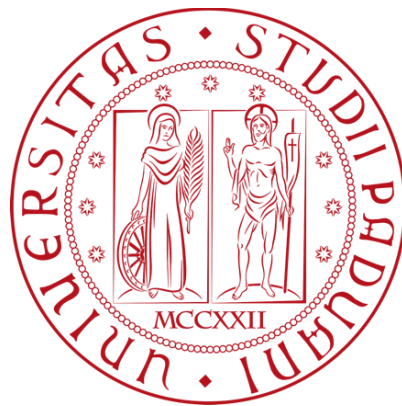


# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria della Sicurezza  
Civile e Industriale



TESI DI LAUREA

**Sicurezza contro il rischio di frane per ponti, viadotti stradali e ferroviari: analisi comparativa delle linee guida, approfondimento statistico e suggerimenti per l'ottimizzazione**

Relatore: Prof. Paolo Simonini

Correlatori: Ing. Lorenzo Brezzi

Ing. Fabiola Gibin

Laureando: **Giovanni Titone**

2071974

**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**



# Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>Capitolo 1 -Panoramica sulle nuove linee guida ministeriali per la valutazione della sicurezza dei ponti stradali</b> .....	<b>3</b>
Paragrafo 1.1 – Il censimento delle opere stradali .....	6
Paragrafo 1.2 – Le ispezioni visive e le schede di difettosità .....	7
Paragrafo 1.2.1 – Schede di ispezione ponti di Livello 1-Rilievo e valutazione dei difetti .....	8
Paragrafo 1.2.2 – Schede di ispezione ponti di Livello 1-Fenomeni di frana e fenomeni idraulici .....	9
Paragrafo 1.3 – L’analisi dei rischi rilevanti e la classificazione su scala territoriale .....	10
Paragrafo 1.3.1 – Classe di attenzione strutturale e fondazionale .....	12
Paragrafo 1.3.2 – Classe di attenzione sismica .....	13
Paragrafo 1.3.3 – Classe di attenzione relativa al rischio frane .....	14
Paragrafo 1.3.4 – Classe di attenzione relativa al rischio idraulico .....	15
Paragrafo 1.4 – La valutazione preliminare dell’opera .....	16
Paragrafo 1.5 – La verifica accurata della sicurezza .....	16
<b>Capitolo 2 – Linee guida per il censimento, la classificazione e gestione dei ponti ferroviari esistenti</b> .....	<b>17</b>
Paragrafo 2.1 – Il censimento delle opere ferroviarie .....	19
Paragrafo 2.2 – Le ispezioni visive e le schede di difettosità .....	21
Paragrafo 2.3 – Classificazione delle opere .....	22
Paragrafo 2.3.1 – Differenze nella determinazione delle CdA rispetto le prime linee guida .....	23
<b>Capitolo 3 – Approfondimento sul Rischio Frane</b> .....	<b>27</b>
Paragrafo 3.1 – Scheda fenomeni di frana e idraulici .....	27
Paragrafo 3.2 – Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio frane .....	34
Paragrafo 3.2.1 – Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio frane relativo ai ponti stradali ..	34
Paragrafo 3.2.2 – Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio frane relativo ai ponti ferroviari	42
<b>Capitolo 4– Indagine statistica sul Rischio Frane</b> .....	<b>47</b>
Paragrafo 4.1 – Statistica sui ponti stradali .....	48
Paragrafo 4.2 – Statistica sui ponti ferroviari .....	55
Paragrafo 4.3 – Differenze tra le due indagini statistiche .....	58
<b>Capitolo 5– Indagine statistica su casi studio</b> .....	<b>63</b>
Paragrafo 5.1 – Ponte soggetto a frana grande e lenta .....	64

<i>Paragrafo 5.2 – Ponte soggetto a frana piccola e veloce</i> .....	69
<i>Paragrafo 5.2.1 – Differenze tra le frane osservate</i> .....	74
<i>Paragrafo 5.3 – Assenza o presenza di misure di Mitigazione</i> .....	75
<i>Paragrafo 5.4 – Ponte ferroviario soggetto a frana diretta o indiretta</i> .....	78
<i>Paragrafo 5.5 – Esposizione del traffico in un ponte stradale</i> .....	83
<b>Conclusioni</b> .....	<b>89</b>
<b>Bibliografia e sitografia</b> .....	<b>93</b>

# Indice delle figure e delle Tabelle

## Figure

**Figura 1.** *Approccio Multilivello delle Linee Guida per ponti stradali. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).*

**Figura 2.** *Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).*

**Figura 3.** *Approccio multilivello delle Linee guida per ponti ferroviari. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).*

**Figura 4.** *Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 5.** *Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 6.** *Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 7.** *Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 8.** *Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 9.** *Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 10.** *Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 11.** *Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e idraulici (Da Allegato B).*

**Figura 12.** *Flusso logico per la determinazione della classe di Suscettibilità per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).*

**Figura 13.** *Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).*

**Figura 14.** *Flusso logico per la determinazione del livello della classe di Esposizione per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).*

**Figura 15.** *Flusso logico per la determinazione della classe di Suscettibilità per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).*

**Figura 16.** *Flusso logico per la determinazione della classe di Esposizione per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).*

**Figura 17.** *Grafico a torta sull'indagine statistica attuata per i Ponti stradali.*

**Figura 18.** *Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Suscettibilità sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.*

**Figura 19.** Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Vulnerabilità sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.

**Figura 20.** Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Esposizione sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.

**Figura 21.** Grafico a torta sull'indagine statistica attuata per i Ponti ferroviari.

**Figura 22.** Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Suscettibilità dei ponti stradali e ferroviari.

**Figura 23.** Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Vulnerabilità dei ponti stradali e ferroviari.

**Figura 24.** Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Esposizione dei ponti stradali e ferroviari.

**Figura 25.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, per frana grande e lenta.

**Figura 26.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana grande e lenta.

**Figura 27.** Spostamenti Planimetrici, misurati lungo la frana di Ripoli tra il 2011 e il 2012. (Da documenti Prof. Paolo Simonini).

**Figura 28.** Autostrada del sole (A1), soggetta alla frana. (Da <https://www.bolognatoday.it/cronaca/ripoli-frana-variante-valico-scavi-autostrada.html>).

**Figura 29.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, per frana Piccola e Veloce.

**Figura 30.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana Piccola e Veloce.

**Figura 31.** Istogramma, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana Piccola e Veloce.

**Figura 32.** Autostrada A6, soggetta a frana. (Da <https://www.ilsecoloxix.it/italia/2019/11/25/news/crollo-sull-a6-l-esperto-grave-errore-il-pilone-in-quel-punto-1.37993713>).

**Figura 33.** Nuovo viadotto realizzato sull'autostrada A6 (Da <https://www.rainews.it/archivio-rainews/articoli/A6-Torino-Savona-inaugurato-il-viadotto-crollato-per-una-frana-acc636de-01df-4cd7-af6e-bdd3c39294ee.html>).

**Figura 34.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, utilizzando il procedimento di determinazione delle misure di mitigazione per ponti ferroviari.

**Figura 35.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari.

**Figura 36.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a frana diretta.

**Figura 37.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a frana indiretta.

**Figura 38.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, soggetti a Molto Traffico.

**Figura 39.** Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a Poco Traffico.

## **Tabelle**

**Tabella 1.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 2.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 3** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 4.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 5.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 6.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 7.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 8.** Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico per i ponti ferroviari (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 9.** Tabella utile alla determinazione dell'instabilità di versante per i ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 10.** Tabella utile alla determinazione della tipologia strutturale e di fondazioni nel calcolo della classe di vulnerabilità, nel caso di ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 11.** Tabella utile alla determinazione del Traffico Medio Giornaliero nel calcolo della classe di Esposizione, nel caso di ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 12.** Tabella utile alla Combinazione del Traffico Medio Giornaliero e della Luce Media della Campata nel calcolo della classe di Esposizione, nel caso di ponti stradali (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali, ANSFISA).

**Tabella 13.** Tabelle utili alla stima della classe di attenzione frane (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti stradali e ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 14.** Tabella alla Classificazione della tipologia strutturale e di fondazioni per le frane di tipo dirette. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 15.** Tabella utile alla Classificazione della tipologia strutturale e di fondazioni per le frane di tipo indirette. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).

**Tabella 16.** Livelli associati al numero medio di passeggeri che si trovano nella lunghezza di percorrenza. (Da Istruzioni Operative per applicazione delle linee guida dei ponti ferroviari, ANSFISA).





# Introduzione

Questo elaborato effettua un'analisi comparativa delle linee guida redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la valutazione della sicurezza di ponti stradali e ferroviari. Vengono presentate le due normative con il fine di mettere in risalto le principali differenze e similitudini nei criteri di valutazione e nelle tecniche di intervento, ponendo particolare attenzione per la valutazione e la mitigazione del rischio frane, approfondito tramite i propri allegati e attraverso un'indagine statistica. La parte finale della tesi riporta, appunto, un'analisi statistica effettuata per esaminare i dati relativi a determinate situazioni di rischio causate da dissesti e movimenti franosi. Sulla base delle evidenze raccolte, vengono analizzate le possibili strategie di mitigazione del rischio e le differenze tra le varie casistiche.

## **ANSFISA**

ANSFISA, acronimo di Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture stradali e Autostradali, è un'agenzia pubblica italiana istituita il 28 settembre 2018 attraverso il decreto-legge n.109 articolo 12 per garantire la sicurezza delle infrastrutture ferroviarie e stradali, con il compito di:

1. Vigilare e controllare le infrastrutture per assicurare il rispetto degli standard di sicurezza.
2. Emettere linee guida e regolamenti per la gestione e manutenzione delle infrastrutture.
3. Fornire supporto tecnico ai gestori delle infrastrutture per il realizzarsi delle misure di sicurezza.
4. Guidare studi e monitoraggi per valutare lo stato di sicurezza delle infrastrutture e ridurre il rischio di incidenti.
5. Certificare i Sistemi di Gestione della Sicurezza attuati dai gestori delle infrastrutture.

Le istruzioni operative relative all'applicazione delle linee guida per la valutazione dei ponti esistenti sono state redatte da ANSFISA e sono state adottate tramite Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; il loro compito è quello di rendere più agevole e immediata la comprensione delle **Linee guida** non cambiandone i contenuti. L'obiettivo è consentire una maggiore diffusione e standardizzazione dei criteri per la verifica e la manutenzione delle opere.

Le linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti e le nuove linee guida per la valutazione della sicurezza dei ponti ferroviari nascono in risposta alla necessità di migliorare la sicurezza e la manutenzione delle infrastrutture stradali e ferroviarie, in particolar modo a seguito di eventi tragici come il crollo del Ponte Morandi a Genova nel 2018. Questo evento ha messo in evidenza le gravi carenze nella gestione, manutenzione e monitoraggio delle infrastrutture esistenti, spingendo le autorità a sviluppare nuove linee guida per garantire la sicurezza dei ponti e delle altre infrastrutture.

# Capitolo 1

## PANORAMICA SULLE NUOVE LINEE GUIDA MINISTERIALI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEI PONTI STRADALI

Le “**Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti**” presentano una procedura per la gestione della sicurezza dei ponti esistenti, mirata a prevenire danni e a mantenere il rischio entro livelli accettabili. Le linee guida propongono un approccio multilivello con grado di dettaglio crescente: una prima fase di censimento riguardante tutte le opere è seguita da una fase di ispezione e compilazione di apposite schede al fine di redigere un report e attribuire una classe di attenzione all’opera in esame, che va da bassa ad alta. Solo per le opere caratterizzate da elevate criticità, segue poi una verifica accurata della sicurezza. È importante, inoltre, progettare un adeguato sistema di sorveglianza e monitoraggio dei ponti e viadotti esistenti in base alle necessità che emergono nelle varie fasi di applicazione della normativa.

Vengono considerati ponti e viadotti con una lunghezza totale superiore ai 6 metri, i quali consentono di superare ostacoli, come corsi d'acqua, canali, vie di comunicazione o altre irregolarità.

I risultati della classificazione e della verifica forniscono informazioni utili per eventuali valutazioni dell'impatto sul trasporto tramite un'analisi della resilienza della rete. Vengono approfondite le metodologie necessarie per sviluppare l'approccio proposto a livello territoriale, come il censimento delle opere, l'esecuzione di ispezioni speditive e speciali, e la redazione delle schede di difettosità delle opere. Inoltre, viene valutata la classe di attenzione in funzione dei potenziali rischi rilevanti: strutturale (statico e fondazionale), sismico, idro-geologico (idraulico e da frana). Questi rischi sono analizzati separatamente in termini di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e poi riuniti in una classificazione generale per la definizione di una classe di attenzione globale dell’opera.

Il documento fornisce strumenti per conoscere i ponti e i viadotti a livello territoriale e per stabilire le priorità per eventuali operazioni di sorveglianza, monitoraggio, verifica e intervento. Per le opere con una luce inferiore a 6 metri, il gestore dell'infrastruttura deve

definire le modalità di sorveglianza e monitoraggio in base alle specificità delle opere e alle caratteristiche territoriali.

Le linee guida si sviluppano su sei livelli, con un grado di complessità e approfondimento crescente:

- Il Livello 0 comporta il censimento delle opere in base alle loro caratteristiche principali tramite informazioni e documentazione disponibile.

- Il Livello 1, come appendice del Livello 0, prevede l'attuazione di ispezioni speditive dirette delle strutture in esame e la raccolta di dati utili riguardo le caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area, per identificare, oltre al deterioramento dell'opera, le potenziali condizioni di rischio relative a frane o ad azioni idrodinamiche.

- Il Livello 2 permette di determinare la classe di attenzione di ogni ponte, in base ai parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati dai livelli precedenti. In seguito a tale classificazione si procede con uno dei livelli successivi.

- Il Livello 3 implica l'attuazione di valutazioni preliminari necessarie a determinare, in seguito alle ispezioni eseguite al Livello 1, se siano necessarie ulteriori verifiche quali quelle definite al Livello 4.

- Il Livello 4 in base a quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti, attua valutazioni più accurate sulle opere in esame.

