marciapiede antistante ciascuna carrozza 0,67 pers/s.

Il primo valore di densità, calcolato al secondo 1 su un'area di marciapiede lunga 26 m (pari alla lunghezza della carrozza) e di larghezza  $L$ , fornisce il primo valore di velocità dei passeggeri.

Per ciascun tratto di marciapiede antistante ogni carrozza rimane definito un valore del flusso di persone uscenti dall'area considerata in base all'espressione:

$$Fl_u = V * D * L \quad [pers/s]$$

dove

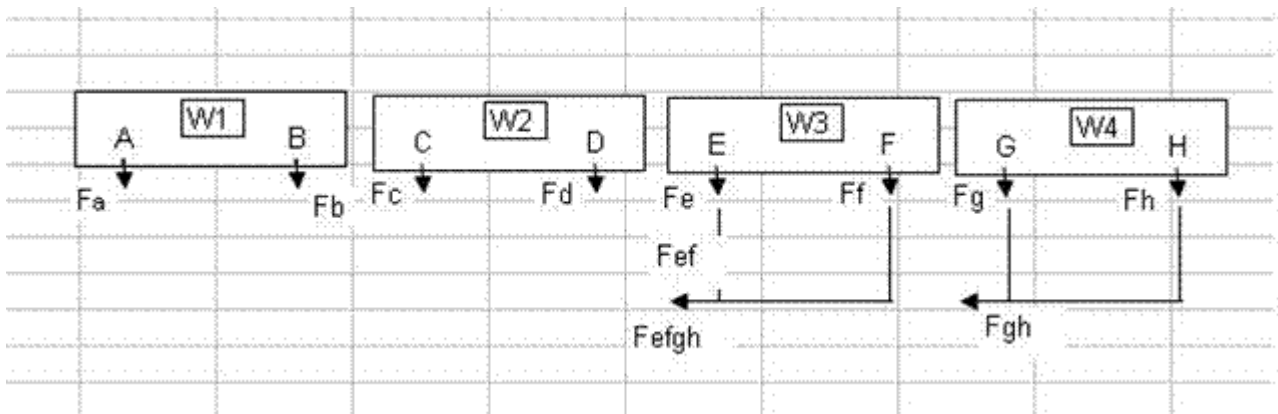
- $F_u$  è il flusso uscente, espresso in [pers/s]
- $L$  è la larghezza del marciapiede;
- $D$  [pers/m<sup>2</sup>] è la densità di persone definita sul tratto di marciapiede antistante ciascuna carrozza;
- $V$  [m/s] è la velocità di esodo definita sul tratto di marciapiede antistante ciascuna carrozza

Con questo valore del flusso,  $F_u$ , si aggiorna la densità effettiva su ciascuna area antistante le carrozze, che a questo punto tiene conto, oltre che dei passeggeri che scendono dal treno, anche di quelli che si muovono per uscire dall'area antistante la carrozza (26 m x  $L$ ), quindi della velocità e del flusso effettivi dei passeggeri che si allontanano dall'area considerata.

Il calcolo della velocità e della densità relativa alle aree dalla seconda carrozza in poi considera, oltre alle persone che scendono dal treno, il flusso entrante effettivo che coincide con il flusso uscente effettivo dell'area antistante la carrozza precedente.

I passaggi successivi per il calcolo dei flussi uscenti effettivi sono quindi uguali a quelli definiti per la prima carrozza.

Nella figura seguente sono schematizzati i flussi di persone nella fase di esodo dalle carrozze.

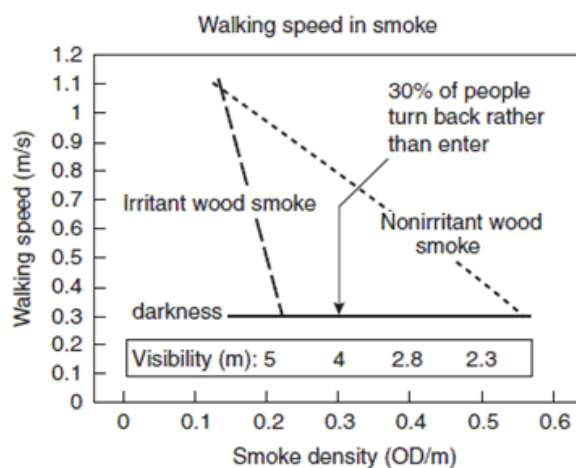


**Figura 21:** Flussi di esodo dalle carrozze in base al modello matematico di H. Nelson

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA          RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b>								
	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>Galleria MURANO</b>								
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	127 di 200

Per la valutazione dei flussi, oltre alla relazione funzionale che li correla alla densità sul marciapiede, si tiene conto della probabilità di congestione che si può verificare in galleria, derivante sia da un eventuale restringimento del marciapiede che dalle riduzioni di velocità conseguenti a condizioni di visibilità sfavorevoli che si verificano talvolta a causa delle alte densità del fumo.

A tale proposito esistono diversi studi (Jin et al.), citati ad esempio anche dalla normativa e dai manuali tecnici NFPA dedicati alla *fire engineering*, che quantificano l'effetto della densità di fumo sulla visibilità e quindi sulla velocità di esodo. La Figura 22 illustra l'andamento della velocità in funzione della visibilità, espressa in metri:



**Figura 22:** Velocità in funzione della densità di fumo

[Fonte: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering/Fire Dynamics]

Dalla figura si evince che il valore minimo della velocità è pari a 0,3 m/s, nel caso di completa oscurazione del percorso (*darkness*) e nei casi di visibilità inferiori a 5 m (*irritant smoke*) o inferiori a 2,3 m (*non irritant smoke*).

L'implementazione di tale correlazione è stata realizzata imponendo per ciascun nodo che la velocità degli esodanti sia la minima tra quella calcolata tramite il modello di Nelson e quella valutata confrontando le curve velocità/visibilità, in funzione della distanza dal focolaio.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>128 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	128 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	128 di 200											

### *Simulazioni di incendio CFD – Calcolo dei fattori di rischio*

Una simulazione di incendio effettuata nell'ambito di un'analisi finalizzata al calcolo del rischio in fase di esercizio si pone l'obiettivo primario di studiare incendi coinvolgenti materiale rotabile valutando gli effetti in termini di fattori di rischio di incendio lato galleria sulla vivibilità dei passeggeri coinvolti nell'emergenza in corrispondenza del marciapiede deputato all'esodo.

Gli effetti conseguenti all'innesco ed al successivo sviluppo di un incendio del materiale rotabile in galleria vengono indagati attraverso simulazioni con il codice FDS – NIST, software validato per gli studi di incendio, come dimostrato dall'ampia diffusione e utilizzo nel campo tecnico (diverse pubblicazioni dei vigili del fuoco, università, ecc.).

L'impiego di tale codice di calcolo consente la valutazione, quantitativa e puntuale, delle concentrazioni dei prodotti di combustione gassosi tossici e aggressivi, temperature dei fumi e dell'irraggiamento termico, concentrazioni delle particelle solide dei fumi e visibilità, espressi tutti in termini numerici al fine di studiare gli effetti dovuti all'esposizione nel tempo al flusso di pericolo nei vari punti dello spazio della galleria interessato dall'incendio.

È necessario pertanto costruire una modellazione degli eventi base/scenari derivati, individuando:

- parametri di modello per la dinamica di incendio (sorgenti di innesco/tipologia di plume, potenza massima generata, tempo di crescita, materiale di riferimento/condizioni iniziali/al contorno);
- parametri di modello relativi alla geometria (lunghezza simulata, meshatura del dominio, posizione del treno, etc.).

Nell'ottica di mantenere un approccio cautelativo, per la modellazione della dinamica di incendio, si assumono:

- tempi di crescita molto ridotti (tra i 300 e 600 s), raggiunti con andamenti lineari, riducendo il transitorio a favore del fenomeno stazionario, al fine di considerare l'esodo dei passeggeri contestualmente al *flash over*;
- picchi di potenza nominali massimi, incendi pienamente sviluppati;



- materiali di riferimento per la combustione con rese alte in termini di CO;
- condizioni iniziali/al contorno che massimizzino le concentrazioni di CO.

Pertanto, partendo dal tipo di traffico previsto, si stabiliscono innanzitutto gli eventi di incendio da studiare, che possono coinvolgere, a seconda della tipologia di servizio e della modalità di trazione, treni passeggeri e/o merci-merci pericolose, elettrici e/o diesel e possono interessare locomotore o il materiale rimorchiato ed avere quindi diverse sorgenti di innesco (dal sottocassa alla poltroncina di una carrozza viaggiatori, piuttosto che dalla sostanza pericolosa sversata da una ferrocisterna danneggiata, etc.). Il tipo di sorgente comporta anche lo sviluppo di diversi modelli di *plume*. Nel caso, ad esempio, di incendio in carrozza viaggiatori un tipico modello è rappresentato dalla *window plume*, ossia un incendio che da una poltroncina si estende all'intera carrozza fino alla rottura dei finestrini, da cui raggiunge l'ambiente esterno. Nel caso di un incendio di treno merci, al fine di considerare la massima trasferibilità degli effetti lato galleria l'ipotesi più cautelativa è rappresentata da un trasporto di tipo "aperto", in cui la merce si trova esposta direttamente all'ambiente (ad esempio il trasporto di tubi di PVC su carri pianale): in tal caso l'innesco può essere ipotizzato direttamente un punto caldo sulla superficie della merce esposta all'aria. Una dinamica completamente diversa è quella prevedibile nel caso di treni merci pericolose, che, nel caso di trasporto di liquidi infiammabili, può ricondursi ad esempio ad un incendio di pozza, originato dallo sversamento catastrofico del liquido e il successivo innesco dei vapori in equilibrio: in tal caso l'incendio interessa l'intera superficie della pozza nell'ambiente galleria.

Nella tabella che segue sono sintetizzati i valori dei principali parametri per definire le caratteristiche della curva del fuoco in funzione della tipologia di scenario:

N°	Descrizione Scenari	Obiettivi delle simulazioni	Modellazione
1	Incendio di treno merci (con merce coinvolta)	Calcolo dei fattori di rischio nella galleria lungo il percorso di esodo e valutazione del raggio di azione del flusso di pericolo	Curva di incendio con picco nominale pari a 50 MW, tempo di crescita di 600 s e durata $\geq$ 1 ora Reazione: PVC
2a	Incendio di treno passeggeri	Calcolo dei fattori di rischio nella galleria lungo il percorso di esodo e valutazione del raggio di azione del flusso di pericolo	Curva di incendio con picco nominale pari a 10 MW, tempo di crescita di 600 s e durata $\geq$ 1 ora Reazione: PVC
2b	Incendio di treno a trazione diesel	Calcolo dei fattori di rischio nella galleria lungo il percorso di esodo e valutazione del raggio di azione del flusso di pericolo	Curva di incendio con picco nominale associato alla pozza di combustibile pari a 110 MW con durata di 5 minuti e successivo coinvolgimento della carrozza seguente, potenza sviluppata 6 MW Reazione: benzene e PVC
3	Incendio di treni merci pericolose (con merce coinvolta)	Calcolo dei fattori di rischio nella galleria valutazione del raggio di azione del flusso di pericolo	Curva di incendio con picco pari a 150 MW, raggiunto in 5 minuti, con durata dell'incendio $\geq$ 1 ora. Reazione: Ottano

Per gli incendi di treni elettrici un riferimento è costituito dal DM 28/10/2005, Sicurezza nelle gallerie ferroviarie, che fornisce indicazioni in merito ad uno scenario base con potenza di picco pario a 10 MW, tempo di crescita 600 s. Per quanto riguarda treni merci, merci pericolose e treni diesel i riferimenti si trovano in letteratura tecnica e normative di settore (anche stradale), oppure possono basarsi su studi di incendio ad hoc partendo da dati di tipo trasportistico (tipo di carro o ferrocisterna e tipo di merce/sostanza trasportata, capacità del serbatoio nel caso di treno diesel, etc.). Il range di potenze per incendi che interessano tali tipologie di materiale rotabile va da 20-50 MW fino a 150 MW, con tempi di crescita variabili a seconda del materiale /sostanza di riferimento (per il PVC, considerato rappresentativo per le merci, i tempi di crescita sono dell'ordine dei 10-20 minuti, per l'ottano, nello scenario di incendio di pozza, si assumono tempi brevissimi, massimo 5 minuti).

Ricapitolando:

- nel caso di incendio treno passeggeri, lo scenario modellato si basa su una *window plume*, al centro del dominio di studio, con sviluppo di potenza lineare tra 0 e 600 s fino al raggiungimento di un picco di 10 MW, con PVC come materiale di riferimento (considerando le alte rese in soot e CO) in aria inizialmente stagnante a temperatura ambiente.
- nel caso di incendio treno merci, lo scenario modellato è rappresentato da uno scenario tipo in cui bruciano i fianchi di un vagone trasportante un carico aperto, al

centro del dominio di studio, con sviluppo di potenza lineare tra 0 e 600 s fino al raggiungimento di un picco di 50 MW, con PVC come materiale di riferimento (considerando le alte rese in soot e CO) in aria inizialmente stagnante a temperatura ambiente.

- nel caso di incendio treno merci pericolose, lo scenario modellato è rappresentato da uno scenario tipo in cui brucia una pozza di ottano, al centro del dominio di studio, con sviluppo di potenza lineare tra 0 e 300 s fino al raggiungimento di un picco di 150 MW, in aria inizialmente stagnante a temperatura ambiente.
- nel caso di un incendio che interessi un treno diesel, lo scenario modellato è rappresentato da uno scenario tipo in cui brucia una pozza di benzene, al centro del dominio di studio, con sviluppo di potenza lineare tra 0 e 300 s fino al raggiungimento di un picco di 110 MW e successivo coinvolgimento della prima carrozza in composizione alla motrice, che sviluppa nei successivi 10 minuti un picco pari a 6 MW, in aria inizialmente stagnante a temperatura ambiente.

Nei due incendi tipo basati sul modello della pool fire l'ipotesi di base è quella di uno sversamento totale del contenuto di una ferrocisterna per il treno trasportante merci pericolose (stimato intorno alle 50 tonnellate) e del combustibile nel caso di treno a trazione diesel (ipotizzando cautelativamente un contenuto di carburante nei serbatoi pari a circa 1000 lt), con conseguente formazione di una pozza di liquido infiammabile e successivo innesco.

Le ipotesi sulle quantità di liquido infiammabile sversato sono cautelative sia considerando le quantità coinvolte (ferrocisterne o serbatoi completamente pieni) sia la tipologia di sversamento (in entrambi i casi catastrofici, quindi non dovuti a forature o trafiletti ma a squarci o cedimenti). Gli scenari sono dunque riferibili a condizioni assolutamente remote, considerando anche l'avanzamento tecnologico e tutte le predisposizioni di sicurezza richieste dalle normative sul materiale rotabile e sulle modalità di trasporto.

Considerando la molteplicità di scenari di incendio derivante già dal solo presupposto di traffico misto per servizio e trazione, sono state introdotte delle ipotesi semplificative per ottimizzare il numero di simulazioni da effettuare a fronte dei casi possibili derivanti dalla combinazione della variabilità dei singoli fattori di influenza, correlati a condizioni iniziali e

al contorno, posizione del treno, geometria del dominio. A tale scopo si è adottato un approccio tendenzialmente cautelativo, studiando incendi pienamente sviluppati nelle condizioni in cui la concentrazione degli effluenti, quali CO, sia massima. Tra le diverse condizioni ipotizzate, l'assunzione di aria stagnante, ad esempio, è funzionale a diminuire l'effetto di diluizione e svincola i risultati dalle pendenze del tracciato (comunque contenute in ambito ferroviario), dalle condizioni atmosferiche, dalla stagionalità, oltre che dalle singolarità puntuali. Tale *neutralità* consente, per ciascuna "categoria" di incendio funzione delle sorgenti (treno passeggeri, treno merci, etc.) di far riferimento ad un'unica simulazione generalizzandone i risultati rispetto alla variabilità dei parametri citati a titolo di esempio e anche, quindi, della posizione del treno in galleria.

Per la modellazione della geometria per ottimizzare la stabilità computazionale garantendo l'affidabilità dei risultati, si assumono:

- meshatura uniforme del volume, mantenendo tendenzialmente ove possibile le celle cubiche e di dimensioni ridotte ( $\leq 1\text{m}$ );
- rispetto della grigliatura nella definizione degli oggetti interni al dominio (vagoni del treno, ostacoli e soprattutto per gli oggetti dotati di proprietà di superficie come ad esempio la pozza, cui si associa una produzione di potenza per unità di area)
- tempi minimi di simulazione almeno confrontabili con i tempi di esodo calcolati sulla base dell'estensione del passo tra le uscite di emergenza assumendo una velocità di evacuazione di 0,3 m/s.

Ciò comporta una complessiva semplificazione delle geometrie che, seppure a discapito della resa grafica e della modellazione minuta, ha tuttavia un ritorno sulla stabilità del calcolo.

Un altro aspetto importante è quello relativo alla lunghezza minima da simulare per poter trascurare gli effetti di imbocco. Per gallerie lunghe, ad esempio, dotate di bypass, simulare una lunghezza pari al passo di 500 m potrebbe essere sufficiente per studiare l'esodo; tuttavia si è valutato che simulare un tratto minimo di galleria superiore almeno a 2km (mantenendo il numero celle inferiore al milione) consente di ottenere risultati, in termini di concentrazioni, non influenzati dall'ipotesi semplificativa di ridurre il dominio di studio al minimo tratto di interesse, limitando le instabilità numeriche.

Considerando che:

- nella modellazione si è proceduto a favore di sicurezza (studiando incendi che raggiungono il picco, elevato, in tempi brevi, utilizzando sostanza di riferimento con rese alte in termini di effluenti, cercando di evitare gli effetti di diluizione)
- nel processamento degli output le concentrazioni ottenute vengono moltiplicate per un fattore pari a 1,5
- l'esodo dei passeggeri viene ipotizzato in condizioni di scarsissima visibilità, con velocità basse, mantenute in un range ristretto, tra 0,3 e 0,6 m/s, variabile a seconda dell'area libera della sezione, ma che comunque include sempre almeno la minima 0,3 m/s (corrispondente a valori di visibilità nulli) e che, per sezioni di area ridotta, ha come estremo superiore 0,4 m/s;
- il flusso di esodo parte con un ritardo di 180s rispetto all'innesco e da una distanza praticamente nulla rispetto al focolaio, un tempo quindi in cui gli esodanti si considerano esposti alle massime concentrazioni.

le simulazioni così impostate e relative elaborazioni sono ampiamente sufficienti per un calcolo conservativo del rischio incendio in galleria, escludendo così la necessità di indagare ulteriori scenari che fornirebbero un contributo residuale.

Le valutazioni di salvabilità effettuate sulla base dei risultati ottenuti nelle modalità sopra descritte si applicano a tutti gli esposti, macchinisti e passeggeri, a bordo del treno incidentato e/o a bordo di un ulteriore treno coinvolto per accodamento pericoloso (per gallerie singolo e doppio binario) o a seguito di incrocio/collisione secondaria (solo per gallerie a più binari e a singola canna).

I valori dei fattori di rischio sono monitorati con un passo tipicamente di 20 m, all'altezza delle vie respiratorie (ipotizzata a 2 m dal piano di calpestio).

Gli esposti si distinguono in due classi in base alla capacità di deambulazione: soggetti in grado di effettuare l'autosoccorso e soggetti impossibilitati (feriti oppure disabili).

Sulla base delle valutazioni per gli esodanti, partendo dal valore di letalità calcolato per le persone in grado di effettuare autosoccorso e maggiorandolo, si stima la letalità dei

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>134 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	134 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	134 di 200											

feriti/disabili, in considerazione della condizione di immobilità che non ne consente l'allontanamento.

#### *Espressioni della funzione di letalità*

La stima della magnitudo delle conseguenze si basa su un modello di letalità, il quale considera il tipo di treni coinvolti, l'occupazione dei convogli, la velocità e la sequenza degli eventi.

Nel caso di treno passeggeri le simulazioni svolte, identificate nella tabella precedente con il nr 2a-b, producono la distribuzione dei fattori di rischio ed il loro andamento nel tempo, in relazione all'esodo dei passeggeri dal marciapiede antistante la carrozza, sino al raggiungimento della prima uscita fruibile.

Per quanto sopra esposto, la letalità associata agli scenari di incendio è espressa dalla seguente formula:

$$Npers * \lambda_{inc}(TP)$$

con:

- Npers: numero totale delle persone potenzialmente esposte (passeggeri);
- $\lambda_{inc}(TP)$ : letalità per incendi di treni passeggeri nel tratto di percorso in galleria, calcolato sulla base della distribuzione dei fattori di pericolo come da simulazione nr 2a-b.

Per quanto riguarda i parametri necessari per la previsione della magnitudo delle conseguenze per incendi coinvolgenti treni merci, si fa riferimento alla curva della potenza termica di cui alle simulazioni nr 1 (incendio TM).

