

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

"La gestione dei rischi connessi ad attraversamenti e parallelismi nell'esercizio ferroviario: metodi di analisi e valutazione"



Relatori:

Prof. Bruno Dalla Chiara

Ing. Elisabetta Ponte – GTT (Relatore esterno)

Candidato:

Daniele Angelelli

Marzo 2018

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 - QUADRO NORMATIVO FERROVIARIO DI RIFERIMENTO E SUA EVOLUZIONE.....	3
1.1 GENERALITA' QUADRO NORMATIVO FERROVIARIO.....	3
1.2 SOGGETTI E RESPONSABILITA'	4
1.3 LA GESTIONE DEI RISCHI.....	5
1.3.1 ANALISI DEI RISCHI	5
1.3.2 GESTIONE DELLE MODIFICHE AL SISTEMA.....	9
1.3.3 IL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA (SGS).....	11
1.3.4 ATTIVITA' DI MONITORAGGIO E INDICATORI.....	12
1.4 LE FERROVIE EX CONCESSE E ISOLATE.....	13
1.5 CONSIDERAZIONI FINALI	16
CAPITOLO 2 – SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE FERROVIARIA E RISCHI ESTERNI	18
2.1 IL REQUISITO SICUREZZA.....	18
2.1.1 LA SICUREZZA IN CAMPO FERROVIARIO.....	19
2.2 CAUSE DI INCIDENTALITA' FERROVIARIA	21
2.2.1 CAUSE ACCIDENTALI	22
2.2.2 PRINCIPALI DATI DI INTERESSE	23
2.2.3 ASPETTI GEOLOGICI: FRANE E SMOTTAMENTI.....	25
2.2.4 ASPETTI IDROLOGICI: ALLAGAMENTI, INONDAZIONI E ALLUVIONI.....	28
2.2.5 ASPETTI SISMICI: TERREMOTI.....	30
2.2.6 INCIDENZA RISCHIO IDROGEOLOGICO SU SETTORE FERROVIARIO	32
2.3 ANALISI STORICA DI EVENTI PASSATI PER CAUSE ACCIDENTALI.....	34
2.3.1 CONSIDERAZIONI GENERALI	39
2.4 BANCHE DATI PER TRATTAZIONE RISCHI ESTERNI.....	41
2.4.1 BANCA DATI: PRESIDI IDRAULICI E IDROGEOLOGICI.....	42

2.4.2 BANCA DATI: SITUAZIONE ITALIANA PER RISCHIO FRANE	43
2.4.3 BANCA DATI: SITUAZIONE ITALIANA PER RISCHIO ALLAGAMENTI	44
2.4.4 BANCA DATI: MODALITA' DI INTERVENTO E GESTIONE DELLE EMERGENZE (PIANI PROTEZIONE CIVILE)	45
 CAPITOLO 3 – ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI	47
3.1 DEFINIZIONI	47
3.2 NORME DI RIFERIMENTO	48
3.2.1 DPR 753/80	48
3.2.2 DECRETO MINISTERIALE DM DEL 4 APRILE 2014	50
3.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	57
3.3.1 LINEE GUIDA DELLA REGIONE ABRUZZO	57
3.3.2 DISPOSIZIONI DI RFI (C.O. n°344 del 7 marzo 2017)	58
3.4 CARATTERIZZAZIONE ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI	59
3.5 BANCA DATI.....	64
3.6 INCIDENTI FERROVIARI	66
 CAPITOLO 4 – DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI ANALISI PER ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI	68
4.1 INTRODUZIONE ALLA METODOLOGIA DI ANALISI.....	69
4.2 METODOLOGIA DI ANALISI	70
4.2.1 ANALISI DEL RISCHIO	70
4.2.2 ALBERO DEI GUASTI (FAULT TREE ANALYSIS – FTA)	74
4.2.3 CAUSE COMUNI DI GUASTO	76
4.2.4 ALBERO DEGLI EVENTI (EVENT TREE ANALYSIS – ETA)	76
4.3 RISULTATI ATTESI	77
 CAPITOLO 5 - CASO STUDIO APPLICATIVO: LA LINEA CANAVESANA GTT	78
5.1 SITUAZIONE FERROVIARIA PIEMONTESE.....	78
5.2 DESCRIZIONE DELLA LINEA CANAVESANA.....	79
5.2.1 CENNI STORICI.....	79

5.2.2 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA LINEA	79
5.2.3 CARATTERIZZAZIONE RISCHIO IDROGEOLOGICO E SISMICO	82
5.2.4 CARATTERIZZAZIONE ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI PRESENTI LUNGO LA LINEA CANAVESANA GTT	90
5.3 VALUTAZIONE DEI RISCHI SU ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI	91
5.3.1 ALBERO DEI GUASTI.....	94
5.3.2 ALBERO DEGLI EVENTI.....	99
5.3.3 MATRICI DI RISCHIO	103
5.3.4 MISURE PREVENTIVE E MITIGATIVE: DEFINIZIONE REQUISITI.....	104
5.4 INDICATORI DI MONITORAGGIO.....	111
CAPITOLO 6 – STRUMENTO IMPLEMENTATO E SOFTWARE	114
6.1 SCHEDA GENERALE MODULO EXCEL	114
6.2 ESEMPI PRATICI DI IMPLEMENTAZIONE	117
6.3 USO DEL SOFTWARE ISOGRAPH.....	138
6.3.1 RISULTATI.....	139
CAPITOLO 7 – CONCLUSIONI	155
7.1 RISULTATI RAGGIUNTI E CONSIDERAZIONI	155
7.2 VANTAGGI E LIMITI DELLO STRUMENTO IMPLEMENTATO.....	156
7.3 SVILUPPI FUTURI.....	157
BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	158
APPENDICE: DOCUMENTI E ALLEGATI.....	I
SEZIONE A	I
FREQUENZE DI ACCADIMENTO PER ALBERO DEI GUASTI	I
SEZIONE B.....	XVIII
PROBABILITA' RAMI DELL'ALBERO DEGLI EVENTI	XVIII

INTRODUZIONE

Il presente lavoro si propone di analizzare le interazioni esistenti tra circolazione ferroviaria e l'ambiente esterno circostante, al fine di individuare i rischi connessi ai fattori esterni e definire le più opportune modalità di gestione.

In particolare, si prendono in considerazione, attraverso un'attenta analisi, tutti quei fenomeni esterni che rappresentano un potenziale rischio nei confronti della ferrovia e della sicurezza di circolazione dei convogli che transitano lungo la linea, come, ad esempio, fattori naturali connessi ad aspetti idrogeologici e sismici, elementi legati al mondo antropizzato, interferenze esterne come attraversamenti e parallelismi, intesi come sottoservizi che si sviluppano al di sotto o al di sopra dell'infrastruttura ferroviaria o ad una certa distanza dalle rotaie.

L'esigenza di tale attività prende le mosse, innanzitutto, dal recente cambio di approccio rispetto a tali problematiche determinate dalle modifiche normative in ambito ferroviario che hanno coinvolto le ferrovie regionali ex concesse, a cui l'attività di analisi si riferisce. Le nuove norme determinano il passaggio da criteri prescrittivi a criteri di tipo prestazionale in materia di sicurezza ferroviaria.

Ulteriore obiettivo del presente lavoro è dato dall'implementazione di uno strumento di supporto, in particolare nella gestione di attraversamenti e parallelismi, che consenta la gestione dei principali aspetti di sicurezza ai fini della stipula delle relative convenzioni e della loro gestione. A questo fine vengono, pertanto, prese in considerazione sia le fasi di progettazione di attraversamenti e parallelismi, sia le condizioni di esercizio, con le relative situazioni di criticità, che possono causare danni considerevoli nei confronti della ferrovia, oltre a determinare situazioni incidentali di grave entità, come la perdita di vite umane, eventuali problematiche ambientali e ingenti spese di carattere economico.

È stata elaborata, quindi, una metodologia di analisi dei rischi per alcune tipologie di attraversamenti e parallelismi, con ambito pratico di applicazione sulla linea Canavesana (Settimo-Rivarolo-Pont) gestita dall'Azienda GTT (Gruppo Torinese Trasporti – Direzione Metro-Ferro e Infrastrutture) di Torino.

L'attività è articolata secondo i seguenti step:

- descrizione del quadro normativo di riferimento in ambito ferroviario, con particolare attenzione all'evoluzione introdotta recentemente, per quanto riguarda il cambiamento di approccio e l'esplicitazione dei sistemi di gestione della sicurezza attualmente in vigore per le reti ferroviarie regionali ex concesse;
- aspetti di sicurezza per la circolazione dei convogli ferroviari lungo la linea, con individuazione dei potenziali rischi esterni che possono impattare direttamente sul sistema, con particolare attenzione agli aspetti di natura idrogeologica e sismica, alle modalità di monitoraggio di questi fenomeni e ai possibili interventi ingegneristici che si possono effettuare, al fine di ridurre o eliminare del tutto i rischi nei confronti della ferrovia;

- caratterizzazione di attraversamenti e parallelismi, con riferimento alle norme che si occupano dei principi di progettazione e gestione durante le fasi di esercizio (DPR 753/80 e DM del 4 aprile 2014);
- definizione della metodologia generale di analisi per la valutazione dei rischi associati ad attraversamenti e parallelismi, in funzione delle diverse categorie esistenti. Si parte dagli elementi di caratterizzazione del territorio per considerare il possibile impatto che i fenomeni geologici, idrologici e sismici possono avere sulle strutture; si procede, successivamente, con la costruzione dell'albero dei guasti, in modo da individuare tutte le cause che portano alla verifica del Top Event e con l'analisi delle conseguenze in termini di danno nei confronti del sistema ferroviario e della sicurezza di circolazione sull'infrastruttura; infine, si individuano i sistemi tecnologici necessari per la gestione delle problematiche e le misure di mitigazione e prevenzione dei rischi;
- elaborazione di uno strumento di supporto (su formato Excel), utile per una valutazione preliminare delle criticità associate ad un determinato parallelismo o attraversamento in funzione della sua caratterizzazione (posizione, contesto in cui si inserisce, modalità di gestione e verifica previste, ecc.) con l'inserimento di una serie di informazioni di input che vengono immesse nel sistema operativo;
- calcolo delle incertezze e della sensibilità dei dati utilizzati nell'analisi, tramite l'ausilio del software "Reliability Workbench 13.0" di Isograph.

CAPITOLO 1 - QUADRO NORMATIVO FERROVIARIO DI RIFERIMENTO E SUA EVOLUZIONE

1.1 GENERALITA' QUADRO NORMATIVO FERROVIARIO

Lo scopo principale di questo capitolo è quello di capire come l'evoluzione del quadro normativo in campo ferroviario, avvenuto negli ultimi anni, abbia influenzato notevolmente il modo di valutare tutti gli aspetti legati alla sicurezza e, di conseguenza, l'operatività del sistema.

A tal proposito, è importante prendere in considerazione i contenuti del quadro normativo europeo, definito dall'Agenzia dell'Unione Europea per le Ferrovie ERA (European Railway Agency), traslato in un contesto nazionale in Italia da parte di ANSF (Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie), in merito alle modalità di gestione della problematica.

L'evoluzione normativa nel contesto nazionale italiano prevede un passaggio da un quadro normativo di carattere "prescrittivo", ad uno "prestazionale", in cui l'ente ferroviario, impresa ferroviaria e gestore dell'infrastruttura sono i soggetti responsabili del funzionamento sicuro, rispettivamente, dell'impresa e dell'infrastruttura; a questo fine, è necessaria l'implementazione di una valutazione dei rischi rispetto a tutti i processi svolti e l'individuazione di tutte le misure di mitigazione e prevenzione necessarie per far rientrare questi rischi nell'accettabilità.

Per fronteggiare questa nuova situazione, è necessario da un lato fare riferimento a metodologie di analisi dei rischi condivise, come previsto dal Regolamento Europeo n°402/2013, dall'altro a tecniche e metodologie di analisi consolidate, da anni applicate in altri ambiti (industria chimica, aeronautica, ecc.).

In particolar modo, mediante il precitato Regolamento Europeo viene stilato un "Metodo comune di sicurezza", utile per la determinazione e valutazione dei rischi.

Il procedimento di gestione dei rischi è di natura iterativa e prevede la ripetizione di una serie di attività, finché non si dimostra che il sistema oggetto di analisi è conforme a tutti i requisiti minimi di sicurezza necessari, affinché risultino accettabili i rischi connessi agli eventi pericolosi individuati. Le fasi operative da compiere, in questo processo, sono le seguenti:

- è necessario, come primo passo, andare a definire le caratteristiche del sistema, con i relativi obiettivi, le funzioni e gli elementi costitutivi dell'apparato;
- in seguito, occorre individuare, accuratamente, i potenziali eventi pericolosi, che potrebbero impattare con effetti negativi sul sistema considerato;
- si effettua, come fase successiva, la stima, qualitativa e/o quantitativa, dei rischi rintracciati nel punto precedente. Dal punto di vista analitico, si ricorre all'utilizzo di metodi consolidati, che portano ad un risultato attendibile e preciso, utile a costituire una solida base decisionale;
- infine, si procede con la valutazione dell'accettabilità dei rischi associati agli eventi pericolosi individuati, in accordo con i requisiti stabiliti dalla normativa dell'Unione Europea o dalle norme nazionali. Al termine del processo, nel caso in cui il rischio stimato non risulta accettabile, in quanto non rispetta tutti i principi sanciti dalle norme di riferimento, si deve procedere con la definizione e la messa in atto di misure di sicurezza e sistemi di monitoraggio supplementari, che riducano il rischio ad un livello considerato "accettabile".

Nel mondo ferroviario, è stato individuato un “sistema di riferimento” normativo, definito nell'ex direttiva ANSF 1/2012, che stabilisce una condizione di rischio accettabile. Al fianco di questa direttiva, che fornisce, quindi, una serie di linee guida per lo svolgimento delle attività a carico degli operatori ferroviari a seguito del riordino del quadro normativo, sono state messe a disposizione alcune “Tabelle di raffronto”, nelle quali, per ciascun provvedimento normativo previgente, vengono indicati da un lato la coerenza o meno dello stesso con i principi e i criteri emanati nel decreto 4/2012 e dall'altro l'operatore, inteso come gestore dell'infrastruttura o impresa ferroviaria, tra le cui attribuzioni ricade il medesimo provvedimento.

Tuttavia, è importante considerare che nel corso della vita del sistema possono essere introdotte dall'esterno alcune modifiche rispetto al “sistema di riferimento”, al fine di soddisfare una serie di esigenze di carattere tecnico oppure operativo. In questa nuova configurazione, non si è più sicuri di ricadere nella condizione di rischio accettabile, perché è necessario valutare la modifica in termini di rischi indotti o di variazione dei livelli di rischio precedenti.

Nel caso di qualsiasi deviazione rispetto alla situazione iniziale oppure rispetto a norme in vigore, è necessario effettuare una specifica valutazione della modifica, raffrontando il sistema esistente e quello risultante in seguito all'applicazione della modifica.

1.2 SOGGETTI E RESPONSABILITA'

Sulla base del nuovo contesto normativo, descritto nel paragrafo precedente, si stabiliscono nuovamente i ruoli e le relative responsabilità, che ciascun componente del sistema deve esercitare.

Inizialmente, con riferimento al Decreto del Presidente della Repubblica DPR n°753/80, con valenza a livello nazionale, si affidava la piena responsabilità, in materia della sicurezza, alla figura del Direttore di Esercizio. L'attività di controllo era svolta dal Ministero dei Trasporti attraverso l'attività degli USTIF locali.

Attualmente, con l'introduzione dei nuovi principi normativi europei e nazionali, l'ente di controllo che si occupa del rispetto della gestione dei fattori legati alla sicurezza in campo ferroviario è l'ANSF, la quale comunica anche con altre entità del settore e svolge le seguenti attività operative:

- **attività internazionale**, in collaborazione con l'ERA, non solo per lo sviluppo di obiettivi e metodologie comuni di sicurezza, ma anche per l'armonizzazione delle norme nazionali;
- **attività di regolamentazione**, durante la quale vengono suddivisi i ruoli e le responsabilità dei diversi operatori ferroviari;
- **attività autorizzativa**, che permette il rilascio di titoli abilitativi agli operatori ferroviari per l'esercizio delle loro attività professionali;
- **attività di controllo**, che consiste in un continuo monitoraggio dei compiti svolti dai singoli operatori ferroviari, per rilevare eventuali criticità interne e procedere con la completa risoluzione di tali problematiche, in modo rapido ed esaustivo.

Inoltre, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha istituito un efficace organismo investigativo, il cui ruolo rimane confinato nelle attività di indagine, a seguito di gravi incidenti,

le cui informazioni base dell'episodio vengono registrate all'interno di una specifica relazione tecnica, DIGIFEMA.

Infine, ciascun gestore dell'infrastruttura e ciascuna impresa ferroviaria è responsabile del proprio sistema e del relativo funzionamento sicuro; in particolare, i vertici aziendali sono i principali responsabili dell'organizzazione. La gestione sicura prende le mosse da una valutazione dei rischi e dalla messa in atto di opportune misure di controllo del rischio, dall'applicazione di norme e standard di sicurezza, riconosciuti a livello nazionale, e soprattutto mediante l'implementazione dei “Sistemi di Gestione della Sicurezza”, indicati con la sigla SGS.

Si riporta di seguito un grafico, che riassume in modo schematico l'interazione tra i diversi organismi precedentemente descritti: per completezza, si fa presente che, all'interno di tale modello compaiono anche altri enti terzi di verifica, che sono parte integrante dell'assetto attuale del sistema ferroviario, ma che non risultano particolarmente significativi per la presente trattazione; si tratta di “Detentori”, “SRM” (Soggetti Responsabili della Manutenzione) e “SRM carri”.

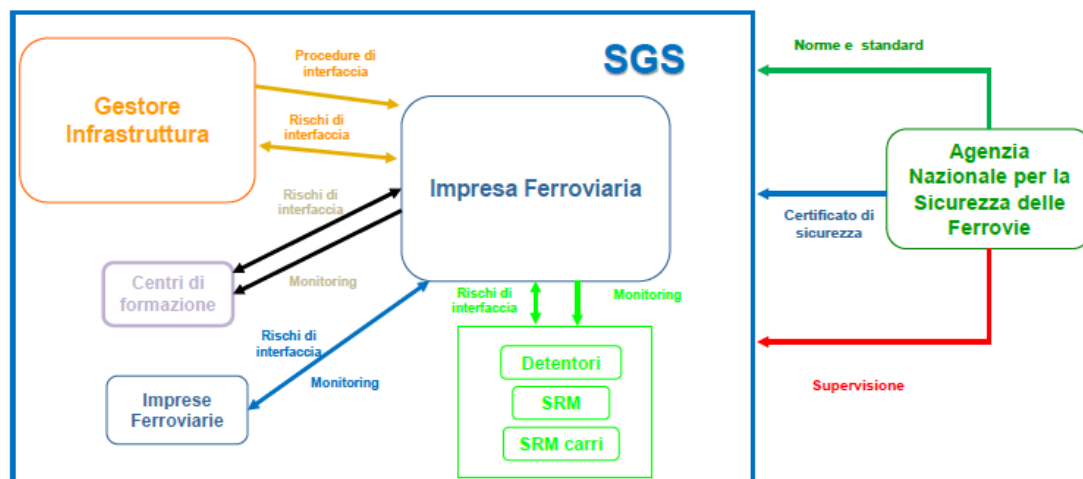


Figura 1.1: Soggetti coinvolti

1.3 LA GESTIONE DEI RISCHI

1.3.1 ANALISI DEI RISCHI

Il sistema di gestione della sicurezza da attuare da parte di ciascuna impresa e gestore ferroviario deve essere implementato sulla base della valutazione dei rischi per ciascuno dei processi attuati.

Già l'articolo 8 del DPR 753/80 recitava che “nell'esercizio ferroviario si devono adottare le misure e le cautele suggerite dalla tecnica e dalla pratica, atte ad evitare sinistri di qualsiasi tipo”.

Per soddisfare questa esigenza è, quindi, necessario minimizzare il rischio tramite una corretta metodologia di valutazione dei rischi. Tuttavia, nel corso degli anni, il settore ferroviario è passato da un approccio “reagire e correggere”, basato sul semplice rispetto delle norme nazionali e sullo studio critico delle cattive esperienze avvenute in passato, al metodo

“prevedere e prevenire”, secondo cui l’Impresa Ferroviaria e il Gestore dell’Infrastruttura devono controllare e gestire i rischi mediante appositi Sistemi di Gestione della Sicurezza. In base a quest’ultimo orientamento, è necessario sia osservare quanto avvenuto in passato, sia monitorare la situazione per il futuro.

Secondo questa nuova metodologia occorre, innanzitutto, individuare con attenzione tutti i possibili eventi dannosi che potrebbero rappresentare un possibile rischio per la circolazione ferroviaria e, parimenti, ricercare misure di controllo efficienti, che aiutino a gestire tutte le situazioni pericolose in modo sicuro.

A seguito dell’individuazione di tutte le situazioni pericolose, riportate nel registro degli eventi pericolosi, è necessario discutere l’accettabilità dei rischi connessi.

A questo proposito, con riferimento al Regolamento 402/2013 è possibile applicare diversi criteri di accettabilità del rischio:

- **codici di buona pratica:** quando si fa riferimento ai “codici di buona pratica”, ci si affida a una serie di regole scritte che, se applicate in maniera corretta, possono servire a controllare uno o più eventi pericolosi specifici. Tali documenti sono integrati anche con soluzioni di ampio riconoscimento, utilissime nel settore ferroviario;
- **sistemi di riferimento simili:** un’altra possibilità prevista è quella di confrontare le situazioni a disposizione con “sistemi di riferimento simili” approvati, che hanno dimostrato di presentare un livello di sicurezza accettabile e rispetto al quale è possibile valutare, per comparazione, l’accettabilità dei rischi derivanti da un sistema soggetto a valutazione. È opportuno evidenziare che, per procedere con il confronto, il sistema sottoposto a valutazione deve essere impiegato in condizioni funzionali, operative ed ambientali simili a quelle del sistema di riferimento e, al contempo, controllare che il livello di sicurezza del sistema di riferimento considerato sia adeguato per il sistema da valutare;
- **stima accurata dei rischi:** se gli eventi pericolosi non sono coperti dall’applicazione dei due criteri di accettazione dei rischi appena descritti, l’accettabilità dei rischi deve essere dimostrata mediante una stima accurata dei rischi stessi, il cui processo prevede la definizione della frequenza di accadimento dell’evento pericoloso e l’analisi delle conseguenze associate allo stesso.

Tuttavia, l’accettabilità dei rischi stimati è valutata in base ai criteri di accettazione dei rischi fondati sui requisiti stabiliti dalla normativa dell’Unione o dalle norme nazionali, secondo la seguente organizzazione tabellare:

Probabilità o frequenza *	LIVELLI DI RISCHIO			
Frequente	X	X	X	x
Probabile	X	X	X	X
Occasionale	X	X	X	X
Remoto	Tollerabile	X	X	X
Improbabile	Trascurabile	Tollerabile	Tollerabile	X
Inverosimile	Trascurabile	Trascurabile	Trascurabile	Tollerabile
	Insignificante	Marginale	Critico	Catastrofico
	GRAVITA'			

La precedente tabella viene strutturata mettendo in relazione due informazioni basilari dell'analisi: da un lato, la scala di probabilità o frequenza di accadimento delle situazioni pericolose, e dall'altro la gravità dell'evento pericoloso.

Tuttavia, mentre le definizioni associate alla probabilità o frequenza di accadimento sono più intuitive da capire, il significato delle quattro condizioni legate al concetto "Gravità" meritano un ulteriore chiarimento:

- il termine "Insignificante" è associato ad un blando danno nei confronti del sistema;
- il concetto "Marginale" si utilizza nel momento in cui si verifica il ferimento di individui, importanti minacce per l'ambiente oppure un grave danno per uno o più sistemi;
- il termine "Critico" si riferisce alla condizione di grave lesione di una persona, importanti danni all'ambiente o perdita di un sistema principale;
- il concetto "Catastrofico" si utilizza in presenza di morte di individui, gravi ferimenti o ingenti danni all'ambiente.

Un'altra osservazione che si può dedurre dalla precedente tabella è connessa ai possibili risultati contenuti nelle singole celle: le combinazioni che originano un livello di rischio indicato con la "X" rappresentano condizioni non ammissibili, mentre il grado di rischio associato alle altre casistiche può essere considerato "tollerabile" o, nel migliore dei casi, "trascurabile".

Ovviamente, per tendere ad una delle ultime due condizioni ideali di rischio residuo, è necessario adottare tutte le misure cautelative suggerite dalla tecnica e dalla pratica, necessarie ad evitare sinistri.

All'interno dell'analisi dei rischi è importante considerare anche l'incidenza del "Fattore umano", che risulta essere un aspetto altamente condizionante in campo ferroviario.

Infatti, l'operatività umana influenza enormemente le scelte che vengono prese all'interno dell'organizzazione, in base alla cultura, le competenze, l'esperienza e le capacità pratiche degli operatori che svolgono le attività in questo settore.

Anche in questo campo si potrebbe, per certi versi, innescare un'analisi specifica, che parte dalla definizione gerarchica delle diverse mansioni, in modo tale da individuare i ruoli ricoperti dai diversi individui all'interno del sistema. Successivamente, si può procedere con l'identificazione delle possibili modalità di errore con conseguente quantificazione delle stesse.

Tuttavia, la quantificazione dell'errore umano costituisce l'aspetto più complesso della metodologia, che si definisce attraverso la probabilità di errore umano.

A tal proposito, esistono diverse tecniche per il calcolo di queste probabilità; la più diffusa, con molti riscontri anche in altri campi di applicazione, è il metodo **HEART** (Human Error Assessment and Reduction Technique), caratterizzato da una buona accuratezza, validità, utilità e risorse.

Secondo questo metodo la probabilità di errore può essere quantificata come segue:

$$P = P_0 \Pi_i P F_i$$

Dove:

P è la probabilità di errore da determinare;

P_0 è la probabilità di errore nominale, scelta in funzione della mansione sotto analisi dalla tabella di seguito riportata:

	Generiche mansioni	P_0
A	Completamente nuova, eseguita velocemente senza la reale idea delle possibili conseguenze	0,55
B	Cambiare/riportare il sistema in un nuovo stato/nello stato iniziale con un solo tentativo senza procedure di controllo	0,26
C	Compito complesso che richiede un elevato livello di comprensione e competenza	0,16
D	Compito abbastanza semplice eseguito rapidamente o con poca attenzione	0,09
E	Compito routinario che richiede un non elevato livello di competenze	0,02
F	Cambiare/riportare il sistema nello stato iniziale o in un nuovo stato seguendo procedure + controllo	0,003
G	Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi	0,0004
H	Rispondere correttamente ad un comando di sistema anche in presenza di un sistema automatizzato di supervisione che fornisce interpretazione accurata dello stato del sistema	0,000002
M	Compito per il quale non è disponibile alcuna descrizione	0,03

Tabella 1.1: Valutazione probabilità nominale

$P F_i$ è il fattore di performance, valutato in funzione delle condizioni che favoriscono l'errore, moltiplicato per i relativi fattori di peso, variabili tra 0 e 1.

Applicando la precedente formulazione per i diversi step dell'analisi, si ottiene un vettore di probabilità di dimensione pari al numero di attività affidate all'uomo.

Infine, combinando insieme gli elementi di tale vettore è possibile definire il Fattore di sicurezza, un indicatore sintetico, estremamente utile per valutare il grado di affidabilità associato alle diverse attività svolte dall'uomo; in particolare, tutte le attività caratterizzate da bassi livelli di affidabilità devono essere sottoposti ad interventi migliorativi.

Per concludere la trattazione inerente l'analisi dei rischi, è utile fare una considerazione in merito alla modalità con cui si devono utilizzare le fonti e i dati di natura storica; queste informazioni, riferite a circostanze passate, risultano utili nel processo di identificazione delle conseguenze associate ad un determinato evento dannoso, non sono, invece, sufficienti all'individuazione delle situazioni pericolose per il sistema, in quanto ogni circostanza ha una propria specificità che deve essere tenuta in conto a seconda dei casi esaminati.

Tuttavia, è ammessa la possibilità di prelevare da banche dati esterne le informazioni necessarie da registrare a seconda dell'evento critico, purché i contesti di analisi risultino paragonabili tra loro.

1.3.2 GESTIONE DELLE MODIFICHE AL SISTEMA

Tutte le volte che si introduce una perturbazione sul sistema, oggetto di analisi, intesa come variazione delle condizioni di esercizio, all'interno del SGS devono essere incluse procedure e metodologie specifiche da adottare per la valutazione dei rischi e per l'attuazione delle misure di monitoraggio.

In presenza di una modifica, occorre esaminare con attenzione se esiste o meno un'incidenza nei confronti della sicurezza. In caso negativo, la valutazione non prevede ulteriori step; in caso affermativo, invece, è necessario definirne le rilevanze in base a criteri definiti e eventualmente una valutazione dei rischi preliminare.

In caso di modifica rilevante, è necessario procedere ad una valutazione dei rischi di dettaglio e la valutazione effettuata deve essere verificata da parte di un organismo di valutazione, che stabilisce l'idoneità del processo applicato.

I principali passi dell'analisi, relativamente alla gestione delle modifiche, sono i seguenti:

1. analisi della modifica e delle motivazioni di introduzione della stessa da parte del proponente;
2. valutazione del suo impatto nel campo della sicurezza;
3. in caso di impatto, occorre valutare la rilevanza o meno, sfruttando i criteri riportati nell'articolo 4 del Regolamento n°402/2013:
 - analisi della conseguenza del guasto, intesa come peggiore scenario plausibile che si potrebbe verificare in caso di guasto del sistema sottoposto a valutazione;
 - innovazioni applicate per attuare la modifica, comprendenti sia le novità nel settore ferroviario che i cambiamenti riguardanti l'organizzazione che introduce la modifica;
 - complessità della modifica;
 - monitoraggio, inteso come impossibilità di osservare costantemente la modifica messa in atto durante tutto il ciclo di vita del sistema e come incapacità di intervenire in maniera opportuna;
 - reversibilità, vista come impossibilità di ripristinare la situazione preesistente prima della perturbazione;
 - complementarità, ossia la valutazione della rilevanza della modifica alla luce di tutte le modifiche recenti riguardanti la sicurezza apportate al sistema sottoposto a valutazione e non ritenute rilevanti;
4. in caso di non impatto o impatto non rilevante, il proponente della modifica non procede ulteriormente con l'analisi;

5. davanti a una condizione di impatto rilevante, invece, è necessario avviare una procedura di identificazione dei pericoli, rischi (da una opportuna combinazione dei pericoli con le relative probabilità di accadimento), misure di mitigazione e criteri di accettabilità del rischio, secondo le informazioni organizzate nel seguente diagramma di flusso:



Figura 1.2: Diagramma di flusso per valutazione impatto rilevante

6. i criteri di accettazione dei rischi sono scelti dal proponente della modifica fra quelli indicati dal Regolamento n°402/2013, come codici di buona pratica, confronto con sistemi di riferimento analoghi già in esercizio oppure tramite stima accurata dei rischi di natura quantitativa;
7. successivamente, si procede con la realizzazione della cosiddetta “Matrice dei Rischi”, definita anche come “Hazard Log” per la determinazione del livello di rischio residuo. Tale matrice dei rischi viene tracciata in forma tabellare, coniugando le informazioni considerate ai punti precedenti;
8. a questo punto il Regolamento n°402 impone che, in presenza di impatto rilevante sulla sicurezza, l’analisi dei rischi deve essere sottoposta alla “Valutazione Indipendente di un Assessment Body”, riconosciuto dall’Agenzia Nazionale ANSF; nel territorio italiano, si individuano in questa veste i VIS.
Questi ultimi elaborano un “Rapporto di Valutazione della Sicurezza”, all’interno del quale viene esplicitata la conformità o meno dei risultati ottenuti con il metodo di valutazione dei rischi applicato dal proponente;
9. a questo punto, il proponente è libero di scegliere se prendere in considerazione o meno le raccomandazioni elaborate dal VIS.

1.3.3 IL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA (SGS)

Secondo i principi sanciti dal quadro normativo, attualmente in vigore, è necessario che imprese e gestori ferroviari implementino e attuino un Sistema di Gestione della Sicurezza, sulla base del quale è rilasciato da parte dell'ANSF rispettivamente il Certificato o l'Autorizzazione di Sicurezza.

Si tratta di un sistema organizzativo ed operativo, che descrive le regole che il Gestore dell'Infrastruttura e l'Impresa Ferroviaria devono mettere in atto mediante l'utilizzo di strumenti adeguati, per assicurare la conduzione sicura delle operazioni in materia di sicurezza.

La principale funzione ricoperta dal SGS è quella di pianificare le attività, responsabilità, procedure e risorse, atti a sviluppare la politica della sicurezza dell'organizzazione.

Nel 2010, l'ERA ha messo a disposizione dei diversi operatori, che svolgono attività nel settore ferroviario, alcune linee guida per la corretta progettazione e realizzazione del proprio SGS, in riferimento sempre ai vincoli imposti dalle norme di riferimento; in particolare, in primo luogo, è possibile effettuare il rilascio di certificati e autorizzazioni di sicurezza da parte delle autorità nazionali solamente dopo aver attuato un SGS adeguato. Inoltre, le azioni esercitate dal SGS, in termini di controllo e gestione dei rischi, devono coinvolgere tutte le risorse interne di carattere tecnico, umano e strumentale dell'organizzazione e considerare anche attività esterne, che possono avere un'interfaccia con il settore ferroviario.

L'obiettivo principale che tutti i soggetti con mansioni legate alla sicurezza devono raggiungere è il costante miglioramento delle forme di controllo e gestione della sicurezza in ambito ferroviario, mirando al raggiungimento di valori nulli di incidentalità, servendosi dei nuovi criteri stabiliti dalle norme e dei nuovi strumenti tecnologici messi a disposizione.

L'approccio utilizzato dal punto di vista operativo, può essere schematizzato come segue:

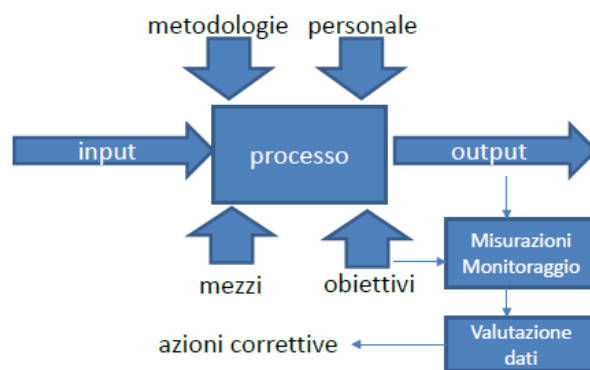


Figura 1.3: Sistema di Gestione della Sicurezza

1.3.4 ATTIVITA' DI MONITORAGGIO E INDICATORI

Le attività di monitoraggio, intese come misure di controllo o azioni specifiche che hanno la funzione di migliorare lo stato del sistema, rispettando tutti i canoni di sicurezza, sono poste in essere dalle imprese ferroviarie per verificare l'efficacia e la corretta applicazione del sistema di gestione. È opportuno, quindi, controllare che le prestazioni di sicurezza del SGS siano realizzate applicando in modo corretto le procedure per il controllo del rischio e, al contempo, che queste performance non siano soggette a bruschi mutamenti negativi durante la vita utile del sistema.

Questa fase di monitoraggio deve essere studiata con un alto livello di dettaglio e deve comprendere le seguenti attività di tipo operativo:

- definizione delle strategie, priorità e piani di monitoraggio;
- raccolta e analisi delle informazioni;
- elaborazione di un piano d'azione per casi di non conformità inaccettabili rispetto ai requisiti stabiliti nel sistema di gestione;
- attuazione del piano di azione;
- valutazione dell'efficacia delle misure indicate nel piano d'azione.

Per la corretta gestione di tutte queste attività da parte degli operatori ferroviari, è necessario un sistema efficace di indicatori, che rappresentano, a tutti gli effetti, dei saldi punti di riferimento durante lo svolgimento delle attività. Tali indicatori hanno anche il compito di valutare le prestazioni del sistema, in modo tale da riuscire a intervenire, tempestivamente, in presenza di anomalie e vengono classificati in 3 diverse categorie:

- **INDICATORI COMUNI DI SICUREZZA**, indicati anche come CSI, si riferiscono ad eventi significativi, come incidenti con determinate conseguenze o precursori di maggiore rilevanza.
Sono anche definiti a livello europeo e servono per monitorare l'evoluzione generale della sicurezza ferroviaria di uno Stato o per confrontare le condizioni tra i diversi stati, al fine di conoscere e monitorare il livello di sicurezza del sistema ferroviario europeo;
- **INDICATORI NAZIONALI DI SICUREZZA**, dotati di caratteristiche ben precise, come semplicità, chiarezza di comprensione ed univocità nella definizione;
- **INDICATORI DEL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA**, basati su analisi dei rischi specifici, indipendenti dalla progettazione del servizio, costituiscono uno degli elementi della fase di riesame del SGS.

In ordine di importanza, tali indicatori possono essere rappresentati dalla seguente struttura piramidale, con i relativi principali campi di applicazione in ambito ferroviario:



Figura 1.4: Piramide gerarchica degli indicatori di monitoraggio

1.4 LE FERROVIE EX CONCESSE E ISOLATE

All'interno della presente trattazione merita attenzione anche una piccola esposizione in merito alla condizione particolare delle cosiddette "Ferrovie ex-concesse" e "Ferrovie isolate".

Questa tematica ha suscitato moltissimi spunti di riflessione nel settore dei trasporti, a seguito dell'incidente ferroviario avvenuto ad Andria, in Puglia, il 12 luglio 2016, sulla linea ferroviaria Bari-Barletta, a binario singolo, gestita dall'Azienda "Ferrotramviaria S.P.A.", durante il quale hanno perso la vita ben 23 persone.

In particolare, sono stati messi in discussione, da parte delle autorità ministeriali, i sistemi di sicurezza di queste reti ferroviarie regionali, spesso valutati meno efficaci rispetto a quelli messi in atto sulla rete ferroviaria italiana di RFI.

Diverse sono le differenze tra tali reti e la rete nazionale di RFI.

Nel primo caso si utilizzano sulla totalità della rete sistemi di controllo molto efficienti, come:

- il Sistema di Controllo della Marcia del Treno (SCMT), che protegge il convoglio durante il suo percorso. Esso interviene tutte le volte che si manifestano incongruenze o condizioni non sicure di marcia, azionando automaticamente la frenatura di emergenza, che può portare anche all'arresto del convoglio, qualora gli agenti di condotta non reagiscono prontamente per eliminare la situazione di pericolo;
- alternativo al precedente sistema è l'European Rail Traffic Management System (ERTMS), un sistema ancora più avanzato, utilizzato prevalentemente per l'alta velocità, che fornisce al macchinista tutte le informazioni necessarie per una guida strumentale, controllando con continuità gli effetti del suo operato sulla sicurezza della marcia del treno e attivando la frenatura d'urgenza nel caso in cui la velocità del treno supera quella massima ammessa per la sicurezza. Questo sistema rappresenta a tutti gli effetti una delle più significative innovazioni nel panorama del segnalamento ferroviario, consentendo la circolazione di treni di diversa nazionalità, sulla base di informazioni scambiate dal sotto sistema di terra e di bordo, definite con un linguaggio comune e gestite con componenti interoperabili.

Tali sistemi sono per lo più non ancora disponibili sulle reti regionali ex concesse.

Una svolta importante su questo tema è avvenuta in seguito all’emanazione del Decreto Ministeriale del 5 agosto 2016 (DM 05/08/2016), da parte del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, Graziano Delrio, secondo cui le ferrovie regionali hanno avviato un percorso per adattarsi alle nuove normative, come già effettuato in passato da RFI.

In altre parole, con la pubblicazione di questo Decreto, le ferrovie ex-concesse passano sotto la competenza di ANSF, la quale sta cercando di allineare pian piano queste realtà ai livelli di sicurezza di RFI. Per via precauzionale, l’Agenzia ANSF ha disposto una velocità massima di esercizio per la marcia dei convogli ferroviari pari a 50 km/h sulle linee non ancora attrezzate con il sistema SCMT.

Il mondo ANSF ha come principale obiettivo la garanzia di alti livelli di sicurezza, in accordo con le metodologie applicate in altri paesi europei, in modo tale da poter garantire l’interoperabilità del sistema ferroviario; per poter raggiungere questo traguardo, è necessario che tutti i gestori dell’infrastruttura adeguino e attrezzino la propria linea ferroviaria con adeguati SGS, che riescano a gestire nel migliore dei modi sia i rischi interni che quelli esterni alla circolazione ferroviaria.

Per quanto riguarda le ferrovie isolate il discorso è diverso. Queste ferrovie regionali non rientrano nelle condizioni sancite dal DM del 05/08/2016.

Tuttavia, a seguito dell’emissione del decreto ministeriale di cui sopra, tali ferrovie rimaste sotto il controllo di USTIF (Uffici Speciali per Trasporto a Impianti Fissi), hanno dovuto produrre e trasmettere su specifica richiesta del Ministero un’analisi e valutazione dei rischi, un sistema per la gestione della sicurezza e requisiti analoghi a quelli di ANSF.

Successivamente, il 4 dicembre 2017, è stata approvata la legge n°172, secondo la quale anche le ferrovie isolate, che ricadono nel Decreto Legislativo n°112 del 2015, passano sotto la competenza di ANSF, in analogia a quanto effettuato nel caso delle ferrovie interconnesse nell’anno 2016, seppur con qualche distinguo specifico.

In particolare, entro dicembre 2018, l’ANSF individuerà le norme tecniche e gli standard di sicurezza applicabili alle reti funzionalmente isolate dal resto del sistema ferroviario, nonché ai gestori del servizio che operano su tali reti, tenendo conto delle caratteristiche delle tratte ferroviarie, dei rotabili e del servizio di trasporto. Tuttavia, tali disposizioni dovranno essere applicate a partire da giugno 2019.

In Italia, sono ancora presenti molte realtà di questo tipo, che ricadono sotto una delle due categorie precedentemente esposte; in particolar modo, in territorio piemontese, si possono citare a titolo esemplificativo le due reti ferroviarie gestite dall’Azienda GTT (Gruppo Torinese Trasporti):

- la ferrovia Canavesana (ex-concessa), interconnessa sulla rete di RFI, sviluppata dal nodo di Settimo Torinese alla stazione di Pont Canavese, per un totale di circa 38 km;
- la ferrovia Torino–Ceres (isolata), che ha un’estensione totale di circa 42 km.

Si riporta di seguito un prospetto riassuntivo delle sole ferrovie ex-concesse presenti nelle diverse regioni del territorio italiano, contemplate all’interno del DM del 05 agosto 2016.

Linee ferroviarie	Gestore infrastrutture	Imprese esercenti i servizi di trasporto	Regione
Ferrovia Canavesana (Settimo-Rivarolo-Pont)	GRUPPO TORINESE TRASPORTI GTT S.P.A.	GRUPPO TORINESE TRASPORTI GTT S.P.A.	PIEMONTE
Milano-Saronno Milano Bovisa-Erba-Asso Saronno-Como Saronno-Varese-Laveno Saronno-Novara Saronno-Seregno Seveso-Camnago Busto Arsizio/Vanzaghella-Malpensa Aeroporto (Terminal 2)	FERROVIENORD S.P.A.	TRENORD s.r.l.	LOMBARDIA
Udine-Cividale	FERROVIE UDINE- CIVIDALE s.r.l.	SOCIETA' FERROVIE UDINE-CIVIDALE s.r.l.	FRIULI VENEZIA GIULIA
Mestre-Adria	SOCIETA' SISTEMI TERRITORIALI S.P.A.	SOCIETA' SISTEMI TERRITORIALI S.P.A.	VENETO
Bologna-Portomaggiore-Dogato Ferrara-Codigoro Reggio Emilia-Guastalla Reggio Emilia-Ciano D'Enza Reggio Emilia-Sassuolo Reggio Emilia-San Lazzaro Modena-Sassuolo Casalecchio-Vignola Suzzara-Ferrara Parma-Suzzara	FER s.r.l.	TPer s.r.l.	EMILIA ROMAGNA
Arezzo-Stia Arezzo-Sinalunga	RFT S.P.A.	TFT S.P.A.	TOSCANA
Terni-Perugia-Sansepolcro Perugia-S. Anna	UMBRIA TPL E MOBILITA' S.P.A.	UMBRIA TPL E MOBILITA' S.P.A.	UMBRIA
San Vito-Lanciano-Castel di Sangro Torino di Sangro-Archi	SOCIETA' UNICA ABRUZZESE DI TRASPORTO (T.U.A.) S.P.A.	SOCIETA' UNICA ABRUZZESE DI TRASPORTO (T.U.A.) S.P.A.	ABRUZZO
Santa Maria Capua Vetere- Piedimonte Matese Benevento-Cancello	E.A.V. s.r.l.	E.A.V. s.r.l.	CAMPANIA
Bari-Lamasinata-Bitonto-Barletta Bari-Lamasinata-Aeroporto-Bivio S.Spirito Bari-Lamasinata-Quartiere S.Paolo	FERROTRAMVIARIA S.P.A.	FERROTRAMVIARIA S.P.A.	PUGLIA
Foggia-Lucera San Severo-Rodi-Peschici	FERROVIE DEL GARGANO s.r.l.	FERROVIE DEL GARGANO s.r.l.	
Bari-Taranto Martina Franca-Lecce Novolo-Nardò-Gagliano Leuca Casarano-Gallipoli Lecce-Gallipoli Maglie-Otranto	FERROVIE DEL SUD-EST E SERVIZI AUTOMOBILISTICI s.r.l.	FERROVIE DEL SUD-EST E SERVIZI AUTOMOBILISTICI s.r.l.	

Tabella 1.2: Ferrovie ex-concesse contemplate nel DM del 5 agosto 2016 (Allegato A)

1.5 CONSIDERAZIONI FINALI

Come si è avuto modo di riscontrare nei precedenti paragrafi, esistono diverse metodologie che è possibile applicare per identificare i potenziali pericoli nel settore ferroviario e per valutare sia in maniera qualitativa che per via analitica i rischi associati ai diversi eventi dannosi.

Il calcolo che si può effettuare per la stima quantitativa dei rischi è alquanto complesso, dal momento che molto spesso ci si ritrova ad affrontare operazioni di natura statistica, associate alla definizione della probabilità di accadimento di un determinato evento dannoso.

Ovviamente, trattandosi di modelli di calcolo basati su operazioni di natura probabilistica e matematica, occorre anche verificare al termine del processo i gradi di incertezza, che sono contenuti all'interno dei risultati ottenuti; in generale, si può affermare che, nel caso in cui tali incertezze non permettono il confronto tra diverse situazioni, la valutazione in esame perde di significato, in quanto ci si allontana fortemente dalle condizioni riscontrate nella realtà.

Proprio per questo motivo, risulta di fondamentale importanza accertarsi che i metodi utilizzati nell'analisi permettano di raggiungere l'obiettivo prefissato e che le incertezze associate al modello analitico utilizzato portino al minimo errore possibile.

Infine, una particolare attenzione merita, come si è visto, l'analisi del cosiddetto "Fattore umano", spesso considerato come causa fondamentale in seguito alla manifestazione di eventi avversi. In particolare, risulta di fondamentale importanza soffermarsi a comprendere non solo la natura di questo errore, ma anche il motivo per cui è stato commesso: spesso le cause che ricadono nel cosiddetto "Fattore umano" dipendono da stati d'animo o aspetti della vita privata esterni al contesto lavorativo, che portano l'uomo a distrazioni o negligenze con effetti e conseguenze anche piuttosto significative, come incidenti o danni durante le fasi di esercizio del sistema.

Tuttavia, l'analisi attenta di questi fattori è estremamente necessaria, in modo tale da ricercare le principali cause che portano gli operatori a commettere sbagli durante le ore di lavoro e, al tempo stesso, per addestrare il nuovo personale durante i corsi di formazione, cercando di infondere un certo grado di responsabilità per i ruoli rivestiti in ambito lavorativo.

Per quanto riguarda lo stato dell'arte, ossia la situazione attuale in cui ci si trova, rispetto ai canoni stabiliti dalla normativa, si può rilevare che GTT, così come gli altri enti regionali che sono rientrati da poco sotto la competenza dell'ANSF, stanno pian piano applicando tutti i principi previsti, al fine di rispettare a pieno tutti i requisiti di sicurezza imposti.

Il Sistema di Gestione della Sicurezza di GTT Infrastruttura è stato presentato ad ANSF e, attualmente, è in fase di valutazione da parte dell'Agenzia nazionale. Una considerazione analoga si può effettuare per il caso delle attività di monitoraggio e degli indicatori da dover mettere a punto per tenere sotto controllo tutti i rischi potenziali nei confronti della ferrovia e della sicurezza di circolazione; gli indicatori sono stati determinati sulla base della valutazione dei rischi ed è stata avviata la raccolta e valutazione degli stessi. Il processo risulta ovviamente articolato e l'attuazione del sistema richiede un cambio culturale che non è del tutto immediato.

Le attività svolte finora da parte di GTT hanno seguito le scadenze previste dalla normativa, ossia:

- per la fine del dicembre 2016, presentazione dell'estensione del certificato di sicurezza come Azienda di Trasporto anche per la tratta di infrastruttura GTT;
- a gennaio 2017, separazione contabile tra il settore del trasporto e quello dell'infrastruttura;
- entro marzo 2017, presentazione del Sistema di Gestione per la Sicurezza e della valutazione dei rischi.

Diverso è il discorso per RFI, il quale ha applicato la normativa che regola queste condizioni, fin dalla sua entrata in vigore; quindi, tutti questi processi sono stati portati avanti ormai da molti anni, con l'implementazione della valutazione dei rischi relativamente all'infrastruttura gestita a livello nazionale da parte di questo ente.

CAPITOLO 2 – SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE FERROVIARIA E RISCHI ESTERNI

2.1 IL REQUISITO SICUREZZA

In qualsiasi contesto lavorativo, si è soliti parlare di “SICUREZZA”.

Si tratta di un concetto alquanto complicato da studiare e rappresenta al giorno d’oggi uno dei requisiti fondamentali da dover garantire. Infatti, solo dopo aver assicurato preliminarmente tale aspetto, ci si preoccupa di affrontare ogni altra forma di analisi prevista nel campo di qualsiasi applicazione lavorativa.

Da un punto di vista tecnico, la sicurezza costituisce una condizione essenziale, che previene la nascita di stati indesiderati nel sistema considerato, evitando di conseguenza qualsiasi forma di danno o pericolo per il futuro.

Si deduce, quindi, che la situazione di sicurezza totale è difficile da garantire, in quanto si manifesta solamente nel momento in cui si ha l’assoluta certezza che non si possa manifestare alcuna forma di potenziale pericolo.

Nella vita quotidiana, spesso si considera l’applicazione ed il rispetto delle normative specifiche, legate alla sicurezza, come garanzia della sicurezza stessa; chiaramente, il seguire alla lettera le regole e le indicazioni fornite dalle norme, rende sicuramente più difficile il verificarsi di eventi dannosi o incidenti, creando le serene premesse di una migliore qualità della vita.

In italiano il termine “sicurezza” è alquanto generalizzato e viene utilizzato indistintamente per indicare situazioni che nella realtà sono differenti. Tale applicazione arbitraria non si riscontra nel mondo anglosassone dove viene effettuata una netta distinzione tra “Safety” e “Security”. Nel primo concetto vengono presi in considerazione tutti i fattori inerenti la sicurezza delle persone, intesa come forma di incolumità degli individui rispetto ad eventi accidentali, malfunzionamenti o errori umani, mentre nel secondo caso si racchiudono aspetti di protezione e tutela da atti intenzionali, che potrebbero ledere persone o cose.

In questa tesi si trattano solo aspetti legati alla “Safety” e non alla “Security”.

Al giorno d’oggi, il requisito “sicurezza”, valutato come obiettivo primario da garantire, trova dimora in moltissimi campi di applicazione pratica, come il lavoro, la vita domestica, lo sport, le comunicazioni e anche il mondo dei trasporti.

In merito, sono stati improntati numerosi sistemi e metodologie di analisi specifiche, mirate ad agevolare il raggiungimento di un livello di sicurezza accettabile.

2.1.1 LA SICUREZZA IN CAMPO FERROVIARIO

- *REGOLAMENTO EUROPEO N°1158/2010*

Anche in campo ferroviario, quindi, non si può prescindere dall'analisi dei fattori caratterizzanti la sicurezza.

In questo settore specifico vengono valutati elementi connessi alla circolazione dei treni ed elementi che generano ripercussioni dirette sull'uomo, inteso sia come personale impiegato nel settore ferroviario sia come passeggeri che usufruiscono del servizio offerto dal trasporto su rotaia, per effettuare spostamenti a breve o lungo termine.

I requisiti fondamentali, che devono essere applicati in campo ferroviario per garantire la sicurezza del sistema, vengono enunciati all'interno del Regolamento Europeo n°1158 del 9 dicembre 2010, attraverso il quale si istituisce un "Metodo di sicurezza comune" (CSM) e, nel contempo, vengono descritti i criteri per il rilascio di certificati di sicurezza della rete ferroviaria.

I principi alla base della valutazione dei sistemi di gestione da parte dell'ente di controllo sono i seguenti:

- a) istituzione e revisione del processo di valutazione: la commissione esaminatrice delle domande deve essere costituita da individui con alte competenze, che valutano le richieste presentate, facendo riferimento proprio ai criteri specifici contenuti nel Regolamento in analisi. Inoltre, il processo di valutazione dell'autorità nazionale preposta alla sicurezza viene esaminato internamente periodicamente ed è continuamente migliorato per assicurarne l'efficacia e l'efficienza nel tempo;
- b) qualità del processo di valutazione;
- c) ambito di valutazione: è circoscritto a livello di sistema di gestione. In presenza di carenze, l'autorità nazionale preposta alla sicurezza è tenuta ad evidenziare i punti da migliorare o, nei casi peggiori, può respingere la domanda.
Tuttavia, la valutazione della domanda, da un lato deve essere adeguata ai rischi, al carattere e all'entità delle operazioni del richiedente e dall'altro si deve basare sul giudizio dell'impresa ferroviaria o gestore dell'infrastruttura in merito alla capacità di operare in condizioni di sicurezza;
- d) processo decisionale durante la valutazione: la decisione di accettare o respingere una domanda di certificato o autorizzazione di sicurezza si basa sulle prove fornite dal richiedente e sulla dimostrazione o meno della conformità ai requisiti pertinenti.

- *PROSPETTIVA DI RFI*

Al fine di fronteggiare le necessità in materia di sicurezza, recentemente il principale ente che gestisce la Rete Ferroviaria Nazionale Italiana, RFI, ha messo in piedi una "Politica Integrata per la Sicurezza", che rappresenta a tutti gli effetti un riferimento imprescindibile per la valorizzazione sociale, economica e ambientale del territorio nazionale. Il contenuto di questa politica si rifà a concetti enunciati all'interno del Regolamento Europeo n°1158 del 2010, che vengono traslati al contesto italiano.

Si tratta di un sistema di sicurezza, che ingloba al suo interno tecnologie avanzate, in costante sviluppo, la cui evoluzione è legata alle necessità di mobilità delle persone e ai beni a disposizione del Paese, pur mantenendo la rete stessa in piena efficienza.

L'approccio adottato da RFI è quello di una insistente attenzione alla prevenzione, fin dalle fasi di ideazione e di definizione dei progetti infrastrutturali, dei servizi offerti e dei processi industriali, assumendo, pertanto, la sicurezza come un prerequisito di carattere prestazionale.

I principali obiettivi da raggiungere tramite l'applicazione di questi processi sono i seguenti:

- limitare il più possibile gli incidenti ferroviari, gli infortuni sul lavoro e gli impatti di carattere negativo sull'ambiente esterno, ricorrendo ad un efficiente approccio metodologico, basato sull'analisi e la gestione dei rischi;
- garantire il massimo livello di sicurezza per qualsiasi attività che possa comportare rischi per i dipendenti, per i clienti e per la collettività in generale;
- assicurare la tutela dell'ambiente, limitando al massimo gli impatti e le emissioni.

Il miglioramento dell'efficienza del servizio ferroviario avviene proprio dall'attuazione dei principi citati e facilita il processo di trasferimento modale verso il sistema di trasporto su ferro, ritenuto più sicuro, ma nel contempo meno impattante sull'ambiente.

Con questi obiettivi, il "Sistema Integrato di Gestione della Sicurezza" (SIGS) di RFI fornisce un prezioso strumento al servizio del processo decisionale, in relazione a tutti gli aspetti legati alla sicurezza, contemplati nel Regolamento Europeo n°1158 del 2010.

La presente esposizione, oggetto di tesi, si propone quindi nel rispetto di quanto rappresentato, la priorità dello studio e dell'osservazione della sicurezza della circolazione dei treni e dell'esercizio ferroviario, focalizzato sulla costante attenzione alla prevenzione degli incidenti e alla continua riduzione degli inconvenienti e dei precursori.

Pertanto, occorre monitorare e tenere sotto continuo controllo i principali indicatori, collegati a incidenti, inconvenienti, guasti, precursori dell'armamento, parametri di affidabilità, manutenibilità e sicurezza di tutti i componenti costitutivi dei sottosistemi ferroviari gestiti, nonché l'incidenza del "fattore umano", rilevata in occasione di condizioni critiche di esercizio.

In merito, il sistema predisposto da RFI prevede azioni finalizzate a:

- incrementare, in modo accurato e completo, la consapevolezza relativa ai ruoli rivestiti con impatto sulla sicurezza della circolazione dei treni e dell'esercizio ferroviario, assicurando un sistema di formazione del personale, che garantisca un adeguato possesso e mantenimento nel tempo delle competenze prescritte per tali ruoli;
- ottimizzare il processo di scambio delle informazioni aventi un impatto sulla sicurezza della circolazione dei treni e dell'esercizio ferroviario;
- garantire che i rischi introdotti dai fornitori di RFI e, in generale, da terzi esterni al sistema ferroviario gestito, le cui attività possono interferire con la sicurezza dell'esercizio, siano efficacemente gestiti;
- assicurare un costante esame degli eventi indesiderati, in modo tale da trarre insegnamenti utili da non ripetere in futuro e, ove necessario, adottare le specifiche misure preventive;
- promuovere interventi di sensibilizzazione sui rischi generati da abitudini, atteggiamenti, prassi, anche non direttamente correlate con lo svolgimento dell'attività lavorativa;

- garantire in modo continuo il rispetto degli standard tecnici ed operativi definiti all'interno della normativa vigente durante l'intero ciclo di vita dei componenti, delle attrezzature e delle attività;

- massimizzare la diffusione, all'interno dell'organizzazione, di un approccio gestionale improntato sulla consapevolezza, attraverso il consolidamento del Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS) come strumento prioritario per il processo sia operativo che decisionale.

- *NORME RELATIVE AI RISCHI ESTERNI*

Ai fini della gestione di potenziali rischi esterni alla circolazione ferroviaria sono state emanate diverse normative di riferimento:

- Decreto del Presidente della Repubblica DPR n°753/1980;
- Decreto Ministeriale DM del 4 aprile 2014 per la gestione di attraversamenti e parallelismi;
- Direttiva CE n°49/2004;
- Decreto ANSF 4/2012 (Nuovo “Sistema di riferimento”);
- Direttiva ANSF 1/2012 (Ex “Sistema di riferimento”);
- Linee guida ANSF per la gestione delle opere civili della rete ferroviaria (2015).

Non esiste, però, alcuna normativa specifica in ambito ferroviario, che dichiari esplicitamente gli aspetti da tenere sotto controllo per la gestione del rischio idrogeologico e del rischio sismico, mettendo in luce ad esempio la necessità di effettuare una metodologia per la valutazione di tali rischi in base ad esempio alla classificazione sismica o alla classificazione da un punto di vista idrogeologico del territorio che è attraversato da una specifica linea ferroviaria; questa mancanza di riferimenti normativi in merito ai fattori naturali in campo ferroviario è giustificata dal fatto che con il cambio di approccio normativo, spiegato nel capitolo precedente, si è cominciato a seguire un orientamento più di carattere prestazionale e non di natura prescrittiva.

Tuttavia, questo non è un aspetto da sottovalutare, dal momento che l'ANSF affida la piena responsabilità del funzionamento sicuro del sistema all'ente gestore dell'infrastruttura e, di conseguenza, deve essere proprio quest'ultimo a creare delle modalità per coordinare nel migliore dei modi tutte le attività necessarie per la mitigazione di questi rischi. Tutto ciò permette anche di identificare all'interno del sistema eventuali difetti o carenze presenti da dover colmare.

2.2 CAUSE DI INCIDENTALITA' FERROVIARIA

In campo ferroviario, si possono riscontrare moltissimi rischi, che possono incidere sulla sicurezza della circolazione e sull'esercizio ferroviario.

Le principali cause, che possono portare ad incidenti e problematiche operative, sono riconducibili principalmente a tre diverse categorie:

- cause legate a **fattori umani** del personale, dovute al non rispetto delle norme in vigore, imperizie o ambiguità di interpretazione delle prescrizioni;

- cause di tipo **tecnico**, connesse a guasti, malfunzionamenti o anomalie dei sistemi di controllo-comando-segnalamento, del materiale rotabile, dell'armamento e della sede ferroviaria;
- cause di carattere **accidentale** o cause di forza maggiore, viste come interferenze esterne al personale, agli impianti e alle infrastrutture. Si tratta, in generale, di fenomeni che si verificano improvvisamente.

In realtà, osservando dati statistici a disposizione in merito a studi specifici relativi alle cause di incidentalità ferroviaria, si rileva che la maggioranza degli incidenti ferroviari sono prodotti da errori umani (66%), la minima parte di questi eventi (2%) è provocata da cause naturali, che incidono sulla linea ferroviaria dall'esterno, circa il 13% ricade sotto la categoria delle cause tecniche e il 19% delle situazioni hanno ancora cause da accertare, come viene mostrato dal seguente grafico a torta (riferimento a pag. 257 del testo “Regolamenti e sicurezza della circolazione ferroviaria (Esperienza ed etica)” di P. De Palatis (CIFI 1995)):

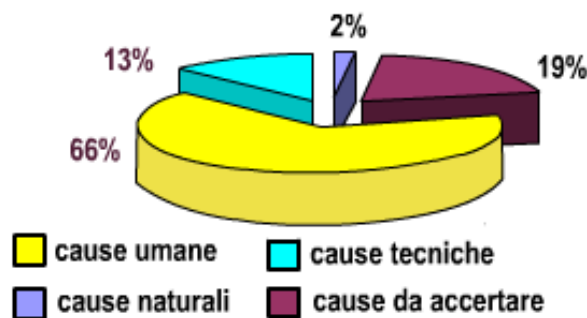


Figura 2.1: Cause di incidentalità ferroviaria

Si mette in evidenza che in questa tesi ci si concentra principalmente su aspetti inerenti le cause accidentali al fine di capire in che modo questa categoria di inconvenienti può impattare sulle regolari attività svolte in campo ferroviario.

2.2.1 CAUSE ACCIDENTALI

Si definiscono sotto la categoria “cause accidentali” tutte le situazioni connesse ad eventi esterni al contesto in esame, casualmente manifestate, ma che comunque possono avere un’interfaccia diretta con il mondo ferroviario.

Tutto sommato, si tratta di fenomeni naturali che sono difficilmente prevedibili, ma che devono essere in ogni caso presi in considerazione e continuamente monitorati, onde evitare di andare incontro a conseguenze spiacevoli, come morte o ferimento di individui, oppure danni a strutture e all’ambiente esterno circostante.

Proprio per questo motivo, spesso, si hanno indicazioni specifiche all’interno delle normative applicate, che prescrivono ispezioni ordinarie dilazionate nel tempo per tenere sotto controllo costantemente la situazione.

Le principali cause accidentali, che possono rappresentare un potenziale rischio per la sicurezza della circolazione ferroviaria, sono:

- frane;
- smottamenti;

- allagamenti, inondazioni, eventi alluvionali;
- valanghe;
- terremoti.

In realtà, i precedenti fenomeni possono essere raccolti ed analizzati all'interno di due famiglie fondamentali di rischio:

- **RISCHIO IDROGEOLOGICO**, comprendente i principali pericoli che interessano una determinata zona di analisi. Per essere ancora più precisi, si può parlare di “Rischio geologico”, quando si fa riferimento ai dissesti, e “Rischio idrologico” se si prendono in considerazione le alluvioni e le esondazioni, indotte dal superamento dei livelli idrometrici critici lungo i corsi d'acqua;
- **RISCHIO SISMICO**, che ingloba al suo interno le analisi inerenti i terremoti ed eventualmente anche tutti quei fenomeni, che sono collegati agli eventi sismici, come ad esempio tsunami ed eruzioni vulcaniche.

In realtà, per avere un quadro completo, ai precedenti rischi connessi a fattori naturali, si possono aggiungere anche altre categorie di cause accidentali, che sono legate all'interazione tra il mondo antropizzato e il campo ferroviario. Tra queste è possibile riconoscere:

- presenza di strade in prossimità della sede ferroviaria oppure intersezioni dirette tra strade e ferrovia in corrispondenza dei passaggi a livello. La criticità è riscontrata da una possibile collisione tra i mezzi impiegati in campo stradale e i convogli ferroviari;
- presenza di traffico merci;
- presenza di impianti, stabilimenti o sostanze pericolose situati in prossimità della rete ferroviaria;
- particolari comportamenti umani in prossimità della ferrovia;
- presenza di opere artificiali;
- sviluppo di incendi;
- attraversamenti e parallelismi (per questo punto si dedica un capitolo specifico in seguito).

La presente trattazione si concentra prevalentemente sull'analisi di attraversamenti/parallelismi, disposti lungo il tracciato di una linea ferroviaria, con riferimento anche ai rischi naturali, che ricadono sotto le categorie di rischio idrogeologico e rischio sismico.

È importante precisare che si raggruppano insieme queste due tipologie di rischi esterni, prestando, quindi, attenzione anche ai fenomeni di carattere naturale legati all'ambiente circostante, perché la manifestazione di questi ultimi eventi possono incidere enormemente sul calcolo delle probabilità di accadimento di un evento incidentale, legato alla rottura e alle criticità degli attraversamenti e parallelismi.

Invece, le altre classi di cause accidentali elencate precedentemente non sono oggetto di ulteriore approfondimento in questa sede.

2.2.2 PRINCIPALI DATI DI INTERESSE

Viene inserita di seguito una tabella contenente informazioni inerenti: le diverse attività di monitoraggio attuate a seconda della tipologia di causa accidentale riscontrata, connessa sia a

fenomeni di carattere naturale che ad elementi del mondo antropizzato, i principali fattori di interesse per l'impatto e, ove disponibile, le indicazioni sulla documentazione di riferimento da utilizzare.