- Il Livello 5 viene attuato quando si ha a che fare con ponti considerati di significativa importanza all'interno della rete, adeguatamente identificati.

Si riporta di seguito uno schema riassuntivo dell'approccio multilivello proposto dalle Linee Guida, come riportato nella normativa di riferimento.

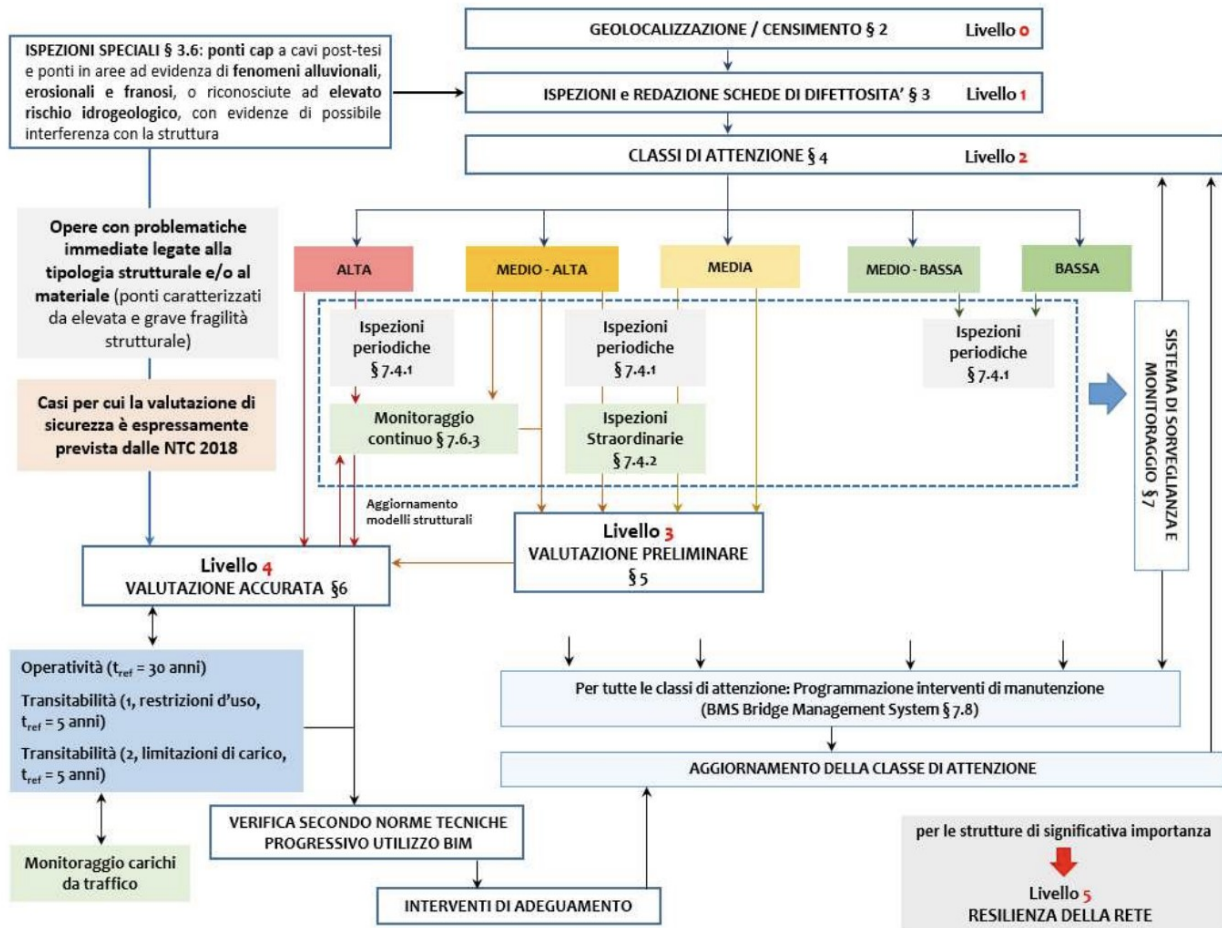


Figura 1 Approccio Multilivello delle Linee Guida per Ponti stradali.

## 1.1 Livello 0 – Il Censimento delle opere

Il censimento delle opere consiste nello schedare le opere presenti sul territorio, determinando quindi il numero di strutture da gestire e catalogarle in base alle loro caratteristiche principali, in base a geometria, elementi strutturali, rete stradale in cui sono inserite e sito in cui sono ubicate.

La raccolta di questi dati permette la creazione di un database dei ponti nazionale, finalizzato a classificare l'intero patrimonio infrastrutturale esistente.

È comunque necessario mantenere aggiornati tali dati ogni qual volta si acquisisca nuova documentazione. Le diverse caratteristiche dei ponti ci permettono di suddividerli in macroclassi individuando un ordine di priorità sul quale programmare le ispezioni visive richieste dal Livello 1.

Il censimento e la classificazione delle opere definiscono il primo step di ogni sistema di gestione della sicurezza di infrastrutture: pertanto, i gestori dovranno impegnarsi nella più rapida e completa attuazione del Livello 0.

La raccolta dei dati contenuti nel censimento si basa sull'analisi delle informazioni e della documentazione disponibile, oltre che sull'uso di sistemi di mappatura informatizzati. L'acquisizione della documentazione tecnica e amministrativa relativa al ponte è cruciale per ottenere le informazioni necessarie alla valutazione preliminare dei fattori di rischio. Pertanto, è essenziale condurre una ricerca documentale completa e precisa, sia per i documenti tecnici (relativi a progettazione, costruzione, interventi successivi, ecc.) sia per quelli amministrativi, che consentono di ricostruire la storia e le trasformazioni subite dall'opera nel tempo. L'affidabilità dei dati raccolti viene successivamente verificata attraverso ispezioni e rilievi sul campo. È inoltre fondamentale prestare attenzione alla raccolta di eventuali dati esistenti riguardanti il ruolo della struttura nel sistema di trasporto, definendo la sua rilevanza per la soddisfazione delle esigenze di mobilità e trasporto.

A tal fine, è necessario analizzare le reti stradali o di trasporto di cui fanno parte le opere censite, in relazione al volume e alla tipologia di traffico, oltre a informazioni che permettano di stimare alternative stradali disponibili in caso di limitazioni o chiusure al transito dei veicoli sui ponti in esame. Queste informazioni possono essere ottenute, ad esempio, raccogliendo i risultati di studi sul trasporto già condotti o, in assenza di questi, forniti dall'ente amministrativo competente. Per ogni opera viene redatta una "Scheda di censimento di Livello 0" (Allegato A), che permette di mettere insieme le informazioni disponibili. La

struttura della scheda e le informazioni contenute sono conformi a quanto previsto dal D.M. n. 430 dell'08.10.2019, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, per la formazione dell'Archivio Informativo Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP).

## 1.2 Livello 1- Le ispezioni visive e le schede di difettosità

Le ispezioni visive, parte del Livello 1 dell'approccio multilivello, sono fondamentali per verificare l'affidabilità dei dati raccolti nel censimento al Livello 0 e per acquisire ulteriori informazioni sulle caratteristiche geometriche, strutturali e di conservazione delle opere. Queste ispezioni offrono una descrizione oggettiva delle condizioni dell'opera e dell'ambiente circostante, attraverso rilievi fotografici e geometrici accurati, insieme all'identificazione dei fenomeni di degrado.

Durante le ispezioni visive, vengono esaminati sia l'estradosso che l'intradosso del ponte in tutti i loro elementi, inclusi eventuali vani chiusi. È essenziale utilizzare strumenti di base come strumenti di misura e sistemi tecnologici appropriati per ottenere dati accurati.

Le informazioni raccolte durante le ispezioni vengono documentate su schede di ispezione che indicano la presenza, l'intensità e l'estensione dei difetti rilevati. Ogni difetto è associato a un peso che riflette la sua gravità, facilitando la valutazione complessiva dello stato strutturale. Gli elementi critici individuati durante le ispezioni sono quelli soggetti a fenomeni di degrado o malfunzionamenti che possono influenzare significativamente il comportamento strutturale del ponte. Questi elementi richiedono particolare attenzione e, se necessario, ispezioni speciali per valutare dettagliatamente il loro stato.

Per i ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi e quelli situati in zone a rischio idrogeologico, sono necessarie ispezioni speciali per valutare eventuali difetti e rischi strutturali, oltre a valutare l'effettiva presenza di evidenti movimenti franosi o fenomeni alluvionali che potrebbero compromettere l'incolumità dell'opera. Queste ispezioni comprendono indagini non distruttive e semi-distruttive per individuare difetti nascosti e valutare la sicurezza strutturale.

I risultati delle ispezioni speciali influenzano la classificazione e le priorità di intervento per la manutenzione e il monitoraggio dei ponti.

## 1.2.1 Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Rilievo e valutazione dei difetti

Durante un'ispezione visiva, oltre a rilevare fotograficamente e geometricamente le dimensioni principali dell'opera, viene anche compilata una documentazione dello stato di conservazione della struttura, con lo scopo di evidenziare e denunciare gli eventuali fenomeni di degrado e difetti su apposita **scheda contenuta nell'Allegato B**. La **scheda di valutazione dei difetti** riporta l'intensità e l'estensione dei difetti ed è un supporto per individuare il livello di Difettosità, parametro chiave per la classificazione al Livello 2. Inoltre, le schede di Difettosità variano a seconda del tipo di elementi di ponte e materiale ed includono un elenco di difetti tipici, codificati con un codice alfanumerico e un peso indicante la gravità.

Le schede di valutazione dei difetti richiedono la localizzazione del ponte, la data dell'ispezione, il tecnico responsabile e dettagli sui difetti rilevati. Ogni difetto deve essere documentato con estensione e intensità specifiche, e foto catalogate. Schede aggiuntive forniscono una descrizione della struttura, inclusi elementi critici che influenzano la classe di attenzione strutturale e sismica.

L'ispezione visiva in situ e la compilazione delle schede di difettosità permettono di individuare la presenza di "elementi critici", indicando con tale termine gli elementi particolarmente soggetti ai fenomeni di degrado e i cui eventuali malfunzionamenti possono incidere significativamente sul comportamento strutturale globale del ponte, ovvero gli elementi o le condizioni per i quali la presenza di uno stato di degrado avanzato è da segnalare immediatamente.

## 1.2.2 Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Fenomeni di frana e fenomeni idraulici

Un'altra scheda di ispezione ponti di livello 1, compilata dagli esperti in materia, è la scheda necessaria a valutare il rischio di frane e fenomeni idraulici che possono condizionare la stabilità e la sicurezza di un ponte. Pertanto, la compilazione di tale scheda è un passaggio obbligatorio, finalizzato tra l'altro, oltre alla corretta applicazione della normativa vigente, anche allo scopo di prevenire incidenti, pianificare interventi di manutenzione e garantire di conseguenza la sicurezza del traffico.

Durante le ispezioni visive, utilizzando i dati raccolti al Livello 0 e un esame dettagliato dell'area del ponte, tecnici qualificati valutano i fattori principali e secondari per determinare la Classe di Attenzione relativa a possibili dissesti franosi e/o fenomeni idraulici rilevanti.

Questi fattori sono raccolti nella Scheda “**Frane e Idraulica**” anch'essa contenuta nell'Allegato **B**, da compilare e allegare alle schede di difettosità strutturale.

Per quanto riguarda le frane, la scheda valuta tre componenti della Classe di Attenzione: **suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione.**

Si sottolinea che nel rischio frane si parla di **Suscettibilità** e non di **Pericolosità**, in quanto ci si riferisce alla predisposizione di un'area a subire frane, basata su caratteristiche relative a terreno e paesaggio, includendo fattori come la geologia e la morfologia e tenendo conto soltanto del fattore spaziale e non di quello temporale.

## 1.3 Livello 2 – L'analisi dei rischi rilevanti e la classificazione su scala territoriale

La classificazione su scala territoriale delle opere già censite e ispezionate nei livelli precedenti consiste in una stima semplificata e rapida dei fattori di rischio.

Tramite la **Classe di Attenzione (CdA)** viene associato un livello di rischio ad ogni ponte.

In ogni caso si parla di **rischio relativo** perché parlare di rischio effettivo è considerato inconsueto, poiché la sua analisi richiederebbe valutazioni e indagini più complesse e dettagliate rispetto a quelle rapide previste dal Livello 2 e ciò comporterebbe l'andare oltre le informazioni raccolte tramite le indagini visive.

La **Classe di Attenzione** stabilisce un ordine di priorità per l'approfondimento di controlli e futuri interventi di manutenzione se necessari.

Le presenti Linee Guida prevedono cinque Classi di Attenzione:

- Classe Alta
- Classe Media-Alta
- Classe Media
- Classe Medio-Bassa
- Classe Bassa

La Classe di Attenzione propria di ogni opera viene determinata tramite il seguente flusso logico:

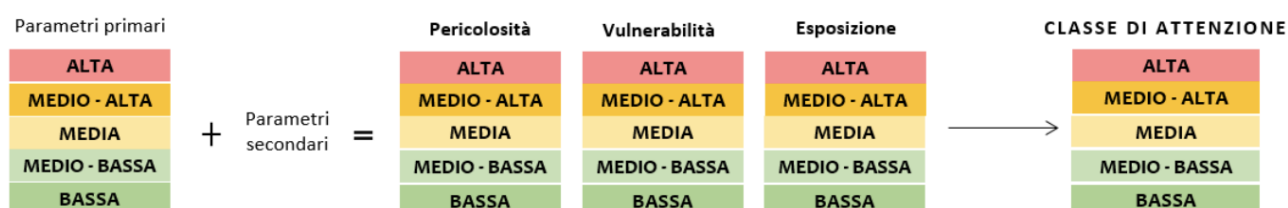


Figura 2 Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione.

La Classe di Attenzione viene determinata mediante una valutazione rapida di pericolosità, esposizione e vulnerabilità associate a ciascuna opera, elaborando i dati ottenuti dalle ispezioni. In ogni caso, la Classe di Attenzione risultante è compresa tra Bassa ed Alta.