L'espressione della magnitudo del danno associato all'incendio di treni merci è espressa in analogia al caso dei treni passeggeri:

$$Npers * \lambda_{inc}(TM)$$

dove l'espressione  $\lambda_{inc}(TM)$  è funzione dei fattori di rischio generati dall'incendio di un treno merci non pericolose e  $N_{pers}$  sono gli esposti: i macchinisti ed i passeggeri dell'eventuale TP accodato/coinvolti.

Analogamente per il TMP:

$$N_{pers} * \lambda_{inc}(TMP)$$

dove l'espressione  $\lambda_{inc}(TMP)$ , è questa volta funzione dei fattori di rischio generati dall'incendio di pozza e  $N_{pers}$  sono gli esposti: i macchinisti ed i passeggeri dell'eventuale TP accodato/coinvolti.

### 1.3.3 CONSEGUENZE DEGLI SCENARI COMPLESSI DEFINITI DALLE SEQUENZE PRINCIPALI

I modelli di letalità per il calcolo delle conseguenze associate agli scenari complessi, definiti dalle principali sequenze incidentali descritte precedentemente, vengono costruiti a partire dalle funzioni di magnitudo illustrate per gli eventi base, analizzando lungo la sequenza i singoli sottoeventi che si susseguono e le variazioni nel numero degli esposti. Ad esempio, se l'evento origine è costituito da uno svio grave di treno passeggeri, seguito da una collisione con un altro treno passeggeri (entrambi a trazione elettrica, quindi senza ulteriori sviluppi, quali successivo incendio), il modello per il calcolo delle conseguenze sarà costituito da due contributi:

- $N_{pers}(TP) \times \lambda_{der}(TP)$  rappresenta il numero di fatalità attese a seguito dello svio, calcolate applicando il  $\lambda_{der}$  (la cui funzione è espressa come descritto al § 1.3.2) al numero di esposti coincidente con il numero di persone a bordo del TP;
- $\{2 \times N_{pers}(TP) - [N_{pers}(TP) \times \lambda_{der}(TP)]\}$  rappresenta il numero di esposti alla collisione con ulteriore TP ed è pari al numero di persone a bordo di entrambi i treni passeggeri, diminuito delle fatalità associate al solo svio. Al numero di esposti così

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>136 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	136 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	136 di 200											

calcolato si applica il  $\lambda_{coll}$ , la cui espressione, in analogia al deragliamento, è riportata al § 1.3.2.

Quindi complessivamente il numero di conseguenze associate allo scenario di svio grave TP con successivo scontro con altro TP si determina sommando i due contributi esaminati in dettaglio.

Quale ulteriore esempio si può analizzare la sequenza di svio non grave di un TP, che collide con un treno merci pericolose, con incendio a seguito dell'urto e successivo accodamento di ulteriore treno passeggeri.

In tal caso lo svio non grave del TP non è associato direttamente ad alcuna fatalità, ma la collisione con il TMP genera le conseguenze descritte dal modello base di collisione:

$$\text{Fatalità svio+coll} = 0 + [N_{pers}(TP) + N_{pers}(TM)] \times \lambda_{coll}$$

Tale sottoevento è associato al numero di fatalità calcolabile con la formula riportata, ma anche ad un numero di feriti pari a:

$$\text{Feriti coll} = [N_{pers}(TP) + N_{pers}(TM)] \times \lambda_{coll} \times (N_f/N_m)$$

dove  $N_f/N_m$  rappresenta, come già riportato al § 1.3.2, il rapporto, desunto da BDP-BDS, tra feriti e fatalità (morti) associato agli urti tra treni.

Il calcolo dei feriti generati da uno scenario freddo è particolarmente importante nei casi in cui l'evento o successione di eventi evolva in uno scenario caldo, come nell'esempio oggetto di analisi.

Infatti, come già illustrato al § 1.3.2, le letalità da incendio sono differenti per gli esodanti (esposti a fattori di rischio variabili nello spazio e nel tempo) e i feriti/disabili (che si assume restino fermi nel punto di svio/impatto).

Pertanto, successivamente all'incendio del TMP, lo stadio della sequenza corrisponde ad un numero complessivo di fatalità è pari a:

$$(\text{Fatalità svio+coll}) + [N_{pers}(TP) + N_{pers}(TM)] - (\text{Fatalità svio+coll}) - \text{Feriti coll}] \times \lambda_{inc_e}(\text{TMP}) + [\text{Feriti coll} \times \lambda_{inc_f}(\text{TMP})]$$



dove:

- $\lambda_{inc_e}$  (TMP) letalità da incendio per esodanti (funzione dei fattori di rischio storati a 2 m dal piano di calpestio, nello spazio e nel tempo),
- $\lambda_{inc_f}$  (TMP) funzione dei fattori di rischio storati a 1 m dal piano di calpestio, in prossimità del punto dell'incidente.

Il successivo sottoevento considerato nella sequenza è l'accodamento pericoloso di un ulteriore treno TP, che comporta nuovi esposti (passeggeri e macchinisti a bordo treno) ai fattori di rischio dovuti all'incendio TMP, in termini di esodanti, considerando che il treno accodato si arresta e ne sia avviata l'evacuazione. Le fatalità attese per la sequenza sinora sviluppata sono incrementate dall'ulteriore contributo:

$$N_{pers}(TP) \times \lambda_{inc_e} (TMP)$$

Le fatalità associate all'intera sequenza sono rappresentate come nel caso precedente dalla somma di tutti i contributi descritti, calcolati aggiornando sottoevento per sottoevento numero di esposti e funzioni di letalità.

Data la molteplicità degli scenari possibili, l'implementazione delle formule per il calcolo delle conseguenze degli scenari complessi a partire dai modelli di letalità base viene attuata di volta in volta sulla base dell'analisi della singola sequenza e, quindi, del singolo scenario, seguendo i criteri illustrati negli esempi esaminati.

Al fine di guidare la lettura degli alberi degli eventi, talvolta articolati e ad ampio sviluppo, gli scenari complessi tipicamente trattati (derivanti cioè dalle principali biforcazioni, descritte al §1.3.1) sono stati classificati e dotati di identificativi, gli stessi che saranno poi specificati (con l'indicazione delle relative fatalità), in corrispondenza di ciascun ramo degli alberi elaborati per la galleria oggetto di analisi nella sezione capitolo 2, in cui potranno anche eventualmente integrarsi ipotesi e assunzioni dettati dalle necessità particolari.

Per la definizione dei codici identificativi degli scenari si è tenuto conto dell'evento iniziatore e dell'evoluzione della sequenza, oltre che della tipologia treni, secondo lo schema che segue:

1° livello del codice: eventi iniziatori (maiuscolo)			pedice 1° livello: tipologia treno incidentato		specificazione pedice 1° livello: tipologia di trazione o merce			2°/3° livello ed eventuali successivi: sottoeventi della sequenza		pedice 2-3° livello: tipologia treno incidentato
D	svio	<i>distinzione applicata solo per i treni passeggeri</i>	1	treno passeggeri	dies	treno a trazione diesel	<i>specificato solo se nella sequenza sono presenti scenari caldi. In particolare, il riferimento al locomotore/materiale rimorchiato vale solo per l'incendio quale evento iniziatore (per i treni merci).</i>	C	collisione secondaria	come pedice 1° livello e relativa specificazione
D <sub>g</sub>	svio grave, con fatalità				MP	merci trasportate: merci pericolose		I	incendio	
C	collisione	2	treno merci	loc	<i>(incendio al) locomotore</i>	coin		coinvolgimento	nessun pedice: coinvolgimento e accodamento sono riferiti a treni passeggeri	
I	incendio			mr	<i>(incendio al) materiale rimorchiato</i>	acc		accodamento		
		A	arresto in galleria (a seguito di incendio)	nessun pedice: non c'è bisogno di indicarlo in quanto il treno che si ferma è quello incendiato						

In relazione alla specificazione del pedice di primo livello, in tabella è precisato che la distinzione sul tipo di trazione e sul tipo merce trasportata è esplicita solo nel caso in cui lo scenario preveda l'incendio. Ciò consente di limitare ridondanze e ripetizioni nei modelli di letalità degli scenari complessi: infatti, ad esempio, lo scenario di deragliamento e collisione secondaria tra treni passeggeri elettrici è caratterizzato dalla stessa letalità rispetto al caso di treni a trazione diesel; analogamente l'indicazione della tipologia di merce è ininfluenza sulla letalità finale per scenari freddi (uno svio di treno merci o treno

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>139 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	139 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	139 di 200											

merci pericolose in assenza di ulteriori sviluppi è equivalente dal punto di vista delle conseguenze).

Quale ulteriore nota, si precisa che in caso di sequenze di 3° livello, quali, ad esempio, svio grave di un TP diesel-successivo scontro con un treno merci pericolose, non è in generale necessario riportare più volte i pedici che specificano il tipo treno, in quanto cautelativamente nell'analisi si ipotizza il *worst case*. Per lo scenario complesso riportato a titolo di esempio, infatti, l'incendio si assume interessi il treno merci pericolose (valore di letalità più alto rispetto al treno passeggeri diesel) pertanto il codice viene definito come segue: evento iniziatore: Dg<sub>1dies</sub> (svio grave TP); primo sottoevento: C<sub>2MP</sub> (urto con TMP); secondo sottoevento: I (incendio).

L'esempio descritto rappresenta un caso di possibile ambiguità, in quanto sia per il TP<sub>dies</sub> che per il TMP è possibile sviluppare un incendio a seguito di svio e/o urto, pertanto la precisazione di cui sopra è necessaria.

In altri casi, in cui nella sequenza di terzo livello sono coinvolti un TP elettrico e un treno diesel ed è previsto l'incendio, il pedice relativo a quest'ultimo sottoevento non viene esplicitato ma non origina ambiguità, in quanto solo per il treno a trazione diesel la probabilità di sviluppare un incendio non è trascurabile.

Per preservare sintesi e leggibilità del codice, inoltre, alcuni scenari che differiscono per aspetti secondari della dinamica incidentale (aventi però impatto su ipotesi di calcolo delle letalità) verranno contrassegnati con lo stesso codice, ma distinti con un asterisco. Ad esempio, la sequenza di svio di un treno diesel, successivo incendio e coinvolgimento di un ulteriore treno sopraggiungente è associata a letalità in generale differenti a seconda che, a seguito del deragliamento, ci sia stata invasione del binario adiacente o meno, in quanto l'invasione può essere tale da attivare il cdb (circuitto di binario) riducendo tempi di allarme e consentendo così al treno sopraggiungente di azionare con anticipo la frenatura di emergenza.

Di seguito gli scenari complessi a differente letalità tipicamente trattati e i relativi identificativi:

**Tabella 19:**

Alberi di deragliamento: descrizione degli scenari e identificativi

Scenario	ID
<b>TRENI PASSEGGERI</b>	
<b><i>Deragliamento treno passeggeri con fatalità</i></b>	Dg <sub>1</sub>
Deragliamento grave <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci/merci pericolose	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> - incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>2diesI</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> – incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>2diesI-acc</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>2MPI</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>2MPI-acc</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri- collisione con treno passeggeri	Dg <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>1diesI</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> – incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>1diesI-acc</sub>
<b><i>Deragliamento treno passeggeri (senza fatalità)</i></b>	D <sub>1</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1</sub> C <sub>2diesI</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>2diesI-acc</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>1</sub> C <sub>2MPI</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio – accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>2MPI-acc</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> – incendio	D <sub>1</sub> C <sub>1diesI</sub>

Scenario	ID
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio - accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>1diesl</sub> -acc
<b>TRENI PASSEGGERI (trazione diesel)</b>	
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	Dg <sub>1diesl</sub>
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1diesl</sub> -acc
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	Dg <sub>1diesl</sub> -coin
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1diesl</sub> -coin-acc
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	Dg <sub>1diesl</sub> -coin*
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1diesl</sub> -coin-acc*
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci - incendio	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> -l
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci - incendio- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> -l-acc
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> MPl
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> MPl-acc
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>1</sub> l
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1dies</sub> C <sub>1</sub> l-acc
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	Dg <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -l
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -l-acc
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1diesl</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1diesl</sub> -acc
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>1diesl</sub> -coin
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	D <sub>1diesl</sub> -coin-acc
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>1diesl</sub> -coin*
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	D <sub>1diesl</sub> -coin-acc*
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno merci-incendio	D <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> l
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno merci-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> C <sub>2</sub> l-acc

Scenario	ID
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>1dies</sub> -C <sub>2MP</sub> -I
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> -C <sub>2MP</sub> -I-acc
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio	D <sub>1dies</sub> C <sub>1I</sub>
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> C <sub>1I</sub> -acc
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -I
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -I-acc
<b>TRENI MERCI</b>	
<b>Deragliamento treno merci</b>	D <sub>2</sub>
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci	D <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2</sub> C <sub>2dies</sub> I
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>2dies</sub> I-acc
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>2</sub> C <sub>2MP</sub> I
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci pericolose-incendio - accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>2MP</sub> I-acc
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri	D <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2</sub> C <sub>1dies</sub> I
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio - accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>1dies</sub> I-acc
<b>TRENI MERCI (trazione diesel)</b>	
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2dies</sub> I
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> I-acc
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> I-coin
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP-accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> I-coin-acc
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> I-coin*
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> I-coin-acc*
<b>TRENI MERCI PERICOLOSE</b>	
Deragliamento treno merci pericolose-incendio	D <sub>2MP</sub> I
Deragliamento treno merci pericolose-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2MP</sub> I-acc

Scenario	ID
Deragliamento treno merci pericolose con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri	D <sub>2</sub> MPL-coin
Deragliamento treno merci pericolose con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MPL-coin-acc
Deragliamento treno merci pericolose senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri	D <sub>2</sub> MPL-coin*
Deragliamento treno merci pericolose senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MPL-coin-acc*
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci –incendio	D <sub>2</sub> MP C <sub>2</sub> l
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>2</sub> MP C <sub>2</sub> MPL
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno passeggeri –incendio	D <sub>2</sub> MP C <sub>1</sub> l
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno passeggeri–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP C <sub>1</sub> l-acc
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP C <sub>2</sub> l-acc
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci pericolose–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP C <sub>2</sub> l-acc

**Tabella 20:**

Alberi di collisione: descrizione degli scenari e identificativi

Scenario	ID
<b><i>Collisione tra treni</i></b>	
Collisione TP-TP	C <sub>1-1</sub>
Collisione TP-TM	C <sub>1-2</sub>
Collisione TP-TMP e successivo incendio	C <sub>1-2</sub> MPL
Collisione TP-TMP e successivo incendio con accodamento ulteriore TP	C <sub>1-2</sub> MPL-acc
Collisione TM-TM (oppure TMP-TMP, TM-TMP)	C <sub>2-2</sub>
Collisione TM-TMP (oppure TMP-TMP) e successivo incendio	C <sub>2</sub> MP-2l
Collisione TM-TMP (oppure TMP-TMP) e successivo incendio con accodamento TP	C <sub>2</sub> MP-2l-acc
<b><i>Collisione tra treni a trazione diesel (almeno uno)</i></b>	
Collisione TP-TP e successivo incendio	C <sub>1-1</sub> diesl
Collisione TP-TP e successivo incendio con accodamento altro TP	C <sub>1-1</sub> diesl-acc

Scenario	ID
Collisione TP-TM e successivo incendio	C1-2diesI
Collisione TP-TM e successivo incendio con accodamento altro TP	C1-2diesI-acc
Collisione TM-TM e successivo incendio	C2-2diesI
Collisione TM-TM e successivo incendio con accodamento altro TP	C2-2diesI-acc

**Tabella 21:**

Alberi di incendio: descrizione degli scenari e identificativi

Scenario	ID
<b>TRENI PASSEGGERI</b>	
Incendio treno passeggeri	I <sub>1</sub>
Incendio treno passeggeri con arresto in galleria	I <sub>1</sub> A
Incendio TP con arresto e coinvolgimento altro TP	I <sub>1</sub> A-coin
Incendio TP con arresto - coinvolgimento altro TP – accodamento altro TP	I <sub>1</sub> A-coin-acc
Incendio TP con arresto e accodamento altro TP	I <sub>1</sub> A-acc
<b>TRENI PASSEGGERI DIESEL</b>	
Incendio treno passeggeri <i>diesel</i>	I <sub>1dies</sub>
Incendio treno passeggeri <i>diesel</i> con arresto in galleria	I <sub>1dies</sub> -A
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria+ coinvolgimento TP	I <sub>1dies</sub> -A-coin
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria+ accodamento TP	I <sub>1dies</sub> -A-acc
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria+ coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>1dies</sub> -A-coin-acc
<b>TRENI MERCI</b>	
Incendio treno merci al materiale rimorchiato (NO ARRESTO)	I <sub>2mr</sub>
Incendio treno merci (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria	I <sub>2mr</sub> A
Incendio treno merci (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2mr</sub> A-acc



Incendio TM (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria + coinvolgimento TP	I <sub>2mr</sub> A-coin
Incendio TM (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria + coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>2mr</sub> A-coin-acc
Incendio treno merci al locomotore con arresto in galleria	I <sub>2loc</sub> A
Incendio treno merci al locomotore	I <sub>2loc</sub>
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria +coinvolgimento TP	I <sub>2loc</sub> A-coin
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria +coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>2loc</sub> A-coin-acc
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria +accodamento TP	I <sub>2loc</sub> A-acc
<b>TRENI MERCI PERICOLOSE</b>	
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta)	I <sub>2MPA</sub>
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con coinvolgimento treno passeggeri su binario adiacente	I <sub>2MPA</sub> -coin
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2MPA</sub> -acc
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con coinvolgimento TP e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2MPA</sub> -coin-acc
Incendio TMP al materiale rimorchiato (NO ARRESTO)	I <sub>2mr</sub>

## 1.4 STIMA DEL RISCHIO

I risultati dei precedenti step dell'analisi, in particolare la determinazione di frequenze e conseguenze degli scenari incidentali finali, consentono la valutazione del livello di rischio associato all'esercizio della galleria in esame.

Il rischio viene espresso mediante indicatori misurabili, descritti nel successivo paragrafo, che consentono valutazioni in ordine agli obiettivi di sicurezza indicati dal DM, sulla base dei criteri di accettabilità di seguito riportati.

### 1.4.1 INDICATORI DI RISCHIO

Sulla base di quanto esposto nel DM, il rischio può essere espresso come:

- Rischio Atteso Totale (R);
- Rischio Atteso Individuale (IR);
- Rischio Cumulato (CR).

Il livello di Rischio atteso totale (R) può essere valutato come segue:

$$R = \sum_{j=1}^s \sum_{i=1}^{n_s} p_{ji} C_{ji}$$

dove:

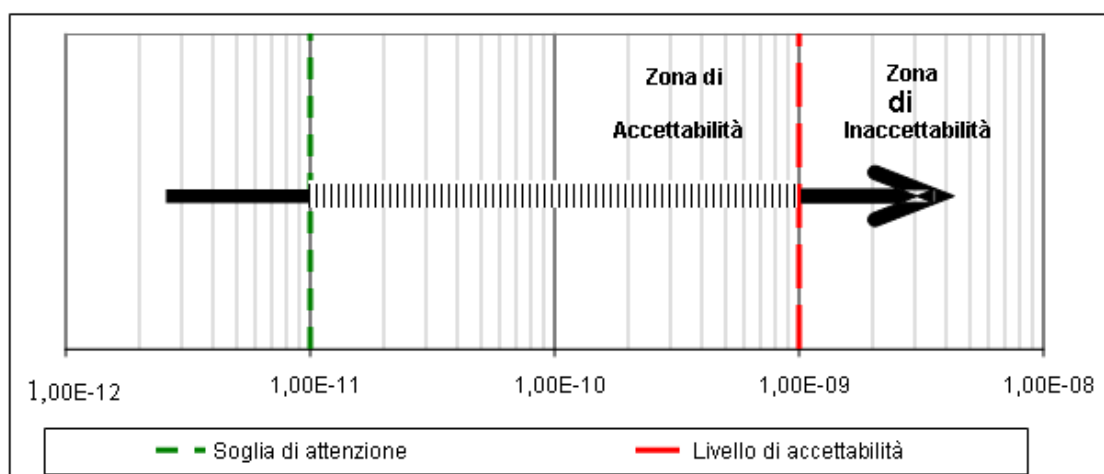
- $p_{ji}$  è la probabilità di accadimento della conseguenza i-esima riferita allo scenario base j-esimo;
- $C_{ji}$  indicatore associato alla conseguenza i-esima (numero di fatalità attese) riferita allo scenario j-esimo;
- S è il numero degli scenari base (eventi iniziali) identificati;
- $n_s$  è il numero di tutti i possibili eventi finali per ogni scenario base.

R indica, quindi, il numero di fatalità attese per una specifica galleria e per uno specifico regime di traffico.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA          RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b>								
	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>Galleria MURANO</b>								
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i>	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	FASE R	ENTE 04	TIPO DOC. SR	OPERA/DISCIPLINA SC0001	PROG. 002	REV. A	FOGLIO 147 di 200

Il rischio individuale definisce il valore atteso di rischio annuo per passeggero e per km. La misura del livello di IR si ottiene normalizzando il valore del precedente indicatore "R" rispetto alla popolazione esposta in un intervallo di tempo prefissato (un anno) e per chilometro percorso in galleria.