Cause	Modalita' di monitoraggio	Fattori/criteri di Interesse per impatto	Documentazione di riferimento
FRANA/ SMOTTAMENTO	- Estensimetri, Fessurimetri, Distometri, Mire Ottiche; - Tubi Inclinometrici, Inclinometri Fissi, Estensimetri Profondi; - Piezometri; - Antenne GPS, - Sistemi Topografici; - Radiazione Infrarossa.	- Apertura o allargamento delle fessure sulla massicciata - Rottura o deformazioni delle rotaie o variazione dello scartamento - Rigonfiamenti del terreno - Inclinazioni o traslazioni di pali per supporto dei cavi di tensionamento - Distanza della ferrovia dal versante - Quantità di materiale naturale o blocchi rocciosi	- Documenti dell'ANSF - Carte geologiche dell'Arpa - Carte geologiche della Regione - Linee guida e banche dati presenti sui siti di RFI, Arpa e della Regione - Evoluzione dei fenomeni sul sito di Ispra Ambiente
ALLAGAMENTO/ INONDAZIONE	- Pluviometri, - Termometri, - Idrometri - Sistemi di Videosorveglianza fluviale, - Pali con Soglie idrometriche	- Aumento livello idrico di un corso d'acqua - Aumento della portata di un corso d'acqua o della sua velocità di movimento - Quantità di pioggia caduta - Aree interessate da esondazione del corso d'acqua - Distanza della ferrovia da corso d'acqua	- Documenti dell'ANSF - Carte alluvionali dell'Arpa - Dati eventi alluvionali su sito di Ispra Ambiente - Linee guida e banche dati
TERREMOTO	- Sistema di Sensori per rilevare sismi in arrivo - Uso di strumentazioni per rilevare distorsioni dei binari o spostamenti della massicciata - Controlli specifici sui ponti ferroviari	- Apertura delle fratture dopo la scossa sismica su rotaie o sulla massicciata - Spostamenti trasversali - Variazione dello scartamento - Rotture di sottoservizi - Nascita di fessure o deformazioni su pile o campate di ponti ferroviari - Classificazione delle zone	- Evoluzione dei fenomeni sul sito dell'IGV - Linee guida e banche dati
STRADE	- Funzionamento dei passaggi a livello	- Presenza o non presenza - Distanza dalla ferrovia - Presenza di eventuali intersezioni con linea ferroviaria (PL)	- Carte o mappe geografiche con configurazioni stradali e ferroviarie
TRAFFICO MERCİ	-	- Presenza o non presenza	- Carte di circolazione delle merci
SOSTANZE PERICOLOSE	-	- Presenza o non presenza	-
OPERE D'ARTE	- Verifiche strutturali dell'opera	- Distanza dalla ferrovia	- Disegni di progetto della linea che riportano posizione
INCENDI	-	- Presenza di fumi ed emissione di sostanze inquinanti che riducono visibilità	- Mappe riportanti zone a rischio incendi (in presenza di vegetazione)
PONTI	- Strumenti di manutenzione - Verifiche strutturali	- Possibile crollo del ponte o collasso dei rilevati limitrofi	- Documenti interni per informazioni di base della struttura e loro collocazione
ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI	- Sistemi di monitoraggio specifici a seconda della tipologia	- Distanza, profondità o altezza della struttura rispetto al piano del ferro (maggiori dettagli nel capitolo 3)	- Documenti interni per informazioni di base e per la caratterizzazione

Tabella 2.1: Dati di interesse da registrare per rischi esterni

Per completezza, si evidenziano, nei paragrafi che seguono, le caratteristiche specifiche delle cause accidentali, precedentemente riportate sotto le categorie di rischio idrogeologico e rischio sismico, con le relative attività di monitoraggio che possono essere messe in atto per osservare lo stato e l'evoluzione dei fenomeni, nonché i possibili interventi da effettuare dal punto di vista ingegneristico, come forma di prevenzione, in modo tale da ridurre il più possibile o eliminare del tutto il rischio nei confronti della circolazione ferroviaria.

2.2.3 ASPETTI GEOLOGICI: FRANE E SMOTTAMENTI

Con il termine “Frana” si indicano tutti i fenomeni di movimento, oppure caduta di materiale roccioso o sciolto, dovuti alla rottura dell'equilibrio statico preesistente. In altri termini, l'azione della gravità supera le forze opposte di coesione del terreno, causando anche grandi trasformazioni della superficie terrestre.

Le frane sono generalmente oggetto di studio dei geologi, che cercano di prevedere un loro innesco e movimento. Nel caso in cui risultasse difficile bloccare la caduta dei blocchi è possibile quanto meno deviare o rallentare la corsa, tramite la costruzione di particolari strutture di ingegneria naturalistica, adottate spesso come protezione per strutture ed infrastrutture stradali e ferroviarie, o, in alternativa, mediante l'approvazione di specifici Piani di Protezione Civile.

Le cause che producono una frana o, in generale, un movimento di massa si distinguono tipicamente in due categorie:

- CAUSE PREDISponentI, ossia direttamente connesse all'ambiente naturale, come, ad esempio, natura del terreno, litologia, giacitura, andamento topografico, inclinazione dei versanti, stato di fratturazione delle rocce;
- CAUSE SCATENANTI, che sono le responsabili dell'inizio del processo franoso, come abbondanti piogge, erosione delle acque, terremoti e anche attività antropiche effettuate dall'uomo.

Solitamente, i geologi classificano le frane in funzione del tipo di movimento a cui danno origine e in relazione al tipo di materiale (rocce, terreni grossolani o terreni fini), distinguendo:

- FRANE DA CROLLO o RIBALTAMENTO, con caduta di massi rocciosi di dimensioni variabili;
- FRANE DA SCIVOLAMENTO TRASLAZIONALE o ROTAZIONALE lungo apposite superfici di scorrimento;
- FRANE PER COLAMENTO di massa, principalmente inteso come discesa di materiale terroso lungo il pendio montuoso fino al raggiungimento di zone planari.

Talvolta, a causa della varietà morfologica, litologica e delle condizioni in cui si trova il versante, i fenomeni franosi non corrispondono esattamente ad uno dei modelli semplici precedentemente indicati, ma possono presentare forme miste. In questo caso si parla di FRANE COMPLESSE o COMPOSITE.

All'interno della categoria “Frane” vengono inclusi anche gli SMOTTAMENTI, che possono essere definiti come piccole frane di carattere superficiale, costituite principalmente da materiali incoerenti o resi tali dall'effetto di acqua.

In natura, i geologi spiegano che è possibile accorgersi della possibilità di innesco di un fenomeno franoso su un versante, considerando i seguenti indicatori premonitori:

- apertura o allargamento delle fessure;
- rigonfiamenti del terreno;
- deformazioni di manufatti;
- inclinazioni o traslazioni di alberi o pali;
- comparsa di emergenze idriche intermittenti.

Attualmente, in base alle conoscenze e alle tecnologie a disposizione, è possibile curare con particolare attenzione e in modo continuo il monitoraggio di questi fenomeni, con una migliore gestione dei potenziali rischi nell'ambito della Protezione Civile.

Nella maggioranza dei casi, i sistemi di controllo vengono installati dai singoli Comuni sulla base di finanziamenti regionali. Tutti questi sistemi di controllo, per poter essere considerati pienamente efficienti, richiedono manutenzione e controlli protratti nel tempo e la loro gestione, nonché l'interpretazione dei relativi risultati forniti, è nelle mani di un personale qualificato con specifiche conoscenze tecnico-scientifiche.

Il monitoraggio delle frane può avvenire attraverso l'utilizzo di apposite strumentazioni tecniche, come:

- estensimetri, fessurimetri, distometri e mire ottiche, finalizzate alla misurazione dell'apertura delle fessure negli ammassi rocciosi;
- tubi inclinometrici, inclinometri fissi, estensimetri profondi, per il controllo della superficie di scivolamento, movimenti profondi e deformazioni dei terreni;
- piezometri, per la misurazione dei livelli piezometrici di falda;
- antenne GPS e sistemi topografici, appositamente installati su piedistalli, usati per ottenere informazioni in merito ai movimenti superficiali della frana e alla localizzazione georeferenziata;
- radiazione infrarossa, per la valutazione del grado di umidità nel terreno.

Tuttavia, per incrementare i livelli di sicurezza in un'area a rischio frana, si possono progettare interventi di varia natura, in base alla posizione in cui si decide di operare rispetto all'ammasso roccioso: si distingue, infatti, tra interventi sul corpo, interventi nel corpo e interventi al piede.

In generale, oggi, sulla base dei mezzi a disposizione, sono possibili le seguenti procedure:

- riprofilature dei versanti, che portano a movimenti di grandi quantità di terra, con lo scopo di rimodellare artificialmente il profilo del pendio; spesso si ricorre a costruzione di gradoni o angolazioni costanti;
- stabilizzazione dei pendii tramite interventi di ingegneria naturalistica, come:
 - inerbimento delle scarpate, utili a rallentare o bloccare il percorso delle acque piovane o di ruscellamento superficiale, evitando innesco di frane, cadute di materiale o infiltrazioni nel terreno sottostante, che potrebbe generare instabilità strutturale;

- uso di geogriglie: si tratta di prodotti piani, caratterizzati da una struttura reticolare regolare di elementi resistenti monodimensionali, integralmente connessi tra loro. La griglia può essere prodotta mediante un processo di estrusione (monodirezionale o bidirezionale), tessitura o saldatura degli elementi resistenti. Possono essere realizzate con fibre di vetro, polipropilene o poliestere e il loro impiego fondamentale è legato al rinforzo dei terreni. La griglia per poter essere considerata completamente efficace deve essere ben aderente all'ammasso roccioso e non deve presentare alcun tipo di rottura;
- uso di georeti: a livello strutturale la configurazione reticolare è simile a quella delle geogriglie, ma in questo caso si ha una parziale compenetrazione degli elementi resistenti nei punti di contatto. Risultano essere altamente permeabili e, quindi, sono utilizzate soprattutto con funzione di drenaggio;
- idrosemina, che consiste nell'iniezione di una miscela complessa con particolari proprietà tramite l'utilizzo di appositi macchinari. Tale procedura si effettua spesso in ambienti in cui il processo di inerbimento naturale è difficilmente realizzabile;
- palificate, solitamente in legno, da ancorare bene al terreno sottostante, che hanno la principale funzione di andare a trattenere, come una vera e propria barriera di sicurezza, l'eventuale materiale che discende dalle parti sommitali del pendio;
- iniezione di miscele consolidanti, con il principale scopo di andare ad incrementare la coesione del materiale naturale, tramite la cementazione. La tecnica più ricorrente è quella dello spritz beton: tramite un'apposita attrezzatura, si spara una miscela molto fluida, costituita prevalentemente da cemento, che in breve tempo va a contatto con il terreno, consolidandolo e stabilizzandolo;
- stabilizzazione chimica: si tratta di una tecnica nuova, ancora in fase sperimentale, che consente di modificare le caratteristiche del materiale;
- interventi passivi: realizzati in caso di rischio di distacchi e crolli di massi rocciosi dai versanti. Come principali categorie si ricordano le barriere paramassi e le gallerie artificiali. In quest'ultimo caso si va a costruire una struttura costituita da una soletta in calcestruzzo armato e tiranti, al di sopra dell'infrastruttura ferroviaria per un certo tratto a rischio, in maniera tale da proteggerla da un'eventuale caduta massi;
- opere di sostegno al piede del versante, solitamente posizionate ai lati di un'infrastruttura stradale o ferroviaria in modo da proteggerla da cadute di massi indesiderate. Esse sono strutture rigide o flessibili, a seconda del loro comportamento nei confronti delle deformazioni che si originano, il cui compito è quello di sorreggere il pendio sovrastante e sopportare le ingenti pressioni che derivano dalle spinte esercitate dal terreno.

In questo caso si può ricorrere all'uso di:

- **gabbionate**, ossia strutture scatolari realizzate in rete metallica riempite in cantiere con pietrame di grosse dimensioni con idonee caratteristiche;
- **muri cellulari**, simili alle palificate in legno, ma realizzati con elementi prefabbricati in cemento armato, disposti in modo tale da formare dei contenitori grigliati che vengono poi riempiti con materiale inerte naturale. Tale struttura è dotata di un'efficace capacità drenante, favorendo il rapido allontanamento sia delle acque di falda che di quelle meteoriche ed è in grado di garantire una lunga durata, facilità e velocità di montaggio, economicità e inserimento armonico nel paesaggio esistente, grazie ai parametri a vista rinverditi;
- **terre armate**, specifiche strutture per il sostegno e contenimento di rilevati e scarpate attraverso l'utilizzo di rinforzi metallici denominati strisce o bandelle. I rinforzi metallici vengono posizionati ad intervalli regolari, mentre il rinforzo

della terra avviene attraverso l'attrito che si genera tra le armature di acciaio ed il terreno;

- **terre rinforzate**, realizzate rendendo solidale l'ammasso di terreno con gli elementi di rinforzo, costituiti da geosintetici di elevata tenacità e resistenza a trazione;
- **muri di sostegno**, ossia un vero e proprio manufatto murario, che ha la funzione di sostenere o limitare le spinte esercitate da terreni di qualsiasi natura, oppure dall'acqua dei corsi idrici. In natura ne esistono di diverse configurazioni, in funzione della forma geometrica e del materiale con cui vengono realizzati; al fine di effettuare un corretto dimensionamento di tali strutture, occorre effettuare preventivamente alcune verifiche di natura geotecnica, che consentono di individuare le azioni agenti sul muro;
- opere di drenaggio dell'acqua, realizzate con la finalità di allontanamento dell'acqua che potrebbe infiltrarsi accidentalmente nel terreno. Si distinguono tipicamente in opere di drenaggio superficiale, come canalette superficiali o fossi di guardia, che allontanano l'acqua piovana, evitando l'infiltrazione della stessa nel terreno sottostante e opere di drenaggio profondo, come trincee, pozzi e gallerie drenanti, che allontanano l'acqua presente nel sottosuolo.

2.2.4 ASPETTI IDROLOGICI: ALLAGAMENTI, INONDAZIONI E ALLUVIONI

Un altro aspetto fondamentale da valutare, per avere un quadro completo dei rischi naturali che possono incidere sulle strutture o infrastrutture dall'ambiente esterno, è quello connesso all'idrologia del territorio in esame. In questa maniera si vanno a considerare tutti i corsi d'acqua presenti nella regione, in termini di fiumi, torrenti, ruscelli e si cerca di studiare il loro comportamento nel tempo.

Le condizioni più critiche si manifestano nei periodi caratterizzati da un alto tasso di precipitazioni più o meno intense, che potrebbero portare ad un aumento della portata e del livello dei corsi d'acqua fino a causare allagamenti, inondazioni, oppure veri e propri fenomeni alluvionali, con conseguenze anche catastrofiche.

Tipicamente dal punto di vista idrologico, si è soliti classificare le acque che corrono attraverso il territorio continentale in:

- ACQUE SUPERFICIALI, visibili dall'uomo, in quanto si sviluppano al di sopra del piano campagna, come fiumi, laghi, torrenti, mari, oceani, ruscelli, ecc;
- ACQUE SOTTERRANEE, che si trovano ad una certa profondità dal piano campagna come acquiferi, sorgenti, falde, ecc. Anche queste ultime devono essere tenute sotto controllo tramite l'utilizzo di strumentazioni specifiche, onde evitare di provocare allagamenti a livello superficiale.

Nel nostro tempo, comunemente, si considera il termine "Alluvione" come sinonimo di "Inondazione", ma, nella realtà, si tratta di un accumulo di materiale fluviale, ossia di un deposito di sedimenti trasportati dal fiume al di fuori degli argini, in seguito ad un'esondazione.

Tuttavia, analizzando la terminologia tecnica, si osserva che l'alluvione oramai è entrata a far parte delle cosiddette "calamità naturali", dal momento che può generare impatti anche violenti e devastanti sulle vite umane e sulle opere artificiali.

Il fenomeno si manifesta sotto forma di trasporto di grandi masse d'acqua, accompagnate da fango e altri detriti o sedimenti; si tratta di un evento non facilmente prevedibile, ma che può essere prevenuto tramite il monitoraggio dei corsi d'acqua e la costruzione di opere ingegneristiche a protezione dell'ambiente limitrofo, quali dighe, canalizzazioni o interventi sugli argini.

In particolare, gli interventi più ricorrenti, che vengono effettuati nella pratica comune sono:

- scogliere di natura artificiale, progettate dall'uomo ai margini del corso d'acqua, costituite da massi naturali o elementi artificiali di cemento, che formano una barriera con una conformazione simile alle scogliere naturali. La funzione principale di queste strutture è quello di creare una sorta di ostruzione limitando il più possibile l'erosione generata dal moto ondoso dell'acqua ed evitando smottamenti e frane dei terreni circostanti;
- briglie in calcestruzzo, che sono opere di ingegneria idraulica, poste trasversalmente all'alveo in cui sono fondate, per limitare il trasporto di materiale solido di fondo da parte di un corso d'acqua, creando deposito a monte di essa. Vengono solitamente classificate in "classiche", se la funzione principale è quella di correggere la naturale pendenza dell'alveo in cui vengono realizzate oppure "selettive", nel caso in cui il ruolo è quello di trattenere il materiale con granulometria più grossolana proveniente da monte, nelle condizioni di piena.

Al fine di controllare con attenzione il livello e lo stato dei corsi d'acqua, si utilizzano classici strumenti di rilevamento, come pluviometri, termometri ed idrometri della Rete Integrata Regionale Idro-meteo-pluviometrica. In alternativa, la Protezione Civile della Regione Piemonte ha ideato una serie di sistemi di videosorveglianza fluviale, in modo tale da monitorare le aree idraulicamente più a rischio lungo le aste fluviali più importanti.

Per quanto riguarda il settore ferroviario, è importante monitorare i livelli dei corsi d'acqua per evitare che la sede lungo cui si muovono i treni possa essere soggetta ad allagamenti o movimenti di acqua; i punti più critici si hanno quando sono presenti fiumi, torrenti o anche ruscelli nelle vicinanze della ferrovia e in corrispondenza dei ponti ferroviari, che attraversano direttamente un corso d'acqua.

In quest'ultimo caso, si possono manifestare due situazioni pericolose:

- quando la portata del fiume aumenta notevolmente durante periodi di piogge abbondanti, le spinte esercitate dall'acqua nei confronti della struttura potrebbero generare condizioni di instabilità o in casi estremi il crollo del ponte stesso;
- quando il livello del corso d'acqua si incrementa in modo significativo, si possono verificare allagamenti lungo la luce del ponte, che è sintomo di non sicurezza per la circolazione dei convogli ferroviari. Per questo motivo, come forma di sicurezza, molto spesso sulle pile dei ponti vengono segnate le cosiddette soglie limite, superate le quali si provvede ad interrompere il traffico dei convogli sulla struttura.

2.2.5 ASPETTI SISMICI: TERREMOTI

I terremoti, detti anche sismi, sono vibrazioni prodotti da un brusco rilascio di energia accumulata da una roccia sottoposta a sforzo. Il punto del sottosuolo in cui si origina il terremoto è denominato IPOCENTRO, mentre la zona della superficie terrestre dove si risentono gli effetti del terremoto viene chiamato EPICENTRO, situato sulla verticale dell'ipocentro.

Il terremoto, tipicamente, genera le cosiddette onde sismiche, che sono di natura elastica e si propagano all'interno dei vari mezzi con una certa velocità; si classificano in ondulatorie o sussultorie a seconda che le vibrazioni si manifestano sul piano verticale o orizzontale.

Le onde più importanti da ricordare sono:

- ONDE P (PRIMARIE, LONGITUDINALI o di COMPRESSIONE) che sono le più veloci e per questo motivo arrivano per prime presso le stazioni sismografiche; al loro passaggio le particelle del materiale attraversato compiono un moto di carattere oscillatorio nella direzione di propagazione dell'onda e il mezzo sarà soggetto a sforzi di compressione e a dilatazione;
- ONDE S (SECONDARIE, TRASVERSALI) che sono più lente rispetto alle precedenti e generano nel mezzo attraversato oscillazioni perpendicolari alla loro direzione di propagazione. Sono onde che non si propagano nei mezzi fluidi (liquidi o gas), perché questi non oppongono resistenza a taglio; questa caratteristica ha permesso ai geofisici di capire la corretta stratigrafia terrestre spostandosi dalla crosta superficiale al nucleo interno;
- ONDE DI RAYLEIGH, polarizzate in un piano verticale con velocità massima di 0,92 volte quella delle onde S;
- ONDE DI LOVE, che originano un movimento del terreno sul piano orizzontale in direzione perpendicolare a quella di propagazione dell'onda. Sono in genere originate in corrispondenza di una superficie di discontinuità tra due strati, quando la velocità delle onde trasversali nello strato inferiore è maggiore di quella nello strato superiore.

Per rilevare i movimenti generati da queste onde sismiche si utilizzano appositi strumenti chiamati sismografi, che registrano informazioni sul terremoto generando sismogrammi; prendendo in considerazione i dati rilevati su più stazioni sismografiche è possibile ricostruire in modo abbastanza preciso ed accurato la posizione dell'epicentro del terremoto.

Dal punto di vista ingegneristico, invece, ci si preoccupa di andare ad analizzare con attenzione gli effetti, nonché i danni che il sisma ha provocato; in particolar modo, ci si sofferma sulle perdite di vite umane, contando quanti morti, feriti e dispersi ci sono stati e i danni che sono stati apportati sulle strutture ed infrastrutture artificiali.

Sono state ideate a tale scopo una serie di scale sismiche, che permettono di valutare l'intensità del sisma; le più comuni sono quella Richter, che esprime la misura della magnitudo del terremoto su 9 gradi e la scala Mercalli, che consente di valutare l'intensità del terremoto mediante l'osservazione degli effetti e dei danni su persone, cose e manufatti. Attualmente, i

sismologi stanno procedendo con la definizione di nuove scale in base alle evoluzioni tecnologiche che si hanno a disposizione nel corso degli anni.

Per ridurre gli effetti del terremoto, lo Stato ha introdotto una classificazione del territorio, in base all'intensità e alla frequenza dei terremoti avvenuti in passato, improntando contestualmente speciali criteri di progettazione delle strutture ingegneristiche nelle zone classificate come sismiche.

La legislazione antisismica italiana, allineata alle più moderne normative a livello internazionale, prescrive normative tecniche in base alle quali un edificio o un'infrastruttura deve sopportare i terremoti meno forti senza riportare gravi danni e i terremoti più intensi senza sopraggiungere a crolli o collassi.

Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale italiano, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo, generalmente 50 anni, da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n.105 dell'8 maggio 2003.

Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n.112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n.380 del 2001 - "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia") hanno compilato l'elenco dei Comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

Zona	Descrizione effetti
1	È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
2	Nei Comuni inseriti in questa zona, possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
4	È la meno pericolosa. Nei Comuni inseriti in questa zona, le possibilità di danni sismici sono basse.

La normativa, inoltre, attribuisce a ciascuna di queste quattro zone, un valore di accelerazione orizzontale di picco al suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Si riporta nella seguente tabella l'accelerazione a_g , normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità g che vale $9,81 \text{ m/s}^2$:

Zona	Accelerazione orizzontale a_g con $p=10\%$ in 50 anni
1	> 0.25
2	$0.15 - 0.25$
3	$0.05 - 0.15$
4	< 0.05

Alla criticità causata dal terremoto spesso vengono associati anche altri fenomeni distruttivi, quali inondazioni, cedimenti e liquefazione dei terreni, frane, smottamenti, incendi, fuoriuscite di gas pericolosi o, in prossimità di una zona costiera, è possibile assistere anche a maremoti o tsunami.

Per evitare di avere grandi danni ogni volta che si manifesta un terremoto, dal punto di vista ingegneristico si opera mediante la progettazione di strutture antisismiche, dotate cioè di caratteristiche particolari, che consentono maggiori resistenze a queste azioni laterali.

In campo ferroviario, in particolar modo, è necessario operare periodicamente dei controlli sull'infrastruttura mediante apposite strumentazioni, che sono in grado di rilevare eventuali distorsioni e rotture dei binari oppure una variazione dello scartamento, inteso come distanza tra i lembi interni delle rotaie facenti parte dello stesso binario di corsa.

Nel caso in cui venissero riscontrate anomalie o problematiche di questo tipo occorre intervenire immediatamente, in maniera tale da ripristinare la condizione ordinaria, senza penalizzare troppo la circolazione e l'esercizio ferroviario.

In particolare, in territorio italiano è prevista la realizzazione sperimentale di un sistema di allerta sismica precoce per bloccare in modo automatico un treno in movimento nell'arco di pochi secondi, prima dell'arrivo di un terremoto. Questo è l'obiettivo del Progetto "Reakt", che prevede la prima sperimentazione sul tratto Nola-Baiano della ferrovia Circumvesuviana, la tratta ferroviaria più vicina alla faglia dell'Irpinia, dove è situata la rete accelerometrica nazionale del Dipartimento di Protezione Civile, che registra i terremoti di media ed elevata intensità.

In termini pratici, l'idea è quella di collocare una serie di sensori accanto alle rotaie, i quali, dopo l'arrivo del terremoto, inviano un segnale di stop alla rete elettrica che alimenta i treni, arrestando il rifornimento energetico e, di conseguenza, bloccando i treni in transito, in modo tale da evitare il loro deragliamento.

2.2.6 INCIDENZA RISCHIO IDROGEOLOGICO SU SETTORE FERROVIARIO

Quando si parla di rischio idrogeologico si fa riferimento a fenomeni naturali connessi all'instabilità di pendii/versanti, causata da particolari eventi di carattere geologico e geomorfologico degli stessi, o corsi d'acqua, come conseguenza di determinate condizioni ambientali, meteorologiche e climatiche. Tutti questi aspetti possono generare effetti nocivi o danni sulla popolazione, nonché sulla sicurezza dei servizi e attività in un determinato territorio.

Pertanto, risulta opportuno considerare e mettere in relazione le seguenti informazioni:

- EVENTI METEO CONNESSI AI RISCHI IDROGEOLOGICI:

Rischi idrogeologici	Eventi meteo connessi				
	Pioggia	Vento	Neve	Temperatura	Umidità
Frane	X	X		X (ΔT)	
Smottamenti	X	X			X
Allagamenti/inondazioni	X		X	X (Bassa)	
Valanghe		X	X	X ($\uparrow T$)	
Erosione	X	X			X

Tabella 2.2: Eventi meteo connessi ai rischi idrogeologici

- CAUSE RISCHI (oltre agli eventi meteo precedentemente segnalati):

Rischi idrogeologici	Cause (oltre agli eventi meteo sopra segnalati)
Frane	Forma ed orientamento pendio, natura e stratigrafia terreno, contenuto d'acqua, attività sismiche o vulcaniche, esplosioni.
Smottamenti	Natura terreno, variazione contenuto d'acqua, disboscamento, azioni antropiche, infiltrazione d'acqua.
Allagamenti/inondazioni	Non sufficiente spazio per il contenimento delle acque.
Valanghe	Sovraccarico nevoso, cause umane (passaggio di sciatori, esplosivi), pendenza e geomorfologia terreno/pendio.
Erosione	Agenti fisici e chimici che alterano la configurazione e le proprietà meccaniche delle rocce.

Tabella 2.3: Cause rischi idrogeologici

- CONSEQUENZE SULLA LINEA FERROVIARIA:

Rischi idrogeologici	Conseguenze per linea ferroviaria
Frane/smottamenti	Presenza di ostacoli come massi rocciosi sull'armamento ferroviario con possibili distorsioni e spostamenti delle rotaie, possibile rottura cavi della corrente elettrica (qualora presente), possibili cedimenti della massicciata rispetto al livello originario.
Allagamenti/inondazioni	Allagamento della sede ferroviaria con possibile trasporto e accumulo di detriti sui binari da parte dell'acqua.
Valanghe	Caduta neve e pezzi di ghiaccio sulla sede ferroviaria (ostacoli per il passaggio dei treni), eventuali distorsioni e spostamenti degli apparati elettrici o dell'infrastruttura.
Erosione	Disgregazione ed asportazione di parti del suolo o del supporto su cui sono collocati i binari con possibili cedimenti e fenomeni di instabilità ad opera di agenti naturali come vento, acqua e ghiaccio.

Tabella 2.4: Conseguenze su linea ferroviaria

A tal proposito si può segnalare che l'Agenzia ANSF (Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie) segue da molti anni la tematica relativa allo studio dei dissesti idrogeologici, diventati ormai una problematica di rilevanza nazionale.

In particolare, sono richieste le seguenti attività per una corretta gestione di tali rischi:

- una mappatura dei “punti singolari” della rete esposti a dissesto idrogeologico, finalizzata alla valutazione puntuale del rischio di tratta e delle modalità di monitoraggio del fenomeno;
- una revisione delle procedure organizzative a supporto della gestione del rischio idrogeologico e delle azioni da intraprendere in caso di eventi meteo intensi;
- il monitoraggio dell'evoluzione dello stato delle zone più a rischio, prevedendo anche un piano per l'installazione di sensori per pericoli naturali;
- in presenza di fenomeni meteorologici intensi, la tracciatura dei provvedimenti restrittivi adottati o delle motivazioni per le quali non se ne è ritenuta necessaria l'adozione.

In attesa del completamento delle suddette attività, le Aziende di trasporto ferroviario sono tenute ad effettuare azioni di vigilanza straordinaria e limitare la circolazione dei treni, dove necessario.

Tuttavia, si è riscontrato che i provvedimenti non sono sempre stati adottati con la necessaria tempestività e le azioni mitigative messe in campo, come ad esempio la vigilanza della linea, a piedi o in treno, non si sono dimostrate sempre efficaci.

Occorre, pertanto, riconsiderare le modalità con le quali attualmente si stabilisce che un treno possa circolare in presenza di fenomeni meteorologici intensi.

2.3 ANALISI STORICA DI EVENTI PASSATI PER CAUSE ACCIDENTALI

Quando si affronta la tematica della sicurezza è inevitabile parlare di incidenti o eventi che hanno generato conseguenze anche piuttosto rilevanti.

Questi episodi devono essere oggetto di analisi critiche e rappresentare una fonte di insegnamento per far sì che nel futuro non si verifichino nuovamente.

In campo ferroviario, si definiscono “incidenti di esercizio” tutti quegli eventi che durante le operazioni connesse con lo svolgimento del servizio abbiano causato danni a persone e/o cose oppure gravi perturbazioni alla circolazione, la cui entità, in coerenza con le indicazioni dell’UIC, sia relativa almeno ad una delle seguenti conseguenze:

- morte di persone, decedute a causa dell’incidente, al momento dell’evento o nei trenta giorni successivi all’accaduto;
- ferimento di persone, con conseguente incapacità lavorativa superiore a 14 giorni a partire dal giorno dell’incidente;
- avarie importanti al materiale rotabile, agli impianti fissi e a terzi, con danni superiori a 10.000 euro;
- interruzione della circolazione dei treni per più di 6 ore.

Vengono riportati di seguito una serie di esempi di incidenti ferroviari potenziali o realmente accaduti, prendendo in considerazione alcune delle cause accidentali spiegate nel paragrafo precedente, con una relativa piccola descrizione dell’accaduto:

1. FRANA IN LIGURIA del 17 gennaio 2014: l’incidente è avvenuto tra le località di Cervo e Andora e ha coinvolto l’Intercity 660 Milano-Ventimiglia. Il locomotore del treno e almeno un vagone sono fuoriusciti dai binari, a causa di una frana caduta dalla sovrastante parete rocciosa. L’evento non ha causato vittime tra i passeggeri del convoglio, solamente i due macchinisti sono rimasti feriti.
Fortunatamente, ai margini della tratta dove si è manifestata la criticità era presente un muretto in cemento armato che ha trattenuto il locomotore uscito dai binari, evitando la caduta dello stesso nella scarpata adiacente.
Prima dell’incidente era stata disposta dalla Protezione Civile Ligure l’Allerta 2, con pericolo frane; per questo motivo, la velocità di transito dei convogli lungo quel tratto di linea era stata limitata a 30 km/h.
Successivamente all’evento, la circolazione ferroviaria è stata interrotta per effettuare i dovuti accertamenti ed interventi da parte delle autorità locali e la rimozione del convoglio ferroviario colpito dalla frana.



Figura 2.2: *Incidente ferroviario – Frana in Liguria*

2. **FRANA IN VALVENOSTA** del 12 aprile 2010: nei pressi della stazione di Laces, a circa 30 km da Merano, il treno regionale 108 della SAD Malles-Merano è deragliato a causa di una frana di 400 metri cubi, che ha investito il convoglio, facendo quasi precipitare un vagone nel greto del fiume Adige sottostante. In questo caso il bilancio è decisamente più avverso: 9 persone persero la vita e 28 passeggeri riportarono delle ferite. La frana, secondo alcuni controlli effettuati sul posto dopo l'incidente, è stata innescata in seguito ad una vasta infiltrazione d'acqua nel terreno, causata dalla rottura di un tubo per l'irrigazione dei campi di mele, più a monte. La circolazione ferroviaria è stata interrotta per circa un mese e mezzo; venne riaperta al traffico solo il 2 giugno 2010. Questo episodio è stato oggetto di indagine da parte della procura di Bolzano, che ha inserito nel "Registro degli indagati" almeno 8 persone.



Figura 2.3: *Incidente ferroviario – Frana in Valvenosta*

3. **SMOTTAMENTO A BELLUNO** del 17 giugno 2011: si è verificato lo svio delle prime due carrozze del treno regionale 11149 Calalzo-Venezia per presenza di terra e sassi lungo la linea. L'episodio si è verificato in località Fortogna nelle Alpi. Non ci sono state gravi conseguenze per passeggeri e personale, ma è stata interrotta la linea Calalzo – Ponte nelle Alpi per 15 giorni, in modo da effettuare gli adeguati accertamenti. L'altro fronte dello smottamento, decisamente più importante, composto da oltre 500 metri cubi di pietrisco, si è invece abbattuto poco più avanti, fermandosi a una decina di metri dalla sede ferroviaria. Fortunatamente la vera tragedia si è evitata, dal momento che il convoglio è stato ostacolato in una zona in cui la frana aveva ancora un tenore più lieve. I geologi hanno spiegato che il distaccamento del materiale è avvenuto a causa della grande quantità di pioggia, caduta in quella zona nell'arco di pochi giorni.



Figura 2.4: *Incidente ferroviario – Smottamento a Belluno*

4. ALLAGAMENTO A VIGEVANO del 29 aprile 2016: si è verificata la rottura di un argine del canale irriguo limitrofo alla linea con conseguente allagamento della sede ferroviaria lungo la tratta Milano-Mortara-Alessandria. Non si è verificata alcuna grave conseguenza sui treni e, fortunatamente, nessuna vittima, ma è stata disposta l'interruzione della circolazione ferroviaria per permettere ai vigili del fuoco e ai volontari della Protezione Civile di ripristinare le condizioni ordinarie e indagare sulle cause che hanno generato il fenomeno critico.



Figura 2.5: *Allagamento sede ferroviaria a Vigevano*

5. ALLAGAMENTO IN PUGLIA del 10 settembre 2016: a seguito del forte maltempo che si è abbattuto sulla regione nell'arco di poche ore, si sono verificati alcuni allagamenti significativi sia sulle infrastrutture stradali che su quelle ferroviarie. Si potrebbe ipotizzare un malfunzionamento dei sistemi di drenaggio presenti in corrispondenza della sede ferroviaria che ha portato ad un accumulo significativo di acqua sui binari, impedendo ai treni di procedere verso le loro prefissate destinazioni. Anche in questo caso, per via cautelativa, è stata disposta l'interruzione della circolazione ferroviaria per qualche ora sulla tratta da Bari a Lecce.



Figura 2.6: Allagamento sede ferroviaria in Puglia

6. VALANGA SULLE ALPI dell'8 febbraio 2014: un treno turistico è deragliato nel Comune di Annot, nelle Alpi francesi, sulla tratta che collega Nizza a Digne-les-Bains, a seguito del distacco di blocchi di neve precipitati dalla montagna adiacente che ha colpito violentemente il primo vagone del convoglio. Il bilancio complessivo è di 2 morti e una decina di feriti, a fronte di 34 passeggeri a bordo del mezzo. Fortunatamente, il convoglio non è precipitato giù dalla scarpata adiacente, dal momento che nella zona limitrofa ai binari il vagone colpito dal blocco è stato trattenuto dagli alberi e dalla vegetazione.



Figura 2.7: Incidente ferroviario – Valanga sulle Alpi francesi

7. TERREMOTO IN TURCHIA del 17 agosto 1999: il Paese è stato colpito da una fortissima scossa di terremoto, che ha prodotto ingenti danni. In particolare, come si può osservare dall'immagine di seguito riportata, in corrispondenza della linea ferroviaria, che attraversa la nazione, sono state rilevate forti distorsioni dei binari rispetto alla configurazione del tracciato originario. Le vibrazioni sismiche superficiali hanno provocato significativi spostamenti sul piano orizzontale della massicciata ferroviaria, con conseguente impossibilità di utilizzo della linea fino alla conclusione dei lavori di ripristino della struttura iniziale.



Figura 2.8: Terremoto in Turchia

8. CROLLO PONTE FERROVIARIO IN PUGLIA nell'ottobre 2005: il treno Eurostar Taranto-Milano 9410 è deragliato, inclinandosi su un lato, tra Acquaviva e Sannicandro, a causa del crollo di un ponte ferroviario, a seguito del forte maltempo che ha colpito la Provincia di Bari. L'ultima carrozza è rimasta in bilico sul ponte ceduto, come mostrato nell'immagine. Per buona sorte, il cedimento del rilevato si è manifestato solamente dopo il transito completo del convoglio sulla struttura pontile, evitando conseguenze ancora più catastrofiche. In ogni caso la velocità con cui stava procedendo il treno era stata ridotta per prescrizione del gestore dell'infrastruttura, dal momento che la massicciata era già stata invasa da un fiume di fango e acqua. Sul treno erano presenti al momento dell'incidente 60 persone, di cui la metà ha riportato alcune fratture sul corpo.



Figura 2.9: Incidente ferroviario – Crollo ponte ferroviario in Puglia

9. CROLLO PONTE FERROVIARIO IN CALABRIA del novembre 2011: una littorina di Trenitalia, che ha transitato su un ponte a Marcellinara sulla linea ferroviaria Catanzaro-Lamezia è deragliata a causa del crollo dello stesso. L'episodio si è manifestato in concomitanza con un violento nubifragio, in atto nella zona. Nel marzo del 2010, il settore Lavori pubblici della Provincia di Catanzaro aveva segnalato un rischio dovuto all'erosione del fondo su cui erano stati innestati i piloni del ponte. Nel deragliamento rimasero contusi alcuni dei 21 passeggeri che erano a bordo del treno, senza alcuna vittima.



Figura 2.10: Incidente ferroviario – Crollo ponte ferroviario in Calabria

Si inserisce ora una tabella riassuntiva degli eventi precedentemente descritti, riportando schematicamente le cause e i danni rilevati in seguito alle criticità:

Evento	Cause	Danni rilevati
Frana in Liguria	Abbondanti precipitazioni	Fuoriuscita locomotore dai binari, 2 feriti
Frana in Valvenosta	Vasta infiltrazione di acqua nel terreno	9 morti e 28 feriti
Smottamento a Belluno	Abbondanti precipitazioni	Svio delle prime due carrozze del regionale, nessuna vittima, ne' feriti
Allagamento a Vigevano	Rottura argine canale irriguo	Allagamento sede ferroviaria
Allagamento in Puglia	Abbondanti precipitazioni e malfunzionamento dei sistemi di drenaggio	Allagamento sede ferroviaria
Valanga sulle Alpi	Distacco blocchi rocciosi e neve	2 morti e 10 feriti
Terremoto in Turchia	Scosse sismiche	Distorsioni binari e spostamenti massicciata
Crollo ponte ferroviario in Puglia	Maltempo ha generato cedimento rilevato e crollo ponte	Circa 30 feriti
Crollo ponte ferroviario in Calabria	Violento nubifragio e forte erosione alla base dei piloni del ponte	Svio del treno, con 21 feriti

Tabella 2.5: Schema riassuntivo eventi descritti

2.3.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Senza ombra di dubbio, tutte le volte che si manifesta un incidente nel mondo ferroviario, l'uomo si sofferma a riflettere in merito alle cause, alle responsabilità e ai danni provocati dall'evento.

Spesso, come si è potuto osservare in alcuni casi reali precedentemente descritti, i sinistri provocano delle vere e proprie stragi.

Sicuramente, questi episodi rappresentano delle vere e proprie fonti di insegnamento, utili per prevenire errori o situazioni simili nel futuro.

Tutto sommato, a volte, se si verifica un episodio del genere, è perché non sono stati mai presi degli accorgimenti efficaci ad evitare il fenomeno.

Basti pensare ad alcuni eventi naturali descritti nel paragrafo precedente: nel caso delle frane, presumibilmente a ridosso delle montagne non sono mai state pensate strutture ingegneristiche di protezione, che potessero evitare la caduta di massi o materiale naturale sui binari oppure, nel caso degli allagamenti, si potrebbero considerare malfunzionamenti o inesistenza di adeguati sistemi di drenaggio, che potessero espellere e filtrare via l'acqua dalla sede ferroviaria, convogliandola in altre zone di raccolta oppure assenza di opere ai margini della linea ferroviaria, come muretti protettivi in cemento armato, che possano ritardare il più possibile inondazioni della massicciata.

Fortunatamente, come si può osservare dal grafico a torta di seguito riportato, che si riferisce all'analisi delle cause di 84 gravi incidenti avvenuti in Italia nell'arco temporale compreso tra il 1961 e il 1992, si è potuto rilevare che il numero dei sinistri indotti da fenomeni di tipo naturale/ambientale è fortemente limitato rispetto ad altre condizioni, che hanno generato criticità ben più rilevanti e frequenti (grafico prelevato dal testo "Regolamenti e sicurezza della circolazione ferroviaria (Esperienza ed etica)" di P. De Palatis (CIFI 1995) a pag. 263).

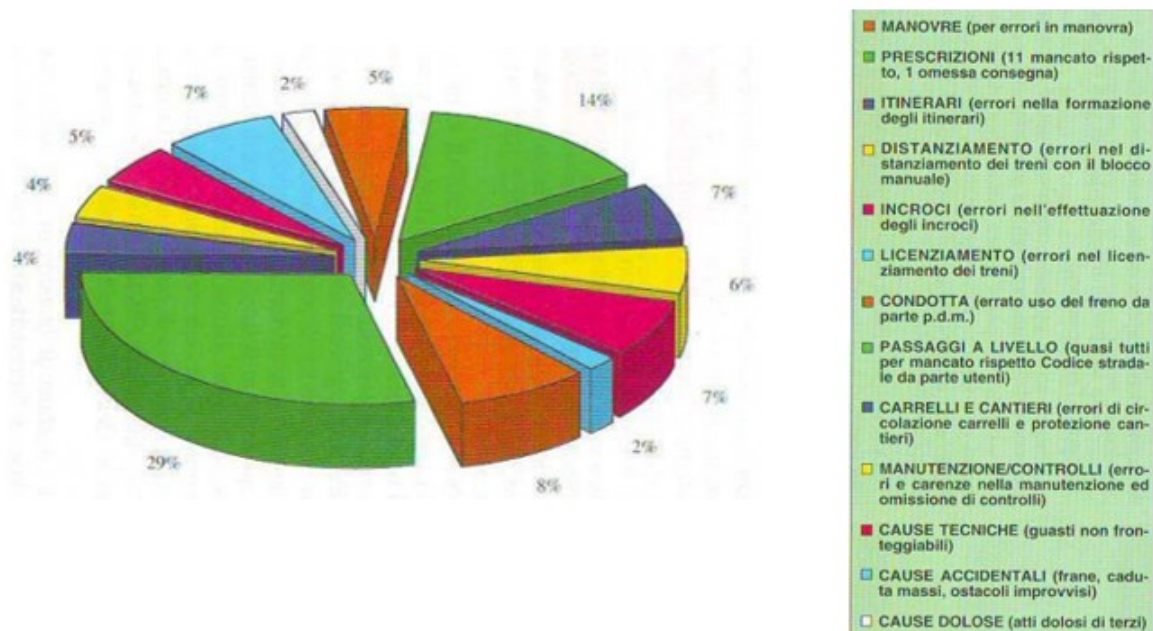


Figura 2.11: Statistica eventi incidentali in Italia

In generale, il monitoraggio dell'incidentalità non può limitarsi ad acquisire informazioni di livello statistico, ma occorre sviluppare un'analisi completa ed approfondita delle cause degli errori e delle loro origini, spesso nascoste.

Per conseguire nel migliore dei modi il monitoraggio delle cause relativamente a qualsiasi tipologia di incidente ferroviario, si possono utilizzare strumenti e sistemi di rilevamento specifici, la cui finalità è quella di generare una serie di sensori, che permettano non solo di comprendere la motivazione reale dell'incidente, ma anche capire il tipo di errore commesso, che avrebbe potuto evitare l'evento, nel momento in cui tali sensori rilevano alcune anomalie.

2.4 BANCHE DATI PER TRATTAZIONE RISCHI ESTERNI

Per poter raccogliere in modo completo ed esaustivo i dati e le informazioni necessarie per lo svolgimento delle analisi inerenti i rischi naturali, come frane e alluvioni, in un determinato territorio, è consuetudine rifarsi a banche dati già disponibili in letteratura.

Queste banche dati raccolgono una serie di linee guida pratiche, redatte da esperti dei singoli settori, nonché le indicazioni utili per fronteggiare in maniera adeguata le eventuali criticità connesse a particolari fenomeni derivanti dall'ambiente esterno.

I principali siti Internet, che contengono fonti attendibili in merito allo studio del territorio di una determinata area geografica dell'Italia, sono quelli dell'Arpa e della Regione.

In particolare, per lo studio del rischio idrogeologico nelle zone della Regione Piemonte attraversate dalla Ferrovia Canavesana di GTT, che si estende dal nodo di Settimo Torinese alla stazione di Pont Canavese, si fa riferimento ai siti dell'Arpa Piemonte (www.arpa.piemonte.gov.it) e della Regione Piemonte (www.regione.piemonte.it).

Risulta importante, però, evidenziare che i siti precedentemente enunciati ricorrono a una caratterizzazione del territorio regionale sotto forma di aree o superfici, facendo riferimento ad eventuali limiti amministrativi gestiti dalle diverse autorità locali presenti nella Regione.

Tuttavia, per poter individuare i potenziali rischi esterni ad una linea ferroviaria, occorre effettuare una semplificazione derivante dalla considerazione che il tracciato su cui si muovono i treni è di tipo lineare. Pertanto, ne consegue che in questo specifico contesto applicativo, si necessita più di una caratterizzazione di tipo lineare, al fine di analizzare le condizioni al contorno della linea ferroviaria oppure di tipo puntuale, qualora si dovessero individuare posizioni critiche che potrebbero rappresentare un potenziale pericolo per la circolazione dei convogli ferroviari, come ad esempio, i ponti di attraversamento ferroviario sopra al percorso di un corso d'acqua.

In base ai contenuti rilevati nel sito dell'Arpa Piemonte, si può osservare che il territorio piemontese viene continuamente studiato dal punto di vista dei fenomeni naturali, tramite un Sistema Informatico predisposto, contenente sia informazioni di tipo alfanumerico sia dati di natura geografica, raccolti all'interno del GIS (Sistema Informativo Territoriale). Nondimeno, è importante precisare che non si tratta di due categorie di dati completamente indipendenti tra di loro, ma esiste un'interazione tra gli stessi, che consente l'interscambio di informazioni.

Nel caso di analisi di dettaglio più precise, invece, è meglio ricorrere all'uso del GeoPortale, un vero e proprio catalogo di metadati di semplice utilizzo, contenente informazioni di natura geografica sia in termini tabellari che cartografici. In particolar modo, a partire dalla carta geografica del Piemonte, cliccando su una zona specifica interna, è possibile visualizzare le carte tematiche dell'area interessata che mettono in luce le porzioni di territorio potenzialmente soggette a fenomeni franosi o allagamenti.

Per poter fronteggiare nel miglior modo possibile eventuali criticità in termini di rischio idrogeologico, è necessario registrare una serie di informazioni, che per comodità sono raccolte nella seguente tabella riepilogativa:

Rischio frane	Rischio allagamenti/alluvioni
Indice di franosità dell'area in esame (ricavato da cartografie tematiche disponibili su sito arpa)	Fascia fluviale dell'area in esame
Litologia/stratigrafia del terreno e tipologia di vegetazione presente sul pendio	Indice di pericolosità dell'area interessata dal punto di vista delle alluvioni
Configurazione/stato e pendenze del versante montuoso	Tipo di criticità determinato da acque superficiali o acque di falda sotterranee
Eventuali sistemi di monitoraggio attivi nell'area interessata dall'evento	Informazioni di base necessarie: - In caso di acque superficiali, dati del corso d'acqua esondato: lunghezza, portata ordinaria, regime di portata in un periodo annuale, coefficiente di deflusso, velocità della corrente - In caso di acque sotterranee, dati della falda interessata: natura dell'acqua nel sottosuolo, tipo di permeabilità del terreno, utilizzo della falda, profondità ordinaria rispetto al piano campagna
Eventuale presenza di interventi ingegneristici come forma di prevenzione/protezione	Stato del corso d'acqua o della falda al momento della criticità
Elaborazioni specifiche, in termini di piovosità, temperatura e pressione durante l'evento critico	Eventuali sistemi di monitoraggio attivi nell'area in esame
Volume di materiale distaccato dal pendio	Eventuale presenza di interventi ingegneristici come forma di prevenzione/protezione
Cause che hanno originato l'evento franoso	Elaborazioni specifiche, in termini di piovosità, temperatura e pressione durante evento critico
Numero di vittime, feriti e dispersi	Numero di vittime, feriti e dispersi
Danni rilevati a strutture, infrastrutture o monumenti presenti nell'area e conseguenze	Danni rilevati a strutture, infrastrutture o monumenti presenti nell'area e conseguenze
Codice di allerta associato alla condizione critica	Codice di allerta associato alla condizione critica
Interventi necessari post evento da parte della protezione civile	Interventi necessari post evento da parte della protezione civile

Tabella 2.6: Informazioni utili da registrare per rischio frane e alluvioni

2.4.1 BANCA DATI: PRESIDI IDRAULICI E IDROGEOLOGICI

La Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM del 27 febbraio 2004) ha stabilito che le Regioni regolamentino, ai fini idraulici ed idrogeologici, i seguenti aspetti:

1. sistema di allerta regionale;
2. gestione piene e deflussi;
3. regolazione dei deflussi.

I presidi idraulici e idrogeologici di Protezione Civile sono istituiti sulla base di valutazioni tecniche delle autorità competenti e vengono classificati in tre diversi livelli:

- presidi di primo livello, inerenti l'assistenza e il pronto intervento logistico;
- presidi di secondo livello, istituiti dalla Regione per assicurare tutte le attività richieste;
- presidi di terzo livello, che si avvalgono di una o più sedi logistiche comunali o del volontariato.

I presidi, tipicamente, vengono istituiti per garantire servizi preventivi ed operativi, atti ad attività di monitoraggio dei fenomeni naturali, con controllo dei principali parametri fisici e meccanici che contraddistinguono un versante o un bacino idrografico e per assicurare

disposizioni per la risoluzione di problematiche ambientali con interfaccia diretta sull'uomo, opere d'arte o attività antropiche in situazioni avverse.

Per questo motivo, essi devono essere dotati di una serie di attrezzature informatiche, per la campagna, per la sicurezza, per il trasporto, per la comunicazione, per il rilevamento, nonché di strumenti cartografici per avere un quadro generale dei fenomeni potenzialmente riscontrabili.

2.4.2 BANCA DATI: SITUAZIONE ITALIANA PER RISCHIO FRANE

L'ISPRA, al fine di ottenere una mappa della pericolosità da frana sull'intero territorio nazionale, nel 2015 ha dato vita al processo di mosaicatura delle aree a pericolosità dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), mediante l'armonizzazione delle legende in 5 classi: pericolosità molto elevata (P4), elevata (P3), media (P2), moderata (P1) e aree di attenzione (AA).

I PAI, redatti dalle Autorità di Bacino, Regioni e Province Autonome, hanno definito vincoli e regolamentazioni d'uso del territorio nelle aree a pericolosità da frana e costituiscono, quindi, uno strumento fondamentale per una corretta pianificazione territoriale. Le aree a pericolosità da frana includono, oltre alle frane già verificatesi, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi.

La superficie complessiva delle aree a pericolosità da frana PAI e delle aree di attenzione in Italia è pari a 58.275 km² (19,3% del territorio nazionale). Se prendiamo in considerazione le classi a maggiore pericolosità (elevata P3 e molto elevata P4), assoggettate ai vincoli di utilizzo del territorio più restrittivi, le aree ammontano a 23.929 km², pari al 7,9% del territorio nazionale.

Si riporta nella seguente figura una mappatura del territorio italiano che riporta la densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di lato 1 km, redatta dal Rapporto ISPRA 233/2015:

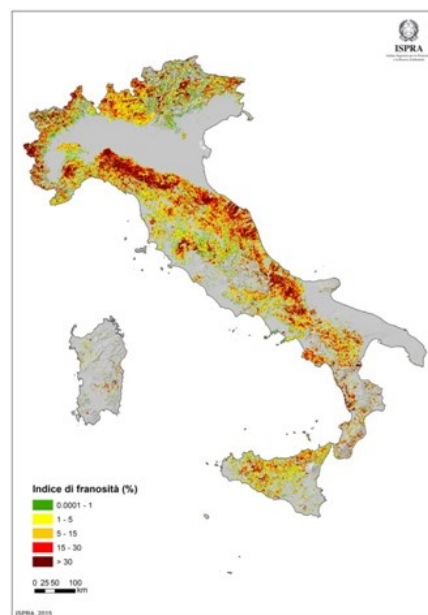


Figura 2.12: Densità frane nel territorio italiano – ISPRA

2.4.3 BANCA DATI: SITUAZIONE ITALIANA PER RISCHIO ALLAGAMENTI

L'ISPRA nel 2015 ha realizzato anche la mosaicatura delle aree a pericolosità idraulica perimetrate dalle Autorità di Bacino, Regioni e Province Autonome ai sensi del D. Lgs. 49/2010. La mosaicatura è stata effettuata per i tre scenari di pericolosità: elevata P3 con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti), media P2 con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (alluvioni poco frequenti) e bassa P1 (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi).

Le aree a pericolosità idraulica elevata in Italia sono pari a 12.218 km² (4% del territorio nazionale), le aree a pericolosità media ammontano a 24.411 km² (8,1%), quelle a pericolosità bassa (scenario massimo atteso) a 32.150 km² (10,6%).

Si riporta nella seguente figura una mappatura redatta dal Rapporto ISPRA 233/2015 delle aree a pericolosità idraulica media P2:

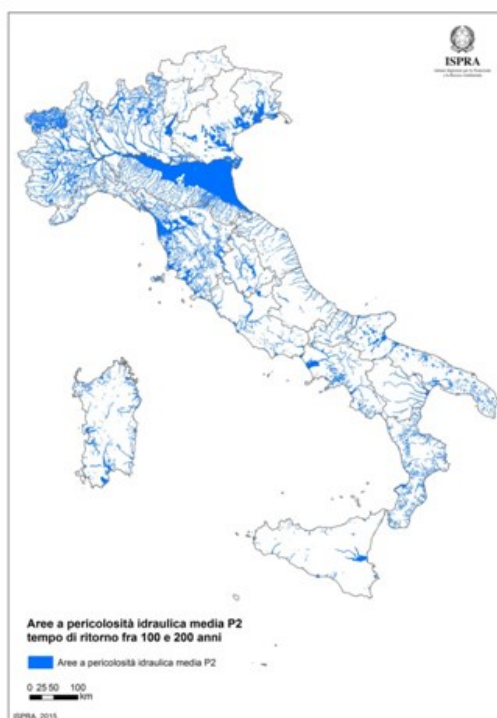


Figura 2.13: Aree a pericolosità idraulica media P2 – ISPRA

2.4.4 BANCA DATI: MODALITA' DI INTERVENTO E GESTIONE DELLE EMERGENZE (PIANI PROTEZIONE CIVILE)

Nel caso del rischio idrogeologico, si ha a che fare con un tipo di normativa prescrittiva, che fornisce, cioè, una serie di regole e comportamenti da adottare per poter affrontare tanto le situazioni ordinarie quanto quelle di emergenza straordinaria.

Tuttavia, i rischi che ricadono sotto la categoria “rischi idrogeologici” analizzano aspetti naturali legati all’ambiente e al territorio di analisi.

Spesso si tratta di fenomeni prevedibili, che si manifestano in seguito ad eventi meteo, segnalati dai centri specialistici di meteorologia, caratterizzati da brusche variazioni termiche, abbondanti precipitazioni di acqua o di neve.

Ci sono, invece, alcune circostanze inaspettate, che si presentano in maniera improvvisa, in cui la popolazione nel territorio interessato dall’evento estremo si ritrova impreparata a fronteggiare la situazione e al contempo le risorse utili a ripristinare la condizione ordinaria non sono disponibili.

Sono proprio queste situazioni straordinarie, che hanno come risultati conseguenze gravi, come perdite di vite umane, danni ingenti alle strutture o ai manufatti e problematiche di carattere ambientale.

Attualmente, fortunatamente, si sta cercando una strada per limitare il più possibile i potenziali pericoli per la popolazione e per il territorio, attraverso l’attuazione di misure cautelative di prevenzione, monitoraggio e mitigazione.

All’interno del settore dell’ingegneria civile, si stanno mettendo in atto una serie di interventi efficaci mirati a far tendere a zero o, qualora possibile, eliminare del tutto questi tipi di rischi naturali.

È opportuno precisare che, nel contesto normativo in esame, quando si parla di interventi, si fa riferimento non solo alle fasi attive di soccorso, attuate dalle autorità nazionali, regionali, locali o dalla Protezione Civile, durante le quali corpose squadre di lavoratori e volontari vengono indirizzate da varie zone del Paese in corrispondenza del luogo dove si manifesta la criticità, ma vengono anche incluse tutte le opere di contenimento costruite dall’uomo come forma di protezione nei confronti di un particolare evento.

Tramite la valutazione dei rischi è possibile organizzare non solo misure preventive riguardanti le singole fasi progettuali, ma estendere le stesse anche a fasi di vita successive a quelle della progettazione.

Le norme prescrivono un insieme di procedure operative che esplicitano una serie di comportamenti ed azioni da compiere con immediatezza, nonché attività da avviare per affrontare il primo impatto di un evento calamitoso con il minor grado di impreparazione.

Nella predisposizione di procedure adeguate ed efficaci, assume un ruolo fondamentale la corretta identificazione degli scenari degli eventi attesi, relativamente alle situazioni di pericolosità presenti sul territorio esaminato.

Riferimento determinante, nel caso di fenomeni prevedibili, è il Sistema di Allertamento Regionale, attraverso la rete del Centro Funzionale Regionale dell'ARPA Piemonte, le cui prescrizioni vanno recepite come guida per la pianificazione comunale di Protezione Civile.

Secondo le prescrizioni fornite dalla Regione Piemonte e dai singoli Comuni, le fasi operative da attuare per risolvere problematiche connesse al rischio idrogeologico sono:

- FASE DI ATTENZIONE (o LIVELLO I), stato attuato anche in condizioni di precipitazioni ordinarie, tutte le volte che viene emesso il Bollettino di allerta meteorologica per pioggia o neve. Durante questo stadio viene attuata l'attività informativa nei riguardi delle strutture comunali potenzialmente interessate agli interventi di protezione civile ed è necessario prestare attenzione all'evolversi della situazione;
- FASE DI PREALLARME (o LIVELLO II), condizione attuata nel caso in cui la criticità nei confronti delle precipitazioni è considerata moderata con presenza di uno dei seguenti fenomeni: limitate condizioni di instabilità dei versanti, limitato trasporto di massa da parte della rete idrografica o possibili inondazioni delle aree prossime ai corsi d'acqua;
- FASE DI ALLARME (o LIVELLO III), durante la quale il livello di criticità è elevato con possibilità di manifestazione di eventi meteo straordinari. In queste condizioni si possono manifestare estesi fenomeni di inondazioni anche in aree distanti dai corsi d'acqua, intense erosioni, numerosi ed estesi fenomeni di instabilità dei versanti con eventuale innesco di frane o valanghe.
Le conseguenze derivanti da questi eventi calamitosi possono essere anche piuttosto importanti; oltre alle classiche accuratizzazioni da adottare in ambito urbano, ci possono essere anche forti ripercussioni sul mondo dei trasporti; infatti, nel caso in cui si manifestino episodi di frane, smottamenti o inondazioni su un'infrastruttura, è necessario prendere i giusti accorgimenti per evitare di incorrere in incidenti sia in ambito stradale che ferroviario.

Infine, la normativa prescrive anche un modello di intervento, che tutela la direzione ed il coordinamento dei servizi di soccorso e assistenza alla popolazione colpita, attraverso la definizione delle competenze per le diverse tipologie di scenario atteso e mediante la predisposizione delle specifiche azioni da compiere.

È importante distinguere nel modello di intervento le procedure per eventi con preavviso da quelle per eventi improvvisi.

Nel primo caso si ha a che fare con fenomeni direttamente connessi con la situazione meteorologica, la cui previsione consente l'attivazione delle diverse fasi operative e funzionali a crescente criticità precedentemente descritte. In questo contesto l'intervento di protezione civile si sviluppa per fasi successive, che servono a scandire temporalmente l'evolversi del livello di allerta e, conseguentemente, l'incremento delle risorse da impegnare.

Nel secondo caso, invece, non avendo a disposizione allarmi a causa della manifestazione dell'evento in modo imprevedibile, si ricorre all'attuazione di misure per emergenza.

CAPITOLO 3 – ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI

All'interno di questo capitolo, viene esaminata l'influenza di attraversamenti e parallelismi, presenti in aree limitrofe alla linea ferroviaria sopra o sotto la stessa, a una certa profondità dal piano del ferro.

In generale, gli attraversamenti e i parallelismi ferroviari possono essere considerati come interferenze fisiche tra l'infrastruttura ferroviaria ed altri impianti o sotto servizi, come ad esempio:

- strade, autostrade, percorsi pedonali;
- tubazioni convoglianti idrocarburi liquidi e gassosi;
- condotte per acque sotto pressione ed a pelo libero;
- cavi elettrici;
- sistemi di telecomunicazione.

3.1 DEFINIZIONI

Prima di studiare la metodologia di analisi di questi fattori, è opportuno fornire definizioni tecniche specifiche, tratte dal sito della Regione Piemonte – settore trasporti, che permettono di comprendere in maniera precisa i concetti affrontati durante la presente trattazione:

- **INFRASTRUTTURA FERROVIARIA:** è l'insieme di sede ferroviaria e impianti tecnologici di trazione, segnalamento e sicurezza, che sono adibiti per garantire la circolazione dei treni;
- **ATTRAVERSAMENTO:** qualsiasi manufatto o impianto che interseca (anche soltanto in proiezione) l'infrastruttura ferroviaria, mediante interramenti, cunicoli, passaggi a raso, strutture inferiori o superiori;
- **PARALLELISMO:** qualsiasi manufatto o impianto delle tipologie indicate in precedenza che, mediante interramenti, cunicoli, passaggi a raso o in elevazione, viene eseguito ad una distanza (misurata in proiezione orizzontale) inferiore a:
 - 20 metri, a partire dalla più vicina rotaia, da misurarsi in direzione ortogonale all'asse del più vicino binario, nel caso di condotte convoglianti gas e liquidi (esclusa acqua bianca, che deriva dalla pioggia, dal dilavamento, dal lavaggio delle strade, da attività di natura industriale o acqua nera, che contiene rifiuti riconducibili ad attività umane domestiche o industriali, definite nocive per la salute e moleste per il pubblico);
 - 6 metri, sempre a partire dalla rotaia più vicina, con misurazione in direzione ortogonale rispetto all'asse del binario più vicino, nel caso di cavi elettrici e/o di telecomunicazione;
 - 1 metro dal confine della proprietà ferroviaria, nel caso di condotte idriche a pelo libero o in pressione.

Per assicurare la sicurezza e la regolarità sia dell'esercizio ferroviario che di quello dell'impianto stesso che verrà realizzato, le suddette tipologie di interferenze devono essere

regolamentate e formalizzate con la Società Concessionaria per le linee di competenza regionale e con FERSERVIZI S.P.A. per la rete RFI, ai sensi dell'articolo n°58 del Decreto del Presidente della Repubblica DPR n°753 del 1980, che recita:

“Chiunque costruisce una strada, un canale o un condotto d'acqua, un elettrodotto, gasdotto, oleodotto o qualunque altra opera di pubblica utilità, che debba attraversare impianti ferroviari, compresi gli elettrodotti, o svolgersi ad una distanza che possa creare interferenze, soggezioni o limitazioni all'esercizio ferroviario, deve ottenere la preventiva autorizzazione dell'azienda esercente, che potrà condizionarla alla realizzazione di tutte le varianti ai piani costruttivi che riterrà necessarie per garantire la sicurezza delle opere e degli impianti e la regolarità dell'esercizio ferroviario. Per le ferrovie in concessione, l'autorizzazione di cui al comma precedente è subordinata al nulla osta del competente ufficio della M.C.T.C. (Direzione generale della motorizzazione civile e dei trasporti in concessione), per i servizi di competenza statale, o degli organi delle regioni, previo assenso ai fini della sicurezza da parte del competente ufficio della M.C.T.C., per i servizi rientranti nelle attribuzioni delle regioni stesse”.

3.2 NORME DI RIFERIMENTO

Gli attraversamenti e i parallelismi ferroviari sono disciplinati da norme molto stringenti, finalizzati a garantire gli aspetti di sicurezza della circolazione ferroviaria in presenza delle interferenze date da tali presenze.

Queste normative contengono al loro interno una serie di regole e linee guida generali, che i gestori di queste opere devono seguire sia durante le fasi di progettazione e costruzione delle strutture che nelle condizioni ordinarie di esercizio e sono soggette a una serie di revisioni ed aggiornamenti periodici nel corso degli anni, tenendo conto di ritorni di esperienza, in riferimento ad eventi critici avvenuti in passato, e delle evoluzioni tecnologiche, in merito agli strumenti impiegati durante le diverse fasi dell'analisi.

Tra le norme di maggiore interesse per la gestione ed il monitoraggio dello stato in cui operano i diversi attraversamenti e parallelismi, che hanno un'interfaccia con la linea ferroviaria, si contemplano il Decreto del Presidente della Repubblica DPR n°753/80 e il Decreto Ministeriale del 4 aprile 2014, emanato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

3.2.1 DPR 753/80

Il DPR 753/80 riporta le norme in materia di Polizia, sicurezza e regolarità dell'esercizio delle Ferrovie e di altri servizi di trasporto. Tali norme si applicano alle ferrovie destinate al servizio pubblico per il trasporto di persone e di merci esercitate da RFI o in regime di concessione o di gestione commissariale governativa.

Viene spesso segnalata all'interno del DPR la necessità di mantenere un buono stato di efficienza delle ferrovie per la sicura circolazione dei treni e veicoli, in rapporto alle condizioni di esercizio e, al tempo stesso, assicurare la presenza di un personale qualificato in grado di garantire la sicurezza e la regolarità del servizio. Pertanto, per soddisfare queste necessità operative dell'organizzazione, è necessario adottare le misure e le cautele suggerite dalla tecnica e dalla pratica, atte ad evitare sinistri di qualsiasi genere. Tuttavia, quando si verifica un

incidente, il personale è tenuto a prestare tutti i possibili soccorsi e a mettere in opera ogni mezzo opportuno per alleviare e limitare le conseguenze dei danni occorsi e per impedirne altri.

Particolare attenzione viene posta anche nei confronti delle proprietà limitrofe alla sede ferroviaria e delle attività svolte da terzi esterni in prossimità della ferrovia, ai fini della tutela della sicurezza di esercizio. Nella realtà, nella maggior parte dei casi quando si progetta e, successivamente, si procede con la costruzione di una linea ferroviaria, si cerca di separare questa realtà da contesti legati all'ambiente esterno, tramite la realizzazione di siepi, muri protettivi, opere di contenimento o, in generale, qualsiasi altra forma di recinzione stabile.

Anche nel caso di attraversamenti e parallelismi in campo ferroviario, come enunciato nell'articolo 58 già riportato nel paragrafo 3.1, è opportuno seguire adeguati accorgimenti, in modo tale che queste opere non interferiscano con la circolazione dei mezzi lungo la linea ferroviaria. Ovviamente, risulta obbligatorio acquisire un'autorizzazione da parte degli enti competenti prima della realizzazione dell'opera, al fine di registrare la presenza di queste strutture in corrispondenza di una certa progressiva chilometrica lungo il tracciato ferroviario.

Tuttavia, è prevista la concessione di deroghe ai vincoli e ai limiti imposti dalle normative, qualora si riceva il parere favorevole, dopo opportune analisi, da parte dell'Amministrazione regionale e della società concessionaria della linea.

Tale assenso è vincolante così come il rispetto delle prescrizioni e degli obblighi in esso contenuti, sia per lavori eseguiti da privati, sia per la costruzione di opere pubbliche; ovviamente, derogano a tale obbligo solo i manufatti di pertinenza ferroviaria.