È fondamentale identificare i rischi rilevanti per le strutture dei ponti, tenendo presente le loro caratteristiche specifiche e quelle dei contesti in cui si trovano. Considerando i diversi intervalli di ricorrenza e la diversa natura delle azioni principali che li influenzano, è utile distinguere le quattro categorie di rischio: Rischio strutturale e delle fondazioni; Rischio sismico; Rischio da Frane e Rischio Idraulico.

È pertanto utile e necessario esaminare i rischi rilevanti in modo separato e indipendente, definendo un metodo di classificazione e, di conseguenza, una Classe di Attenzione che abbia un valore unico per la struttura e le fondazioni, il rischio sismico, il rischio frane e il rischio idraulico.

I criteri utilizzati per valutare e attribuire le diverse Classi di Attenzione si fondano su normative e metodi standardizzati. I parametri che le determinano variano e sono selezionati tra quelli ritenuti più significativi per le diverse categorie di rischio. Dopo aver determinato le Classi di Attenzione associate ai rischi pertinenti, queste vengono combinate tra loro per definire la Classe di Attenzione complessiva del ponte.

### 1.3.1 Classe di Attenzione strutturale e fondazionale

Tra le già nominate Classi di Attenzione vi è quella Strutturale e Fondazionale: questa tiene conto del comportamento strutturale dell'opera e della risposta delle sue fondazioni in condizioni di esercizio.

Pertanto, come riportato in **Tabella 1** la CdA strutturale e fondazionale viene determinata tramite parametri Primari e Secondari, relativi ad entità e frequenza del traffico, alle caratteristiche strutturali delle opere, e a parametri legati alla gestione della rete stradale.

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Entità dei carichi presenti con particolare riferimento al transito di trasporto eccezionale	-
Vulnerabilità	Livello di difettosità Schema statico, luce, materiale e numero di campate	Rapidità di evoluzione del degrado Norma di progettazione
Esposizione	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose

*Tabella 1 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale per i ponti stradali.*

## 1.3.2 Classe di Attenzione sismica

La Classe di Attenzione Sismica come la Classe di Attenzione Strutturale e Fondazionale dipende dai fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, che come per la CdA precedente vengono determinati mediante la combinazione dei parametri primari e secondari presenti nella **Tabella 2**.

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità</b>	Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica	Categoria di sottosuolo
<b>Vulnerabilità</b>	Schema strutturale, luce e materiale Livello di difettosità	Criteri di progettazione
<b>Esposizione</b>	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose Strategicità dell'opera

*Tabella 2 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica per i ponti stradali.*

Per le linee guida redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

“La definizione della classe di attenzione sismica tiene conto dei principali parametri che influenzano la risposta alle azioni sismiche dei ponti e delle reti stradali di appartenenza.”

Infatti, sia nei parametri primari che secondari sono presenti dati necessari a determinare il rischio sismico della zona e per l'opera in sé.

### 1.3.3 Classe di Attenzione associata al rischio frane

La Classe di Attenzione (CdA) associata al rischio Frane viene anch'essa determinata dalla combinazione dei parametri primari e secondari appartenenti a specifici fattori. Nel rischio frane, oltre a Vulnerabilità ed Esposizione, come anticipato in precedenza, vi è la presenza del fattore di **Suscettibilità** e non di quello relativo alla **Pericolosità**.

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Suscettibilità</b>	Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)	Incertezza di modello Misure di mitigazione
<b>Vulnerabilità</b>	Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni	Estensione dell'interferenza
<b>Esposizione</b>	Livello di TGM e luce della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

*Tabella 3 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane per i ponti stradali.*

La valutazione del rischio frane e le modalità di determinazione della classe di rischio conseguente, fondamentali nel proseguo di questo scritto, verranno approfonditi all'interno del **capitolo 3**.

### 1.3.4 Classe di Attenzione Associata Al rischio idraulico degli Attraversamenti Fluviali

La Classe di Attenzione associata al rischio Idraulico non presenta variazioni nella sua determinazione rispetto le precedenti classi, se non quella di adottare sia il termine Pericolosità che Suscettibilità a dipendenza dell'evento associato. Inoltre, il rischio idraulico può ritenersi assente, quindi esente da valutazione nei casi in cui le strutture non vadano ad interessare l'alveo con le pile, le spalle o entrambe le armature, sempre che la struttura rispetti il franco libero secondo le NTC 2018.

	<b>Parametri primari</b>	<b>Parametri secondari</b>
<b>Pericolosità/Suscettibilità</b>	Probabilità di accadimento e consistenza evento	Incertezza di modello Misure di mitigazione
<b>Vulnerabilità</b>	Resilienza all'evento naturale	Tipologia, magnitudo e frequenza evento Tipologia ed efficienza opere di mitigazione
<b>Esposizione</b>	Danno potenziale	Tipologia di ente scavalcato Importanza strategica dell'opera Estensione del danno

*Tabella 4 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico per i ponti stradali.*

## 1.4 Livello 3 – La Valutazione preliminare dell’opera

Le valutazioni preliminari dell’opera hanno come obiettivo quello di analizzare i difetti constatati durante il Livello 1 o durante le ispezioni periodiche. Nel caso in cui non vengano rilevati in seguito ad esami preliminari, difetti o fenomeni di degrado che giustifichino una Classe di Attenzione elevata, la Linea Guida obbliga in presenza di una CdA Medio-Alta ad attuare esami più specifici con l’obiettivo di determinare le possibili cause che portano ad di una CdA elevata.

Inoltre, è importante considerare seppur gradualmente, l’aggiornamento della normativa col passare degli anni e quindi la variazione di determinate norme con le quali possa esser stata progettata l’opera in esame.

## 1.5 Livello 4 – La verifica accurata della sicurezza

Dopo aver raccolto i dati dal censimento delle opere al Livello 0 e dalle ispezioni del Livello 1, è possibile identificare quei casi in cui risultano necessarie valutazioni approfondite e di sicurezza.

Al Livello 4 dell’approccio multilivello, pertanto, ci si occuperà di valutare quelle opere che non sono oggetto di classificazione, a causa della loro criticità e che in seguito a studi, si dimostrano inadatte alla semplice classificazione basata su criteri generali, e pertanto riconosciute come necessitanti di attenzione immediata e specifica.

All’interno delle NTC 2018 al Cap. 8.3 “VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA” troviamo la lista dei casi in cui è necessaria la verifica accurata della sicurezza.

# Capitolo 2

## PANORAMICA SULLE NUOVE LINEE GUIDA MINISTERIALI PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEI PONTI FERROVIARI

Le “*Linee Guida per il censimento, la classificazione e la gestione dei ponti ferroviari esistenti*” illustrano una procedura per la gestione della sicurezza dei ponti ferroviari esistenti; queste sono suddivise su tre livelli:

- Livello 1 riguarda il censimento delle opere e la loro classificazione;
- Livello 2 illustra il procedimento di valutazione accurata dell’opera;
- Livello 3 riguarda la sorveglianza e il monitoraggio delle opere a noi conosciute.

Queste Linee Guida si attuano per tutti i ponti, viadotti e sottovia ferroviari aventi una luce complessiva (distanza tra i supporti portanti) superiore a 6 metri.

Le strutture interessate permettono di superare depressioni del terreno, ostacoli naturali o artificiali, corsi d’acqua, strade, edifici residenziali e non.

La procedura proposta è anche in questo caso caratterizzata da un approccio multilivello che inizia con il censimento delle opere e termina con la determinazione di una classe di attenzione, necessaria per valutare accuratamente la struttura.

I vari livelli includono: il censimento delle opere, le ispezioni per redigere le schede di difettosità e la valutazione dei rischi (strutturale e fondazionale, sismico e idro-geologico).

Quindi anche in questo caso come per i ponti stradali si attua un approccio multilivello con la differenza che in questo caso i livelli sono 3 e non 5.

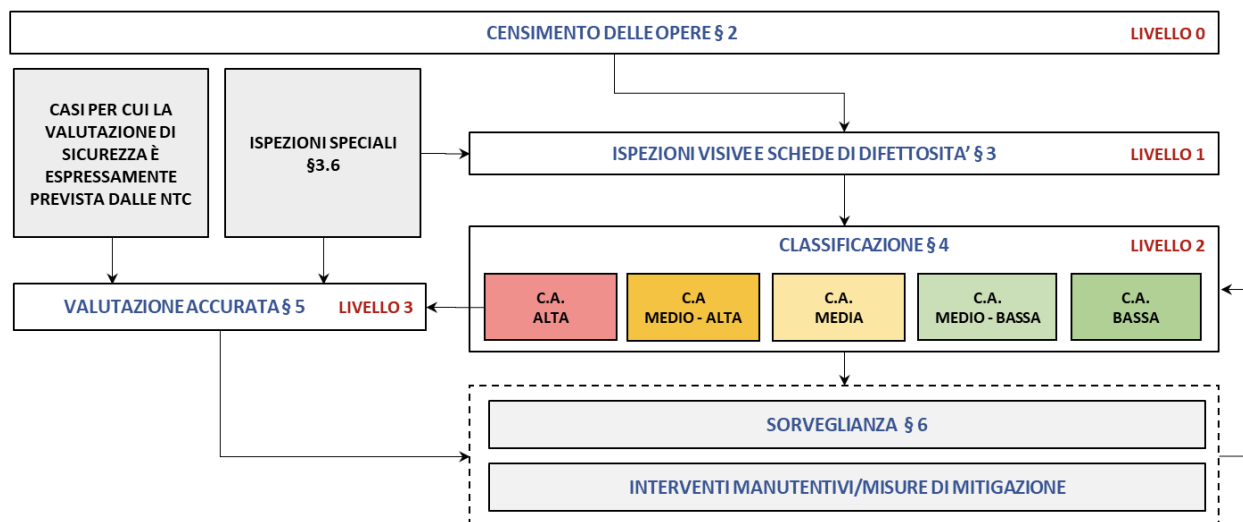


Figura 3 Approccio multilivello delle Linee guida per ponti ferroviari.

La scelta di un approccio multilivello è strategica nel dare un'organizzazione migliore all'elevato numero di infrastrutture presenti sul suolo italiano.

L'approccio multilivello si articola in quattro livelli distinti, ognuno con un grado crescente di approfondimento e complessità.

- **Livello 0:** Comprende l'inventario di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali attraverso la raccolta di dati e documenti disponibili a livello nazionale, regionale e locale.

- **Livello 1:** Si attua alle opere censite nel Livello 0 e prevede l'esecuzione di ispezioni rapide per rilevare le condizioni strutturali e le caratteristiche geo-morfologiche, geologiche e idrauliche dell'area. L'obiettivo è identificare lo stato di degrado e le principali caratteristiche strutturali e geometriche delle opere, oltre alle condizioni di dissesto potenziali o riconosciute legate a eventi franosi o idraulici.

- **Livello 2:** Serve a determinare la Classe di Attenzione di ciascuna opera, basata sui parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, ottenuti dai risultati dei livelli precedenti. Questa classificazione permette anche di stabilire le applicazioni successive in termini di indagini, monitoraggi e verifiche.

- **Livello 3:** Quando necessario, comporta l'esecuzione di valutazioni dettagliate in conformità alle NTC 18, tenendo conto della categoria del tratto di linea in cui si trova l'opera e della tipologia di fenomeno analizzato.

## 2.1 Il censimento delle opere ferroviarie

L'obiettivo del censimento dei ponti ferroviari previsto dal livello 0 dell'approccio multilivello è quello di registrare le strutture presenti lungo la rete ferroviaria nazionale, affinché il quadro del numero e delle caratteristiche principali di ogni ponte sia chiaro.

Durante il censimento delle opere verranno raccolte tutte le informazioni necessarie per catalogare i ponti, stabilendo un ordine di priorità di intervento per le successive ispezioni visive del livello 1.

Tale ordine di priorità è comunque legato alle necessità del Gestore dell'infrastruttura o dall'Esercente.

Il censimento delle opere avviene digitalmente attraverso l'indagine delle informazioni e della documentazione. Per la metodologia multilivello questo passaggio è cruciale perché l'insieme dei dati raccolti influenza in modo significativo il processo di determinazione della classe di attenzione.

È importante possedere la necessaria documentazione tecnica relativa a progetto, costruzione e ad eventuali interventi futuri, oltre ai documenti amministrativi compresi di dati geomorfologici, geologici ed idraulici, così da conoscere le varie modifiche apportate all'opera nel tempo. Inoltre, è opportuno che tali documenti siano verificati durante le ispezioni e i rilievi sul campo.

Di seguito le informazioni minime richieste dalle Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

### **Per la classe di attenzione strutturale-fondazionale e sismica:**

1. Localizzazione del ponte.
2. Tipologia strutturale.
3. Geometria dell'opera.

4. Materiali dei principali elementi costitutivi.
5. Norma di progettazione e criteri di calcolo.
6. Tipo di ente attraversato.
7. Dati di traffico: numero medio di passeggeri e frequenza dei treni al giorno.

**Per la classe di attenzione frane:**

1. Contesto geologico e idraulico.
2. Tipo di dissesto.
3. Stato di attività del dissesto.
4. Magnitudo basata sul volume.
5. Velocità di spostamento.
6. Dimensioni delle pile.
7. Estensione dell'interferenza.
8. Affidabilità complessiva della valutazione.
9. Misure di mitigazione.
10. Tipo di ente attraversato.
11. Dati di traffico.

**Per la classe di attenzione idraulica (quando necessario):**

1. Contesto geomorfologico, geologico e idraulico.
2. Pericolosità idraulica da documentazione disponibile.
3. Tipo di fenomeno.
4. Area riconosciuta come pericolosa.
5. Tipo di reticolo idrografico.
6. Altezza dell'impalcato rispetto al fondo dell'alveo.
7. Fenomeni di erosione.
8. Caratteristiche geometriche delle pile in alveo.
9. Caratteristiche geometriche delle spalle in alveo.
10. Tipo di fondazioni.
11. Caratteristiche dell'alveo.
12. Dimensioni del bacino idrografico.
13. Sistemi di monitoraggio.