Il DM fissa un livello di accettabilità del rischio individuale, espresso in fatalità/(passeggeri-km-anno) (*cf.* Figura 23). Ipotizzando, in modo cautelativo, che ciascun utente percorra in media 1.000 km/anno sul sistema ferroviario, il valore di rischio individuale inaccettabile in galleria viene fissato in  $10^{-9}$  fatalità/(passeggeri-km-anno); la soglia di attenzione è fissata in  $10^{-11}$  fatalità/(passeggeri-km-anno).



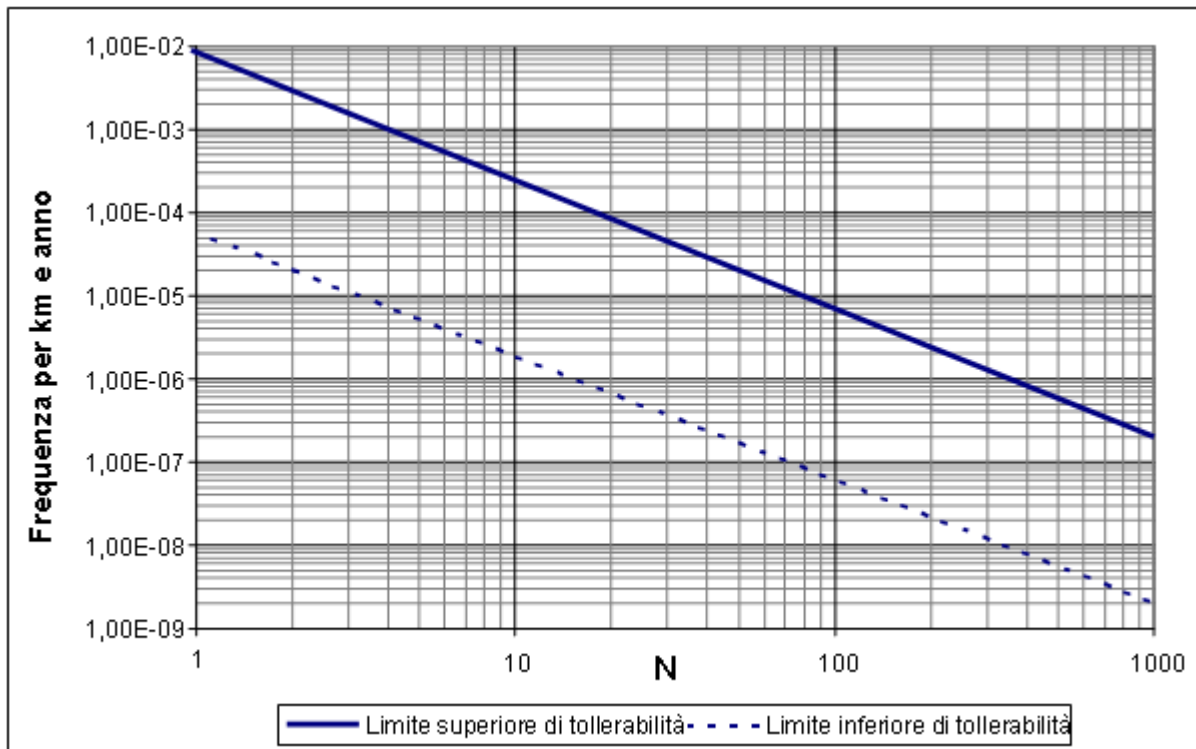
**Figura 23:** Livelli di accettabilità del Rischio Individuale nelle gallerie ferroviarie

L'indicatore di rischio cumulato consente di valutare gli effetti dell'evoluzione degli eventi pericolosi sui passeggeri esposti. Il livello di CR è definito sulla base della distribuzione di probabilità cumulata del livello di danno (riferita sempre ad un anno).

Al fine di determinare l'accettabilità del rischio cumulato occorre valutare la probabilità che si verifichino, in un fissato periodo di tempo (un anno) e per km di galleria, non più di un determinato numero di fatalità [N/km-anno].

Il DM stabilisce una soglia di accettabilità introducendo un criterio di limitazione sul piano  $\{P([N/km-anno]>x), N\}$  dove si valuta la probabilità che le fatalità superino una predeterminata soglia. In Figura 24 è riportato il criterio di accettabilità della funzione

cumulata di probabilità; tale criterio impone che il numero di fatalità per km e per anno sia inferiore rispetto alle soglie di riferimento rappresentate nello stesso diagramma.



**Figura 24:** Livelli di accettabilità del Rischio Cumulato nelle gallerie ferroviarie

Il limite superiore ed il limite inferiore (o soglia di attenzione) di tollerabilità definiscono, al loro interno, la regione ALARP. Qualora il rischio calcolato ricadesse in tale zona, dovrebbero essere compiuti sforzi, se ragionevolmente praticabili, per ricondurre il profilo di rischio nella zona di accettabilità.

Il rischio cumulato ed il rischio atteso individuale costituiscono, insieme, le grandezze di riferimento per l'accettabilità del livello di sicurezza del passeggero associato alla specifica galleria.

	<p>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</p> <p>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA Galleria MURANO</p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>149 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	149 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	149 di 200											

#### 1.4.2 VALUTAZIONI DI TIPO ALARP

Le gallerie il cui profilo di rischio ricada in zona ALARP vengono sottoposte a valutazioni di approfondimento al fine di dimostrare che il livello di rischio calcolato sia *as low as reasonable practicable*.

In particolare, in tali casi si procede secondo i seguenti step di analisi:

- *Valutazione dei profili di rischio*, per l'individuazione degli scenari cui sia imputabile la posizione in zona ALARP del profilo di rischio al fine di valutare le aree di rischio da ridurre per ricondurre il profilo in piena accettabilità;
- *Accuratezza dei valori di rischio*, per fornire evidenza (mediante diversa rappresentazione grafica, in scala non bi-logaritmica) della significatività dei risultati ottenuti rispetto ai limiti di accettabilità;
- *Analisi costi-benefici*, per valutare il beneficio atteso dalla mitigazione/prevenzione degli scenari critici in ragione dei costi delle misure di contenimento individuate.

Nelle gallerie ferroviarie il conseguimento degli obiettivi di sicurezza è infatti il risultato di una combinazione ottimale di requisiti, presenti e/o adottabili, applicati all'infrastruttura, al materiale rotabile ed alle misure organizzative ed operative.

Le suddette misure di sicurezza (predisposizioni di sicurezza di tipo strutturale, impiantistico, procedurale/organizzativo) possono influenzare:

- le cause di innesco dei singoli eventi iniziatori, modificando quindi le frequenze di accadimento degli eventi base;
- le probabilità associate ai *gate* degli alberi degli eventi, modificando quindi le frequenze di accadimento degli eventi finali;
- i parametri caratterizzanti i modelli di letalità, modificando quindi il numero di fatalità attese per evento finale.

A seconda del loro effetto, le diverse predisposizioni consentono il conseguimento dei seguenti scopi:

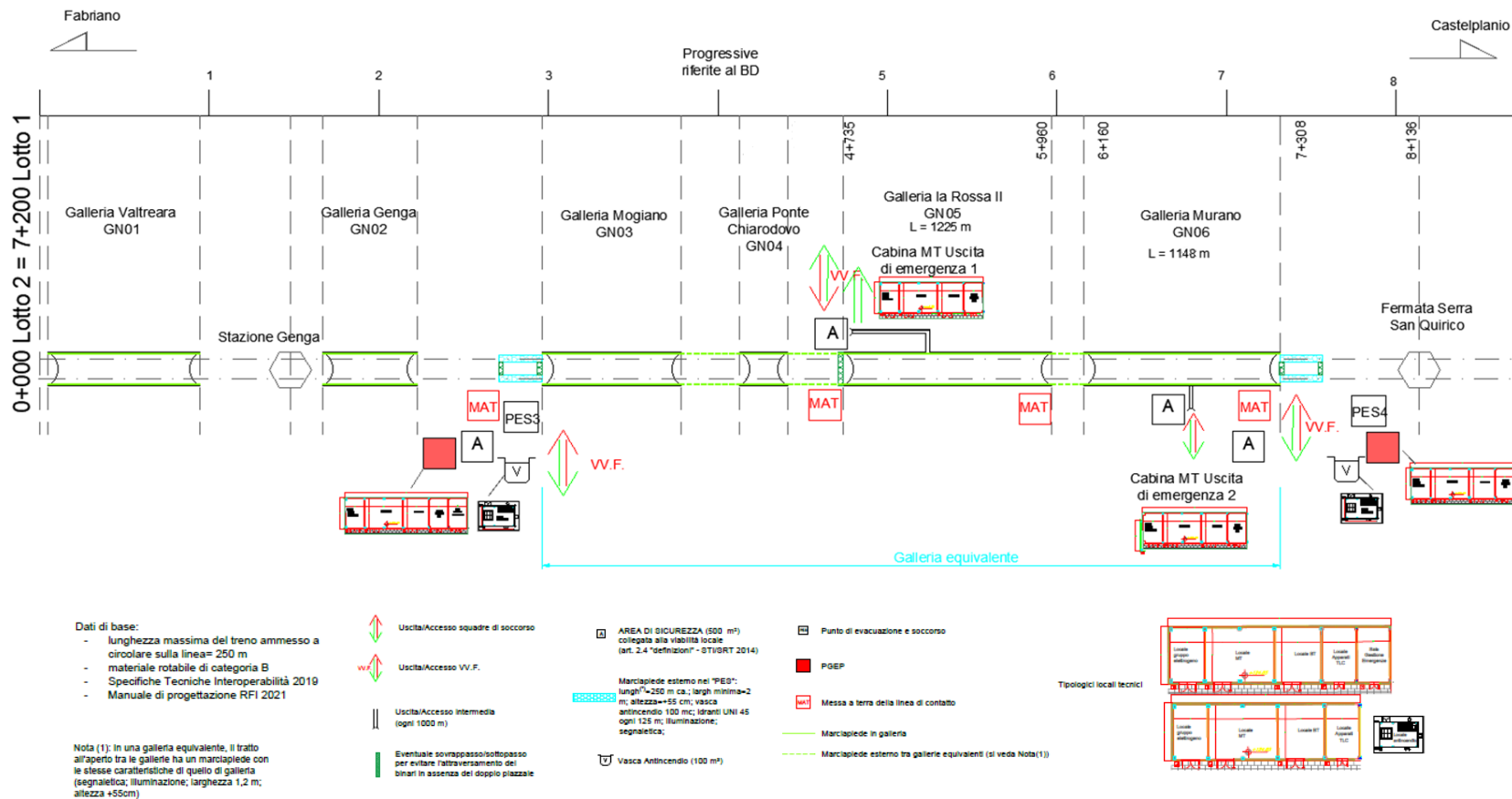
- previsione e prevenzione degli eventi incidentali;
- protezione dei soggetti esposti e mitigazione delle conseguenze;
- facilitazione dell'esodo delle persone e dell'intervento delle squadre di soccorso.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>150 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	150 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	150 di 200											

## 2. CALCOLO DEL LIVELLO DI RISCHIO DELLA GALLERIA MURANO

La metodologia adottata per lo svolgimento dell'analisi di rischio, illustrata nel capitolo precedente, è stata applicata alla galleria oggetto di studio ottenendo i risultati indicati nei paragrafi seguenti.

Di seguito si riporta lo schematico, con indicazione degli accessi dei VV.F., delle vie di esodo e delle predisposizioni di sicurezza del lotto 2 in cui ricade la galleria in esame:



**Figura 25:** Schema generale accessi, vie di esodo e predisposizioni di sicurezza del lotto 2 in cui ricade la galleria Murano

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>152 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	152 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	152 di 200											

## **2.1 ANALISI PRELIMINARE DEI RISCHI PER LA GALLERIA MURANO**

Nei paragrafi che seguono si riportano gli esiti dell'analisi preliminare dei rischi per la galleria in esame.

### **2.1.1 VERIFICA DELL'APPLICABILITÀ DEI PERICOLI**

La verifica dell'applicabilità dei pericoli alla galleria in esame consente di:

- rilevare le potenziali problematiche cui possono condurre nella fase di esercizio e gestione della linea ferroviaria (ad es. i possibili incidenti dovuti a cedimenti, guasti, manutenzione inadeguata di infrastruttura e materiale rotabile ecc.);
- evidenziare le peculiarità del territorio da un punto di vista della caratterizzazione (ad es. contesto idrogeologico, condizioni metereologiche caratteristiche, ecc.) e del fattore antropico (presenza di gasdotti, oledotti, stabilimenti a rischio, etc.)
- fornire indicazioni sui documenti/elaborati di riferimento utilizzati per l'identificazione degli hazard e delle eventuali misure previste, in coerenza con il livello di approfondimento del progetto (ad es. nel caso di interferenze con sottoservizi, rimando alle convenzioni e/o progetti di risoluzione, in coerenza con la fase progettuale).

Per la verifica dell'applicabilità dei pericoli riportati nella sezione metodologica (*cf.* § 1.1.3) viene considerata la galleria nella configurazione dotata dei requisiti di progetto, inquadrandola nell'ambito del territorio in cui ricade, secondo il livello di approfondimento correlato alla fase di progetto e alla luce delle evidenze statistiche desunte in base all'analisi dei dati incidentali (di cui al § b):



dati generali per analisi preliminare/copertura hazard					
famiglie di hazard		hazard	modalità di verifica applicabilità e copertura hazard	documenti di riferimento e/o elaborati di progetto per la verifica	
hazard correlati alle cause tecniche	guasti e/o cedimenti infrastruttura o materiale rotabile	malfunzionamenti/usura/deterioramenti dei sistemi o sottosistemi preposti alla disponibilità e alla sicurezza della circolazione	analisi degli incidenti: frequenza e conseguenze e cause	BDS/BDP- Documenti generali di progetto e dei requisiti di base	
hazard correlati all'ubicazione della galleria sul territorio	fattore antropico	rilascio di gas o liquidi pericolosi da sistemi di distribuzione	verifica presenza di oleodotti/gasdotti in attraversamento o parallelismo al tracciato	dossier interferenze/progetti di risoluzione	
		presenza aree a rischio specifico agli imbocchi (stabilimenti a rischio incidente rilevante in prossimità degli imbocchi)	verifica distanza degli stabilimenti RIR ai sensi del DLgs 105/2015	Inventario Stabilimenti RIR kmz intervento	
	interferenza con traffico stradale	verifica presenza di viabilità in attraversamento o stretto parallelismo e/o aeroporti	planimetrie generali		
	interferenza con traffico aereo				
	caratterizzazione del territorio	presenza di gas infiammabile nel sottosuolo	sismicità dell'area	analisi della caratterizzazione sismica, geomorfologica, geotecnica, idrologica/idrogeologica e verifica delle eventuali misure di progetto di contenimento dei potenziali rischi correlati	relazione opere in sotterraneo, relazione geotecnica, relazione geologica, relazione idrologia e idraulica, profili geotecnici, relazioni di stabilità trincee/rilevati, etc.
			fenomeni alluvionali/esondazioni/infiltrazioni acque di falda, etc.		
dissesti/ instabilità dei pendii					
pericoli/hazard ascrivibili a personale e/o utenti	Violazioni/comportamenti inadeguati	mancato rispetto regolamenti o prescrizioni	analisi degli incidenti: frequenza e conseguenze e cause	BDS/BDP- Documenti generali di progetto e dei requisiti di base	
		atti vandalici/accesso non autorizzato			

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>154 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	154 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	154 di 200											

Nel successivo paragrafo sarà fornita evidenza degli *hazard* applicabili alla galleria in esame in linea con le informazioni disponibili (*cfr.* II.1) in questa fase di progetto, clusterizzati in base alle sorgenti:

- Materiale rotabile
- Infrastruttura
- Esterne al sistema ferroviario
- Personale e/o utente

Tali pericoli potenziali saranno oggetto di ulteriori approfondimenti nel corso dello sviluppo delle successive fasi progettuali. Alcuni aspetti, infatti, come ad esempio la completa caratterizzazione geologica/geotecnica del territorio o la risoluzione delle interferenze con i sottoservizi censiti vengono sviluppati compiutamente nel corso della progettazione successivamente. In tal senso, tra i pericoli riconducibili a cause esterne al sistema ferroviario quelli di natura ambientale (ad es. la presenza di gas infiammabile nel sottosuolo) e i pericoli relativi ad interferenze (ad es. con gasdotti/metanodotti), potranno essere opportunamente valutati quando disponibili gli esiti delle relative indagini e delle interlocuzioni con gli enti interessati.

### **2.1.2 RIFERIMENTI PER LA VERIFICA DI APPLICABILITÀ E GESTIONE DEI PERICOLI**

Sulla base di quanto illustrato nel precedente paragrafo, sono stati individuati i pericoli applicabili alla galleria in esame.

**Tabella 22:**

Pericoli potenziali/*hazard* – Incidenti/rischi per la galleria Murano

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Galleria Murano
pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a <i>cause tecniche relative al materiale rotabile</i>	deterioramento/cedimento meccanico dell'impianto frenante	deragliamento, collisione	X
	guasto alla logica di gestione dell'impianto frenante	deragliamento, collisione	X
	cedimento strutturale del veicolo	deragliamento	X
	corto circuito degli impianti elettrici di bordo	incendio di materiale rotabile	X
	guasto all'equipaggiamento termico del sistema di trazione diesel	incendio di materiale rotabile	X
	rilascio di combustibile da locomotore diesel	Incendio di materiale rotabile, esplosione	X
	surriscaldamento organi meccanici	incendio di materiale rotabile	X
	surriscaldamento organi elettrici	incendio di materiale rotabile	X
	emissione/rilascio di sostanze pericolose da treno merci pericolose danneggiato	rilascio sostanze tossiche, incendio, esplosione	X
	difettosità/usura delle strutture e dei componenti dei carri	rilascio sostanze tossiche, incendio, esplosione	X
	guasto al sistema di condizionamento di bordo	generici incidenti ai passeggeri	X
	perdita di trazione del veicolo	deragliamento, collisione	X
	pericoli/ <i>hazard</i> riconducibili a <i>cause tecniche relative all'infrastruttura</i>	guasto all'impianto di rilevamento boccole calde	deragliamento, collisione, incendio di materiale rotabile
perdita completa di potenza elettrica		deragliamento, collisione	X
sezione di linea disalimentata		deragliamento, collisione	X
perdita completa di alimentazione agli apparati di linea		deragliamento, collisione	X
cedimento strutturale dell'armamento		deragliamento	X
cedimenti strutturali delle opere civili		deragliamento, urto contro ostacoli	X

<sup>13</sup> È presente un impianto RTB al km 228+799 LS.

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Galleria Murano
	guasto al sistema che gestisce le logiche di blocco	deragliamenti, collisione	X
	indisponibilità/guasto del sistema che gestisce le logiche di <i>interlocking</i>	deragliamenti, collisione	X
	sovrappressioni, effetto pistone	generici incidenti per i passeggeri	X
	allagamento galleria: guasto ai sistemi di pompaggio	deragliamenti	
	allagamento galleria: rottura condotte dell'impianto antincendio	deragliamenti	
	corto circuito degli impianti di trazione elettrica	incendio di materiale rotabile	X
	corto circuito/difettosità della linea di alimentazione	incendio in linea	X
	corto circuito/difettosità degli impianti nei locali tecnici	incendio in linea	X
	corto circuito/difettosità degli impianti nei collegamenti trasversali tra le due canne di una galleria	incendio in linea	
	corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi/finestre di accesso	incendio in linea	X
	corto circuito/difettosità degli impianti nei pozzi di estrazione	incendio in linea	
	evacuazione in viadotto/ponte/trincea	generici incidenti ai passeggeri	X <sup>14</sup>
	evacuazione in tunnel	generici incidenti ai passeggeri	X
	inversione di pendenza "a schiena d'asino": aumento localizzato della concentrazione dei fumi	aumentato rischio per i passeggeri per esodo in caso di incendio	
	ristagno delle acque intercluse: inversione di pendenza "a corda molle"	deragliamenti	
pericoli/hazard riconducibili a <i>cause esterne al sistema ferroviario</i>	rilascio di gas o liquidi pericolosi da sistemi di distribuzione	incendio in linea, esplosione	X <sup>15</sup>
	aree a rischio specifico agli imbocchi	deragliamenti, urto contro ostacoli, incendio, esplosione	
	uscita dalla sede stradale di mezzi o merci verso il tracciato ferroviario	deragliamenti, urto contro ostacoli	X

<sup>14</sup> Entrambi gli imbocchi della galleria sono in trincea.

<sup>15</sup> Sono presenti attraversamenti di linee gas interrate in prossimità degli imbocchi.