Qualora non siano assicurate le condizioni minime da valutarsi in riferimento alla sicurezza e all'esercizio ferroviario, alla salvaguardia delle aree, alla conservazione, miglioramento e potenziamento delle linee, nonché alla natura dei terreni e a particolari circostanze locali, la richiesta di deroga può essere negata, imponendo il rispetto dell'art.49 del DPR 753/80. Le valutazioni per un eventuale accoglimento delle istanze vengono, pertanto, rilasciate solo dopo un iter istruttorio per ogni domanda pervenuta.

Nel caso delle ferrovie regionali, contemplate nel decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei trasporti del 5 agosto 2016, alcune norme del DPR 753/80 non sono più applicabili. A tal proposito l'ANSF ha pubblicato il 26/04/2017 un protocollo, in cui vengono ristabiliti ruoli e responsabilità per la gestione delle interferenze esterne alla circolazione ferroviaria, tra cui attraversamenti e parallelismi. Tuttavia, si prende atto che:

- restano nelle mani della Direzione Generale per i sistemi di trasporto ad impianti fissi e per il trasporto pubblico locale le sole competenze residuali di cui al decreto del 4 aprile 2014 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, inerenti alle attività del Tavolo Tecnico Permanente, in materia di deroghe sugli attraversamenti e parallelismi delle linee ferroviarie;
- la tematica relativa alle distanze legali, contemplata nell'articolo 49 del DPR 753/80, è invece di competenza regionale.

Si conferma che dall'entrata in vigore del DM del 5 agosto 2016 sulle linee ferroviarie contemplate nell'allegato del documento, l'ANSF esercita i compiti ad essa assegnati dal decreto legislativo del 10 agosto 2016 n°162, e il gestore dell'infrastruttura e le imprese

ferroviarie hanno in mano tutte le responsabilità in materia di sicurezza della circolazione. Invece, i direttori di esercizio restano in carica nelle loro funzioni fino alla presentazione delle istanze di autorizzazioni di sicurezza per i gestori delle infrastrutture e dei certificati di sicurezza per le imprese ferroviarie.

3.2.2 DECRETO MINISTERIALE DM DEL 4 APRILE 2014

In questo decreto, pubblicato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, vengono emanate nuove norme tecniche specifiche per la gestione di attraversamenti e parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto.

Prendendo in considerazione diversi documenti, pubblicati in passato, che trattano già in merito, questo nuovo regolamento decreta nuovi principi, in base ai quali dovranno essere progettati, realizzati e gestiti gli impianti che hanno interfaccia con la linea ferroviaria.

Tuttavia, qualora, per particolari motivi, risulti concretamente impossibile attenersi alle disposizioni tecniche suggerite da questo decreto, il soggetto attraversante ha la possibilità di presentare una richiesta di deroga, proponendo una soluzione alternativa che, tuttavia, garantisca un grado di sicurezza non inferiore a quello ottenibile dall'applicazione diretta delle norme. Questa richiesta deve essere presentata e sottoposta a giudizio del Tavolo tecnico, un organismo istituito presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, il quale è tenuto a valutare con attenzione l'idea del soggetto proponente, esprimendo un parere vincolante.

Una volta ultimati gli impianti previsti nella convenzione che disciplina l'attraversamento o il parallelismo oggetto di queste norme, si deve procedere con le seguenti operazioni:

- prove e verifiche per accertare la rispondenza fra progetto approvato ed esecuzione degli impianti;
- elaborazione del “Verbale di regolare esecuzione”, firmato da funzionari responsabili;
- elaborazione del “Verbale di contestazione” nei confronti del soggetto richiedente l'attraversamento, con espressa diffida dal mettere in servizio l'impianto, qualora l'attraversamento o il parallelismo non dovessero corrispondere a quanto previsto in progetto, discostandosi in modo da non rispettare, sia pure in minima parte le norme;
- controlli ordinari da parte dell'esercente entro la fine di ogni anno successivo a quello nel quale è stato attivato l'impianto per verificare il buon funzionamento dell'intero impianto;
- assunzione di responsabilità civile e penale da parte dell'esercente dell'impianto, nei confronti del Gestore dell'Infrastruttura di trasporto e nei confronti di terzi in generale.

Nel caso di attraversamenti e parallelismi esistenti prima dell'entrata in vigore di questo decreto, non è richiesto alcun adeguamento ai nuovi principi, purché rispettino i requisiti riportati nella previgente normativa di riferimento n°2445 del 23 febbraio 1971, abrogata dopo la pubblicazione del decreto del 4 aprile 2014.

Vediamo ora, in dettaglio, i nuovi criteri di progettazione di attraversamenti e parallelismi, secondo il precitato decreto del 4 aprile 2014.

▪ *ATTRAVERSAMENTI*

Tipicamente, si effettua una classificazione degli attraversamenti in: interrati, superiori o inferiori.

Ciascuna delle precedenti tipologie viene trattata con regole specifiche e con parametri di riferimento ben precisi, come segnalato all'interno dell'Allegato A" del decreto 04/04/14. In particolare:

- gli attraversamenti interrati sono quelli realizzati con le condotte interrate al di sotto dei binari, il cui tracciato deve essere di norma rettilineo e normale all'asse del binario oppure, nel caso in cui ciò non sia possibile, deve formare un angolo non minore di 45° con l'asse del binario. In presenza di PL, invece, è consentito che il tracciato della condotta formi con l'asse del binario lo stesso angolo che è determinato dall'asse della strada.

In prossimità delle opere d'arte e di impianti tecnologici, invece, l'attraversamento deve risultare a distanza dal filo esterno della struttura più vicina non minore dell'altezza del piano del ferro sul piano di fondazione dell'opera d'arte, con un massimo di 10 metri; nei confronti degli imbocchi delle gallerie va rispettata la distanza di 20 metri.

Al fine di evitare grandi interferenze con la linea ferroviaria, è disposto, inoltre, l'utilizzo di un tubo di protezione, avente maggiore diametro rispetto alla condotta attraversante con una pendenza uniforme non inferiore al due per mille in direzione dello spurgo.

Trattandosi di una condotta interrata, dovrà essere rispettata anche la profondità a cui deve trovarsi la struttura rispetto alla rotaia ferroviaria, in riferimento ad una estesa corrispondente alla distanza tra le due rotaie estreme più 3 metri al di là di entrambe; in particolare, è prevista un'altezza del terreno sovrastante il tubo di protezione di almeno 1,2 metri e il lembo superiore della tubazione deve trovarsi ad almeno 2 metri al di sotto del piano del ferro o comunque della rotaia più bassa, in presenza di sopraelevazione del binario;

- gli attraversamenti superiori si distinguono ulteriormente in attraversamenti mediante struttura portante propria ed attraversamenti con appoggio su altri manufatti (esistenti o da costruire per usi promiscui vari).

Nel primo caso, l'asse della struttura deve essere rettilineo e il più possibile normale all'asse del binario; tuttavia, non è ammesso l'attraversamento superiore di marciapiedi di stazioni, di piani caricatori e di altre installazioni fisse e in prossimità delle opere d'arte va rispettata una distanza tale da non interessare le strutture delle opere d'arte stesse e consentire l'eventuale esecuzione di lavori di manutenzione o consolidamento delle medesime.

Un ultimo parametro significativo per questa tipologia di condotte è ovviamente l'altezza libera rispetto al piano del ferro per consentire un passaggio sicuro dei treni: tale distanza deve essere di 7,2 metri per le ferrovie elettrificate a 25 kV in C.A. e 7 metri per tutte le altre ferrovie.

Nel secondo caso, invece, è opportuno semplicemente introdurre la condotta in un piano di protezione, sistemato in un cunicolo appositamente predisposto;

- gli attraversamenti inferiori sono realizzati in corrispondenza delle luci libere dei manufatti e sono ammessi soltanto se compatibili con la funzione dei manufatti. Questi attraversamenti devono essere realizzati osservando le prescrizioni stabilite per gli attraversamenti interrati precedentemente riportati, ma con ulteriori prescrizioni: la profondità di interrimento non deve essere inferiore a 0,8 metri dal piano campagna o dal piano stradale, di norma la condotta deve essere posata preferibilmente in corrispondenza della mezzera della luce libera dell'opera d'arte, non è ammesso spingere gli scavi per l'interrimento di condotte al di sotto dei piani di posa delle fondazioni di opere d'arte.

Infine, si può citare che nei sottopassi a sezione rettangolare, realizzati con manufatti scatolari in c.a. al di sotto dei binari, la condotta, per diametri del tubo di protezione fino a 300 millimetri, può essere posata al di sotto del piano di fondazione del manufatto.

▪ *PARALLELISMI*

Nel caso dei parallelismi, si ha a che fare con strutture che non attraversano direttamente la linea ferroviaria, ma sono situate nelle vicinanze della stessa con la nascita di possibili interferenze.

Di norma, si stabilisce che non possono essere posate condotte ad una distanza inferiore ad un valore soglia minimo (vedi tabella alla fine del paragrafo), misurata fra la generatrice esterna della condotta lato binari e la più vicina rotaia. Nel caso in cui questa distanza, per motivi tecnici, non può essere rispettata, per l'approvazione del progetto si devono attivare le previste procedure di autorizzazione in deroga del progetto e la condotta dovrà essere protetta con un idoneo tubo di protezione.

Le condotte devono essere realizzate generalmente in acciaio con saldatura elettrica ad arco, ma ci sono alcune eccezioni in caso di trasporto di materiali particolari all'interno della tubazione.

Un parametro molto importante sia nel caso degli attraversamenti che per i parallelismi è lo spessore delle tubazioni in acciaio, definiti tramite la seguente formula analitica:

$$s = (200 \times S/K_s + pDe) : (200 \times S/K_s + 2 p)$$

dove:

s è lo spessore del tubo, espresso in millimetri;

S è il carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato, espresso in daN/mm²;

K_s è il coefficiente di sicurezza minimo rispetto al carico di snervamento;

p è la pressione massima che può aversi nel più sfavorevole caso espressa in daN/cm²;

De è il diametro esterno della condotta, espresso in millimetri.

Gli spessori delle condotte in acciaio devono corrispondere o essere immediatamente superiori a quelli desunti dal calcolo con la formula sopra riportata. In ogni caso, lo spessore minimo delle condotte in acciaio non deve essere inferiore a 4mm.

Inoltre, le condotte metalliche devono essere trattate esternamente in modo uniforme e continuo con vernici, con bendaggi o altri rivestimenti protettivi, che ne garantiscano la buona conservazione.

Infine, un'ultima considerazione è dedicata alle caratteristiche specifiche del tubo di protezione: il materiale più ricorrente, anche in questo caso, è l'acciaio, ma sono ammessi anche altri materiali, in funzione della sostanza trasportata all'interno della condotta (vedi tabella alla fine del paragrafo). A tal proposito si prendono in considerazione i seguenti dati:

- peso proprio della tubazione
- carico ripartito superiore, corrispondente al peso del terrapieno sovrastante la tubazione ed al carico mobile transitante sul binario opportunamente combinati.

Tale carico mobile è valutato pari a:

[15000 : (2.6 + 1.5 H)] daN/m² - per ferrovie a semplice binario

oppure

[15000 : (3,08 + 0.8 H)] daN/m² - per ferrovie a doppio binario

dove H è la distanza minima tra il piano di posa del ballast e la generatrice superiore del

tubo di protezione

- carico ripartito laterale, corrispondente alla parte rettangolare del diagramma di spinta (terra + sovraccarico)
- carico triangolare laterale, corrispondente alla parte triangolare del diagramma di spinta
- reazione radiale costante in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60°, in funzione del carico Q, pari alla somma di tutti i carichi verticali opportunamente combinati, agente sulla tubazione

Si precisa che le indicazioni precedentemente descritte hanno validità del tutto generale e possono essere prese in considerazione tanto per condotte convoglianti liquidi o gas, quanto per le condotte convoglianti acque sotto pressione o per condotte convoglianti acque a pelo libero. Le differenze tra queste tipologie appena elencate, oltre che per il trasporto del materiale all'interno della condotta, sono legate a specificità tecniche riportate sempre nell'Allegato A" del decreto del 04/04/14, riassunte nella seguente tabella:

Tipologia condotta	Materiale del tubo di protezione e delle condotte	Distanza condotta (parallelismo) da rotaia più vicina	Per attraversamenti sopra le gallerie, presenza tubo di protezione	Particolarità specifiche della tipologia di condotta in esame non indicate precedentemente
Convogliante liquidi e gas (esclusi acquedotti e canalizzazioni a pelo libero)	In acciaio o polietilene	20 metri	Se lo spessore del terreno esistente tra piano di posa della condotta e estradosso del rivestimento della galleria è inferiore a 10 m. Il tubo si deve estendere da ambo i lati della galleria di almeno 20 m a partire dall'intradosso dei piedritti.	- Le estremità del tubo di protezione devono essere chiuse con adeguato sistema a tenuta stagna dell'intercapedine compresa fra i due tubi. - Nel caso di gas leggeri il tubo di protezione deve essere munito di due tubi di sfiato dell'intercapedine da collocare alle estremità del tubo stesso, portati fuori terra ad una distanza non minore di 20 metri, come mostrato nel dettaglio grafico sotto la tabella. - Tutte le condotte devono essere intercettabili a monte e a valle dell'attraversamento in posizioni facilmente accessibili. - Le camerette, i pozzetti e i recinti devono trovarsi a non meno di 20 metri dalla rotaia più vicina da intendersi misurata sulla normale all'asse del binario.

Convogliante acque sotto pressione	In acciaio, ghisa, plastica o altro materiale non metallico	10 metri	Se lo spessore del terreno esistente tra piano di posa della condotta e estradosso del rivestimento della galleria è inferiore a 5 m. Il tubo si deve estendere da ambo i lati della galleria di almeno 10 m a partire dall'intradosso dei piedritti.	- Gli spessori delle condotte di ghisa vanno scelti in relazione al diametro della condotta ed al valore della pressione massima che può verificarsi nelle più gravose condizioni di esercizio, compreso il colpo d'ariete, moltiplicato per 1,5. In ogni caso però lo spessore minimo della condotta non deve essere inferiore a 5mm. - Gli spessori delle condotte in plastica o in altro materiale non metallico vanno scelti in relazione al diametro delle condotte ed al valore della pressione massima che può verificarsi nelle più gravose condizioni di esercizio, compreso il colpo d'ariete, moltiplicato per 1,5. - Lo spessore della parete e l'entità dell'armatura metallica delle condotte in cemento armato vanno calcolati ricavando lo sforzo di trazione N (in daN) dalla formula: $N = p \times D_i/2$ in cui: p = pressione massima di prova in daN/cm^2; D_i = diametro interno in centimetri e tenendo conto altresì che gli sforzi di trazione debbono essere tutti assorbiti dall'armatura in acciaio la cui tensione non deve superare il limite di $1000daN/cm^2$.
Convogliante acque a pelo libero	In acciaio	10 metri	Non specificato, ma in generale in questo caso il tubo di protezione per questo tipo di condotte è sempre presente.	- Gli attraversamenti con canali o con grandi collettori per fognature devono essere realizzati mediante manufatti le

				cui caratteristiche sono da definirsi di volta in volta. - Per le fognature possono ammettersi attraversamenti interrati realizzati con tubazioni di materiale che non venga attaccato dai liquidi di scarico e che siano auto resistenti. - Le condotte non autoresistenti dovranno essere munite di un tubo di protezione le cui estremità dovranno terminare in pozzetti praticabili realizzati secondo lo schema della figura mostrata dopo la tabella. - La profondità di posa delle tubazioni, non deve essere inferiore a 2m tra il piano del ferro e la generatrice superiore dei tubi. - Per le tubazioni non autoresistenti, precedentemente considerati, devono essere previsti dei pozzetti di ispezione ubicati a non meno di 10m dalla più vicina rotaia e di 3m dal piede del rilevato o dal ciglio della trincea (anche se ciò comporti un aumento della lunghezza minima predetta di 10m).
--	--	--	--	---

Tabella 3.1: Allegato A del DM del 04/04/2014

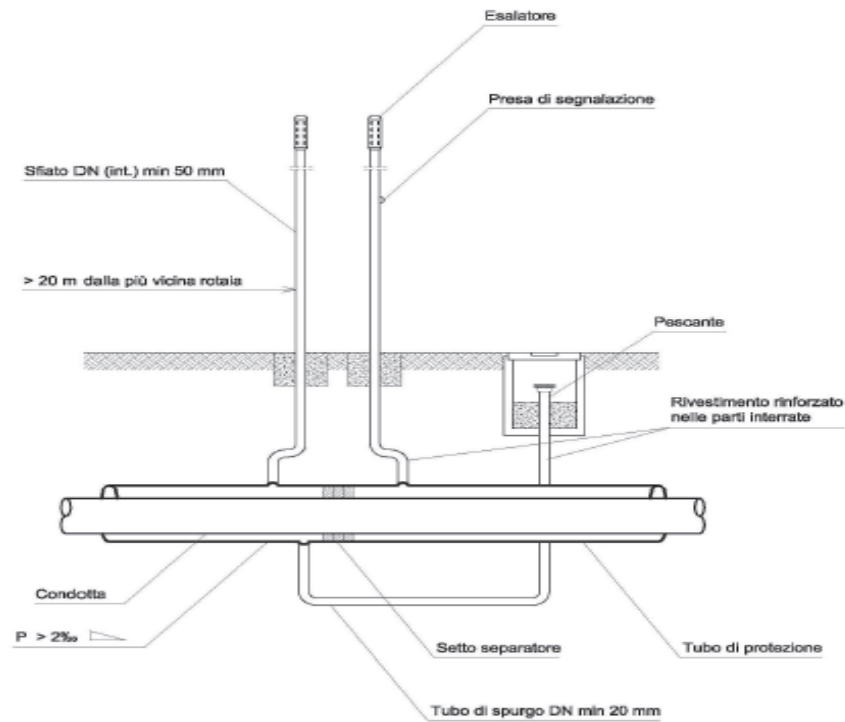


Figura 3.1: Dettaglio delle tubazioni di gas leggero
(caso delle condotte convoglianti liquidi e gas)

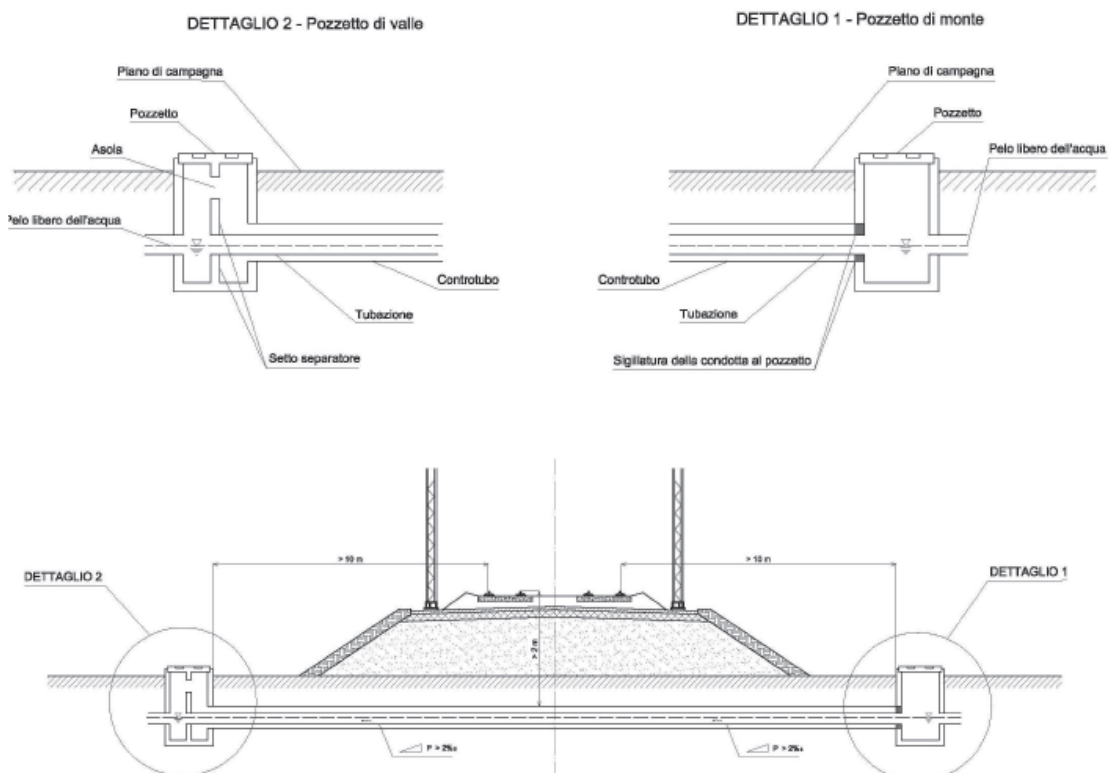


Figura 3.2: Dettaglio delle condotte con tubo di protezione
(caso delle condotte o canali convoglianti acque a pelo libero)

3.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

3.3.1 LINEE GUIDA DELLA REGIONE ABRUZZO

Il Dipartimento di Infrastrutture, Trasporti, Mobilità reti e logistica di Pescara, nella Regione Abruzzo, ha pubblicato in data 9 maggio 2017 un documento contenente alcune linee guida inerenti la procedura amministrativa per il rilascio di autorizzazioni e nulla osta ai sensi del titolo III del DPR n°753 dell'11 luglio del 1980 (articoli n°49-52-58-60).

Inoltre, si ritiene che tale approvazione delle linee guida è necessaria per dare attuazione al decreto del 5 agosto del 2016 e al tempo stesso definiscono a tutti gli effetti di legge la nuova procedura per il rilascio del nulla osta tecnico per la sicurezza ferroviaria (ferrovie ex concesse interconnesse) in sostituzione alla vecchia procedura rilasciata ai sensi degli articoli 58 e 60 del DPR 753/80 dall'ufficio USTIF (Ufficio Speciale Trasporti Impianti Fissi della Direzione Generale Territoriale del Centro competente territorialmente).

L'oggetto della procedura amministrativa riguarda la valutazione di deroghe sulle distanze legali previste dall'articolo 49 per costruire, ricostruire e ampliare edifici o manufatti entro la fascia di rispetto delle linee ed infrastrutture di trasporto e dall'articolo 58 per la costruzione di strade, canali, condotte d'acqua, elettrodotti, gasdotti, oleodotti o qualunque altra opera di pubblica utilità che debba attraversare impianti ferroviari o svolgersi ad una distanza che possa creare interferenze, soggezioni o limitazioni all'esercizio ferroviario. Il rilascio del parere preventivo resta di esclusiva competenza del Direttore di Esercizio della società esercente il servizio ferroviario della ferrovia regionale interconnessa.

La domanda di autorizzazione, per soddisfare quanto esplicitato nell'articolo 58 del DPR 753/80, deve essere valutata con attenzione ed eventualmente approvata dalla Direzione di Esercizio; invece, i casi in deroga vengono gestiti dal tavolo tecnico permanente disciplinato, come già visto nel paragrafo precedente, dall'articolo 3 del decreto del 4 aprile 2014.

In questa domanda dovranno essere contenute le seguenti informazioni:

- dati completi della Ditta o Ente richiedente;
- indicazione della tipologia di opera da realizzare;
- indicazione del tronco ferroviario e della progressiva chilometrica ferroviaria ove ricade l'opera;
- elaborati tecnici, composti da tavole grafiche, calcoli e relazione tecnica del progetto.

Ovviamente, il progetto delle opere da realizzare dovrà essere redatto nel rispetto delle specifiche norme in materia e contenere tutti gli elementi atti ad una valutazione dell'opera da realizzare e alle interferenze procurate all'infrastruttura ferroviaria sia per l'esecuzione dei lavori che per la presenza sulla sede ferroviaria o in prossimità della stessa delle nuove opere di attraversamento e parallelismo.

Infine, solo dopo l'approvazione dell'istanza da parte della Direzione di Esercizio, si può procedere con l'acquisizione del nulla osta per l'esecuzione dei lavori.

3.3.2 DISPOSIZIONI DI RFI (C.O. n°344 del 7 marzo 2017)

Il Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane ha introdotto un processo per il rilascio dell'autorizzazione, realizzazione, gestione e dismissione degli attraversamenti e parallelismi dell'infrastruttura ferroviaria con condotte, cavalcavia, sottovia, linee elettriche e di telecomunicazione.

Gli obiettivi di questa procedura mirano a:

- 1) ridurre i tempi del processo di autorizzazione;
- 2) definire una procedura che valga per tutte le fasi di vita utile dell'interferenza;
- 3) considerare le nuove normative con i relativi strumenti consentiti dall'attuale legislazione;
- 4) utilizzare nuove modalità realizzative a seguito dell'evoluzione tecnologica.

L'applicazione di tale procedura non è prevista per le interferenze facenti parte di un progetto più ampio o per le autorizzazioni in deroga al DPR 753/80.

Particolarmente interessante risulta il secondo obiettivo, che concerne le fasi di gestione delle opere durante la vita utile delle stesse; in questo processo vengono presi in considerazione gli interventi di manutenzione, gli eventuali spostamenti e modifiche effettuate all'interferenza, l'analisi degli adempimenti precedenti la scadenza della convenzione contrattuale e la dismissione dell'interferenza.

Ovviamente, risulta essere particolarmente rilevante la modalità di gestione delle emergenze.

Le emergenze possono essere definite come condizioni straordinarie di criticità, che si manifestano a seguito di un evento non pianificabile, che determina una situazione potenzialmente pericolosa per l'esercizio ferroviario o per la pubblica incolumità e che richiede interventi straordinari ed urgenti per essere gestita e riportata alla normalità. Ovviamente, senza un potenziale pericolo per l'esercizio ferroviario e/o per la pubblica incolumità, non sussistono condizioni di emergenza.

L'emergenza è l'unico caso in cui vengono eseguiti lavori senza un progetto approvato.

Diversa, invece, è la procedura dedicata ai casi di urgenza; queste situazioni sono legate ad esigenze del richiedente, ma non sono legate né ad un rischio per la sicurezza dell'esercizio ferroviario né ad un rischio per la pubblica incolumità. Per questo motivo, i casi di urgenza vengono generalmente respinti.

Un caso particolare è rappresentato dalle interferenze interessate da progetti di soppressione PL (passaggi a livello): in questa categoria rientra la realizzazione dei manufatti, come cavalcavia e sottovia, necessari per la soppressione dei passaggi a livello e la realizzazione, spostamento e modifica di interferenze conseguenti alla realizzazione degli stessi manufatti.

3.4 CARATTERIZZAZIONE ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI

Si procede ora con la caratterizzazione delle varie tipologie di attraversamenti e parallelismi e per ciascuna di essa si cercano di individuare le caratteristiche principali in termini di parametri specifici e proprietà di rilievo.

Tipicamente queste interferenze possono essere classificate in due famiglie:

- ❖ **INTERFERENZE DI TIPO 1**, in cui ricadono cavi elettrici, di telecomunicazione (in rame, fibre ottiche o simili), condotte idriche (non in pressione e in pressione “p” con p di esercizio ≤ 12 bar), condotte per il gas (con p di esercizio ≤ 6 bar, che non comportino deroghe ai sensi del DM del 4 aprile 2014), senza soggezioni per l’esercizio ferroviario e secondo le seguenti limitazioni:
 - ***attraversamenti interrati realizzati con tecnologia teleguidata***, posti a profondità ≥ 3 m misurata a partire dalla quota del piano del ferro e diametro massimo del tubo di protezione $\varnothing \leq 500$ mm;
 - ***attraversamenti inferiori*** posti al disopra della platea di fondazione o a quota superiore a quella di posa delle fondazioni di un manufatto con diametro massimo del tubo di protezione $\varnothing \leq 500$ mm;
 - ***attraversamenti superiori*** non in pressione e con diametro ≤ 800 mm posti all’interno del parapetto dell’opera d’arte di proprietà di Terzi;
 - ***parallelismi con condotte idriche/fognarie*** a pelo libero o in pressione con p ≤ 12 bar e diametro ≤ 800 mm posti ad una distanza $6\text{ m} \leq d \leq 10\text{ m}$ dalla più vicina rotaia.

Il rilascio dell’autorizzazione per queste opere è subordinato all’esito positivo della verifica, da parte dell’Unità Territoriale di giurisdizione, della rispondenza del progetto allo stato dei luoghi, in fase di sopralluogo congiunto con il Richiedente ed il Progettista, prima dell’inizio dei lavori.

- ❖ **INTERFERENZE DI TIPO 2**, più complesse rispetto a quelle di tipo 1 e per questo motivo richiedono un’analisi più attenta ed accurata da parte degli organi competenti.

Nella presente categoria ricadono le seguenti opere, riportate con i relativi elaborati contenenti i principali parametri da allegare con la richiesta di interferenza da sottoporre a giudizio:

- *CONDOTTE E CANALI CONVOGLIANTI LIQUIDI E GAS*

Elaborati progettuali	Contenuti specifici
RELAZIONE TECNICA GENERALE (redatta secondo le Norme Tecniche di cui all'Allegato A del DM del 4 aprile 2014, nel rispetto delle disposizioni del DPR 753/80)	- progressiva chilometrica; - riferimenti territoriali (Comune, frazione, località, via, linea ferroviaria) - coordinate geografiche dell'interferenza; - tipologia dell'interferenza (interrato, superiore, inferiore); - caratteristiche tecniche del tubo e dell'eventuale controtubo ed in particolare: ➤ i materiali impiegati; ➤ diametro nominale; ➤ diametro esterno; ➤ spessore del tubo (per le tubazioni in acciaio calcolo dello spessore con la formula del DM 137/2014); ➤ spessore del controtubo (verifica statica per DN>500 mm per attraversamenti interrati); ➤ grado di resistenza del tubo; ➤ carico di snervamento dell'acciaio; ➤ pressione massima di esercizio comprensiva del colpo d'ariete; ➤ pendenza; ➤ descrizione delle opere connesse all'interferenza previste dal DM 137/2014; - modalità di esecuzione dell'interferenza (spingitubo/scavo a cielo aperto); - fasi di realizzazione; - tempistica di realizzazione; - caratteristiche delle eventuali opere provvisorie; - protezione catodica (se prevista); - smaltimento delle acque di superficie.
DOCUMENTAZIONE (con le caratteristiche dell'eventuale impianto di drenaggio elettrico previsto dal Richiedente)	
ELABORATI GRAFICI (prodotti in scala adeguata)	- Bonifica Ordigni Bellici; - piano della manutenzione dell'interferenza; - piano della dismissione dell'interferenza; - piano dello spostamento dell'interferenza; - corografia generale; - la planimetria generale in scala 1:1000 (minima) dell'area interessata dall'interferenza con indicate le distanze dal confine della proprietà della ferrovia; - la planimetria di dettaglio in scala 1:200 (minima) dell'area interessata dall'interferenza, con indicate le distanze dal confine della proprietà della ferrovia, dalla più vicina rotaia e dalle infrastrutture ferroviarie (dispositivi TE, IS, ecc) e la progressiva chilometrica; - profilo longitudinale in scala 1:100 (minima) lungo l'asse della condotta e sezione trasversale con indicazione dei servizi esistenti, quotati rispetto al piano del ferro ed alle infrastrutture ferroviarie (dispositivi TE, IS, ecc...); - eventuali particolari costruttivi (pozzetti, sfiati ecc...) quotati rispetto al piano del ferro e al confine della proprietà della ferrovia; - stralcio di planimetria catastale in cui ricade l'interferenza per verificare la proprietà della ferrovia, che in particolare dovrà riportare: ❖ Indicazione del Comune di riferimento; ❖ Estremi catastali dell'area interessata; ❖ Nome della via in prossimità di un PL; - eventuali dettagli idraulici quotati rispetto al piano del ferro e al confine della proprietà della ferrovia; - documentazione fotografica sullo stato di fatto con indicazione sulla planimetria, dei punti di scatto; - cronoprogramma dei lavori costruito in relazione alle modalità di esecuzione dell'interferenza (diagramma di GANTT); - relazione giustificativa, nel caso di richiesta di deroga (punto 9 - Allegato A del DM n. 137 del 04/04/2014), ove venga evidenziata, nel dettaglio, l'impossibilità di rispettare per particolari motivi tecnici, le disposizioni tecniche di cui al citato DM. In tal caso i soggetti richiedenti devono proporre requisiti di sicurezza non inferiori a quelli ottenibili con l'applicazione delle Norme Tecniche previste dall'Allegato A al DM.; - per i parallelismi che interferiscono con la proprietà della ferrovia e di terzi è necessario evidenziare le sezioni dei punti di passaggio indicando: - la distanza dalla più vicina rotaia nonché dal confine della proprietà della ferrovia;

	- il punto di passaggio relativo al DM n. 137 del 4/04/2014 (Punto 4.2.1.) e/o DPR 753/80 (Titolo III).
DOCUMENTAZIONE INTEGRATIVA (per gli attraversamenti con acquedotti in pressione)	- portata e pressione di esercizio; - calcolo della massima sovrappressione per il colpo d'ariete; - profilo idraulico (altimetrico e piezometrico) di tutto l'acquedotto; - profilo piezometrico della condotta. In caso di rottura in corrispondenza dell'interferenza ferroviaria; - calcolo della portata della condotta in caso di rottura sezione piena in corrispondenza dell'interferenza, considerando, eventualmente, anche il contributo di portata fornito dal tratto di condotta a valle; - verifica dello smaltimento dell'intera portata della condotta in caso di rottura, attraverso i previsti scarichi di fondo (o attraverso luci di sfioro alla sommità dei pozzetti) e tenendo conto dei livelli di massima piena del recettore finale; - verifica dei pozzetti alla spinta idrostatica nel caso di un loro eventuale riempimento fino alle luci di sfioro; - andamento planimetrico e profilo altimetrico dello scarico di fondo (o delle canalette successive alle luci di sfioro); - Benestare dell'Ente proprietario del recettore finale, allo scarico dell'eventuale portata di rottura; - piano di sicurezza (quando richiesto secondo le disposizioni di legge), con le indicazioni delle precauzioni e misure da adottare per non arrecare danno alla sede ferroviaria ed intralcio alla circolazione dei treni e completo dell'indicazione dei tempi e dei mezzi che verranno impiegati; - relazione di calcolo delle strutture interessanti la sede ferroviaria, comprendente l'analisi dei carichi, le verifiche di resistenza, di stabilità e a fatica, verifiche di deformabilità e verifiche sismiche (ove necessario), prescrizioni sui materiali, prescrizioni sulle unioni (saldature etc), prescrizioni per le visite periodiche.

Tabella 3.2: Condotte e canali convoglianti liquidi e gas- **ATTRAVERSAMENTI STRADALI E PEDONALI (CAVALCAVIA E SOTTOVIA)**

Elaborati progettuali	Contenuti specifici
RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA (contenente la descrizione dei luoghi e delle scelte progettuali con le relative motivazioni)	• progressiva chilometrica; • riferimenti territoriali (Comune, frazione, località, via, linea ferroviaria); • coordinate geografiche dell'interferenza; • un paragrafo relativo alle modifiche indotte al regime idraulico superficiale ed agli interventi previsti per il corretto smaltimento delle acque di superficie; • un paragrafo relativo alle modifiche indotte alla falda con riferimento ad eventuali conseguenze sulla stabilità della piattaforma o delle opere d'arte ferroviarie o, in alternativa, esplicita dichiarazione di assenza di alterazione del regime di falda; • un paragrafo relativo alla descrizione delle caratteristiche e delle modalità esecutive di realizzazione delle eventuali opere di sostegno provvisori tali da garantire la stabilità delle scarpate.
RILIEVO DELLO STATO DEI LUOGHI (con riferimenti territoriali (Comune, frazione, località, via, linea ferroviaria, corpo stradale ed infrastruttura ferroviaria, pozzetti e cavidotti esistenti))	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLO STATO DI FATTO (con indicazione sulla planimetria dei punti di scatto)	
RELAZIONE GEOLOGICA	
RELAZIONE GEOTECNICA E RISULTATI DELLE INDAGINI	
PIANO DI SICUREZZA (quando richiesto secondo le disposizioni di legge, con le indicazioni delle precauzioni e misure da adottare per non arrecare danno alla sede ferroviaria ed intralcio alla circolazione dei treni e completo dell'indicazione dei tempi e dei mezzi che verranno impiegati)	
PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA	
RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE INTERESSANTI LA SEDE FERROVIARIA (comprendente l'analisi dei carichi, le verifiche di resistenza, di stabilità e a fatica, verifiche di deformabilità e verifiche sismiche (ove necessario), prescrizioni sui materiali, prescrizioni sulle unioni (saldature etc), prescrizioni per le visite periodiche)	

COROGRAFIA	
PLANIMETRIA GENERALE in scala 1:1000 (minima) dell'area interessata dall'interferenza con indicate le distanze dal confine della proprietà della ferrovia	
PLANIMETRIA DI DETTAGLIO in scala 1:200 (minima) dell'area interessata dall'interferenza (con indicate le distanze dal confine della proprietà della ferrovia, dalla più vicina rotaia e dalle infrastrutture ferroviarie (dispositivi TE, IS, ecc) e la progressiva chilometrica)	
PLANIMETRIA, PROSPETTI, PIANTE, SEZIONI DELL'OPERA DA REALIZZARE (prodotti in scala adeguata e opportunamente quotati, con riferimenti (distanze e quote) al piano del ferro e al confine di proprietà della ferrovia, fabbricati, manufatti ferroviari, dispositivi TE, IS ecc.)	
BONIFICA ORDIGNI BELLICI	
CARPENTERIE, ARMATURE E PARTICOLARI COSTRUTTIVI (fondazione, elevazione, impalcato)	
EVENTUALI OPERE PROVVISORIALI E DI PROTEZIONE dalla linea di trazione elettrica	
ELABORATO DELLE FASI COSTRUTTIVE (con particolare riguardo alle interferenze con l'esercizio ferroviario; per ciascuna fase dovrà essere indicata la durata da programmare in funzione delle IPO diurne e notturne disponibili nel tratto di linea interessata dai lavori)	
PLANIMETRIA CON INDIVIDUATE AREE E RECINZIONI DI CANTIERE (nella tavola sono riportate le distanze intercorrenti tra la recinzione di cantiere, i binari e la palificazione TE esistente)	
CRONOPROGRAMMA DI TUTTI I LAVORI DA REALIZZARE (per portare a compimento la nuova opera (compreso la cantierizzazione e le opere da realizzare per il sostegno provvisorio del binario) comprendente la descrizione sintetica delle fasi di lavorazione e della tempistica di esecuzione)	
PROGETTO E RELAZIONE DI SPINTA, o di varo per i cavalcavia, del nuovo manufatto	
EVENTUALE PROGETTO E RELAZIONE DI MONTAGGIO E SMONTAGGIO del sistema di sostegno provvisorio del binario, eventualmente omologato dall'ente ferroviario, da utilizzare	
EVENTUALE CRONOPROGRAMMA DEI RALLENTAMENTI PRECAUZIONALI DA ISTITUIRE (con riportate le velocità di percorrenza e la durata del rallentamento)	
RETICOLO IDRICO E PUNTI DI RECAPITO DELLE ACQUE DI SUPERFICIE provenienti dal nuovo manufatto	
PLANIMETRIA CATASTALE (con individuate le aree di proprietà della ferrovia interessate dal nuovo manufatto e relativo computo delle superfici occupate)	
EVENTUALE PROGETTO E RELAZIONE DI DETTAGLIO (relativo al monitoraggio di binari, linee aeree, opere d'arte, gallerie, fabbricati ed altri manufatti ferroviari suscettibili di dissesto per l'uso di esplosivi o sistemi di perforazione particolarmente invasivi)	
PER I CAVALCAVIA	• rete di captazione acque meteoriche e posizione delle caditoie rispetto alla linea aerea di contatto; • posizione e caratteristiche punti di illuminazione; • progetto parapetti e "reti di protezione" in corrispondenza linea ferroviaria; • progetto barriere H4 "bordo ponte"
DOCUMENTAZIONE RELATIVA AGLI ESPROPRI (relazione, piano particellare ed elenco ditte)	

Tabella 3.3: Attraversamenti stradali e pedonali

- LINEE ELETTRICHE E DI TELECOMUNICAZIONE

Elaborati progettuali	Contenuti specifici
RELAZIONE TECNICA GENERALE	• la progressiva chilometrica ferroviaria dell'interferenza; • le caratteristiche tecniche dei materiali impiegati; • le modalità di esecuzione delle opere; • le fasi di lavoro; • le caratteristiche di eventuali opere provvisorie.
IL RILIEVO DELLO STATO DEI LUOGHI (con riferimenti territoriali (Comune, frazione, località, via ecc..) e ferroviari (linea, fabbricati, manufatti ferroviari, dispositivi TE,IS ecc...))	
COROGRAFIA, in scala 1:25.000 e in scala 1:10.000 con l'ubicazione degli impianti da realizzare	

BONIFICA ORDIGNI BELLCI	
PIANO DELLA MANUTENZIONE DELL'INTERFERENZA	
PIANO DELLA DISMISSIONE DELL'INTERFERENZA	
PIANO DELLO SPOSTAMENTO DELL'INTERFERENZA	
CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI (comprendente descrizione sintetica delle fasi di lavorazione e la loro tempistica di esecuzione)	
PLANIMETRIA (con evidenziata la posizione degli eventuali sostegni ricadenti in proprietà della ferrovia con le relative progressive chilometriche ferroviarie e identificazione dei sostegni delimitanti le campate interferite)	
ELABORATI GRAFICI (prodotti in scala adeguata e opportunamente quotati, con riferimenti (distanze e quote) al piano del ferro e al confine di proprietà della ferrovia)	• la planimetria dell'area interessata all'interferenza; • il profilo longitudinale e sezioni trasversali dell'impianto interferente con indicazione dei servizi esistenti; • particolari costruttivi.
STRALCIO DI PLANIMETRIA CATASTALE (per verificare l'interferenza delle opere con le proprietà ferroviarie)	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA dello stato di fatto (con indicazione sulla planimetria dei punti di scatto)	
PIANO DI SICUREZZA (quando richiesto secondo le disposizioni di legge, con le indicazioni delle precauzioni e misure da adottare per non arrecare danno alla sede ferroviaria ed intralcio alla circolazione dei treni e completo dell'indicazione dei tempi e dei mezzi che verranno impiegati)	
RELAZIONE DI CALCOLO delle strutture interessanti la sede ferroviaria (comprendente l'analisi dei carichi, le verifiche di resistenza, di stabilità e a fatica, verifiche di deformabilità e verifiche sismiche (ove necessario), prescrizioni sui materiali, prescrizioni sulle unioni (saldature etc), prescrizioni per le visite periodiche).	

Tabella 3.4: Linee elettriche e di telecomunicazione

3.5 BANCA DATI

Anche in questo contesto, si cerca di far utilizzo di banche dati già disponibili sui siti Internet dei principali enti ferroviari, che riportano le informazioni utili da reperire e da registrare per un determinato attraversamento o parallelismo che ha interfaccia con la linea ferroviaria.

Molte delle informazioni di dettaglio sono già state riportate nel precedente paragrafo dedicato alla caratterizzazione di attraversamenti e parallelismi, in merito alla documentazione di riferimento da presentare per l'approvazione e l'autorizzazione di un progetto specifico inerente queste tipologie di interferenze.

Si possono citare, inoltre, alcuni esempi di progetto di queste opere sui siti di FERSERVIZI e di ITALFER del Gruppo delle Ferrovie dello Stato Italiane, all'interno dei quali è possibile reperire le schede dei sottoservizi situati al di sotto di un tratto di linea ferroviaria gestito da RFI.

In particolare, i progetti presi in considerazione hanno lo scopo di individuare l'esatta posizione, nonché le caratteristiche intrinseche ed estrinseche di qualsiasi condotta, interferente con le opere ferroviarie in progetto.

Sulla base di esperienze derivanti da lavori svolti in passato, si presume che gli Enti erogatori di servizi porranno l'assoluta necessità di non interrompere il servizio stesso, se non per periodi di tempo molto limitati e preventivamente concordati. Quindi, per ottemperare a queste reciproche esigenze, è di assoluta importanza il coordinamento delle attività che dovrà svolgere l'appaltatore, fissando, già durante la progettazione esecutiva, le modalità di intervento, contemperando le necessità dei vari soggetti, anche nei casi in cui sia necessario operare contemporaneamente sui servizi di diversi gestori. Al tempo stesso, già in fase di valutazione dei costi, è necessario considerare l'esecuzione di deviazioni provvisorie prima della collocazione definitiva, proprio con lo scopo di garantire l'erogazione dei servizi senza interruzione.

Di seguito viene riportato un esempio di elaborato per il censimento di un sottoservizio, tratto dall'archivio di Ferservizi, con le relative informazioni di rilievo da riportare, riguardante un tratto di linea ferroviaria in prossimità della stazione ferroviaria di Milano Lambrate.

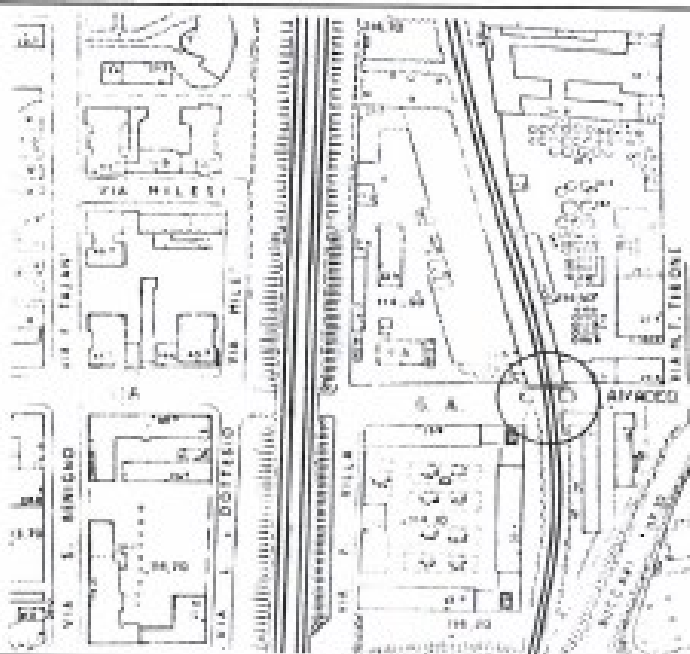
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
Check list	NM02 00 F 43 SH SI0000 018 A
SCHEDA CENSIMENTO SOTTOSERVIZI	
Ente gestore:	A.E.M. - Azienda Elettrica Municipale di Milano
Tipologia:	Elettrica
Tipo (interrato, interrato, scoperto):	Interrato
Pk km / ubicazione:	Via Amadeo
Dati Convezioni esistenti:	C_III_21_136
Convezioni intermedia/atte si subingressa:	
Caratteristiche tecniche:	Attraversamento di condotta elettrica mediante n. 2 tubazioni metalliche di diametro 5 " posta a profondità di 1,50 m dal piano del ferro.
Note:	
Strada planimetria allegata alla convenzione esistente:	

Figura 3.1: Esempio scheda censimento sottoservizi – RFI

3.6 INCIDENTI FERROVIARI

In questo contesto specifico si riportano tre eventi significativi avvenuti in passato legati a queste interferenze esterne con la linea ferroviaria.

1. Prima di tutto si ricorda il cedimento di un sottovia stradale avvenuto il 12 agosto 2017 in Germania vicino a Rastatt (tra Francoforte e la svizzera Basilea), che ha interessato un tratto della linea ferroviaria tedesca, molto utilizzata anche per il trasporto delle merci sull'asse Alptransit, che collega Genova a Rotterdam. In pratica, l'area ferroviaria costituita da una superficie di oltre 400 metri quadri che ospitava i binari è sprofondata a causa della costruzione di un tunnel stradale sotterraneo. La causa di questo crollo probabilmente è connesso a errori progettuali o di cantiere; si è verificato un abbassamento dei binari in entrambe le direzioni, insomma una condizione di impraticabilità della linea che ha portato all'interruzione totale della circolazione ferroviaria.

Il gestore tedesco dell'infrastruttura ferroviaria, DB Netze, ha dichiarato la chiusura del corridoio del Reno-Alpino per almeno 10 giorni in modo tale da eseguire gli adeguati accertamenti da parte delle autorità locali.

Successivamente, sono iniziati i lavori di riparazione, che sono stati prolungati fino allo scorso 7 ottobre 2017, recando molti danni al trasporto delle merci durante questo arco temporale, specie nel periodo successivo all'estate con la riapertura delle fabbriche e la ripresa delle attività industriali.

Questo corridoio merci, infatti, è servito da diverse compagnie ferroviarie in regime di concorrenza, che hanno dovuto fare i conti con l'imprevisto; molte compagnie, tra cui la GTS italiana, hanno deciso di interrompere i servizi intermodali a causa dell'inconveniente, mentre altre agenzie hanno semplicemente deciso di deviare i loro treni su altre linee, continuando a garantire la percorrenza dei convogli.

Si riporta di seguito una fotografia, reperita da un articolo de "La Stampa", che riproduce il danno che i binari hanno subito nel tratto interessato.



Figura 3.2: Cedimento sottovia stradale in Germania

2. Un altro evento significativo per la presente trattazione è l'incidente avvenuto il 6 luglio 2017 a Cuggiogo, nel Comasco. Un'auto ha sbandato, sfondando il guardrail posizionato lungo un viadotto che sovrasta la ferrovia ed è caduta sui binari. La vettura è stata, successivamente, investita da un treno merci che sopraggiungeva, pieno di

liquidi infiammabili. Fortunatamente i cinque occupanti sono riusciti a portarsi in salvo, uscendo dall'abitacolo, anche se con alcune contusioni e fratture.

Dopo l'impatto con il convoglio, l'automobile è stata scaraventata alcuni metri più avanti ed è stata rimossa dai binari grazie all'intervento dei vigili del fuoco.

La circolazione dei treni è stata ripristinata già durante la notte.



Figura 3.3: Caduta auto da cavalcavia sovrastante la ferrovia a Cuggiogo

3. Un terzo esempio di incidente legato ad attraversamenti e parallelismi è avvenuto in Stiria (Austria), dove è crollato improvvisamente un viadotto stradale in costruzione sulla ferrovia sottostante. La campata crollata era stata ultimata soltanto 10 giorni prima dell'episodio.

Il crollo, per buona sorte, è avvenuto un sabato sera quando il cantiere era deserto, ma il rischio è comunque stato enorme, dal momento che è stata interessata un tratto di linea ferroviaria molto frequentato, percorso da oltre 100 treni ogni giorno, l'ultimo dei quali era transitato soltanto pochi minuti prima del crollo. L'incidente non ha provocato vittime, ma ha causato danni alla circolazione stradale e ferroviaria, perché ha costretto le Ferrovie austriache öbb a sospendere il traffico sulla linea che passa sotto il viadotto e a istituire autobus sostitutivi.



Figura 3.4: Crollo ponte stradale su ferrovia in Austria

CAPITOLO 4 – DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA DI ANALISI PER ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI

Nel presente capitolo si illustrano sia i diversi step pratici effettuati, sia gli strumenti impiegati per l'analisi delle interferenze esterne alla linea ferroviaria, intese come attraversamenti e parallelismi. Dal punto di vista metodologico, il processo di valutazione viene condotto secondo le seguenti quattro fasi:

- 1) Fase preliminare, consistente nella raccolta di dati e di informazioni.

In primo luogo, si è presa in considerazione la **caratterizzazione del territorio** attraversato dalla linea ferroviaria, analizzando le possibili criticità presenti dal punto di vista geologico (presenza di versanti montuosi a ridosso della ferrovia, con possibile innesco di frane e smottamenti), idrologico (presenza di corsi d'acqua nelle vicinanze dell'infrastruttura con possibile allagamenti ed inondazioni in caso di eventi di piena) e sismico (caratterizzazione del territorio, in accordo con la classificazione sismica introdotta nel capitolo 2); tali elementi possono, infatti, impattare sulla probabilità di rottura di tubazioni e, quindi, sulle interferenze di parallelismi e attraversamenti ferroviari.

- 2) Fase di individuazione dei pericoli.

Come secondo passo si sono individuate, quindi, per ogni categoria di attraversamenti e parallelismi enunciati nel capitolo 3, le condizioni di impatto sulla sicurezza della circolazione ferroviaria, individuandone cause e conseguenze. Per questa fase spesso si ricorre alla compilazione della seguente tabella HAZID (Hazard Identification), di cui si riporta traccia:

TABELLA HAZARD IDENTIFICATION (HAZID)								
ID	SOTTOPROCESSO O FUNZIONE	DEVIAZIONE	CAUSE	MISURE PREVENTIVE	MISURE MITIGATIVE	CONSEGUENZE SU ATTR/PAR	CONSEGUENZE SU FERROVIA	REQUISITI

- 3) Fase di analisi dei rischi individuati, attraverso l'analisi quantitativa del rischio e l'identificazione delle opportune misure mitigative e preventive da pianificare e programmare, al fine di ricadere in una condizione di rischio "accettabile".

Questo processo viene effettuato tramite l'utilizzo di fault tree analysis e event tree analysis e mediante la progettazione di **matrici di rischio** (Risk Matrix), che mettono in relazione le frequenze di accadimento associate ai Top Event considerati nell'albero dei guasti con i danni nei confronti della circolazione ferroviaria. Conseguentemente, in base ai risultati riscontrabili dalla matrice di rischio, è possibile capire in quali condizioni il rischio è trascurabile, accettabile o non accettabile.

- 4) Infine, si è implementato uno **strumento pratico** per la gestione delle criticità rilevate, in modo tale da eliminare o ridurre il più possibile i rischi e gli impatti nei confronti della circolazione ferroviaria.

I citati quattro punti sono stati applicati nei capitoli 5 e 6 per le principali categorie di attraversamenti e parallelismi, in riferimento al tracciato della Rete Canavesana di GTT.

4.1 INTRODUZIONE ALLA METODOLOGIA DI ANALISI

Attualmente, per affrontare l'analisi dei rischi di un sistema, sono disponibili diverse tecniche qualitative e quantitative, utili sia in fase di progettazione che durante i diversi stadi di vita utile di un determinato complesso, oggetto di indagine.

In particolare, le **procedure quantitative** hanno avuto un forte impulso soprattutto nelle analisi predittive, che mirano alla previsione, su base probabilistica, dei fenomeni; invece, le **analisi di tipo qualitativo** sono particolarmente adatte ad analizzare contesti applicativi.

Nella pratica comune tali tecniche sono normalmente combinate insieme, al fine di costruire un quadro delle informazioni completo.

L'insieme delle tecniche qualitative viene detto, con terminologia anglosassone, “Hazard Evaluation Procedures” e rappresenta l'insieme degli esami che possono essere condotti su un sistema o impianto per studiare le combinazioni rischiose di processi in un assegnato ambiente operativo.

Lo scopo principale di questa applicazione è quello di identificare i possibili incidenti e stimare la loro frequenza. Per completezza, si precisa che con il termine “incidente” si intende la sequenza di eventi imprevisti che conducono, mediante un meccanismo di concatenazione, al verificarsi di un evento indesiderato.

Il primo evento della sequenza viene detto “Top Event” e costituisce l'evento iniziale dal quale potrebbe scaturire una potenziale pericolosità. Quindi, in questa maniera è possibile intervenire più agevolmente sul sistema, andando a ridurre la possibilità che si possano verificare eventi imprevisti. Tuttavia, le conseguenze di un evento iniziale possono essere ridotte ricorrendo ad analisi quantitative condotte sui singoli componenti del sistema.

Gli eventi successivi a quello iniziatore sono definiti gli “eventi intermedi” fino ad arrivare agli “eventi base”, che non sono ulteriormente scomponibili.

Tipicamente, gli eventi si classificano in due diverse categorie:

- eventi propagativi, che portano alla diffusione dell'incidente nel sistema;
- eventi migliorativi, quando intervengono sistemi e dispositivi speciali, atti a ridurre e minimizzare la magnitudo degli effetti, provocati dalla sequenza di eventi scatenatisi in seguito ad un certo Top Event.

Dall'identificazione degli elementi caratteristici, ossia le cause prime di un incidente, è possibile risalire alle variabili sulle quali è necessario agire, per ridurre la probabilità di verifica degli eventi pericolosi.

Si comprende in questa maniera come sia possibile intervenire durante le fasi di progetto del sistema, per evitare che si manifestino queste problematiche.

In particolare, nel caso degli attraversamenti e parallelismi, si potrebbe pensare che il verificarsi di eventi indesiderati, con determinate conseguenze, sia dovuto prevalentemente a quattro motivazioni:

- non regolamentazione delle strutture;
- esecuzione e controlli da parte di un personale non formato e non competente;

- inesistenza di verifiche a seguito dei lavori di realizzazione;
- strumenti tecnologici disponibili non pienamente efficaci.

Infine, nel caso in cui durante la vita operativa dell'impianto intervengano alcune modifiche sostanziali, apportate dall'esterno, è necessario pianificare l'effettuazione di tali cambiamenti, in modo che questi risultino idonei dal punto di vista affidabilistico.

4.2 METODOLOGIA DI ANALISI

Occupiamoci ora della metodologia di analisi, impiegata per esaminare le interferenze esterne generate da attraversamenti e parallelismi, relativamente alla circolazione ferroviaria.

Innanzitutto, è necessario precisare che, per ogni tipologia di attraversamento e parallelismo, in accordo con la caratterizzazione riportata nel capitolo 3, ci si pongono tre obiettivi fondamentali:

- identificare i rischi associati alle diverse tipologie di attraversamenti e parallelismi;
- associare un livello di rischio, dato dalla frequenza di accadimento e dallo scenario, che porta ad un certo livello di danno nei confronti della ferrovia e della circolazione dei convogli lungo la linea, al fine di tenere sotto controllo tutte le possibili situazioni critiche;
- definire, in base alle criticità presenti rilevate, le misure di gestione dei rischi individuati.

Pertanto, partendo dall'impatto individuato, si procede con la definizione di tutti gli eventi elementari che determinano l'evento iniziatore, facendo ricorso alla costruzione dell'albero dei guasti, come spiegato nel paragrafo successivo.

4.2.1 ANALISI DEL RISCHIO

Le tecniche di analisi dei rischi da sempre svolgono un ruolo di primaria importanza nella progettazione delle strutture e dei sistemi impiantistici, per la sicurezza delle persone e per la minimizzazione degli impatti ambientali. Come conseguenza di questo processo si ha l'individuazione di possibili economiche misure di gestione dei rischi individuati.

Pertanto, la risk analysis viene spesso impiegata non solo come strumento nelle fasi di progettazione ed esercizio di un sistema, ma anche come supporto al processo decisionale.

L'obiettivo principale che si intende perseguire consiste nell'individuazione e caratterizzazione di tutte le situazioni cui si associano conseguenze non previste e non volute.

Le conseguenze che si considerano nel caso specifico sono gli impatti che attraversamenti e parallelismi possono determinare sulla circolazione dei treni lungo la linea ferroviaria, dall'interruzione della circolazione ad **incidenti** in grado di determinare danni più o meno estesi e gravi a persone o cose.

Ovviamente, il punto di partenza da dover soddisfare risulta essere una buona progettazione dell'impianto, cercando di capire quanto questo possa essere ritenuto sicuro durante le fasi di

impiego ed esercizio. Occorre, in altre parole, raggiungere livelli di sicurezza adeguati attraverso attività di **safety management**, durante le quali il progettista o chiunque sia chiamato ad intervenire sullo svolgimento dell'attività lavorativa, abbia tenuto nel debito conto le problematiche in materia di sicurezza.

Queste condizioni di sicurezza devono essere trattate per i singoli componenti costituenti l'impianto, andando a considerare non solo le condizioni operative normali del sistema, ma prevedendo anche eventi anomali di funzionamento che, per loro caratteristica, inducono a muoversi nel campo dell'incerto, ossia in campo probabilistico.

Le fasi attraverso cui si articola l'analisi del rischio sono le seguenti:

- individuazione degli eventi pericolosi;
- valutazione delle probabilità attribuibili agli eventi;
- valutazione delle conseguenze degli eventi accidentali;
- individuazione della funzione rischio;
- confronto con i criteri di accettabilità prestabiliti;
- processo decisionale: definizione delle misure di prevenzione e protezione, con pianificazione degli eventuali interventi da effettuare per il ripristino delle condizioni ordinarie.

In questo paragrafo, ci si pone come obiettivo l'analisi del rischio nei confronti dell'ambiente circostante, in seguito alla verifica di un evento di guasto. Nel nostro caso, si prenderanno in considerazione le conseguenze indotte dal Top Event individuato nell'albero dei guasti nei confronti del sistema ferroviario e delle persone che lavorano in questo settore o che usufruiscono di questo servizio su rotaia per effettuare spostamenti a breve o lunga percorrenza.

L'individuazione della sorgente è correlata con l'analisi degli eventi incidentali; attraverso lo studio della magnitudo del danno e di alcune informazioni specifiche è possibile realizzare opportuni modelli di grande aiuto nella quantificazione dei fenomeni.

Sulla base delle informazioni acquisite e mediante il ricorso all'analisi dell'albero degli eventi, è possibile individuare gli scenari possibili, risalendo all'entità delle conseguenze e alla valutazione dei danni in termini tecnici ed economici.

L'ultima fase della risk analysis, alquanto delicata da compiere, è rappresentata dalla valutazione dell'**accettabilità del rischio**, sulla base dei risultati ottenuti e della definizione di rischio che viene adottata in ambito nazionale. Ad esempio, in Italia la normativa prevede che l'Azienda autonoma definisca gli standard di sicurezza, pur rispettando prescrizioni specifiche.

Per definire i criteri di accettabilità dei rischi, si possono utilizzare diverse metodologie.

La tecnica più comune consiste nella costruzione della **matrice di rischio**, all'interno della quale vengono posizionati gli eventi, consentendo così una visualizzazione grafica semplice della loro portata in termini di probabilità di accadimento e di magnitudo delle conseguenze associate.

Si tratta, quindi, di uno strumento molto utilizzato per quantificare il rischio residuo e stabilire una priorità degli interventi da organizzare per limitare il rischio.

Solitamente, sia le frequenze che le conseguenze sono suddivise in diverse classi, ad ognuna delle quali si associa un indice numerico, corrispondenti ai criteri e definizioni, riportati nelle scale di riferimento di seguito riportate.

- *LIVELLI DI PROBABILITA' O FREQUENZA*

F	Definizione e intervalli di probabilità/frequenza	
1	Inverosimile	Estremamente improbabile che accada. Si può assumere che la situazione pericolosa possa non verificarsi.
2	Improbabile	Improbabile che accada ma possibile. Si può assumere che la situazione pericolosa possa presentarsi eccezionalmente.
3	Remoto	Probabile che accada qualche volta nella vita del sistema. Ci si può ragionevolmente aspettare che la situazione pericolosa si presenti.
4	Occasionale	Probabile che accada parecchie volte. Ci si può aspettare che la situazione pericolosa si presenti parecchie volte.
5	Probabile	Accadrà parecchie volte. Ci si può aspettare che la situazione pericolosa si presenti spesso.
6	Frequente	Probabile che accada frequentemente. La situazione pericolosa si presenterà continuamente.

Tabella 4.1: *Scala di probabilità/frequenza*

- *LIVELLI DI GRAVITA' DEL DANNO O CONSEGUENZE*

D	Descrizione del danno/conseguenza	
1	Insignificante	Danno leggero al sistema.
2	Marginale	Ferimento leggero di una o più persone e/o un'importante minaccia per l'ambiente e un danno grave a uno o più sistemi.
3	Critico	Lesione grave di una persona e/o importante danno all'ambiente e/o perdita di un sistema principale.
4	Catastrofico	Morte di una o più persone, ferimento grave di più di una persona o danni ingenti all'ambiente.

Tabella 4.2: *Scala del danno*

A partire dalle due scale di probabilità/frequenza di accadimento e gravità del possibile danno associata ad un determinato evento, si procede con il calcolo dell'entità del rischio, determinato come prodotto tra i due medesimi fattori:

$$R = P \cdot D$$

Pertanto, si evince che il rischio è tanto più grande, quanto più è probabile che accada l'incidente e quanto maggiore è la magnitudo del danno.

Dalla combinazione dei valori attribuiti alle due variabili probabilità e gravità del danno, è possibile leggere all'interno delle celle della matrice l'entità del rischio, numericamente definito con una scala crescente dal valore 1 al valore 24, come rappresentato di seguito.

MATRICE DI RISCHIO		Conseguenze			
		Insignificanti (1)	Marginali (2)	Critiche (3)	Catastrofiche (4)
Frequenze	Frequente (6)	6	12	18	24
	Probabile (5)	5	10	15	20
	Occasionale (4)	4	8	12	16
	Remoto (3)	3	6	9	12
	Improbabile (2)	2	4	6	8
	Inverosimile (1)	1	2	3	4

Tabella 4.3: Matrice di rischio adottata

Dalla precedente tabella si possono individuare tre situazioni differenti, in base al colore associato alle diverse celle:

- cella verde corrisponde ad eventi trascurabili, che non richiedono alcun intervento. In particolare i sistemi presenti e le modalità di gestione garantiscono già un controllo adeguato dei rischi;
- cella gialla corrisponde ad eventi tollerabili, che, però, richiedono interventi migliorativi. Si necessitano, quindi, di controlli adeguati e si ritiene che siano state adottate tutte le misure e le cautele suggerite dalla tecnica e dalla pratica, atte ad evitare sinistri;
- cella rossa corrisponde ad eventi non accettabili e, in questo specifico caso, risulta obbligatorio la definizione di modifiche del sistema o misure per l'eliminazione dei rischi.

In questo modo, si riesce a capire se tale condizione di rischio è irrisoria/trascurabile, accettabile o inaccettabile e, al tempo stesso, si comprende se è necessario organizzare interventi specifici, tramite il ricorso di strumenti opportuni.

Vediamo, infine, come interpretare i livelli di rischio che sono stati definiti all'interno della matrice.

Valore	Rischio	Tipo di intervento	Definizione di intervento
$R > 8$	Inaccettabile	Immediato	Azioni correttive indilazionabili da attuare subito.
$4 \leq R \leq 8$	Alto	Breve termine	Azioni correttive necessarie da programmare e attuare con urgenza.
$2 < R < 4$	Medio	Medio termine	Azioni correttive e/o migliorative da programmare e attuare nel medio termine.
$1 < R \leq 2$	Basso	Lungo termine	Azioni migliorative da valutare in fase di programmazione e da attuare nel lungo termine.
$R \leq 1$	Accettabile	Rischio trascurabile (Non è necessaria la definizione di interventi).	

Tabella 4.4: Livelli di rischio (rif. a matrice di rischio della tabella 4.3)

Si intuisce dalla precedente tabella come organizzare le priorità di intervento: laddove il rischio quantificato è superiore a 8, si è nella condizione di criticità assoluta ed è necessario intervenire subito, se il rischio è compreso tra 2 e 8, in generale è necessario intervenire abbastanza in fretta al fine di ripristinare a breve o medio termine le condizioni ordinarie operative, mentre nel caso

in cui il rischio è inferiore a 2, si può eventualmente valutare la possibilità di introdurre azioni finalizzate al miglioramento della condizione a lungo termine, senza quindi avere rischi imminenti sul sistema in analisi e sugli individui.

Si riporta di seguito un focus relativo alle principali fasi dell'analisi dei rischi sviluppata.

4.2.2 ALBERO DEI GUASTI (FAULT TREE ANALYSIS – FTA)

La “Fault Tree Analysis” è una metodologia, utilizzata nello studio dei sistemi, che consente di evidenziare in modo quantitativo i rapporti esistenti tra le differenti tipologie di eventi individuati.

Sulla base degli eventi pericolosi individuati, si definisce il “Top Event” (in italiano “Evento iniziatore”), il cui accadimento si deve scongiurare e, successivamente, si procede, tramite un approccio top-down, all'identificazione degli eventi intermedi e di base associati.

Usando tale tecnica, è possibile intervenire con gli strumenti di calcolo per individuare la soluzione dell'albero di guasto, consistente nella frequenza di accadimento del Top Event, a partire dai dati probabilistici assegnati ai singoli eventi della catena considerata.