14. Affidabilità della valutazione.
15. Tipo di ente attraversato.
16. Dati di traffico.

Ogni ponte è documentato con una "Scheda di censimento di Livello 0" (Allegato A), che raccoglie tutte le informazioni disponibili, in conformità con quanto previsto dal D.M. n. 430 del 08.10.2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per l'Archivio Informativo Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP).

## 2.2 Le ispezioni visive e le schede di difettosità

Come per i ponti stradali anche in quelli ferroviari le ispezioni visive, parte del Livello 1 dell'approccio multilivello, sono fondamentali per verificare l'affidabilità dei dati raccolti nel censimento svolto al Livello 0 e per acquisire ulteriori informazioni sulle caratteristiche geometriche, strutturali e di conservazione delle opere. Queste ispezioni ci offrono un quadro completo delle condizioni dell'opera e dell'ambiente circostante, attraverso rilievi fotografici e geometrici accurati, insieme all'identificazione dei fenomeni di degrado.

Durante l'ispezione visiva dei ponti ferroviari, oltre alla semplice documentazione fotografica e geometrica delle dimensioni principali dell'opera, si effettua anche una valutazione dettagliata dello stato di conservazione della struttura. Questa valutazione è finalizzata a identificare, evidenziare e segnalare, attraverso le apposite schede, i fenomeni di degrado e i difetti presenti. Tramite i risultati ottenuti dalle schede viene poi determinato un grado di difettosità, che verrà poi adoperato al Livello 2.

È importante sottolineare come il Livello 0 sia fondamentale anche in questa fase poiché la valutazione dell'opera viene eseguita in merito alle informazioni raccolte durante il censimento dell'opera stessa.

Nell'Allegato B sono fornite le schede da impiegare in fase di ispezione di Livello 1 queste variando a seconda della tipologia di ispezione, tra le schede relative alla valutazione del rischio strutturale a quelle per la valutazione del rischio frane e idrologico.

## 2.3 Classificazione delle opere

Come per i ponti stradali anche la classificazione dei ponti ferroviari si basa su una stima semplificata e rapida dei fattori di rischio relativi alle opere censite ed ispezionate nei livelli precedenti. La Classe di Attenzione (CdA) fornisce un'informazione indicativa sui fattori di rischio, utile per determinare l'urgenza degli interventi di indagine, verifica e manutenzione.

Come la precedente Linee Guida, per i ponti ferroviari vengono altresì attribuite cinque diverse Classi di Attenzione:

1. Classe Alta
2. Classe Media-Alta
3. Classe Media
4. Classe Medio-Bassa
5. Classe Bassa

In base alla valutazione semplificata di pericolosità, esposizione e vulnerabilità viene determinata la CdA di ogni singola opera. È necessario identificare i rischi rilevanti per le strutture dei ponti, considerando caratteristiche proprie e contesto in cui esse si trovano. Anche in questo caso, vengono ripresentati i quattro tipi di rischio in base alla diversa natura delle azioni e i diversi periodi di ritorno:

- Rischio strutturale e fondazionale
- Rischio sismico
- Rischio frane
- Rischio idraulico

Ad ogni tipo di rischio viene assegnata una CdA specifica.

I metodi per la valutazione e classificazione delle CdA si attengono a regole e approcci comuni, con il variare dei parametri a seconda del tipo di rischio considerato.

Le CdA associate a ciascun rischio vengono infine combinate per ottenere la CdA complessiva dell'opera.

Infine, è importante sottolineare che, essendo basata su un numero limitato di dati, la valutazione risulta per lo più approssimativa.

Di seguito le differenze nei parametri primari e secondari, tra le linee guida relative ai ponti stradali e quelle ferroviarie nella determinazione delle **Classi di Attenzione** già descritte al **Capitolo 1**.

## 2.3.1 Differenze nella determinazione delle CdA rispetto le prime linee guida

### Classe di attenzione Strutturale e fondazionale

La Classe di Attenzione Strutturale e Fondazionale relativa ai ponti ferroviari si può definire più gestibile rispetto a quella relativa ai ponti stradali, poiché nel caso delle ferrovie il numero di treni, il loro carico e il numero di passeggeri può essere regolato e definito con maggior esattezza. In questo caso, infatti, per definire l'entità dei carichi circolanti troveremo delle categorie di linea stabilite. Ancor più importante il numero di treni/giorno che rispetto al traffico stradale soggetto a variazioni, sarà regolato dall'ente competente.

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità</b>	Entità dei carichi circolanti (categorie di linea)	
<b>Vulnerabilità</b>	Livello di difettosità, norma di progettazione, schema statico, tipo opera, luce, materiale	Rapidità di evoluzione del degrado, numero di binari
<b>Esposizione</b>	Numero medio passeggeri, frequenza treni/giorno	Tipologia di ente scavalcato e attraversato

*Tabella 5 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale per i ponti ferroviari.*

## Classe di Attenzione Sismica

La Classe di Attenzione Sismica si focalizza più sul tipo di suolo e sulla regione in cui l'opera si trova, o la tipologia costruttiva dell'opera stessa piuttosto che concentrarsi sulla tipologia di ponte in sé. Pertanto, le differenze tra le due linee guida sono lievi e sempre relative all'esposizione, ovvero al tipo di traffico che come scritto precedentemente per la Classe di Attenzione Strutturale e Fondazionale, sarà regolamentato e definibile con maggior esattezza per i ponti ferroviari e frutto di una media giornaliera per i ponti stradali.

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità</b>	Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica	Categoria di sottosuolo
<b>Vulnerabilità</b>	Schema strutturale, luce e materiale Livello di difettosità	
<b>Esposizione</b>	Numero di passeggeri nell'area di influenza del ponte Frequenza treni/giorno	Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

*Tabella 6 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica per i ponti ferroviari.*

## Classe di Attenzione relativa al rischio Frane

Il processo di determinazione della Classe di Attenzione relativa al rischio Frane non presenta notevoli differenze tra le due linee guida. La suscettibilità in entrambi i casi verrà misurata tramite la compilazione della Scheda "**Frane e idraulica**" (**Allegato B**), allegata alle schede di difettosità strutturale. Da premettere che l'Allegato B presenterà al suo interno delle piccole differenze per i ponti stradali e per i ponti ferroviari: infatti, come riportato in **Tabella 7**, per la Vulnerabilità relativa ai ponti ferroviari si tiene in considerazione la tipologia di fenomeno franoso che può essere **Diretto** o **Indiretto**.

Riguardo l'Esposizione, si ripresenta il discorso relativo al traffico già discusso per le altre due Classi di Attenzione.

	Parametri primari	Parametri secondari
Suscettibilità	Stato di attività, Magnitudo, Velocità	Incertezza di modello Misure di mitigazione
Vulnerabilità	Tipologia del ponte e tipologia di fondazioni, fenomeno franoso diretto o indiretto	Estensione dell'interferenza
Esposizione	Numero di passeggeri nell'area di influenza del ponte Frequenza treni/giorno	Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

*Tabella 7 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane per i ponti ferroviari.*

### Classe di Attenzione relativa al Rischio Idraulico

La Classe di Attenzione relativa al rischio Idraulico in entrambi i casi e come per la classe di attenzione relativa al rischio frane, verrà determinata tramite l'uso della Scheda "**Frane e idraulica**" (**Allegato B**), allegata alle schede di difettosità strutturale.

Le differenze sostanziali tra le due linee guida emergono comunque nel calcolo di Vulnerabilità ed Esposizione.

	Parametri primari	Parametri secondari
Pericolosità	Probabilità di accadimento e consistenza evento	Incertezza di modello
Vulnerabilità	Presenza di fenomeni amplificativi o di mitigazione dell'evento naturale	-
Esposizione	Numero di passeggeri nell'area di influenza del ponte Frequenza treni/giorno	Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

*Tabella 8 Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio idraulico per i ponti ferroviari.*



# Capitolo 3

## APROFONDIMENTO SUL RISCHIO FRANE

Il Rischio Frane è di notevole rilevanza nel prosieguo di questo elaborato, e di notevole rilevanza per le linee guida stesse tanto da associare una classe di attenzione a tale rischio; si riferisce alla probabilità che si possa verificare uno spostamento di un determinato volume di terreno che possa mettere a rischio un'opera o chi vi transita.

Come visto al **paragrafo 1.2** in base alla tipologia di elementi costruttivi e di materiale di realizzazione, esistono diverse schede di difettosità poiché molto spesso i fenomeni di degrado sono correlati a difetti di determinati elementi accessori

Durante le ispezioni visive, utilizzando i dati raccolti al Livello 0 e un esame dettagliato dell'area del ponte, tecnici qualificati valutano i fattori principali e secondari per determinare la Classe di Attenzione relativa a possibili frane e/o alluvioni.

Questi fattori sono raccolti nella Scheda "Frane e idraulica" (Allegato B), da compilare e allegare alle schede di difettosità strutturale.

### 3.1 Scheda fenomeni di frana e idraulici

La scheda di ispezione frane e idraulica per ponti è uno strumento necessario e specifico per valutare la stabilità e la sicurezza di un ponte.

La scheda riguardante il rischio frane interessa in particolar modo questo studio in quanto le informazioni ottenute tramite questo documento, saranno cruciali nelle analisi e nelle indagini statistiche delle opere.

Essa è contenuta nell'Allegato B ed è presente sia per i ponti stradali che per i ponti ferroviari.

La scheda di ispezione per fenomeni di frana e idraulici ci fornisce l'identificazione e localizzazione del fenomeno, con la differenza che il documento relativo ai Ponti stradali analizza il contesto geomorfologico, riportando la morfologia, la fisiografia ed il confinamento dell'alveo, mentre per il documento relativo ai Ponti ferroviari le informazioni geomorfologiche sono riportate in un altro documento definito come Allegato A.

Come mostrato dalle **Figure 4 e 5** entrambe le schede di ispezione presentano il tipo di problema e la localizzazione, con la sottile differenza già annunciata in precedenza per la quale il tipo di rischio frana che può essere **Diretto** o **Indiretto**, viene immediatamente presentato nell'allegato relativo ai ponti stradali, ma soltanto a scopo conoscitivo, a differenza dell'allegato relativo ai ponti ferroviari che presenterà il fenomeno nell'approfondimento relativo al rischio Frane, e che successivamente verrà adoperato nella determinazione della Classe di Attenzione per il rischio Frane.

Una **frana diretta** si verifica quando la frana interessa già il volume significativo, ossia quando la superficie di scivolamento di una frana lenta provoca un'interazione effettiva con il ponte, le sue fondazioni o parte di esso.

La **frana indiretta**, invece, come nel caso caduta massi o nelle colate detritiche, non ha davvero interazione con l'opera finché non avviene il fatto. Infatti, l'interazione indiretta implica che l'interazione diventi effettiva solamente qualora si mobiliti il volume di materiale. Questo caso raccoglie tutti i fenomeni rapidi, che non interagiscono con l'opera fintanto che il fenomeno non si innesca davvero.

## Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Fenomeni di frana e fenomeni idraulici



Codice IOP \_\_\_\_\_ Nome Ponte/Viadotto \_\_\_\_\_

Strada di appartenenza: \_\_\_\_\_ Progressiva km iniziale: \_\_\_\_\_ Progressiva km finale: \_\_\_\_\_

Rilevatore \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

**Localizzazione**

Provincia/Regione \_\_\_\_\_

Comune \_\_\_\_\_

Località \_\_\_\_\_

Coordinate CTR (Gauss Boaga) EST \_\_\_\_\_  
NORD \_\_\_\_\_

Scala \_\_\_\_\_

Numero Toponimo \_\_\_\_\_

<b>Coordinate Geografiche</b> <input type="radio"/> ETRF2000 <input checked="" type="radio"/> WGS84	Centro	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Iniziale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Finale	Quota s.l.m. [m]: _____ Longitudine: _____ Latitudine: _____

Ispezioni precedenti Numero \_\_\_\_\_ Data ultima ispezione \_\_\_\_\_ Esito \_\_\_\_\_

RISCHIO FRANA	<input type="radio"/> Assente	<input type="radio"/> Presente	<input type="radio"/> Diretto
RISCHIO IDRAULICO	<input type="radio"/> Assente	<input type="radio"/> Presente	<input type="radio"/> Indiretto

pag. 1

Figura 4 Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

## Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Fenomeni di frana e fenomeni idraulici

Linea di appartenenza: \_\_\_\_\_ Nome Ponte/Viadotto/Sottovia \_\_\_\_\_

Tecnico rilevatore: \_\_\_\_\_ Progressiva km: \_\_\_\_\_

Codice identificativo \_\_\_\_\_ Data ispezione: \_\_\_\_\_

NOTE  
In riferimento al "Codice identificativo" tale campo dovrà essere compilato in modo che lo stesso codice individui univocamente l'opera secondo la classificazione in uso presso il gestore/esercente. Ad esempio nel caso di RFI sarà compilato inserendo la SEDE TECNICA dell'opera.