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Galleria Murano
	abbagliamento mezzi stradali in transito	deragliamenti, collisione	X
	interventi di emergenza sulla sede stradale	deragliamenti, urto contro ostacoli	X
	interferenza con traffico aereo	deragliamenti, collisione, incendio	
	oggetti lanciati sulla linea	deragliamenti, urto contro ostacoli	
	intrusione nei locali tecnici e centro di controllo	deragliamenti, collisione, incendio	X
	atti vandalici all'interno del treno o nelle vicinanze della linea	incendio, esplosione	X
	presenza di gas infiammabile nel sottosuolo	incendio in linea, esplosione	
	presenza di animali sul binario/ostacoli sulla linea	deragliamenti, urto contro ostacoli/animali	X <sup>16</sup>
	sisma	deragliamenti, incendio	X <sup>17</sup>
	fenomeni alluvionali	deragliamenti	X
	esondazioni in corrispondenza di corsi d'acqua o canali artificiali/infiltrazione acque di falda	deragliamenti	X
	instabilità dei pendii	deragliamenti, urto contro ostacoli	
	valanghe	deragliamenti, urto contro ostacoli	
	effetto del vento	deragliamenti	
pericoli/hazard ascrivibili a <i>personale e/o utenti</i>	intrappolamento tra convoglio e banchina	generici incidenti ai passeggeri	
	intrappolamento nelle porte	generici incidenti ai passeggeri	
	tentativo di discesa a treno già avviato	generici incidenti ai passeggeri	
	caduta sui binari in stazione	generici incidenti ai passeggeri	
	generico pericolo in stazione	generici incidenti ai passeggeri	
	eccessivo affollamento piattaforma	generici incidenti ai passeggeri	
	attraversamento del binario	generici incidenti ai passeggeri	
	treno in movimento con porte aperte	generici incidenti ai passeggeri	

<sup>16</sup> La galleria ricade in aree classificate "rurali" (Cfr. Programma di sviluppo rurale regione Marche 2014-2020).

<sup>17</sup> Tutti i territori comunali attraversati dal lotto 2 (Fabriano, Genga, Serra San Quirico) ricadono in zona sismica 2.

hazard cluster	Pericoli potenziali ed <i>hazard</i>	Incidenti / Rischi	Galleria Murano
	porte aperte dal lato sbagliato	generici incidenti ai passeggeri	
	oggetti abbandonati sulla linea	deragliamenti, urto contro ostacoli	
	mancato rispetto regolamenti/prescrizioni/segnali	deragliamenti, collisione, urto contro ostacoli	X
	supero velocità massima	deragliamenti	X
	manutenzione inadeguata	deragliamenti, urto contro ostacoli, incendio	X
	interventi di emergenza sulla linea ferroviaria	deragliamenti, urto contro ostacoli, incendio	X

Per gli hazard evidenziati in *check list* si rimanda, secondo la corrispondenza riportata nella tabella di cui al precedente paragrafo, ai documenti di riferimento ed agli elaborati progettuali (Rif. § II.1), per il dettaglio relativo ai pericoli e ad eventuali misure/ standard /norme/ codici applicati per la loro gestione in questa fase.

Ulteriori approfondimenti saranno oggetto delle successive fasi di progetto.

### 2.1.3 IDENTIFICAZIONE DEGLI EVENTI INIZIATORI

Sulla base di quanto sopra, gli eventi critici iniziatori selezionati e oggetto della successiva fase quantitativa sono quelli individuati in generale per un sistema galleria, non presentando il sistema in esame elementi di specificità:

- Deragliamenti;
- Collisione tra treni;
- Incendio di materiale rotabile.

## **2.2 DETERMINAZIONE DEI RATEI DEGLI EVENTI INIZIATORI**

Di seguito si riporta per la galleria oggetto di studio il valore dei ratei degli eventi iniziatori presi in esame dalla presente analisi, calcolati con riferimento allo scenario di traffico considerato (*cf.* II.4).

### **2.2.1 DERAGLIAMENTO**

Il rateo dell'evento deragliamento, espresso in eventi all'anno, è uguale al prodotto del tasso di deragliamento (calcolato al § 1.2.2), moltiplicato per il traffico della tratta in esame, per la lunghezza della galleria e per il fattore che tiene conto degli eventi di svio in assenza di deviatori nella galleria. Di seguito si riporta il rateo di deragliamento per i treni nello scenario di traffico preso in esame:

#### **Treno Passeggeri**

<i>espressione del rateo Der TP</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTP}} = T_{rTP} \times 365 \times f_{\text{derTP}} \times L_{\text{gall}} \times F_{\text{DTP}}$
<i>scenario di Progetto – caso A = scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTP}} = 1,40 \times 10^{-4} \text{ eventi/anno}$

### Treno Merci

<i>espressione del rateo Der TM</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTM}} = T_{\Gamma\text{TM}} \times \% \text{TM} \times 365 \times f_{\text{der TM}} \times L_{\text{gall}} \times F_{\text{DTM}}$
<i>scenario di Progetto – caso A = scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTM}} = 8,88 \times 10^{-5} \text{ eventi/anno}$

### Treno Merci Pericolose

<i>espressione del rateo Der TMP</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTMP}} = T_{\Gamma\text{TMP}} \times \% \text{TMP} \times 365 \times f_{\text{der TMP}} \times L_{\text{gall}} \times F_{\text{DTM}}$
<i>scenario di Progetto – caso A = scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{\text{derTMP}} = 9,87 \times 10^{-6} \text{ eventi/anno}$

## 2.2.2 COLLISIONE

Nella galleria in esame è presente il sistema di distanziamento treni tipo SCMT; la probabilità di fallimento di tale sistema ed il conseguente rateo di collisione per la galleria, sono stati calcolati per lo scenario di traffico considerato.

In particolare:



<i>espressione della probabilità di fallimento SCMT</i>	$P_{SCMT} = \frac{L_{gall} \sqrt{v}}{100000}$
<i>espressione del rateo di collisione</i>	$\text{Rateo}_{coll} = f_{coll} \times L_{gall} \times T_{tot} \times 365 \times P_{SCMT}$
<i>probabilità fallimento SCMT</i>	$P_{SCMT} = 6,79 \times 10^{-8}$
<i>rateo collisione scenario di Progetto – caso A = rateo collisione scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{coll} = 3,45 \times 10^{-12} \text{ eventi/anno}$

In conclusione, per lo scenario di traffico esaminato la frequenza di collisione, valutata nei casi di fallimento/indisponibilità del sistema di segnalamento presente sulla linea combinati con la possibilità che ci sia transito di treni ed errore umano, è tale da ritenere l'evento "inverosimile".

### 2.2.3 INCENDIO

Il rateo dell'evento incendio di materiale rotabile, espresso in eventi all'anno, è uguale al prodotto del tasso di incendio (cfr. § 1.2.2) moltiplicato per il traffico della galleria in esame, per la lunghezza della galleria e per il fattore che tiene conto degli eventi gravi (solo per i treni passeggeri). Di seguito si riporta il rateo di incendio per i treni nello scenario di traffico preso in esame:

### Treno Passeggeri

<i>espressione del rateo Inc TP</i>	$\text{Rateo}_{\text{incTP}} = T_{\Gamma\text{TP}} \times 365 \times F_G \times f_{\text{incTP}} \times L_{\text{gall}}$
<i>scenario di Progetto – caso A = scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{\text{incTP}} = 3,45 \times 10^{-6} \text{ eventi/anno}$

### Treno Merci

<i>espressione del rateo Inc TM</i>	$\text{Rateo}_{\text{incTM}} = T_{\Gamma\text{TM}} \times 365 \times f_{\text{incTM}} \times L_{\text{gall}}$
<i>scenario di Progetto – caso A = scenario di Lungo Termine – caso B = scenario alla base degli Atti Autorizzativi – caso C</i>	$\text{Rateo}_{\text{incTM}} = 3,11 \times 10^{-5} \text{ eventi/anno}$

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>163 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	163 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	163 di 200											

## **2.3 SEQUENZE INCIDENTALI**

Di seguito si riportano per la galleria in esame le sequenze incidentali sviluppate utilizzando l'ETA a partire dagli eventi iniziatori selezionati.

Con riferimento allo scenario di traffico preso in esame, viene fornita evidenza delle probabilità di accadimento e dei modelli utilizzati per il calcolo delle conseguenze di ogni scenario incidentale finale.

Le sequenze incidentali considerate per la galleria Murano tengono conto della configurazione della galleria (descritta al § II.3) e dello scenario di traffico (descritto al § II.4).

Le sequenze originate dallo svio, sviluppate separatamente per treni passeggeri, treni merci e treni merci pericolose, prevedono in particolare la possibilità di scontro con un treno (a seguito dell'occupazione del binario adiacente) e l'incendio nel caso la sequenza coinvolga treni diesel e treni merci pericolose, oltre al successivo potenziale coinvolgimento/accodamento pericoloso di un treno passeggeri sopraggiungente.

Le sequenze di incendio, elaborate separatamente per treni passeggeri, treni merci/merci pericolose, prevedono lo sviluppo di rami separati per eventi al locomotore o al materiale rimorchiato, l'arresto in galleria e il successivo potenziale coinvolgimento/accodamento pericoloso di un ulteriore treno passeggeri.

### **2.3.1 FREQUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI FINALI**

Le espressioni delle probabilità associate ai gates caratterizzanti gli alberi degli eventi sviluppati sono esplicitate nel Cap. 1 che descrive la metodologia di analisi adottata, mentre i relativi valori sono indicati, per lo scenario di traffico preso in esame, negli alberi stessi di seguito riportati (*cf.* § 2.3.3).

### 2.3.2 CONSEGUENZE DEGLI SCENARI INCIDENTALI FINALI

Le espressioni dei modelli di letalità associati ai possibili scenari incidentali finali sono di seguito riportate, con l'indicazione di quelli adottati per il calcolo delle conseguenze negli alberi degli eventi sviluppati per lo scenario di traffico preso in esame.

#### Modelli di letalità applicati agli scenari di deragliamento

Scenario	ID	Galleria Murano
<b>TRENI PASSEGGERI</b>		
<b><i>Deragliamento treno passeggeri con fatalità</i></b>	Dg <sub>1</sub>	X
Deragliamento grave <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci/merci pericolose	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> - incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub> diesI	p.m.
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> – incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub> diesI-acc	p.m.
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub> MPI	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>2</sub> MPI-acc	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri- collisione con treno passeggeri	Dg <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio	Dg <sub>1</sub> C <sub>1</sub> diesI	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> – incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> C <sub>1</sub> diesI-acc	X
<b><i>Deragliamento treno passeggeri (senza fatalità)</i></b>	D <sub>1</sub>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub> diesI	p.m.
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub> diesI-acc	p.m.
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub> MPI	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno merci pericolose-incendio – accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>2</sub> MPI-acc	X

Scenario	ID	Galleria Murano
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> – incendio	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> <i>diesl</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> – incendio – accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> C <sub>1</sub> <i>diesl-acc</i>	X
<b>TRENI PASSEGGERI (trazione diesel)</b>		
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	Dg <sub>1</sub> <i>diesl</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesl-acc</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesl-coin</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesl-coin-acc</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesl-coin*</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesl-coin-acc*</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci - incendio	Dg <sub>1</sub> <i>diesC2-l</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci – incendio- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesC2l-acc</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio	Dg <sub>1</sub> <i>diesC2MPl</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesC2MPl-acc</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio	Dg <sub>1</sub> <i>diesC1l</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio- accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>diesC1l-acc</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	Dg <sub>1</sub> <i>dies-C1dies-l</i>	X
Deragliamento <i>con fatalità</i> treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio-accodamento ulteriore TP	Dg <sub>1</sub> <i>dies-C1dies-l-acc</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1</sub> <i>diesl</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> <i>diesl-acc</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>1</sub> <i>diesl-coin</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> <i>diesl-coin-acc</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>1</sub> <i>diesl-coin*</i>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP-accodamento ulteriore TP	D <sub>1</sub> <i>diesl-coin-acc*</i>	X

Scenario	ID	Galleria Murano
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno merci-incendio	D <sub>1dies</sub> C <sub>2l</sub>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno merci-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> C <sub>2l</sub> -acc	X
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>1dies</sub> -C <sub>2MP</sub> -l	X
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> - collisione con treno merci pericolose-incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> -C <sub>2MP</sub> -l-acc	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio	D <sub>1dies</sub> C <sub>1l</sub>	X
Deragliamento (senza fatalità) treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> C <sub>1l</sub> -acc	X
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -l	X
Deragliamento (senza) fatalità treno passeggeri <i>diesel</i> -collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> - incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>1dies</sub> -C <sub>1dies</sub> -l-acc	X
<b>TRENI MERCI</b>		
<b>Deragliamento treno merci</b>	D <sub>2</sub>	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci	D <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2</sub> C <sub>2dies</sub> l	p.m.
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>2dies</sub> l-acc	p.m.
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>2</sub> C <sub>2MP</sub> l	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno merci pericolose-incendio - accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>2MP</sub> l-acc	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri	D <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2</sub> C <sub>1dies</sub> l	X
Deragliamento treno merci-collisione con treno passeggeri <i>diesel</i> -incendio - accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> C <sub>1dies</sub> l-acc	X
<b>TRENI MERCI (trazione diesel)</b>		
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> -incendio	D <sub>2dies</sub> l	p.m.
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> -incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> l-acc	p.m.
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> l-coin	p.m.
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP-accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> l-coin-acc	p.m.
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> l-coin*	p.m.
Deragliamento treno merci <i>diesel</i> senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento ulteriore TP- accodamento ulteriore TP	D <sub>2dies</sub> l-coin-acc*	p.m.

Scenario	ID	Galleria Murano
<b>TRENI MERCI PERICOLOSE</b>		
Deragliamento treno merci pericolose-incendio	D <sub>2</sub> MPI	X
Deragliamento treno merci pericolose-incendio- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MPI-acc	X
Deragliamento treno merci pericolose con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri	D <sub>2</sub> MPI-coin	X
Deragliamento treno merci pericolose con invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MPI-coin-acc	X
Deragliamento treno merci pericolose senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri	D <sub>2</sub> MPI-coin*	X
Deragliamento treno merci pericolose senza invasione binario adiacente-incendio-coinvolgimento treno passeggeri- accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MPI-coin-acc*	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci –incendio	D <sub>2</sub> MP <sub>C2</sub> I	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci pericolose-incendio	D <sub>2</sub> MP <sub>C2</sub> MPI	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno passeggeri –incendio	D <sub>2</sub> MP <sub>C1</sub> I	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno passeggeri–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP <sub>C1</sub> I-acc	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP <sub>C2</sub> I-acc	X
Deragliamento treno merci pericolose-collisione con treno merci pericolose–incendio-accodamento ulteriore TP	D <sub>2</sub> MP <sub>C2</sub> MPI-acc	X

Modelli di letalità applicati agli scenari di incendio

Scenario	ID	Galleria Murano
<b>TRENI PASSEGGERI</b>		
Incendio treno passeggeri	I <sub>1</sub>	X
Incendio treno passeggeri con arresto in galleria	I <sub>1</sub> A	X
Incendio TP con arresto e coinvolgimento altro TP	I <sub>1</sub> A-coin	X
Incendio TP con arresto - coinvolgimento altro TP – accodamento altro TP	I <sub>1</sub> A-coin-acc	X
Incendio TP con arresto e accodamento altro TP	I <sub>1</sub> A-acc	X
<b>TRENI PASSEGGERI DIESEL</b>		
Incendio treno passeggeri <i>diesel</i>	I <sub>1</sub> dies	X

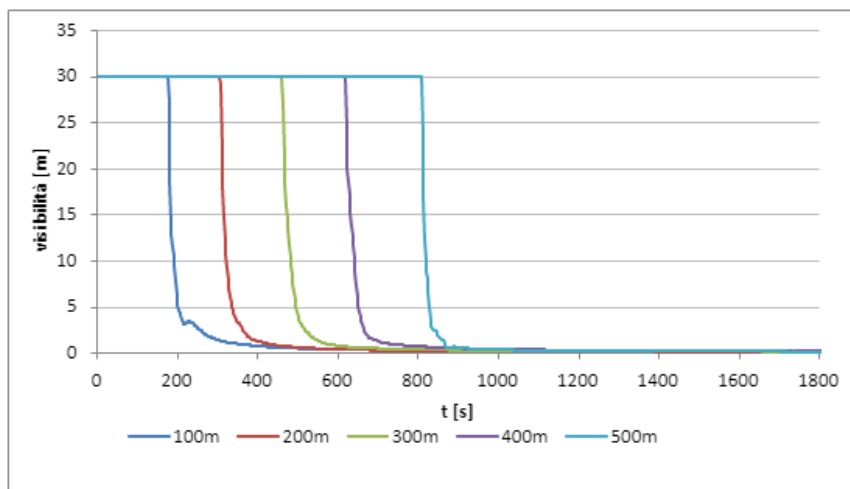
Incendio treno passeggeri <i>diesel</i> con arresto in galleria	I <sub>1dies</sub> -A	X
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria + coinvolgimento TP	I <sub>1dies</sub> -A-coin	X
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria + accodamento TP	I <sub>1dies</sub> -A-acc	X
Incendio treno passeggeri diesel con arresto in galleria + coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>1dies</sub> -A-coin-acc	X
<b>TRENI MERCI</b>		
Incendio treno merci al materiale rimorchiato (NO ARRESTO)	I <sub>2mr</sub>	X
Incendio treno merci (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria	I <sub>2mr</sub> A	X
Incendio treno merci (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2mr</sub> A-acc	X
Incendio TM (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria + coinvolgimento TP	I <sub>2mr</sub> A-coin	X
Incendio TM (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con arresto in galleria + coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>2mr</sub> A-coin-acc	X
Incendio treno merci al locomotore con arresto in galleria	I <sub>2loc</sub> A	X
Incendio treno merci al locomotore	I <sub>2loc</sub>	X
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria + coinvolgimento TP	I <sub>2loc</sub> A-coin	X
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria + coinvolgimento TP + accodamento TP	I <sub>2loc</sub> A-coin-acc	X
Incendio TM/TMP al locomotore + con arresto in galleria + accodamento TP	I <sub>2loc</sub> A-acc	X
<b>TRENI MERCI PERICOLOSE</b>		
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta)	I <sub>2MPA</sub>	X
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con coinvolgimento treno passeggeri su binario adiacente	I <sub>2MPA</sub> -coin	X
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2MPA</sub> -acc	X
Incendio treno merci pericolose (al materiale rimorchiato merce coinvolta) con coinvolgimento TP e accodamento pericoloso di un TP	I <sub>2MPA</sub> -coin-acc	X
Incendio TMP al materiale rimorchiato (NO ARRESTO)	I <sub>2mr</sub>	X

Per il calcolo delle letalità da incendio, riportate nelle espressioni in tabella, è stata implementata la correlazione velocità di esodo/visibilità per la galleria in esame sulla base dei risultati delle simulazioni di incendio elaborate mediante il codice FDS/NIST come indicato nella metodologia (*cf.* § 1.3.2). I modelli di letalità da incendio implementati tengono, comunque, conto oltre che delle diverse velocità dei passeggeri lungo la galleria

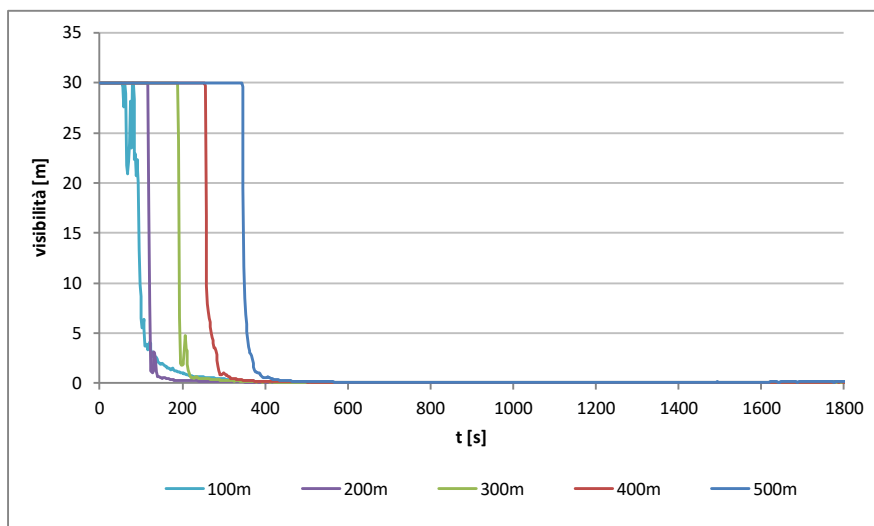


anche delle differenti possibili lunghezze dei percorsi di esodo, funzione della posizione di arresto del treno.