Gli elementi fondamentali per la costruzione dell'albero dei guasti sono da un lato le **porte logiche** e dall'altro gli **eventi**, opportunamente rappresentati in base alla loro tipologia. Nell'insieme, si viene a formare la cosiddetta **catena degli eventi**.

Le principali porte logiche, impiegate per gli alberi costruiti nel caso studio del capitolo 5, sono:

- **porta AND:** essa comporta il verificarsi dell'evento in output, esclusivamente quando si verificano tutti gli eventi in input; corrisponde, quindi, ad una operazione di moltiplicazione tra i valori relativi ai box collegati.

L'operatore AND viene indicata con la seguente simbologia grafica convenzionale: 

- **porta OR:** essa rappresenta il verificarsi dell'evento in output, quando si verifica almeno uno degli eventi in input; corrisponde, pertanto, ad una operazione di somma tra i valori relativi ai box collegati.

L'operatore OR viene indicata con la seguente simbologia grafica convenzionale: 

Gli eventi, invece, vengono suddivisi in:

- **evento BASE:** evento elementare, non ulteriormente scomposto;
- **evento INTERMEDIO:** è successivo all'evento base e può essere di tipo propagativo, nel caso in cui determina il verificarsi di successivi eventi dannosi, o migliorativo, se determina un miglioramento generale dal punto di vista degli eventi accidentali;
- **TOP EVENT:** è l'evento da analizzare, per il quale si vogliono individuare gli eventi che ne determinano l'accadimento e la frequenza di accadimento.

Il Top Event corrisponde all'evento pericoloso individuato nell'analisi HAZID e costituisce una deviazione delle normali condizioni operative (malfunzionamento, errore umano, ecc.).

Dal punto di vista tecnico, i guasti possono essere classificati in tre diverse tipologie:

- **guasti PRIMARI:** sono quelli che si verificano in un contesto operativo normale e non possono essere imputati a cause esterne. Un esempio è dato dalla rottura di una tubazione operante in un range di pressioni normali, ossia al di sotto della soglia limite per cui la struttura è stata progettata;
- **guasti SECONDARI:** sono quelli che si verificano in un contesto operativo anomalo ed imputabili a particolari condizioni esterne. Un esempio è dato da una sovrappressione, che si manifesta nella condotta, causata da un malfunzionamento esterno;
- **guasti di COMANDO:** sono malfunzionamenti per i quali il componente opera in maniera adeguata, ma in un tempo e in uno spazio sbagliati.

Da un punto di vista operativo, la Fault Tree Analysis consiste in una serie di passi, attraverso i quali si giunge alla costruzione dell'albero dei guasti, alla definizione delle catene di eventi e all'analisi quantitativa del Top Event.

Riassumendo, le fasi operative da compiere sono:

1. individuazione del Top Event, definendo “che cosa”, “dove” e “quando” si manifesta;
2. costruzione della struttura ad albero di guasto, basata sull'individuazione di tutti i possibili eventi o fenomeni intermedi, fino ad arrivare agli eventi base, cioè alle cause prime di qualunque iter. Tale operazione si effettua collegando logicamente gli eventi, ricorrendo alle porte AND e OR;
3. una volta costruito l'albero di guasto, lo si risolve in modo analitico, moltiplicando o sommando le probabilità o frequenze di accadimento dei diversi box, a seconda che si incontrino rispettivamente porte AND e porte OR, arrivando così al risultato finale di interesse, dato dal calcolo della frequenza di accadimento del Top Event.
Per la soluzione dell'albero si può procedere attraverso l'**analisi dei minimal cut sets**, una tecnica attraverso la quale è possibile evidenziare i cammini minimi di eventi base necessari e sufficienti a causare il Top Event o evento sfavorevole.

Un passo fondamentale e talvolta complesso da eseguire consiste nella valutazione delle probabilità e frequenze di accadimento dei singoli box, che compaiono all'interno dell'albero dei guasti.

Per ottenere tali parametri, è necessario riferirsi alle banche dati disponibili, agli esiti di monitoraggi, all'analisi di dati storici rispetto ad eventi verificatisi, che trattano in merito al problema esaminato.

Ovviamente, è importante precisare che al fine dell'utilizzo dei dati è necessaria una verifica della confrontabilità dei sistemi di riferimento con quello in esame; pertanto, l'utilizzo di statistiche relative a sistemi del tutto generici e dei quali non sia stata attentamente valutata l'attinenza con il caso corrente, può condurre a sovrastime o a sottostime, anche di alcuni ordini di grandezza, delle probabilità che si vogliono valutare.

Per alcuni eventi, come, ad esempio, quelli legati alla probabilità di errore umano, si possono definire molteplici valori differenti, in considerazione del contesto operativo oggetto della valutazione.

4.2.3 CAUSE COMUNI DI GUASTO

In riferimento alla costruzione dei singoli elementi dell'albero dei guasti, le **cause comuni di guasto**, definite nel mondo anglosassone come Common Cause Failures (CCF), rappresentano eventi, talvolta comuni a più componenti presenti in un sistema, in grado di indurre guasti. Tra le principali cause si ricordano:

- problematiche funzionali, legate ad uno o più componenti del sistema;
- eventi esterni;
- difetti presenti in una fornitura;
- fattori operativi, come cicli di fatica, alte temperature e forti pressioni.

4.2.4 ALBERO DEGLI EVENTI (EVENT TREE ANALYSIS – ETA)

L'albero degli eventi è una struttura logica in grado di descrivere, in modo diagrammatico, tutti i potenziali scenari incidentali in cui può evolvere l'evento iniziatore di riferimento.

In altre parole, partendo dal Top Event analizzato nell'albero dei guasti, si vanno a ricercare tutte le conseguenze in termini di impatto nei confronti del sistema in analisi; in particolare, il generico componente dell'albero rappresenta un possibile scenario, che si verificherebbe in corrispondenza di una particolare combinazione di eventi, che costituiscono il cammino considerato.

Si tratta, in definitiva, di uno strumento ampiamente utilizzato in una metodologia più ampia, ed oggi divenuta particolarmente rilevante, detta **analisi cause-conseguenze**.

Utilizzando questo approccio, dapprima si definisce il Top Event e l'albero dei guasti associati a questo specifico evento, ricavando le probabilità o frequenze di accadimento del Top Event e alle cause elementari che lo possono generare, come esplicitato nel paragrafo precedente. Successivamente, si costruisce l'albero degli eventi, che consente di evidenziare i possibili scenari evolutivi della condizione considerata ed associare a ciascuno di essi le probabilità di accadimento.

Più nello specifico, la procedura prevede l'individuazione degli eventi che intervengono a partire dall'evento iniziatore e ad essi viene associata una probabilità condizionata; questo significa che i differenti valori di probabilità sono valutate sapendo che ad ogni nodo dell'albero, si verifica l'evento del nodo precedente. Pertanto, la generica probabilità $p(E_i)$ è espressa come il prodotto delle probabilità degli eventi presenti sul ramo considerato.

Tale tecnica di indagine viene spesso impiegata, non solo per l'identificazione in termini di danno delle conseguenze associate ad un dato sistema, ma permette anche di valutare aspetti di natura economica che sono connessi alla riparazione del danno verificatosi.

4.3 RISULTATI ATTESI

Dall'analisi metodologica proposta per lo studio di attraversamenti e parallelismi ferroviari, si può ottenere una guida strumentale, che consente di rilevare i possibili rischi che ciascuna categoria può produrre verso la linea ferroviaria in esame.

In primo luogo, dall'albero dei guasti, si può rilevare quanto ciascun fattore grava sulla frequenza di accadimento totale del Top Event identificato e, al tempo stesso, qual è la criticità di maggior impatto che si può avere per una determinata interferenza, con determinate caratteristiche strutturali e funzionali, sita in uno specifico punto della rete ferroviaria.

Dall'albero degli eventi si possono osservare tutte le possibili situazioni che si possono manifestare in seguito alla verifica dell'evento iniziatore e la frequenza di accadimento dei potenziali scenari di danno, più o meno gravi, che si possono originare percorrendo i diversi rami del diagramma logico.

Uno dei risultati più significativi per il presente studio è la valutazione del rischio a cui il sistema ferroviario e tutte le persone che in qualche modo hanno contatto con esso (passeggeri o personale) possono andare incontro, in seguito alla manifestazione di una o più criticità associate a queste strutture.

Ovviamente, è di buon auspicio pensare che questi eventi non si verifichino proprio durante l'intera vita utile della ferrovia oppure si verifichino con conseguenze molto limitate; però, non bisogna sottovalutare il problema basandosi su tale convinzione, onde evitare problematiche tecniche con effetti catastrofici, da scongiurare.

Pertanto, è opportuno monitorare con continuità ed attenzione lo stato in cui lavorano i diversi attraversamenti e parallelismi, in maniera tale da intervenire prontamente in caso di anomalie di funzionamento o eventi esterni che originano improvvisamente una criticità specifica.

Per questo motivo, il gestore dell'infrastruttura, unitamente ad altri operatori ed autorità locali, mettono a punto una serie di requisiti da imporre agli enti che gestiscono gli attraversamenti e i parallelismi, in modo tale da rispettare la sicurezza nei confronti della ferrovia.

In questa tesi, come si vedrà anche dai diversi casi studio condotti e descritti nei capitoli successivi, viene effettuata un'analisi soprannominata "a priori", ossia una metodologia predittiva, che si basa su eventi già accaduti in passato in un dato arco temporale, i cui dati vengono prelevati da documentazioni tecniche certificate o banche dati affermate che hanno condotto studi approfonditi su eventi di questo genere.

Si parla, quindi, pur sempre di situazioni ipotetiche che si potrebbero presentare con una certa probabilità e non con certezza assoluta; gli strumenti impiegati, infatti, derivano dalla statistica, una disciplina molto studiata oggi, che si fonda su fattori legati ad aleatorietà ed incertezza.

CAPITOLO 5 - CASO STUDIO APPLICATIVO: LA LINEA CANAVESANA GTT

Nel presente capitolo si sviluppano i passi della metodologia di analisi per attraversamenti e parallelismi, descritti nel capitolo 4, applicando il processo in un caso studio specifico, rappresentato dalla linea ferroviaria Canavesana di GTT.

Prima di entrare nel merito dei diversi casi applicativi, si inquadrano, brevemente, le caratteristiche tecniche della ferrovia Canavesana e il contesto di riferimento.

5.1 SITUAZIONE FERROVIARIA PIEMONTESE

La rete ferroviaria della Regione Piemonte si estende per circa 2000 km, di cui 8 km, tra Torino Lingotto e Trofarello, sono a 4 binari elettrificati; poi, quasi 600 km, pari approssimativamente al 30% della rete, sono a doppio binario elettrificato e la parte restante è a binario unico, di cui circa 600 km elettrificati.

Si riporta, di seguito, la mappa disponibile sul sito della Regione Piemonte, che tratteggia questa configurazione di rete ferroviaria, appena descritta:



Figura 5.1: Rete ferroviaria piemontese

Con il Decreto Legislativo n°112/1998, la Regione ha acquisito competenze dirette su alcune linee ferroviarie, che interessano il territorio regionale piemontese:

- linea ferroviaria Torino–Ceres (Società concessionaria: GTT Spa);
- **linea ferroviaria Settimo–Rivarolo–Pont (Società concessionaria: GTT Spa);**
- linea ferroviaria Novara–Turbigo (Società concessionaria: FERROVIENORD Spa).

Le restanti linee ferroviarie del Piemonte, pari a 1888 km, con 283 stazioni, sono di competenza di Rete Ferroviaria Italiana, RFI Spa.

5.2 DESCRIZIONE DELLA LINEA CANAVESANA

5.2.1 CENNI STORICI

Particolarmente interessante risulta essere la storia legata alla progettazione e realizzazione di questa ferrovia, redatta nella seconda metà del 1800, la quale puntava a incentivare queste aree. L'idea di costruire una linea ferroviaria nel territorio del Canavese è stata ispirata da una politica generale di miglioramento, orientata al progresso dell'economia piemontese.

Inizialmente, si è proceduto alla costruzione della linea fino a Rivarolo, inaugurata a tappe fra il 1856 e il 1866, con trazione a cavalli e scartamento di 1650 mm.

Successivamente, la Società Anonima per la Strada Ferrata e le Tranvie del Canavese, poi rinominata Ferrovia Centrale e tranvie del Canavese (FCC), intraprese i lavori di ricostruzione in sede propria del tracciato, conclusi nel 1885, con la rimozione della precedente ippovia.

In seguito, nel 1887 iniziarono i lavori per il prolungamento della ferrovia da Rivarolo a Castellamonte e, in concomitanza, una diramazione verso la città di Cuorgnè.

Infine, nel 1906 venne inaugurata l'ultima sezione da Cuorgnè a Pont Canavese, completando l'assetto attuale dell'infrastruttura ferroviaria Canavesana.

Si evidenzia, tuttavia, che nel 1985 la tratta Rivarolo-Castellamonte venne chiusa e smantellata, in quanto giudicata pericolosa per la vicinanza dei binari alla provinciale per Ivrea.

5.2.2 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA LINEA

La ferrovia Canavesana è una linea di interesse regionale, che si sviluppa interamente in territorio piemontese, dal nodo di Settimo Torinese alla stazione di Pont Canavese, per un totale di circa 38 chilometri.

GTT S.P.A. svolge il ruolo sia di Gestore dell'Infrastruttura sia di Impresa Ferroviaria.

Da un punto di vista del trasporto, la Canavesana è percorsa dalla linea 1 del SFM (Servizio Ferroviario Metropolitano), che prolunga la sua corsa su ulteriori 35 km di infrastruttura RFI con 7 stazioni sulla tratta Settimo–Torino–Chieri, con le località riportate nella seguente mappa:



Figura 5.2: Linea ferroviaria Canavesana GTT e interconnessione con RFI

La ferrovia in questione è adibita prevalentemente ad un traffico passeggeri, fatta eccezione per una piccola tratta di circa 4 km, che si estende dalla stazione di Settimo allo stabilimento dell'Eni, situato in prossimità della linea Canavesana, dove avviene saltuariamente anche un trasporto merci, che contiene sostanze pericolose come gas o liquidi; tale convoglio viaggia ad una velocità estremamente ridotta pari a 25 km/h. Il suddetto servizio merci avviene solamente nelle ore notturne, quando il servizio passeggeri non viene effettuato.

Si riportano di seguito le principali caratteristiche tecniche della linea:

- innanzitutto, è importante rilevare la configurazione a binario unico lungo l'intero tracciato: i convogli possono percorrere tale linea da ambo le direzioni sullo stesso binario, ma sono possibili incroci tra treni che si muovono in sensi opposti, solo in corrispondenza delle stazioni, dove il numero di binari è superiore a uno;
- lo scartamento adottato sulla linea, ossia la distanza tra i lembi interni delle rotaie facenti parte dello stesso binario, che influenza notevolmente la tipologia di convogli che può circolare sulla linea in esame, è quello ordinario o standard, comune a quello assunto sulla rete nazionale italiana gestita da RFI, cioè pari a 1435 mm. Questa necessità deriva da una considerazione tecnica e operativa, in virtù del fatto che i convogli GTT circolano anche in alcuni tratti sui passanti ferroviari di RFI presso il nodo centrale di Torino e in direzione Chieri;
- in base al profilo altimetrico, si può rilevare che la ferrovia sale dai 208 metri sul livello del mare, in corrispondenza del capolinea vallivo, fino ai 299 metri s.l.m. a Rivarolo Canavese, e raggiunge i 441 metri s.l.m. a Pont Canavese. A livello planimetrico, la ferrovia presenta un profilo abbastanza regolare, con rettifili e curve a lungo raggio, ad eccezione dell'ultima sezione, la più tortuosa, con curve di raggio di 200 metri e pendenze che raggiungono il 18 per mille;
- il sistema di distanziamento adottato è quello del blocco conta assi nella tratta da Settimo Torinese a Rivarolo Canavese e sistema a spola da Rivarolo Canavese a Pont Canavese. Il sistema a blocco conta assi permette di lavorare in condizioni di sicurezza, per il fatto che qualora si verificassero delle rotture accidentali di pezzi del convoglio si riuscirebbe immediatamente a rilevare tale problema e il via libera ad eventuali altri convogli sarebbe vietato, evitando quindi scontri o incidenti lungo la linea; tale impianto, tuttavia, non permette di rilevare problemi legati ad eventuali rotture della rotaia o di altre parti di infrastruttura.

Come si è avuto modo di riscontrare nella descrizione storica della progettazione della linea, la stazione di Rivarolo Canavese rappresenta un nodo centrale importante del tratto ferroviario,

che può essere visto come un punto di connessione tra le due sezioni Settimo-Rivarolo e Rivarolo-Pont, di caratteristiche differenti. Il primo percorso è elettrificato con una corrente di 3000 Volt in corrente continua ed è attraversato da convogli dotati di pantografo, che captano l'energia elettrica dai cavi di sezionamento posizionati ad una certa altezza dal piano del ferro; la seconda linea, invece, non è dotata di sistemi di elettrificazione e, di conseguenza, viene percorsa solo da convogli diesel, il cui rifornimento avviene presso il deposito, collocato nelle vicinanze della stazione di Rivarolo.

È importante evidenziare, inoltre, che la Canavesana ricade nell'ambito di applicabilità del Decreto Ministeriale DM del 5 agosto 2016. Pertanto, è passata dal controllo di USTIF a quello di ANSF, la quale sta intraprendendo un percorso di allineamento agli standard di sicurezza adottati già in ambito nazionale da RFI. Innanzitutto, uno dei difetti tecnici che si può rilevare è la mancanza di dispositivi installati per il controllo della marcia del treno, come SCMT o ERTMS, già utilizzati in RFI, anche se sono in fase di elaborazione per il futuro, secondo le prescrizioni fornite da ANSF.

Dopo l'emissione del Decreto Ministeriale del 5 agosto 2016, l'Agenzia ANSF ha definito una serie di requisiti in materia di sicurezza per le ferrovie regionali rientranti nel campo di indagine di questo documento. Uno di questi prevede la disposizione di una velocità di percorrenza massima della linea di 50 km/h, finché non si è completata l'installazione del sistema SCMT.

Tuttavia, l'ANSF ha concesso anche misure di gestione del rischio equivalenti alla prescrizione della velocità massima di 50 km/h; ad esempio, lungo la linea Canavesana di GTT si è deciso di adottare una velocità di percorrenza massima di 70 km/h, con la presenza di un doppio agente in cabina di guida, solitamente il macchinista ed un secondo agente abilitato al riconoscimento dei segnali. Solamente in alcune sezioni critiche della tratta, viste le caratteristiche della linea, la velocità si riduce ulteriormente ai 50 km/h.

5.2.3 CARATTERIZZAZIONE RISCHIO IDROGEOLOGICO E SISMICO

Si riporta di seguito la caratterizzazione delle aree attraversate dalla ferrovia Canavesana, per quanto riguarda il rischio idrogeologico e il rischio sismico, in maniera tale da individuare le aree maggiormente critiche da questi punti di vista; si prenderanno in considerazione le zone del Canavese e una parte del territorio della pianura torinese.

1) RISCHIO FRANE

Si riporta la mappa che mette in evidenza le zone a rischio frane:

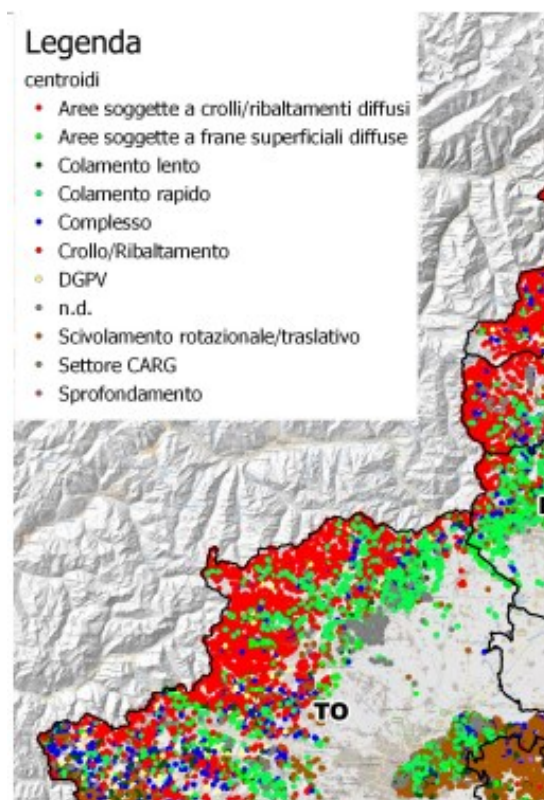


Figura 5.3: Mappa rischio frane

Come si ha modo di osservare dalla cartina geografica disponibile sul GeoPortale della Regione Piemonte, la linea Canavesana si estende per il 75% in pianura, sufficientemente lontana da versanti montuosi. Quindi, nel tratto da Settimo Torinese a Valperga la problematica frane non viene presa in considerazione; nella sezione terminale della linea ferroviaria, da Valperga a Pont Canavese, sono presenti versanti montuosi e, pertanto, sono presenti tratte in cui potrebbero verificarsi fenomeni di frana o smottamento.

In base alle informazioni reperite dal sito dell'Arpa Piemonte e facendo riferimento alla classificazione dei fenomeni franosi, riportata nel capitolo dei rischi esterni, si può osservare che nell'area del Canavese si potrebbero manifestare, prevalentemente, frane da crollo o per ribaltamento, oppure colamenti superficiali, che danno origine ad un distacco di massi rocciosi o materiali detritici dal versante, con conseguente caduta sulla sovrastruttura ferroviaria. Ovviamente, tutto ciò rappresenta una forma di ostacolo presente sui binari e, quindi, risulta essere altamente pericoloso per eventuali convogli che sopraggiungono in corsa, con conseguente possibile deragliamento del mezzo. Al tempo stesso, la brusca e violenta caduta di

materiale sui binari potrebbe generare movimenti del terreno sottostante la ferrovia con generazione di azioni meccaniche nei confronti di attraversamenti e parallelismi sotterranei che si sviluppano ad una certa profondità dal piano campagna.

2) RISCHIO ALLAGAMENTI

Ora si procede con l'individuazione delle criticità dal punto di vista idrologico, facendo riferimento ai corsi d'acqua che si trovano in prossimità della sede ferroviaria.

Per contestualizzare l'assetto idrologico e la configurazione dei fiumi, torrenti e canali che si estendono nel Canavese, in corrispondenza delle aree percorse dalla ferrovia, si è fatto utilizzo di alcune mappe presenti su GeoPortale dell'Arpa Piemonte, che vengono di seguito riportate.

Per semplicità, si preferisce inserire più rappresentazioni, in riferimento a diversi tratti specifici dell'infrastruttura ferroviaria, che viene indicata nelle diverse cartine con il colore viola scuro.

TRATTO SETTIMO TORINESE – S. BENIGNO CANAVESE

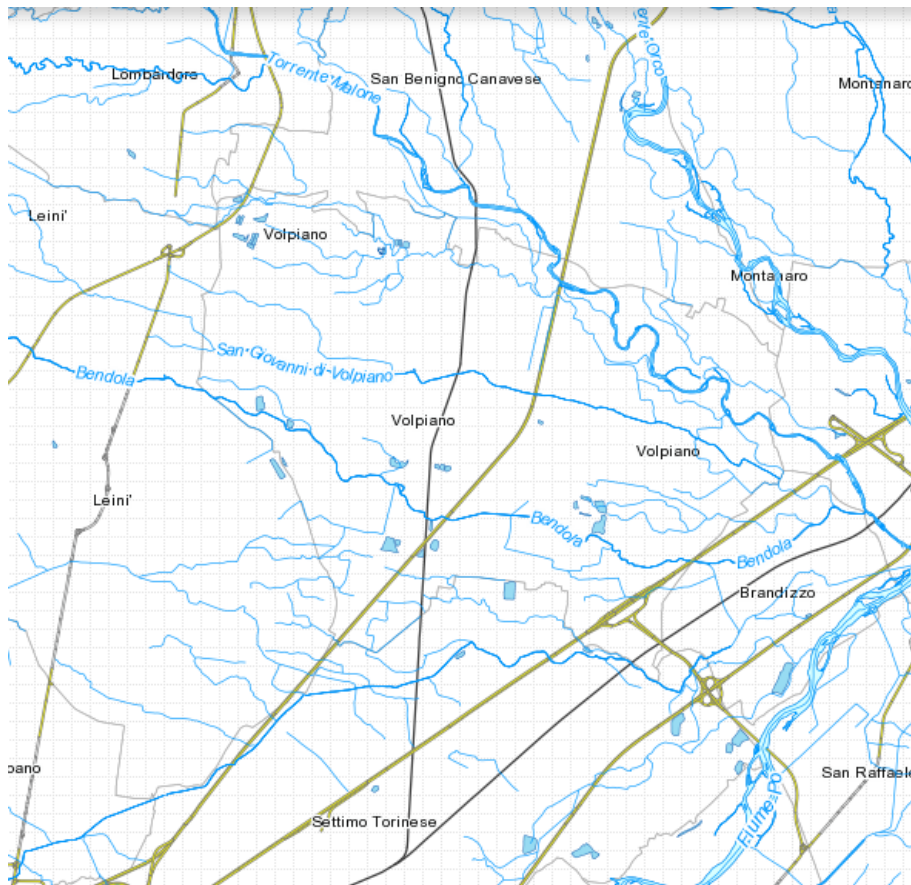


Figura 5.4: Mappa rischio allagamenti 1

TRATTO S. BENIGNO CANAVESE – RIVAROLO CANAVESE

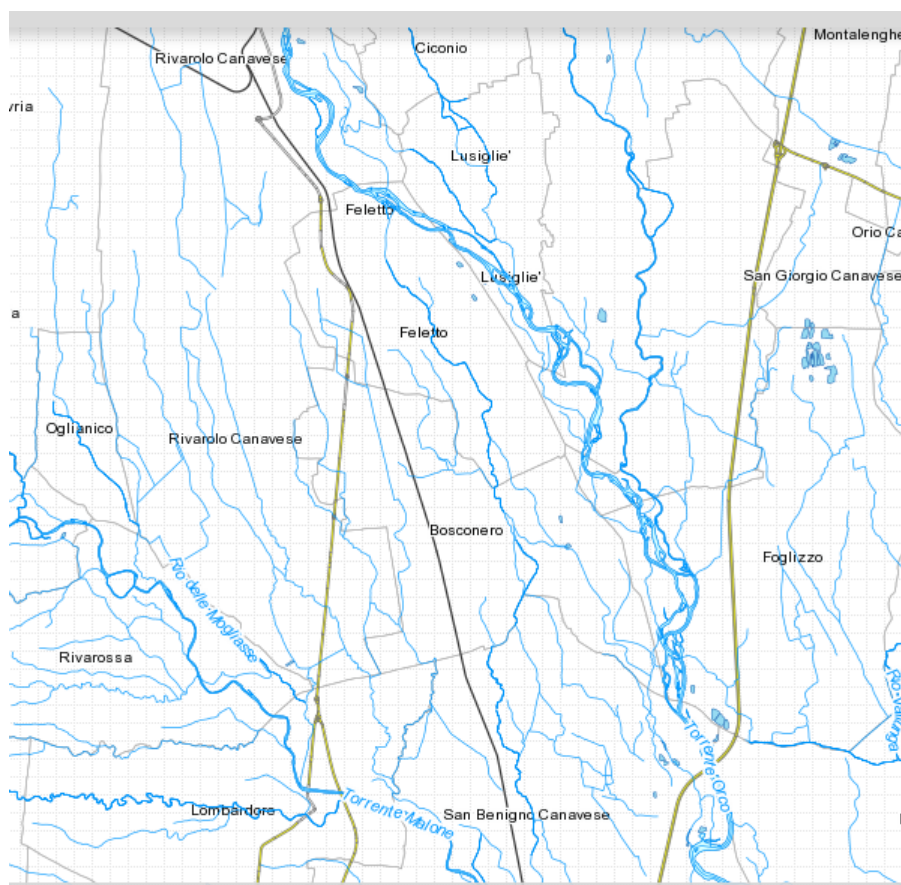


Figura 5.5: Mappa rischio allagamenti 2

TRATTO RIVAROLO CANAVESE – PONT CANAVESE

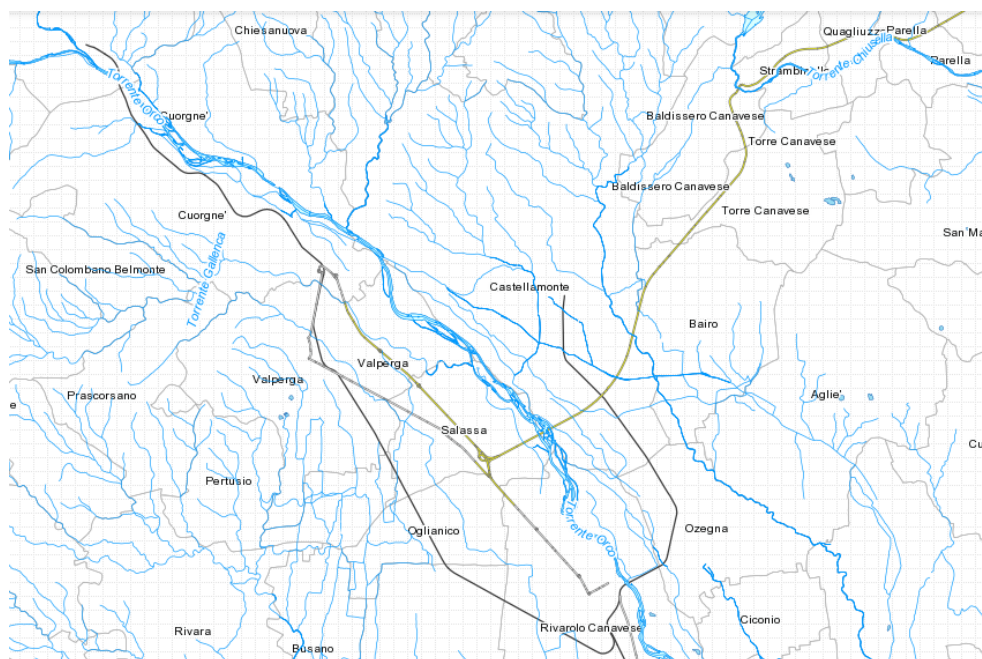


Figura 5.6: Mappa rischio allagamenti 3

Da questo punto di vista, la pericolosità nei confronti della circolazione ferroviaria è rappresentata da fenomeni di allagamento della sede ferroviaria, con possibile accumulo e trasporto di materiali detritici.

I quattro principali rischi dal punto di vista idrologico per la linea Canavesana sono rappresentati dal fiume Po, solamente in prossimità della stazione di Settimo Torinese e, successivamente, procedendo verso Pont Canavese, dai torrenti Malone, Gallenca e Orco, che corrono nelle vicinanze della linea ferroviaria, con due attraversamenti in prossimità delle stazioni di S. Benigno e Pont Canavese, come viene mostrato dal tracciato rappresentato di fianco.

Inoltre, si segnala anche la presenza di altri canali irrigui di entità minore nelle vicinanze della linea ferroviaria, che finora non hanno causato alcuna problematica.

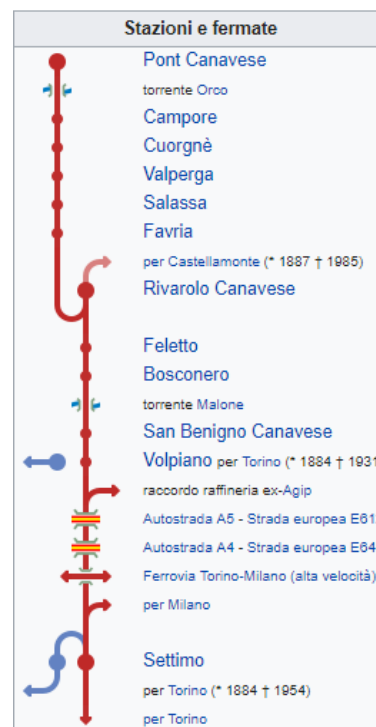
In ogni caso, è importante monitorare continuamente il livello e la portata di questi corsi d'acqua, specialmente durante i periodi di piogge abbondanti ed eventi meteo estremi, onde evitare di andare incontro a rischi nei confronti della ferrovia, nonché danneggiamenti ad attraversamenti e parallelismi limitrofi.

Sono particolarmente rilevanti due eventi alluvionali, avvenuti in passato nelle aree del Canavese, che hanno portato entrambi, per necessità operative, all'interruzione della circolazione ferroviaria per un periodo più o meno lungo:

- l'allagamento avvenuto a Feletto durante l'evento alluvionale del 2000, che ha interessato gran parte del Piemonte per alcuni giorni, provocato dall'aumento del livello del Torrente Malone, con conseguente esondazione;
- il crollo del ponte ferroviario sul Torrente Orco, sempre durante l'evento alluvionale del 2000, in prossimità della stazione capolinea di Pont Canavese, che ha portato all'interruzione della circolazione ferroviaria per ben 4 anni nel tratto da Cuorgnè a Pont. La sezione terminale è stata riattivata solamente il 7 luglio 2004, in seguito alla costruzione di un nuovo ponte ferroviario, realizzato in acciaio per resistere maggiormente da un lato ai carichi dinamici derivanti dal traffico ferroviario e dall'altro alle spinte esercitate dall'acqua sulle pile del ponte, in corrispondenza dell'attraversamento del Torrente Orco.

Si riporta, per completezza di trattazione, una tabella che riassume schematicamente i principali punti critici in diverse sezioni dell'infrastruttura, facendo riferimento in alcuni casi direttamente alle posizioni delle stazioni o fermate e in altri casi alle tratte di linea comprese tra due diverse stazioni.

In particolar modo, nella terza colonna della tabella vengono riportate le distanze minime, ossia i punti di massima vicinanza tra la ferrovia e i corsi d'acqua presenti (fiumi, torrenti o canali) oppure i punti di intersezione, dove sono stati costruiti ponti ferroviari per permettere l'attraversamento dei convogli al di sopra dei corsi d'acqua.



Tutte le distanze riportate sono state misurate qualitativamente sulle mappe disponibili sul GeoPortale della Regione Piemonte.

STAZIONE (S) / TRATTA (T)	CORSO D'ACQUA	POSIZIONE RISPETTO A LINEA FERROVIARIA	
		DISTANZA MINIMA	INTERSEZIONE (progressiva)
SETTIMO TORINESE (S)	Fiume PO	$D_{\min} = 1,3 \text{ km}$	
SETTIMO-VOLPIANO (T)	Bealera Nuova		km 2+608
SETTIMO-VOLPIANO (T)	Bealera Bendola		km 4+791
SETTIMO-VOLPIANO (T)	Rio S. Giovanni		km 6+730
VOLPIANO (S)	Torrente MALONE	$D_{\min} = 2,15 \text{ km}$	
VOLPIANO – S. BENIGNO (T)	Rio Ritano		km 8+230
S. BENIGNO (S)	Torrente MALONE		km 9+078
S.BENIGNO – BOSCONERO (T)	Canali RIO FRASCHETTA e RIO GORA DELL'ABBAZIA	$D_{\min} = 95 \text{ m al km } 11+350$ $D_{\min} = 125 \text{ m al km } 11+650$	
BOSCONERO – FELETTA (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 1,6 \text{ km in prossimità della stazione di Feletto}$	
FELETTA – RIVAROLO (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 190 \text{ m al km } 19+440$	

Tabella 5.1: Rischio allagamenti tratta Settimo-Rivarolo

STAZIONE (S) / TRATTA (T)	CORSO D'ACQUA	POSIZIONE RISPETTO A LINEA FERROVIARIA	
		DISTANZA MINIMA	INTERSEZIONE (progressiva)
RIVAROLO – FAVRIA (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 575 \text{ m}$	
FAVRIA – SALASSA (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 2,3 \text{ km}$	
SALASSA – VALPERGA (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 1,8 \text{ km}$	
VALPERGA (S)	Torrente GALLENCA	$D_{\min} = 860 \text{ m}$	
VALPERGA – CUORGNE' (T)	Torrente GALLENCA		km 31+400
CUORGNE' – CAMPORE (T)	Torrente ORCO	$D_{\min} = 325 \text{ m al km } 32+423$ $D_{\min} = 205 \text{ m al km } 35+345$	
CAMPORE – PONT CANAVESE (T)	Torrente ORCO		km 37+177

Tabella 5.2: Rischio allagamenti tratta Rivarolo-Pont

Infine, è opportuno segnalare la disponibilità di cartografie, redatte dal PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), nelle quali si definiscono le cosiddette fasce fluviali, che permettono di individuare sul territorio le aree potenzialmente a rischio di allagamento, durante le piene dei corsi d'acqua presenti in una determinata area. In particolare, le fasce fluviali vengono classificate in:

- FASCIA “A” (deflusso della piena): è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- FASCIA “B” (esondazione): esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo, in tale fascia, di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici, corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;
- FASCIA “C” (inondazione per la piena catastrofica): è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Viene riportato di seguito uno schema esemplificativo della definizione delle fasce fluviali, tratto sempre dal sito del PAI, utile per la visualizzazione grafica delle diverse aree a rischio:

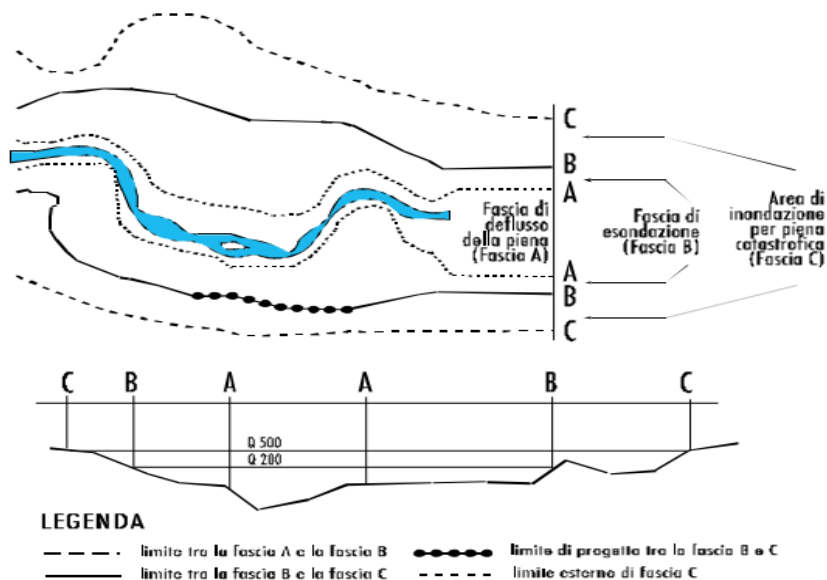


Figura 5.7: Schema mappa per identificazione fasce fluviali

Facendo riferimento alla classificazione delle fasce fluviali appena definite e alla configurazione dei corsi d'acqua presenti sul territorio, dalla cartografia PAI si può rilevare che il tracciato della rete Canavesana rientra nelle seguenti zone:

TRATTA	CORSO D'ACQUA DI RIFERIMENTO	FASCIA FLUVIALE
SETTIMO – VOLPIANO	FIUME PO	---
VOLPIANO – S. BENIGNO	TORRENTE MALONE	---
S. BENIGNO – BOSCONERO	CANALI RIO	---
BOSCONERO – FELETTA	TORRENTE ORCO	FASCIA “C”
FELETTA – RIVAROLO	TORRENTE ORCO	FASCIA “B”
RIVAROLO – FAVRIA	TORRENTE ORCO	FASCIA “C”
FAVRIA – SALASSA	TORRENTE ORCO	FASCIA “C”
SALASSA – VALPERGA	TORRENTE ORCO	FASCIA “C”
VALPERGA – CUORGNE’	TORRENTE GALLENCA	FASCIA “B”
CUORGNE’ – CAMPORE	TORRENTE ORCO	FASCIA “A”
CAMPORE – PONT	TORRENTE ORCO	FASCIA “A”

Tabella 5.3: Schema fasce fluviali per linea Canavesana GTT

Si evidenzia che nella precedente tabella sono state messe delle barrette, dove la linea ferroviaria non rientrava in alcuna delle tre fasce fluviali identificate dal PAI, dal momento che il tracciato si trova ad una distanza sufficientemente grande dai corsi d’acqua e non si può verificare alcun fenomeno di allagamento nei confronti della sede ferroviaria.

È importante sottolineare, infine, una criticità tra le stazioni di Volpiano e di S. Benigno; anche se dalla tabella non si rileva alcuna criticità, occorre precisare che si ha un progressivo avvicinamento del Torrente Malone alla linea ferroviaria, con intersezione diretta pochi metri prima della stazione di S. Benigno.

3) RISCHIO SISMICO

Infine, si procede con la caratterizzazione delle aree dal punto di vista sismico: consultando i dati contenuti nei siti dell'Arpa e della Regione Piemonte, è possibile rilevare facilmente che tutti i comuni attraversati dalla rete Canavesana GTT ricadono all'interno della zona 4, in accordo con la classificazione sismica del territorio, introdotta con il Decreto Legislativo n°112 del 1998 e con il Decreto del Presidente della Repubblica n°380 del 2001.

La zona 4 è la meno pericolosa fra tutte, a cui è associata una bassa pericolosità a livello sismico, ossia i terremoti sono rari e i danni provocati sono limitati e contenuti; in questo caso, è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica per costruzioni edilizie ed infrastrutture.

Inoltre, i parametri di riferimento riferiti alla zona 4 sono:

- accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore o uguale a 0,05g;
- accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) pari a 0,05g.

Dove g è l'accelerazione di gravità, assunta per convenzione pari a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Si riporta di seguito una mappa, tratta dal sito della Regione Piemonte, che mette in evidenza le aree ed i comuni del territorio regionale che ricadono nella zona 2, nella zona 3 e nella zona 4 della classificazione sismica stilata a livello nazionale, secondo quanto riportato anche nella trattazione affrontata nel capitolo 2.

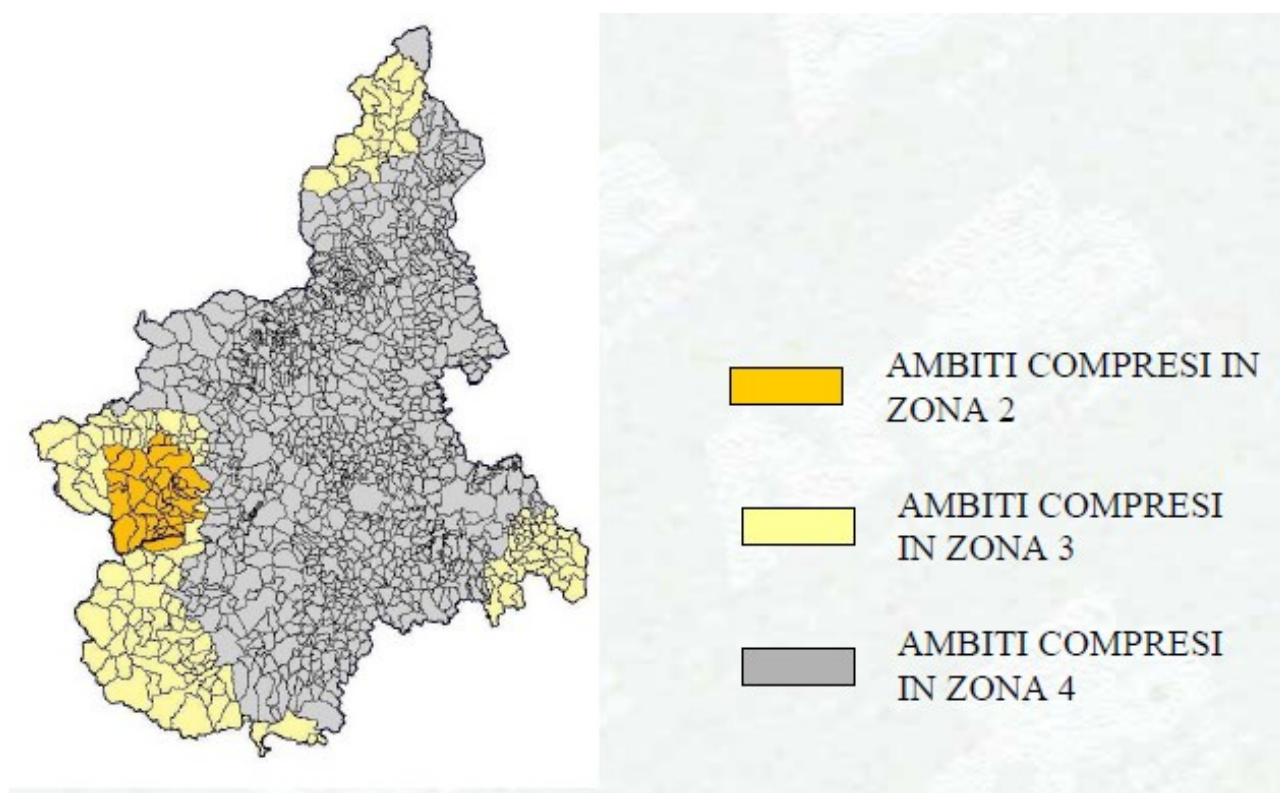


Figura 5.8: Mappa zone sismiche in Piemonte

5.2.4 CARATTERIZZAZIONE ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI PRESENTI LUNGO LA LINEA CANAVESANA GTT

Facendo riferimento alla documentazione dell'Azienda GTT, è stato possibile identificare le diverse tipologie di attraversamenti e parallelismi, che si interfacciano con la linea ferroviaria Canavesana di GTT.

Per procedere con la caratterizzazione, si fa riferimento alla classificazione riportata nel capitolo 3 tra interferenze del 1° e 2° tipo con le relative sotto classi, in base alle diverse tipologie presenti e, successivamente, si è individuata l'eventuale presenza di casi particolari, cioè non contemplati nelle categorie di riferimento, da trattare con requisiti specifici a parte e diversi sistemi tecnologici a disposizione o eventualmente da richiedere.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i numeri di attraversamenti e parallelismi che sono presenti lungo il tracciato della linea Canavesana GTT, in accordo con la caratterizzazione riportata nel capitolo 3.

Per semplificare, si divide l'analisi in due parti, distinguendo tra il tratto Settimo-Rivarolo (elettrificato) e il tratto Rivarolo-Pont (non elettrificato).

TRATTA SETTIMO – RIVAROLO

TIPO DI INTERFERENZA	CARATTERIZZAZIONE/TIPOLOGIA	NUMERO DI INTERFERENZE PER TIPOLOGIA
INTERFERENZE DI 1° TIPO	ATTRAVERSAMENTI INTERRATI CON TECNOLOGIA TELEGUIDATA	9
	ATTRAVERSAMENTI INFERIORI	33
	ATTRAVERSAMENTI SUPERIORI	18
	PARALLELISMI CON CONDOTTE IDRICHE/FOGNARIE	16
INTERFERENZE DI 2° TIPO	CONDOTTE E CANALI CONVOGLIANTI LIQUIDI E GAS	38
	ATTRAVERSAMENTI STRADALI E PEDONALI (CAVALCAVIA E SOTTOVIA)	16
	LINEE ELETTRICHE E DI TELECOMUNICAZIONE	134
CASI PARTICOLARI		13
TOTALE ATTRAVERSAMENTI/PARALLELISMI DELLA TRATTA		272

Tabella 5.4: Caratterizzazione attraversamenti/parallelismi tratta Settimo-Rivarolo

Dalla precedente tabella si può rilevare che nel primo tratto da Settimo Torinese a Rivarolo Canavese sono presenti in totale 272 attraversamenti e parallelismi, di cui 76 ricadono nella categoria delle interferenze di 1° tipo e 183 nelle interferenze di 2° tipo.

Sono, inoltre, presenti 13 casi particolari, che non sono parte di nessuna delle categorie contemplate nella caratterizzazione di riferimento.

TRATTA RIVAROLO – PONT

TIPO DI INTERFERENZA	CARATTERIZZAZIONE/TIPOLOGIA	NUMERO DI INTERFERENZE PER TIPOLOGIA
INTERFERENZE DI 1° TIPO	ATTRAVERSAMENTI INTERRATI CON TECNOLOGIA TELEGUIDATA	6
	ATTRAVERSAMENTI INFERIORI	21
	ATTRAVERSAMENTI SUPERIORI	19
	PARALLELISMI CON CONDOTTE IDRICHE/FOGNARIE	6
INTERFERENZE DI 2° TIPO	CONDOTTE E CANALI CONVOGLIANTI LIQUIDI E GAS	34
	ATTRAVERSAMENTI STRADALI E PEDONALI (CAVALCAVIA E SOTTOVIA)	11
	LINEE ELETTRICHE E DI TELECOMUNICAZIONE	107
CASI PARTICOLARI		24
TOTALE ATTRAVERSAMENTI/PARALLELISMI DELLA TRATTA		228

Tabella 5.5: *Caratterizzazione attraversamenti/parallelismi tratta Rivarolo-Pont*

Dalla precedente tabella si può rilevare che nel secondo tratto da Rivarolo Canavese a Pont Canavese sono presenti in totale 228 attraversamenti e parallelismi, di cui 52 ricadono nella categoria delle interferenze di 1° tipo e 152 nelle interferenze di 2° tipo.

Sono, inoltre, presenti 24 casi particolari, che non sono parte di nessuna delle categorie contemplate nella caratterizzazione di riferimento.

5.3 VALUTAZIONE DEI RISCHI SU ATTRAVERSAMENTI E PARALLELISMI

Si inserisce di seguito la tabella HAZID, descritta all'inizio del capitolo 4, utile per l'identificazione dei passaggi successivi previsti dall'analisi metodologica. Per ciascuna tipologia di attraversamento e parallelismo si mettono in evidenza i principali sotto processi associati alle differenti fasi di vita dell'interferenza, con le relative deviazioni, cause, misure preventive, misure mitigative, requisiti da imporre e conseguenze sia nei confronti del dato attraversamento/parallelismo sia verso la ferrovia.

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile – Infrastrutture e sistemi di trasporto

TABELLA HAZARD IDENTIFICATION (HAZID)									
ATTRAVERSAMENTO/PARALLELISMO	SOTTOPROCESSO/FUNZIONE	DEVIAZIONE	CAUSE	MISURE PREVENTIVE (CAUSE)	MISURE MITIGATIVE (CONSEGUENZE)	CONSEGUENZE SULL'ATTRAVERSAMENTO/PARALLELISMO	CONSEGUENZE SULLA LINEA FERROVIARIA	REQUISITI	
TUBAZIONE DEL GAS	PROGETTAZIONE	Mancata o errata progettazione secondo criteri normativi	Errore umano, carenze formative del personale, mancato aggiornamento normativo, mancata/parziale verifica delle competenze.	Controllo ed approvazione del progetto da parte di autorità/enti competenti, con rilascio di un'eventuale certificazione da parte di un ente terzo di verifica, formazione del personale (in merito ai criteri di progettazione secondo le regole imposte dalle normative vigenti di riferimento)	Creazione sistemi di monitoraggio, controlli del progetto, realizzazione di interventi di ingegneria che limitino impatto verso l'ambiente esterno circostante, definizione di soglie limite di riferimento da rispettare in termini di caratteristiche tecniche e funzionali dell'impianto	Minori performance dell'impianto in condizioni di esercizio, frequenti malfunzionamenti, possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile dell'impianto	Nessuna conseguenza	Controlli e approvazione del processo prima della realizzazione, esigenza di formazione ed aggiornamento/mantenimento delle competenze per i progettisti	
	REALIZZAZIONE	Errata realizzazione	Mancata formazione del personale, assenza di controlli in corso d'opera, errore operativo durante i lavori di realizzazione	Formazione, addestramento e aggiornamento per il personale	Realizzazione di sistemi protettivi rispetto all'ambiente esterno circostante, come tubi esterni di protezione della condotta con diametro maggiore, controlli frequenti dello stato/condizione della condotta con ispezioni, maggior approfondimento dell'impianto rispetto al piano campagna	Frequenti malfunzionamenti, maggiori interventi di manutenzione straordinaria (non previsti), possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile della struttura	Possibili distorsioni o cedimenti del terreno sottostante il binario	Interruzione della circolazione ferroviaria lungo la linea durante lavori, sorveglianza dei lavori da parte del personale ferroviario ed altre autorità competenti, interaccia efficace tra gestori di impianto e ferrovia	
		Materiale non idoneo (Scarse proprietà meccaniche del materiale)	Fornitura del materiale	Valutazione delle caratteristiche meccaniche del materiale in funzione delle performance che ci si aspetta in fase di esercizio, normativa	Misure protettive nei confronti dei sistemi impianto e ferrovia	Impatto diretto degli eventi naturali sulla tubazione con elevata probabilità di rottura della stessa	Presenza di ostacoli lungo la linea e distorsioni del binario dovuto a rottura delle condotte interrate.	Realizzazione di interventi di ingegneria efficaci per ridurre o eliminare impatto	
	ESERCIZIO	Rottura/fessurazione	Eventi naturali	Assenza di interventi di ingegneria a protezione della tubazione e di adeguati controlli, mancanza di strumenti di monitoraggio dei fenomeni naturali (sisma, frane, allagamenti)	Definizione di fasce di rispetto per la realizzazione dei lavori in prossimità della condotta, riduzione della velocità di percorrenza dei treni sul tratto di linea in corrispondenza della condotta	Danni alla condotta (fessurazioni, rotture, deformazioni, spostamenti, inflessioni)	Cedimenti della sede ferroviaria	Rispetto delle soglie di profondità della tubazione per limitare interferenze, realizzazione di sistemi protettivi	
			Effetti mondo antropizzato	Sollecitazioni ed azioni meccaniche frequenti o eccessive nei confronti della tubazione (ad esempio, vibrazioni derivanti da traffico ferroviario, lavori/attività umane in prossimità della condotta con macchine agricole/edili, operazioni di scavo o drenaggio)	Installazione di strumenti di monitoraggio, comunicazione anomalie da ente gestore gas ad ente gestore infrastruttura ferroviaria, interruzione circolazione ferroviaria o limitazione velocità di percorrenza dei treni lungo la linea	Malfunzionamenti della condotta (pressioni elevate, surriscaldamenti delle tubazioni)	Cedimenti della sede ferroviaria, scalciamento del binario, esplosioni, diffusione di incendi più o meno sviluppati	Controlli periodici, comunicazione anomalia da gestore gas a gestore infrastruttura ferroviaria, installazione sistemi di monitoraggio, interruzione circolazione ferroviaria o riduzione della velocità di percorrenza della linea	
			Anomalie di funzionamento	Installazione di strumenti di monitoraggio per il rilevamento delle problematiche, comunicazione da parte dell'ente gestore dell'impianto all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria di eventuali anomalie rilevate, istituzione di controlli periodici per verifica dello stato e condizioni della tubazione e interventi immediati nel caso di criticità				Rispetto delle soglie di profondità/distanza da sede ferroviaria	
			Cedimenti del terreno	Non rispetto delle soglie limite di profondità della tubazione rispetto al piano del ferro, errori progettuali o durante la realizzazione, assenza di controlli, fenomeni di usura o corrosione della tubazione	Realizzazione di sistemi protettivi	Dispersione di gas, interruzione del servizio di trasporto gas	Sghembo del binario, formazione di distlivelli, rotture dei binari, deformazioni, riduzione misura di scartamento		
	MANUTENZIONE	Mancanza di controlli/interventi	Mancata pianificazione o mancata effettuazione	Definizione di procedure di verifica	Installazione di strumenti di monitoraggio efficaci che segnalino la necessità di interventi in caso di anomalie di funzionamento	Possibili malfunzionamenti non rilevati e risolti	Interferenze più o meno gravi nei confronti della ferrovia, in funzione delle condizioni in cui si trova l'impianto	Esecuzione di controlli periodici, con rilascio di certificazione contenente i risultati dell'intervento e segnalazione di eventuali problematiche	
		Interventi effettuati in maniera errata	Errore umano, carenze formative, mancato aggiornamento normativo, inesperienza del personale, risorse scarse, inefficienza dell'intervento	Formazione e aggiornamento per personale, controllo durante le fasi di intervento da parte di esperti, interfaccia efficace tra gestore impianto e gestore infrastruttura ferroviaria		Conseguenze impattanti sul funzionamento sicuro dell'impianto			
TUBAZIONE DELL'ACQUA	PROGETTAZIONE	Mancata o errata progettazione secondo criteri normativi	Errore umano, carenze formative del personale, mancato aggiornamento normativo, mancata/parziale verifica delle competenze.	Controllo ed approvazione del progetto da parte di autorità/enti competenti, con rilascio di un'eventuale certificazione da parte di un ente terzo di verifica, formazione del personale (in merito ai criteri di progettazione secondo le regole imposte dalle normative vigenti di riferimento)	Creazione sistemi di monitoraggio, controlli del progetto, realizzazione di interventi di ingegneria che limitino impatto verso l'ambiente esterno circostante, definizione di soglie limite di riferimento da rispettare in termini di caratteristiche tecniche e funzionali dell'impianto	Minori performance dell'impianto in condizioni di esercizio, frequenti malfunzionamenti, possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile dell'impianto	Nessuna conseguenza	Controlli e approvazione del processo prima della realizzazione, esigenza di formazione seguita ed aggiornamento/mantenimento delle competenze per i progettisti	
	REALIZZAZIONE	Errata realizzazione	Mancata formazione del personale, assenza di controlli in corso d'opera, errore operativo durante i lavori di realizzazione	Formazione, addestramento e aggiornamento per il personale	Realizzazione di sistemi protettivi rispetto all'ambiente esterno circostante, come tubi esterni di protezione della condotta con diametro maggiore, controlli frequenti dello stato/condizione della condotta con ispezioni, maggior approfondimento dell'impianto rispetto al piano campagna	Frequenti malfunzionamenti, maggiori interventi di manutenzione straordinaria (non previsti), possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile della struttura	Possibili distorsioni o cedimenti del terreno sottostante il binario	Interruzione della circolazione ferroviaria lungo la linea durante lavori, sorveglianza dei lavori da parte del personale ferroviario ed altre autorità competenti, interaccia efficace tra gestori di impianto e ferrovia	
		Materiale non idoneo (Scarse proprietà meccaniche del materiale)	Fornitura del materiale	Valutazione delle caratteristiche meccaniche del materiale in funzione delle performance che ci si aspetta in fase di esercizio, normativa	Misure protettive nei confronti dei sistemi impianto e ferrovia	Impatto diretto degli eventi naturali sulla tubazione con elevata probabilità di rottura della stessa	Presenza di ostacoli lungo la linea e distorsioni del binario dovuto a rottura delle condotte interrate.	Realizzazione di interventi di ingegneria efficaci per ridurre o eliminare impatto	
	ESERCIZIO	Rottura/fessurazione	Eventi naturali	Assenza di interventi di ingegneria a protezione della tubazione e di adeguati controlli, mancanza di strumenti di monitoraggio dei fenomeni naturali (sisma, frane, allagamenti)	Definizione di fasce di rispetto per la realizzazione dei lavori in prossimità della condotta, riduzione della velocità di percorrenza dei treni sul tratto di linea in corrispondenza della condotta	Danni alla condotta (fessurazioni, rotture, deformazioni, spostamenti, inflessioni)	Cedimenti della sede ferroviaria	Rispetto delle soglie di profondità della tubazione per limitare interferenze, realizzazione di sistemi protettivi	
			Effetti mondo antropizzato	Sollecitazioni ed azioni meccaniche frequenti o eccessive nei confronti della tubazione (ad esempio, vibrazioni derivanti da traffico ferroviario, lavori/attività umane in prossimità della condotta con macchine agricole/edili, operazioni di scavo o drenaggio)	Installazione di strumenti di monitoraggio, comunicazione anomalie da ente gestore acquedotto ad ente gestore infrastruttura ferroviaria, interruzione circolazione ferroviaria o limitazione velocità di percorrenza dei treni lungo la linea	Malfunzionamenti della condotta (pressioni elevate, aumento della portata del fluido, cicli di gelo e disgelo, ostruzioni interne alla condotta, aumento grado di scabrezza)	Cedimenti della sede ferroviaria, scalciamento del binario, allagamenti della sede ferroviaria	Controlli periodici, comunicazione anomalia da gestore acquedotto a gestore infrastruttura ferroviaria, installazione sistemi di monitoraggio, interruzione circolazione ferroviaria o riduzione della velocità di percorrenza della linea	
			Anomalie di funzionamento	Installazione di strumenti di monitoraggio per il rilevamento delle problematiche, comunicazione da parte dell'ente gestore dell'impianto all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria di eventuali anomalie rilevate, istituzione di controlli periodici per verifica dello stato e condizioni della tubazione e interventi immediati nel caso di criticità	Realizzazione di sistemi protettivi	Perdite di acqua, interruzione del servizio di trasporto acqua	Sghembo del binario, formazione di distlivelli planimetrici o altimetrici, rotture dei binari, deformazioni, riduzione misura di scartamento	Rispetto delle soglie di profondità/distanza da sede ferroviaria	
			Cedimenti del terreno	Non rispetto delle soglie limite di profondità della tubazione rispetto al piano del ferro, errori progettuali o durante la realizzazione, assenza di controlli, fenomeni di usura o corrosione della tubazione					
	MANUTENZIONE	Mancanza di controlli/interventi	Mancata pianificazione o mancata effettuazione	Definizione di procedure di verifica	Installazione di strumenti di monitoraggio efficaci che segnalino la necessità di interventi in caso di anomalie di funzionamento	Possibili malfunzionamenti non rilevati e risolti	Interferenze più o meno gravi nei confronti della ferrovia, in funzione delle condizioni in cui si trova l'impianto	Esecuzione di controlli periodici, con rilascio di certificazione contenente i risultati dell'intervento e segnalazione di eventuali problematiche	
		Interventi effettuati in maniera errata	Errore umano, carenze formative, mancato aggiornamento normativo, inesperienza del personale, risorse scarse, inefficienza dell'intervento	Formazione e aggiornamento per personale, controllo durante le fasi di intervento da parte di esperti, interfaccia efficace tra gestore impianto e gestore infrastruttura ferroviaria		Conseguenze impattanti sul funzionamento sicuro dell'impianto			

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile – Infrastrutture e sistemi di trasporto

LINEA ELETTRICA	PROGETTAZIONE	Mancata o errata progettazione secondo criteri normativi	Errore umano, carenze formative del personale, mancato aggiornamento normativo, mancata/parziale verifica delle competenze.	Controllo ed approvazione del progetto da parte di autorità/enti competenti, con rilascio di un'eventuale certificazione da parte di un ente terzo di verifica, formazione del personale (in merito ai criteri di progettazione secondo le regole imposte dalle normative vigenti di riferimento)	Creazione sistemi di monitoraggio, controlli del progetto, realizzazione di interventi di ingegneria che limitino l'impatto verso l'ambiente esterno circostante, definizione di soglie limite di riferimento da rispettare in termini di caratteristiche tecniche e funzionali dell'impianto	Minori performance dell'impianto in condizioni di esercizio, frequenti malfunzionamenti, possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile dell'impianto	Nessuna conseguenza	Controlli e approvazione del processo prima della realizzazione, esigenza di formazione ed aggiornamento/mantenimento delle competenze per i progettisti
	REALIZZAZIONE	Errata realizzazione	Mancata formazione del personale, assenza di controlli in corso d'opera, errore operativo durante i lavori di realizzazione, non rispetto dei limiti geometrici imposti da normativa	Formazione, addestramento e aggiornamento per il personale				Interruzione della circolazione ferroviaria lungo la linea durante lavori, sorveglianza dei lavori da parte del personale ferroviario ed altre autorità competenti, interaccia efficace tra gestori di impianto e ferrovia, rispetto dei limiti di altezza dei cavi rispetto al piano del ferro, buona scelta dei materiali, stabilità per i tralicci di sostegno dei cavi, fondazioni adeguate e ben ancorate nel terreno
		Materiale non idoneo (Scarso proprietà meccaniche del materiale)	Fornitura del materiale	Valutazione delle caratteristiche meccaniche del materiale in funzione delle performance che ci si aspetta in fase di esercizio, normativa	Realizzazione di sistemi protettivi rispetto all'ambiente esterno circostante, come protezione dei cavi di tensionamento, controlli periodici	Frequenti malfunzionamenti, maggiori interventi di manutenzione straordinaria (non previsti), possibile impatto con ambiente esterno circostante, minore durata di vita utile della struttura	Possibile presenza di ostacoli sui binari o nell'area di passaggio dei treni sulla linea	
	ESERCIZIO	Rottura/abbassamento livello cavo elettrico	Eventi naturali	Assenza di interventi di ingegneria a protezione dell'elettrodotto e di adeguati controlli, mancanza di strumenti di monitoraggio dei fenomeni naturali (sisma, frane, allagamenti, vento forte, precipitazioni)	Misure protettive nei confronti dei sistemi impianto e ferrovia	Impatto diretto degli eventi naturali sui cavi con elevata probabilità di rottura	Presenza di ostacoli sui binari o nell'area libera di passaggio dei treni lungo la linea	Realizzazione di interventi di ingegneria efficaci per ridurre o eliminare l'impatto, rispetto dei valori di altezza libera da normativa rispetto al piano del ferro
			Effetti mondo antropizzato	Sollecitazioni ed azioni meccaniche frequenti o eccessive nei confronti della tubazione (ad esempio, vibrazioni derivanti da traffico ferroviario, lavori/attività umane in prossimità della condotta con macchine agricole/edili, operazioni di scavo o drenaggio)	Definizione di fasce di rispetto per la realizzazione dei lavori in prossimità dell'elettrodotto	Danni ai cavi o instabilità per i pali di sostegno (cedimenti, dissilvi, rotture parziali o totali dei cavi, possibile black out corrente, possibili sbalzi elettrici e sviluppo di incendi)	Cedimenti della sede ferroviaria, possibili interferenze dell'elettrodotto con componenti ferroviari (sistemi di segnalamento, circuiti di binario, cavi di alimentazione elettrica per i treni), ostacoli sui binari, diffusione incendi nell'area ferroviaria	Rispetto delle soglie di profondità della tubazione per limitare interferenze, realizzazione di sistemi protettivi
			Anomalie di funzionamento	Installazione di strumenti di monitoraggio per il rilevamento delle problematiche, comunicazione da parte dell'ente gestore dell'impianto all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria di eventuali anomalie rilevate, istituzione di controlli periodici per verifica dello stato e condizioni dell'elettrodotto e interventi immediati nel caso di criticità	Installazione di strumenti di monitoraggio, comunicazione anomalie da ente gestore elettrodotto ad ente gestore infrastruttura ferroviaria, interruzione circolazione ferroviaria o limitazione velocità di percorrenza dei treni lungo la linea	Malfunzionamenti dell'impianto (sbalzi elettrici, black out corrente, surriscaldamento eccessivo dei cavi, possibile sviluppo di incendi)	Diffusione di incendi più o meno sviluppati nell'area della ferrovia, interferenze con i componenti ferroviari, esplosioni nel caso in cui transita un treno durante la criticità	Controlli periodici, comunicazione anomalia da gestore elettrodotto a gestore infrastruttura ferroviaria, installazione sistemi di monitoraggio, interruzione circolazione ferroviaria o riduzione della velocità di percorrenza della linea
			Cedimenti/problemi di instabilità	Non rispetto delle soglie limite di altezza dell'elettrodotto rispetto al piano del ferro, errori progettuali o durante la realizzazione, assenza di controlli, fenomeni di usura o corrosione dell'impianto, errori durante la fase di posa e realizzazione dei cavi	Realizzazione di sistemi protettivi	Possibili malfunzionamenti, possibile crollo totale dei tralicci di sostegno dei cavi, interruzione del servizio di trasporto dell'energia elettrica verso i punti di distribuzione	Presenza di ostacoli sui binari o nell'area libera di passaggio dei treni lungo la linea	Rispetto delle soglie di rispetto dei cavi/tralicci dalla sede ferroviaria, presenza di sistemi di monitoraggio che rilevino eventuali variazioni del livello dei cavi rispetto alla posizione originaria, controlli periodici in situ
	MANUTENZIONE	Mancanza di controlli/interventi	Mancata pianificazione o mancata effettuazione	Definizione di procedure di verifica		Possibili malfunzionamenti non rilevati e risolti		Esecuzione di controlli periodici, con rilascio di certificazione contenente i risultati dell'intervento e segnalazione di eventuali problematiche
		Interventi effettuati in maniera errata	Errore umano, carenze formative, mancato aggiornamento normativo, inesperienza del personale, risorse scarse, inefficienza dell'intervento	Formazione e aggiornamento per personale, controllo durante le fasi di intervento da parte di esperti, interfaccia efficace tra gestore impianto e gestore infrastruttura ferroviaria	Installazione di strumenti di monitoraggio efficaci che segnalino la necessità di interventi in caso di anomalie di funzionamento	Conseguenze impattanti sul funzionamento sicuro dell'impianto	Interferenze più o meno gravi nei confronti della ferrovia, in funzione delle condizioni in cui si trova l'impianto	

Tabella 5.6: Tabella HAZID (gasdotti, acquedotti ed elettrodotti)

5.3.1 ALBERO DEI GUASTI

In questo paragrafo vengono inseriti i diversi alberi dei guasti, effettuati per tre tipologie di attraversamenti e parallelismi, che si sviluppano in prossimità della ferrovia Canavesana GTT: tubazioni del gas, condotte per acquedotti ed elettrodotti (linee aeree elettriche e di telecomunicazione).