**Localizzazione**

Provincia/Regione: \_\_\_\_\_

Comune/Località: \_\_\_\_\_

Coordinate CTR \_\_\_\_\_

Scala \_\_\_\_\_

Numero toponimo \_\_\_\_\_

<b>Coordinate Geografiche</b> <input type="radio"/> ETRF2000 <input type="radio"/> WGS84	Iniziale	Longitudine: _____ Latitudine: _____
	Finale	Longitudine: _____ Latitudine: _____

RISCHIO FRANA	<input type="radio"/> Assente	<input type="radio"/> Presente
RISCHIO IDRAULICO	<input type="radio"/> Assente	<input type="radio"/> Presente

Figura 5 Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

Per entrambe le linee guida, la scheda conterrà informazioni necessarie a definire le tre componenti necessarie alla determinazione della Classe di Attenzione relativa al rischio frane: **Suscettibilità, vulnerabilità ed Esposizione.**

Il Rischio frane nell'Allegato B, per ponti stradali:

**Rischio frane**

*Area riconosciuta pericolosa (allegare riferimenti)*

<input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato	<input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto e studiato
<input type="radio"/> Fenomeno modellato e oggetto di monitoraggio	<input type="radio"/> Fenomeno oggetto di opere di mitigazione

*Contesto geologico*

*Formazioni* \_\_\_\_\_

*Unità 1* \_\_\_\_\_

*Unità 2* \_\_\_\_\_

..... \_\_\_\_\_

*Tipologia di fenomeno*

<input type="radio"/> Accertato		<input type="radio"/> Potenziale	
<input type="radio"/> Crollo in roccia	<input type="radio"/> Ribaltamento	<input type="radio"/> Scorrimento rotazionale	<input type="radio"/> Scorrimento traslativo
<input type="radio"/> Colate e valanghe detritiche	<input type="radio"/> Colate viscoso e traslative	<input type="radio"/> Complesso e composito	<input type="radio"/> Fenomeni gravitativi profondi

*Eventuali note:*

*Distribuzione di attività (se definibile dai dati in possesso)*

<input type="radio"/> Costante	<input type="radio"/> Retrogressivo	<input type="radio"/> In allargamento	<input type="radio"/> Avanzante	<input type="radio"/> In diminuzione
<input type="radio"/> Confinato	<input type="radio"/> Multidirezionale			

*Figura 6 Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.*

La scheda parte col descrivere l'area ed il contesto geologico, definendo anche il tipo di fenomeno.

E il rischio frane nell'Allegato B relativo ai ponti ferroviari:

### Rischio frane

*Tipologia di dissesto*

<input type="radio"/> Riconosciuto	<input type="radio"/> Potenziale	<input type="radio"/> Diretto	<input type="radio"/> Indiretto
<input type="radio"/> Crollo in roccia	<input type="radio"/> Ribaltamento	<input type="radio"/> Scorrimento rotazionale	<input type="radio"/> Scorrimento traslativo
<input type="radio"/> Colate e valanghe detritiche	<input type="radio"/> Colate viscoso e traslative	<input type="radio"/> Complesso e composito	<input type="radio"/> Fenomeni gravitativi profondi

Eventuali note: \_\_\_\_\_

**NOTE**

Nel caso di movimenti complessi e compositi, gli stessi andranno ricondotti ad una delle tipologie presenti in tabella, scegliendo quella che può coinvolgere più da vicino direttamente la sede e nelle note argomentare la scelta.

*Figura 7 Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.*

Nel documento relativo alle opere ferroviarie, come detto in precedenza non sono presenti informazioni riguardanti il contesto geomorfologico, presenti invece nella scheda di livello 0, trattandosi di caratteristiche rilevate in censimento e non in ispezione. Invece presente la voce Tipologia di Dissesto Diretto o Indiretto, che verrà adoperato nella determinazione della Classe di Attenzione per il rischio Frane.

Proseguendo con la lettura della scheda per i ponti stradali, si presenterà la sezione relativa ai Parametri PA (o PC), PM e PV:

- il parametro dello stato di attività per le frane riconosciute (PA), o del grado di criticità per le frane potenziali (PC), con un valore determinato tra cinque livelli;

*Dati generali (frane riconosciute / potenziali)*

Quota orlo superiore zona distacco [m]	Quota ponte o viadotto [m]
--	----------------------------

*Parametro dello Stato di Attività per la quantificazione di  $P_A$  (frane riconosciute) - Parametro di grado di criticità  $P_C$  (frane potenziali)*

<input type="radio"/> Frane riconosciute	<input type="radio"/> Frane potenziali						
<input type="radio"/> Attiva <table border="1"> <tr> <td><input type="radio"/> Attivo al momento del rilevamento o con segni di movimento in atto</td> <td><input type="radio"/> Altamente critica</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale</td> <td><input type="radio"/> Critica</td> </tr> <tr> <td><input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile</td> <td><input type="radio"/> Scarsamente critica</td> </tr> </table>	<input type="radio"/> Attivo al momento del rilevamento o con segni di movimento in atto	<input type="radio"/> Altamente critica	<input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale	<input type="radio"/> Critica	<input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile	<input type="radio"/> Scarsamente critica	
<input type="radio"/> Attivo al momento del rilevamento o con segni di movimento in atto	<input type="radio"/> Altamente critica						
<input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale	<input type="radio"/> Critica						
<input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile	<input type="radio"/> Scarsamente critica						
<input type="radio"/> Inattiva - non attivo da diversi cicli stagionali							
<input type="radio"/> Stabilizzata							

Figura 8 Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

- il parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale PV, con un valore determinato tra cinque livelli;
- il parametro della magnitudo, intesa come volume mobilizzabile PM, con un valore determinato tra cinque livelli.

*Parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale  $P_V$*

<input type="radio"/> Estremamente/molto rapida ( $> 3$ m/min)
<input type="radio"/> Rapida (3 m/min - 1,8 m/h)
<input type="radio"/> Moderata (1,8 m/h - 13 m/mese)
<input type="radio"/> Lenta (13 m/mese - 1,6 m/anno)
<input type="radio"/> Estremamente/molto lenta ( $< 1,6$ m/anno)

*Parametro della magnitudo su base volumetrica in metri cubi  $P_M$  (frane riconosciute / potenziali)*

<input type="radio"/> Estremamente/molto grande ( $> 10^6$ )
<input type="radio"/> Grande ( $2,5 \cdot 10^5 - 10^6$ )
<input type="radio"/> Media ( $2,5 \cdot 10^4 - 10^5$ )
<input type="radio"/> Piccola ( $5 \cdot 10^2 - 10^4$ )
<input type="radio"/> Molto piccola ( $< 5 \cdot 10^2$ )

*Estensione interferenza*

<input type="radio"/> Totale	<input type="radio"/> Parziale (spalle o pile)
<input type="radio"/> Zona di approccio	<input type="radio"/> Altro _____

*Affidabilità complessiva della valutazione*

<input type="radio"/> Buona	<input type="radio"/> Limitata
-----------------------------	--------------------------------

Figura 9 Scheda di Ispezione ponti stradali per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

Anche per quanto riguarda la valutazione del rischio frana per i ponti ferroviari verranno determinati i livelli di tali parametri:

Parametro dello Stato di Attività per la quantificazione di  $P_A$  (frane riconosciute) - Parametro di grado di criticità  $P_C$  (frane potenziali)

<input type="radio"/> Frane riconosciute		<input type="radio"/> Frane potenziali
<input type="radio"/> Attiva	<input type="radio"/> Attivo al momento del rilievo o con segni di movimento in atto <input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale <input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile	<input type="radio"/> Altamente critica - evoluzione rapida e alta energia di impatto
<input type="radio"/> Inattiva - non attivo da diversi cicli stagionali		
<input type="radio"/> Stabilizzata		<input type="radio"/> Critica
		<input type="radio"/> Scarsamente critica - evoluzione lenta e a bassa energia di impatto

Figura 10 Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

Parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale  $P_V$

<input type="radio"/> Estremamente/molto rapida (> 3 m/min)
<input type="radio"/> Rapida (3 m/min - 1,8 m/h)
<input type="radio"/> Moderata (1,8 m/h - 13 m/mese)
<input type="radio"/> Lenta (13 m/mese - 1,6 m/anno)
<input type="radio"/> Estremamente/molto lenta (< 1,6 m/anno)

Parametro della magnitudo su base volumetrica in metri cubi  $P_M$  (frane riconosciute / potenziali)

<input type="radio"/> Estremamente/molto grande (> 10 <sup>6</sup> )
<input type="radio"/> Grande (2,5 · 10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup> )
<input type="radio"/> Media (10 <sup>4</sup> - 2,5 · 10 <sup>5</sup> )
<input type="radio"/> Piccola (5 · 10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup> )
<input type="radio"/> Molto piccola (5 · 10 <sup>2</sup> )

Dimensione minima delle pile (D)

<input type="radio"/> D ≤ 1,5 m	<input type="radio"/> D > 4 m
<input type="radio"/> 1,5 m < D ≤ 4 m	

Tipo di interferenza

<input type="radio"/> Diretta: se il movimento franoso comprende in tutto o in parte il volume significativo	<input type="radio"/> Indiretta: se il movimento franoso potrebbe coinvolgere la struttura solo a seguito della sua eventuale mobilitazione
--	---

Note: \_\_\_\_\_

Estensione interferenza

<input type="radio"/> Totale	<input type="radio"/> Parziale (spalle o pile) - Note: _____
<input type="radio"/> Zona di approccio - Note: _____	

Figura 11 Scheda di Ispezione ponti ferroviari per fenomeni di frana e fenomeni idraulici.

In quest'ultima scheda (figura 11) è possibile notare altre differenze tra i due Allegati: infatti, oltre che a differenziare nuovamente la frana in Diretta o Indiretta, la scheda richiede la

definizione di un altro dato utile alla determinazione della Classe di Attenzione quale la Dimensione minima delle pile.

Gli allegati proseguono con l'identificazione del fenomeno relativo al rischio Idraulico.

## 3.2 – Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio Frane

Come visto al **paragrafo 2.3.1** il processo di determinazione della **Classe di Attenzione relativa al rischio Frane**, consiste in un flusso logico che combina Parametri Primari e Secondari, al fine di definire un livello per **Suscettibilità**, **Vulnerabilità** ed **Esposizione**.

Dalla combinazione del livello di questi tre fattori ottenuti si determina la **Classe di Attenzione** relativa al rischio frane.

### 3.2.1 – Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio Frane relativo ai ponti stradali

Al fine di determinare la Classe di Attenzione relativa al rischio frane per i ponti stradali, bisogna definire dei livelli per i parametri di Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione.

Nel caso in cui l'ipotesi di avvenimento di un evento franoso sia nulla non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto non influente per la determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

#### **Suscettibilità**

Il livello di suscettibilità legato al rischio frane dipende dall'ambito geomorfologico (aree di pianure/versanti) in cui il ponte è inserito. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento al Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive al Livello 1.

Nella determinazione del livello di Suscettibilità particolarmente utili risultano le ispezioni visive e la compilazione delle apposite schede di rilievo di Livello 1 tra cui l'Allegato B.

Per la valutazione della suscettibilità da frana sono utilizzati alcuni dei consueti parametri di classificazione e la nomenclatura propria delle "instabilità di versante", quali la magnitudo, la velocità e lo stato di attività, i quali sono poi combinati con parametri secondari legati alle incertezze di modello e alla presenza o meno di misure di mitigazione, secondo lo schema che segue.

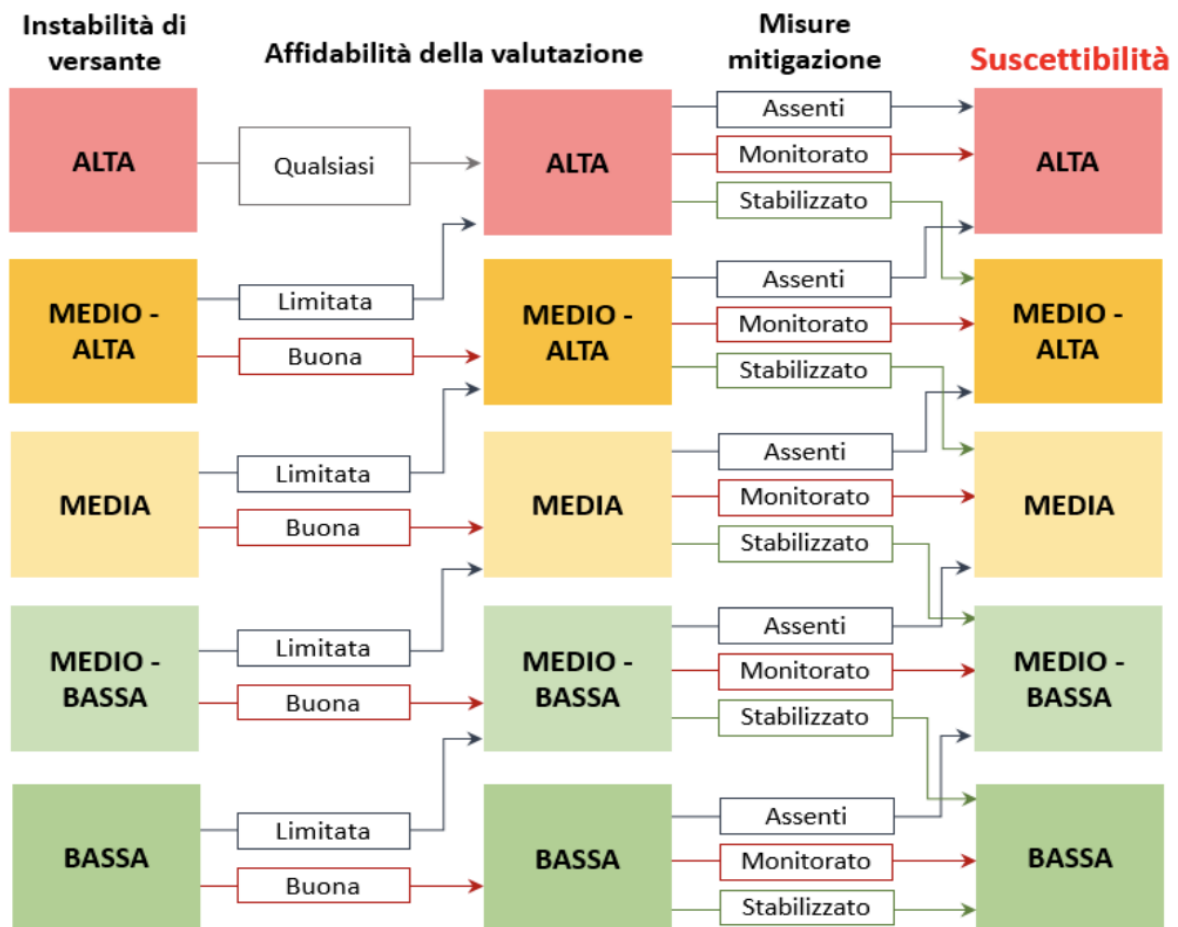


Figura 12 Flusso logico per la determinazione della classe di Suscettibilità per i ponti stradali.