Di seguito si riportano le curve di visibilità/tempo a diverse distanze dal focolaio per i tratti di galleria potenzialmente interessati dall'esodo in caso di incendio da 10MW e da 110MW:



**Figura 26:** Andamento della visibilità nel tempo a diverse distanze dal focolaio per un incendio da 10MW



**Figura 27:** Andamento della visibilità nel tempo a diverse distanze dal focolaio per un incendio da 110MW

Le suddette curve di visibilità si riferiscono a scenari (incendi di treni passeggeri) in cui l'esodo dei viaggiatori avviene a seguito dell'evacuazione del treno e direttamente dal treno incidentato, quindi da una posizione prossima al focolaio, subendo l'influenza della

riduzione della visibilità, effetto più netto vicino alla sorgente. L'andamento della visibilità in galleria non viene riportato per gli scenari di incendio TM o TMP per i quali l'esodo dei passeggeri si configura solo in caso di accodamento di un treno viaggiatori (scenari peraltro a basse frequenze) e, quindi, a partire da distanze decisamente maggiori rispetto al focolaio, per le quali la visibilità avrebbe un effetto meno apprezzabile sull'esodo.

In ogni caso, gli andamenti delle visibilità per tali scenari sono stati considerati modellando cautelativamente l'esodo dei viaggiatori del treno accodato a velocità molto basse (0,3-0,35 m/s) assumendo di fatto condizioni di visibilità sostanzialmente nulla.

L'applicazione del modello di esodo, descritto nella metodologia al § 1.3.2, alla galleria ha permesso di valutare l'andamento del numero di persone presenti lungo tutto il marciapiede, dal tratto antistante la prima carrozza prossima al focolaio di incendio al tratto finale vicino all'uscita utile per l'esodo, in funzione della densità sul marciapiede e della visibilità.

Andamenti delle curve come quelle della galleria in esame, che mostrano per un incendio da 10MW valori di visibilità che scendono al di sotto dei 5 m in un tempo superiore all'inizio dell'esodo (ipotizzabile in 180s), solo nei primi 80-100m dal focolaio, consentono di ipotizzare per i passeggeri nell'intorno del focolaio stesso e fino a distanze confrontabili con i suddetti valori, velocità di esodo sicuramente superiori al minimo 0,3 m/s (indipendentemente dall'ampiezza del marciapiede), fino a 0,35 - 0,4 m/s che possono potenzialmente aumentare in allontanamento dal focolaio per i viaggiatori che inizino l'esodo a distanze sempre maggiori dallo stesso (ad esempio a 300 m rispetto al focolaio la visibilità si riduce sotto i 5 m intorno ai 500 s); per un incendio da 110MW la distanza dal focolaio in cui l'esodo è caratterizzato da velocità intorno a 0,3 m/s è leggermente più ampia, estendendosi fino a 300 m.

Tuttavia, lo studio dell'andamento della visibilità e dell'affollamento lungo i percorsi di evacuazione per determinare i valori di velocità di esodo, funzionali al calcolo della letalità da incendio, viene utilizzato, cautelativamente, come una sorta di studio dei massimi,

un'analisi di controllo. Tale approccio si traduce fundamentalmente in due assunzioni di base che guidano il calcolo delle conseguenze:

- anche nei casi in cui la lunghezza del treno consentirebbe di assumere per quota parte degli esodanti velocità di esodo fino a 1 m/s, in virtù delle distanze dal focolaio ed in funzione dell'ampiezza della sezione, le velocità considerate per l'intera popolazione sono mantenute in un range ristretto che include sempre la minima velocità e che, per sezioni di area libera simile alla galleria in esame non supera i 0,4 m/s, calcolata considerando la minima distanza dal focolaio d'incendio;
- pur considerando nel modello di esodo la distribuzione dei passeggeri lungo il treno (assumendo peraltro un affollamento doppio nelle carrozze centrali per valutare se tale condizione si associ a possibili code) per l'intera popolazione si assume, in funzione della posizione del treno, la distanza massima rispetto all'uscita più vicina, a partire cioè dalla prima carrozza, in coerenza con l'ipotesi di associare la stessa velocità all'intero flusso di esodo.

Tali assunzioni, cautelative, consentono tra l'altro di tenere conto di condizioni di esodo svantaggiate (anziani, persone a mobilità ridotta), che possono in generale abbassare la media delle velocità di esodo calcolate dal modello.

In tal senso anche l'effetto della presenza di misure, laddove previste, a supporto della gestione dell'esodo (come ad esempio diffusione sonora, etc.) e della gestione dell'emergenza da parte delle squadre di soccorso (ad esempio impianto idrico antincendio) non è, cautelativamente, implementato nei modelli per il calcolo delle letalità.

Sulla base delle suddette valutazioni per gli esodanti, partendo dal valore di letalità calcolato per le persone in grado di effettuare autosoccorso e maggiorandolo, si stima la letalità dei feriti/disabili, in considerazione di diversi fattori, dall'immobilità (che li vincola ad una esposizione costante nello spazio e variabile nel tempo) al tempo complessivo di esposizione, dipendente tra l'altro dalla facilità di accesso per i soccorsi all'infrastruttura (presenza di accessi/uscite, ambito urbano, etc.).

In Appendice alla presente relazione, oltre agli andamenti della concentrazione di CO e della temperatura ottenuti dalle simulazioni di incendio sviluppate per la galleria in esame, vengono riportati i grafici relativi all'esodo, in particolare quelli relativi al flusso di esodo e al numero di persone in transito a metà convoglio, in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi del possibile punto critico per il deflusso. Tale potenziale criticità è dovuta alle ipotesi di distribuzione non uniforme del carico di passeggeri (nelle due carrozze centrali si considerano concentrati il doppio dei passeggeri che occupano le restanti carrozze), oltre che alle condizioni di scarsa visibilità, peggiori nella prima metà del treno (essendo l'incendio collocato sulla carrozza di testa). L'effetto complessivo del maggior numero di persone e della scarsa visibilità potrebbe, nel caso di larghezza del marciapiede non sufficiente, creare delle code, rallentando l'esodo e prolungando pertanto i tempi di esposizione ai fumi dei passeggeri più vicini al focolaio. Per la galleria in esame, tuttavia, la potenziale criticità rimane tale, in quanto anche considerando il numero di viaggiatori più alto (relativo ai treni passeggeri lunga percorrenza) il picco del numero di persone è puntuale e si esaurisce senza comportare l'interruzione del flusso.

### 2.3.3 ALBERI DEGLI EVENTI

Gli alberi degli eventi sviluppati per la galleria nella sua configurazione di progetto sono di seguito rappresentati per lo scenario di traffico analizzato, caso A=B=C.



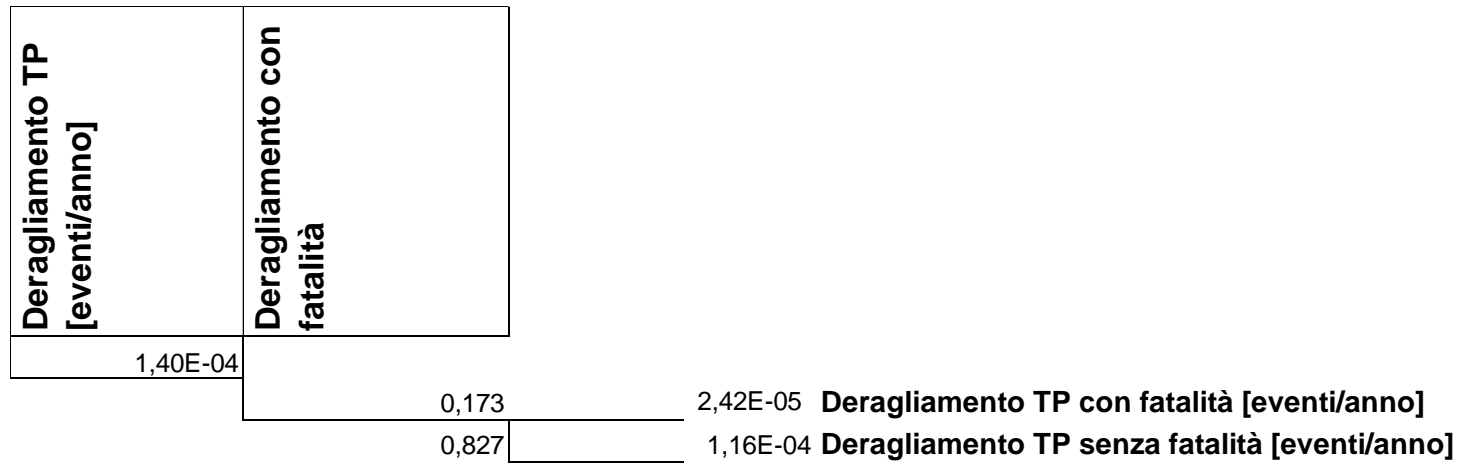
**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

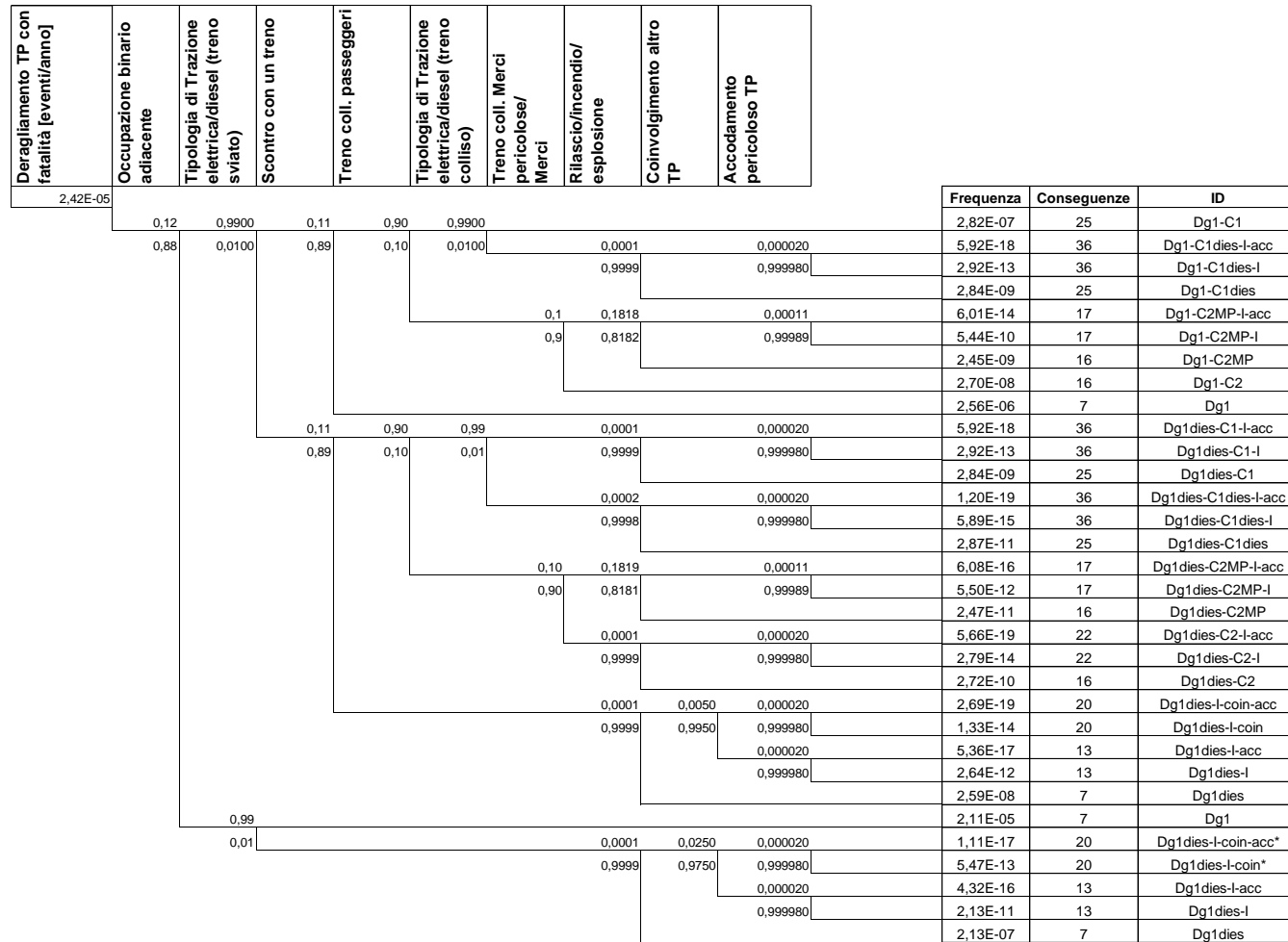
**Galleria MURANO**

DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI  
RISCHIO *ai sensi del DM del 28/10/2005*

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	173 di 200



**Figura 28:** ETA – *Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano*, Gravità del deragliamento treno passeggeri



**Figura 29:** ETA - Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano, Albero di deraggiamento treno passeggeri con fatalità

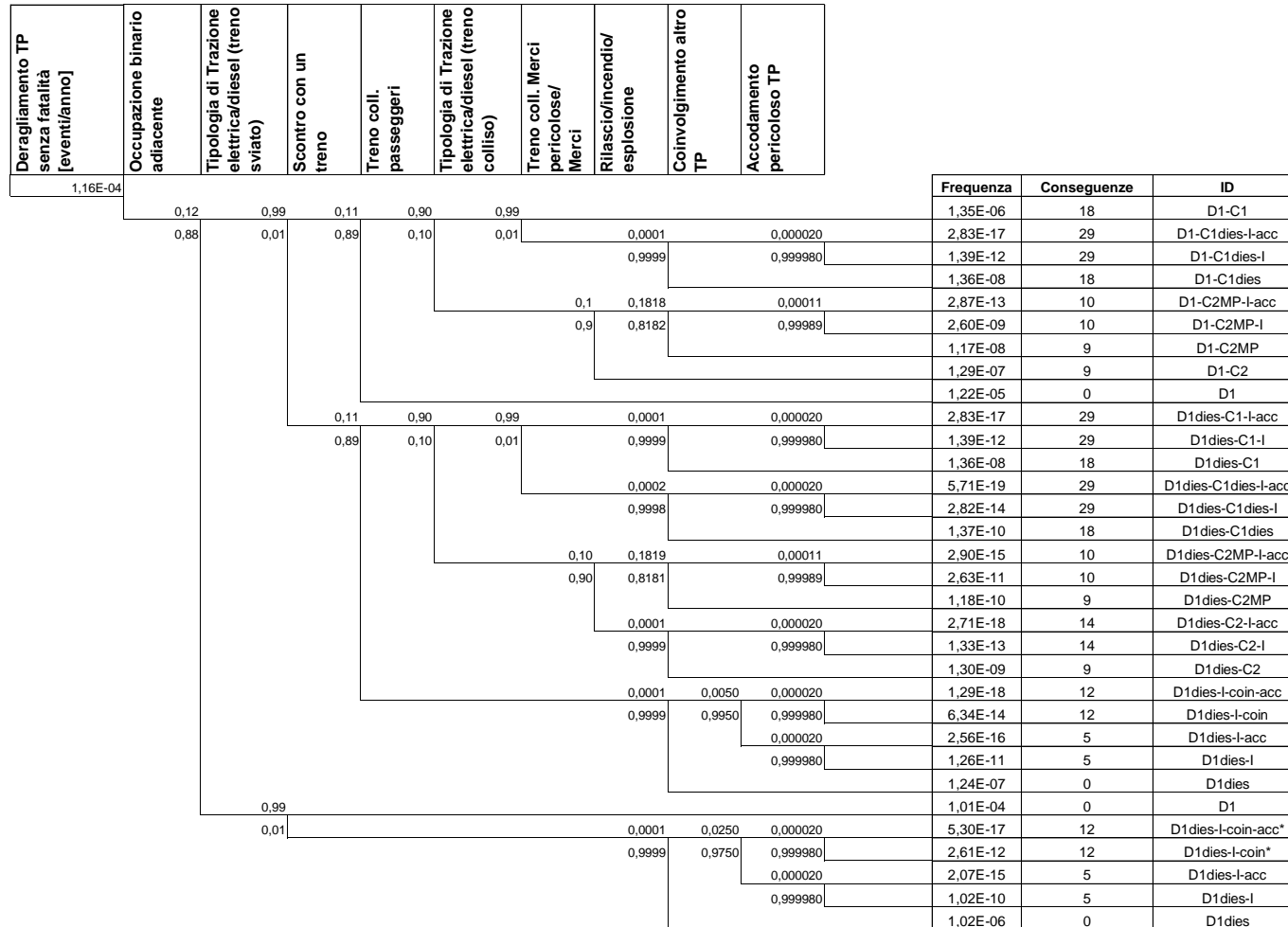


Figura 30: ETA - Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano, Albero di deragliamenti treno passeggeri senza fatalità

Deragliamento TM [eventi/anno]	Occupazione binario adiacente	Scontro con un treno	Treno coll. passeggeri	Tipologia di Trazione elettrica/diesel (treno colliso)	Treno coll. Merci pericolose/ Merci	Rilascio/incendio/ esplosione	Accodamento pericoloso TP	Frequenza	Conseguenze	ID
8,88E-05		0,12	0,11	0,90	0,99			1,04E-06	9	D2-C1
	0,88	0,89	0,10	0,01		0,0001	0,000020	2,19E-17	14	D2-C1dies-l-acc
						0,9999	0,999980	1,08E-12	14	D2-C1dies-l
								1,05E-08	9	D2-C1dies
					0,1	0,1818	0,00011	2,23E-13	0	D2-C2MP-l-acc
					0,9	0,8182	0,99989	2,02E-09	0	D2-C2MP-l
								9,07E-09	0	D2-C2MP
								9,98E-08	0	D2-C2
								9,49E-06	0	D2
								7,82E-05	0	D2

**Figura 31:** ETA - Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano, Albero di deragliamento treno merci



Deragliamenti TMP [eventi/anno]	Occupazione binario adiacente	Scontro con un treno	Treno coll. passeggeri	Tipologia di Trazione elettrica/diesel (treno colliso)	Treno coll. Merci pericolose/Merci	Rilascio-incendio	Coinvolgimento altro treno passeggeri	Accodamento TP	Frequenza	Conseguenze	ID	
9,87E-06												
	0,12		0,11	0,90	0,99		0,1818	0,000110	2,33E-12	10	D2MP-C1-I-acc	
	0,88		0,89	0,10	0,01		0,8182	0,999890	2,11E-08	10	D2MP-C1-I	
									9,48E-08	9	D2-C1	
							0,1819	0,000110	2,35E-14	10	D2MP-C1dies-I-acc	
							0,8181	0,999890	2,13E-10	10	D2MP-C1dies-I	
									9,58E-10	9	D2-C1dies	
						0,10	0,3636	0,000110	4,95E-14	0	D2MP-C2MP-I-acc	
					0,90		0,6364	0,999890	4,48E-10	0	D2MP-C2MP-I	
									7,84E-10	0	D2-C2	
							0,1818	0,000110	2,23E-13	0	D2MP-C2-I-acc	
							0,8182	0,999890	2,02E-09	0	D2MP-C2-I	
									9,07E-09	0	D2-C2	
							0,1818	0,004	0,000110	7,63E-14	1	D2MP-I-coin-acc
							0,8182	0,996	0,999890	6,90E-10	1	D2MP-I-coin
								0,000110	2,11E-11	0	D2MP-I-acc	
								0,999890	1,91E-07	0	D2MP-I	
									8,63E-07	0	D2	
							0,1818	0,025	0,000110	4,36E-12	0	D2MP-I-coin-acc*
							0,8182	0,975	0,999890	3,95E-08	0	D2MP-I-coin*
								0,000110	1,70E-10	0	D2MP-I-acc	
								0,999890	1,54E-06	0	D2MP-I	
									7,10E-06	0	D2	

**Figura 32:** ETA - Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano, Albero di deragliamenti treno merci pericolose

Incendio TP [eventi/anno]	Incendio locomotore/ materiale rimorchiato	incendio combustibile diesel	Arresto in galleria	coinvolgimento altro TP	Accodamento TP	Frequenza	Conseguenze	ID
3,45E-06								
	0,77	0,000070		0,0250	0,000020	9,42E-17	13	I1dies-A-coin-acc
	0,23	0,999930		0,9750	0,999980	4,64E-12	12	I1dies-A-coin
					0,000020	3,67E-15	5	I1dies-A-acc
					0,999980	1,81E-10	5	I1dies-A
			0,000	0,0250	0,000020	0,00E+00	0	I1A-coin-acc
			1,000	0,9750	0,999980	0,00E+00	0	I1A-coin
					0,000020	0,00E+00	0	I1A-acc
					0,999980	0,00E+00	0	I1A
						2,65E-06	0	I1
			0,273	0,0250	0,000020	1,10E-13	0	I1A-coin-acc
			0,727	0,9750	0,999980	5,43E-09	0	I1A-coin
					0,000020	4,29E-12	0	I1A-acc
					0,999980	2,12E-07	0	I1A
						5,79E-07	0	I1