L'analisi tramite l'albero dei guasti consente di indagare le cause che determinano il Top Event, nonché la probabilità con cui il Top Event può verificarsi. Le due fasi fondamentali con cui l'analisi viene condotta sono:

1. costruzione dell'albero dei guasti: si definisce il Top Event, ricercando tutte le possibili cause primarie che portano alla verifica dello stesso;
2. valutazione probabilistica dell'albero dei guasti: la probabilità di accadimento dell'evento critico viene opportunamente stimata, associando ad ogni box una probabilità.

Le spiegazioni dettagliate in merito alla ricerca e selezione delle probabilità o frequenze di accadimento, associate ai singoli box della struttura ramificata, vengono inserite in appendice (sezione A).

CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS

La criticità principale che si riesce a rilevare per il caso in esame è data dalla **rottura della tubazione**; pertanto, essa costituisce il cosiddetto “Top Event” iniziatore dell'analisi.

Per esigenza di semplificazione, si precisa che nella costruzione di questo specifico albero dei guasti si è preferito suddividere l'analisi in due sezioni: da un lato, sono stati presi in considerazione i **fattori esterni**, ossia tutto ciò che caratterizza la tratta, e dall'altro, sono stati valutati tutti quegli aspetti connessi all'**esercizio delle tubazioni**, ponendo particolare attenzione ai requisiti che si vogliono chiedere all'ente che gestisce gli attraversamenti e i parallelismi, dal momento che sono aspetti impattanti sulla sicurezza, quali misure di prevenzione e mitigazione.

Si precisa, inoltre, in via del tutto generale e con i dettagli specifici riportati in normativa, che sono state utilizzate principalmente tre riferimenti per la determinazione della frequenza o probabilità di accadimento dei diversi box, che compaiono all'interno dell'albero logico:

- documentazioni interne dell'Azienda GTT, in cui sono riportate informazioni o dati trasmessi direttamente dall'ente gestore del sottoservizio;
- banche dati certificate di riferimento; si è fatto riferimento alla banca dati redatta dall'EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group);
- stima della probabilità dell'errore umano, ricorrendo alla tecnica HEART.

CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI

L'acquedotto è un sistema molto complesso, costituito da una serie di elementi assemblati tra di loro, come cisterne, serbatoi, pozzetti e condotte, come riprodotto nella seguente figura:

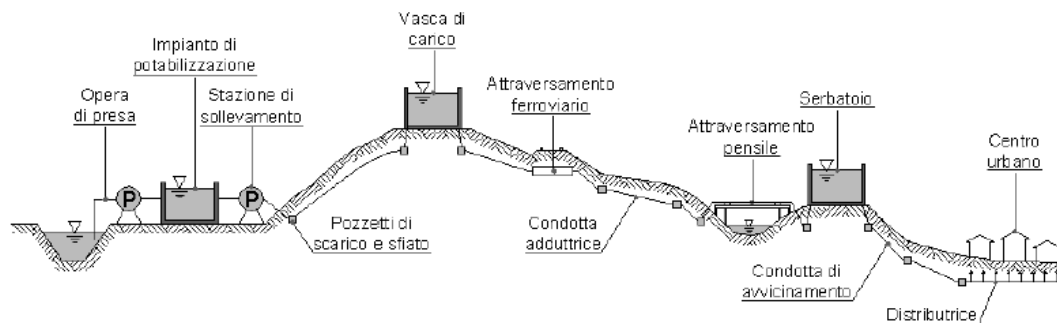


Figura 5.9: Schema impianto acquedottistico

Tuttavia, si può osservare che in corrispondenza di attraversamenti ferroviari, il sistema acquedottistico si riconduce ad una semplice tubazione che trasferisce l'acqua da una zona all'altra della rete; pertanto, il problema può essere trattato similmente all'approccio descritto per il caso dei gasdotti. Le principali differenze, come si potrà osservare dagli alberi di guasto e degli eventi, sono legate alle cause di rottura inerenti l'esercizio delle condotte e ai relativi effetti che un'eventuale rottura della struttura potrebbe portare alla ferrovia.

Ancora una volta, il Top Event iniziatore da cui parte l'analisi dei rischi è la **rottura della tubazione**, connessa a fattori esterni ed elementi di esercizio.

CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE E DI TELECOMUNICAZIONE

Per quanto riguarda quest'ultimo caso studio, è opportuno segnalare che si tratta di **sistemi aerei** sviluppati ad una certa altezza dal piano campagna e progettati per il trasferimento dell'energia elettrica dai punti di produzione verso le diverse destinazioni d'uso.

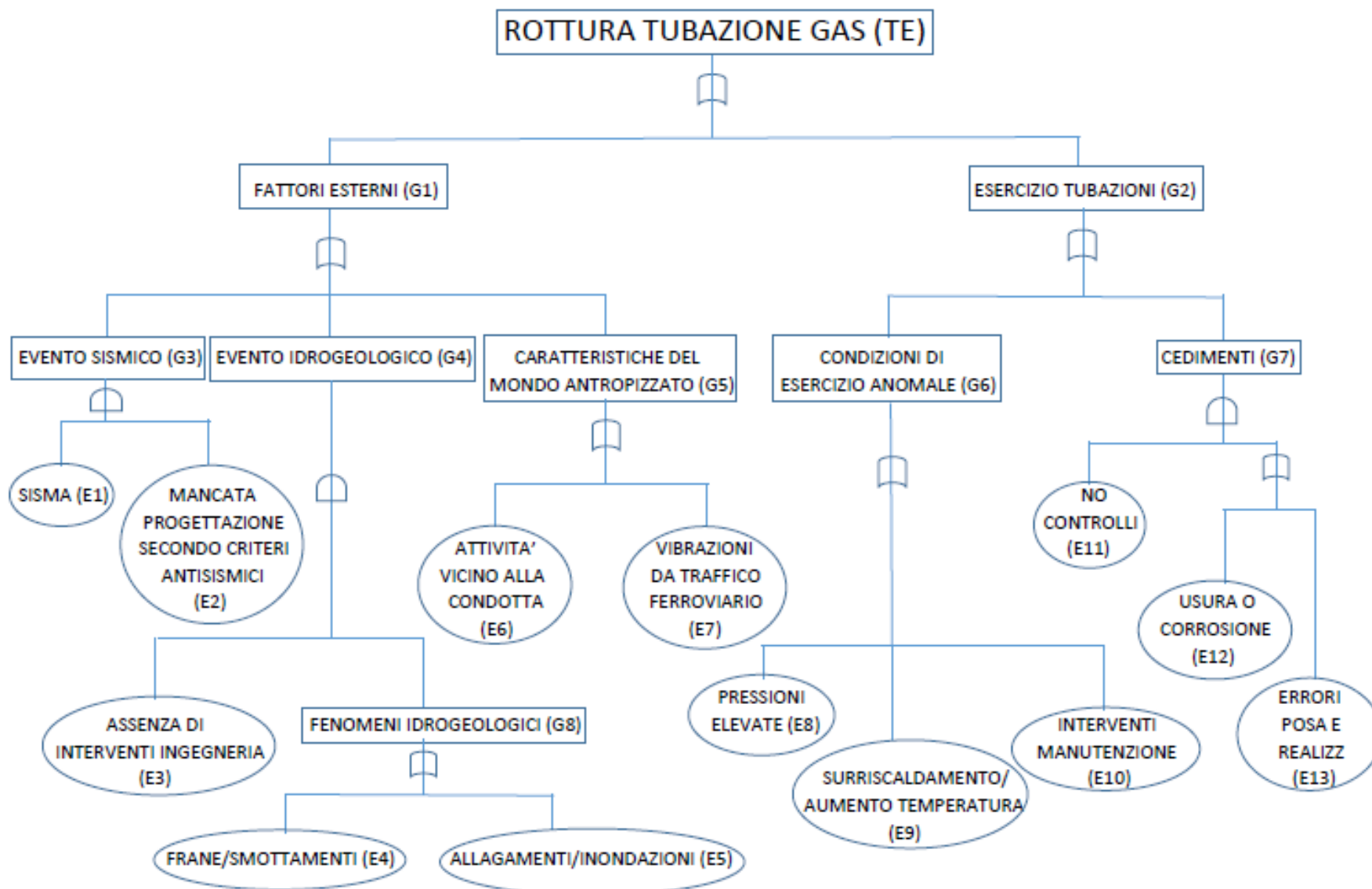
Non essendo più sistemi interrati, come i due casi studio precedentemente enunciati, si dovranno tenere sotto controllo anche altre criticità, collegate da un lato a fenomeni climatici di particolare rilievo, come precipitazioni e vento di elevata intensità, dall'altro a problematiche di stabilità delle strutture portanti, che sorreggono i cavi fino ad una certa altezza.

Il cavo elettrico potrà, quindi, subire due diversi effetti verso la linea ferroviaria sottostante:

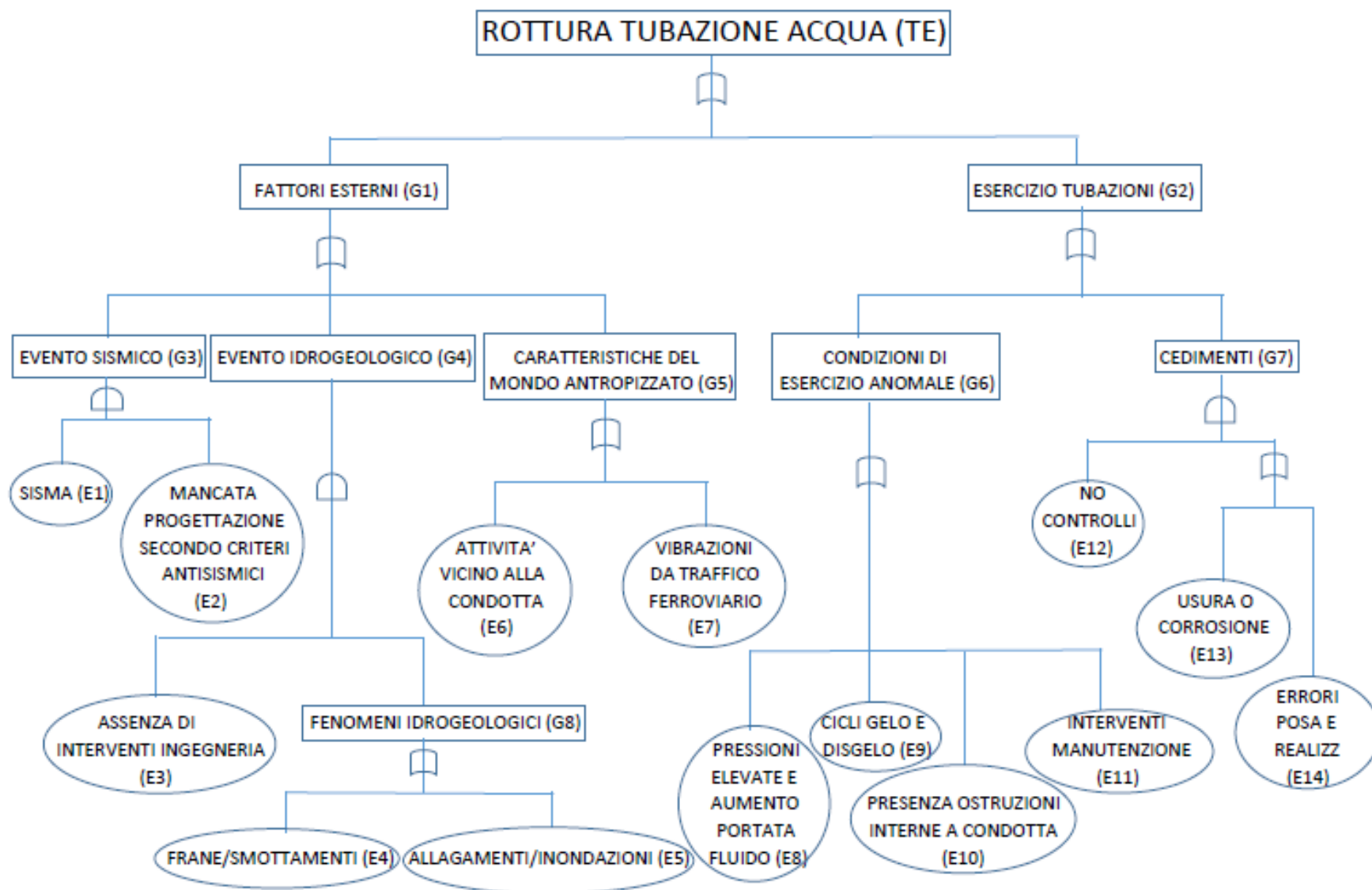
- completa rottura, con interruzione del servizio di distribuzione dell'energia e successiva caduta del cavo sui binari;
- rottura parziale, con abbassamento del livello del cavo rispetto alla posizione originaria di progetto, dovuta a cedimenti o instabilità dei tralicci di sostegno.

Entrambe le situazioni sono pericolose, dal momento che si possono manifestare come ostacoli presenti sull'infrastruttura ferroviaria, che possono dare vita a un deragliamenti del treno in transito.

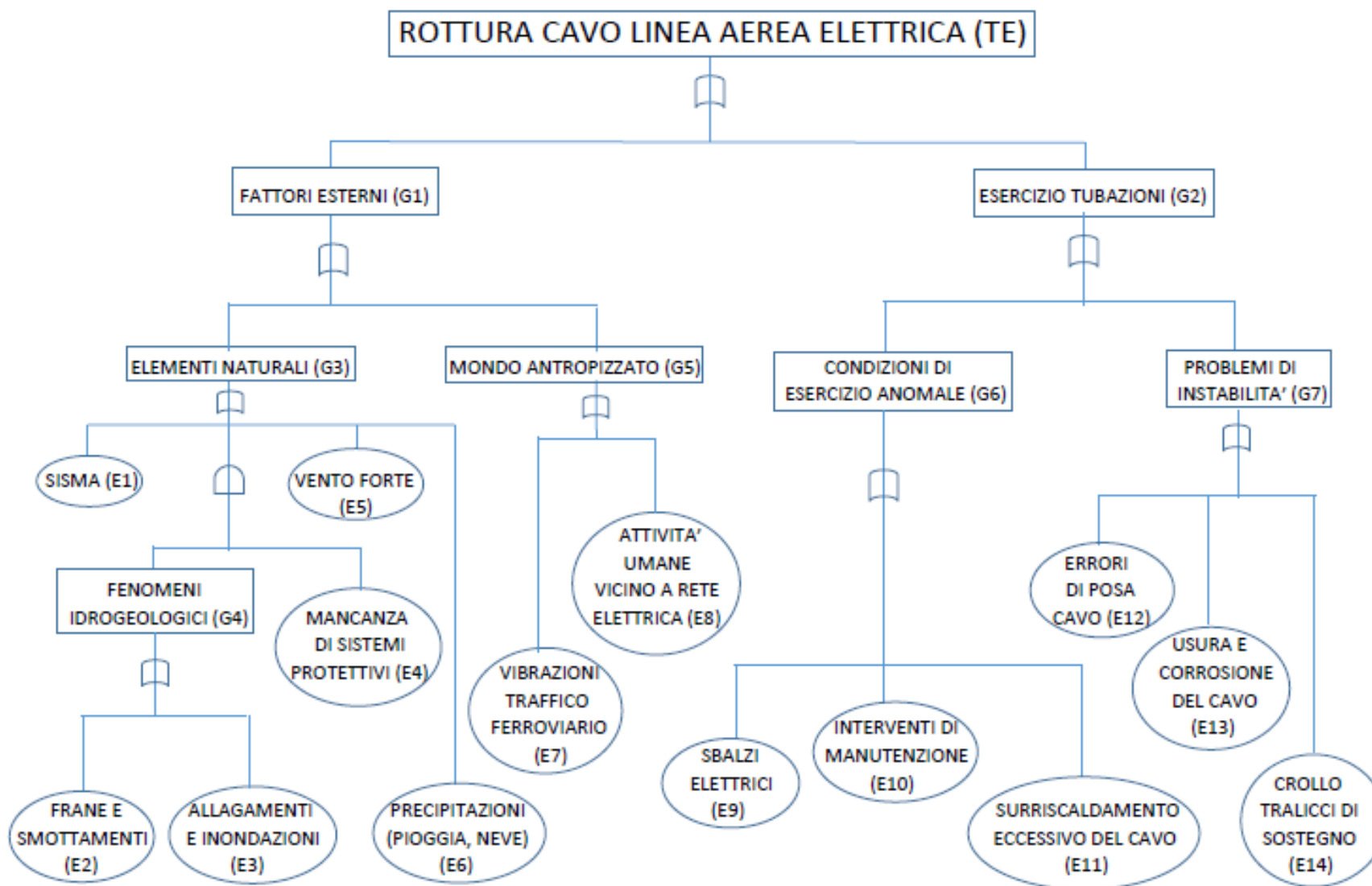
ALBERO DEI GUASTI 1: CASO TUBAZIONI DEL GAS



ALBERO DEI GUASTI 2: CASO TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI



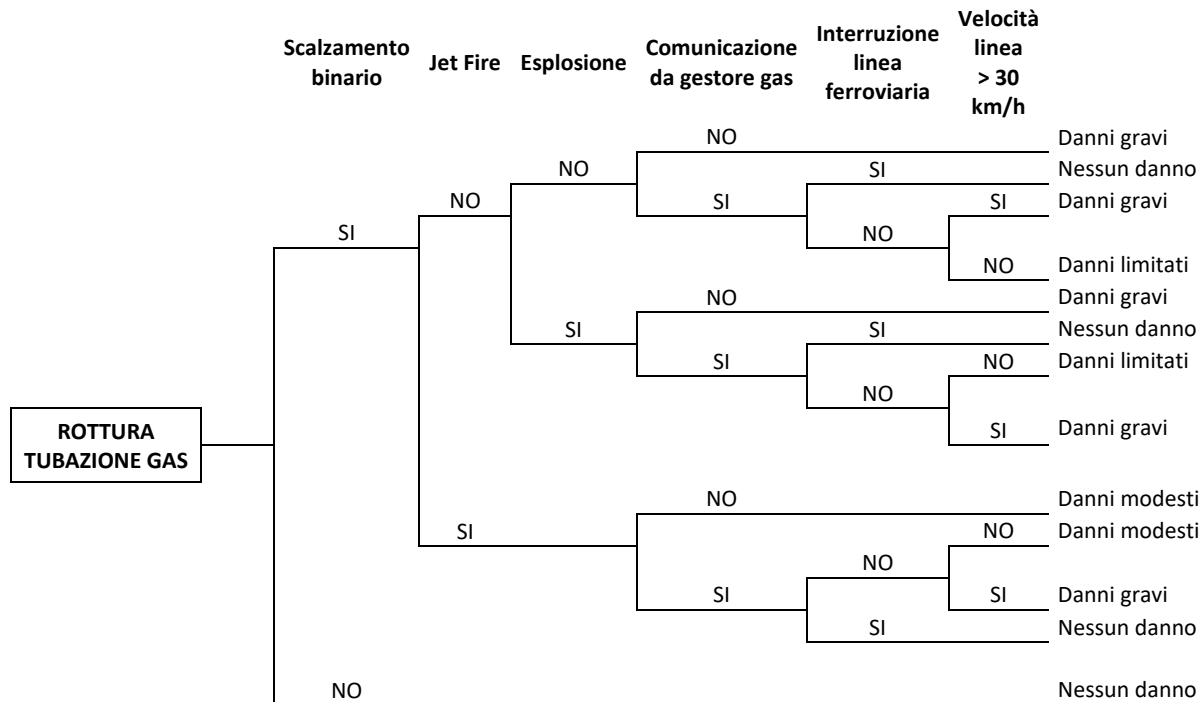
ALBERO DEI GUASTI 3: CASO LINEE AEREE ELETTRICHE



5.3.2 ALBERO DEGLI EVENTI

Si riportano ora gli alberi degli eventi di ciascuna categoria di attraversamenti e parallelismi, trattati nel paragrafo precedente, esplicitandone le caratteristiche principali di ciascuna voce contenuta negli strumenti di analisi utilizzati.

ALBERO DEGLI EVENTI 1: CASO TUBAZIONI DEL GAS



Come si evince dal precedente albero degli eventi, la rottura di una tubazione del gas, situata ad una certa profondità dal piano del ferro, può generare alcune conseguenze importanti:

- all'ambiente circostante, tramite emissione di fumi e gas nell'aria, con conseguente incremento dei tassi di inquinamento e danni per la salute umana;
- all'azienda che distribuisce il gas, con interruzione del servizio di trasporto del fluido;
- al sistema ferroviario sovrastante, con conseguente compromissione dello stato dell'infrastruttura e della sicurezza per la circolazione dei treni lungo la linea.

In particolare in quest'ultimo caso, si possono verificare tre eventi critici importanti:

- lo scalzamento del binario, con possibili distorsioni, spostamenti sul piano orizzontale e formazione di dislivelli anche significativi tra le due rotaie facenti parte dello stesso binario;
- il Jet Fire, ossia un getto di fuoco dalla diffusione violenta, causato dall'ignizione di una miscela di comburente e di combustibile gassoso rilasciato continuamente, con forza significativa, in una o più direzioni. Di fatto, si tratta di un innesco immediato di incendio, che si può propagare velocemente nelle zone limitrofe al sito critico; tale evento si verifica solo in caso di significative pressioni di trasporto del gas;
- l'esplosione violenta, che causerebbe danni decisamente più importanti alle strutture limitrofe. L'ordine di grandezza della probabilità per questo Pivotal Event è più piccolo rispetto a quello del caso precedente, in quanto le statistiche, in riferimento a dati

sperimentali disponibili, attestano che le esplosioni sono meno frequenti rispetto ai casi di incendio, immediato o ritardato.

L'albero degli eventi si genera sempre dall'evento iniziatore individuato nell'albero dei guasti e si articola in diversi rami. La scomposizione viene eseguita nel momento in cui si verificano particolari eventi di criticità, definiti "Pivotal Events", che vengono posizionati in testa al diagramma.

In corrispondenza di ogni Pivotal Event, l'albero si fraziona in altri due rami, ad uno viene associato l'esito negativo, ossia la non verifica dell'evento considerato, e all'altro si attribuisce un risultato positivo, corrispondente alla verifica dell'evento indicato.

Ad ogni ramo positivo viene associata una probabilità di accadimento p , mentre al corrispondente tratto negativo, si associa il complemento a 1 del precedente valore, ossia $1-p$.

Partendo dal valore di frequenza di accadimento dell'evento iniziatore, lo si moltiplica per le probabilità di accadimento dei rami percorsi nella struttura ad albero, fino alla definizione delle frequenze di accadimento dei diversi scenari finali rilevati.

Si tratta di un'intersezione di eventi della logica Booleana, corrispondente alla verifica dell'evento iniziatore di partenza e di tutti i Pivotal Events associati ai diversi rami della struttura percorsi, che portano ad una determinata conseguenza.

Inoltre, quando si incontra una biforcazione in corrispondenza di un determinato Pivotal Event, la probabilità che tale evento sia verificato è data dalla probabilità condizionata, definita dall'evento critico iniziale e dalla sequenza di eventi che porta al Pivotal Event, ossia:

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A) + P(B) - P(A \cup B)}{P(B)}$$

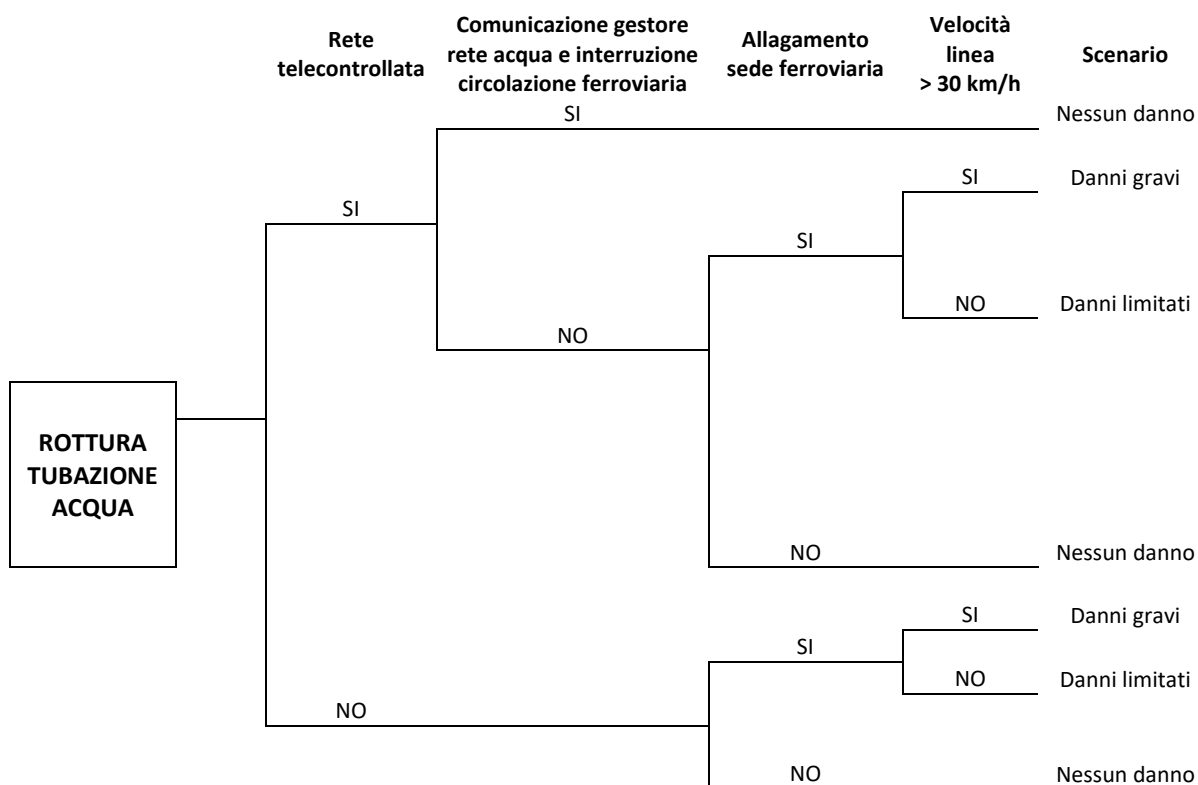
Facciamo ora alcune considerazioni sull'interpretazione delle conseguenze identificate:

Categorie di danno (rif. albero degli eventi)	Descrizione entità del danno/Considerazioni
Nessun danno	Non si rilevano anomalie o problematiche al sistema ferroviario o alle persone. Nessuna conseguenza da segnalare.
Danni limitati	Lievi conseguenze dei passeggeri a bordo del mezzo (contusioni, feriti non gravi,...).
Danni modesti	Riduzione campo di visibilità della tratta ferroviaria, possibile innesco di incendi con parti del treno, feriti gravi a bordo (con possibili ustioni importanti a seguito del contatto col fuoco).
Danni gravi	Possibile deragliamento del treno, con gravi conseguenze per i passeggeri (morti, feriti gravi,...), ingenti spese economiche per la riparazione dei danni al sistema ferroviario, futura provvisoria interruzione della circolazione ferroviaria per eseguire interventi di riparazione dei danni subiti e ripristinare le condizioni ordinarie di esercizio.

Tabella 5.7: Scenari di danno per tubazioni del gas

Ciascuno di questi scenari, unitamente alle frequenze associate ottenute dalla risoluzione dell'albero degli eventi, entrerà in gioco nel successivo step dell'analisi, per la valutazione dell'entità di rischio relativo alle potenziali situazioni individuate.

ALBERO DEGLI EVENTI 2: CASO TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI



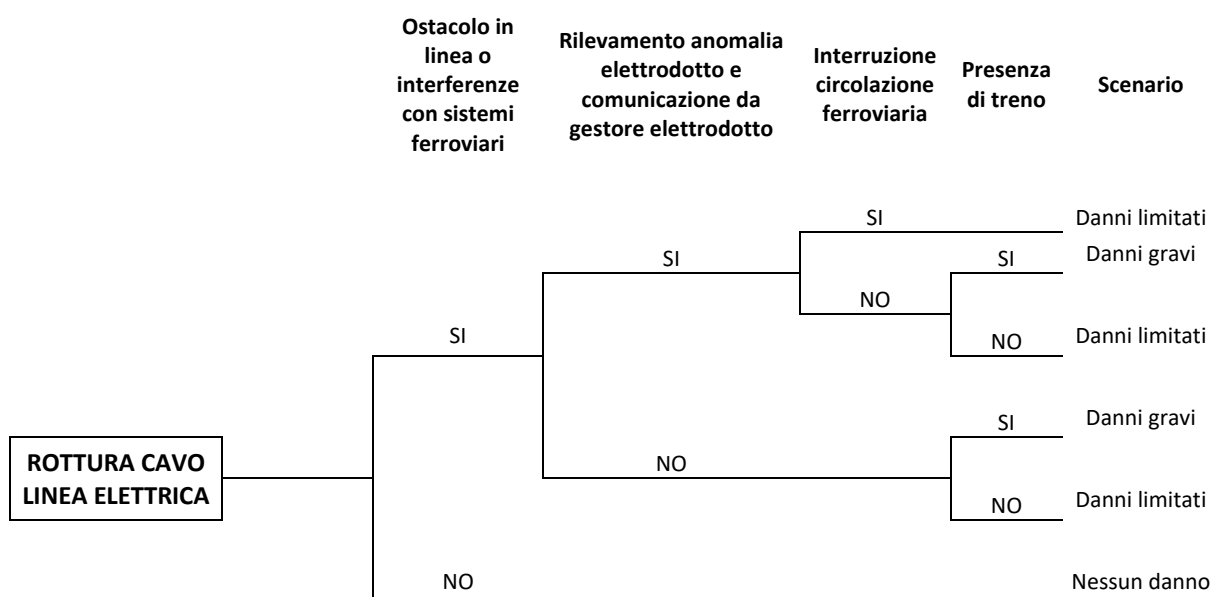
A seguito della rottura di una tubazione acquedottistica si considera il verificarsi di alcuni eventi che determinano la gravità degli scenari ultimi:

- l'eventuale telecontrollo della rete acquedottistica da parte dell'ente gestore del sottoservizio;
- l'eventuale comunicazione della criticità da parte del gestore della rete acquedotto all'ente che gestisce il sistema infrastrutturale ferroviario;
- allagamenti della sede ferroviaria, interpretata come fuoriuscita dell'acqua dalla tubazione rotta, con conseguenze sulla sede ferroviaria in particolare in termini di stabilità della stessa. Anche questo evento rappresenta a tutti gli effetti un potenziale rischio per la circolazione dei treni lungo la linea, specie nel caso in cui i mezzi viaggiano su rotaia a velocità particolarmente sostenute;
- velocità di esercizio della tratta ferroviaria interessata dall'evento indesiderato.

La risoluzione dell'albero è molto semplice e avviene secondo quanto già rappresentato per il caso dei gasdotti, sfruttando le operazioni della logica di Boole.

In ultima analisi, si riporta una tabella riassuntiva, contenente le descrizioni relative ai diversi scenari di danno identificati nell'albero degli eventi. Per la stima quantitativa delle probabilità associate ai diversi rami dei Pivotal Event, si rimanda all'appendice (sezione C).

Scenario di danno (rif. albero degli eventi)	Descrizione entità del danno/Considerazioni
Nessun danno	Non si rilevano anomalie o problematiche al sistema ferroviario o alle persone. Nessuna conseguenza da segnalare.
Danni limitati	Lievi conseguenze per una o più persone (contusioni, feriti non gravi,...).
Danni modesti	Distorsioni o spostamenti trasversali della sovrastruttura ferroviaria, presenza di uno o più feriti gravi.
Danni gravi	Possibile deragliamento del treno, con gravi conseguenze impatti per l'infrastruttura ferroviaria, presenza di numerosi feriti gravi e morte di una o più persone. Ingenti spese economiche per la riparazione dei danni al sistema ferroviario, provvisoria interruzione della circolazione ferroviaria per eseguire interventi di riparazione dei danni subiti.

Tabella 5.8: Scenari di danno per tubazioni per acquedotti**ALBERO DEGLI EVENTI 3: CASO LINEE AEREE ELETTRICHE**

In questo caso specifico, le criticità maggiori rintracciabili dalla rottura, parziale o totale, del cavo di tensionamento di un elettrodotto aereo sono:

- ostacolo in linea, rappresentato appunto dal cavo che si è abbassato di livello rispetto alla quota di posizionamento iniziale, con possibili interferenze con componenti del sistema ferroviario sottostante;
- rilevamento dell'anomalia (interruzione del servizio di trasporto dell'energia elettrica nell'elettrodotto), con eventuale comunicazione della criticità all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria;
- interruzione della circolazione ferroviaria; si tratta di una decisione presa dal personale ferroviario in presenza di pericolo per permettere il ripristino delle condizioni ordinarie di esercizio.

Inoltre, è stato aggiunto un quarto Pivotal Event, denominato “Presenza di treno”, che fa capire come le conseguenze determinate da queste condizioni avverse possono dare luogo a danni

decisamente più importanti, qualora l'evento critico si manifesta in concomitanza con il passaggio di un convoglio ferroviario.

I diversi scenari di danno elaborati sono riportati nella seguente tabella:

Scenario di danno (rif. albero degli eventi)	Descrizione entità del danno/Considerazioni
Nessun danno	Nessuna conseguenza da segnalare né per la ferrovia né per le persone.
Danni limitati	Possibili impatti sulla ferrovia, possibili interferenze con parti del sistema ferroviario (cavi di alimentazione elettrica dei treni, sovrastruttura, sistemi di segnalamento), nessun danno fisico per le persone.
Danni modesti	Possibile deragliamento del treno, possibili interazioni con parti del convoglio, possibili feriti (lievi e gravi), accumulo di ritardi per la circolazione ferroviaria.
Danni gravi	Possibile deragliamento del treno, possibili perdite componenti del treno in transito, molteplici feriti anche di grave entità, possibili molteplici vittime, ingenti danni economici per la ferrovia, possibile interruzione provvisoria della circolazione ferroviaria per effettuare sopralluoghi ed interventi atti a ripristinare le condizioni ordinarie di esercizio dell'impianto e del sistema ferroviario.

Tabella 5.9: Scenari di danno per linee aeree elettriche

5.3.3 MATRICI DI RISCHIO

In riferimento alla matrice di rischio riportata nel paragrafo 4.2.4, con le relative scale di probabilità e danno, si è individuato per ciascuno scenario, indicato nell'albero degli eventi, l'entità del rischio, comprendendo di conseguenza dove è necessario intervenire imponendo requisiti specifici.

Una volta risolto l'albero degli eventi, si sono associate i risultati in termini di frequenze di accadimento di ciascuno scenario di danno alle diverse classi della tabella 4.1, prendendo in considerazione i seguenti intervalli:

- inverosimile per frequenze inferiori a 10^{-8} ;
- improbabile per frequenze comprese tra 10^{-8} e 10^{-7} ;
- remoto per frequenze comprese tra 10^{-7} e 10^{-6} ;
- occasionale per frequenze comprese tra 10^{-6} e 10^{-5} ;
- probabile per frequenze comprese tra 10^{-5} e 10^{-3} ;
- frequente per frequenze superiori a 10^{-3} .

Al tempo stesso, si sono associati i quattro scenari di danno, individuati nel paragrafo precedente, con le quattro classi della scala di riferimento per la stima delle conseguenze riportate in tabella 4.2:

- insignificante: nessun danno;
- marginale: danni limitati;
- critico: danni modesti;
- catastrofico: danni gravi.

Si ottengono, in questa maniera, i corrispettivi indici di frequenza e danno con cui entrare all'interno della matrice di rischio e, effettuando il prodotto tra questi valori, si riesce ad individuare la cella della matrice associata alla situazione in esame.

In ultima analisi, in base alla posizione e al colore della cella risultante dal prodotto ottenuto, si riesce facilmente a capire, innanzitutto, se il rischio è trascurabile (zona verde), accettabile (zona gialla) o non tollerabile (zona rossa) e, nel contempo, dove risulta necessario andare ad imporre requisiti specifici, che vadano a mitigare una determinata criticità.

5.3.4 MISURE PREVENTIVE E MITIGATIVE: DEFINIZIONE REQUISITI

Una volta identificati e quantificati i rischi esistenti, che si potrebbero manifestare con impatto più o meno rilevante sulla ferrovia, si vanno ad individuare le cosiddette misure mitigative, preventive e di protezione utili, che si trasformano in requisiti da imporre a chi gestisce attraversamenti e parallelismi.

In generale, se ci si ritrova ad avere probabilità particolarmente elevate, vuol dire che i requisiti relativi devono essere applicati per forza e devono essere necessariamente soddisfatti; al contrario, se si ottengono valori di criticità per un determinato componente relativamente bassi, significa che tale fenomeno impatta di meno rispetto ad altri più preponderanti.

Si stabilisce così facilmente una gerarchia di requisiti da imporre ed una priorità di interventi da operare, in funzione dei risultati ottenuti in termini probabilistici o di frequenza di accadimento.

È altrettanto evidente intuire che alcuni di questi requisiti sono di primaria importanza e, pertanto, dovranno essere richiesti ed applicati sempre, mentre altri vengono attuati solamente sotto alcune condizioni specifiche.

Tutto sommato, è necessario tenere in conto che la definizione dei requisiti da imporre prevede anche la conoscenza del periodo temporale in cui l'attraversamento o il parallelismo viene realizzato; lungo la linea ferroviaria in esame, infatti, si possono individuare strutture esistenti, realizzate in un passato più o meno remoto e strutture di nuova realizzazione, che sono state introdotte recentemente. Ovviamente, nel primo caso le norme di progettazione di riferimento e le modalità o tecnologie di realizzazione possono essere diverse rispetto alle interferenze moderne più recenti, che devono presentare requisiti accettabili in riferimento ai canoni normativi attualmente vigenti.

Le misure preventive e mitigative, tendenzialmente, vengono intese come attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva, atti a prevenire il manifestarsi di situazioni pericolose, a proteggere i lavoratori e i passeggeri che usufruiscono del trasporto su rotaia da rischio di infortunio, tutelando la loro salute ed incolumità ed a salvaguardare il sistema ferroviario da inconvenienti o danni di varia origine.

Prima di procedere con l'elenco di tutte le possibili misure preventive e protettive, è opportuno soffermarsi sulle definizioni tecniche di tali concetti.

Per **prevenzione**, si intende il complesso dei dispositivi e delle misure necessarie per evitare o diminuire i rischi, agendo sulla probabilità o frequenza di accadimento di un determinato incidente, diminuendole, indipendentemente dall'entità del danno.

Per **protezione**, invece, si intende l'insieme delle misure di sicurezza che consentono l'impiego di mezzi tecnici specifici, misure organizzative e operative, per tutelare le persone e l'ambiente dai pericoli che non possono essere ragionevolmente eliminati o sufficientemente limitati. Le misure di protezione sono quelle che intervengono per diminuire l'entità o magnitudo del danno nel momento in cui si verifica l'evento indesiderato.

In genere, si è soliti suddividere le protezioni in:

- PASSIVE, quando non richiedono l'azione di un operatore o di un impianto; hanno lo scopo di eliminare preventivamente un evento negativo e/o ridurne gli effetti;
- ATTIVE, quando richiedono l'azione di un operatore o di un impianto al fine di impedire l'estendersi dell'evento negativo.

Ovviamente, nel caso delle diverse categorie di attraversamenti e parallelismi che sono state studiate nei paragrafi precedenti, si possono ricercare alcune misure di prevenzione utili a mitigare l'entità del rischio nei confronti del sistema ferroviario.

CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS

Nel caso in esame sono state individuate le seguenti misure preventive e di mitigazione, già presenti oppure da realizzare in condizioni specifiche, in modo tale da limitare il più possibile o eliminare del tutto i danni per la ferrovia. Alcuni di questi requisiti vengono applicati alle voci individuate nell'albero dei guasti, altre, invece, agli scenari identificati nell'albero degli eventi. Il numero attribuito a ciascun requisito serve per l'indicazione delle condizioni da applicare all'interno dello strumento pratico implementato su Excel, illustrato nel capitolo 6.

Elementi di riferimento	Requisiti specifici da imporre	Numero requisito
Evento sismico	Progettazione delle condotte secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente (NTC 2008 per sistemi impiantistici, EC 8, DM del 4 aprile 2014).	1
	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle condotte o dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato.	2
	Monitoraggio dello stato della condotta durante le fasi di esercizio e successivamente ad eventi sismici di qualsiasi entità per verificare eventuali rotture, spostamenti o deformazioni della condotta.	3
	Introduzione di sistemi di protezione antisismica, che tutelino la condotta durante eventi sismici.	4
Evento idrogeologico	Progettazione di interventi di ingegneria ai lati della ferrovia, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio,...).	5
	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle opere di protezione a eventi idrogeologici da parte di personale formato e competente.	6
	Presenza sistemi di monitoraggio dei fenomeni idrogeologici per rilevamento di condizioni critiche.	7
	Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato delle opere e rilevazione di eventuali anomalie da risolvere con comunicazione al gestore dell'infrastruttura per evitare ripercussioni sulla linea.	8
Attività antropiche	Comunicazione di lavori di natura antropica di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	9
	Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (a condotte oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le	10

	giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.		
Condizioni di esercizio delle condotte	FASE DI PROGETTAZIONE	Preparazione del progetto (tracciato, diametro, spessore, sistemi di giunzione delle condotte) da parte di personale competente con formazione e mantenimento delle competenze (ingegneri, progettisti,...).	11
		Criteri di progettazione conformi alla normativa vigente.	12
	FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione lavori di realizzazione da parte di personale formato, competente, aggiornato e con esperienza.	13
		Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	14
		Effettuazione di controlli/verifiche/collaudi, con eventuale successivo rilascio di certificazione da parte di un ente terzo.	15
		Buona scelta dei materiali impiegati, con buone proprietà meccaniche (resistenza agli sforzi e alle azioni degli agenti atmosferici esterni, buona durabilità a medio e lungo termine).	16
		Rispetto delle soglie limite di profondità (0,9 m per attraversamenti) o distanza (20 m per parallelismi) delle condotte dalla sede ferroviaria.	17
	CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio della tubazione (range di pressioni, temperature, densità/viscosità del gas).	18
		Analisi delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza nei confronti del sistema ferroviario.	19
		Presenza di sistemi di rilevamento delle anomalie di funzionamento, con successiva immediata comunicazione dell'evento all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	20
		Controlli periodici, eseguiti da personale esperto e formato, per verifica dello stato e delle condizioni in cui opera la tubazione.	21
	CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (condotte e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	22
		Presenza di opere d'arte a protezione della sede ferroviaria ai lati della linea.	23
		Presenza di tubi esterni di diametro maggiore rispetto alla condotta oppure sistemi di rafforzamento come sigillature, chiusure ermetiche,...	24

	CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione dell'anomalia di funzionamento da parte dell'ente gestore del sottoservizio al gestore dell'infrastruttura.	25
		Verifica immediata in situ dell'anomalia e degli eventuali danni nei confronti della condotta o dell'infrastruttura da parte di personale esperto e competente.	26
		Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui questo non fosse presente in situ.	27
Interventi di manutenzione	Controlli periodici per verifica dello stato e prestazioni della condotta oppure interventi immediati o a breve termine per risoluzione delle criticità istantanee ed improvvise (scoppi, rotture, dispersioni di materiale interno alla condotta, fessurazioni, cedimenti, creazione di ostruzioni, incendi, danni locali, collassi globali).		28
	Esecuzione dei lavori da parte di personale esperto e competente.		29
	Comunicazione dell'intervento all'ente gestore dell'infrastruttura e ad eventuali gestori dei sottoservizi limitrofi all'attraversamento/parallelismo in esame.		30
	Presenza del personale ferroviario in situ durante le operazioni delicate della condotta, per controllare da vicino eventuali danni nei confronti della ferrovia e imporre eventualmente delle misure cautelative per la circolazione dei convogli lungo la linea. Eventuali provvedimenti che gli operatori ferroviari possono prendere per garantire le condizioni di sicurezza del sistema ferroviario: limitazioni della velocità su alcuni tratti dell'infrastruttura nelle vicinanze dei lavori di manutenzione (soglia limite di riferimento: 30 km/h), deviazione dei convogli su altre linee limitrofe adiacenti, con possibile accumulo di ritardi ed aumenti dei tempi di viaggio, circolazione alternata nei due sensi di marcia su un unico binario, nel caso di linea a doppio binario con doppio senso di circolazione, interruzione della circolazione ferroviaria.		31

Tabella 5.10: Requisiti per tubazioni del gas**CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI**

Elementi di riferimento	Requisiti specifici da imporre	Numero requisito
Evento sismico	Progettazione delle condotte secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente (NTC 2008 per sistemi impiantistici, EC 8, DM del 4 aprile 2014): uso sistemi antisismici.	1
	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle condotte o dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato e con esperienza.	2
	Monitoraggio dello stato della condotta durante le fasi di esercizio e successivamente ad eventi sismici di qualsiasi entità per verificare eventuali rotture, spostamenti o deformazioni della condotta.	3
	Introduzione di sistemi di protezione antisismica, che tutelino la condotta durante eventi sismici.	4
Evento idrogeologico	Progettazione di interventi di ingegneria ai lati della ferrovia, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio,...).	5

	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle opere di protezione a eventi idrogeologici da parte di personale formato e competente.		6
	Presenza sistemi di monitoraggio dei fenomeni idrogeologici per rilevamento di condizioni critiche.		7
	Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato delle opere e rilevazione di eventuali anomalie da risolvere con comunicazione al gestore dell'infrastruttura per evitare ripercussioni sulla linea.		8
Attività antropiche	Comunicazione di lavori di natura antropica di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.		9
	Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (a condotte oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.		10
Condizioni di esercizio delle condotte	FASE DI PROGETTAZIONE	Preparazione del progetto (tracciato, diametro, spessore, sistemi di giunzione delle condotte) da parte di personale competente con formazione e mantenimento delle competenze (ingegneri, progettisti,...).	11
		Criteri di progettazione conformi ai canoni previsti dalla normativa vigente.	12
	FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione lavori di realizzazione da parte di personale formato, competente, aggiornato e con esperienza.	13
		Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	14
		Effettuazione di controlli/verifiche/collaudi, con eventuale successivo rilascio di certificazione da parte di un ente terzo.	15
		Buona scelta dei materiali impiegati, con buone proprietà meccaniche (resistenza agli sforzi e alle azioni degli agenti atmosferici esterni, buona durabilità a medio e lungo termine).	16
		Presenza di sistemi di isolamento da escursioni termiche o sistemi di impermeabilizzazione per evitare infiltrazioni di acqua o sostanze provenienti dall'ambiente esterno.	17
		Rispetto delle soglie limite di profondità (0,9 m per attraversamenti) o distanza (20 m per parallelismi) delle condotte dalla sede ferroviaria, al fine di limitare il più possibile gli impatti nei confronti del complesso ferroviario.	18
	CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio della tubazione (range di pressioni interne, confronto tra pressione di esercizio della condotta e la pressione esterna, velocità del moto interno del fluido, grado di scabrezza interno, portata, ecc.).	19

		Analisi dettagliata e attenta delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza, anche di lieve entità, nei confronti del sistema ferroviario.	20
		Presenza di sistemi di rilevamento delle anomalie di funzionamento, con successiva immediata comunicazione dell'evento all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	21
		Controlli periodici, eseguiti da personale esperto e formato, per verifica dello stato e delle condizioni in cui opera la tubazione.	22
	CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (condotte e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	23
		Presenza di opere d'arte a protezione della sede ferroviaria ai lati della linea.	24
		Presenza di tubi di protezione esterni di diametro maggiore rispetto alla condotta oppure sistemi di rafforzamento come sigillature, chiusure ermetiche,... tanto per le tubazioni interrate quanto per quelle a pelo libero.	25
	CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione dell'anomalia di funzionamento da parte dell'ente gestore del sottoservizio al gestore dell'infrastruttura.	26
		Verifica immediata in situ dell'anomalia e degli eventuali danni nei confronti della condotta o dell'infrastruttura da parte di personale esperto e competente.	27
		Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui questo non fosse presente in situ.	28
Interventi di manutenzione	Controlli periodici per verifica dello stato e prestazioni della condotta oppure interventi immediati o a breve termine per risoluzione delle criticità istantanee ed improvvise (scoppi, rotture, dispersioni di materiale interno alla condotta, fessurazioni, cedimenti, creazione di ostruzioni, incendi, danni locali, collassi globali).		29
	Esecuzione dei lavori da parte di personale esperto e competente.		30
	Comunicazione dell'intervento all'ente gestore dell'infrastruttura e ad eventuali gestori dei sottoservizi limitrofi all'attraversamento/parallelismo in esame.		31
	Presenza del personale ferroviario in situ durante le operazioni delicate della condotta, per controllare da vicino eventuali danni nei confronti della ferrovia e imporre eventualmente delle misure cautelative per la circolazione dei convogli lungo la linea. Eventuali provvedimenti che gli operatori ferroviari possono prendere per garantire le condizioni di sicurezza del sistema ferroviario: limitazioni della velocità su alcuni		32

	tratti dell'infrastruttura nelle vicinanze dei lavori di manutenzione (soglia limite di riferimento: 30 km/h), deviazione dei convogli su altre linee limitrofe adiacenti, con possibile accumulo di ritardi ed aumenti dei tempi di viaggio, circolazione alternata nei due sensi di marcia su un unico binario, nel caso di linea a doppio binario con doppio senso di circolazione, interruzione della circolazione ferroviaria.	
--	---	--

Tabella 5.11: *Requisiti per tubazioni per acquedotti***CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE**

Elementi di riferimento	Requisiti specifici da imporre	Numero requisito
FASE DI PROGETTAZIONE	Progettazione dell'impianto secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente.	1
	Buona scelta dei materiali per cavi, tralicci di sostegno e fondazioni.	2
	Progettazione di buoni sistemi di fondazione e tiranti in acciaio in profondità.	3
	Rispetto delle distanze minime di riferimento qualora il sistema lungo il proprio tracciato intersechi altre strutture o infrastrutture (come, ad esempio, nel caso di infrastrutture ferroviarie, rispetto dell'altezza minima dei cavi dal piano del ferro (8 metri), distanza minima dei pali di sostegno dai binari, ...).	4
	Definizione di soglie limite di riferimento per l'esercizio dell'impianto (intensità di corrente attraversata dal cavo, voltaggio, frequenza nominale, ...).	5
	Progettazione di sistemi di protezione dei cavi per evitare cortocircuiti durante condizioni meteo avverse o rotture.	6
	Progettazione di sistemi di monitoraggio lungo il tracciato dell'impianto elettrico per il rilevamento di anomalie di funzionamento.	7
	Rilascio di certificazioni, autorizzazioni o nulla osta da parte di un ente terzo per la realizzazione di una nuova struttura.	8
FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione dei lavori di realizzazione e dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato e con esperienza.	9
	Controlli durante le fasi costruttive e di realizzazione per correggere eventuali errori commessi e verifica coerenza dei lavori con i criteri di progettazione stabiliti.	10
	Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	11
CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio dell'impianto.	12
	Analisi dettagliata e attenta delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza, anche di lieve entità, nei confronti del sistema ferroviario.	13
	Rispetto dei parametri di esercizio stabiliti in fase di progettazione.	14
	Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato dell'impianto, con comunicazione al gestore dell'infrastruttura di anomalie rilevate sull'impianto in modo tale da evitare ripercussioni sulla linea ferroviaria.	15
CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (impianto e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	16

	Presenza di elementi protettivi nei confronti degli eventi naturali ai lati della ferrovia e ai lati del tracciato del sistema impiantistico, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio, isolatori sismici alla base delle strutture, ...).	17
CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione immediata da parte del gestore dell'impianto all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria in presenza di anomalie di funzionamento rilevate.	18
	Organizzazione immediata di interventi in situ per la riparazione immediata dell'anomalia rilevata e verifica di eventuali danni per l'impianto o per l'infrastruttura ferroviaria.	19
	Realizzazione degli interventi da parte di personale esperto, competente e formato.	20
	Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui il personale ferroviario non fosse presente in situ durante queste operazioni.	21
ATTIVITA' IN PROSSIMITA' DELLA CONDOTTA	Comunicazione di lavori legati ad attività antropiche di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	22
	Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (ad attraversamenti, parallelismi oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.	23

Tabella 5.12: Requisiti per linee aeree elettriche

5.4 INDICATORI DI MONITORAGGIO

In via del tutto generale, gli indicatori di monitoraggio relativamente ad un rischio consentono di tenere sotto controllo la gestione del rischio definita (efficacia delle misure di prevenzione e mitigazione) e consentono di definire la necessità di eventuali ulteriori interventi, puntuali o sistematici.

A tal proposito, in funzione del loro campo di applicazione, gli indicatori possono essere distinti in diverse tipologie: indicatori di performance, di qualità, di monitoraggio, ecc.

Per la definizione degli indicatori di monitoraggio, è necessario esplicitare una metrica chiara, che descriva, in modo qualitativo o quantitativo, nelle finestre di osservazione definite, l'andamento di certi fenomeni osservabili rispetto ad un valore base di riferimento o un target definito.

Al fine di ricercare al meglio questi indicatori, si utilizzano alcuni attributi fondamentali, riassunti nella seguente tabella:

TABELLA INDICATORE	
Tipologia	Risultato/impatto/performance
Obiettivo	Descrizione dell'obiettivo
Benefici attesi	Descrizione del beneficio atteso
Descrizione	1. Definizione tipologia di indicatore (qualitativo/quantitativo) 2. Presenza descrizione chiara e sintetica dell'indicatore
Valore atteso	Indicare il valore target di riferimento
Modalità di rilevazione	1. Definizione dati elementari coinvolti nella misura 2. Definizione modalità di calcolo (se quantitativa)
Frequenza di rilevazione	Indicare con quale cadenza si intende eseguire la rilevazione dell'indicatore. La rilevazione deve essere coerente con le fasi del progetto o dell'attività per essere significativa.
Ulteriori elementi significativi	Ad esempio: 1. Valore economico dell'obiettivo (se disponibile) 2. Eventuali correlazioni con altri indicatori 3. Eventuali correlazioni con altri contratti 4. Varie ed eventuali

Tabella 5.13: Informazioni per indicatori

Non si tratta, tuttavia, di una scelta facile ed immediata, anzi in molti casi la ricerca può rivelarsi alquanto lunga e complessa e deve essere effettuata da parte di tutti gli attori coinvolti in un determinato processo; in questo caso, possono intervenire per la definizione di questi indicatori diversi organismi, come l'Ente Gestore dell'Infrastruttura, l'Ente Gestore del Sottoservizio, Comune attraversato, proprietari terrieri limitrofi alla zona considerata, autorità locali coinvolte, eccetera.

Per essere ancora più esaustivi, è possibile suddividere ulteriormente gli indicatori di monitoraggio in tre classi generali:

- 1- indicatori di risultato, che misurano gli effetti immediati sul sistema in analisi;
- 2- indicatori di impatto, che misurano i contributi a lungo termine rispetto all'obiettivo generale, come, ad esempio, diminuzione dei tempi o dei costi di una procedura amministrativa, ottimizzazione delle risorse, uso di nuove tecnologie, eccetera;
- 3- indicatori di performance, che misurano il raggiungimento degli obiettivi nell'ambito delle performance dell'infrastruttura.

Nei casi studio descritti nei paragrafi precedenti, così come per tutte le altre tipologie di attraversamenti e parallelismi esistenti, questi indicatori di monitoraggio permettono di avere un'idea degli eventi che possono dare origine alle condizioni di rischio che si sono studiate in precedenza. In altre parole, essi rappresentano delle concause che portano all'evento incidentale analizzato nell'albero degli eventi.

Si possono citare di seguito alcuni esempi di indicatori, utili nell'ambito di applicazione di attraversamenti e parallelismi ferroviari.

1. Attività manutentive ad una condotta o ad un cavo di un elettrodotto.
Numero di interventi effettuati nel periodo di tempo considerato.
Si suppone, ad esempio, di istituire, a seguito della rottura di una tubazione, una serie di attività manutentive per la struttura danneggiata, in corrispondenza della zona in prossimità della ferrovia; in questa specifica situazione, risulta opportuno avere un indicatore che rilevi tutte gli interventi di manutenzione effettuati con le relative

ripercussioni nei confronti della condotta e della ferrovia.

Ovviamente, è intuitivo immaginare che se la circolazione ferroviaria è interrotta durante lo svolgimento dell'attività manutentiva per la riparazione del danno o della criticità associata alla tubazione, gli effetti nei confronti della ferrovia sono decisamente contenuti, dal momento che non ci sono treni in transito sulla linea; pertanto, la questione viene risolta subito tramite una riparazione immediata del danno.

È necessario, comunque, registrare questa criticità, per tenere sotto controllo la situazione senza il verificarsi di eventi incidentali.

Invece, la contemporaneità tra la rottura della tubazione, un mancato controllo e una mancata interruzione della circolazione ferroviaria, avrebbe potuto generare conseguenze piuttosto disastrose.

2. Eventi sismici.

Numero di eventi verificatesi e loro intensità.

L'intensità dei terremoti ed in particolare tutti quegli eventi sismici che si manifestano con una magnitudo superiore ad una certa soglia limite di sopportazione, definita per le diverse categorie di attraversamenti e parallelismi, tenendo conto delle proprietà fisiche e meccaniche degli stessi.

Tutti questi episodi possono essere visti come “quasi incidenti”, ossia delle concause che possono portare all'evento indesiderato; proprio per questa ragione, risulta di vitale importanza tenerne traccia all'interno di una banca dati implementata, per valutare correttamente l'entità del rischio.

3. La frequenza delle perdite di una tubazione: si può rilevare questa informazione ed elaborare una banca dati con questo indicatore, in modo tale da rilevare in base all'andamento dello stesso, eventuali variazioni delle prestazioni della condotta, cogliendo con particolare attenzione i decadimenti per vecchiaia o per eventi particolarmente impattanti.

Tramite questa valutazione si può decidere di agire in via preventiva, prima di arrivare alla rottura completa della tubazione, andando ad esempio a sostituire il tratto di tubazione in prossimità della ferrovia.

4. Anche nell'ambito della progettazione degli attraversamenti e parallelismi conviene registrare appositi indicatori per essere sicuri che i giusti requisiti e criteri imposti siano rispettati; come per le situazioni citate nei punti precedenti, in questo caso si può andare incontro ad una concausa che può portare ad un evento incidentale.

In definitiva, gli indicatori di monitoraggio aiutano a tenere sotto controllo le condizioni anomale che possono portare ad un determinato rischio verso l'ambiente esterno ed in modo particolare verso la ferrovia; di conseguenza, nel momento in cui ci si accorge che le probabilità di accadimento degli eventi indesiderati aumentano notevolmente, è opportuno agire in qualche maniera, ad esempio tramite controlli e verifiche supplementari, oppure istituire adeguati interventi ingegneristici che mitighino i potenziali danni.

Tutto ciò si rifà non più a dati statistici, come all'inizio dell'analisi, ma con riferimento ai dati registrati nel caso specifico esaminato.

CAPITOLO 6 – STRUMENTO IMPLEMENTATO E SOFTWARE

6.1 SCHEDA GENERALE MODULO EXCEL

In unione alla procedura di analisi metodologica, vista nei capitoli 4 e 5 per la gestione sicura di attraversamenti e parallelismi, interfaccianti sulla linea ferroviaria Canavesana di GTT, è stato implementato sul programma Excel uno strumento pratico, veloce e di semplice utilizzo, che consente di tenere sotto controllo i diversi fattori sfavorevoli, che possano portare a condizioni di criticità il sistema in questione, con conseguenze impattanti e danni più o meno rilevanti per la linea ferroviaria.

In particolare, l'obiettivo dello strumento era quello di individuare le principali criticità associate alla realizzazione di un nuovo attraversamento/parallelismo o di valutare le criticità presenti per un'interferenza già esistente. Ciò al fine di determinare le misure di sicurezza da applicarsi per la gestione dei rischi presenti, in termini di requisiti e indicatori di monitoraggio, come definiti nel precedente capitolo.

Lo strumento impostato costituisce sia un supporto nella valutazione della modifica ai sensi del Regolamento 402/2013 in caso di nuove realizzazioni sia un supporto per la definizione di nuove modalità di gestione per le interferenze esistenti.

Nello strumento Excel sono infatti già definite: le caratteristiche della linea (caratterizzazione per ciascun punto della rete dal punto di vista sismico, idrogeologico, ecc.); relazioni tra i diversi fattori che possono impattare sulla sicurezza sulla base degli alberi dei guasti descritti nel precedente capitolo.

Nella scheda generale sono inserite dall'operatore, manualmente o mediante selezione tra le diverse opzioni disponibili nei menù a tendina predisposti, tutte le informazioni di input necessarie per l'identificazione dell'interferenza in esame, sia in termini di caratteristiche e proprietà, che in termini di contestualizzazione spaziale in riferimento alla rete ferroviaria Canavesana di GTT; ad esempio, si richiedono: la progressiva spaziale dove l'infrastruttura ferroviaria ha interfaccia con l'attraversamento o il parallelismo, la tipologia di struttura ed eventualmente il materiale trasportato dal sottoservizio, l'eventuale presenza di attività antropiche nelle vicinanze dell'interferenza, ecc.

In funzione dei dati che vengono raccolti ed inseriti dall'utente nell'apposita mascherina di input, si visualizzano diverse informazioni di output, utili per raggiungere gli obiettivi dell'analisi descritti nei capitoli 4 e 5.

In primo luogo, in base alla caratterizzazione idrogeologica e sismica del punto in esame, all'eventuale presenza di altre attività antropiche o di altre interferenze esterne nelle vicinanze e ai criteri di progettazione adottati, il modulo restituisce automaticamente tutte le frequenze di accadimento relative alle diverse criticità associate ad un dato attraversamento o parallelismo; in questa maniera, pertanto, è possibile definire quanto pesa ciascun fattore indesiderato rispetto al Top Event iniziatore, riuscendo, di conseguenza, ad individuare la criticità maggiore per questo determinato attraversamento o parallelismo, definita in Excel mediante la ricerca del massimo numerico tra tutti i valori di frequenza di accadimento delle singole voci contemplate.

In una tabella successiva sono state inserite le voci presenti nei diversi box dell'albero dei guasti con le corrispondenti frequenze di accadimento derivanti dalle banche dati di riferimento o da

quantità stimate, con soddisfacimento di diversi requisiti imposti. Infatti, in alcune situazioni, come, per esempio, nel caso della stima della probabilità di errore umano con la tecnica HEART, per alcune voci si sono definite più opzioni differenti corrispondenti alle diverse assunzioni e a condizioni di riferimento individuate.

Le quantità, in termini di frequenze di accadimento e probabilità di verifica, associate ai diversi eventi della struttura ad albero, sono state inserite in appositi fogli Excel con le rispettive considerazioni in merito alla stima o alla fonte da cui derivano questi valori. È stato creato un collegamento tra le diverse pagine del file, in modo tale da generare un aggiornamento automatico di tutte le informazioni, qualora venissero introdotte modifiche per alcuni dati di base.

Mediante le operazioni matematiche di somma e moltiplicazione, in base alle porte logiche AND e OR, inserite nell'albero dei guasti, si è potuto risolvere l'albero dei guasti, risalendo alla frequenza di accadimento del Top Event.

In un successivo foglio Excel è stato costruito l'albero degli eventi, all'interno del quale si possono identificare i diversi Pivotal Events e i possibili scenari che si possono manifestare, in base all'esito positivo o negativo del percorso che si decide di intraprendere all'interno del diagramma logico.

Per ogni ramo corrispondente ai vari Pivotal Events dell'albero, sono state attribuite le probabilità di verifica e i rispettivi complementi a 1 per la non verifica, che vanno a moltiplicare la frequenza di accadimento associata al Top Event iniziatore, producendo come risultato le frequenze di accadimento dei singoli scenari di danno possibili.

Una volta determinati i potenziali scenari di danno e le relative frequenze di accadimento, si associano tali informazioni agli indici della matrice di rischio, secondo la struttura tabellare e le scale esplicative indicate nel paragrafo 4.2.4.

In particolare, come già spiegato, per le frequenze di accadimento ci si riferisce agli intervalli, in termini di ordini di grandezza, enunciati nel paragrafo 5.3.3; per quanto riguarda la magnitudo delle conseguenze si prendono in considerazione le descrizioni riportate nella tabella 4.2.

Successivamente, effettuando il prodotto tra i due indici, si intercetta la cella della matrice, che permette di identificare l'entità del rischio in questione e, conseguentemente, i requisiti da richiedere a chi coordina l'interferenza per far rientrare il rischio nell'accettabilità, in caso di condizione di estrema criticità (zona rossa della matrice).

Si fa presente che, per semplicità, come output della colonna "Requisiti" compaiono solamente codici numerici, che sono associati alle diverse misure preventive e mitigative riportate nelle tabelle presenti al paragrafo 5.3.4.

In definitiva, si può enunciare che l'obiettivo principale di questa scheda Excel è quello di costruire uno strumento di semplice utilizzo per coloro che si occupano della gestione di attraversamenti e parallelismi. In questa maniera, si riesce ad avere un quadro completo delle informazioni necessarie per poter tenere sotto controllo tutti i possibili fattori di rischio impattanti sulla linea ferroviaria in corrispondenza di una qualsiasi progressiva della tratta, in funzione dei dati di input inseriti dall'utente e in base alla caratterizzazione della linea dal punto di vista idrogeologico e sismico.

Inoltre, questa scheda di Excel consente non solo di gestire correttamente le criticità annesse a strutture esistenti, ma permette anche di individuare i requisiti essenziali da imporre per la realizzazione di un nuovo attraversamento o parallelismo nel futuro, guidando i vari enti interessati nella valutazione dei pericoli annessi alla creazione di una nuova struttura, in corrispondenza di un punto specifico della linea ferroviaria e, al contempo, capire quali misure di sicurezza richiedere per garantire la sicurezza della circolazione ferroviaria.

6.2 ESEMPI PRATICI DI IMPLEMENTAZIONE

In questo paragrafo vengono riportati alcuni esempi applicativi per le diverse tipologie di attraversamenti e parallelismi considerati nei casi studio del capitolo 5, usando lo strumento implementato su Excel descritto nel paragrafo precedente.

CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS

Si considera a titolo esemplificativo un metanodotto (diametro di 100 mm, diametro del tubo di protezione esterno di 200 mm e pressione di esercizio di 12 bar), sito ad una profondità di 2 metri dal piano del ferro dell'infrastruttura ferroviaria, che attraversa la linea Canavesana di GTT in corrispondenza della progressiva spaziale +30,315 km.