Nel calcolo del livello dell'instabilità di versante bisogna fare riferimento al **paragrafo 3.2** relativo all'Allegato B, e all'introduzione dei Parametri PA (o PC), PV e PM.

A questi vengono attribuiti valori che vanno da 1 a 5 per Stato di Attività e Velocità della frana e da 1 a 15 per la Magnitudo di essa; una volta combinati daranno un valore da 1 a 25 con il quale verrà definito il livello di instabilità del versante

Di seguito un esempio pratico su come viene determinato il livello di instabilità di versante per i ponti stradali:

Stato di attività per le frane riconosciute o di grado di criticità per le frane potenziali

Frana riconosciuta ( $P_A$ )	Attiva al momento del rilievo o con segni di movimento in atto	Inattiva Non attiva da diversi cicli stagionali	Stabilizzata
Frana potenziale ( $P_C$ )	Altamente critica	Critica	Scarsamente critica
$P_A$ o $P_C$	5	3	1

Massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale

	> 3 m/min	3 m/min – 1,8 m/h	1,8 m/h – 13 m/mese	13 m/mese – 1,6 m/anno	< 1,6 m /anno
	Estremamente/molto rapida	Rapida	Moderata	Lenta	Estremamente/molto lenta
$P_V$	5	4	3	2	1

Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi

	> $10^6$	$2,5 \cdot 10^5 - 10^6$	$2,5 \cdot 10^5 - 10^4$	$10^2 - 10^4$	< $5 \cdot 10^2$
	Estremamente/molto grande	Grande	Media	Piccola	Molto piccola
$P_M$	15	12	9	6	3

Tabella 4.17 - Determinazione dell'instabilità di versante in funzione della sommatoria dei valori numerici associati ai parametri influenti

$P = P_A + P_M + P_V$ (frana riconosciuta)	Instabilità di versante
$P = P_C + P_M + P_V$ (frana potenziale)	
20 – 25	ALTA
16 – 19	MEDIO – ALTA
12 – 15	MEDIA
8 – 11	MEDIO – BASSA
5 – 7	BASSA

Tabella 9 Tabella utile alla determinazione dell'instabilità di versante per i ponti stradali.

Una volta determinato il livello di **Instabilità di versante**, verrà combinato con parametri secondari quali Affidabilità della Valutazione e Misure di Mitigazione al fine di determinare la Suscettibilità.

Per **Affidabilità della Valutazione** si intende quanto accurate possano essere le informazioni ricavate dalle ispezioni precedentemente svolte.

Le **Misure di Mitigazione** invece si riferiscono a strategie o strutture adottate per ridurre o attenuare i danni causati da una possibile frana.

### Vulnerabilità

Alla base della determinazione della **vulnerabilità** in caso di rischio frane vi è la classificazione della **tipologia strutturale e di fondazioni**. Questa classificazione viene poi corretta attraverso un parametro legato all'estensione dell'interferenza tra la frana e la struttura o solamente parti di essa, secondo lo schema illustrato nella Figura sottostante.

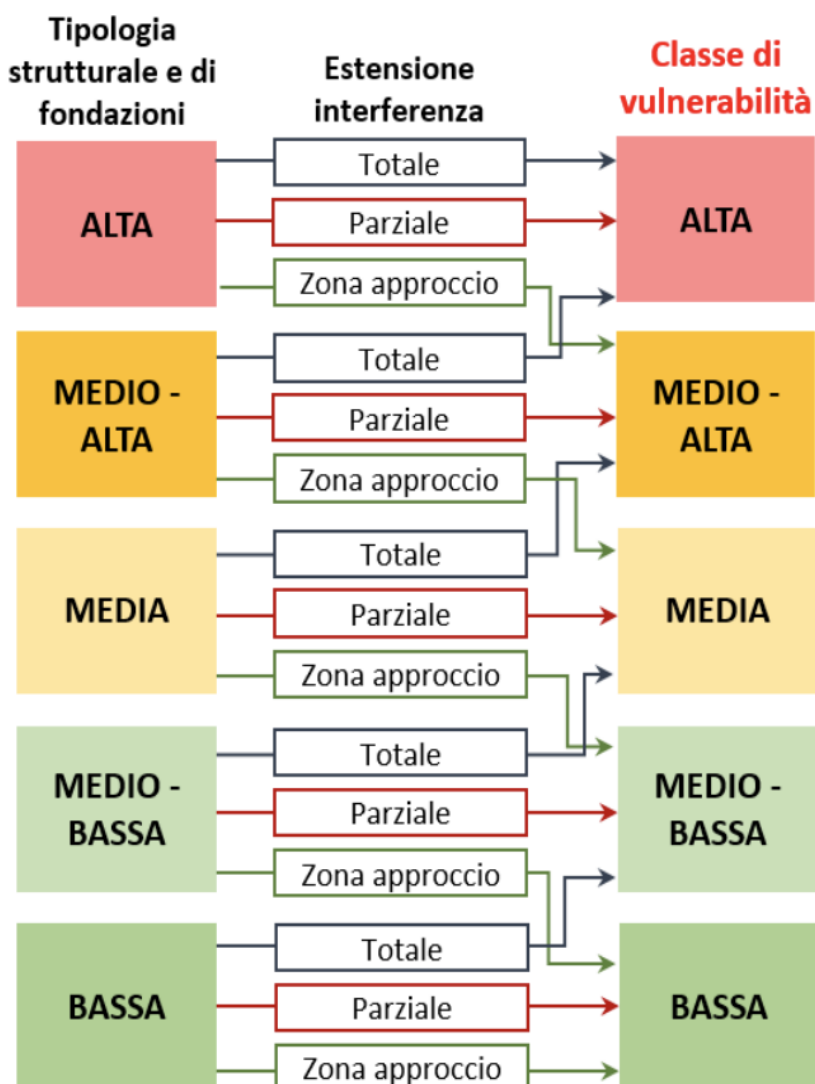


Figura 13 Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità per i ponti stradali.

Nella determinazione della tipologia strutturale e di fondazioni per il calcolo della classe di vulnerabilità, nel caso di **ponti stradali** le tipologie strutturali vengono classificate in base a

- schema statico, luce e materiale distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e luci medio-piccole ed elevate;
- numero di campate, distinguendo ponti a singola campata e ponti multi-campate.

Vengono quindi combinati secondo la Figura sottostante:

		Schema isostatico		Schema iperstatico	
		L medio-piccola	L elevata	L medio-piccola	L elevata
C.A.	Singola campata	Media	Medio-alta	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
C.A.P.	Singola campata	Media	Medio-alta	-	-
	Multi-campata	Medio-alta	Alta	Medio-bassa	Media
Muratura	Singola campata	-	-	Bassa	Medio-bassa
	Multi-campata	-	-	Medio-bassa	Media
Acciaio	Singola campata	Medio-bassa	Medio-bassa	Bassa	Bassa
	Multi-campata	Media	Media	Medio-bassa	Medio-bassa

*Tabella 10 Tabella utile alla determinazione della tipologia strutturale e di fondazioni nel calcolo della classe di vulnerabilità, nel caso di ponti stradali.*

Il Parametro secondario **Estensione Interferenza** nel caso del rischio frane, tiene conto della dipendenza che vi è tra il tipo di spostamento delle masse, e l'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura in esame o parte di essa.

## Esposizione

Nel calcolo dell'Esposizione nel caso di rischio frane per ponti stradali, entrano in gioco diversi fattori quali il **Traffico Medio Giornaliero**, la lunghezza media della **Luce della campata**, la presenza o meno di **Alternative stradali** e la **tipologia di Ente scavalcato**, combinati secondo il flusso logico in Figura:

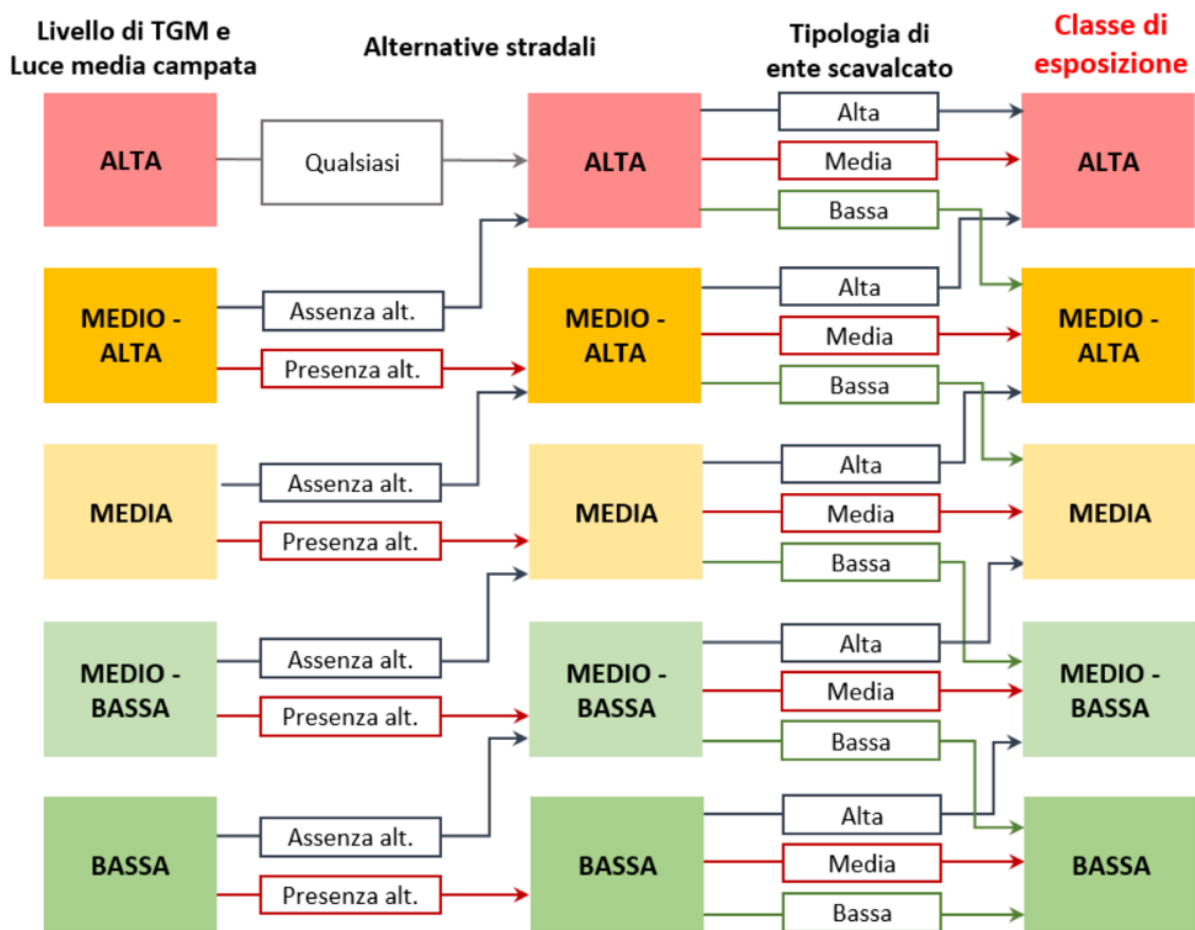


Figura 14 Flusso logico per la determinazione del livello della classe di Esposizione per i ponti stradali.

Il livello di **Traffico Medio Giornaliero (TGM)** viene determinato in base al numero di Veicoli che giornalmente attraversano il ponte in esame, secondo i valori presenti in Tabella 11.

Alta	Media	Bassa
≥ 25000 veicoli/giorno	10000 < veicoli /giorno < 25000	≤ 10000 veicoli/giorno

*Tabella 11 Tabella utile alla determinazione del Traffico Medio Giornaliero nel calcolo della classe di Esposizione, nel caso di ponti stradali.*

La Luce media della campata viene invece combinata con il livello di TGM ottenuto come riportato nella Figura sottostante:

Luce media della campata	Livello di TGM		
	Alta	Media	Bassa
Grande luce	Alta	Medio-Alta	Media
Media luce	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Piccola luce	Media	Medio-Bassa	Bassa

*Tabella 12 Tabella utile alla Combinazione del Traffico Medio Giornaliero e della Luce Media della Campata nel calcolo della classe di Esposizione, nel caso di ponti stradali.*

Combinando i risultati con i parametri secondari relativi alla presenza o meno di **Alternative stradali**, viene determinata la **Classe di Esposizione** provvisoria per il rischio frane, che diventerà definitiva combinando i risultati ottenuti con un altro parametro quale la Tipologia di **Ente Scavalcato** cui livelli variano in base **all'affollamento** e al **valore strategico** dell'ente che l'opera sovrasta.

## STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE FRANE

Note le classi relative a suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione precedentemente descritte, si procede con la determinazione della Classe di Attenzione Frane (CdA) combinando i risultati precedenti nella Figura seguente.

Classe di suscettibilità ALTA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta			Medio-Alta	
	Medio-Alta	Alta		Medio-Alta		
	Media	Alta	Medio-Alta			
	Medio-Bassa	Medio-Alta				Media
	Bassa	Medio-Alta			Media	

Classe di suscettibilità MEDIO-ALTA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Alta	Medio-Alta			
	Medio-Alta	Medio-Alta				Media
	Media	Medio-Alta			Media	
	Medio-Bassa	Medio-Alta		Media		
	Bassa	Medio-Alta	Media			

Classe di suscettibilità MEDIA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Medio-Alta			Media	
	Medio-Alta	Medio-Alta		Media		
	Media	Medio-Alta	Media			
	Medio-Bassa	Media				Medio-Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa	

Classe di suscettibilità MEDIO-BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Medio-Alta	Media			
	Medio-Alta	Media				Medio-Bassa
	Media	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Bassa	Media		Medio-Bassa		
	Bassa	Media	Medio-Bassa			

Classe di suscettibilità BASSA

		Classe di esposizione				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Classe di vulnerabilità	Alta	Media			Medio-Bassa	
	Medio-Alta	Media			Medio-Bassa	
	Media	Media	Medio-Bassa			
	Medio-Bassa	Medio-Bassa				Bassa
	Bassa	Medio-Bassa			Bassa	

Tabella 13 Tabelle utili alla stima della classe di attenzione frane.