**Figura 33:** ETA - Caso A=Caso B=C Galleria Murano, Albero di incendio treno passeggeri

Incendio TM [eventi/anno]	Incendio locomotore/ materiale rimorchiato	Tipologia trenoTMP/TM	Arresto in galleria	coinvolgimento di un treno passeggeri	Accodamento TP	Frequenza	Conseguenze	ID
3,11E-05								
	0,800		0,000	0,0250	0,000020	0,00E+00	0	I2locA-coin-acc
	0,200		1,000	0,9750	0,999980	0,00E+00	0	I2locA-coin
					0,000020	0,00E+00	0	I2locA-acc
					0,999980	0,00E+00	0	I2locA
						2,49E-05	0	I2loc
	0,100		0,0036	0,0250	0,000110	6,23E-15	0	I2MPA-coin-acc
	0,900		0,9964	0,975	0,999890	5,64E-11	0	I2MPA-coin
					0,000110	2,43E-13	0	I2MPA-acc
					0,999890	2,20E-09	0	I2MPA
						6,19E-07	0	I2mr
			0,0015	0,023	0,000056	1,12E-14	0	I2mrA-coin-acc
			0,9985	0,9770	0,999944	1,99E-10	0	I2mrA-coin
					0,000056	4,76E-13	0	I2mrA-acc
					0,999944	8,45E-09	0	I2mrA
						5,59E-06	0	I2mr

**Figura 34:** ETA - Caso A=Caso B=C Galleria Murano, Albero di incendio treno merci

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA          RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b>								
	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>Galleria MURANO</b>								
DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i>	COMMESSA IR0F	LOTTO 02	FASE R	ENTE 04	TIPO DOC. SR	OPERA/DISCIPLINA SC0001	PROG. 002	REV. A	FOGLIO 180 di 200

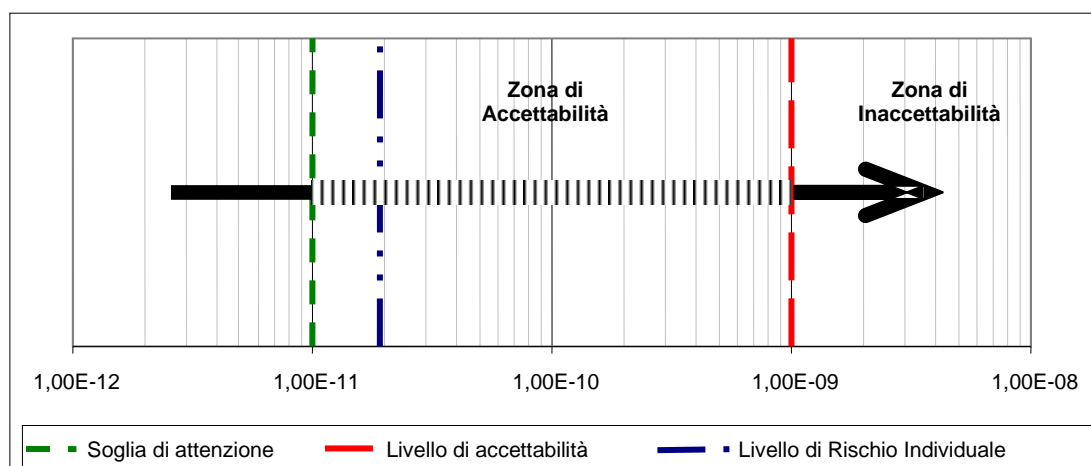
## 2.4 LIVELLO DI RISCHIO DELLA GALLERIA

Il presente paragrafo riporta i valori degli indicatori di rischio (Rischio Totale, Rischio Individuale e Rischio Cumulato), calcolati a partire dai risultati esposti nel § 2.3, per la galleria nella sua configurazione di riferimento in relazione allo scenario di traffico analizzato (caso A - scenario di progetto=caso B - scenario di lungo termine=caso C - scenario alla base degli atti autorizzativi).

Inoltre, viene valutata l'ampiezza dell'intervallo di valori entro cui il profilo di rischio ricade in virtù dell'incertezza nella stima dei tassi, e conseguentemente dei ratei, degli eventi iniziatori considerati.

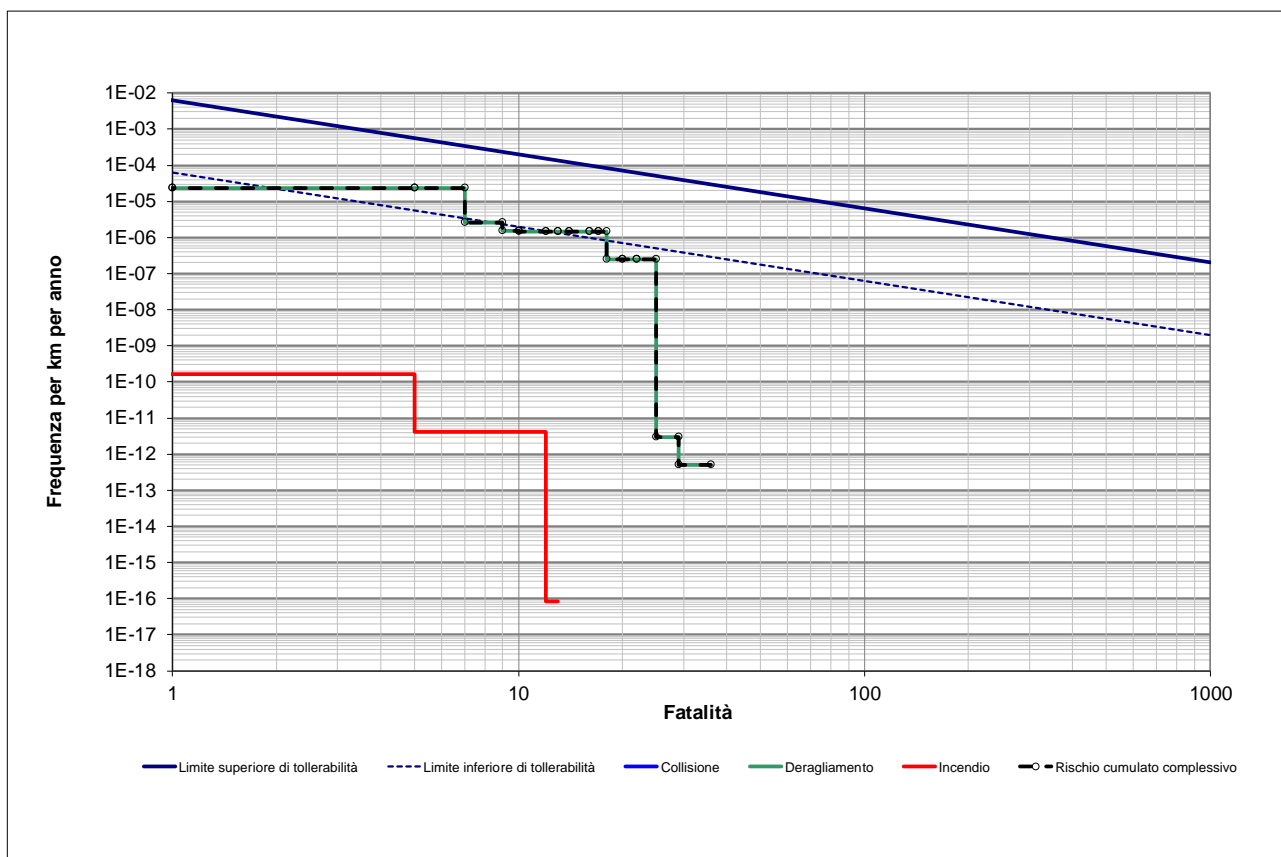
Infine, si riporta l'analisi degli scenari critici sulla base degli andamenti del rischio cumulato.

In relazione agli indicatori di rischio, per la galleria Murano con riferimento al modello di esercizio studiato, caso A=B=C, il Rischio Individuale (fatalità/passeggeri-km-anno) risultante si attesta in zona di accettabilità, poco al di sopra della soglia di attenzione:



**Figura 35:** Caso A=Caso B=Cas C Galleria Murano – Livello di Rischio Individuale,  $1,97 \cdot 10^{-11}$  (corrispondente ad un Rischio Totale, R, pari a  $2,12 \cdot 10^{-4}$  fatalità/anno)

Di seguito si riporta la Curva F-N per lo scenario preso in esame.



**Figura 36:** Caso A=Caso B=Caso C Galleria Murano – Livello di Rischio Cumulato distinto per deragliamento, collisione ed incendio di materiale rotabile

Il profilo di Rischio Cumulato ricade in zona ALARP tra 2 e 7 fatalità, in corrispondenza degli scenari di svio puro, e tra 12 e 18 fatalità, per gli scenari di svio e successiva collisione secondaria tra treni passeggeri.

### Valutazione dell'incertezza dei risultati

Al fine di valutare l'ampiezza dell'intervallo entro cui il profilo di rischio può variare in funzione delle incertezze associate al processo di calcolo, si è tenuto conto del fatto che la determinazione dei tassi rappresenta uno *step* fondamentale in quanto rappresenta l'assunto di partenza per il prosieguo dell'analisi.

Infatti, partendo dagli eventi iniziatori si sviluppano le sequenze mediante l'ETA fino a individuare gli scenari incidentali finali, le cui frequenze di accadimento sono funzione dei

ratei (e quindi dei tassi) di deragliamento, collisione e incendio e delle probabilità associate alle biforcazioni, comunque definite secondo un approccio cautelativo.

Pertanto, applicare agli indicatori di rischio i fattori di scostamento (superiore ed inferiore) calcolati per i tassi equivale a stimare la banda di variazione anche delle frequenze dei singoli scenari finali e ciò consente di inquadrare i risultati nell'intervallo di incertezza del processo.

In particolare, per i tassi di deragliamento la media degli scostamenti percentuali tra il valore reale dei tassi desunto dalla banca dati incidentali ed il valore dei tassi rappresentato dalla linea di tendenza è pari a circa il 14%, nel caso di treno passeggeri, e 16% per i treni merci.

In merito alla collisione tra treni, si ribadisce che tale evento non è stato esaminato quale evento iniziatore in quanto avente frequenza trascurabile.

Per i tassi di incendio la media degli scostamenti percentuali tra il valore reale dei tassi desunto dalla banca dati incidentali ed il valore dei tassi rappresentato dalla linea di tendenza è pari a circa l'8% nel caso di treno passeggeri e circa lo 0,1% per i treni merci.

Per quanto detto, tutte le sequenze di eventi, rappresentate tramite l'ETA, mostrano dei valori delle frequenze di accadimento degli scenari incidentali finali (calcolate come descritto al § 2.3.1) che variano nello stesso *range* individuato per i ratei dei rispettivi eventi iniziatori. Applicando quindi ai ratei degli eventi iniziatori gli scostamenti superiori e inferiori, la curva del rischio cumulato non mostra un'apprezzabile variazione a livello grafico, mentre i valori numerici degli indicatori di rischio R e IR evidenziano la seguente variazione nello scenario di traffico preso in esame (caso A=caso B=caso C):

Galleria Murano	Fatalità/anno	Rischio Individuale
<b>BASE</b>	2,12E-04	1,97E-11
<b>LIM SUP</b>	2,42E-04	2,25E-11
<b>LIM INF</b>	1,81E-04	1,68E-11

In conclusione, per il modello di esercizio preso in esame (caso A – scenario di progetto= caso B – scenario di lungo termine=caso C – scenario alla base degli atti autorizzativi) il valore assunto dall'indicatore rischio individuale risulta accettabile, mentre il grafico del rischio cumulato presenta dei tratti in zona ALARP nella regione del piano F-N a bassa letalità (scenari di svio), e in corrispondenza degli scenari di collisione secondaria successiva allo svio, rimanendo per il resto al di sotto del limite inferiore di tollerabilità.

L'andamento del profilo di rischio comporta valutazioni in merito alla possibilità di riduzione del rischio, per le quali si rimanda al successivo capitolo.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>184 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	184 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	184 di 200											

## 2.5 CONSIDERAZIONI DI TIPO ALARP

L'analisi di rischio elaborata per la galleria Murano nella configurazione di progetto e nello scenario di traffico preso in esame, caso A=caso B=caso C, presenta quali risultati un valore del rischio individuale accettabile e un andamento del rischio cumulato complessivo con dei tratti ricadenti in zona ALARP.

Sulla base degli esiti dell'analisi costi-benefici effettuata, il principio ALARP risulta soddisfatto per la galleria in esame. Nei successivi paragrafi si illustrano in dettaglio le considerazioni in merito alla:

- Valutazione dei profili di rischio
- Accuratezza dei valori di rischio
- Analisi costi-benefici

### 2.5.1 VALUTAZIONE DEI PROFILI DI RISCHIO

Nel precedente capitolo si è riportato il calcolo del livello di rischio per la galleria e i risultati per il caso A=caso B=caso C in termini di rischio cumulato, totale e individuale.

Nello scenario di traffico esaminato il grafico del rischio cumulato presenta dei tratti in zona ALARP nella regione del piano F-N riconducibile, come già detto, a sequenze di svio puro e di svio con successiva collisione secondaria.

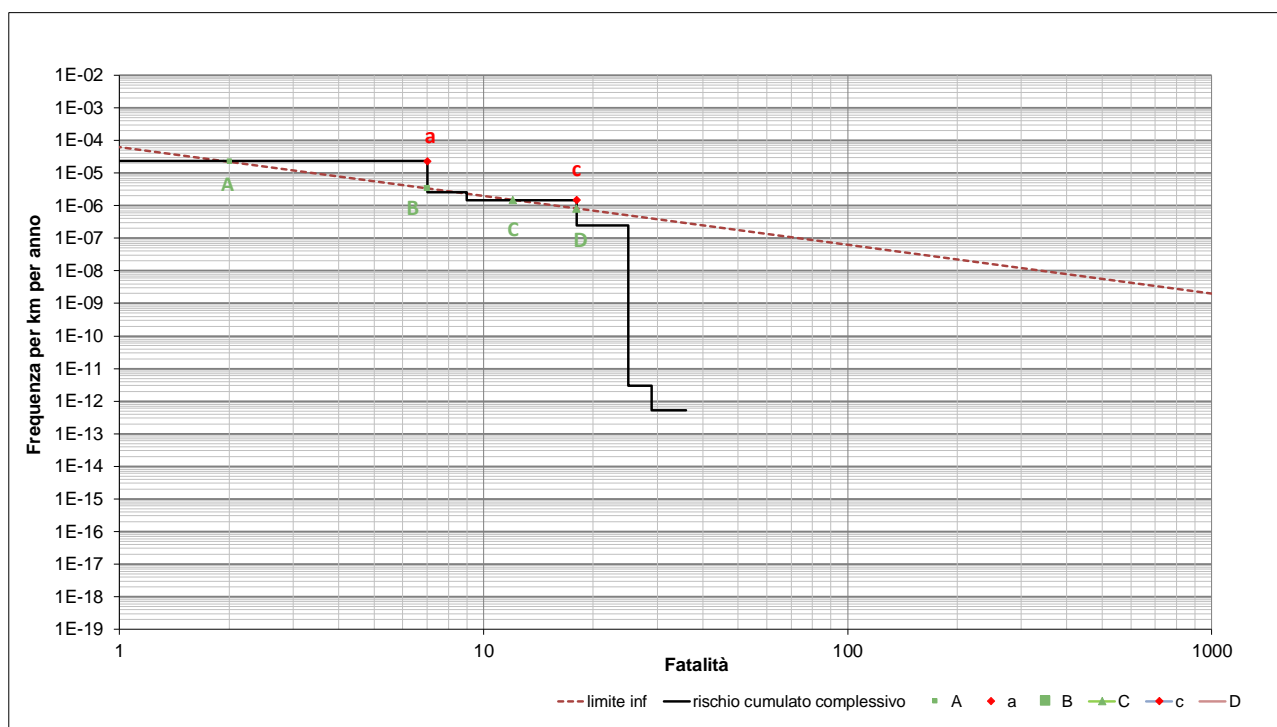
Per il contenimento del rischio le vie percorribili sono rappresentate dall'eventuale adozione di misure integrative di *prevenzione*, con impatto sulle frequenze e/o di *mitigazione*, con impatto sulle conseguenze.

Nel caso in esame, le misure da prevedere agenti sullo svio dovrebbero essere di tipo preventivo, con effetto quindi sulla frequenza di tale evento iniziatore. La reale fattibilità dell'implementazione di tali misure è, però, subordinata all'effettiva disponibilità economica derivante da un abbassamento del profilo di rischio al limite di accettabilità.



Al fine di quantificare tale disponibilità occorre valutare il delta rischio in termini di fatalità risparmiate per km e per anno.

A tale scopo si è valutato il profilo di rischio associato alla galleria nello scenario di traffico preso in esame (caso A=B=C), evidenziando i punti di intersezione della curva con il limite inferiore di accettabilità (A, B, C, D) ed i punti del profilo all'interno della regione ALARP (a, c), al fine di individuare le aree di rischio da ridurre (Figura 37).



**Figura 37:** Galleria Murano - Evidenza dei punti di intersezione del profilo di rischio con il limite inferiore di accettabilità e dei punti critici collocati in zona ALARP su scala bilogarithmica.

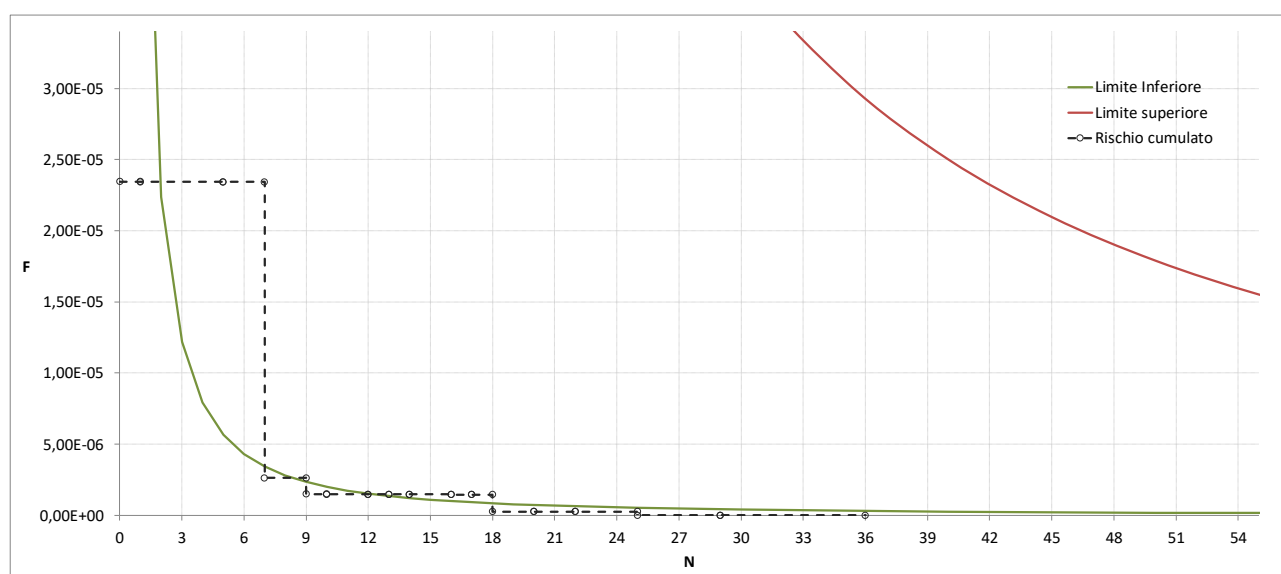
Le aree di rischio da ridurre, calcolate trascurando l'errore associato alla rappresentazione bilogarithmica, sono riportate di seguito:

Triangolo AaB	5,01E-05
Triangolo CcD	1,93E-06
<b>tot</b>	<b>5,20E-05</b>

**Figura 38:** Delta rischio

Il limitato “guadagno” in termini di riduzione del rischio è immediatamente percepibile se si riportano profilo di rischio e relativi limiti (inferiore e superiore), in scala non logaritmica.

A tale scopo nella figura seguente si rappresentano i tratti critici in rapporto ai limiti di accettabilità su scala non logaritmica:



**Figura 39:** Galleria Murano - Evidenza dei tratti critici in zona ALARP in rapporto ai limiti di accettabilità su scala normale

Con questa modalità di visualizzazione del risultato appare più evidente che l’aliquota di rischio da ridurre è limitata rispetto all’estensione della fascia di accettabilità.

### 2.5.2 ACCURATEZZA DEI VALORI DI RISCHIO

Nel precedente paragrafo sono stati riportati i risultati dell’analisi di rischio svolta per la galleria ed è stata data evidenza dell’aliquota di rischio da ridurre con riferimento allo scenario di traffico analizzato caso A=B=C, in termini di frequenze e conseguenze,

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>187 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	187 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	187 di 200											

fornendone peraltro una diversa rappresentazione grafica al fine di sottolinearne la significatività.

Un'ulteriore misura dell'effettiva entità dei valori di rischio è costituita dall'accuratezza che ne caratterizza il processo di calcolo.

In relazione alle frequenze, richiamando quanto detto al paragrafo 2.4, l'incertezza calcolata è una misura della media degli scostamenti tra i valori reali dei tassi incidentali desunti dalla banca dati e la linea di tendenza anno per anno (per il deragliamento *cf.* § 1.2.2).