- 1) TABELLA N°1: in questo prospetto vengono inseriti dall'operatore, manualmente o tramite menù a tendina predisposto, tutti i dati di input necessari, che verranno elaborati dal programma, per ricavare le successive informazioni con i risultati di interesse.

Informazioni di input	Valori/Dato	Unità di misura
Indicare se: "Attraversamento" o "Parallelismo"	Attraversamento	---
Indicare se l'attraversamento o il parallelismo è di nuova realizzazione oppure esistente	Nuovo	---
Tipologia di attraversamento o parallelismo (acqua, gas, linea elettrica)	Gas	---
Nel caso di condotte gas, indicare pressione di esercizio	12	bar
Nel caso di condotte per acquedotti, indicare pressione di esercizio	---	bar
Nel caso di linee elettriche, indicare intensità di corrente	---	kW
Progressiva linea (dove ho attraversamento/parallelismo) [N.B. Inserire progressiva nel formato xx,xxx]	30,315	km
Profondità/altezza attraversamento rispetto al piano del ferro oppure distanza parallelismo rispetto alla rotaia più vicina	2	m
Presenza di attività antropiche nelle vicinanze (Indicare nel box a destra se "Scavi", "Attività di drenaggio", "Lavori con macchine agricole/edili", "Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze")	Scavi	---
	---	---
	Lavori con macchine agricole/edili	---
	Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze	---
Progettazione dell'attraversamento o del parallelismo secondo criteri antisismici	Si	---
Presenza interventi di ingegneria	Si	---
Presenza di controlli per attraversamento/parallelismo	Si	---

- 2) TABELLA N°2: in questo prospetto vengono raccolti i primi dati di output. In particolare, si visualizzano tutti gli eventi indesiderati, individuati con le relative frequenze di accadimento e, alla fine del processo, si determina la criticità di maggior impatto per l'attraversamento esaminato, data dal fattore con l'ordine di grandezza più grande.

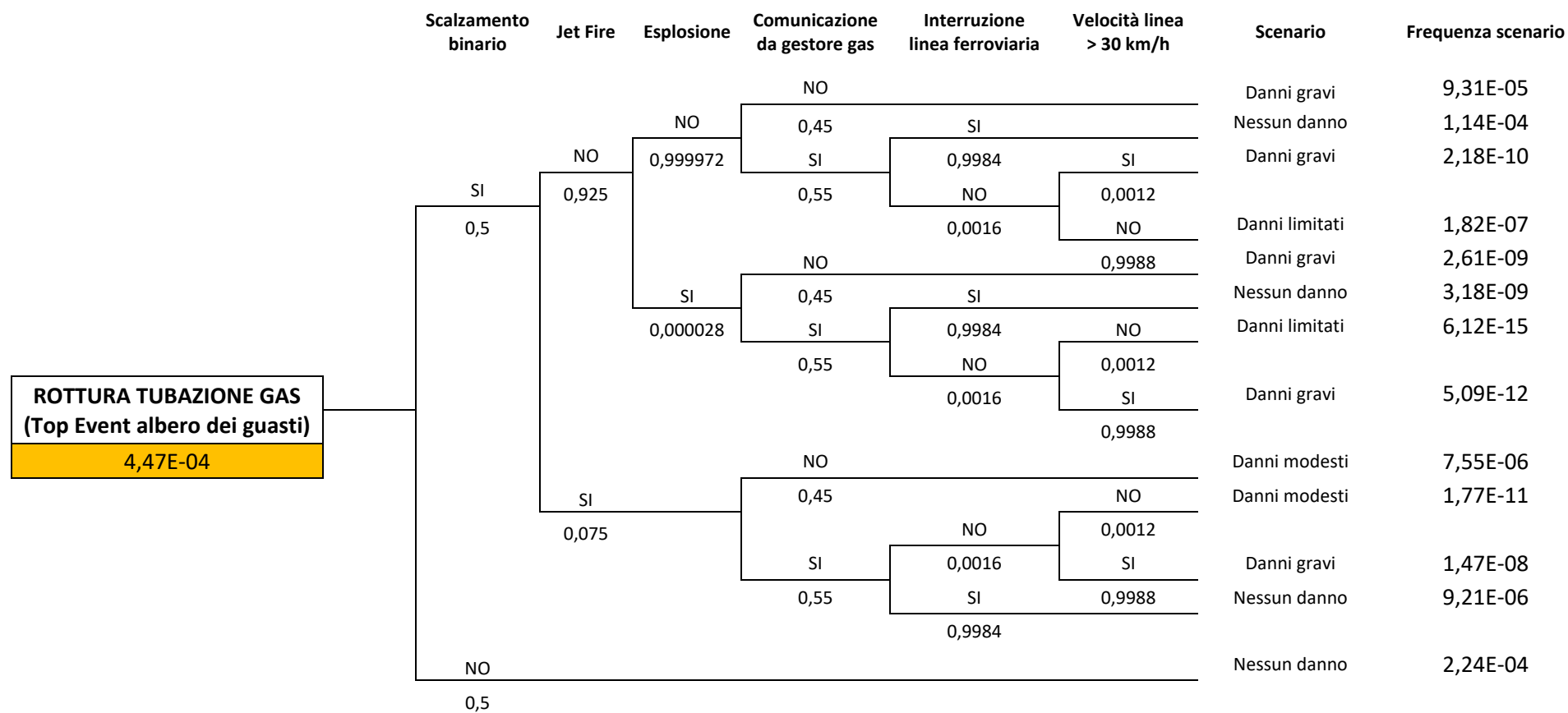
Informazioni di output		Valori di riferimento	Unità di misura
Frane/Smottamenti	Rischio frane	9,24E-03	eventi/ metro/anno
Allagamenti/Inondazioni (nel box compare il corso d'acqua più vicino all'infrastruttura che potrebbe causare questa problematica)	GALLENCA	3,08E-05	eventi/ metro/anno
Sisma	Zona sismica 4	9,60E-08	eventi/ metro/anno
Presenza di altri attraversamenti o parallelismi nelle vicinanze	SI	8,80E-05	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Scavi	SI	1,10E-04	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Drenaggio	---	---	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Lavori con macchine agricole/edili	SI	2,20E-05	eventi/ metro/anno
Vibrazioni traffico ferroviario	SI	1,65E-08	eventi/ metro/anno
Pressioni elevate	SI	1,60E-04	eventi/ metro/anno
Surriscaldamento tubazione	SI	3,00E-09	eventi/ metro/anno
Interventi di manutenzione straordinaria	SI	2,25E-05	eventi/ metro/anno
Presenza di controlli	SI	0,002	---
Usura/Corrosione	SI	6,60E-05	eventi/ metro/anno
Errori di posa e realizzazione	SI	7,48E-05	eventi/ metro/anno
Progettazione criteri antisismici	SI	0,48	---
Presenza interventi di ingegneria	SI	0,0048	---
CRITICITA' MAGGIORE PER L'ATTRAVERSAMENTO O IL PARALLELISMO	Frane/smottamenti	9,24E-03	eventi/ metro/anno

- 3) TABELLA N°3: si procede con la risoluzione dell'albero dei guasti costruito, riportato nel paragrafo 5.3.1, definendo la frequenza di accadimento del Top Event associato.

RISOLUZIONE ALBERO DEI GUASTI						
Dati	Valori singoli contributi	Unità di misura	Blocchi	Valori blocchi	Peso	Unità di misura
SISMA (E1)	9,60E-08	eventi/ metro/anno	EVENTO SISMICO (G3)	4,61E-08	0,01%	eventi/ metro/anno
MANCATA PROGETTAZIONE SECONDO CRITERI ANTISISMICI (E2)	0,48	---				
ASSENZA INTERVENTI INGEGNERIA (E3)	0,0048	---	EVENTO IDROGEOLOGICO (G4)	4,45E-05	9,95%	eventi/ metro/anno
FRANE/SMOTTAMENTI (E4)	9,24E-03	eventi/ metro/anno				
ALLAGAMENTI E INONDAZIONI (E5)	3,08E-05	eventi/ metro/anno				
ATTIVITA' VICINO A CONDOTTE (E6)	2,20E-04	eventi/ metro/anno	CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO (G5)	2,20E-04	49,18%	eventi/ metro/anno
VIBRAZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (E7)	1,65E-08	eventi/ metro/anno				
PRESSIONI ELEVATE (E8)	1,60E-04	eventi/ metro/anno	CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE (G6)	1,83E-04	40,80%	eventi/ metro/anno
SURRISCALDAMENTO (E9)	3,00E-09	eventi/ metro/anno				
INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (E10)	2,25E-05	eventi/ metro/anno				
NO CONTROLLI (E11)	0,002	---	CEDIMENTI (G7)	2,82E-07	0,06%	eventi/ metro/anno
USURA/CORROSIONE (E12)	6,60E-05	eventi/ metro/anno				
ERRORI DI POSA E REALIZZAZIONE (E13)	7,48E-05	eventi/ metro/anno				

Frequenza di accadimento voce "FATTORI ESTERNI" (G1)	2,65E-04	eventi/metro/anno
Frequenza di accadimento voce "CONDIZIONI DI ESERCIZIO" (G2)	1,83E-04	eventi/metro/anno
FREQUENZA DI ROTTURA DELLA TUBAZIONE (Top Event)	4,47E-04	eventi/metro/anno

- 4) TABELLA N°4: si procede con la risoluzione dell'albero degli eventi riportato nel paragrafo 5.3.2, definendo le frequenze di accadimento associate ai diversi scenari di danno identificati.



- 5) TABELLA N°5: si definisce l'entità del rischio, mettendo in relazione i valori di frequenza ricavati dall'albero degli eventi con la magnitudo del danno utilizzando la matrice di rischio.

Frequenza scenario	Categoria di frequenza	Riferimento frequenza matrice	Categoria di danno	Riferimento danno matrice	Cella matrice rischio	Entità del rischio	Tipologia intervento
9,31E-05	Probabile	5	Catastrofico	4	20	Inaccettabile	Intervento immediato
1,14E-04	Probabile	5	Insignificante	1	5	Alto	Intervento a breve termine
2,18E-10	Inverosimile	1	Catastrofico	4	4	Alto	Intervento a breve termine
1,82E-07	Remoto	3	Marginale	2	6	Alto	Intervento a breve termine
2,61E-09	Inverosimile	1	Catastrofico	4	4	Alto	Intervento a breve termine
3,18E-09	Inverosimile	1	Insignificante	1	1	Accettabile	Nessun intervento
6,12E-15	Inverosimile	1	Marginale	2	2	Basso	Intervento a lungo termine
5,09E-12	Inverosimile	1	Catastrofico	4	4	Alto	Intervento a breve termine
7,55E-06	Occasionale	4	Critico	3	12	Inaccettabile	Intervento immediato
1,77E-11	Inverosimile	1	Critico	3	3	Medio	Intervento a medio termine
1,47E-08	Improbabile	2	Catastrofico	4	8	Alto	Intervento a breve termine
9,21E-06	Occasionale	4	Insignificante	1	4	Alto	Intervento a breve termine
2,24E-04	Probabile	5	Insignificante	1	5	Alto	Intervento a breve termine

Dettaglio indici della matrice (riferimento alla prima riga della precedente tabella):

MATRICE DI RISCHIO		Conseguenze			
		Insignificanti (1)	Marginali (2)	Critiche (3)	Catastrofiche (4)
Frequenze	Frequente (6)	6	12	18	24
	Probabile (5)	5	10	15	20
	Occasionale (4)	4	8	12	16
	Remoto (3)	3	6	9	12
	Improbabile (2)	2	4	6	8
	Inverosimile (1)	1	2	3	4

- 6) TABELLA N°6: si definiscono i requisiti necessari da imporre a chi gestisce l'attraversamento o il parallelismo considerato, in modo tale mitigare l'entità del rischio.

Blocchi	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti e parallelismi esistenti	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti e parallelismi nuovi
EVENTO SISMICO	---	2,3
EVENTO IDROGEOLOGICO	---	7,8
CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO	---	9,10
CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE	---	11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29
CEDIMENTI	---	30,31

Dettagli requisiti da applicare (da numeri della tabella precedente), contrassegnati in rosso:

Requisiti specifici da imporre		Numero requisito
Progettazione delle condotte secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente (NTC 2008 per sistemi impiantistici, EC 8, DM del 4 aprile 2014).		1
Esecuzione dei lavori di realizzazione delle condotte o dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato.		2
Monitoraggio dello stato della condotta durante le fasi di esercizio e successivamente ad eventi sismici di qualsiasi entità per verificare eventuali rotture, spostamenti o deformazioni della condotta.		3
Introduzione di sistemi di protezione antisismica, che tutelino la condotta durante eventi sismici.		4
Progettazione di interventi di ingegneria ai lati della ferrovia, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio,...).		5
Esecuzione dei lavori di realizzazione delle opere di protezione a eventi idrogeologici da parte di personale formato e competente.		6
Presenza sistemi di monitoraggio dei fenomeni idrogeologici per rilevamento di condizioni critiche.		7
Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato delle opere e rilevazione di eventuali anomalie da risolvere con comunicazione al gestore dell'infrastruttura per evitare ripercussioni sulla linea.		8
Comunicazione di lavori antropici di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.		9
Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (a condotte oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.		10
FASE DI PROGETTAZIONE	Preparazione del progetto (tracciato, diametro, spessore, sistemi di giunzione delle condotte) da parte di esperti (ingegneri, progettisti,...).	11
	Criteri di progettazione conformi ai canoni previsti dalla normativa vigente.	12
FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione lavori di realizzazione da parte di personale formato, competente, aggiornato e con esperienza.	13
	Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	14
	Effettuazione di controlli/verifiche/collaudi, con eventuale successivo rilascio di certificazione da parte di un ente terzo.	15
	Buona scelta dei materiali impiegati, con buone proprietà meccaniche (resistenza agli sforzi e alle azioni degli agenti atmosferici esterni, buona durabilità a medio e lungo termine).	16
	Rispetto delle soglie limite di profondità (0,9 m per attraversamenti) o distanza (20 m per parallelismi) delle condotte dalla sede ferroviaria.	17
CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio della tubazione (range di pressioni, temperature, densità/viscosità del gas).	18

	Analisi delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza nei confronti del sistema ferroviario.	19
	Presenza di sistemi di rilevamento delle anomalie di funzionamento, con successiva immediata comunicazione dell'evento all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	20
	Controlli periodici, eseguiti da personale esperto e formato, per verifica dello stato e delle condizioni in cui opera la tubazione.	21
CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (condotte e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	22
	Presenza di opere d'arte a protezione della sede ferroviaria ai lati della linea.	23
	Presenza di tubi esterni di diametro maggiore rispetto alla condotta oppure sistemi di rafforzamento come sigillature, chiusure ermetiche,...	24
CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione dell'anomalia di funzionamento da parte dell'ente gestore del sottoservizio al gestore dell'infrastruttura.	25
	Verifica immediata in situ dell'anomalia e degli eventuali danni nei confronti della condotta o dell'infrastruttura da parte di personale esperto e competente.	26
	Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui questo non fosse presente in situ.	27
Controlli periodici per verifica dello stato e prestazioni della condotta oppure interventi immediati o a breve termine per risoluzione delle criticità istantanee ed improvvise (scoppi, rotture, dispersioni di materiale interno alla condotta, fessurazioni, cedimenti, creazione di ostruzioni, incendi, danni locali, collassi globali).		28
Esecuzione dei lavori da parte di personale esperto e competente.		29
Comunicazione dell'intervento all'ente gestore dell'infrastruttura e ad eventuali gestori dei sottoservizi limitrofi all'attraversamento/parallelismo in esame.		30
Presenza del personale ferroviario in situ durante le operazioni delicate della condotta, per controllare da vicino eventuali danni nei confronti della ferrovia e imporre eventualmente delle misure cautelative per la circolazione dei convogli lungo la linea. Eventuali provvedimenti che gli operatori ferroviari possono prendere per garantire le condizioni di sicurezza del sistema ferroviario: limitazioni della velocità su alcuni tratti dell'infrastruttura nelle vicinanze dei lavori di manutenzione (soglia limite di riferimento: 30 km/h), deviazione dei convogli su altre linee limitrofe adiacenti, con possibile accumulo di ritardi ed aumenti dei tempi di viaggio, circolazione alternata nei due sensi di marcia su un unico binario, nel caso di linea a doppio binario con doppio senso di circolazione, interruzione della circolazione ferroviaria.		31

CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI

Si considera un acquedotto (diametro di 600 mm, posato all'interno di un cunicolo ad arco di luce 1,8 m in mattoni e pressione di esercizio di 15 bar), sito ad una profondità di 1,5 metri dal piano del ferro dell'infrastruttura ferroviaria, che attraversa la linea Canavesana di GTT in corrispondenza della progressiva spaziale +5,821 km.

- 1) TABELLA N°1: in questo prospetto vengono inseriti, manualmente o tramite menù a tendina predisposto, dall'operatore tutti i dati di input necessari, che verranno elaborati dal programma per ricavare le successive informazioni con i risultati di interesse.

Informazioni di input	Valori/Dato	Unità di misura
Indicare se: "Attraversamento" o "Parallelismo"	Attraversamento	---
Indicare se l'attraversamento o il parallelismo è di nuova realizzazione oppure esistente	Nuovo	---
Tipologia di attraversamento/parallelismo (acqua, gas, linea elettrica)	Acqua	---
Nel caso di condotte gas, indicare pressione di esercizio	---	bar
Nel caso di condotte per acquedotti, indicare pressione di esercizio	15	bar
Nel caso di linee elettriche, indicare intensità di corrente	---	kW
Progressiva linea (dove ho attraversamento/parallelismo) [N.B. Inserire progressiva nel formato xx,xxx]	5,821	km
Profondità/Altezza attraversamento rispetto al piano del ferro oppure distanza parallelismo rispetto alla rotaia più vicina	1,5	m
Presenza di attività antropiche nelle vicinanze (Indicare nel box a destra se "Scavi", "Attività di drenaggio", "Lavori con macchine agricole/edili", "Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze")	---	---
	---	---
	---	---
	Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze	---
Progettazione dell'attraversamento o del parallelismo secondo criteri antisismici	Si	---
Presenza interventi di ingegneria	No	---
Presenza di controlli per attraversamento/parallelismo	Si	---

- 2) TABELLA N°2: in questo prospetto vengono raccolti i primi dati di output. In particolare, si visualizzano tutti gli eventi indesiderati individuati con le relative frequenze di accadimento e, alla fine del processo, si determina la criticità di maggior impatto per l'attraversamento esaminato.

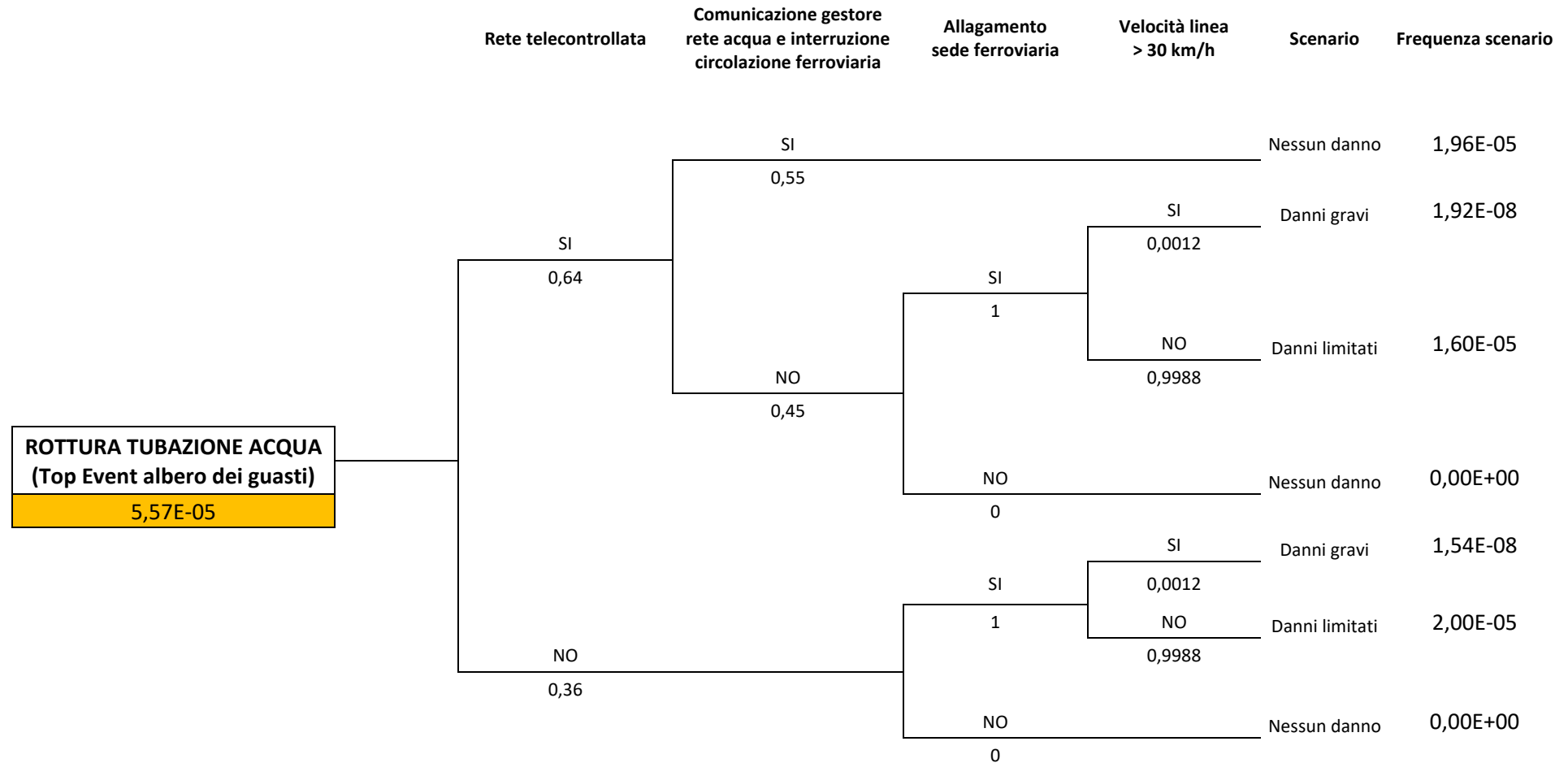
Informazioni di output		Valori di riferimento	Unità di misura
Frane/Smottamenti	No rischio frane	0,00E+00	eventi/ metro/anno
Allagamenti/Inondazioni (nel box compare il corso d'acqua più vicino all'infrastruttura che potrebbe causare questa problematica)	PO	2,49E-06	eventi/ metro/anno
Sisma	Zona sismica 4	6,22E-07	eventi/ metro/anno
Presenza di altri attraversamenti/parallelismi nelle vicinanze	SI	2,40E-05	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Scavi	---	---	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Drenaggio	---	---	eventi/ metro/anno
Attività antropiche: Lavori con macchine agricole/edili	---	---	eventi/ metro/anno
Vibrazioni traffico ferroviario	SI	1,65E-08	eventi/ metro/anno
Pressioni elevate/aumento di portata del fluido	SI	1,95E-05	eventi/ metro/anno
Cicli di gelo e disgelo	SI	2,00E-06	eventi/ metro/anno
Aumento grado di scabrezza/ presenza ostruzioni interne alla tubazione	SI	5,00E-06	eventi/ metro/anno
Interventi di manutenzione straordinaria	SI	2,36E-06	eventi/ metro/anno
Presenza di controlli	SI	0,002	---
Usura/Corrosione	SI	3,00E-06	eventi/ metro/anno
Errori di posa e realizzazione	SI	2,00E-06	eventi/ metro/anno
Progettazione secondo criteri antisismici	SI	0,48	---
Presenza interventi di ingegneria	NO	1	---
CRITICITA' MAGGIORE PER L'ATTRAVERSAMENTO O IL PARALLELISMO	Presenza di altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze	2,40E-05	eventi/ metro/anno

- 3) TABELLA N°3: si procede con la risoluzione dell'albero dei guasti costruito, riportato nel paragrafo 5.3.1, definendo la frequenza di accadimento del Top Event associato.

RISOLUZIONE ALBERO DEI GUASTI						
Dati	Valori singoli contributi	Unità di misura	Blocchi	Valori blocchi	Peso	Unità di misura
SISMA (E1)	6,22E-07	eventi/ metro/anno	EVENTO SISMICO (G3)	2,99E-07	0,54%	eventi/ metro/anno
MANCATA PROGETTAZIONE SECONDO CRITERI ANTISISMICI (E2)	0,48	---				
ASSENZA INTERVENTI INGEGNERIA (E3)	1	---	EVENTO IDROGEOLOGICO (G4)	2,49E-06	4,47%	eventi/ metro/anno
FRANE E SMOCCAMENTI (E4)	0,00E+00	eventi/ metro/anno				
ALLAGAMENTI ED INONDAZIONI (E5)	2,49E-06	eventi/ metro/anno				
ATTIVITA' VICINO A CONDOTTE (E6)	2,40E-05	eventi/ metro/anno	CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO (G5)	2,40E-05	43,14%	eventi/ metro/anno
VIBRAZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (E7)	1,65E-08	eventi/ metro/anno				
PRESSIONI ELEVATE E AUMENTO PORTATA DEL FLUIDO (E8)	1,95E-05	eventi/ metro/anno	CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE (G6)	2,89E-05	51,84%	eventi/ metro/anno
CICLI DI GELO E DISGELO (E9)	2,00E-06	eventi/ metro/anno				
AUMENTO GRADO DI SCABREZZA (E10)	5,00E-06	eventi/ metro/anno				
INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA (E11)	2,36E-06	eventi/ metro/anno				
NO CONTROLLI (E12)	0,002	---	CEDIMENTI (G7)	1,00E-08	0,02%	eventi/ metro/anno
USURA/CORROSIONE (E13)	3,00E-06	eventi/ metro/anno				
ERRORI DI POSA/REALIZZAZIONE (E14)	2,00E-06	eventi/ metro/anno				

Frequenza di accadimento voce "FATTORI ESTERNI" (G1)	2,68E-05	eventi/metro/anno
Frequenza di accadimento voce "CONDIZIONI DI ESERCIZIO" (G2)	2,89E-05	eventi/metro/anno
FREQUENZA DI ROTTURA DELLA TUBAZIONE (Top Event)	5,57E-05	eventi/metro/anno

- 4) TABELLA N°4: si procede con la risoluzione dell'albero degli eventi riportato nel paragrafo 5.3.2, definendo le frequenze di accadimento associate ai diversi scenari di danno identificati.



- 5) TABELLA N°5: si definisce l'entità del rischio, mettendo in relazione i valori di frequenza ricavati dall'albero degli eventi con la magnitudo del danno, utilizzando la matrice di rischio.

Frequenza scenario	Categoria di frequenza	Riferimento frequenza matrice	Categoria di danno	Riferimento danno matrice	Cella matrice rischio	Entità del rischio	Tipologia intervento
1,96E-05	Probabile	5	Insignificante	1	5	Alto	Intervento a breve termine
1,92E-08	Improbabile	2	Catastrofico	4	8	Alto	Intervento a breve termine
1,60E-05	Probabile	5	Marginale	2	10	Inaccettabile	Intervento immediato
0,00E+00	Inverosimile	1	Insignificante	1	1	Accettabile	Nessun intervento
1,54E-08	Improbabile	2	Catastrofico	4	8	Alto	Intervento a breve termine
2,00E-05	Probabile	5	Marginale	2	10	Inaccettabile	Intervento immediato
0,00E+00	Inverosimile	1	Insignificante	1	1	Accettabile	Nessun intervento

Dettaglio indici della matrice (riferimento alla prima riga della precedente tabella):

MATRICE DI RISCHIO		Conseguenze			
		Insignificanti (1)	Marginali (2)	Critiche (3)	Catastrofiche (4)
Frequenze	Frequente (6)	6	12	18	24
	Probabile (5)	5	10	15	20
	Occasionale (4)	4	8	12	16
	Remoto (3)	3	6	9	12
	Improbabile (2)	2	4	6	8
	Inverosimile (1)	1	2	3	4

- 6) TABELLA N°6: si definiscono i requisiti necessari da imporre a chi gestisce l'attraversamento o il parallelismo considerato, in modo tale mitigare l'entità del rischio.

Elemento considerato	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti e parallelismi esistenti	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti/parallelismi nuovi
EVENTO SISMICO	---	2,3
EVENTO IDROGEOLOGICO	---	5,6,7,8
CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO	---	9,10
CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE	---	11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29
CEDIMENTI	---	30,31

Dettagli requisiti da applicare (da numeri della tabella precedente), contrassegnati in rosso:

Elementi di riferimento	Requisiti specifici da imporre		Numero requisito
Evento sismico	Progettazione delle condotte secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente (NTC 2008 per sistemi impiantistici, EC 8, DM del 4 aprile 2014): uso sistemi antisismici.		1
	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle condotte o dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato e con esperienza.		2
	Monitoraggio dello stato della condotta durante le fasi di esercizio e successivamente ad eventi sismici di qualsiasi entità per verificare eventuali rotture, spostamenti o deformazioni della condotta.		3
	Introduzione di sistemi di protezione antisismica, che tutelino la condotta durante eventi sismici.		4
Evento idrogeologico	Progettazione di interventi di ingegneria ai lati della ferrovia, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio, ...).		5
	Esecuzione dei lavori di realizzazione delle opere di protezione a eventi idrogeologici da parte di personale formato e competente.		6
	Presenza sistemi di monitoraggio dei fenomeni idrogeologici per rilevamento di condizioni critiche.		7
	Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato delle opere e rilevazione di eventuali anomalie da risolvere con comunicazione al gestore dell'infrastruttura per evitare ripercussioni sulla linea.		8
Attività antropiche	Comunicazione di lavori di natura antropica di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.		9
	Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (a condotte oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.		10
Condizioni di esercizio delle condotte	FASE DI PROGETTAZIONE	Preparazione del progetto (tracciato, diametro, spessore, sistemi di giunzione delle condotte) da parte di esperti (ingegneri, progettisti,...).	11
		Criteri di progettazione conformi ai canoni previsti dalla normativa vigente.	12
	FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione lavori di realizzazione da parte di personale formato, competente, aggiornato e con esperienza.	13
		Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	14
		Effettuazione di controlli/verifiche/collaudi, con eventuale successivo rilascio di certificazione da parte di un ente terzo.	15
		Buona scelta dei materiali impiegati, con buone proprietà meccaniche (resistenza agli sforzi e alle azioni degli agenti atmosferici esterni, buona durabilità a medio e lungo termine).	16
		Presenza di sistemi di isolamento da escursioni termiche o sistemi di impermeabilizzazione per evitare infiltrazioni di acqua o sostanze provenienti dall'ambiente esterno.	17

		Rispetto delle soglie limite di profondità (0,9 m per attraversamenti) o distanza (20 m per parallelismi) delle condotte dalla sede ferroviaria, al fine di limitare il più possibile gli impatti nei confronti del complesso ferroviario.	18
	CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio della tubazione (range di pressioni interne, confronto tra pressione di esercizio della condotta e la pressione esterna, velocità del moto interno del fluido, grado di scabrezza interno, portata, ecc.).	19
		Analisi dettagliata e attenta delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza, anche di lieve entità, nei confronti del sistema ferroviario.	20
		Presenza di sistemi di rilevamento delle anomalie di funzionamento, con successiva immediata comunicazione dell'evento all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	21
		Controlli periodici, eseguiti da personale esperto e formato, per verifica dello stato e delle condizioni in cui opera la tubazione.	22
	CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (condotte e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	23
		Presenza di opere d'arte a protezione della sede ferroviaria ai lati della linea.	24
		Presenza di tubi di protezione esterni di diametro maggiore rispetto alla condotta oppure sistemi di rafforzamento come sigillature, chiusure ermetiche,... tanto per le tubazioni interrate quanto per quelle a pelo libero.	25
	CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione dell'anomalia di funzionamento da parte dell'ente gestore del sottoservizio al gestore dell'infrastruttura.	26
		Verifica immediata in situ dell'anomalia e degli eventuali danni nei confronti della condotta o dell'infrastruttura da parte di personale esperto e competente.	27
		Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui questo non fosse presente in situ.	28
Interventi di manutenzione		Controlli periodici per verifica dello stato e prestazioni della condotta oppure interventi immediati o a breve termine per risoluzione delle criticità istantanee ed improvvise (scoppi, rotture, dispersioni di materiale interno	29

	alla condotta, fessurazioni, cedimenti, creazione di ostruzioni, incendi, danni locali, collassi globali).	
	Esecuzione dei lavori da parte di personale esperto e competente.	30
	Comunicazione dell'intervento all'ente gestore dell'infrastruttura e ad eventuali gestori dei sottoservizi limitrofi all'attraversamento/parallelismo in esame.	31
	Presenza del personale ferroviario in situ durante le operazioni delicate della condotta, per controllare da vicino eventuali danni nei confronti della ferrovia e imporre eventualmente delle misure cautelative per la circolazione dei convogli lungo la linea. Eventuali provvedimenti che gli operatori ferroviari possono prendere per garantire le condizioni di sicurezza del sistema ferroviario: limitazioni della velocità su alcuni tratti dell'infrastruttura nelle vicinanze dei lavori di manutenzione (soglia limite di riferimento: 30 km/h), deviazione dei convogli su altre linee limitrofe adiacenti, con possibile accumulo di ritardi ed aumenti dei tempi di viaggio, circolazione alternata nei due sensi di marcia su un unico binario, nel caso di linea a doppio binario con doppio senso di circolazione, interruzione della circolazione ferroviaria.	32

CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE

Si considera un elettrodotto aereo (intensità di corrente trasportata 15 kW), sito ad una altezza di 10 metri rispetto al piano del ferro dell'infrastruttura ferroviaria, che attraversa la linea Canavesana di GTT in corrispondenza della progressiva spaziale +16,540 km.

- 1) TABELLA N°1: in questo prospetto vengono inseriti, manualmente o tramite menù a tendina predisposto, dall'operatore tutti i dati di input necessari, che verranno elaborati dal programma per ricavare le successive informazioni con i risultati di interesse.

Informazioni di input	Valori/Dato	Unità di misura
Indicare se: "Attraversamento" o "Parallelismo"	Attraversamento	---
Indicare se l'attraversamento o il parallelismo è di nuova realizzazione oppure esistente	Nuovo	---
Tipologia di attraversamento/parallelismo (acqua, gas, linea elettrica)	Linea elettrica	---
Nel caso di condotte gas, indicare pressione di esercizio	---	bar
Nel caso di condotte per acquedotti, indicare pressione di esercizio	---	bar
Nel caso di linee elettriche, indicare intensità di corrente	15	kW
Progressiva linea (dove ho attraversamento/parallelismo) [N.B. Inserire progressiva nel formato xx,xxx]	16,540	km
Profondità/Altezza attraversamento rispetto al piano del ferro oppure Distanza parallelismo rispetto alla rotaia più vicina	10	m
Presenza di attività antropiche nelle vicinanze (Indicare nel box a destra se "Scavi", "Attività di drenaggio", "Lavori con macchine agricole/edili", "Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze")	Scavi	---
	---	---
	---	---
	Lavori su altri attraversamenti e parallelismi nelle vicinanze	---
Progettazione dell'attraversamento o del parallelismo secondo criteri antisismici	Si	---
Presenza interventi di ingegneria	Si	---
Presenza di controlli per attraversamento/parallelismo	Si	---

- 2) TABELLA N°2: in questo prospetto vengono raccolti i primi dati di output. In particolare, si visualizzano tutti gli eventi indesiderati individuati con le relative frequenze di accadimento e, alla fine del processo, si determina la criticità di maggior impatto per l'attraversamento esaminato.

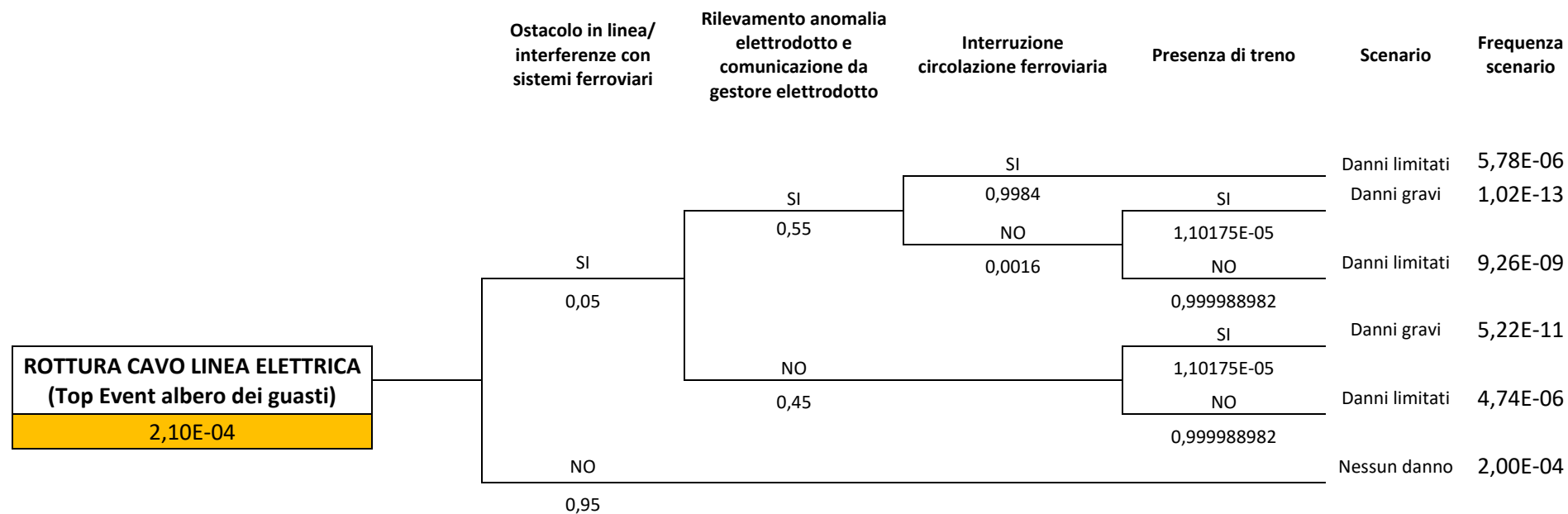
Informazioni di output		Valori di riferimento	Unità di misura
Frane/Smottamenti	No rischio frane	0,00E+00	eventi/ metro/anno
Allagamenti/Inondazioni (nel box compare il corso d'acqua più vicino all'infrastruttura che potrebbe causare questa problematica)	ORCO	6,53E-06	eventi/ metro/anno
Sisma	Zona sismica 4	8,70E-06	eventi/ metro/anno
Vento forte	SI	7,62E-06	eventi/ metro/anno
Precipitazioni (Pioggia, neve, ...)	SI	5,44E-06	eventi/ metro/anno
Attività antropiche e lavori vicino alla rete elettrica	SI	1,77E-05	eventi/ metro/anno
Vibrazioni traffico ferroviario	SI	2,21E-06	eventi/ metro/anno
Sbalzi elettrici	SI	2,38E-06	eventi/ metro/anno
Surriscaldamento eccessivo dei cavi	SI	2,86E-06	eventi/ metro/anno
Usura/Corrosione	SI	1,26E-04	eventi/ metro/anno
Errori di posa dei cavi	SI	2,72E-05	eventi/ metro/anno
Instabilità dei tralicci di sostegno per i cavi	SI	1,02E-05	eventi/ metro/anno
Presenza interventi di ingegneria	SI	0,0048	---
CRITICITA' MAGGIORE PER L'ATTRAVERSAMENTO O IL PARALLELISMO	Usura/Corrosione	1,26E-04	eventi/ metro/anno

- 3) TABELLA N°3: si procede con la risoluzione dell'albero dei guasti costruito, riportato nel paragrafo 5.3.1, definendo la frequenza di accadimento del Top Event associato.

RISOLUZIONE ALBERO DEI GUASTI						
Dati	Valori singoli contribuiti	Unità di misura	Blocchi	Valori blocchi	Peso	Unità di misura
SISMA (E1)	8,70E-06	eventi/ metro/anno	ELEMENTI NATURALI (G3)	2,18E-05	10,35%	eventi/ metro/anno
FRANE/ SMOTTAMENTI (E2)	0	eventi/ metro/anno				
ALLAGAMENTI/ INONDAZIONI (E3)	6,53E-06	eventi/ metro/anno				
MANCANZA SISTEMI PROTETTIVI (E4)	0,0048	---				
VENTO FORTE (E5)	7,62E-06	eventi/ metro/anno				
PRECIPITAZIONI (E6)	5,44E-06	eventi/ metro/anno				
VIBRAZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO (E7)	2,21E-06	eventi/ metro/anno	CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO (G5)	1,99E-05	9,45%	eventi/ metro/anno
LAVORI/ATTIVITA' ANTROPICHE (E8)	1,77E-05	eventi/ metro/anno				
SBALZI ELETTRICI (E9)	2,38E-06	eventi/ metro/anno	CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE (G6)	5,57E-06	2,65%	eventi/ metro/anno
INTERVENTI DI MANUTENZIONE (E10)	3,37E-07	eventi/ metro/anno				
SURRISCALDAMENTO CAVO (E11)	2,86E-06	eventi/ metro/anno				
ERRORI DI POSA DEL CAVO (E12)	2,72E-05	eventi/ metro/anno	PROBLEMI DI INSTABILITA'/ CEDIMENTI (G7)	1,63E-04	77,55%	eventi/ metro/anno
USURA/ CORROSIONE DEL CAVO (E13)	1,26E-04	eventi/ metro/anno				
CROLLO TRALICCI DI SOSTEGNO DEI CAVI (E14)	1,02E-05	eventi/ metro/anno				

Frequenza di accadimento voce "FATTORI ESTERNI" (G1)	4,17E-05	eventi/metro/anno
Frequenza di accadimento voce "ESERCIZIO RETE" (G2)	1,69E-04	eventi/metro/anno
FREQUENZA DI ROTTURA DEL CAVO PER LINEA ELETTRICA (Top Event)	2,10E-04	eventi/metro/anno

- 4) TABELLA N°4: si procede con la risoluzione dell'albero degli eventi riportato nel paragrafo 5.3.2, definendo le frequenze di accadimento associate ai diversi scenari di danno identificati.



- 5) TABELLA N°5: si definisce l'entità del rischio, mettendo in relazione i valori di frequenza ricavati dall'albero degli eventi con la magnitudo del danno, utilizzando la matrice di rischio.

Frequenza scenario	Categoria di frequenza	Riferimento frequenza matrice	Categoria di danno	Riferimento danno matrice	Cella matrice rischio	Entità del rischio	Tipologia intervento
5,78E-06	Occasionale	4	Marginale	2	8	Alto	Intervento a breve termine
1,02E-13	Inverosimile	1	Catastrofico	4	4	Alto	Intervento a breve termine
9,26E-09	Inverosimile	1	Marginale	2	2	Basso	Intervento a lungo termine
5,22E-11	Inverosimile	1	Catastrofico	4	4	Alto	Intervento a breve termine
4,74E-06	Occasionale	4	Marginale	2	8	Alto	Intervento a breve termine
2,00E-04	Probabile	5	Insignificante	1	5	Alto	Intervento a breve termine

Dettaglio indici della matrice (riferimento alla prima riga della precedente tabella):

MATRICE DI RISCHIO		Conseguenze			
		Insignificanti (1)	Marginali (2)	Critiche (3)	Catastrofiche (4)
Frequenze	Frequente (6)	6	12	18	24
	Probabile (5)	5	10	15	20
	Occasionale (4)	4	8	12	16
	Remoto (3)	3	6	9	12
	Improbabile (2)	2	4	6	8
	Inverosimile (1)	1	2	3	4

- 6) TABELLA N°6: si definiscono i requisiti necessari da imporre a chi gestisce l'attraversamento o il parallelismo considerato, in modo tale mitigare l'entità del rischio.

Elemento considerato	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti e parallelismi esistenti	Numero del requisito da rispettare o richiedere per attraversamenti e parallelismi nuovi
ELEMENTI NATURALI	---	16
CARATTERISTICHE DEL MONDO ANTROPIZZATO	---	22,23
CONDIZIONI DI ESERCIZIO ANOMALE	---	18,19,20,21
PROBLEMI DI INSTABILITA' O CEDIMENTI	---	2,3
CONDIZIONI DI ESERCIZIO ORDINARIE	---	12,13,14,15
ALTRI REQUISITI	---	1,4,5,6,7,8,9,10,11

Dettagli requisiti da applicare (da numeri della tabella precedente), contrassegnati in rosso:

Elementi di riferimento	Requisiti specifici da imporre	Numero requisito
FASE DI PROGETTAZIONE	Progettazione dell'impianto secondo i criteri/vincoli imposti dalla normativa vigente.	1
	Buona scelta dei materiali per cavi, tralicci di sostegno e fondazioni.	2
	Progettazione di buoni sistemi di fondazione e tiranti in acciaio in profondità.	3
	Rispetto delle distanze minime di riferimento qualora il sistema lungo il proprio tracciato intersechi altre strutture o infrastrutture (come, ad esempio, nel caso di infrastrutture ferroviarie, rispetto dell'altezza minima dei cavi dal piano del ferro (8 metri), distanza minima dei pali di sostegno dai binari, ...).	4
	Definizione di soglie limite di riferimento per l'esercizio dell'impianto (intensità di corrente attraversata dal cavo, voltaggio, frequenza nominale, ...).	5
	Progettazione di sistemi di protezione dei cavi per evitare cortocircuiti durante condizioni meteo avverse o rotture.	6
	Progettazione di sistemi di monitoraggio lungo il tracciato dell'impianto elettrico per il rilevamento di anomalie di funzionamento.	7
	Rilascio di certificazioni, autorizzazioni o nulla osta da parte di un ente terzo per la realizzazione di una nuova struttura.	8
FASE DI REALIZZAZIONE	Esecuzione dei lavori di realizzazione e dei controlli in fase di esercizio da parte di personale competente, formato, aggiornato e con esperienza.	9
	Controlli durante le fasi costruttive e di realizzazione per correggere eventuali errori commessi e verifica coerenza dei lavori con i criteri di progettazione stabiliti.	10
	Riferimento a procedure certificate oppure norme di regolamentazione della realizzazione dell'opera.	11
CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Monitoraggio efficace ed efficiente delle prestazioni ordinarie di esercizio dell'impianto.	12
	Analisi dettagliata e attenta delle possibili criticità, che si possono manifestare durante la vita utile del sistema, con qualsiasi conseguenza, anche di lieve entità, nei confronti del sistema ferroviario.	13
	Rispetto dei parametri di esercizio stabiliti in fase di progettazione.	14
	Esecuzione di controlli periodici per verifica dello stato dell'impianto, con comunicazione al gestore dell'infrastruttura di anomalie rilevate sull'impianto in modo tale da evitare ripercussioni sulla linea ferroviaria.	15
CONDIZIONI ESTERNE	Presenza di sistemi di monitoraggio di eventi esterni impattanti sui sistemi in analisi (impianto e ferrovia), come frane, allagamenti, sismi, attività umane,...	16
	Presenza di elementi protettivi nei confronti degli eventi naturali ai lati della ferrovia e ai lati del tracciato del sistema impiantistico, in modo da limitare gli impatti (muri protettivi in ca, opere di contenimento, reti metalliche paramassi, barriere di legno o acciaio, isolatori sismici alla base delle strutture, ...).	17
CONDIZIONI ANOMALE DI ESERCIZIO DELLA CONDOTTA	Comunicazione immediata da parte del gestore dell'impianto all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria in presenza di anomalie di funzionamento rilevate.	18

	Organizzazione immediata di interventi in situ per la riparazione immediata dell'anomalia rilevata e verifica di eventuali danni per l'impianto o per l'infrastruttura ferroviaria.	19
	Realizzazione degli interventi da parte di personale esperto, competente e formato.	20
	Comunicazione all'ente gestore dell'infrastruttura dei risultati delle analisi di verifica al termine dei controlli effettuati, nel caso in cui il personale ferroviario non fosse presente in situ durante queste operazioni.	21
ATTIVITA' IN PROSSIMITA' DELLA CONDOTTA	Comunicazione di lavori legati ad attività antropiche di qualsiasi natura all'ente gestore dell'infrastruttura ferroviaria.	22
	Presenza di personale ferroviario per lavori in prossimità della ferrovia (ad attraversamenti, parallelismi oppure altri lavori antropici), in modo tale da prendere le giuste precauzioni in caso di problemi con ripercussioni sulla linea ferroviaria.	23

6.3 USO DEL SOFTWARE ISOGRAPH

A completamento del lavoro di tesi, è stato utilizzato il software “Reliability Workbench 13.0” di Isograph, che ha permesso di condurre un’analisi di sensitività dei risultati ottenuti dal processo metodologico effettuato.

Questa tipologia di analisi viene effettuata sui valori di frequenza ricavati dall’albero dei guasti.

- ANALISI DI SENSIBILITA’

Si precisa a titolo esemplificativo che con il software adottato si possono effettuare due tipi di analisi della sensibilità:

- Il primo modo consente di variare la non disponibilità e la frequenza di guasto di ogni evento in base a una determinata percentuale, fornendo l’effetto risultante sui parametri di sistema. Una semplice analisi di sensibilità di questo tipo valuta i parametri quantitativi di sistema dopo aver modificato tutte le frequenze di indisponibilità e guasto degli eventi di una determinata percentuale, con lo scopo di determinare la modalità con cui i parametri sensibili del sistema sono destinati ad una variazione globale nelle frequenze di indisponibilità e guasto degli eventi. I valori di indisponibilità degli eventi e le frequenze di guasto sono variate al di sopra e al di sotto dei valori normali della percentuale specificata; in ogni caso, i valori di indisponibilità degli eventi non possono superare il valore unitario.
- La seconda modalità prevede il ricalcolo di un parametro quantitativo di sistema selezionato dopo aver modificato un parametro di input specificato per eventi, modelli di guasto o parametri generici. Ad esempio, l’utente può selezionare uno dei seguenti parametri da calcolare, quando la destinazione è una o più porte dell’albero dei guasti:
 - non disponibilità;
 - frequenza;
 - CFI (Conditional Failure Intensity);
 - Q/T (indisponibilità a vita divisa per la durata del sistema);
 - RRF (fattore di riduzione del rischio).

- *INDICI DI BARLOW-PROSCHAN*

Gli indici di Barlow-Proschan sono fattori che misurano l'importanza dei diversi componenti, considerando le relative sequenze dei guasti.

Essi rappresentano la probabilità che il sistema non abbia successo, perché un set di taglio critico, che contiene il componente, è soggetto a fallimento. Questa misura viene effettuata generalmente solo per le porte dell'albero dei guasti.

La misura di importanza di Barlow-Proschan è data analiticamente dalla seguente formula:

$$IMP_{BP} = \frac{\omega_{Event} \cdot \sum Unavailabilities\ of\ cut\ sets\ containing\ event}{Q_{Event} \cdot System\ failure\ frequency}$$

Dove:

ω_{Event} è la frequenza di guasto dei componenti;

Q_{Event} è l'indisponibilità del componente.

Il programma consente di raffigurare graficamente per ogni porta logica questi indici di Barlow-Proschan, sia tramite visualizzazione ad istogramma che sotto forma di diagrammi a torta con apposita legenda; in questa maniera si può capire il peso che ha ciascun fattore presente nell'albero dei guasti rispetto al Top Event individuato, da scongiurare.

6.3.1 RISULTATI

Di seguito vengono riportati gli output dell'analisi di sensibilità dei dati ottenuti con il software "Reliability Workbench 13.0" di Isograph per i tre casi studio di attraversamenti e parallelismi considerati nel paragrafo precedente.

Si può facilmente osservare che i valori di frequenza ottenuti per i singoli gate di riferimento (GT) coincidono praticamente con quelli dello strumento implementato in Excel. Con l'analisi di sensibilità è possibile ricavare il range di variazione delle misure ottenute, in funzione degli input inseriti manualmente; nella tabella si riportano i limiti inferiore e superiore di questo intervallo.

Per gli eventi base, riportati in tabella con la sigla EV, compare invece solo il valore di frequenza, in quanto sono dati inseriti manualmente nel software come valori di input.

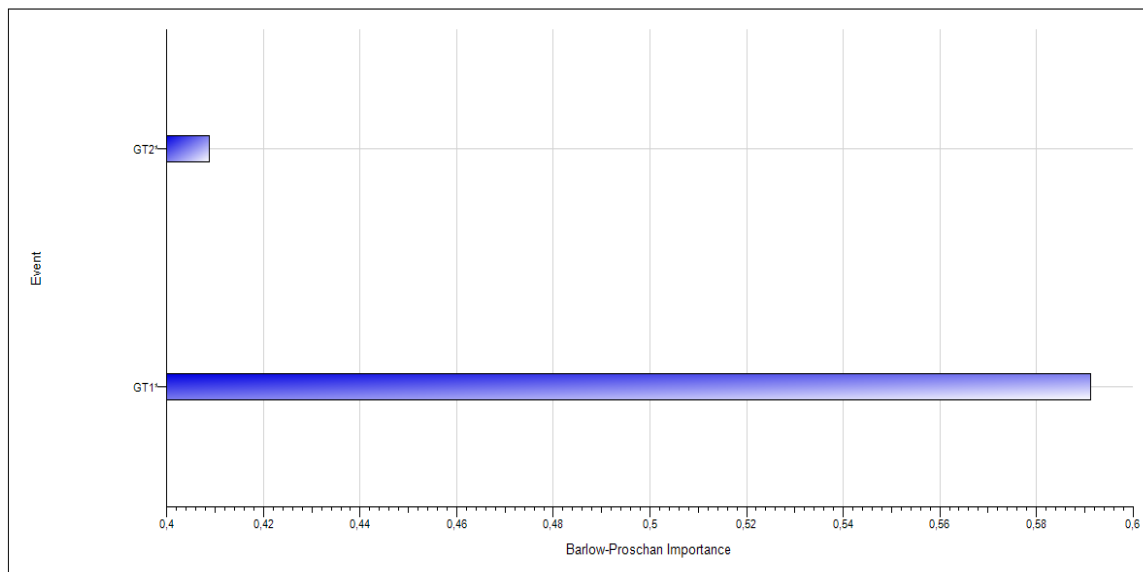
In base ai valori di indici di Barlow-Proschan ottenuti con il software è molto semplice capire l'importanza di ciascun gate rispetto al Top Event; più l'indice è prossimo ad 1, maggiore risulta essere il peso e l'influenza di quel componente rispetto alla frequenza di accadimento totale dell'evento iniziatore.

Sicuramente, il software rappresenta un mezzo indispensabile per studi più complessi, legati ai campi di applicazione aerospaziale, industriale, chimico, dove la struttura degli alberi logici risulta decisamente più articolata; nel nostro caso studio, il software è stato utilizzato come semplice ausilio tecnico per verificare che i risultati coincidessero con quelli ottenuti con lo strumento implementato su foglio Excel e per effettuare il calcolo delle incertezze delle misure impiegate nell'analisi, ricorrendo all'analisi di sensibilità, che restituisce il range di variazione dei dati di frequenza di accadimento per ciascun gate dell'albero dei guasti.

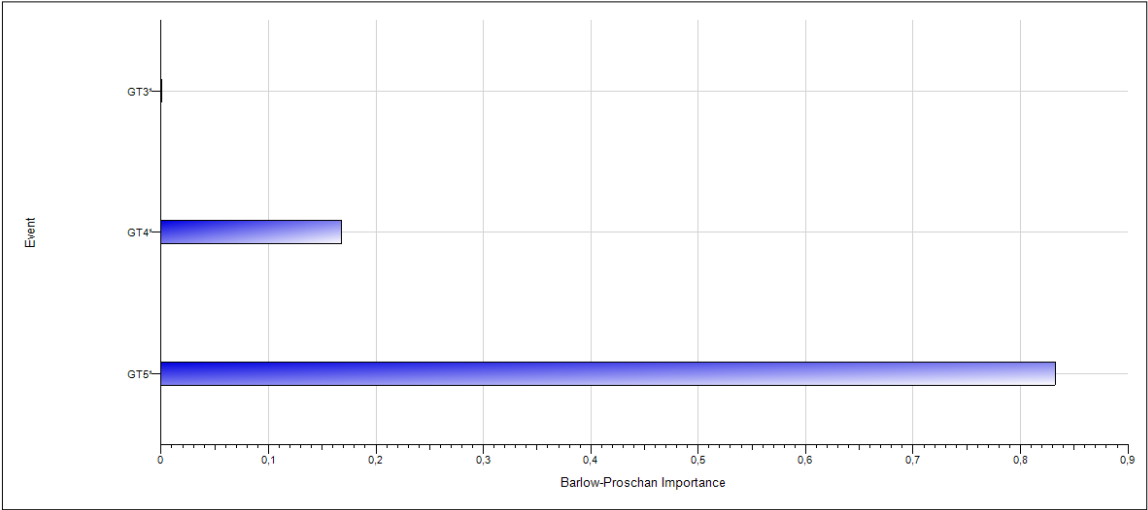
CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS (riferimento a metanodotto del paragrafo 6.2)

Gate/Eventi di riferimento	Frequenza	Sensibilità (-)	Sensibilità (+)	Indici di Barlow-Proschan (Dettagli nei grafici sotto)
Rottura tubazione gas (TP1)	4,47E-04	3,98E-04	4,97E-04	GT1*=0,5912 / GT2*=0,4088
Fattori esterni (GT1)	2,64E-04	2,34E-04	2,96E-04	GT3*=0,0001534 / GT4*=0,1677 GT5*=0,8321
Esercizio tubazione (GT2)	1,83E-04	1,65E-04	2,01E-04	GT6*=0,9985 / GT7*=0,00154
Evento sismico (GT3)	4,06E-08	3,29E-08	4,91E-08	EV1=0,5682 / EV2=0,4318
Evento idrogeologico (GT4)	4,43E-05	3,59E-05	5,37E-05	EV3=0,5006 / GT8*=0,4994
Fenomeni idrogeologici (GT8)	9,23E-03	8,31E-03	1,02E-02	EV4=0,9967 / EV5=0,003338
Caratteristiche del mondo antropizzato (GT5)	2,2E-04	1,98E-04	2,42E-04	EV6=0,9999 / EV7=0,000075
Condizioni di esercizio anomale (GT6)	1,83E-04	1,64E-04	2,01E-04	EV8=0,8767 / EV9=1,644E-05 EV10=0,1233
Cedimenti (GT7)	2,81E-07	2,28E-07	3,41E-07	EV11=0,4998 / GT9*=0,5002
Fattori interni (GT9)	1,41E-04	1,27E-04	1,55E-04	EV12=0,4688 / EV13=0,5312
Sisma (EV1)	9,6E-08	---	---	---
Mancata progettazione antisismica (EV2)	0,48 (P)	---	---	---
Assenza interventi ingegneria (EV3)	0,0048 (P)	---	---	---
Frane e smottamenti (EV4)	9,24E-03	---	---	---
Allagamenti e inondazioni (EV5)	3,08E-05	---	---	---
Attività vicino a condotta (EV6)	2,2E-04	---	---	---
Vibrazioni ferroviarie (EV7)	1,65E-08	---	---	---
Pressioni elevate (EV8)	1,6E-04	---	---	---
Surriscaldamento (EV9)	3,0E-09	---	---	---
Interventi manutenzione (EV10)	2,25E-05	---	---	---
No controlli (EV11)	0,002 (P)	---	---	---
Usura/corrosione (EV12)	6,6E-05	---	---	---
Errori posa e realizzazione (EV13)	7,48E-05	---	---	---