### 3.2.2– Calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio Frane relativo ai ponti ferroviari

Come per i Ponti stradali per determinare la Classe di Attenzione relativa al rischio frane per i ponti ferroviari, bisogna prima definire dei livelli per i parametri di Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione.

#### Suscettibilità

Come nel caso dei ponti stradali anche per i ponti ferroviari nello stabilire il livello di Suscettibilità si fa uso dell'**Allegato B** e dei dati raccolti al suo interno.

L'instabilità di versante determinata con lo stesso procedimento utilizzato per i ponti stradali osservato in **Tabella 9** viene poi combinata secondo il flusso logico con i parametri di **Affidabilità della Valutazione** e **Misure di mitigazione** come nella Figura sottostante.

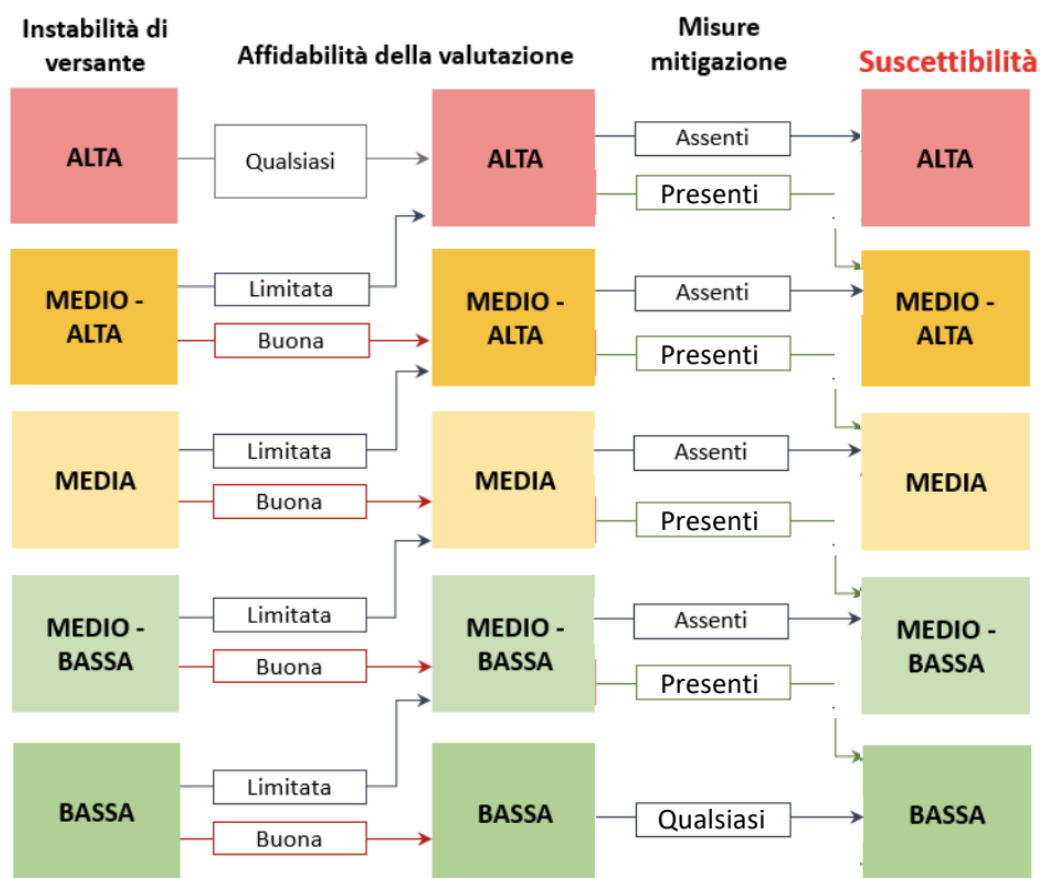


Figura 15 Flusso logico per la determinazione della classe di Suscettibilità per i ponti ferroviari.

Mentre l'**affidabilità della valutazione** in entrambi i casi viene valutata con limitata e buona, le **Misure di mitigazione** che possono essere assenti o presenti, nel caso dei ponti stradali presentano un'ulteriore specificazione.

Rispetto ai ponti stradali, i ponti ferroviari presentano una semplificazione nel parametro secondario relativo alle misure di mitigazione: difatti per i ponti ferroviari le misure di mitigazione saranno assenti o presenti; per i ponti stradali invece il flusso offre tre possibilità tra **Misure di mitigazione assenti**, **Ponte Monitorato** e **Ponte Stabilizzato**.

### **Vulnerabilità**

Come spiegato al paragrafo precedente alla base della determinazione della **vulnerabilità** in caso di rischio frane vi è la classificazione della **tipologia strutturale e di fondazioni**, secondo il Flusso logico in **Figura 13** che resta invariato per entrambe le linee Guida.

Il flusso logico per il calcolo della classe di Vulnerabilità in realtà nasconde delle differenze proprio nella determinazione di tipologia strutturale. infatti, come visto in precedenza nel caso di **ponti stradali** le tipologie strutturali vengono classificate in base a schema statico, luce, materiale e numero di campate.

Nel caso di **ponti ferroviari** occorre invece prima definire il tipo di fenomeno che sarà **diretto o indiretto**, come osservato in **Tabella 7**.

Nel caso di fenomeno **diretto**, le tipologie strutturali sono classificate in funzione di:

- schema statico e fondazione, distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e fondazioni superficiali e profonde;
- numero di campate, distinguendo ponti a singola campata e ponti multi-campata;
- materiale costituente gli elementi verticali (spalla e pila).

N° campate	Fondazione	Materiale	Schema isostatico	Schema iperstatico
1	Superficiale	-	Media	Medio-bassa
	Profonda		Medio-Bassa	Bassa
> 1	Superficiale	Qualsiasi	Alta	Medio-alta
	Profonda	Muratura/ Cls	Medio-alta	Media
		C.A./Acciaio	Media	Medio-bassa

*Tabella 14 Tabella alla Classificazione della tipologia strutturale e di fondazioni per le frane di tipo dirette.*

Nel caso di fenomeni **indiretti**, le tipologie strutturali sono classificate in funzione di:

- numero di campate, distinguendo ponti a singola campata e ponti multi-campate,
- materiale costituente gli elementi verticali (spalla e pila)
- dimensione minima delle pile (D).

Singola Campata		Multi-campata			
Materiale Spalla		Materiale Pila	D > 4.0m	1.5m < D ≤ 4.0m	D ≤ 1.5m
Muratura / Cls	Medio-Bassa	Muratura/Cls	Media	Medio-alta	Alta
C.A.	Bassa	C.A./Acciaio	Medio-Bassa	Media	Alta

*Tabella 15 Tabella utile alla Classificazione della tipologia strutturale e di fondazioni per le frane di tipo indirette.*

## Esposizione

La stima del livello di esposizione legato al rischio frane è il parametro che più si differenzia tra i ponti stradali e ferroviari, a partire dai parametri primari fino ai secondari. Ovviamente una delle differenze che più risalta è l'assenza di parametri relativi al Traffico inteso come numero di vetture, e la presenza invece del parametro di **Numero di Passeggeri nella lunghezza di percorrenza**. Ancora presente il parametro relativo **all'ente scavalcato** ma con flussi diversi. Per ovvi motivi assente il Parametro relativo alle **alternative stradali**.

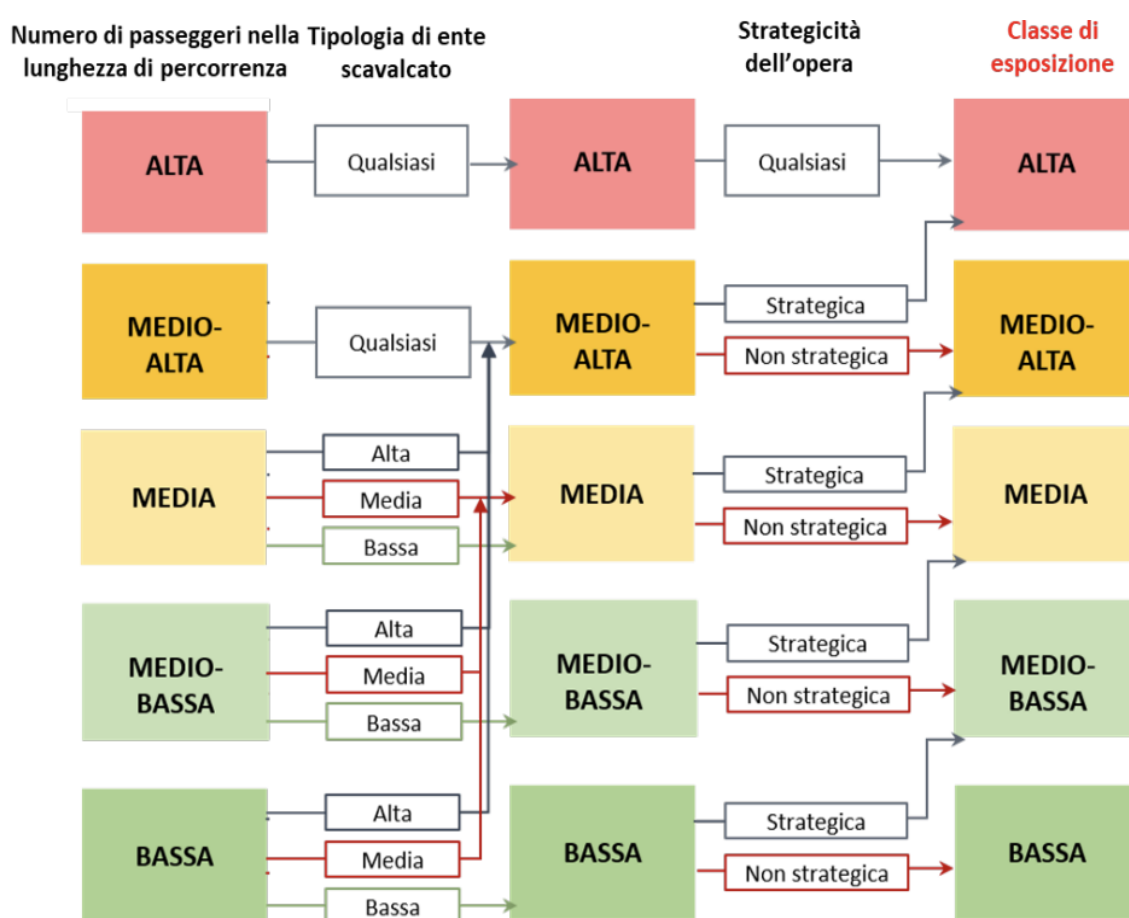


Figura 16 Flusso logico per la determinazione della classe di Esposizione per i ponti ferroviari.

Come detto in precedenza nel caso di ponti **ferroviari** entrano in gioco nuovi parametri da considerare per la valutazione del fattore esposizione e questi sono:

- **parametri primari**: numero medio di passeggeri che si trovano sulla lunghezza di percorrenza e frequenza treni/giorno;

Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
$n_v \geq 10$	$6 < n_v < 10$	$3 < n_v \leq 6$	$0.1 < n_v \leq 3$	$n_v \leq 0.1$

*Tabella 16 Livelli associati al numero medio di passeggeri che si trovano nella lunghezza di percorrenza.*

- **parametri secondari:** tipologia di ente scavalcato e strategicità dell'opera.

### **STIMA DELLA CLASSE DI ATTENZIONE FRANE**

Come per i ponti stradali, una volta note le classi relative a suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione precedentemente descritte, si procede con la determinazione della **classe di attenzione frane (CdA)** combinando i risultati precedenti visti in **Tabella 13**.

# Capitolo 4

## INDAGINE STATISTICA SUL RISCHIO FRANE

Il presente capitolo ha lo scopo di presentare e descrivere, l'indagine statistica svolta in relazione al rischio frane, con particolare osservanza alle classi di attenzione. L'indagine ci permette di valutare il livello di rischio attraverso l'interpretazione di dati e scenari ipotetici mettendo a confronto diverse tipologie di fenomeni franosi.

Per l'attuazione di tale indagine statistica, si è fatto uso del programma **Microsoft Excel**, il quale ha fornito un'applicazione versatile per l'elaborazione e la gestione dei dati. Tramite la trasposizione di formule e tabelle contenenti variabili significative per il fenomeno franoso, è stato possibile determinare le classi di attenzione relative al rischio frane. Questo ha permesso non solo di simulare differenti scenari realistici, ma anche di confrontare i vari risultati ottenuti.

Tale indagine statistica si compone di due pagine Excel, in cui sono state generate casualmente 2000 casistiche sia per ponti stradali che per ponti ferroviari. Sono stati ottenuti valori casuali entro i range a disposizione dei vari parametri primari e secondari di ciascun elemento della valutazione del rischio, cioè suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione. Di seguito, per ciascuna combinazione random è stata poi determinata relativa **Classe di Attenzione relativa al rischio Frane** osservata al **Capitolo 3**. La procedura ha permesso pertanto di stimare le classi di attenzione relative a **Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione**, e di combinarle secondo la **Tabella 13** al fine di determinare la Classe di Attenzione Frane a livello territoriale.