Oltre a questi dati, che perimetrano già una fascia di variazione delle frequenze, si evidenzia che il processo di calcolo si basa su un approccio tendenzialmente cautelativo, che tiene conto in uguale misura dei dati storici registrati in banca dati negli anni 2000 e di quelli più recenti e che considera l'influenza dell'avanzamento tecnologico unicamente determinando le frequenze degli eventi iniziatori estrapolando le linee di tendenza dei dati reali.

In merito al profilo di rischio cumulato ottenuto, in particolare, va sottolineato che il tasso degli eventi di deragliamento treni passeggeri è stato cautelativamente calcolato a partire da tutti gli eventi di svio registrati in banca dati, occorsi al diverso materiale rotabile circolato negli anni, su linee con caratteristiche differenti.

Per quanto riguarda le sequenze, inoltre, l'approccio per la definizione degli alberi degli eventi e relative biforcazioni non è solo statistico ma anche probabilistico: anche laddove il dato storico non fornisca riscontro oggettivo sul verificarsi di sottoeventi e sequenze articolate, nell'analisi vengono comunque studiati scenari derivati e sequenze complesse.

L'impostazione dell'analisi peraltro tende a trascurare, in ottica cautelativa, l'influenza della presenza di alcune misure/predisposizioni che potrebbero avere un impatto positivo sia sulle frequenze che sulle conseguenze: per gli scenari caldi non si considera ad esempio il

contributo del requisito di “running capability” del materiale rotabile, che dovrebbe garantire capacità di movimento ad un treno con principio di incendio al fine di evitarne l'arresto in galleria (misura preventiva), né l'apporto dei PES agli imbocchi delle gallerie equivalenti, che costituiscono punto di arresto e trattamento degli incendi a bordo treno (misura preventiva/mitigativa); vengono altresì trascurati anche gli effetti della diffusione sonora (anche laddove presente) sul flusso di esodo (misura mitigativa).

Altro aspetto che merita rilievo è connesso al calcolo delle conseguenze, sia per gli scenari freddi che caldi.

Nel processo di analisi, i modelli di letalità utilizzati per gli scenari freddi correlano il numero di fatalità attese con la velocità al momento dell'incidente, che è posta pari a quella di rango (non tenendo conto di un eventuale possibile esercizio a velocità minore).

Occorre inoltre tener presente che il numero di fatalità per deragliamento registrato in banca dati risulta mediamente inferiore a quanto restituito dal modello: ciò non si traduce in un vero e proprio fattore correttivo per il modello in quanto per la quasi totalità degli svii in banca dati non si conosce la velocità al momento dell'incidente, ma si suppone che il dato reale sia l'effetto di svii classificati come “in circolazione”, ma in realtà avvenuti in manovra o comunque a basse velocità e quindi in condizioni non ordinarie. Ciò sottintende una possibile sovrastima del rateo di svio o comunque delle probabilità di sviluppo di sequenze complesse, soprattutto per svii non gravi.

Anche per gli scenari di incendio l'approccio è cautelativo: si assume che gli incendi siano sempre pienamente sviluppati, che le condizioni di visibilità siano le minime, che le velocità di esodo siano uniformi per l'intero flusso di esodanti, anche per quelli più distanti dal focolaio (*cfr.* anche § 2.3.2).

Il profilo del rischio risultante è dunque da inquadrare comunque nel contesto delle ipotesi e in generale dell'impostazione dell'analisi: quanto riportato sull'accuratezza evidenzia come le valutazioni effettuate sulla galleria analizzata siano tendenzialmente cautelative, tanto da ritenere che il rischio effettivo relativo agli scenari critici possa ritenersi, con un buon grado di confidenza, minore di quanto rappresentato.

	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>189 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	189 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	189 di 200											

### 2.5.3 ANALISI COSTI-BENEFICI

Nei precedenti paragrafi si è analizzato il profilo di rischio della galleria, evidenziando gli scenari critici, stimando il delta rischio per uscire dalla zona ALARP e l'accuratezza dei valori di rischio in esame.

Per effettuare la valorizzazione economica equivalente alla riduzione di rischio si è preso a riferimento il documento dell'ERA, *Implementation Guidance for CSIs*, ripreso e citato dalla Linea Guida, che fornisce indicazioni in merito al valore da assegnare a ciascuna fatalità evitata, *VPF – Value of Preventing Fatality*. Per l'Italia tale valore, riferito all'anno 2002, è pari a:

$$VPF \text{ Italia} - \text{Fatalità} = 1430000 \text{ €}$$

I valori aggiornati al momento della effettuazione dell'analisi devono tener conto della evoluzione degli indicatori economici, dal 2002 al momento attuale; in particolare la funzione correttiva indicata dall'ERA fa riferimento ad un andamento lineare, proporzionale alla crescita percentuale del PIL pro capite annuo.

Una valutazione del beneficio atteso in termini economici e, quindi, della disponibilità economica per l'adozione di una eventuale misura di contenimento del rischio, può essere fatta atualizzando il valore VPF al 2021 (anno in cui vengono calcolate le frequenze, per estrapolazione della linea di tendenza) sulla base della seguente tabella ISTAT dei *Coefficienti per tradurre valori monetari dei periodi indicati in valori del mese di giugno 2021* (ultimo aggiornamento disponibile) che fornisce:



**Coefficienti per tradurre valori monetari dei periodi sottoindicati in valori del mese di Giugno 2021**

1947	39,925	1948	37,708	1949	37,163	1950	37,670	1951	34,334
1952	32,935	1953	32,307	1954	31,461	1955	30,603	1956	29,152
1957	28,599	1958	27,293	1959	27,406	1960	26,698	1961	25,940
1962	24,681	1963	22,955	1964	21,670	1965	20,768	1966	20,361
1967	19,961	1968	19,710	1969	19,172	1970	18,244	1971	17,376
1972	16,451	1973	14,906	1974	12,479	1975	10,651	1976	9,140
1977	7,740	1978	6,883	1979	5,947	1980	4,909	1981	4,136
1982	3,555	1983	3,091	1984	2,796	1985	2,574	1986	2,426
1987	2,319	1988	2,210	1989	2,073	1990	1,953	1991	1,836
1992	1,742	1993	1,671	1994	1,608	1995	1,526	1996	1,469
1997	1,444	1998	1,419	1999	1,396	2000	1,362	2001	1,326
2002	1,295	2003	1,264	2004	1,239	2005	1,218	2006	1,194
2007	1,174	2008	1,137	2009	1,129	2010	1,112	2011	1,082
2012	1,051	2013	1,039	2014	1,037	2015	1,038	2016	1,039
2017	1,028	2018	1,017	2019	1,012	2020	1,015	gen-21	1,009
feb-21	1,008	mar-21	1,005	apr-21	1,001	mag-21	1,002	giu-21	1,000

In tal modo si attualizza il valore VPF al 2021; moltiplicando inoltre il delta rischio per la vita dell'opera si ottengono le fatalità evitate a vita intera: il prodotto tra VPF attualizzato e le fatalità evitate totali rappresenta il beneficio in euro a vita intera, come sintetizzato in tabella:

**Tabella 23:**  
Stima del beneficio a vita intera dell'opera

delta rischio - fatalità evitate/km anno	5,20E-05
valore stimato per fatalità evitata al 2002 [euro]	€ 1.430.000,00
valore stimato per fatalità evitata attualizzato al 2021 [euro]	€ 1.851.850,00
beneficio [euro/km anno]	€ 96,30
Vita intera opera [anni]	100
beneficio in euro a vita intera (per km)	€ 9.630,22

In tali ipotesi il beneficio in euro a vita intera, applicando un coefficiente di sproporzione pari a 10, risulta pari a circa 100 mila euro/km.

L'eventuale disponibilità economica derivante dall'abbattimento totale del delta rischio in zona ALARP, pur maggiorata da un coefficiente di sproporzione, appare esigua in ragione della copertura dell'investimento corrispondente al progetto, alla posa in opera e alla manutenzione a vita intera di misure integrative. Peraltro, eventuali misure preventive, di tipo infrastrutturale ad esempio, non avrebbero, comunque, un impatto sul profilo di rischio tale da assicurarne la piena accettabilità, costituendo le cause tecniche di svio relative all'infrastruttura solo circa il 33% del totale. In quest'ottica la reale disponibilità economica a fronte dei benefici derivanti dall'adozione di simili misure risulterebbe ulteriormente ridotta.

Sulla base degli esiti dell'analisi costi-benefici, e considerando che gli scenari critici derivati dal deragliamento rientrano nell'ambito di una classe di eventi pericolosi gestiti ampiamente nella pratica corrente con standard ferroviari nazionali ed europei, si può concludere che per la galleria in esame il principio ALARP risulta soddisfatto.

### 3. CONCLUSIONI

L'analisi di rischio della galleria Murano nella configurazione di riferimento è stata elaborata nello scenario di traffico definito al § II.4. I risultati, espressi dagli indicatori di rischio individuale e cumulato, hanno mostrato valori e andamenti accettabili ma in zona di attenzione. Considerando, in particolare, che il profilo del rischio cumulato presenta dei tratti che sormontano il limite inferiore di accettabilità, è stata effettuata un'analisi degli scenari critici al fine di dimostrare il criterio ALARP.

Dall'analisi del profilo di rischio è emerso che la posizione del tratto nella regione ALARP risulta riconducibile a sequenze originate dall'evento iniziatore di svio. Considerando che il margine di azione di progetto è sulle cause relative all'infrastruttura, al fine di valutare l'opportunità di adottare eventuali misure integrative in tal senso, è stata condotta un'analisi costi-benefici.

In primo luogo, si è dunque valutato il beneficio atteso in termini monetari associato alle fatalità evitate/prevenute nell'ipotesi di abbattimento totale del delta rischio in zona ALARP.

In tali ipotesi il beneficio in euro a vita intera è risultato pari a circa 100 mila euro/km. Occorre tuttavia tener presente che il beneficio è stato calcolato con un coefficiente di disproporzione di 10 e che l'effetto atteso di eventuali misure preventive, di tipo infrastrutturale è solo circa il 33% del totale. In quest'ottica la reale disponibilità economica a fronte dei benefici derivanti dall'adozione di misure progettuali (teoricamente) sarebbe pari a circa un trentesimo del beneficio quantificato.

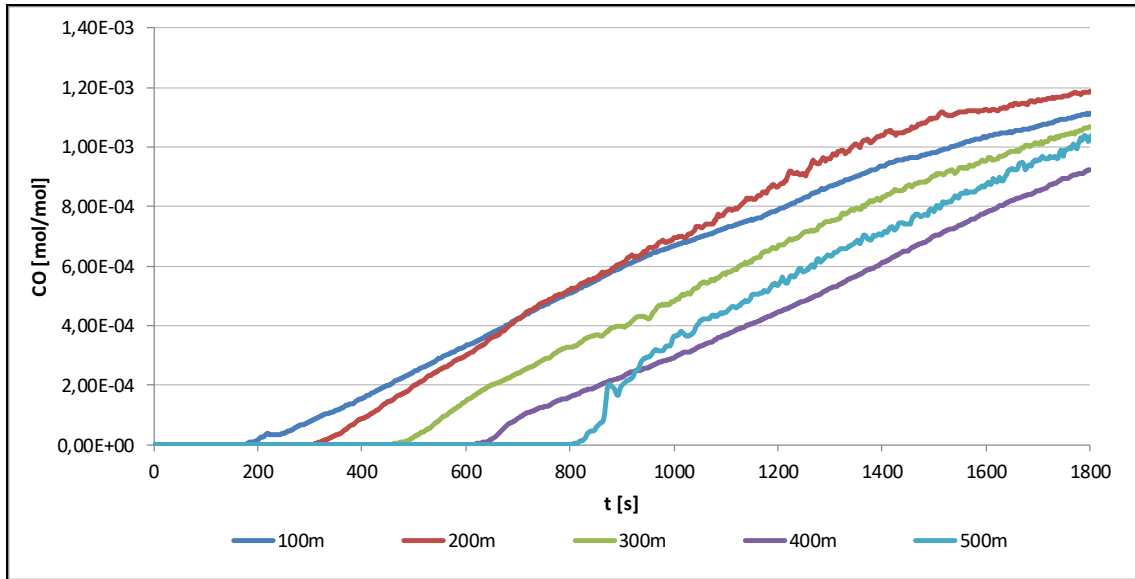
Inoltre, considerando la conformità alle norme europee del progetto infrastrutturale, in linea anche con uno dei criteri di accettabilità presenti nel *Common Safety Method* (EN 402), si può concludere che per la galleria in esame il principio ALARP risulta soddisfatto.

L'analisi condotta ha, quindi, dimostrato il criterio ALARP sancendo l'accettabilità del rischio associato alla configurazione di riferimento della galleria Murano nello scenario di traffico considerato.

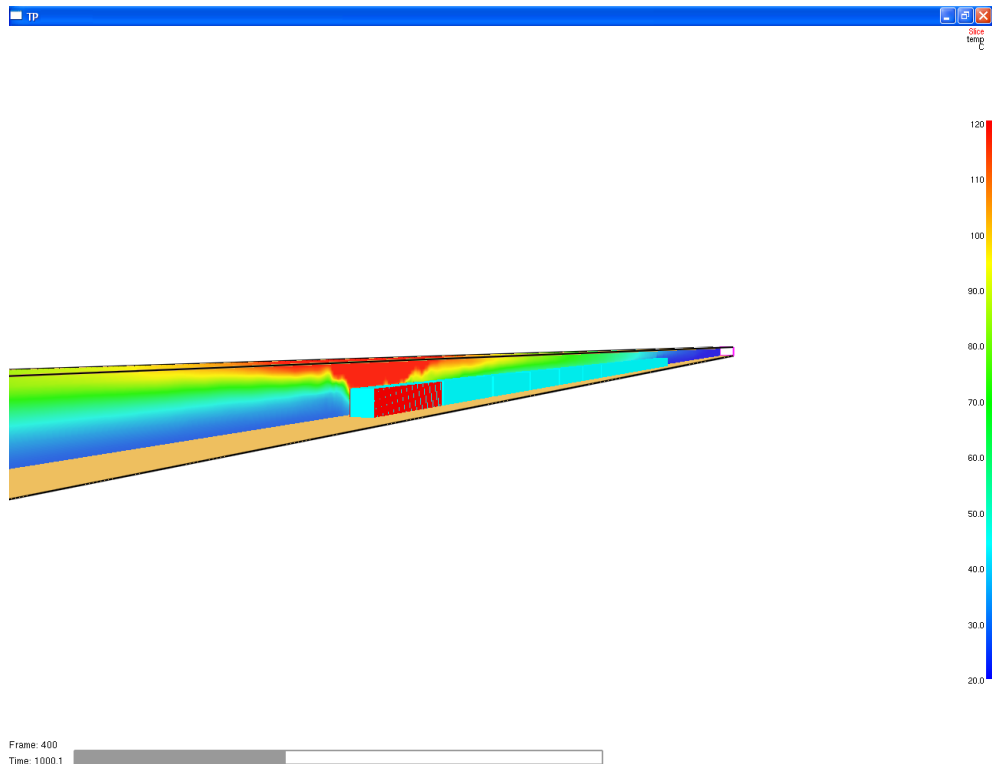


## APPENDICE

### Simulazione di incendio 10 MW

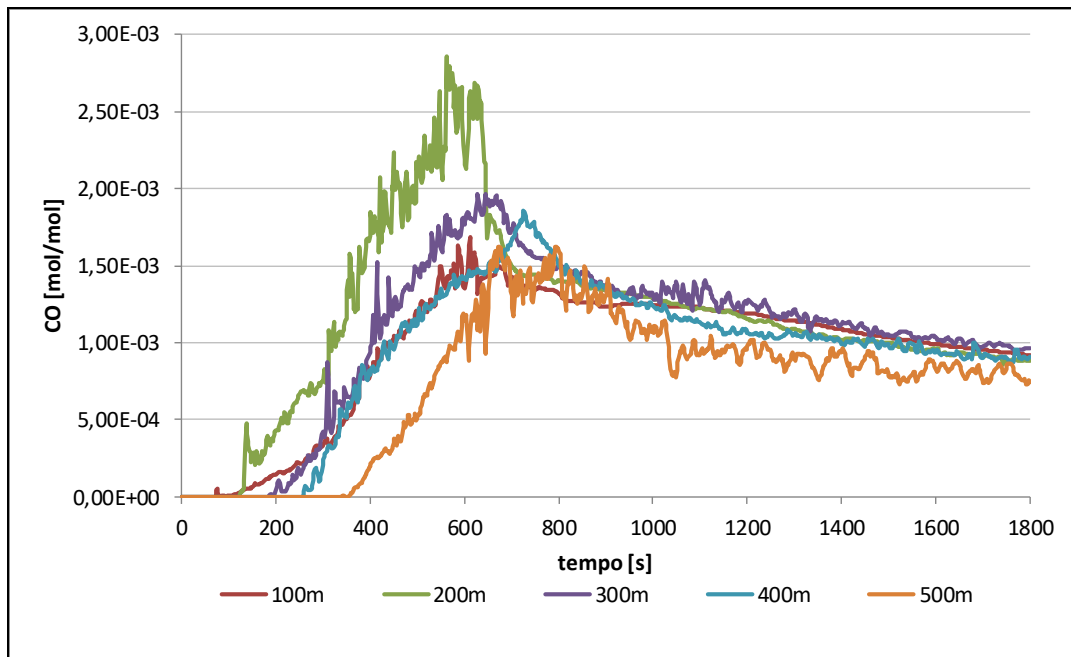


**Figura 40:** Andamento della concentrazione di CO mol/mol riferito ad un incendio con potenza di picco 10 MW a distanze variabili da 100 a 500 m dal focolaio ad un'altezza pari a 2 m dal piano di calpestio per la valutazione del rischio incendio per i passeggeri in grado di effettuare l'autosoccorso

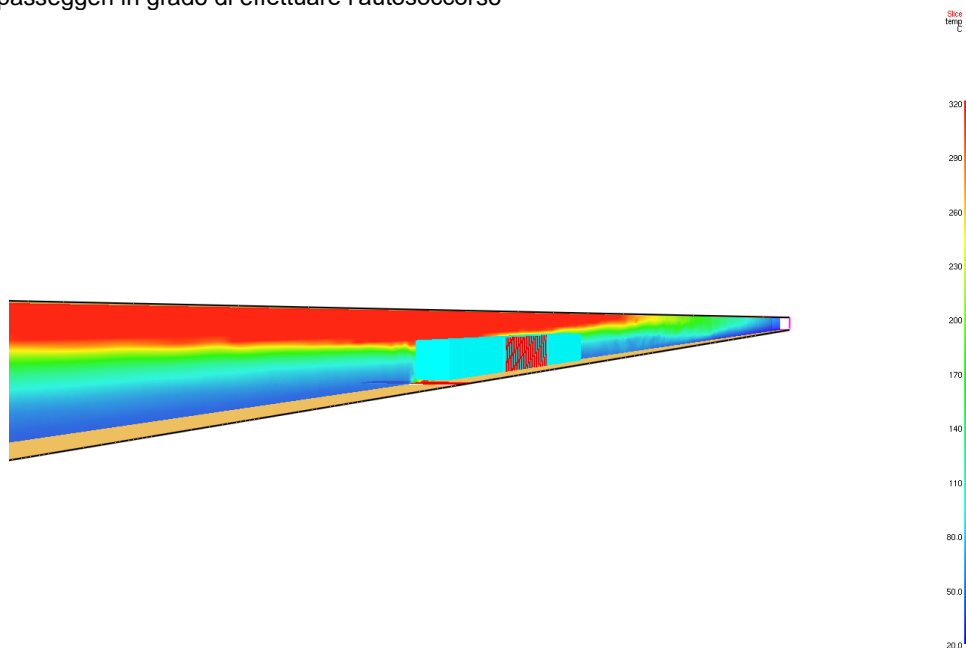


**Figura 41:** Simulazione di un incendio con potenza di picco 10 MW: andamento della temperatura °C dopo circa 1000 s dall'innescio