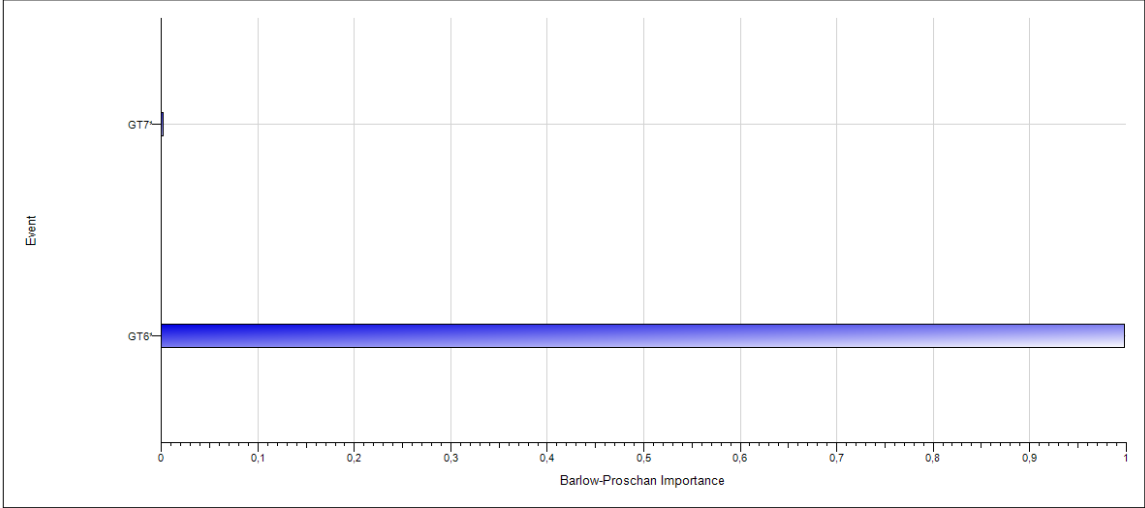
TP1 Barlow-Proschan Importance



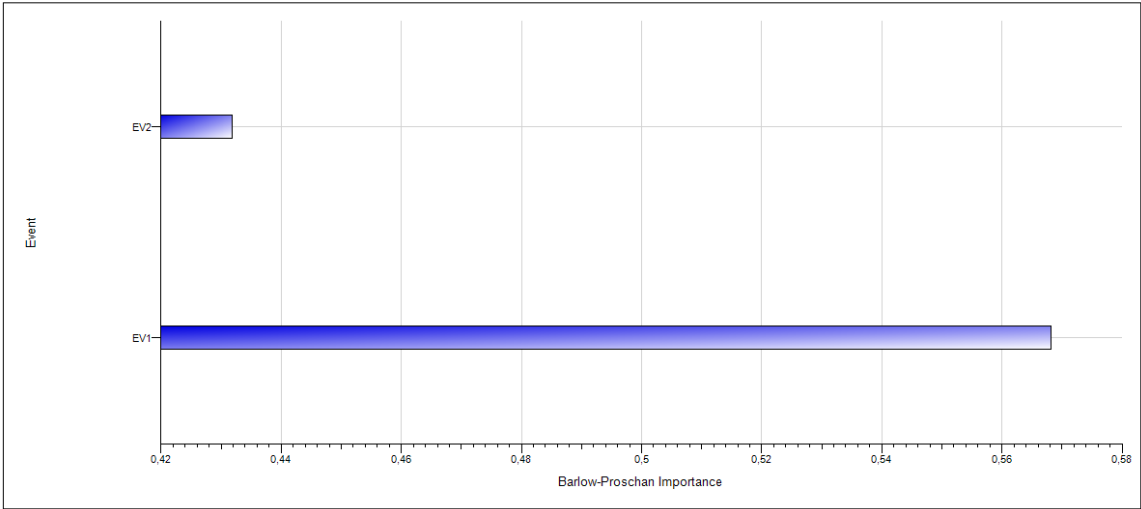
GT1 Barlow-Proschan Importance



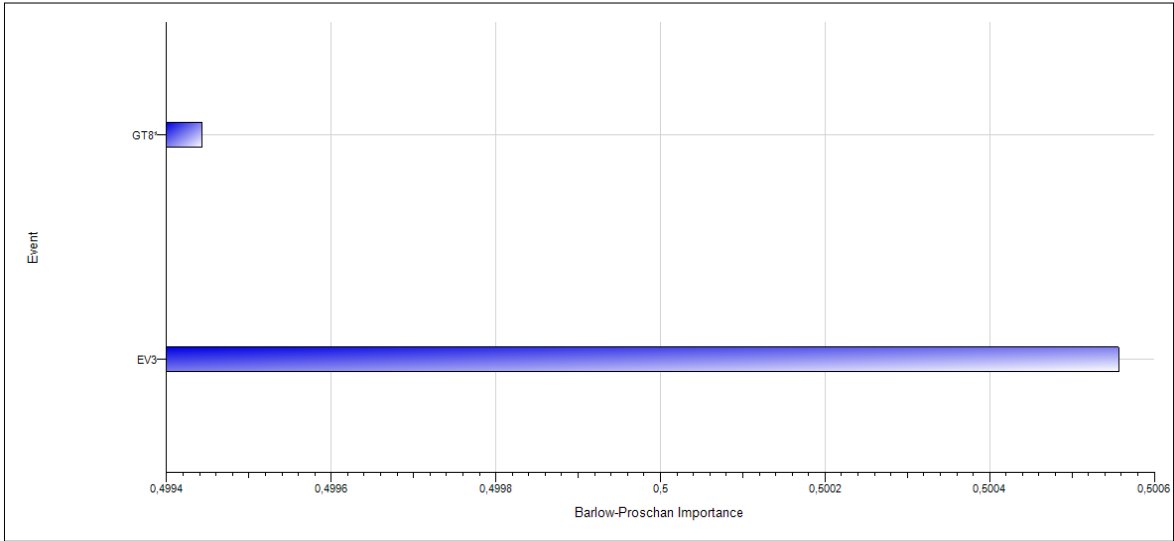
GT2 Barlow-Proschan Importance



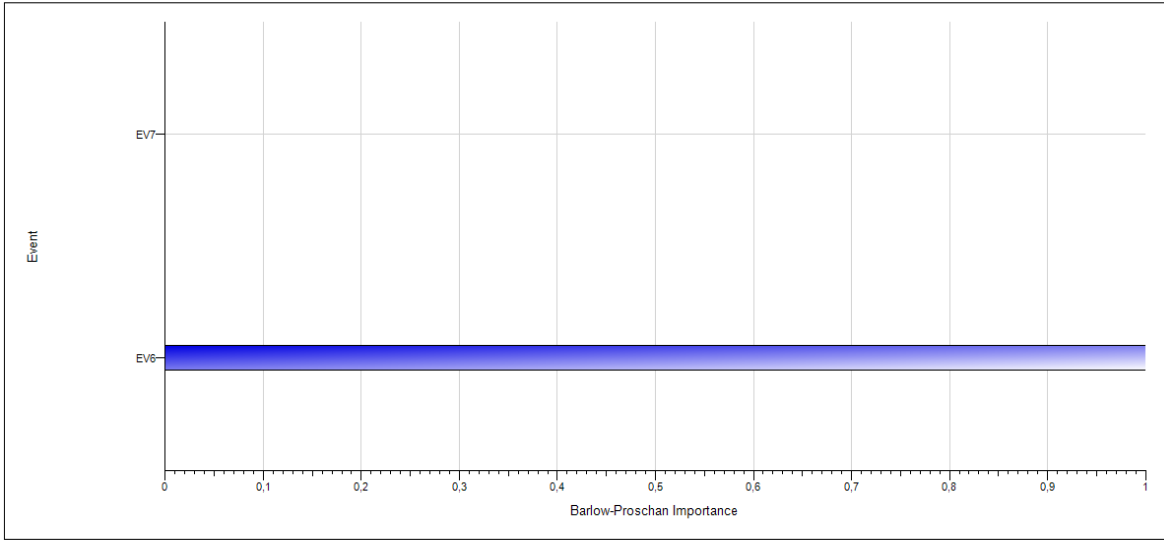
GT3 Barlow-Proschan Importance



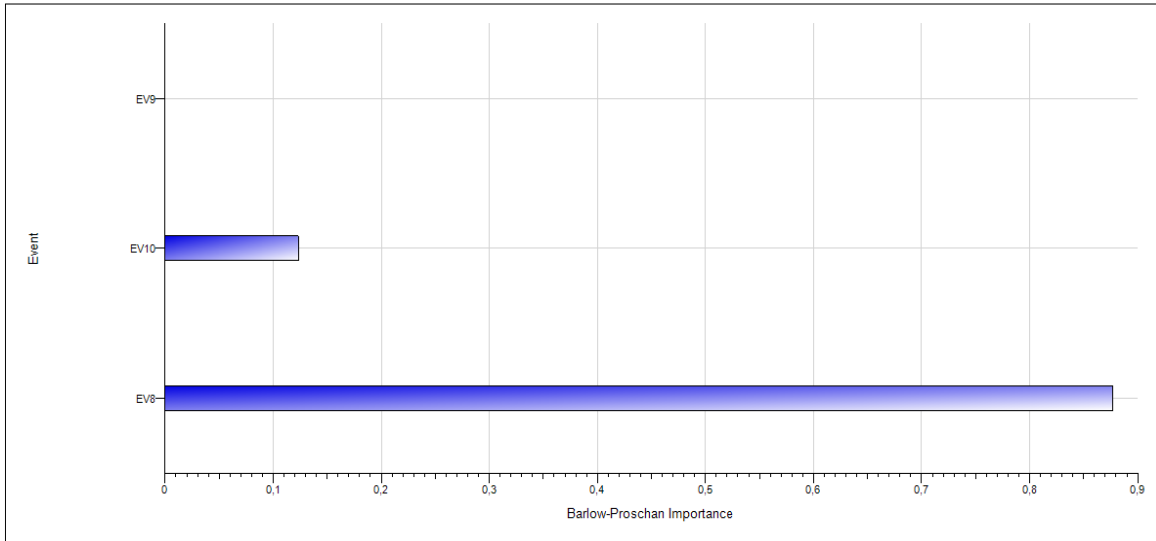
GT4 Barlow-Proschan Importance



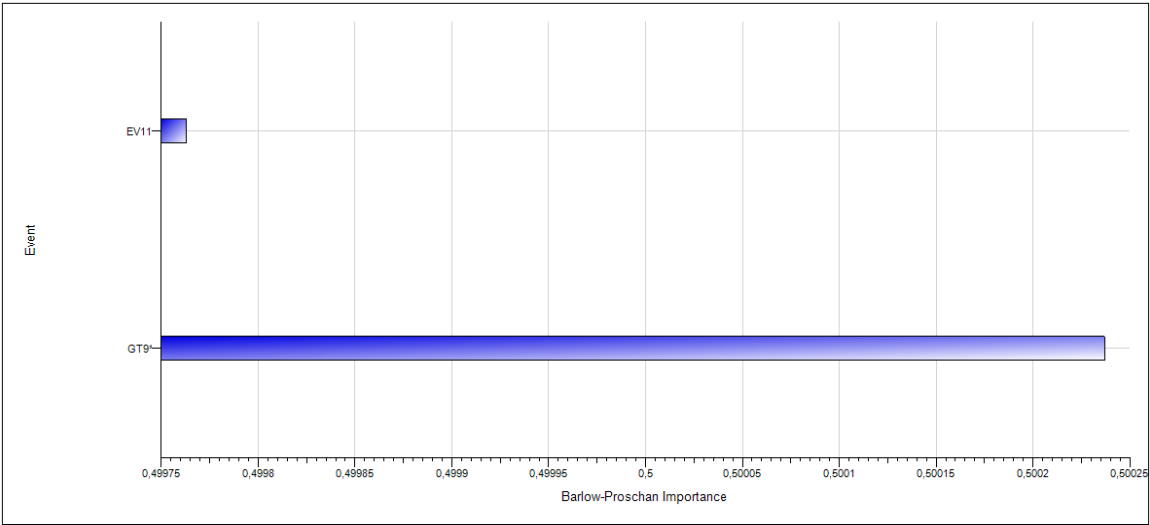
GT5 Barlow-Proschan Importance



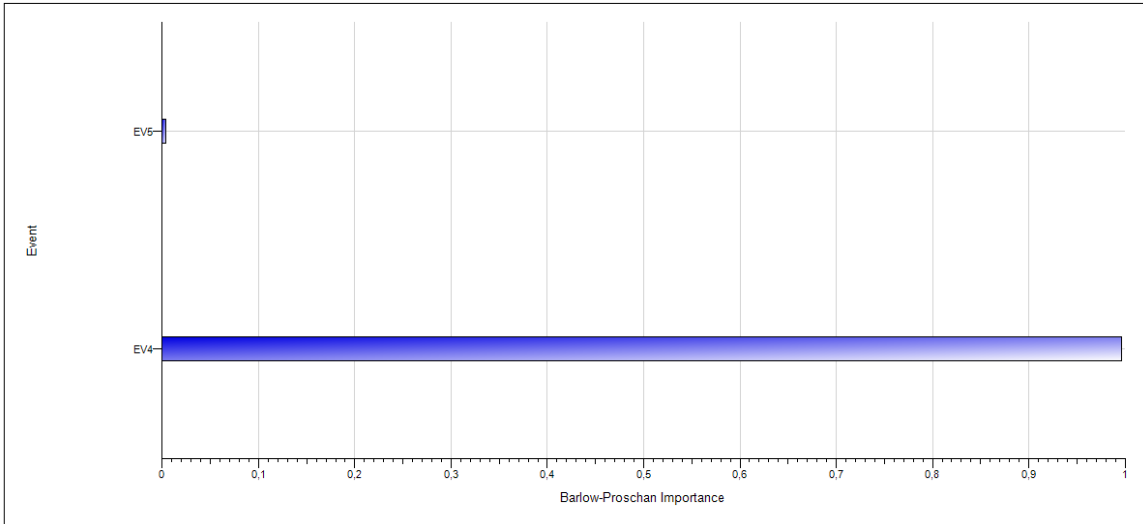
GT6 Barlow-Proschan Importance



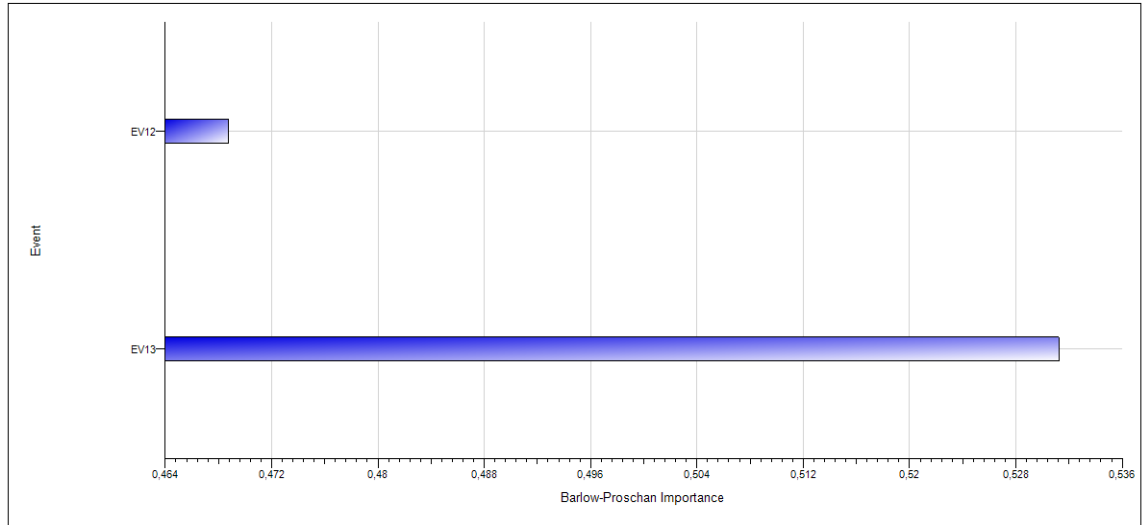
GT7 Barlow-Proschan Importance



GT8 Barlow-Proschan Importance



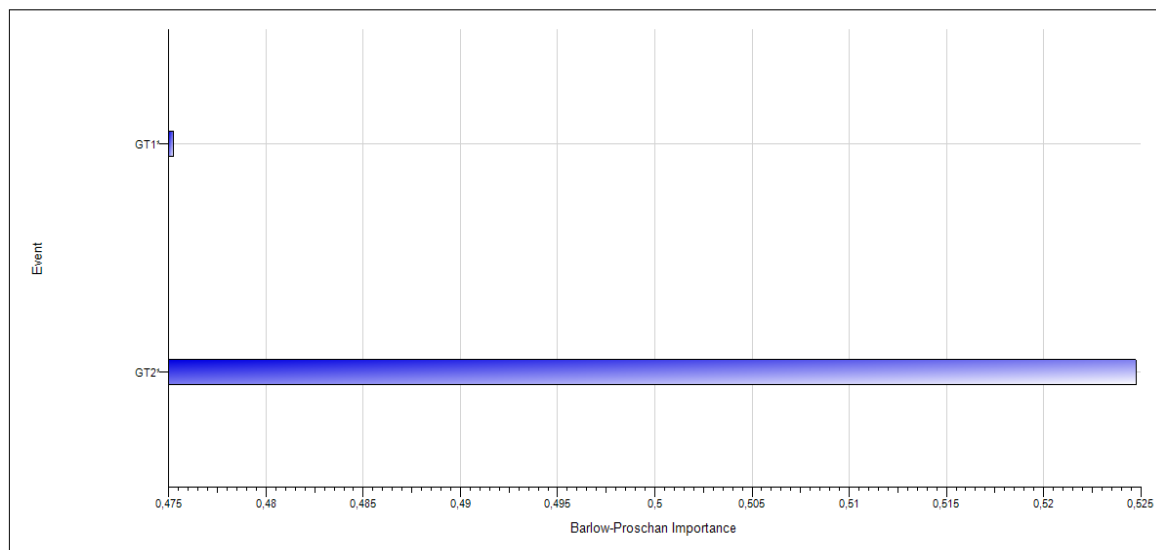
GT9 Barlow-Proschan Importance



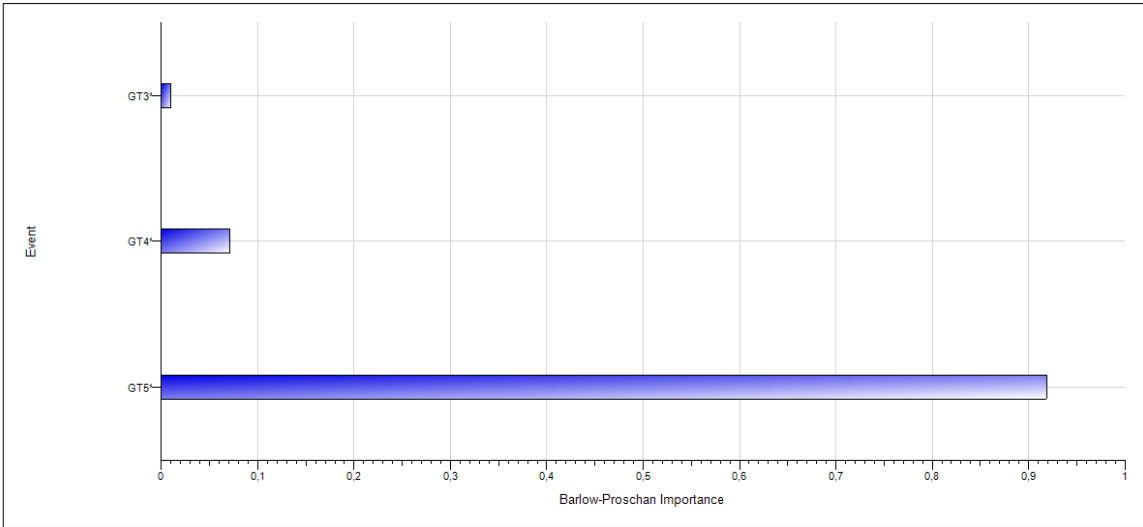
CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI (riferimento ad acquedotto del paragrafo 6.2)

Gate/Eventi di riferimento	Frequenza	Sensibilità (-)	Sensibilità (+)	Indici di Barlow-Proschan (Dettagli nei grafici sotto)
Rottura tubazione acqua (TP1)	5,51E-05	4,93E-05	6,08E-05	GT1*=0,4753 / GT2*=0,5247
Fattori esterni (GT1)	2,61E-05	2,33E-05	2,90E-05	GT3*=0,01005 / GT4*=0,07142 GT5*=0,9185
Esercizio tubazione (GT2)	2,89E-05	2,60E-05	3,18E-05	GT6*=0,9997 / GT7*=0,0003462
Evento sismico (GT3)	2,63E-07	2,13E-07	3,18E-07	EV1=0,5682 / EV2=0,4318
Evento idrogeologico (GT4)	1,87E-06	1,52E-06	2,26E-06	EV3=0,3333 / GT11*=0,6667
Fenomeni idrogeologici (GT9)	2,49E-06	2,24E-06	2,74E-06	EV4=0 / EV5=1
Caratteristiche mondo antropizzato (GT5)	2,40E-05	2,16E-05	2,64E-05	EV6=0,9993 / EV7=0,000687
Condizioni di esercizio anomale (GT6)	2,89E-05	2,60E-05	3,18E-05	EV8=0,6757 / EV9=0,0693 EV10=0,1733 / EV11=0,08177
Cedimenti (GT7)	9,99E-09	8,10E-09	1,21E-08	EV14=0,4998 / GT8*=0,5002
Fattori interni (GT8)	5,00E-06	4,50E-06	5,50E-06	EV12=0,6 / EV13=0,4
Sisma (EV1)	6,22E-07	---	---	---
Mancata progettazione antisismica (EV2)	0,48 (P)	---	---	---
Assenza interventi ingegneria (EV3)	1 (P)	---	---	---
Frane e smottamenti (EV4)	0,00E+00	---	---	---
Allagamenti e inondazioni (EV5)	2,49E-06	---	---	---
Attività vicino a condotta (EV6)	2,4E-05	---	---	---
Vibrazioni ferroviarie (EV7)	1,65E-08	---	---	---
Pressioni elevate (EV8)	1,95E-05	---	---	---
Cicli di gelo e disgelo (EV9)	2,0E-06	---	---	---
Aumento grado scabrezza (EV10)	5,0E-06	---	---	---
Interventi manutenzione (EV11)	2,36E-06	---	---	---
Usura/corrosione (EV12)	3,0E-06	---	---	---
Errori posa e realizzazione (EV13)	2,0E-06	---	---	---
No controlli (EV14)	0,002	---	---	---

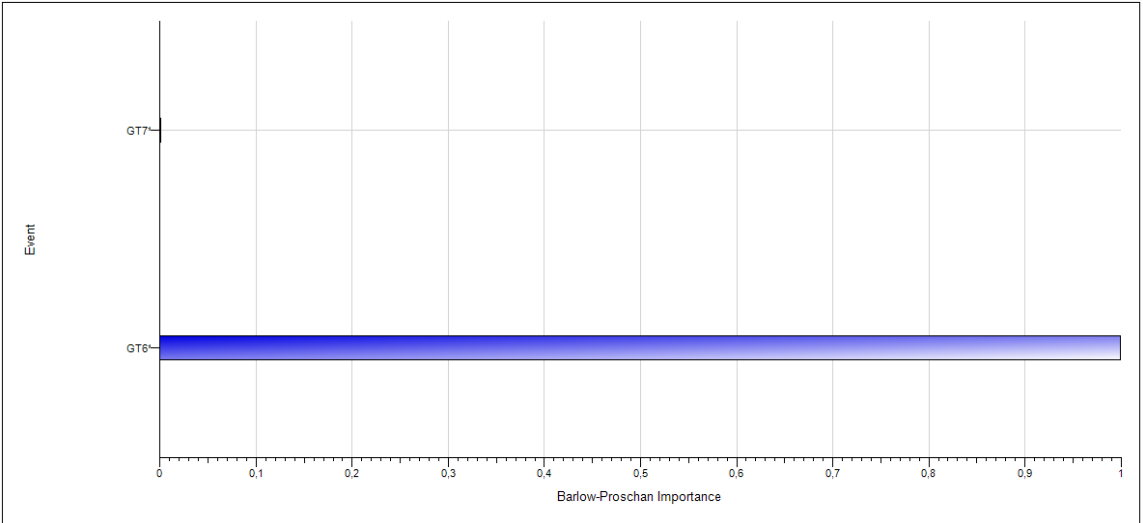
TP1 Barlow-Proschan Importance



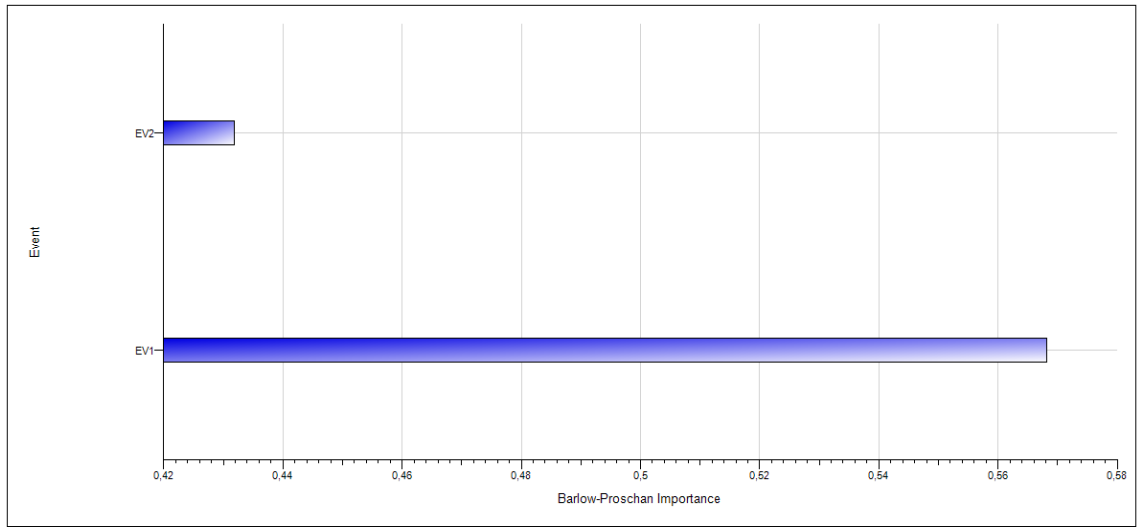
GT1 Barlow-Proschan Importance



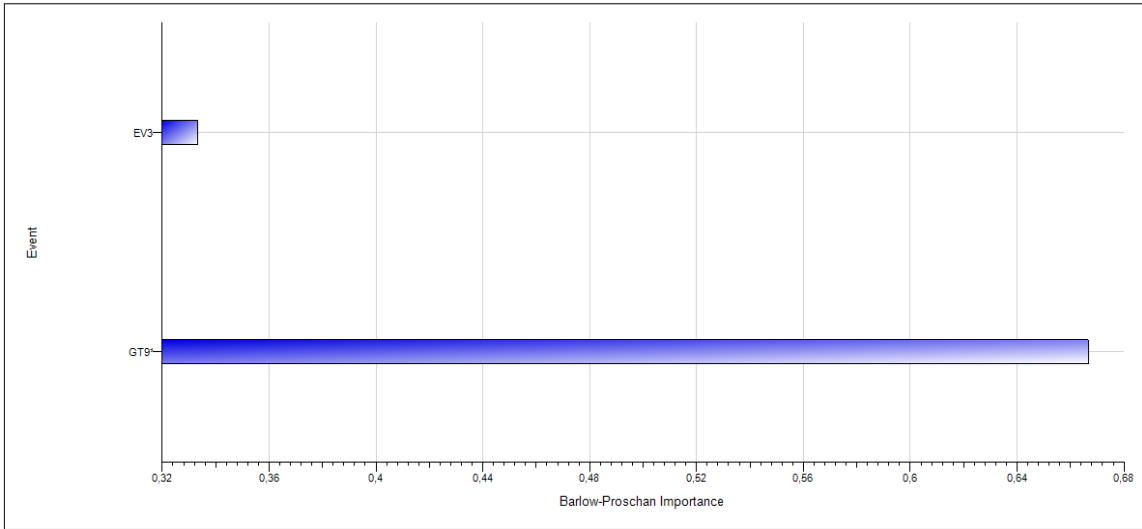
GT2 Barlow-Proschan Importance



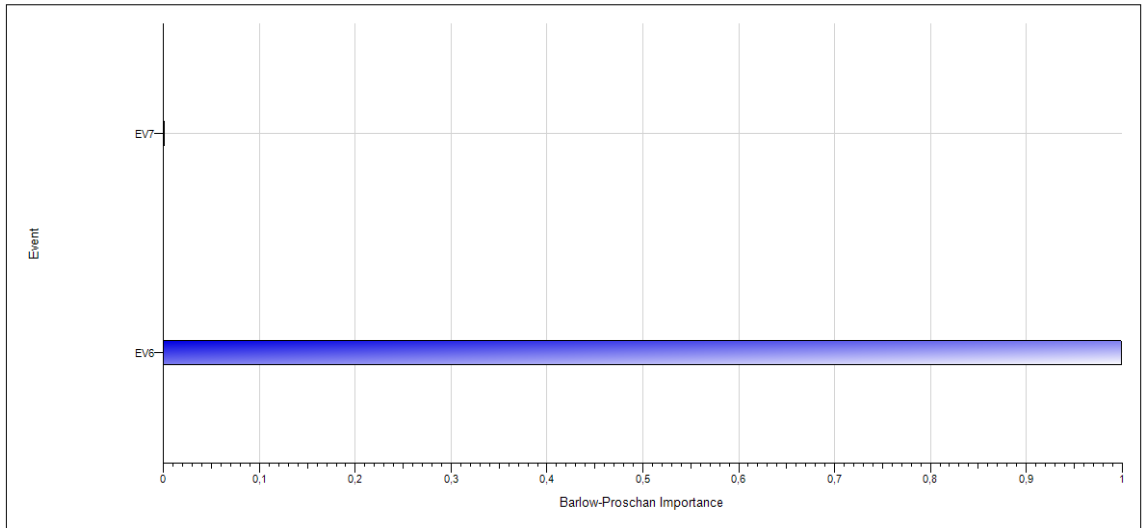
GT3 Barlow-Proschan Importance



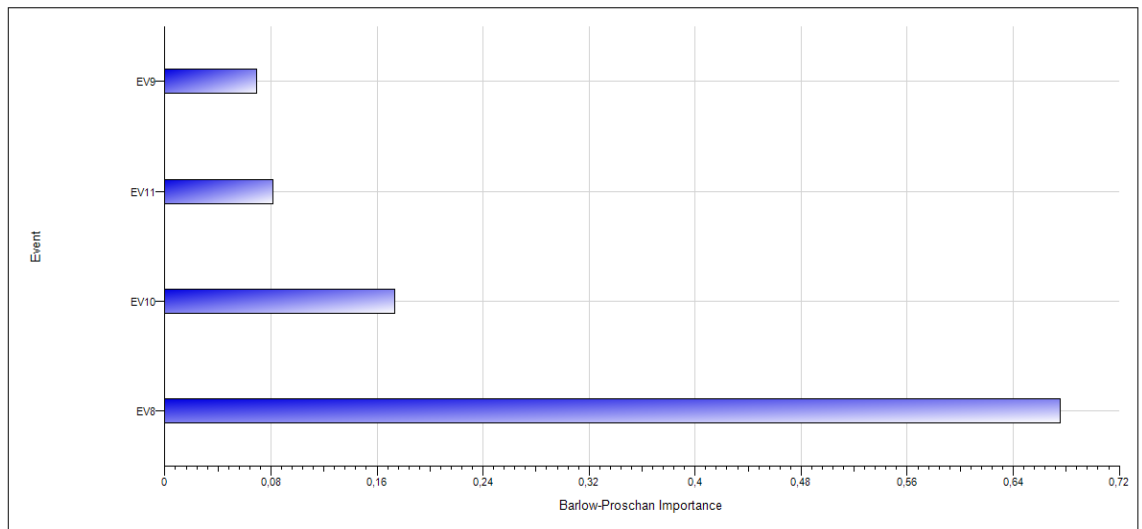
GT4 Barlow-Proschan Importance



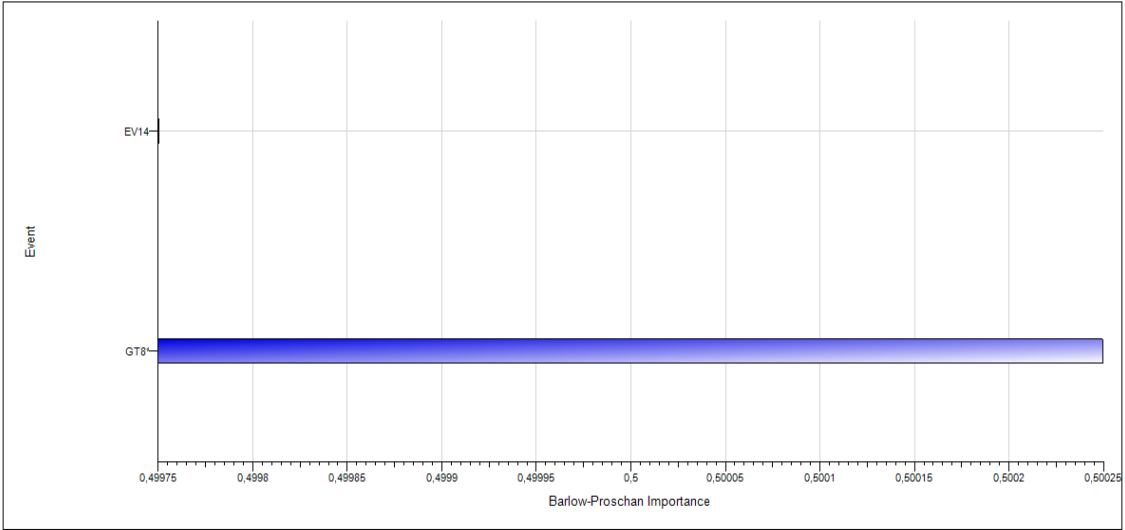
GT5 Barlow-Proschan Importance



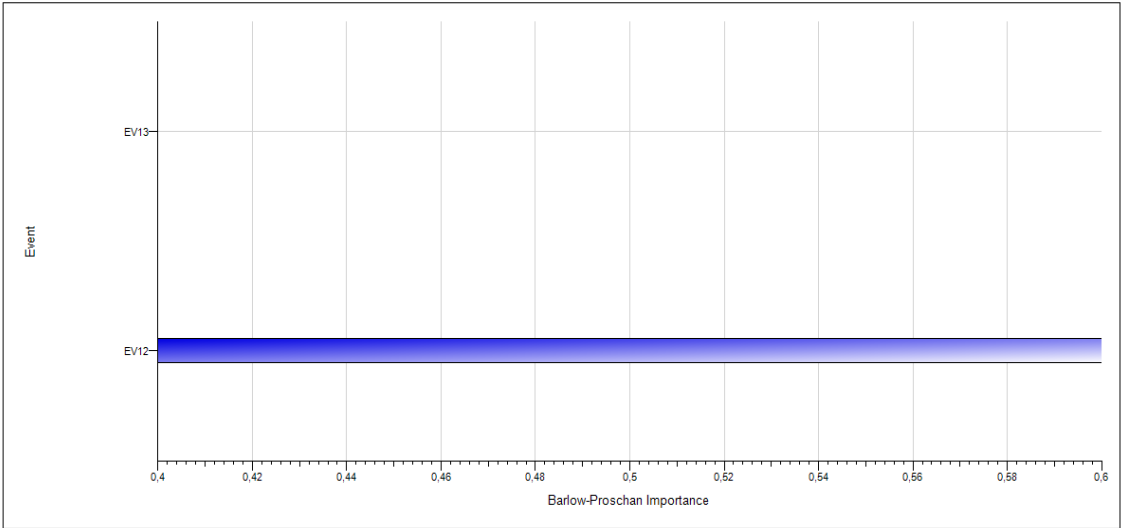
GT6 Barlow-Proschan Importance



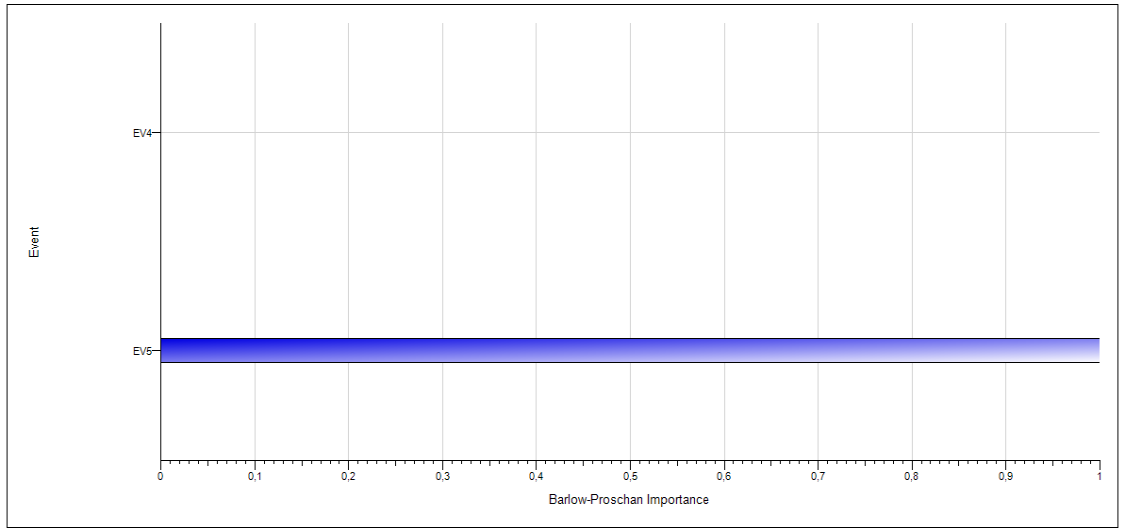
GT7 Barlow-Proschan Importance



GT8 Barlow-Proschan Importance



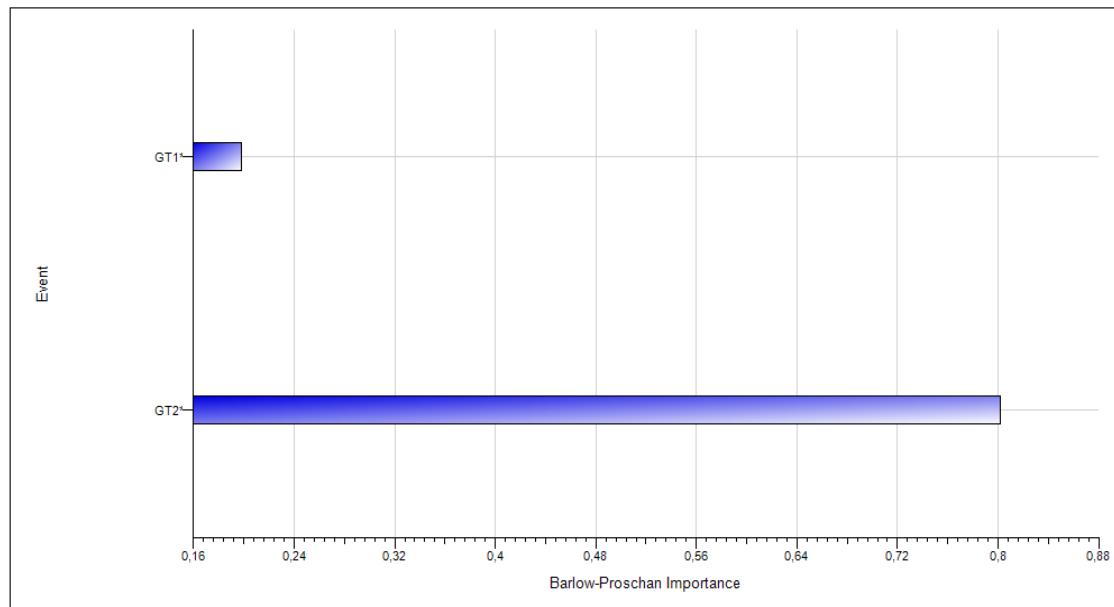
GT9 Barlow-Proschan Importance



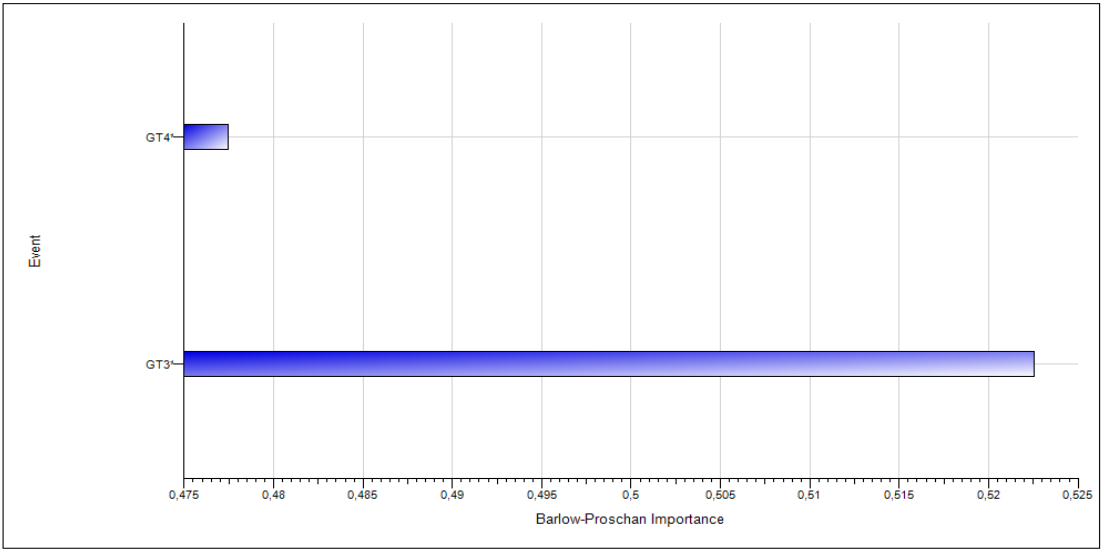
CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE (riferimento ad elettrodotto del paragrafo 6.2)

Gate/Eventi di riferimento	Frequenza	Sensibilità (-)	Sensibilità (+)	Indici di Barlow-Proshan (Dettagli nei grafici sotto)
Rottura cavo linea aerea elettrica (TP1)	2,10E-04	1,90E-04	2,32E-04	GT1*=0,1979 / GT2*=0,8021
Fattori esterni (GT1)	4,17E-05	3,75E-05	4,59E-05	GT3*=0,5226 / GT4*=0,4774
Esercizio tubazione (GT2)	1,69E-04	1,52E-04	1,86E-04	GT5*=0,03301 / GT6*=0,967
Eventi naturali (GT3)	2,18E-05	1,96E-05	2,40E-05	GT7*=0,001437 / EV1=0,3992 / EV2=0,3497 / EV3=0,2496
Mondo antropizzato (GT4)	1,99E-05	1,79E-05	2,19E-05	EV7=0,111 / EV8=0,889
Condizioni di esercizio anomale (GT5)	5,58E-06	5,02E-06	6,14E-06	EV9=0,4268 / EV10=0,06043 / EV11=0,5128
Problemi di instabilità (GT6)	1,63E-04	1,47E-04	1,80E-04	EV12=0,1665 / EV13=0,7711 / EV14=0,06243
Evento idrogeologico (GT7)	3,13E-08	2,54E-08	3,79E-08	EV4=0,4994 / GT8*=0,5006
Fenomeni idrogeologici (GT8)	6,53E-06	5,88E-06	7,18E-06	EV5=0 / EV6=1
Sisma (EV1)	8,7E-06	---	---	---
Vento forte (EV2)	7,62E-06	---	---	---
Precipitazioni (EV3)	5,44E-06	---	---	---
Mancanza sistemi protettivi (EV4)	0,0048 (P)	---	---	---
Frane e smottamenti (EV5)	0	---	---	---
Allagamenti e inondazioni (EV6)	6,53E-06	---	---	---
Vibrazioni ferroviarie (EV7)	2,21E-06	---	---	---
Attività umane vicino rete elettrica (EV8)	1,77E-05	---	---	---
Sbalzi elettrici (EV9)	2,38E-06	---	---	---
Interventi manutenzione (EV10)	3,37E-07	---	---	---
Surriscaldamento cavo (EV11)	2,86E-06	---	---	---
Errori posa/realizzazione (EV12)	2,72E-05	---	---	---
Usura e corrosione (EV13)	1,26E-04	---	---	---
Crollo dei tralicci di sostegno (EV14)	1,02E-05	---	---	---

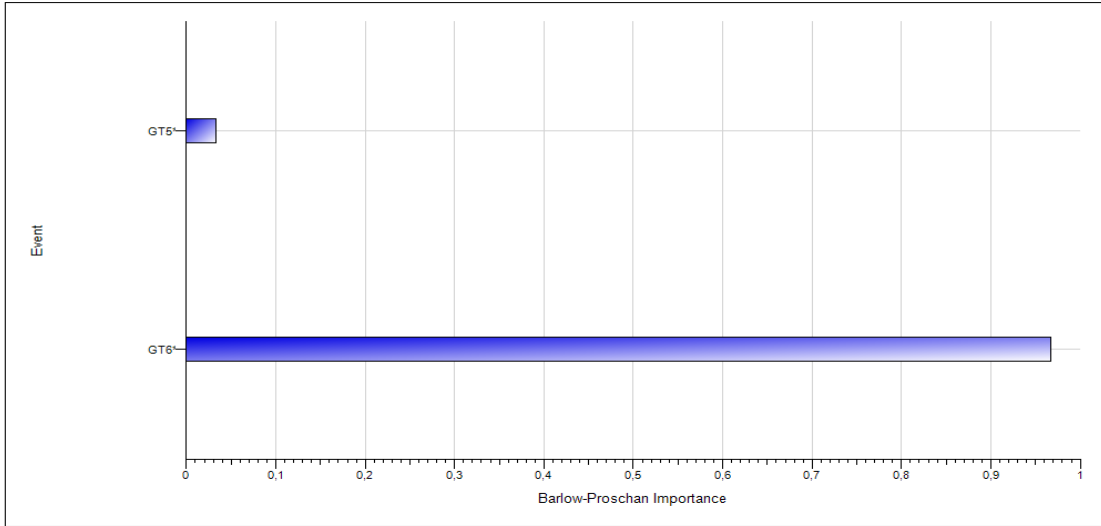
TP1 Barlow-Proshan Importance



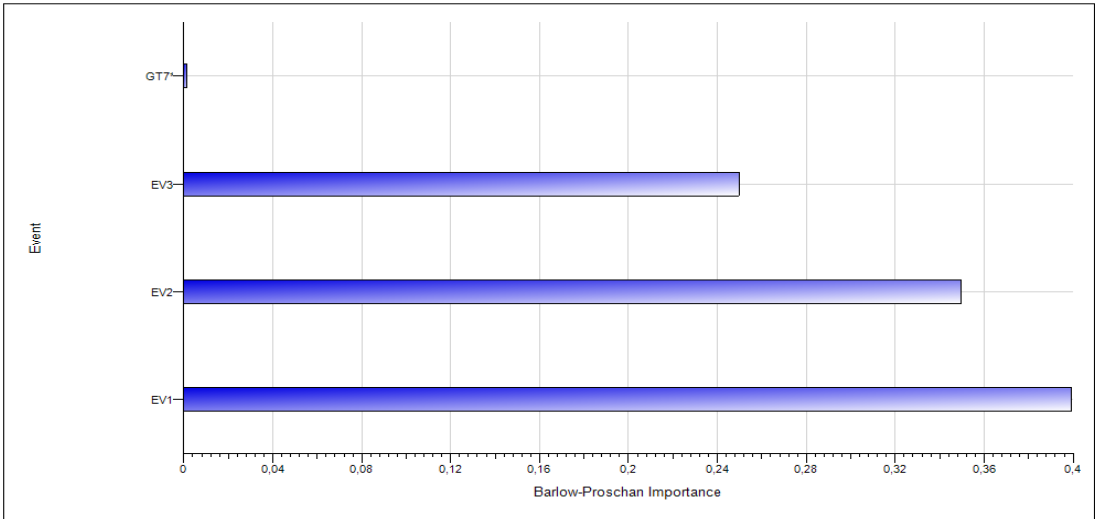
GT1 Barlow-Proschan Importance



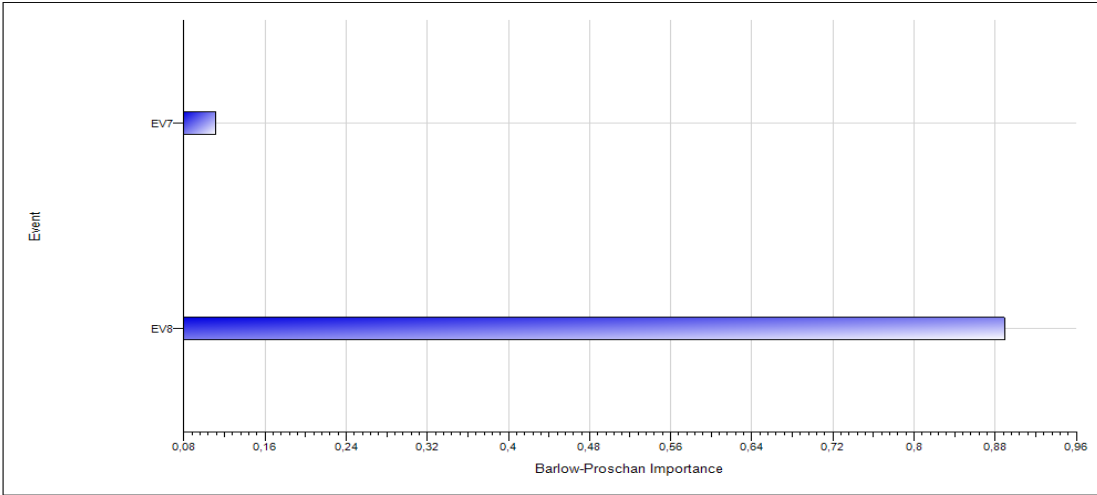
GT2 Barlow-Proschan Importance



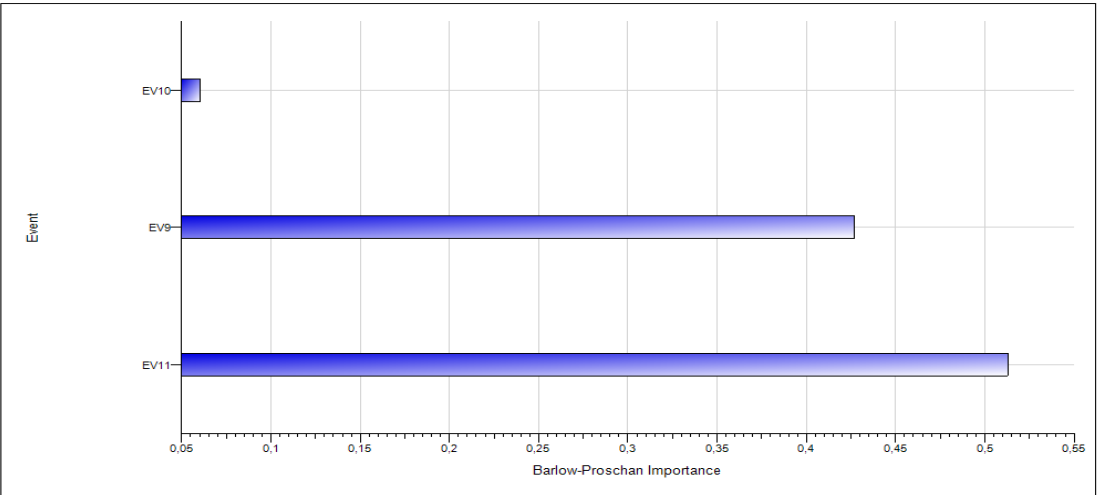
GT3 Barlow-Proschan Importance



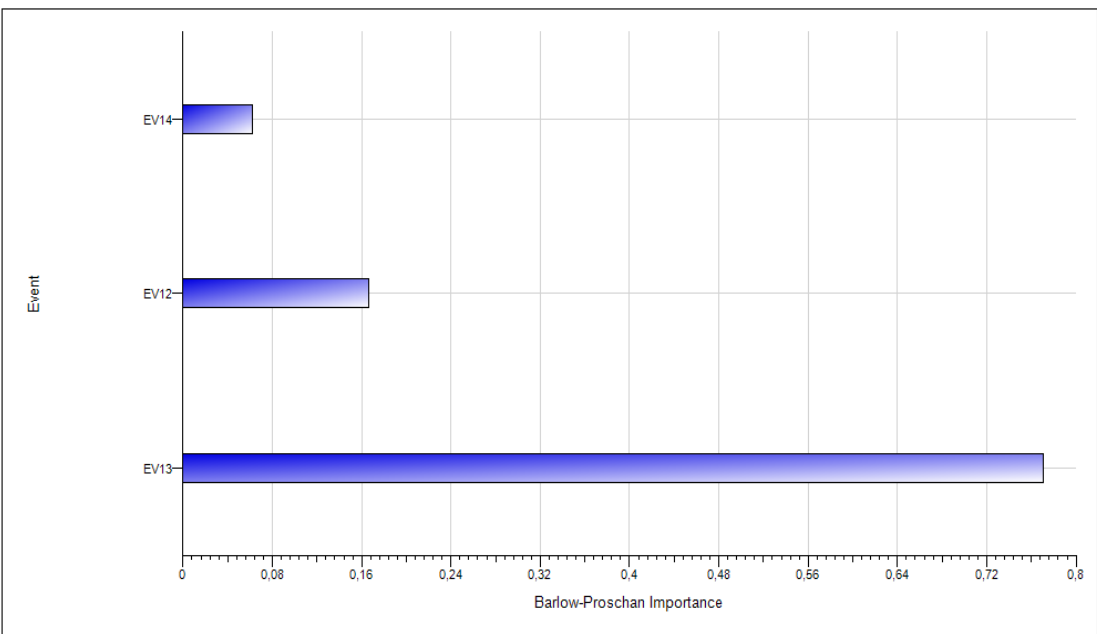
GT4 Barlow-Proschan Importance



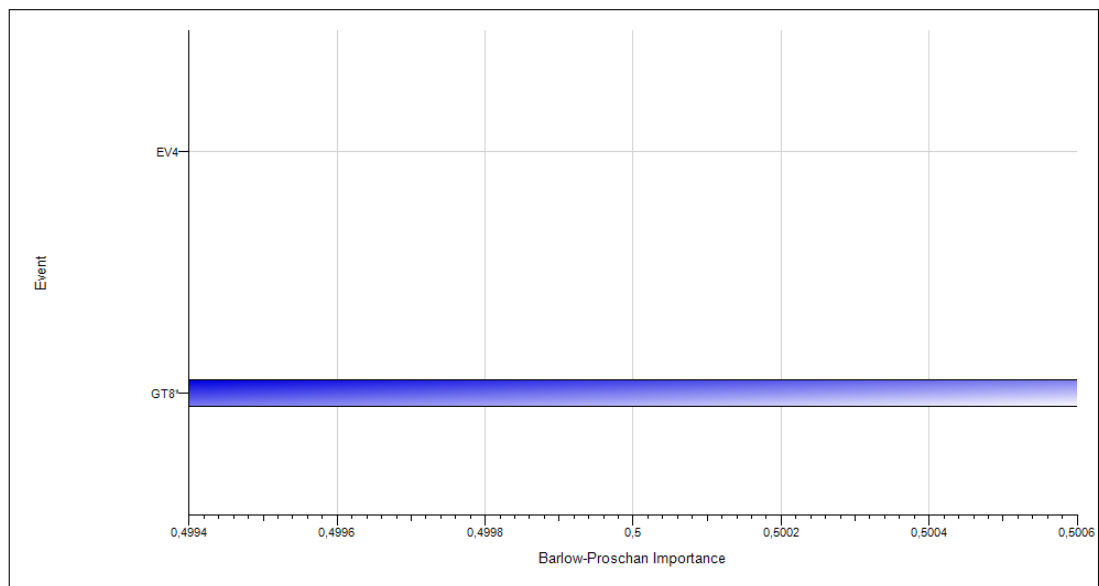
GT5 Barlow-Proschan Importance



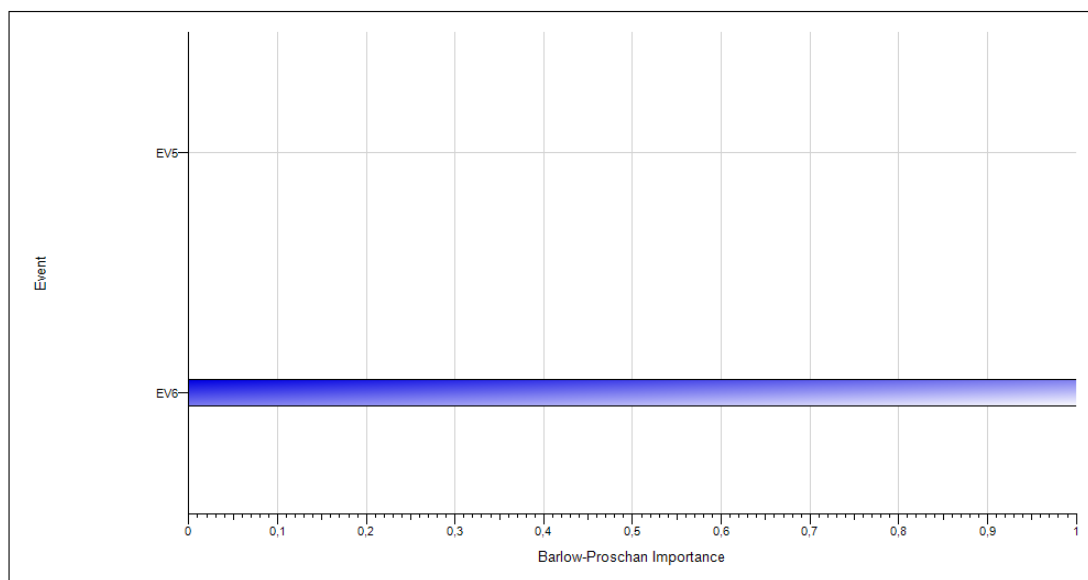
GT6 Barlow-Proschan Importance



GT7 Barlow-Proschan Importance



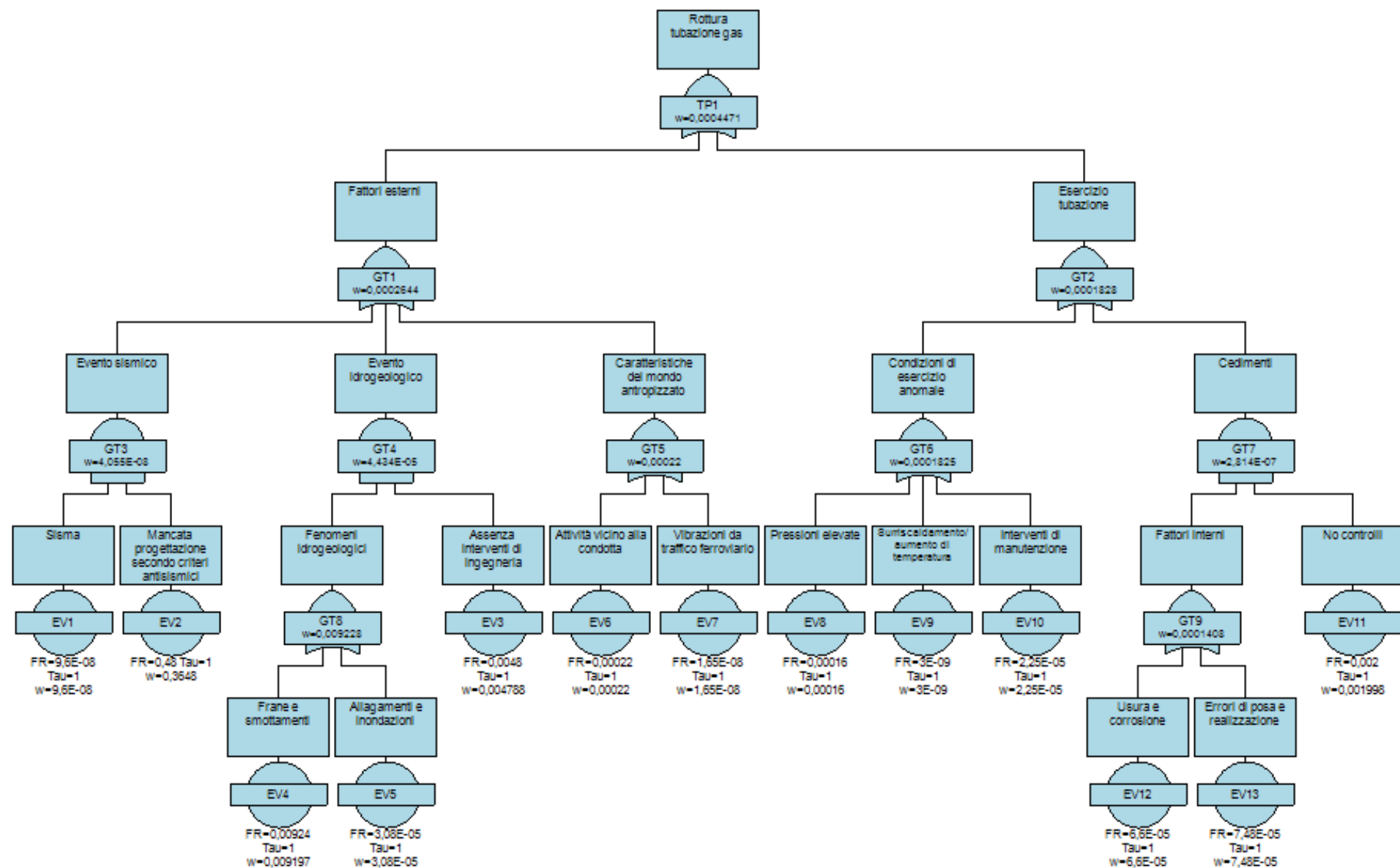
GT8 Barlow-Proschan Importance



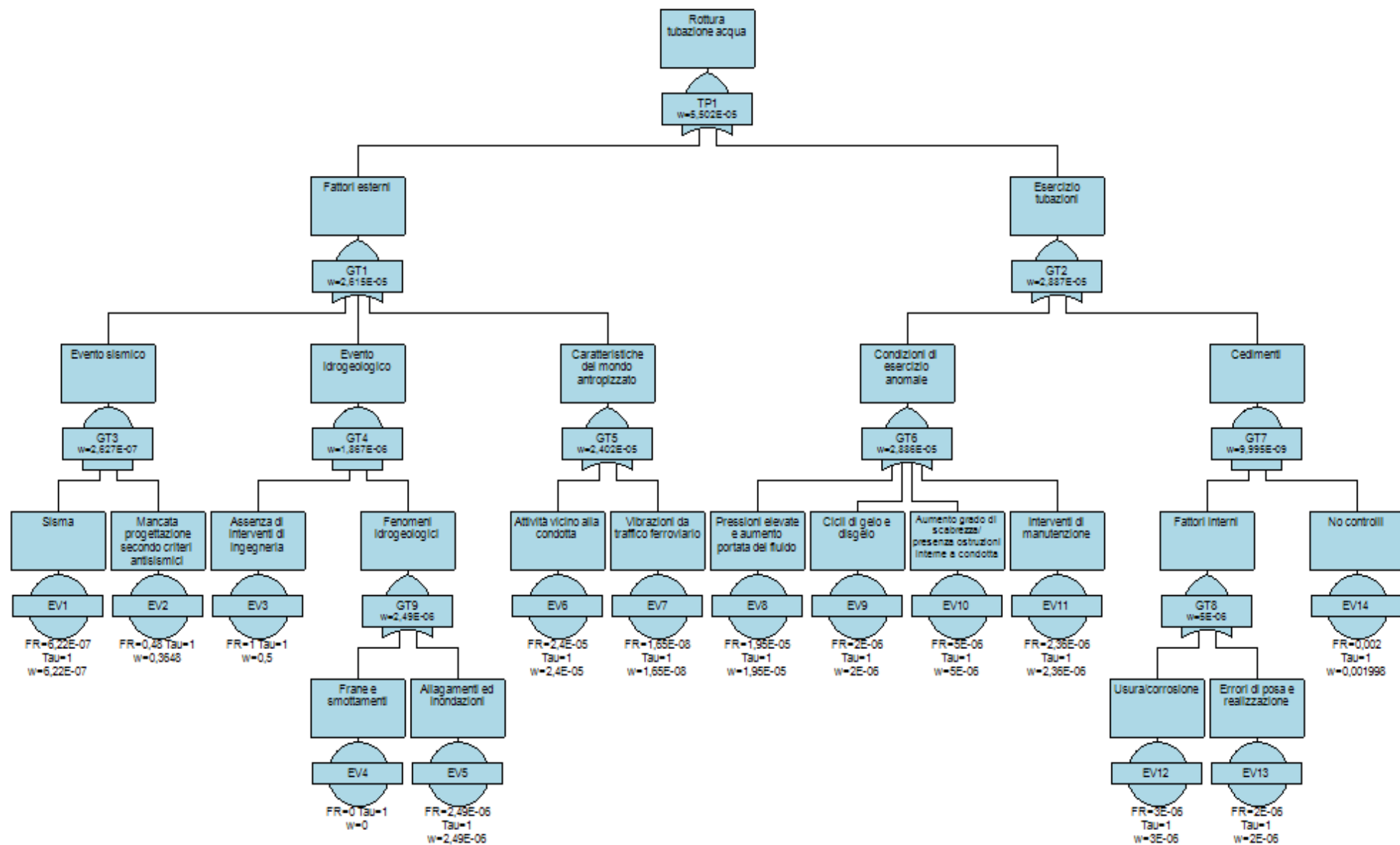
Si riportano, infine, le risoluzioni dei tre alberi dei guasti effettuate con il software Isograph.

Vengono inseriti, per ciascuno dei tre diagrammi logici i valori di frequenza di accadimento dei corrispondenti Top Event ottenuti mediante il processo di risoluzione automatica del software.

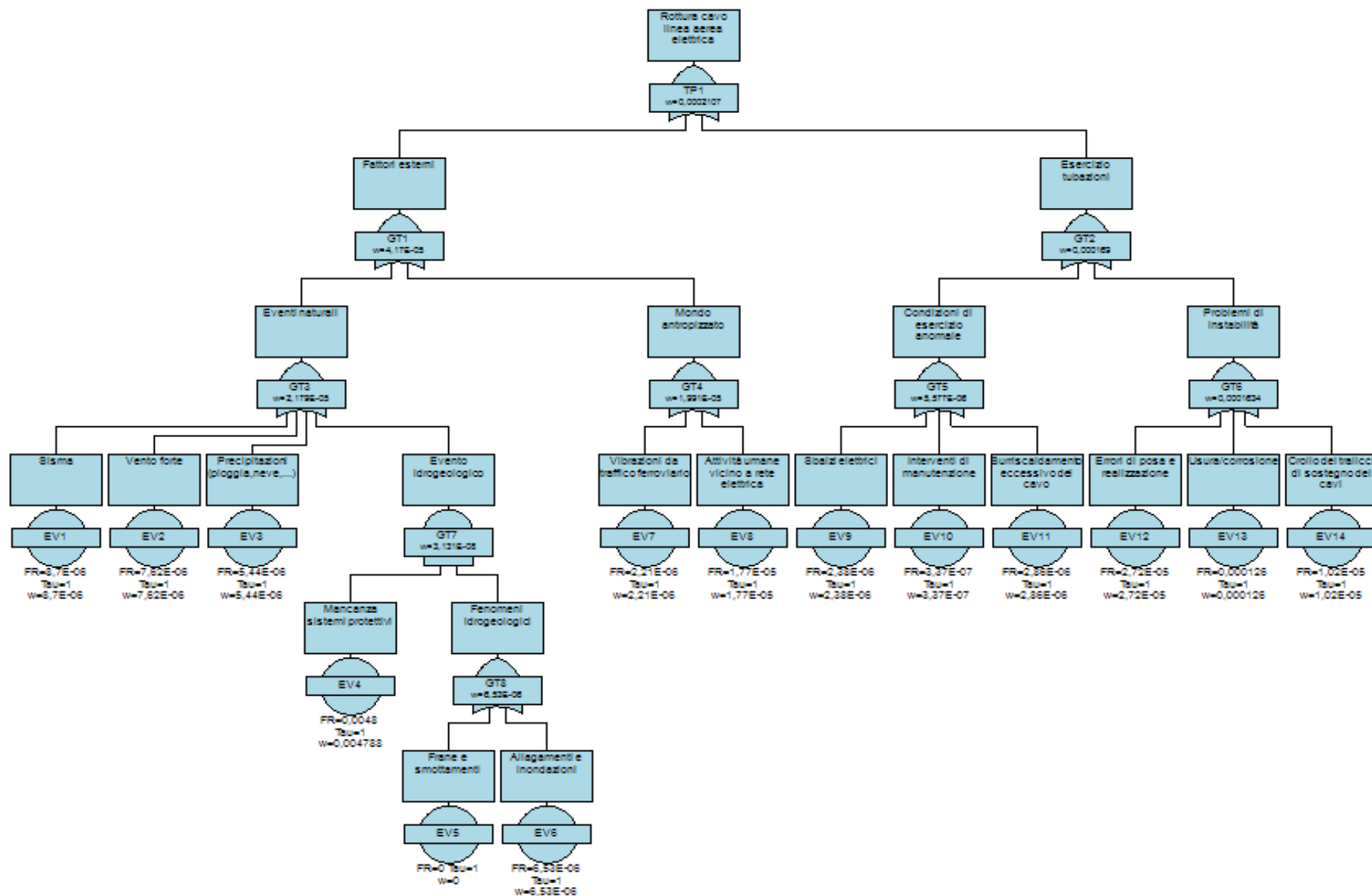
ALBERO DEI GUASTI 1: CASO TUBAZIONI DEL GAS (SOFTWARE)



ALBERO DEI GUASTI 2: CASO TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI (SOFTWARE)



ALBERO DEI GUASTI 3: CASO LINEE AEREE ELETTRICHE (SOFTWARE)



CAPITOLO 7 – CONCLUSIONI

7.1 RISULTATI RAGGIUNTI E CONSIDERAZIONI

Il presente lavoro ha permesso di implementare una metodologia pratica ed uno strumento operativo di semplice utilizzo, che consentono di supportare gestione di sistemi come attraversamenti e parallelismi interferenti con l'infrastruttura ferroviaria al fine di ridurre i rischi per la circolazione.

L'analisi e lo strumento sviluppati costituiscono un mezzo decisionale per l'accettabilità o meno dei rischi indotti da queste strutture, valutando, pertanto, la loro compatibilità con l'ambiente circostante con cui si interfacciano.

Si evidenziano, in particolare, i seguenti tre aspetti fondamentali, trattati nello sviluppo dell'analisi e dello strumento:

- la raccolta di dati statistici, provenienti da banche dati certificate oppure da documentazioni interne dell'Azienda, contenenti informazioni e dati forniti direttamente dagli enti gestori degli attraversamenti e parallelismi. Questa fase, particolarmente delicata da compiere, consente di poter arrivare alla caratterizzazione corretta delle frequenze di accadimento dei Top Event iniziatori, passando attraverso le frequenze di guasto dei componenti, la probabilità di errore umano, le incertezze di modello dei software eventualmente adottati per la risoluzione delle problematiche;
- l'analisi dei rischi sul territorio, mettendo in relazione i rischi naturali con quelli artificiali;
- le conseguenze in termini di danno, derivanti da un determinato evento incidentale, come esplosioni, incendi, dispersioni, cedimenti. Per configurare concretamente questi fenomeni complessi, attualmente, si utilizzano modelli parametrici di semplice utilizzo, che si portano dietro una serie di incertezze, producendo, in via precauzionale, una sovrastima dei risultati in modo da essere sicuri di soddisfare a pieno tutti i requisiti di sicurezza. Tutto sommato, nel futuro, alla luce dell'evoluzione tecnologica, si andrà sicuramente alla ricerca di nuovi approfondimenti in materia, per dare vita a strumenti più articolati e, al tempo stesso, più sicuri.

Oggi, è possibile notare una grande interazione tra gli impianti di gas, acqua ed elettricità con le infrastrutture di trasporto.

Questa compresenza di impianti ed infrastrutture, però, può far scaturire problematiche anche considerevoli in termini di incidenti che possono nascere da entrambi i settori; in altre parole, come si è visto dall'analisi eseguita per i diversi casi studio esaminati nei capitoli precedenti, un sinistro che si genera dall'impianto può avere ripercussioni anche sulla ferrovia.

Risulta, pertanto, importante definire da parte di un team di esperti, una serie di procedure mitigative e di indicatori da monitorare, al fine di tenere costantemente sotto controllo la situazione ed intervenire prontamente, qualora dovessero manifestarsi criticità impreviste.

Lo strumento implementato consente proprio di ricavare automaticamente tutti questi risultati, cercando di ottimizzare i tempi delle pratiche e le decisioni da intraprendere.

In definitiva, in ambito ferroviario, si punta sempre più a ridurre il numero degli incidenti di esercizio, cercando di incrementare sempre più i livelli di sicurezza nei confronti di tutti i sistemi endogeni ed esogeni con cui la ferrovia è in contatto.

Come si è visto, con il cambio di approccio normativo e le richieste da parte di ANSF (l'Agenzia che si occupa in territorio italiano della sicurezza in campo ferroviario), si punta a soddisfare due esigenze importanti: allineare la situazione delle ferrovie regionali con quella di RFI ed altre realtà estere e, al tempo stesso, garantire l'interoperabilità ferroviaria con gli altri paesi dell'Unione Europea.

7.2 VANTAGGI E LIMITI DELLO STRUMENTO IMPLEMENTATO

Il programma implementato presenta diversi vantaggi.

Innanzitutto, è uno strumento che può essere utilizzato come supporto tecnico ai processi decisionali, davanti a scelte importanti che devono prendere gli enti gestori delle strutture e della ferrovia.

Inoltre, può essere utilizzato sia per il rilascio di concessioni, autorizzazioni, nulla osta in merito alla progettazione e realizzazione di un nuovo attraversamento o parallelismo in un qualsiasi punto della rete ferroviaria, riuscendo a capire quali sono le potenziali criticità che pesano di più in funzione della caratterizzazione idrogeologica e sismica del territorio e delle caratteristiche di esercizio dell'impianto, sia per la gestione sicura delle strutture già esistenti, progettate in passato secondo i criteri dettati dalle normative non più in vigore.

Un altro importante vantaggio è dato dalla possibilità di modifica dei dati di input per il futuro, con possibile cambio delle informazioni statistiche prodotte dalle banche dati di riferimento, che comporta un aggiornamento automatico di tutti i risultati di output.

Costituisce, inoltre, uno strumento di supporto per la definizione delle misure preventive/mitigative e i requisiti da dover richiedere a chi gestisce queste interferenze esterne, in modo tale da ridurre o eliminare totalmente gli impatti verso la ferrovia e la sicurezza di circolazione.

Infine, tale strumento aiuta anche a controllare con attenzione e maggior facilità le possibili criticità che si possono generare da queste strutture, definendo le misure di sicurezza da attuare.

Lo strumento allo stato attuale presenta alcuni limiti.

Prima di tutto, non sono direttamente implementati gli strumenti di calcolo delle incertezze, per la definizione delle quali è possibile ricorrere a software specifici, quali "Isograph Reliability Workbench 13.0", in grado di effettuare le analisi di sensibilità delle misure e valori utilizzati.

Inoltre, è possibile condurre un'analisi solo di carattere puntuale in corrispondenza di un dato attraversamento/parallelismo, senza possibilità di capire le criticità nelle immediate vicinanze del punto esaminato. Infatti, ciò è evidenziato proprio da una delle informazioni di input richiesta nel prospetto iniziale, inserita manualmente da parte dell'operatore, ossia la progressiva spaziale di interferenza tra linea ferroviaria e attraversamento o parallelismo.

Infine, i dati affidabilistici assunti a riferimento meritano ulteriori approfondimenti e la creazione di una banca dati in collaborazione con gli enti gestori degli attraversamenti e parallelismi, al fine di pervenire a valorizzazioni sempre più attendibili in considerazione delle condizioni delle interferenze esistenti.

7.3 SVILUPPI FUTURI

A seguito dell'implementazione effettuata per la linea Canavesana (Settimo T.se-Rivarolo C.se-Pont C.se), primo sviluppo all'interno di GTT Infrastruttura, è dato dalla realizzazione di un analogo strumento per la ferrovia Torino-Ceres, a seguito della caratterizzazione della stessa.

Ulteriore sviluppo è dato dall'applicazione del medesimo processo utilizzato per i tre diversi casi studio esaminati (gasdotti, acquedotti ed elettrodotti) anche ad altre classi di attraversamenti e parallelismi indicate nella caratterizzazione riportata nel capitolo 3, come ad esempio attraversamenti stradali e pedonali, intesi come cavalcavia e sottovia e tutte le altre interferenze non contemplate nella presente trattazione.

Infine, per poter fronteggiare il secondo limite indicato nel paragrafo precedente, si potrebbe pensare di integrare e relazionare questo strumento implementato con eventuali sistemi informativi territoriali (GIS), ampiamente utilizzati e riconosciuti in molti progetti dell'ingegneria civile e non solo, al fine di avere non solo un tipo di caratterizzazione puntuale, riferita alla progressiva spaziale dove è collocato un determinato attraversamento o parallelismo, ma anche un quadro d'indagine esplorativa più ampia, che si estende nell'intorno di qualche metro rispetto al punto in esame. In questa maniera, è possibile accrescere le potenzialità di elaborazione dati e caratterizzazione di punti, linee e aree di impatto per la ferrovia, aumentando gli automatismi di relazione tra le informazioni; ad esempio sarebbe possibile acquisire automaticamente le informazioni relative ad altre attività di natura antropica, esercitate dall'uomo, la cui caratterizzazione attualmente avviene tramite inserimento di questa informazione da parte dell'operatore.

I GIS rappresentano, infatti, delle banche dati georeferenziate su una determinata area; in questa maniera, si riescono a reperire con maggior facilità le informazioni nell'intorno del punto esaminato, procedendo, di conseguenza, con una valutazione di maggior dettaglio delle situazioni di sicurezza e di rischio.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

TESTI E VOLUMI UTILIZZATI

- Carpignano A., *Il rischio tecnologico*
- Condolo M., *La Ferrovia Canavesana (Libro storico di GTT)*, Fondazione Negri
- Culasso F., *La gestione dei processi e del rischio*, G.Giappichelli Editore, Torino
- De Palatis P., *Regolamenti e sicurezza della circolazione ferroviaria (Esperienza ed etica)*, CIFI, 1995
- De Palatis P., *L'avvenire della sicurezza (Esperienze e prospettive)*, CIFI, 2000
- Fedele L., *Tecniche per l'Analisi di Affidabilità*, Università degli Studi di Roma
- Genovesi P., Ronzino C.D., Guerrucci L., Parente A., *Il fattore umano nella valutazione del rischio – Tecnica HEART*, tratto da III Convegno Nazionale “Sicurezza ed esercizio ferroviario” – Tecnologie e Regolamentazione per la Competizione, Roma, 7 giugno 2013
- Lepore M., *ABC Sicurezza*, EPC Editore
- Mayer L., *Impianti ferroviari*, CIFI, 2004
- Piccinini N., Galvagni R., Ciarambino I., *L'analisi dei rischi*, AIDIC
- Taylor M., *Vulnerability analysis for transportation networks (1st Edition)*, ELSEVIER
- Tenti E., *L'esercizio ferroviario e la sicurezza della circolazione*, CIFI, 1967
- Zio E., *Introduction to the basics of reliability and risk analysis*, World scientific, 2007
- Zio E., *Computational methods for reliability and risk analysis*, World scientific, 2009
- Agenzia Per l'Italia Digitale, *Modalità per l'identificazione degli indicatori di monitoraggio* (ai sensi della circolare Agid N.4/2016)
- Rivista ferroviaria: *La Tecnica Professionale* edita dal CIFI redatta nel 1933 – Pubblicazione mensile n°10 di ottobre 2017 (per rischi indotti da eventi esterni al sistema ferroviario)

DOCUMENTI UTILIZZATI

- Regolamento Europeo n°402/2013
- Regolamento (UE) n°1158/2010
- Protocollo ANSF n°004554/2017 del 26 aprile 2017
- Decreto Ministeriale DM n°2445 del 23 febbraio 1971
- Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri (DPCM del 27 febbraio 2004)
- Decreto del Presidente della Repubblica DPR 753/80
- Decreto Ministeriale DM del 4 aprile 2014
- DM 05/08/2016
- Linee guida della Regione Abruzzo n°014 del 9 maggio 2017
- Documentazione interna dell'Azienda GTT, per individuazione di attraversamenti e parallelismi presenti lungo la linea Canavesana GTT, definizione matrice di rischio

STRUMENTI DI SUPPORTO

- GeoPortale della Regione Piemonte
- Software Isograph Reliability Workbench 13.0
- Programma Microsoft Excel

BANCHE DATI UTILIZZATE

- Banca dati *EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group)* per condotte del gas (riferimento al 5° Rapporto – periodo 1970-2001)
- *Guida tecnica per l'esecuzione dell'analisi del rischio finalizzata al rapporto di sicurezza per tubazioni del gas (ICARO)*
- *Approccio multidisciplinare alla vulnerabilità sismica di tubazioni e serbatoi interrati* (studio condotto dall'Università degli Studi del Molise – Dipartimento SAVA (Laboratorio di Dinamica Strutturale e Geotecnica StreGa))
- Banca dati *Factor contributing to large diameter water pipe failure as evident from failure inspection* di P. Rajeev, J. Kodikara, D. Robert, P. Zeman, B. Rajani
- Banca dati *Water pipeline failures in the active zone* di C. Vipulanandan, W. Qiao, H. Hovsepian (CIGMAT Survey)
- Banca dati *Analysis of water pipeline breaks* di C. Samba, Malick Baldeh, Kenneth Tuffour (World Journal of Engineering and Technology, 2016,4,220-227)
- Banca dati *Fault causes analysis for overhead electric line* di European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ)
- *Guida tecnica Lavori in prossimità di linee elettriche aeree – Valutazione del rischio e misure di prevenzione (INAIL)*

SITI INTERNET CONSULTATI

- www.era.europa.eu (sito dell'ERA)
- www.ansf.it (sito dell'ANSF)
- www.rfi.it (sito della Rete Ferroviaria Italiana RFI)
- www.gtt.to.it (sito dell'Azienda GTT di Torino)
- www.mit.gov.it (sito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)
- www.ferrovie.it
- www.cifi.it (sito del Collegio Ingegneri Ferrovieri Italiani)
- www.iis.it (sito dell'Istituto Italiano della Saldatura per uso del regolamento per la certificazione di attraversamenti e parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto)
- www.ferservizi.it (archivio di Ferservizi per esempi di banca dati)
- www.italfer.it
- www.arpa.piemonte.gov.it (sito dell'Arpa Piemonte)
- www.isprambiente.gov.it (sito dell'Ispra Ambiente)
- www.regione.piemonte.it (sito della Regione Piemonte)
- www.comune.torino.it (sito del Comune di Torino)
- www.ecmre.com (ECM Railway Evolution)
- www.transport-systems.com
- www.cngeologi.it (sito di Geologia)
- www.ingv.it (sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia)
- www.ansa.it (sito dell'Ansa per descrizione del sistema di allerta per i treni in caso di terremoto)
- www.corriere.it (sito del Corriere della Sera per incidente frana in Liguria)
- www.altoadige.gelocal.it (sito dell'Alto Adige per incidente frana in Valvenosta)

- www.corrieredelveneto.corriere.it (sito del Veneto per incidente smottamento di Belluno)
- www.laprovinciapavese.gelocal.it (sito della Provincia di Pavia per allagamento a Vigevano)
- www.bari.repubblica.it (sito della Provincia di Bari per allagamento in Puglia)
- www.lastampa.it (sito della Stampa per incidente valanga sulle Alpi)
- www.repubblica.it (sito della Repubblica per incidente crollo ponte ferroviario in Puglia)
- www.quotidianodelsud.it (sito del Quotidiano per incidente crollo ponte in Calabria)
- www.varesenews.it (descrizione evento incidentale del cedimento sottovia)
- www.themeditelegraph.com (descrizione evento incidentale del cedimento sottovia)
- www.ilsole24ore.com (descrizione evento incidentale del cedimento sottovia)
- www.tgcom24.mediaset.it (descrizione evento incidentale auto su ferrovia da viadotto)
- www.diblas-udine.blogautore.repubblica.it (descrizione crollo cavalcavia in Austria)
- www.snamretegas.it (sito della Smat Rete Gas)
- www.italgas.it (sito di Italgas)
- www.smatorino.it (sito della Smat Acque di Torino)
- www.enel.it (sito di Enel Energia)

APPENDICE: DOCUMENTI E ALLEGATI

SEZIONE A

FREQUENZE DI ACCADIMENTO PER ALBERO DEI GUASTI

In riferimento agli alberi dei guasti riportati nel capitolo 5 per le diverse tipologie di attraversamenti e parallelismi, si spiega in questa sezione come si sono ricercati i diversi valori di probabilità o frequenza di accadimento associati ai singoli box della struttura ramificata, esplicitando le fonti bibliografiche di riferimento da cui sono stati estratti i dati e le eventuali assunzioni che sono state adottate per la valutazione dei valori non disponibili o direttamente reperibili.

CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS

Top Event: “Rottura tubazione gas”

1. SISMA

Per la valutazione della frequenza di rottura delle tubazioni di gas, dovuta a eventi di natura sismica, si sono, innanzitutto, presi in considerazione i terremoti, avvenuti nel Canavese nell’arco temporale compreso tra il 1970 e il 2017, con magnitudo superiore a 1,5 gradi della scala Richter, valore soglia al di sotto della quale il sisma viene percepito solo dai sismometri, ma non dalle persone o dalle cose. Questa sequenza di terremoti è riportata nella seguente tabella:

EVENTI SISMICI IN CANAVESE DAL 1970 AD OGGI	
Data	Intensità in gradi (scala Richter)
09/11/1983	4
03/07/1987	4,1
05/07/2005	3,5
28/11/2014	3
19/06/2016	2,3
06/07/2016	2,7
27/04/2017	1,7

Ci sono stati, quindi, 7 eventi sismici con magnitudo superiore a 1,5 gradi della scala Richter in un periodo temporale di 47 anni; pertanto, la frequenza di accadimento del sisma è stata valutata come rapporto tra il numero degli eventi sismici e l’arco temporale preso in considerazione ed è pari a $f_{sisma} = 1,48 \cdot 10^{-1} \text{ eventi/anno}$.

In unione a questo dato, occorre reperire una seconda importante informazione, relativamente alla probabilità di rottura delle tubazioni del gas per azioni sismiche di una certa entità. In particolare, il Dipartimento SAVA del Molise ha riscontrato, nello stesso arco temporale (1970-2017), 78 rotture di tubazioni del gas, in merito a queste sollecitazioni dinamiche. Considerando un’esposizione totale di $2,41 \cdot 10^9 \text{ m/anno}$ e ipotizzando un tempo di missione della tubazione di 20 anni, per queste tubazioni è possibile ottenere la probabilità di rottura cercata:

$$p_{rottura} = \frac{n^{\circ} \text{ rotture}}{\text{esposizione totale}} \cdot \text{tempo di missione} = \frac{78}{2,41 \cdot 10^9} \cdot 20 = 6,47 \cdot 10^{-7}$$

Infine, per ricavare gli effetti globali del sisma da inserire per la risoluzione dell'albero dei guasti, si moltiplica la frequenza di accadimento del sisma per la probabilità di rottura della tubazione:

$$Sisma = f_{sisma} \cdot p_{rottura} = 1,48 \cdot 10^{-1} \cdot 6,47 \cdot 10^{-7} = 9,6 \cdot 10^{-8} \text{ eventi/metro/anno}$$

2. MANCATA PROGETTAZIONE SECONDO CRITERI ANTISISMICI

La presente voce viene considerata come un errore umano e viene valutata attraverso la definizione di tre diverse opzioni, a seconda delle condizioni che vengono fissate.

CASO 1: probabilità di errore pari a 0. In questo caso, si ritengono soddisfatti tre criteri fondamentali per un buon soddisfacimento dei requisiti di sicurezza:

- riferimento e rispetto delle norme di progettazione sismica per impianti (NTC 2008, EC 8, DM 04/04/2014);
- presenza di controlli esterni da parte dell'Ente ferroviario o altre autorità competenti che devono autorizzare il progetto, come la Commissione del Ministero;
- verifica delle competenze del personale, costituito da specialisti con certi requisiti: laurea, esperienza, professionalità, partecipazione a corsi di formazione ed aggiornamento.

In questa fattispecie, il box “Eventi sismici” viene trascurato, perché questo valore nullo moltiplica il valore ricavato nel punto precedente con un prodotto globale nullo. Di conseguenza, non interviene nella definizione della frequenza di accadimento del Top Event.

CASO 2: probabilità di errore pari a 0,48, valutata con la tecnica HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique), descritta nel capitolo 1.

In questo caso, la probabilità di errore umano è calcolata moltiplicando un valore di probabilità nominale di base per un fattore di performance e ci si riferisce alla condizione di personale non formato e competente per lo svolgimento dell'attività in esame.

La probabilità di errore nominale viene fornito dalla tabella 1.1, riportata al paragrafo 1.3.1 del capitolo 1, facendo riferimento alla mansione C, mentre il fattore di performance PF viene ricavato tramite la seguente formulazione:

$$PF_i = [(CFE_i - 1) \cdot AP_i + 1]$$

Dove CFE è la condizione favorevole all'errore, ottenuto dalla seguente tabella:

Condizioni favorevoli all'errore		CFE
1	Poca familiarità con una situazione nuova o infrequente, potenzialmente importante	17
2	Manca di tempo per il rilevamento o la correzione dell'errore	11
3	Segnali disturbati o confusi	10
4	Strumenti di annullamento dell'informazione o per poterla non considerare	9
5	Nessun mezzo per far arrivare, fisicamente o funzionalmente, l'informazione all'operatore	9
6	Interfaccia di sistema/utente inadeguata	8
7	Nessun chiaro mezzo per recuperare un'azione involontaria	8
8	Sovraccarico di informazioni	6
9	Tecnica dimenticata	6
10	Trasferimento di informazioni da un compito ad un altro	5
11	Poca chiarezza negli standard relativi alle performance attese	5
12	Discrepanza tra il rischio reale e quello percepito	4
13	Feed-back inadeguato, ambiguo o non contestualizzato	4
14	Nessuna conferma chiara/diretta/tempestiva dal sistema dell'azione voluta	4
15	Inesperienza	3
16	Scarse istruzioni o procedure	3
17	Controllo o analisi degli output poco o del tutto non oggettivi	3

e AP è il fattore di peso, ipotizzato come un valore compreso tra 0 ed 1, a seconda dell'importanza che si vuole attribuire ad una specifica condizione; nel caso in esame, si adotta arbitrariamente il valore unitario, in modo tale da considerare la condizione più critica, con il valore più amplificato possibile.

Nella tabella sottostante, si riportano nel dettaglio i valori numerici per ogni singolo termine:

VALORE CALCOLATO A		
P ₀	0,16	Probabilità nominale di errore: mansione C (Compito complesso che richiede un elevato livello di comprensione e competenza)
CFE	3	Condizione favorevole all'errore: n° 15 (Inesperienza)
AP	1	Fattore di peso
PF	3	Fattori di performance
P	0,48	Probabilità di errore umano (calcolato con tecnica HEART)

CASO 3: probabilità di errore pari a 0,0012, valutata con la tecnica HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique), descritta nel capitolo 1.

In questo caso specifico, invece, si fa riferimento alla situazione di personale formato e competente, ma la probabilità di errore viene influenzata dalla disponibilità di scarse risorse e non pienamente sufficienti a garantire una condizione di sicurezza totale.

Esattamente come nel caso 2, si ha una probabilità nominale di errore fornito dalla tabella 1.1, riportata al paragrafo 1.3.1 del capitolo 1, facendo riferimento questa volta alla mansione G, e il fattore di performance definito con la medesima formulazione, in funzione della condizione favorevole all'errore ed il fattore di peso, assunto anche in questa circostanza con il valore unitario.

VALORE CALCOLATO B		
P ₀	0,0004	Probabilità nominale di errore: mansione G (Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi)
CFE	3	Condizione favorevole all'errore: n° 16 (Scarse istruzioni o procedure)
AP	1	Fattore di peso
PF	3	Fattori di performance
P	0,0012	Probabilità di errore umano (calcolato con la tecnica HEART)

Riassumendo in forma tabellare i tre casi appena contemplati, si ha:

Caso	Probabilità		Commento
1	---	0	Soddisfacimento delle condizioni prima citate
2	---	1	Non progettazione con criteri antisismici
2	VALORE CALCOLATO A	0,48	Condizione di personale non formato
3	VALORE CALCOLATO B	0,0012	Condizione di personale formato, ma risorse scarse

3. *ASSENZA DI INTERVENTI DI INGEGNERIA O MISURE MITIGATIVE*

Anche questa categoria può essere interpretata come un possibile errore umano; pertanto, si definiscono più opzioni differenti da selezionare a seconda della condizione verificatasi.

CASO 1: probabilità pari a 1. Ciò equivale a dire che non sono proprio presenti interventi ingegneristici o misure mitigative che possano limitare l'impatto dei fenomeni idrogeologici. In altre parole, i fenomeni idrogeologici agiscono completamente sul sistema, generando conseguenze anche piuttosto rilevanti ed impattanti.

CASO 2: probabilità pari a 0. In questo caso, si è nella condizione limite ideale di presenza di interventi di ingegneria completamente efficienti, eseguiti da un personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione sanciti dalle normative di riferimento. Pertanto, con questo valore di probabilità, il box relativo al blocco "Eventi idrogeologici" si annulla.

CASO 3: probabilità pari a 0,0048. Il valore è stato definito esattamente come nel punto 2 tramite la tecnica HEART, ipotizzando la presenza di interventi di ingegneria e misure mitigative, eseguiti da personale formato e competente, secondo i giusti criteri di progettazione, ma con una certa probabilità di danno.

VALORE CALCOLATO		
P ₀	0,0004	Probabilità nominale di errore: mansione G (Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi)
CFE 1	11	Condizione favorevole all'errore: n° 2 (Mancanza di tempo per il rilevamento o la correzione dell'errore)
AP 1	0,5	Fattore di peso
CFE 2	3	Condizione favorevole all'errore: n° 16 (Scarse istruzioni o procedure)
AP 2	0,5	Fattore di peso
PF 1	6	Fattore di performance
PF 2	2	Fattore di performance
P	0,0048	Probabilità di errore umano (calcolato con la tecnica HEART)

Riassumendo in forma tabellare i tre casi appena descritti si ha:

Caso	Probabilità		Commento/Condizioni
1	---	1	Assenza totale di interventi di ingegneria/misure mitigative (quindi, qualunque fenomeno idrogeologico agisce completamente senza barriere protettive nei confronti del sistema in esame)
2	---	0	Presenza interventi di ingegneria completamente efficienti, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che riducono a zero l'effetto dell'impatto idrogeologico
3	VALORE CALCOLATO	0,0048	Presenza interventi di ingegneria e misure mitigative, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che portano a una certa probabilità di verifica di danno

4. FRANE/SMOTTAMENTI

È necessario, innanzitutto, precisare che tale aspetto geologico si può riscontrare solamente nell'ultima sezione della linea nel tratto compreso tra Valperga e Pont Canavese, dal momento che la ferrovia corre a ridosso delle montagne. Invece, nel primo tratto Settimo-Rivarolo-Valperga questo aspetto può essere trascurato, in quanto la linea ferroviaria si sviluppa interamente in pianura, lontano da versanti montuosi. Questa è un'informazione che deriva dalla caratterizzazione del territorio riportata nel paragrafo 5.2.1 di questo capitolo.

Pertanto, il valore riferito all'aspetto frane si considera solo per attraversamenti e parallelismi sviluppati nella sezione terminale dell'infrastruttura tra Valperga e Pont, mentre negli altri casi il box si annulla e non viene considerato.

In riferimento alla banca dati EGIG (5° Rapporto) si riscontra che i fenomeni franosi sono responsabili della rottura delle tubazioni del gas con una frequenza di accadimento di

$$9,24 \cdot 10^{-3} \text{ eventi/metro/anno}$$

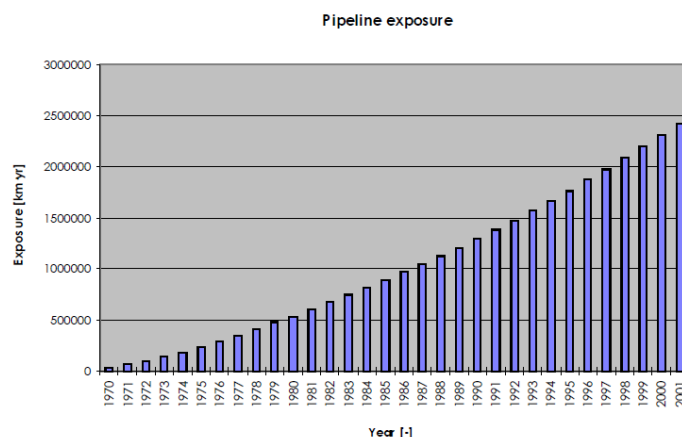
5. ALLAGAMENTI/INONDAZIONI/FENOMENI ALLUVIONALI

L'aspetto idrologico è esteso su tutta la linea ferroviaria. Oltre alla presenza di canali irrigui che corrono parallelamente alla linea ferroviaria in alcuni tratti, dalla caratterizzazione del territorio riportata nel paragrafo 5.2.2 di questo capitolo, si rilevano tre rischi potenziali dal punto di vista idrologico: il fiume Po (solo nelle vicinanze della stazione capolinea di Settimo Torinese), il Torrente Malone ed il Torrente Orco.

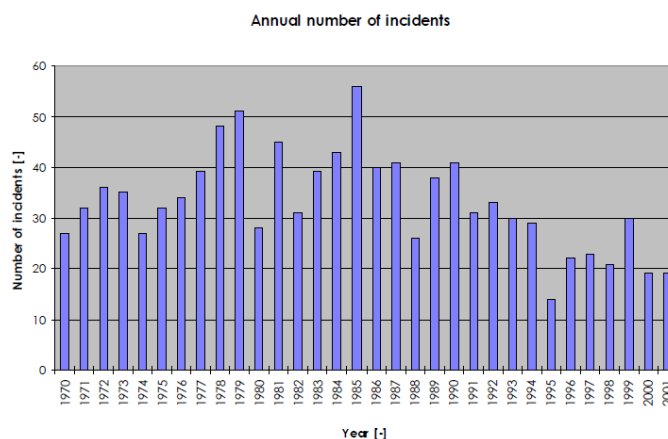
Per ricavare il valore associato alla frequenza di rottura delle tubazioni del gas per eventi alluvionali si fa riferimento al database EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) – 5° Rapporto, dove rientrano anche le condotte gestite da “Snam Rete Gas”, collocate lungo la linea Canavesana. Lo studio effettuato dall'EGIG copre un arco temporale di osservazione dei fenomeni di rottura di 30 anni, ossia dal 1970 al 2001 e una esposizione totale di

$$2,41 \cdot 10^9 \text{ m/anno}$$

I dettagli in merito alla lunghezza di esposizione delle tubazioni oggetto di studio si possono visualizzare dal seguente grafico:



Invece, il numero totale di incidenti inclusi nel database EGIG nel periodo 1970-2001 è pari a 1060; è possibile dettagliare tale informazione per i diversi anni tramite il seguente grafico:



Lo sviluppo della frequenza complessiva dell'incidente è data dalla seguente tabella:

Timescale		Number of incidents [-]	Total exposure [km-yr]	Frequency [per 1000 km-yr]
1970-1999	4 th EGIG report	1000	$2.09 \cdot 10^6$	0.48
1970-2001	total period	1060	$2.41 \cdot 10^6$	0.44
1997-2001	last 5 years	112	$0.54 \cdot 10^6$	0.21
2001	last year	19	$0.11 \cdot 10^6$	0.17

Dal precedente prospetto, il dato di maggiore interesse è dato dalla frequenza di accadimento globale di rottura delle tubazioni del gas nel periodo di riferimento, pari a 0,44 per anno per 1000 km di condotta con un intervallo di confidenza del 95% di $\pm 0,03$.

Infine, la banca dati EGIG ha classificato le cause di rottura delle tubazioni del gas per categoria, mettendo in evidenza la percentuale di influenza rispetto al totale:

Incident cause	1970-2001 [%]
External Interference	50
Construction defects/Material failure	17
Corrosion	15
Ground movement	7
Hot-tap med by error	5
Other	6

Come si evince, i fenomeni alluvionali, rientranti sotto la categoria “Ground Movement” incidono con il 7% rispetto al totale. Pertanto, la loro frequenza di accadimento risulta essere pari a

$$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,07 = 3,08 \cdot 10^{-5} \text{ eventi/metro/anno}$$

6. ATTIVITA' VICINO ALLA CONDOTTA

In questa categoria ricadono tutte quelle interferenze esterne generate da terzi, legate ad altre attività esercitate dall'uomo, che potrebbero svilupparsi in prossimità di una determinata condotta. Per questo motivo, occorre prendere in considerazione la natura del territorio in corrispondenza di una data progressiva della ferrovia (zona abitata, zona industriale, zona agricola, aperta campagna senza alcuna attività, ...), per capire se altre attività del mondo antropizzato si possono interfacciare con i sistemi impiantistici in esame e, di conseguenza, con la ferrovia. Inoltre, in questa classe è necessario valutare se in un determinato punto dell'infrastruttura dove è situata una determinata tubazione del gas, ci sono anche altri attraversamenti o parallelismi nelle immediate vicinanze, dal momento che eventuali lavori effettuati su attraversamenti e parallelismi adiacenti possono provocare danni o problematiche alla condotta in esame. Quest'ultima informazione si può reperire da tabulati interni dell'Azienda GTT, dove sono segnalate tutte le progressive di interferenza dei differenti attraversamenti e parallelismi con la ferrovia.

Esattamente come nel punto precedente, per ricavare la frequenza di rottura delle tubazioni del gas per questa categoria, ci si riferisce alla banca dati EGIG, dove si può osservare che queste attività antropiche inglobate sotto la categoria “External Interference” incidono per il 50% sul totale, come mostrato dalla seguente tabella:

Incident cause	1970-2001 [%]
External Interference	50
Construction defects/Material failure	17
Corrosion	15
Ground movement	7
Hot-tap med by error	5
Other	6

Quindi, la loro frequenza di accadimento risulta essere pari a

$$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ eventi/metro/anno}$$

Volendo essere più affinati e dettagliati, nella banca dati EGIG, all'interno della categoria “External Interference”, si possono identificare gli “scavi”, considerati come attività più pericolose per produzione di danni nei confronti delle condotte del gas, le “attività di drenaggio/attività con macchine agricole o edili” e i “lavori su altri attraversamenti e parallelismi”, ottenendo i seguenti valori calcolati in base alla loro incidenza rispetto al totale:

Informazione	Valore	Unità di misura	Commento
Frequenza di accadimento globale per attività vicino alla condotta	2,20E-04	eventi/metro/anno	---
Scavi	1,10E-04	eventi/metro/anno	Incidenza del 50% (Dato banca dati EGIG)
Attività di drenaggio, lavori con macchine agricole/edili	2,20E-05	eventi/metro/anno	Incidenza del 10% (Dato banca dati EGIG)
Lavori su altri attraversamenti e parallelismi	8,80E-05	eventi/metro/anno	Incidenza del 40% (Dato banca dati EGIG)

7. VIBRAZIONI DERIVANTI DAL TRAFFICO FERROVIARIO

Il passaggio dei convogli ferroviari sull'infrastruttura ferroviaria costituisce senz'altro un fenomeno non trascurabile, che può portare a lungo termine alla rottura delle tubazioni sottostanti alla ferrovia. Dal punto di vista tecnico, queste azioni possono essere concepite come sforzi di fatica, dal momento che il transito dei treni può essere visto a tutti gli effetti come carichi ciclici ripetuti applicati con una certa periodicità più o meno regolare.

In merito a questo fenomeno, la banca dati EGIG non fornisce informazioni specifiche; per questa ragione, il dato è stato reperito presso la “Guida tecnica per l'esecuzione dell'analisi del rischio” redatta da ICARO, la cui frequenza di rottura delle tubazioni viene calcolata nel seguente modo:

$$F_{corretta} = F_{base} \cdot F_{SGS} \cdot F_{tec} = 8,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 0,19 = 1,65 \cdot 10^{-8} \text{ eventi/metro/anno}$$

Dove:

- F_{base} è la frequenza di base, espressa in funzione del diametro nominale delle tubazioni:

FREQUENZA DI BASE [occasioni/(metro*anno)]	
DN linea	Rottura
1'' – 2''	$8,7 \cdot 10^{-7}$
3'' – 6''	$2,6 \cdot 10^{-7}$
> 6''	$8,7 \cdot 10^{-8}$

Nel nostro caso le tubazioni hanno diametro superiore a 6'', quindi:

$$F_{base} = 8,7 \cdot 10^{-8} \text{ eventi/metro/anno}$$

- F_{SGS} è un fattore correttivo determinato dalla presenza di un Sistema di Gestione della Sicurezza, conforme ai requisiti normativi (All II del Dlgs 334/99 e DM 9/08/2000, OHSAS 18001), assunto pari ad 1, perché si ipotizza la presenza del precitato sistema di sicurezza.
- F_{tec} è un fattore correttivo determinato dalla disponibilità di misure impiantistiche/gestionali a fronte di ciascuna categoria causale di perdita/rottura “random”, tenendo in conto il peso sul rilascio dovuto a rottura, come indicato dalla seguente tabella:

Causa di guasto	Peso sul rilascio dovuto a rottura
Produzione ed installazione	30%
Scelta del materiale	14%
Fatica (Vibrazioni, Cicli)	19%
Dilatazioni, sforzi di flessione	5%
Corrosione/Usura	8%
Utilizzo improprio/Errore operativo	16%
Shock termici e meccanici	4%
Altre cause	4%

8. PRESSIONI ELEVATE

In questo ambito si fa riferimento alla rottura delle tubazioni determinata da un aumento della pressione del gas oltre i valori limite di riferimento, in condizioni di esercizio.

Generalmente, si è soliti classificare i gasdotti in 7 categorie in funzione della loro pressione di esercizio, come riportato nella seguente tabella:

1° Specie	$P_e > 24 \text{ bar}$
2° Specie	$12 < P_e \leq 24 \text{ bar}$
3° Specie	$5 < P_e \leq 12 \text{ bar}$
4° Specie	$1,5 < P_e \leq 5 \text{ bar}$
5° Specie	$0,5 < P_e \leq 1,5 \text{ bar}$
6° Specie	$0,04 < P_e \leq 0,5 \text{ bar}$
7° Specie	$P_e \leq 0,04 \text{ bar}$

In relazione al 9° Rapporto redatto dall'EGIG è possibile osservare che questo tipo di fenomeno si manifesta con una frequenza di accadimento di $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ eventi/metro/anno}$.

9. SURRISCALDAMENTI/AUMENTO DI TEMPERATURA

Un'altra condizione critica che si può presentare in fase di esercizio è l'aumento sostanziale della temperatura del gas, generando un surriscaldamento della tubazione, che la porta a rottura. Fortunatamente, questo tipo di fenomeno è abbastanza raro, dal momento che accade solamente per il 4% dei casi, come mostrato dai dati sperimentali dell'ICARO:

Causa di guasto	Peso sul rilascio dovuto a rottura
Produzione ed installazione	30%
Scelta del materiale	14%
Fatica (vibrazioni, cicli)	19%
Dilatazioni, sforzi di flessione	5%
Corrosione/usura	8%
Utilizzo improprio/errore operativo	16%
Shock termici e meccanici	4%
Altre cause	4%

Quindi, la frequenza di rottura delle tubazioni per shock di natura termica si calcola come segue:

$$F_{corretta} = F_{base} \cdot F_{SGS} \cdot F_{tec} = 8,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 0,04 = 3 \cdot 10^{-9} \text{ eventi/metro/anno}$$

Dove F_{base} ed F_{SGS} hanno la medesima definizione del punto 6.

10. INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Gli interventi di manutenzione sono le classiche attività che vengono condotte sugli impianti di riferimento per controllare lo stato degli stessi o effettuare riparazioni in caso di rottura o malfunzionamenti. Per questo motivo, si è soliti classificare questi interventi di manutenzione in ordinari, intesi come controlli periodici effettuati da parte di un personale competente ed esperto, che permettono di rilevare eventuali anomalie presenti e lo stato del sistema in esame, e straordinari, più costosi, onerosi, ma al tempo stesso meno frequenti, che si effettuano in presenza di criticità rilevate, come rilasci di gas, formazione di fessure, rotture parziali o totali delle tubazioni.

In entrambi i casi questi aspetti vengono valutati come errori umani, ricorrendo alla metodologia proposta dalla tecnica HEART.

Caso	Probabilità		Frequenza	Commento/Condizioni
1	VALORE CALCOLATO A	0,002	2,82E-07	Caso interventi ordinari
2	VALORE CALCOLATO B	0,07488	2,25E-05	Caso interventi straordinari

VALORE CALCOLATO A		
P ₀	0,0004	Probabilità nominale di errore: mansione G (Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi)
CFE	5	Condizione favorevole all'errore: n° 11 (Poca chiarezza negli standard relativi alle performance attese)
AP	1	Fattore di peso
PF	5	Fattori di performance
P	0,002	Probabilità di errore umano

VALORE CALCOLATO B		
P ₀	0,003	Probabilità nominale di errore: mansione F (Ripartire il sistema nello stato iniziale o in un nuovo stato seguendo procedure + controllo)
CFE 1	11	Condizione favorevole all'errore: n° 2 (Mancanza di tempo per rilevamento e correzione dell'errore)
AP 1	0,5	Fattore di peso
PF 1	6	Fattori di performance
CFE 2	9	Condizione favorevole all'errore: n° 5 (Nessun mezzo per far arrivare l'informazione all'operatore)
AP 2	0,2	Fattore di peso
PF 2	2,6	Fattori di performance
CFE 3	3	Condizione favorevole all'errore: n° 16 (Scarse informazioni o procedure)
AP 3	0,3	Fattore di peso
PF 3	1,6	Fattori di performance
P	0,07488	Probabilità di errore umano

Come si può notare dalla precedente tabella, per la definizione della probabilità di errore umano nel caso di interventi straordinari, sono state considerate 3 diverse condizioni favorevoli all'errore, prendendo in considerazione la possibilità che tale errore possa essere determinato

da diverse situazioni operative; il fattore di peso viene scomposto in tre differenti frazioni, a seconda dell'importanza che si vuole attribuire all'opzione valutata.

In realtà, per passare dalla probabilità alle rispettive frequenze di accadimento si effettua il prodotto tra i valori appena determinati con la tecnica HEART e la somma delle frequenze di accadimento associate ai dati di esercizio delle tubazioni del gas.

11. NO CONTROLLI

Questa categoria è sempre un errore umano. Si possono definire due diverse opzioni:

- CASO 1: probabilità pari a 1, che corrisponde all'assenza totale di controlli da parte dell'ente gestore del sottoservizio.
- CASO 2: probabilità pari a 0,002, valutata con la tecnica HEART (per il calcolo si faccia riferimento al caso "Interventi di manutenzione ordinaria" considerato nel punto precedente). Questa condizione si interpreta come presenza di controlli, ma con una certa probabilità di danno.

12. USURA/CORROSIONE

L'usura e la corrosione sono due fenomeni che caratterizzano a lungo termine le tubazioni del gas. In riferimento al 5° Rapporto dell'EGIG nel periodo 1970-2001, si può osservare che l'incidenza di questi fenomeni sulla frequenza totale di rottura del gas è del 15%.

Incident cause	1970-2001 [%]
External Interference	50
Construction defects/Material failure	17
Corrosion	15
Ground movement	7
Hot-tap med by error	5
Other	6

Quindi, la loro frequenza di accadimento risulta essere pari a:

$$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15 = 6,6 \cdot 10^{-5} \text{ eventi/metro/anno}$$

13. ERRORI DI POSA/REALIZZAZIONE

In questa categoria vengono presi in esame non solo gli errori effettuati durante le fasi costruttive di montaggio e posa delle condotte, ma anche difetti legati al materiale impiegato, la presenza di protezioni e la tipologia di tracciato della tubazione (rettilinea, curvilinea, piegata, ...).

Dal 5° Rapporto EGIG, si rileva che questo aspetto incide il 17% sul totale con una frequenza di accadimento di:

$$4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,17 = 7,48 \cdot 10^{-5} \text{ eventi/metro/anno}$$

Incident cause	1970-2001 [%]
External Interference	50
Construction defects/Material failure	17
Corrosion	15
Ground movement	7
Hot-tap med by error	5
Other	6

Ora si hanno tutti i dati di input necessari per risolvere l'albero dei guasti; si assemblano, quindi, le informazioni appena ricavate, tramite l'utilizzo degli operatori logici AND e OR, che corrispondono rispettivamente a operazioni matematiche di moltiplicazione e di somma per i valori corrispondenti ai singoli box della struttura ramificata e si ricava come risultato finale di questo primo step la frequenza di accadimento associata al Top Event, dato dalla rottura della condotta di gas.

CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI

Top Event: "Rottura tubazione acqua"

1. SISMA

Per la determinazione della frequenza di rottura delle tubazioni dell'acqua, si è utilizzato lo stesso approccio visto per il caso del gas, andando a moltiplicare la frequenza di accadimento del sisma in Canavese per la probabilità di rottura della condotta per effetto del sisma.

Ancora una volta, per reperire questa seconda informazione si è fatto riferimento allo studio condotto dal Dipartimento SAVA del Molise, il quale ha riscontrato 75 rotture di tubazioni dell'acqua dovute a sollecitazioni dinamiche dei terremoti, nell'arco temporale compreso tra il 1970 e il 2017. Considerando un'esposizione totale di $2,41 \cdot 10^9 \text{ m/anno}$ e ipotizzando un tempo di missione della tubazione di 20 anni, per queste tubazioni è possibile ottenere la probabilità di rottura cercata:

$$p_{\text{rottura}} = \frac{n^{\circ} \text{ rotture}}{\text{esposizione totale}} \cdot \text{tempo di missione} = \frac{75}{2,41 \cdot 10^9} \cdot 20 = 6,22 \cdot 10^{-7}$$

Infine, per ricavare gli effetti globali del sisma da inserire per la risoluzione dell'albero dei guasti, si moltiplica la frequenza di accadimento del sisma per la probabilità di rottura della tubazione:

$$Sisma = f_{\text{sisma}} \cdot p_{\text{rottura}} = 1,48 \cdot 10^{-1} \cdot 6,22 \cdot 10^{-7} = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ eventi/metro/anno}$$

2. MANCATA PROGETTAZIONE SECONDO CRITERI ANTISISMICI

Questa voce dell'albero viene valutata come errore umano nella stessa maniera del caso studio 1, ricorrendo alla tecnica HEART. Si riporta il prospetto riassuntivo delle tre voci considerate:

Caso	Probabilità		Commento
1	---	0	Soddisfacimento delle condizioni prima citate
2	---	1	Non progettazione con criteri antisismici
2	VALORE CALCOLATO A	0,48	Condizione di personale non formato
3	VALORE CALCOLATO B	0,0012	Condizione di personale formato, ma risorse scarse

3. ASSENZA DI INTERVENTI DI INGEGNERIA O MISURE MITIGATIVE

Anche per questo punto vengono conservati i valori trovati per il caso studio dei gasdotti, di seguito riassunti, con le relative condizioni associate:

Caso	Probabilità		Commento/Condizioni
1	---	1	Assenza totale di interventi di ingegneria/misure mitigative (quindi, qualunque fenomeno idrogeologico agisce completamente senza barriere protettive nei confronti del sistema in esame)
2	---	0	Presenza interventi di ingegneria completamente efficienti, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che riducono a zero l'effetto dell'impatto idrogeologico
3	VALORE CALCOLATO	0,0048	Presenza interventi di ingegneria e misure mitigative, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che portano a una certa probabilità di verifica di danno

4. FENOMENI IDROGEOLOGICI

Per l'analisi delle tubazioni dell'acqua si osserva che i fenomeni franosi incidono per il 10% sul totale degli eventi di rottura, mentre gli eventi alluvionali impattano per il 7%.

I dati statistici di riferimento, in merito alla frequenza di accadimento totale delle rotture di tubazioni dell'acqua, derivano dal Dipartimento di Ingegneria Civile della Monash University in Australia, riferiti al periodo 1973-2010 nella riga rossa evidenziata della tabella sottostante:

Table 1. Summary of collected past pipe failure data

Water utilities	Period	Pipe material	Total length of asset (#km)	Total number of failures
A	2000-2012	CICL, SCL, DI, PVC & AC	3061	2.871
B	1973-2010	CICL, DI, S. & PVC	779	1.052
D	1998-2012	CI, DI, S. & PVC	862	1.023
E	1996-2009	S, AC, CI, & PVC	854	426
F	1997-2012	CI, DI, S. & PVC	426	809

CI: Cast iron; CICL: Cast iron cement lined; S: Steel; SCL: Steel cement lined; DI: Ductile iron; AC: Asbestos cement; PVC: Polyvinyl chloride

Si esegue il rapporto tra il numero totale di rotture, pari a 1052, e la lunghezza totale percorsa dal bene, uguale a 779 km e, successivamente, si divide ulteriormente il valore ottenuto per il numero di anni inclusi nel periodo di analisi (38): la frequenza di accadimento totale è pari a $3,55 \cdot 10^{-5}$ eventi/metro/anno.

Considerando un'incidenza dei fenomeni franosi del 10% come precedentemente citato, si ricava una frequenza di accadimento di frane di $3,55 \cdot 10^{-6}$ eventi/metro/anno, mentre il 7% di impatto degli eventi alluvionali restituisce una frequenza di accadimento pari a $2,49 \cdot 10^{-6}$ eventi/metro/anno.

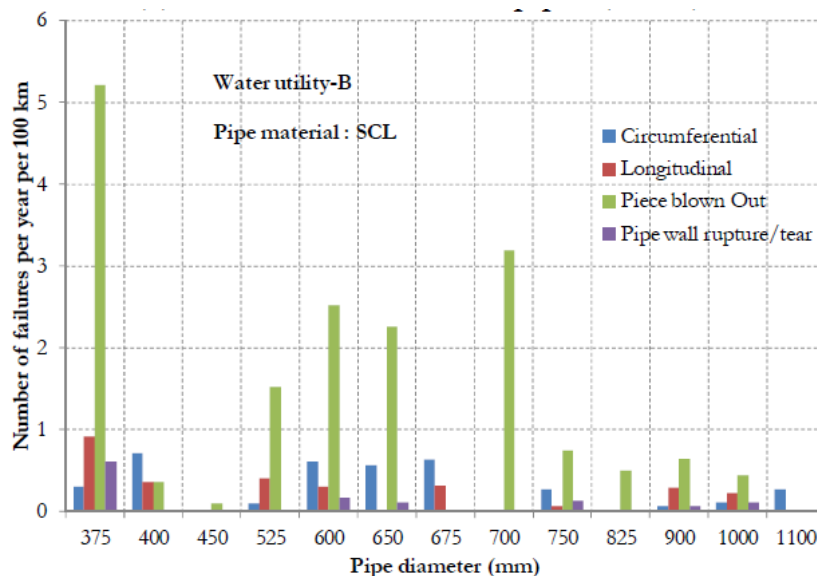
5. VIBRAZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO

Questi carichi ciclici indotti dal passaggio dei treni generano fessure di natura circonferenziali con una frequenza di accadimento pari a $6,0 \cdot 10^{-6}$ eventi/metro/anno.

6. DATI DI ESERCIZIO DELLE TUBAZIONI

In questa categoria ricadono le anomalie di funzionamento, date da pressioni elevate/aumento della portata del fluido, cicli di gelo e disgelo e aspetti legati a possibili fenomeni di instabilità come errori di posa e realizzazione delle condotte e forme di invecchiamento che portano all'usura o alla corrosione della tubazione.

Per ricavare le frequenze di accadimento relative alle tipologie precitate, si è fatto riferimento al seguente istogramma contenuto sempre alla banca dati del Dipartimento di Ingegneria Civile della Monash University in Australia:



Da cui vengono estratti i seguenti dati:

Aspetto	Frequenza di accadimento per rottura tubazione gas	Unità di misura	Commento
Pressioni elevate e aumento portata del fluido	1,95E-05	eventi/metro/anno	Distacchi di materiale
Cicli di gelo e disgelo (variazioni termiche)	2,00E-06	eventi/metro/anno	Rottura della parete della condotta
Grado di scabrezza	5,00E-06	eventi/metro/anno	Distacchi di materiale
Usura/Corrosione	3,00E-06	eventi/metro/anno	Nascita di fessure longitudinali
Errori posa/realizzazione	2,00E-06	eventi/metro/anno	Perdita congiunta

7. INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Gli interventi di manutenzione vengono valutati tramite la tecnica HEART, assumendo gli stessi valori di probabilità di errore umano ricavati per il caso studio dei gasdotti, riassunti nel seguente prospetto:

Caso	Probabilità		Frequenza	Commento/Condizioni
1	VALORE CALCOLATO A	0,002	1,00E-08	Caso interventi ordinari
2	VALORE CALCOLATO B	0,07488	2,36E-06	Caso interventi straordinari

La frequenza è stata determinata, invece, moltiplicando la probabilità di errore umano per la somma delle frequenze associate ai dati di esercizio delle tubazioni dell'acqua.

8. ASSENZA DI CONTROLLI

Anche in questo caso si considerano le due medesime condizioni introdotte per il caso del gas, relativamente ai possibili controlli da effettuare sulle condotte degli acquedotti:

Caso	Probabilità		Commento/Condizioni
1	VALORE CALCOLATO	0,002	Presenza di controlli, ma con una certa probabilità di danno
2	---	1	Assenza totale di controlli

Per il caso 1, ci si riferisce alla probabilità calcolata, tramite la tecnica HEART, nel punto precedente sotto la voce “Interventi di manutenzione ordinaria”.

CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE

Top Event: “Rottura cavo elettrodotti”

Per ricavare le frequenze di accadimento dei singoli box di questo albero dei guasti si è fatto riferimento ad un caso studio esaminato dall’European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality, nel periodo temporale tra il 2004 e il 2009.

Si è partiti dai dati statistici raccolti nel seguente grafico, in merito all’evoluzione degli eventi incidentali per linee aeree elettriche.

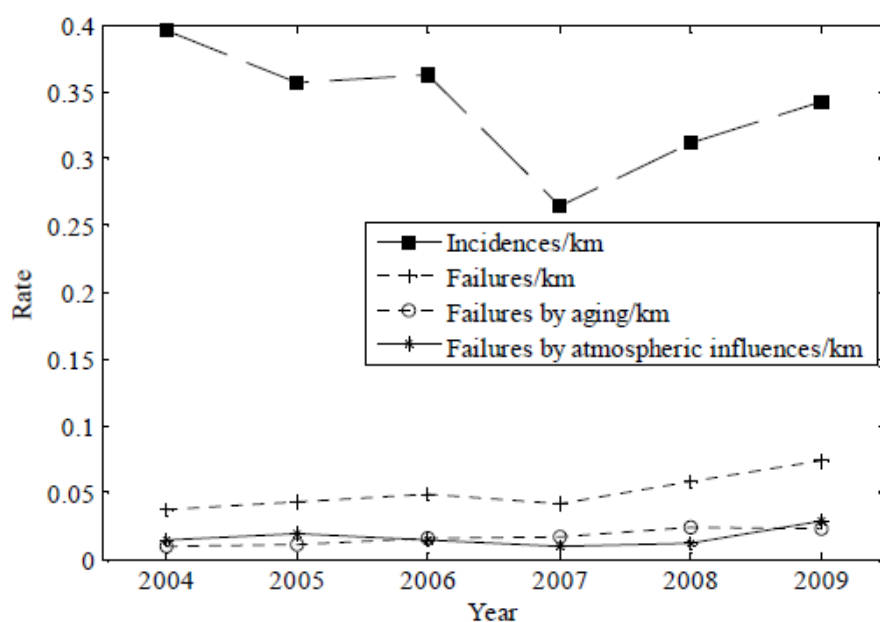


Fig. 4. Incidence and failure rates.

Facendo la media dei dati incidentali raccolti su base di 6 anni, come mostrato dal grafico si ricava una frequenza di eventi indesiderati di $3,4 \cdot 10^{-4}$ eventi/metro/anno.

$$\frac{0,4 + 0,35 + 0,36 + 0,25 + 0,32 + 0,34}{6} = 0,34 \text{ eventi/km/anno}$$

$$= 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ eventi/m/anno}$$

1. FATTORI ESTERNI E DATI DI ESERCIZIO

La statistica di questa organizzazione europea riporta anche le percentuali di incidenza rispetto al totale per diversi fattori di interesse, come si evince dai seguenti due istogrammi:

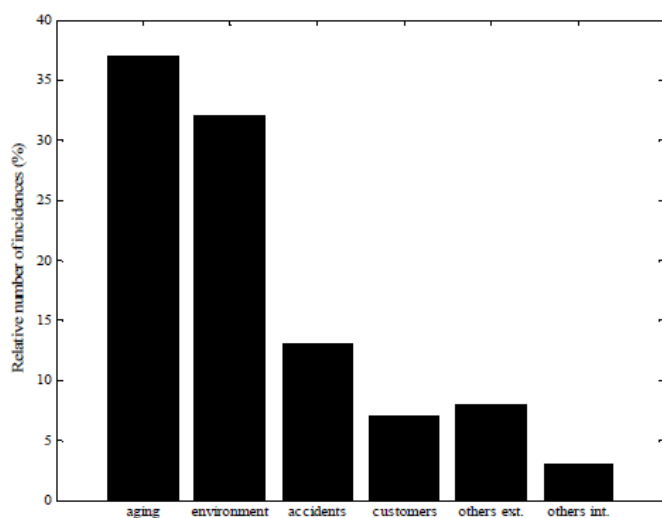


Fig. 3. Main causes of failures.

Da questo grafico, si deduce che i fattori naturali/ambientali incidono per il 32% sul totale, il 13% dei guasti è determinato da aspetti legati al mondo antropizzato, il 7% da problematiche di funzionamento, il 37% da fenomeni di invecchiamento (usura e corrosione), l'8% da errori di posa del cavo e il restante 3% da elementi interni al sistema, come, ad esempio, il crollo dei tralicci di sostegno per i cavi.

RIEPILOGO DATI FATTORI ESTERNI ED ESERCIZIO			
Elemento di riferimento	Frequenza di accadimento	Unità di misura	Incidenza
Fenomeni naturali	1,09E-04	eventi/metro/anno	32%
Mondo antropizzato	4,42E-05	eventi/metro/anno	13%
Utilizzo rete elettrica	2,38E-05	eventi/metro/anno	7%
Fenomeni di invecchiamento	1,26E-04	eventi/metro/anno	37%
Errori di posa del cavo	2,72E-05	eventi/metro/anno	8%
Problemi strutturali (pali sostegno)	1,02E-05	eventi/metro/anno	3%

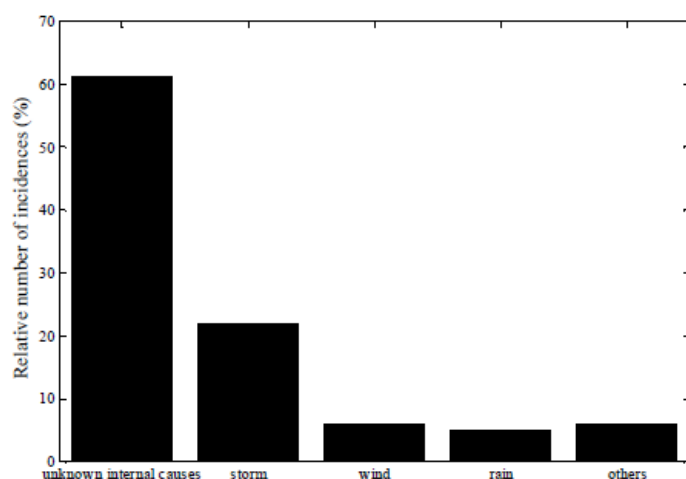


Fig. 2. Main causes of self-extinguishing faults.

Da questo secondo istogramma, si può rilevare, invece, con un maggior grado di dettaglio, il peso di ciascun elemento naturale sulla percentuale del 32% e l'incidenza dei fattori legati al mondo antropizzato.

EVENTI NATURALI ED ANTROPICI (FOCUS)			
Elemento	Frequenza di accadimento	Unità di misura	Incidenza
Sisma	8,70E-06	eventi/metro/anno	8% su fenomeni naturali
Frane/smottamenti	1,09E-05	eventi/metro/anno	10% su fenomeni naturali
Allagamenti	6,53E-06	eventi/metro/anno	6% su fenomeni naturali
Vento forte	7,62E-06	eventi/metro/anno	7% su fenomeni naturali
Precipitazione	5,44E-06	eventi/metro/anno	5% su fenomeni naturali
Sbalzi elettrici	2,38E-06	eventi/metro/anno	10% su utilizzo rete elettrica
Aumento Temp	2,86E-06	eventi/metro/anno	12% su utilizzo rete elettrica
Vibrazioni da treni	2,21E-06	eventi/metro/anno	5% su mondo antropizzato
Lavori umani	1,77E-05	eventi/metro/anno	40% su mondo antropizzato

2. MANCANZA SISTEMI PROTETTIVI

Questa voce deve essere interpretata come assenza di misure protettive di natura ingegneristica, che mitigano l'impatto del Top Event. Si tratta, quindi, di un errore umano, che può essere valutato con la tecnica HEART, con tre diverse opzioni:

Caso	Probabilità		Commento/Condizioni
1	---	1	Assenza totale di interventi di ingegneria/misure mitigative, viste come sistemi a protezione dell'impianto elettrico e della ferrovia (quindi, qualunque fenomeno idrogeologico agisce completamente senza barriere protettive nei confronti del sistema in esame)
2	---	0	Presenza interventi di ingegneria completamente efficienti, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che riducono a zero l'effetto dell'impatto idrogeologico
3	VALORE CALCOLATO	0,0048	Presenza interventi di ingegneria e misure mitigative, eseguiti da personale formato e competente, seguendo i giusti criteri di progettazione, che portano a una certa probabilità di verifica di danno

3. INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Anche questo box può essere valutato tramite la tecnica HEART, come errore umano, suddividendo queste attività in ordinarie e straordinarie, come già operato per il caso dei gasdotti ed acquedotti.

Caso	Probabilità		Frequenza	Commento/Condizioni
1	VALORE CALCOLATO A	0,002	3,37E-07	Caso interventi ordinari
2	VALORE CALCOLATO B	0,07488	1,26E-05	Caso interventi straordinari

SEZIONE B

PROBABILITA' RAMI DELL'ALBERO DEGLI EVENTI

In riferimento agli alberi degli eventi riportati nel paragrafo 5.3.2, si indicano di seguito i valori di probabilità associati ai diversi Pivotal Events delle strutture ramificate per i tre casi studio.

CASO STUDIO 1: TUBAZIONI DEL GAS

Top Event: "Rottura tubazione gas"

1. SCALZAMENTO DEL BINARIO

Per ricavare la probabilità associata a questa voce, si è presa in considerazione il valore di pressione di esercizio a cui lavorano le diverse condotte del gas, ricavato da tabulati interni dell'Azienda GTT, riportati anche nella sezione A dell'Appendice.

In particolare, si può osservare che le pressioni ordinarie delle condotte presenti lungo la linea Canavesana, espresse in bar sono: 10,78-12-4,7-2-62,76-0,039-9-4,9-5-4,5-7,5.

Si tratta, quindi, di pressioni di esercizio relativamente basse, fatta eccezione per tre metanodotti che raggiungono un valore più elevato pari a 62,76 bar.

In generale, si potrebbero ipotizzare:

- scalzamenti anche pronunciati e consistenti, sotto forma di distorsioni, spostamenti orizzontali o sghebbi di elevazione per il binario qualora la pressione della condotta supera i 70 bar (range di pressioni elevate), con probabilità del Pivotal Event in esame uguale ad 1 ($p=1$);
- scalzamenti nulli per pressioni inferiori a 10 bar (range di pressioni basso), con probabilità di verifica associata al Pivotal Event nulla ($p=0$);
- nel caso di pressioni comprese tra 10 e 70 bar (range di pressioni intermedio), si può ipotizzare una possibile manifestazione del fenomeno con una probabilità di 0,5.

2. JET FIRE

Il valore di probabilità associato alla verifica di questo Pivotal Event deriva dal 5° Rapporto dell'EGIG, redatto nel 1997 e vale $7,5 \cdot 10^{-2}$, mentre l'esito negativo è definito dal complemento a 1 del precedente dato e vale quindi 0,925.

3. ESPLOSIONE

L'esplosione violenta di una condotta del gas, di fatto, è un evento meno frequente del precedente; ciò è confermato da statistiche reperibili sempre presso la banca dati EGIG, dove si può osservare un ordine di grandezza associato a questo Pivotal Event più basso, ossia pari a $2,8 \cdot 10^{-5}$. Al contempo, la non verifica dell'esplosione è data da $1 - 0,000028 = 0,999972$.

4. COMUNICAZIONE DA GESTORE DELLA RETE GAS

La probabilità del ramo con esito positivo relativo a questa voce può essere stimata come un errore umano, tenendo conto della procedura di interfaccia più o meno efficace tra l'ente gestore della rete del gas e il personale ferroviario che gestisce l'infrastruttura.

Pertanto, come già effettuato in diverse occasioni, si procede con la quantificazione di questo errore umano con la tecnica HEART.

Questa volta la probabilità nominale di errore P_0 considerata è quella associata alla mansione D (compito abbastanza semplice, eseguito rapidamente o con poca attenzione), uguale a 0,09, una condizione favorevole all'errore n°5 (nessun mezzo per far arrivare, fisicamente o funzionalmente, l'informazione all'operatore), con CFE=9 ed un fattore di peso AP=0,5.

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,09 \cdot [(9 - 1) \cdot 0,5 + 1] = 0,45$$

5. INTERRUZIONE DELLA CIRCOLAZIONE FERROVIARIA

Questa è una decisione che viene presa dal regolatore della circolazione ferroviaria, in funzione degli effetti ed i danni che si sono avuti nei confronti dell'infrastruttura, in seguito all'accadimento del Top Event. Pertanto, si può interpretare la condizione, anche qui, come un possibile errore umano, in relazione alla scelta più o meno sbagliata presa dal personale che regola il movimento dei convogli lungo la linea. Si procede anche in questo caso con l'uso della metodologia HEART, in riferimento ad una probabilità di errore nominale relativo alla mansione G (compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi), pari a 0,0004, una condizione favorevole all'errore n°12 (discrepanza tra rischio reale e rischio percepito), con CFE=4 ed un fattore di peso unitario (AP=1).

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,0004 \cdot [(4 - 1) \cdot 1 + 1] = 0,0016$$

Il valore appena trovato con la precedente formulazione è relativo all'esito negativo del Pivotal Event.

Ovviamente, per ricercare l'esito positivo si calcola il complemento a 1 del precedente valore numerico, ossia $1 - 0,0016 = 0,9984$.

6. LIMITAZIONE DELLA VELOCITA' DELLA LINEA FERROVIARIA

Anche questa è una scelta operata dal regolatore della circolazione ferroviaria. Questa voce viene valutata, quindi, sempre con la tecnica HEART, in riferimento alla mansione G (compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi) per la probabilità di errore nominale, pari a 0,0004, una condizione favorevole all'errore n°17 (controllo o analisi degli output poco o del tutto non oggettivi), con CFE=3 ed un fattore di peso unitario (AP=1).

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,0004 \cdot [(3 - 1) \cdot 1 + 1] = 0,0012$$

Il valore appena trovato con la precedente formulazione è relativo all'esito negativo del Pivotal Event.

Ovviamente, per ricercare l'esito positivo si calcola il complemento a 1 del precedente valore numerico, ossia $1 - 0,0012 = 0,9988$.

CASO STUDIO 2: TUBAZIONI PER ACQUEDOTTI*Top Event: “Rottura tubazione acqua”***1. RETE TELECONTROLLATA**

La probabilità associata al ramo positivo di questo Pivotal Event viene determinata prendendo in considerazione i dati redatti dalla rete acquedottistica SMAT di Torino contenuto nel Piano d'Ambito Torinese elaborato nel dicembre 2015.

RETE ACQUEDOTTO PER TIPOLOGIA DI MATERIALE	ADDUZIONE (km)	DISTRIBUZIONE (km)	TOTALE (km)
Lunghezza rete acciaio/ferro (km)	264	3.047	3.311
Lunghezza rete ghisa (km)	195	1.966	2.161
Lunghezza rete materiale sintetico (PVC, PEAD, ecc.)	203	3.730	3.933
Lunghezza rete materiale cementizio	3	4	7
Lunghezza rete cemento amianto	47	547	594
Lunghezza rete altro materiale	104	1.862	1.966
Totale rete acquedotto	815	11.156	11.971
Estensione rete telecontrollata (km)	7.657		
Lunghezza rete georeferenzata (km)	9.385		

Dalla precedente tabella si evince che sul totale di rete acquedottistica gestita da SMAT in territorio regionale piemontese (11971 km), circa 7657 km sono telecontrollati.

Pertanto, la probabilità che la rete sia telecontrollata viene determinata eseguendo il seguente rapporto matematico tra i due dati appena menzionati:

$$\frac{7657}{11971} = 0,64$$

Come al solito, nel caso dell'albero degli eventi, è necessario fissare sia il valore del ramo associato all'esito positivo dell'evento, sia quello del Pivotal negativo, determinato come il complemento a 1 del precedente; pertanto, $1-p=1-0,64=0,36$.

2. COMUNICAZIONE DA ENTE GESTORE ACQUEDOTTO E INTERRUZIONE CIRCOLAZIONE FERROVIARIA

Si valuta la presente voce come un possibile errore umano, tenendo conto della procedura di interfaccia più o meno efficace tra il gestore della rete gas e il gestore dell'infrastruttura. Si procede con la quantificazione del suddetto errore umano con la tecnica HEART.

La probabilità nominale di errore considerata è quella associata alla mansione D (Compito abbastanza semplice eseguito rapidamente o con poca attenzione --> $P_0=0,09$), una condizione favorevole all'errore n°5 (Nessun mezzo per far arrivare, fisicamente o funzionalmente, l'informazione all'operatore --> $CFE1=9$) e un fattore di peso di 0,5 ($AP=0,5$).

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,09 \cdot [(9 - 1) \cdot 0,5 + 1] = 0,45$$

3. ALLAGAMENTI DELLA SEDE FERROVIARIA

Si è ipotizzata la possibilità di allagamento con probabilità unitaria ($p=1$) nel caso in cui la profondità dell'attraversamento è inferiore a 2 metri o nel caso in cui la distanza del parallelismo è minore di 20 metri, ossia quando non si rispettano i limiti di profondità o distanza dalla sede ferroviaria fissati dalla normativa di riferimento per attraversamenti e parallelismi. In tutti gli altri casi, si ipotizza una probabilità di verifica di un allagamento della sede ferroviaria di 0,5 ($p=0,5$).

In questo Pivotal Event l'allagamento viene interpretato come un fenomeno che può produrre condizioni di instabilità nei confronti della sede ferroviaria sovrastante, sotto forma di cedimenti dell'infrastruttura. Si tiene in conto questo fattore alla luce di alcuni fenomeni di questo genere, già avvenuti in passato.

4. LIMITAZIONE VELOCITA' DELLA LINEA FERROVIARIA

In questo caso è il regolatore della circolazione ferroviaria a fare una scelta. Questa voce viene, quindi, valutata sempre con la tecnica HEART, in riferimento ad una probabilità di errore nominale relativa alla mansione G (Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi --> $P_0=0,0004$), una condizione favorevole all'errore n°17 (Controllo o analisi degli output poco o del tutto non oggettivi --> $CFE=3$) e un fattore di peso unitario ($AP=1$).

Quindi: $P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,0004 \cdot [(3 - 1) \cdot 1 + 1] = 0,0012$

Il valore appena trovato con la precedente formulazione è relativo all'esito negativo del Pivotal Event.

Ovviamente, per ricercare l'esito positivo si calcola il complemento a 1 del precedente valore numerico, ossia $1-0,0012=0,9988$.

CASO STUDIO 3: LINEE AEREE ELETTRICHE

Top Event: "Rottura cavi elettrodotti"

1. OSTACOLO IN LINEA O INTERFERENZE CON SISTEMI FERROVIARI

Questo Pivotal Event si manifesta in seguito alla rottura parziale o totale del cavo elettrico; in particolar modo, nel primo caso viene concepito come abbassamento di livello del cavo rispetto alla configurazione tradizionale, creando interferenze con l'infrastruttura ferroviaria e con il passaggio dei treni, mentre nella seconda situazione si ha la presenza di materiale sui binari, generando un estremo pericolo per la circolazione dei convogli ferroviari sulla linea.

Per ricavare la probabilità associata a questo Pivotal Event dell'albero, è stato contato il numero di cavi elettrici aerei totali presenti lungo la linea Canavesana, pari a 97 e si è diviso tale valore per la lunghezza totale della rete ferroviaria (38,121 km). Si è poi moltiplicato tale valore per il tempo di missione stimato per tali strutture pari a 20 anni, ricavando una probabilità di 0,05. La probabilità associata all'esito negativo dell'evento è il complementare $1-p$, ossia $1-0,05=0,95$.

2. RILEVAMENTO ANOMALIA E COMUNICAZIONE DA ENTE ELETTRODOTTO

Si valuta la presente voce come un possibile errore umano, tenendo conto della procedura di interfaccia più o meno efficace tra il gestore della rete gas e il gestore dell'infrastruttura. Si procede con la quantificazione del suddetto errore umano con la tecnica HEART.

La probabilità nominale di errore considerata è quella associata alla mansione D (Compito abbastanza semplice eseguito rapidamente o con poca attenzione --> $P_0=0,09$), una condizione favorevole all'errore n°5 (Nessun mezzo per far arrivare, fisicamente o funzionalmente, l'informazione all'operatore --> $CFE=9$) e un fattore di peso di 0,5 ($AP=0,5$).

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,09 \cdot [(9 - 1) \cdot 0,5 + 1] = 0,45$$

3. INTERRUZIONE CIRCOLAZIONE FERROVIARIA

Questa è una decisione che viene presa dal regolatore della circolazione ferroviaria, in funzione degli effetti ed i danni che si sono avuti nei confronti dell'infrastruttura, in seguito all'accadimento del Top Event. Pertanto, si può interpretare la condizione, anche qui, come un possibile errore umano, in relazione alla scelta più o meno sbagliata presa dal personale che regola il movimento dei convogli lungo la linea. Si procede anche in questo caso con l'uso della metodologia HEART, in riferimento ad una probabilità di errore nominale relativo alla mansione G (compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi), pari a 0,0004, una condizione favorevole all'errore n°12 (discrepanza tra rischio reale e rischio percepito), con $CFE=4$ ed un fattore di peso unitario ($AP=1$).

$$\text{Quindi: } P = P_0 \cdot PF_i = P_0 \cdot [(CFE - 1) \cdot AP + 1] = 0,0004 \cdot [(4 - 1) \cdot 1 + 1] = 0,0016$$

Il valore appena trovato con la precedente formulazione è relativo all'esito negativo del Pivotal Event.

Ovviamente, per ricercare l'esito positivo si calcola il complemento a 1 del precedente valore numerico, ossia $1-0,0016=0,9984$.

4. PRESENZA DI TRENO

Per poter stimare la probabilità associata alla presenza del treno lungo la linea durante l'evento critico, sono state prese in considerazione il numero delle tracce orarie percorse dal servizio di trasporto passeggeri lungo la linea Canavesana GTT, pari a 10 treni al giorno (24h).

La probabilità è stata ricavata dividendo tale valore per il numero di ore in un giorno e per la lunghezza complessiva della linea ferroviaria in esame, ottenendo come risultato $1,10E-05$.

La probabilità di assenza del treno in linea è quindi pari a $1-p$, ossia $1-1,10E-05=0,999988$.