### Simulazione di incendio 110 MW



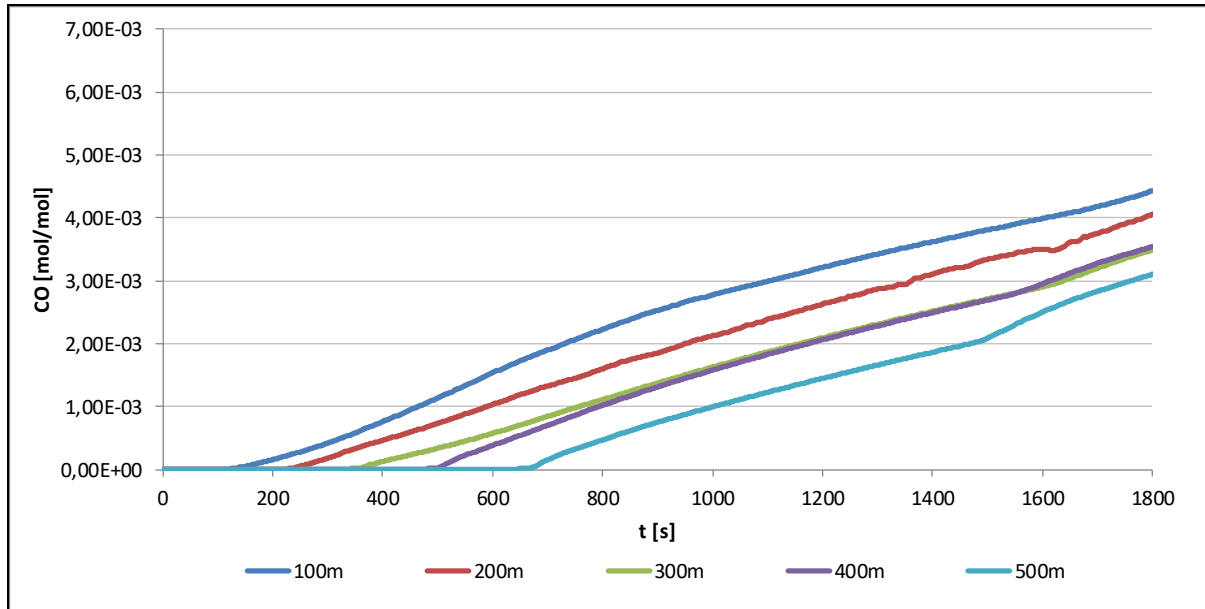
**Figura 42:** Andamento della concentrazione di CO mol/mol riferito ad un incendio con potenza di picco 110 MW a distanze variabili da 100 a 500 m dal focolaio ad un'altezza pari a 2 m dal piano di calpestio per la valutazione del rischio incendio per i passeggeri in grado di effettuare l'autosoccorso



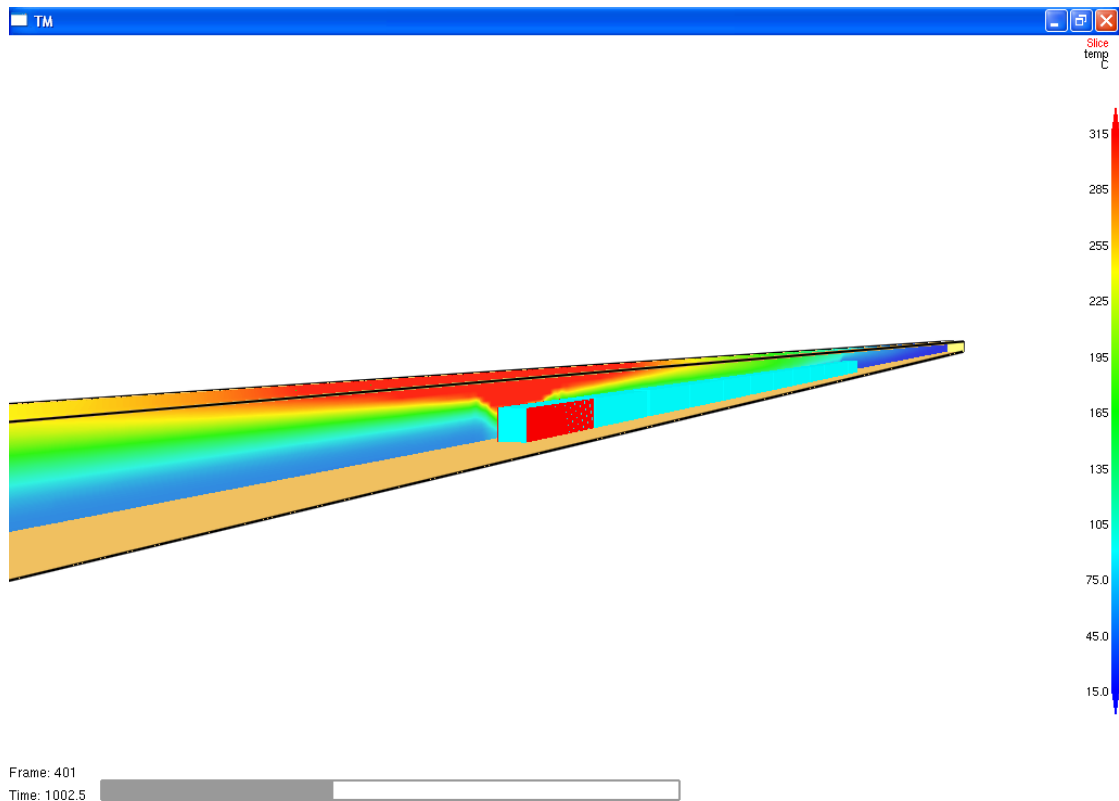
Frame: 333  
Time: 599.4

**Figura 43:** Simulazione di un incendio con potenza di picco 110 MW: andamento della temperatura °C dopo circa 600 s dall'innesco

**Simulazione di incendio 50 MW**

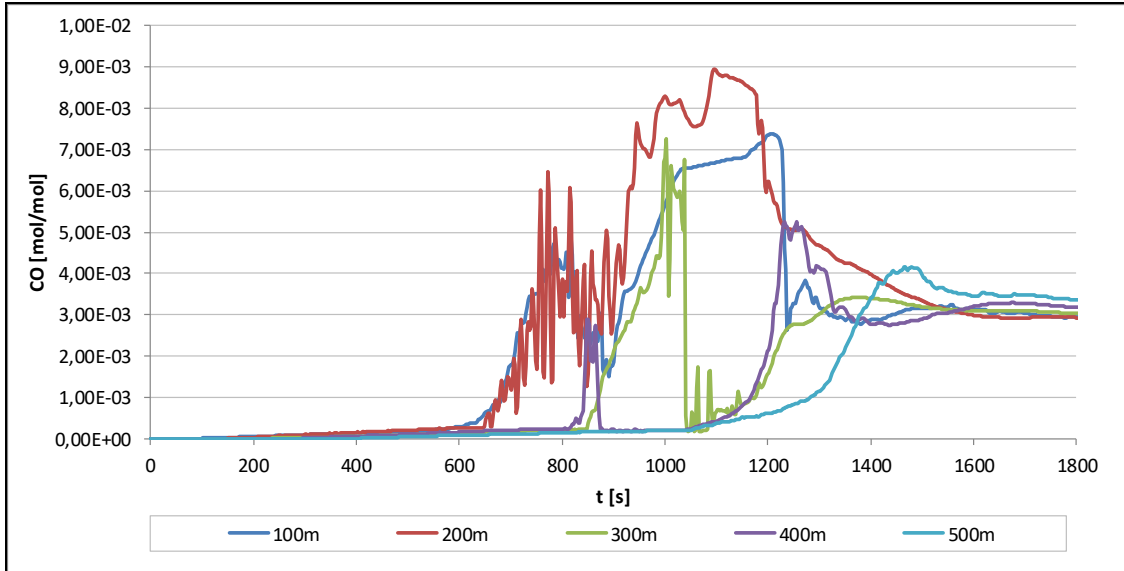


**Figura 44:** Andamento della concentrazione di CO mol/mol riferito ad un incendio con potenza di picco 50 MW a distanze variabili da 100 a 500 m dal focolaio ad un'altezza pari a 2 m dal piano di calpestio per la valutazione del rischio incendio per i passeggeri in grado di effettuare l'autosoccorso

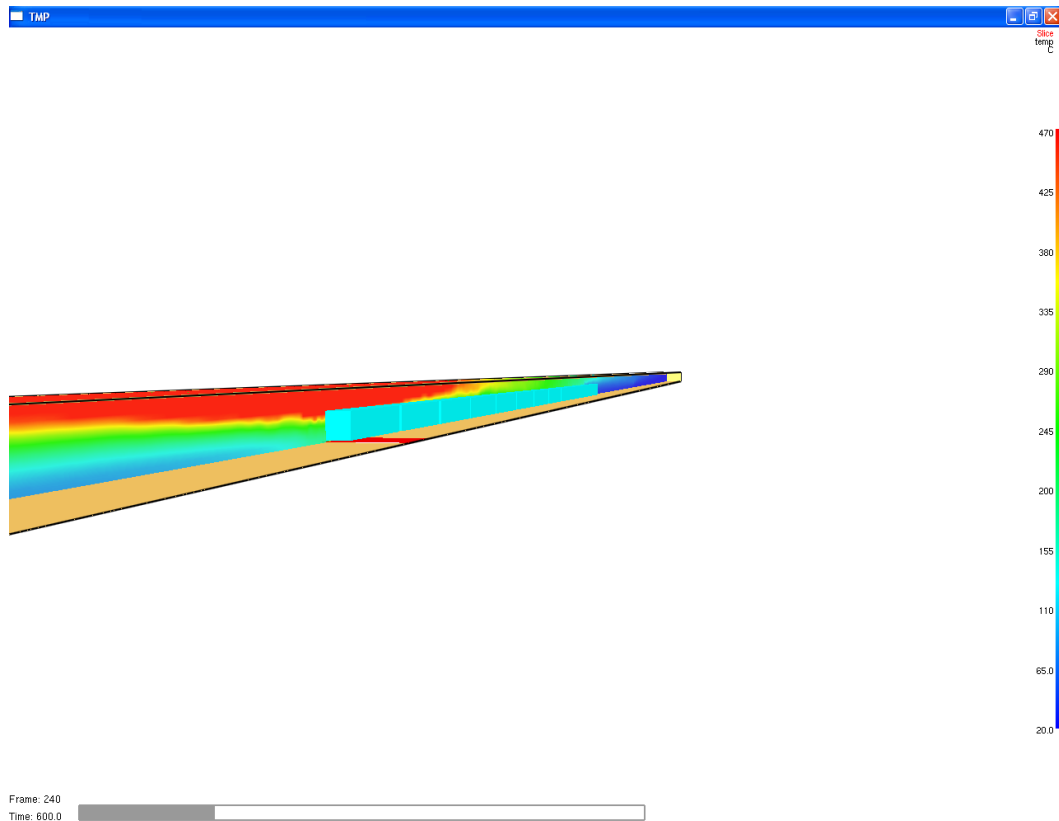


**Figura 45:** Simulazione di un incendio con potenza di picco 50 MW: andamento della temperatura °C dopo circa 1000 s dall'innesco

**Simulazione di incendio 150 MW**



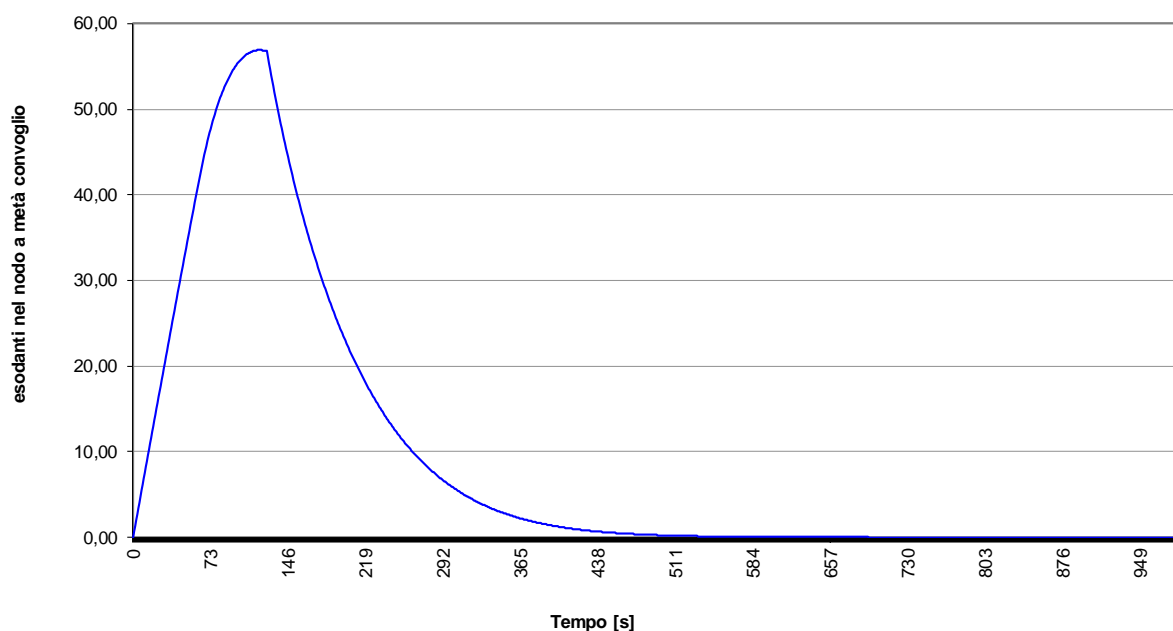
**Figura 46:** Andamento della concentrazione di CO mol/mol riferito ad un incendio con potenza di picco 150 MW (*incendio di pozza*) a distanze variabili da 100 a 500 m dal focolaio ad un'altezza pari a 2 m dal piano di calpestio per la valutazione del rischio incendio per i passeggeri in grado di effettuare l'autosoccorso



**Figura 47:** Simulazione di un incendio con potenza di picco 150 MW: andamento della temperatura °C dopo circa 600 s dall'innescio

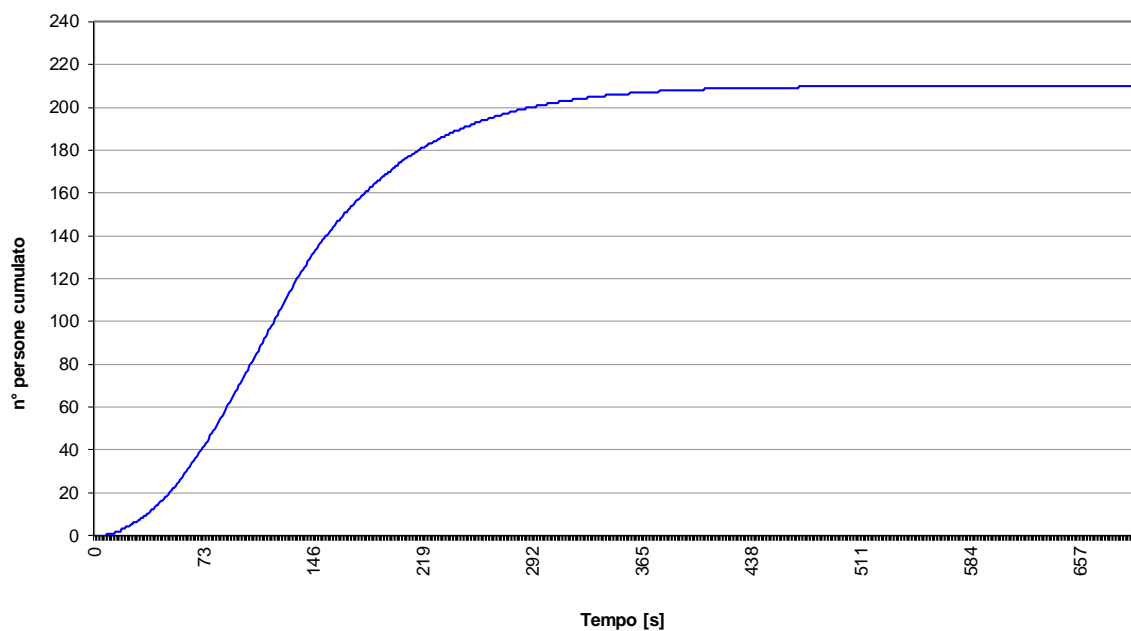
### Modello di esodo

esodanti nel nodo a metà convoglio in funzione del tempo



**Figura 48:** Flusso di esodo nel tratto di banchina della galleria a metà convoglio (larghezza marciapiede minima  $W = 1,20$  m), considerando il numero di viaggiatori relativo ai treni passeggeri lunga percorrenza

nr persone cumulate in transito a metà convoglio



**Figura 49:** Numero di persone in transito nel tratto di banchina della galleria a metà convoglio (larghezza marciapiede minima  $W=1,20$ m) considerando il numero di viaggiatori relativo ai treni passeggeri lunga percorrenza

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>198 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	198 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	198 di 200											

## **BIBLIOGRAFIA**

Bello G.C., Colombari V. – Empirical technique to estimate operator's error (TESEO) Reliability Engineering, 1980

BSI-BS DD 240-1, 1997, Fire Safety Engineering in Buildings Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles

ITALFERR S.p.A., 1998, «Linee Guida per l'Analisi di Rischio di Sistemi Ferroviari»

“Linee guida per la redazione del piano generale di emergenza di una lunga galleria ferroviaria” – Gruppo di Lavoro Misto Corpo Nazionale VV.F./Gruppo FS – Edizione dicembre 1998 (Allegato 1 alla Sezione IV Gallerie del Manuale di Progettazione delle Opere Civili, RFI)

ITALFERR S.p.A., 1999, «Linee Guida per la sicurezza nell'affiancamento strada-ferrovia» (si veda anche § 3.12.3 *Linee Guida per le interferenze strada - ferrovia* Parte II – Sezione 3 Corpo Stradale del Manuale di Progettazione delle Opere Civili, RFI)

Railtrack, 2000, “Engineering Safety Management”, Issue 3, Yellow Book 3

CENELEC “EN50128 - Railway Applications - Software for Railway Control and Protection Systems”

RFI, 2001, “Specificazione dei Requisiti di Sistema CMT”

RFI, 2002, “ERTMS/ETCS L2 Specificazione dei requisiti di sistema”

CENELEC “EN50129 - Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling”

ITALFERR S.p.A., 2003, «Prescrizioni Tecniche per la Progettazione – Prescrizioni Tecniche – Sicurezza di Sistema – Analisi del Rischio».

Decreto del 28/10/2005 “Sicurezza nelle Gallerie Ferroviarie” del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.83 del 08/04/2006 e relativi allegati.

UNI EN 45545 “Applicazioni ferroviarie - Protezione al fuoco per i rotabili ferroviari”

CENELEC, “CEI EN50126 - Applicazioni Ferroviarie, tranviarie, filotranviarie, metropolitane - La specificazione e la dimostrazione di Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità, e Sicurezza (RAMS)”

Comunicazione Operativa n.273/RFI RFI DTC PD IFS 001 B – Procedura Operativa “Compiti e responsabilità all'interno di RFI per la sicurezza delle gallerie ferroviarie” – dicembre 2010

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO</b></p> <p><b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b></p> <p><b>Galleria MURANO</b></p>																		
<p>DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI RISCHIO <i>ai sensi del DM del 28/10/2005</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE</th> <th>ENTE</th> <th>TIPO DOC.</th> <th>OPERA/DISCIPLINA</th> <th>PROG.</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IR0F</td> <td>02</td> <td>R</td> <td>04</td> <td>SR</td> <td>SC0001</td> <td>002</td> <td>A</td> <td>199 di 200</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO	IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	199 di 200
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO											
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	199 di 200											

ERA SAFETY UNIT - Safety Reporting Sector, Implementation Guidance for CSIs, Annex 1 and Appendix to Directive 2004/49/EC, March 2010

Specifica tecnica RFI DSR SIGS LG 01 1 0 “Linea Guida per l’applicazione dell’analisi del rischio estesa alle gallerie ferroviarie – D.M. del 28/10/2005” – febbraio 2011

ISO 16732-1, Fire safety engineering - Fire risk assessment – Part 1: General

ISO 13571 Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires

DM 4 aprile 2014 - Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto

ISO 13344, Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents

Decreto Legislativo del 26 giugno 2015, n. 105 “Attuazione della direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose”, pubblicato sulla GU n.161 del 14-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 38 che abroga il Decreto Legislativo del 17 agosto 1999, n. 334 e s.m.i. “Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incendi rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose”, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 177 alla Gazzetta Ufficiale n. 228 del 28 settembre 1999 (con Allegati)

Decreto Legislativo 14 maggio 2019, n. 50 “Attuazione della direttiva 2016/798 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell’11 maggio 2016, sulla sicurezza delle ferrovie” pubblicato su GU n.134 del 10-6-2019

RFI, Manuale di Progettazione delle Opere Civili - RFI DTC SI MA IFS 001 A.

IEC 1025 - Fault Tree Analysis (FTA)

NFPA Fire Protection Engineer Handbook

Tadahisa Jin, Visibility and human Behavior in Fire Smoke, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Harold E. “Bud” Nelson and Frederick Mowrer, Emergency Movement, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Babrauskas, V., Heat Release Rates, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Proulx, G., Movement of People: The Evacuation Timing, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association



**POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA  
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**Galleria MURANO**

DOCUMENTAZIONE RELATIVA ALL'ANALISI DI  
RISCHIO *ai sensi del DM del 28/10/2005*

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROG.	REV.	FOGLIO
IR0F	02	R	04	SR	SC0001	002	A	200 di 200

Purser, D.A., Toxicity Assessment of Combustion Products, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Bryan J.L, Behavioral response to fire and smoke, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Tewarson, A., Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association

Hakan Frantzich - Daniel Nilsson, Evacuation experiments in a smoke filled tunnel

Simo Hostikka, Timo Korhonen, Tuomas Paloposki, Tuomo Rinne, Katri Matikainen, Simo Heliovaara, Development and Validation of FDS+Evac for evacuation simulations, VTT Research notes 2421