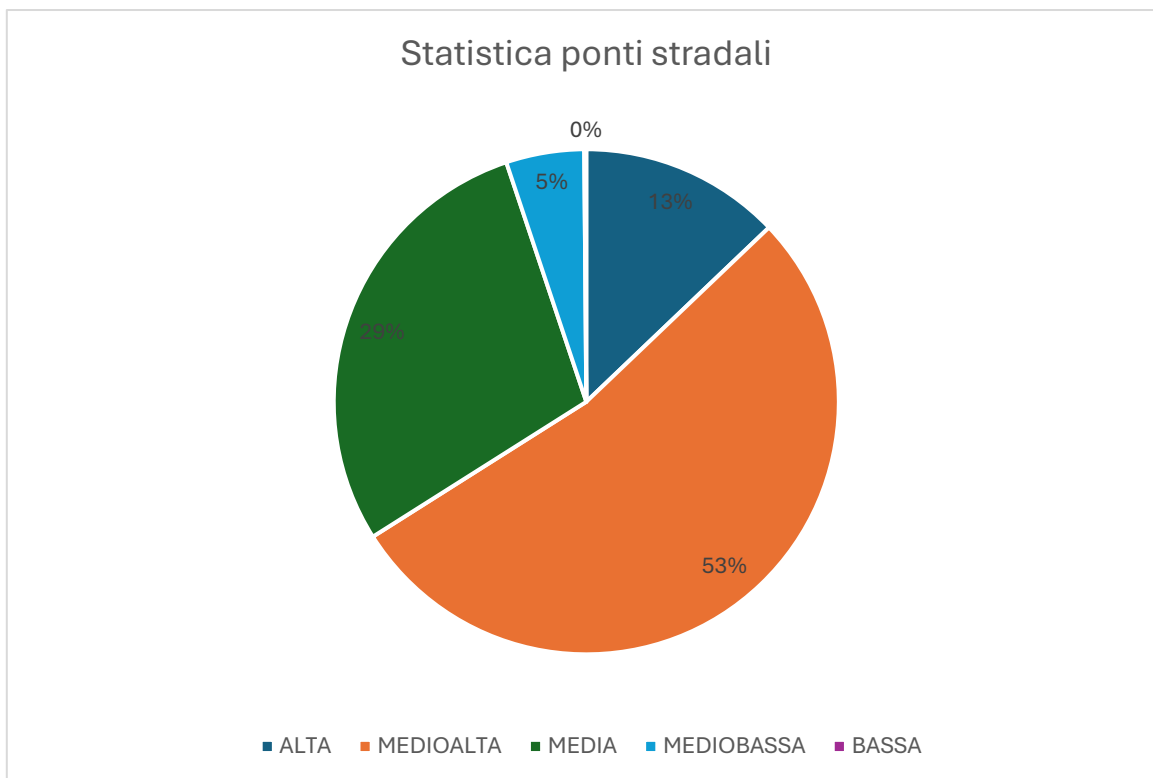
In questo contesto, Excel si è rivelato uno strumento essenziale per l'analisi e la visualizzazione dei dati, consentendo la creazione di grafici e tabelle utili per un confronto immediato dei fenomeni analizzati. Inoltre, la flessibilità nella gestione dei dati ha consentito di esplorare più soluzioni, simulare l'impatto di vari fattori e fornire una visione più ampia dei rischi associati alle frane per ponti stradali e ferroviari.

## 4.1 Statistica sui ponti stradali

La prima indagine statistica effettuata è quella per i ponti stradali, generando valori casuali entro determinati range prettamente stabiliti, è stata determinata la classe di attenzione relativa al rischio frane di circa 2000 campioni, fornendo anche la possibilità di analizzare i contributi singoli dei tre parametri Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione.

### CLASSE DI ATTENZIONE SU CAMPIONE DI 2000 PONTI STRADALI.

<b>CLASSE DI ATTENZIONE</b>	<b>NUMERO CASI</b>	<b>PERCENTUALE</b>
ALTA	296	12,88%
MEDIOALTA	1222	53,15%
MEDIA	663	28,84%
MEDIOBASSA	115	5,00%
BASSA	3	0,13%
<b>SUSCETTIBILITA'</b>		
ALTA	832	36,19%
MEDIOALTA	707	30,75%
MEDIA	452	19,66%
MEDIOBASSA	245	10,66%
BASSA	63	2,74%
<b>VULNERABILITA'</b>		
ALTA	215	9,35%
MEDIOALTA	391	17,01%
MEDIA	546	23,75%
MEDIOBASSA	589	25,62%
BASSA	464	20,18%
<b>ESPOSIZIONE</b>		
ALTA	855	37,19%
MEDIOALTA	585	25,45%
MEDIA	465	20,23%
MEDIOBASSA	289	12,57%
BASSA	105	4,57%



*Figura 17 Grafico a torta sull'indagine statistica attuata per i Ponti stradali.*

Come evidenziato dai dati ottenuti, la distribuzione delle Classi di Rischio frane non risulta né uniforme nei diversi intervalli, né mostra un andamento statisticamente interpretabile, come ad esempio a forma di gaussiana. Infatti, le Classi di Attenzione aventi un livello **BASSA** o **MEDIO-BASSA** si presentano in numero estremamente limitato con **118 casi su 2000** e con una percentuale inferiore del **6%** che si riduce ulteriormente allo **0,13%** prendendo soltanto i casi aventi una Classe di Attenzione Bassa.

Dal grafico, inoltre, si apprende invece l'elevata distribuzione delle Classi di Attenzione **MEDIA e MEDIO-ALTA** con quest'ultima che raggiunge da sola addirittura il **55%** del totale con **1222 casi su 2000**.

Anche i dati ottenuti per la Classe di Attenzione **ALTA** sono rilevanti, sicuramente inferiori a quelli delle classi medie ma comunque superiori ai dati relativi alla classe **BASSA** e **MEDIO-BASSA**.

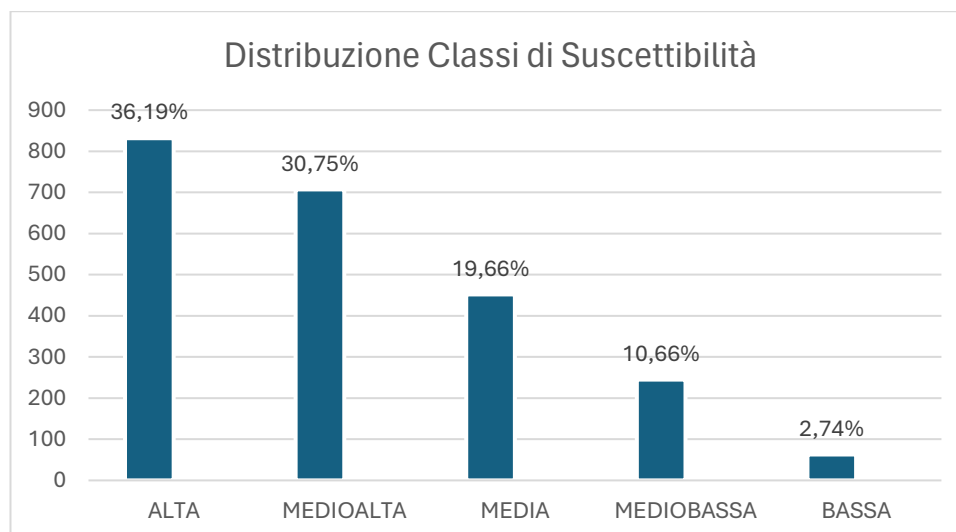
Pertanto, non soltanto la distribuzione delle classi non risulta equilibrata ma la classe di attenzione relativa da frane **BASSA** è pressoché assente, risultando pertanto più un modo di attribuire una classe di attenzione da assente che effettivamente una classe bassa. La

normativa, quindi, formalmente dispone di cinque classi, ma in realtà la classe **BASSA** risulta utile solo a identificare assenza di pericolosità da frana, e non davvero una suscettibilità di ridotta entità. Considerando anche la ridotta presenza della classe **MEDIO-BASSA**, la classifica reale rischia di presentare addirittura 3 classi e non 5, con la classe medio alta che contiene oltre metà delle opere. Inoltre, se a questo si aggiunge che le valutazioni reali degli ispettori rischiano potenzialmente di risultare leggermente sovrastimate a vantaggio della sicurezza, questo spingerebbe ulteriormente verso l'alto il valore finale, con la perdita del senso dell'approccio multilivello. Se infatti tutti i ponti finissero in classe di attenzione **ALTA**, non si coglierebbe più la priorità di intervento. Oltre al fatto che il numero di ponti che va in classe alta implica molto probabilmente l'esecuzione quanto meno delle ispezioni speciali, ma potenzialmente anche del **Livello 4**, che è costoso e oneroso. Se troppe opere vanno a **livello 4**, le operazioni di valutazione accurata diventano non sostenibili. Ovviamente la Classe di Attenzione calcolata è il risultato della combinazione dei tre parametri che sono **Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione** e pertanto la distribuzione non uniforme delle Classi ottenute sarà da attribuire ai risultati ottenuti per i livelli delle classi di attenzione ottenute per i parametri stessi.

## Suscettibilità:

La distribuzione delle classi di **Suscettibilità** risulta progressiva con l'aumentare del grado di attenzione delle classi stesse. Questa distribuzione di valori randomici presuppone che l'approccio normativo sia tarato in modo da ottenere statisticamente valori di Suscettibilità elevati. Questi standard così detti "Severi" fanno sì che oltre alla **Suscettibilità** anche la **Classe di attenzione a livello territoriale** risulti avere un numero di casi di **CdA ALTA (296)** molto superiore ai casi di **CdA BASSA (3)**.

Appare evidente come ci sia una tendenza ai valori elevati di suscettibilità, con suscettibilità ALTA e MEDIO-ALTA che, analogamente a quanto osservato per la CdA frane, raccolgono più del 50% del campione randomico.

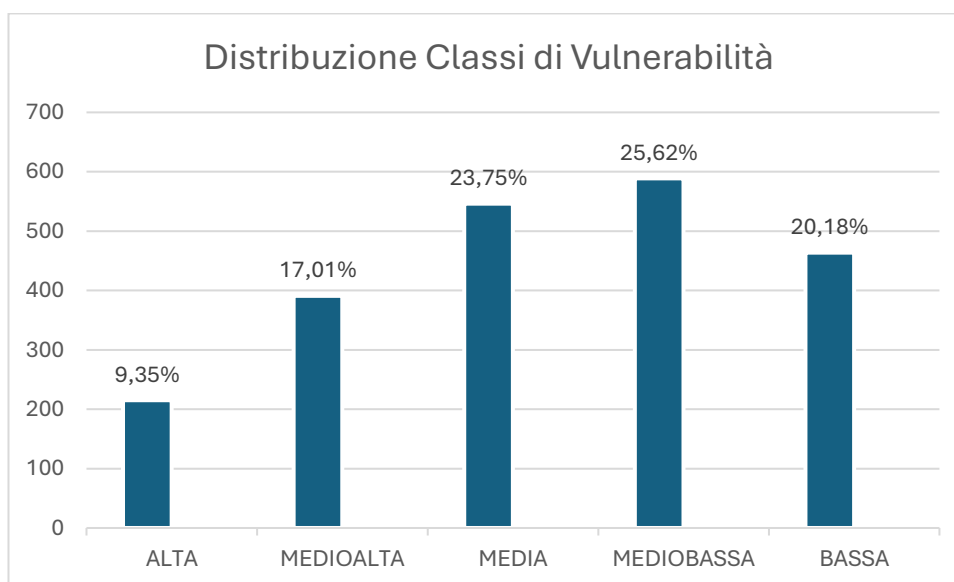


*Figura 18 Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Suscettibilità sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.*

## Vulnerabilità:

In contrapposizione alla distribuzione delle classi di **Suscettibilità**, la Distribuzione delle classi di **Vulnerabilità** appare quasi inversa. Dal **paragrafo 3.4** si è appreso come alla base della determinazione della **vulnerabilità** in caso di rischio frane vi sia la classificazione della **tipologia strutturale e di fondazioni** combinata con il parametro secondario relativo all' **Estensione dell'Interferenza**.

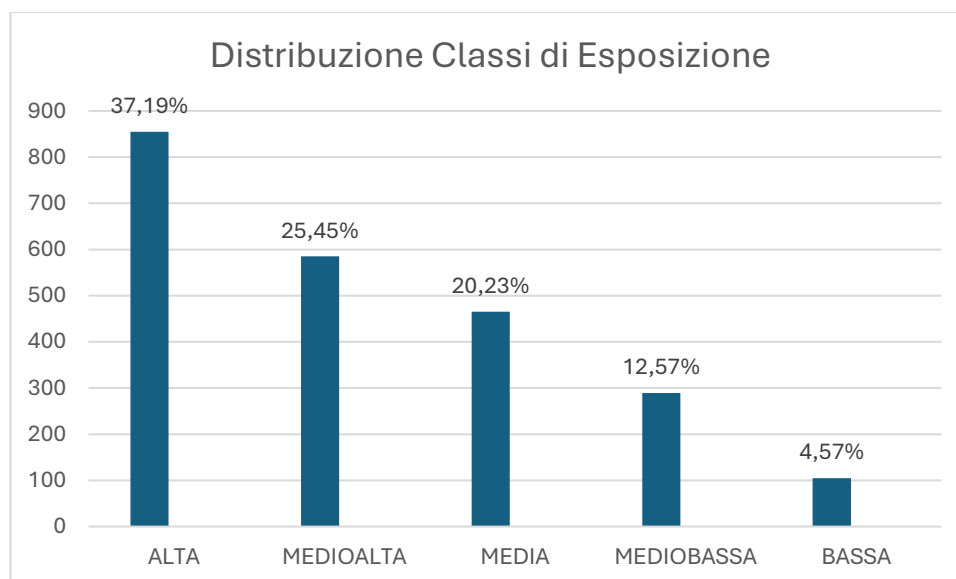
Il parametro relativo alla **tipologia strutturale e di fondazioni** si basa su calcoli ed osservazioni fatti in fase di progettazione e realizzazione dell'opera stessa. A differenza dei parametri relativi alla **Suscettibilità** che fanno maggior riferimento alla geologia circostante. In questo caso la distribuzione appare maggiormente equilibrata, con maggiore casistica nelle classi centrali, e minore nella classe **ALTA**.



*Figura 19 Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Vulnerabilità sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.*

## Esposizione:

La distribuzione delle **Classi di Esposizione**, come nel caso della **Suscettibilità** segna un taglio netto tra il numero di Classi Alte e Basse. Il fatto che vi sia questa distribuzione ripresenta il problema di una non corretta ed efficace modalità di valutazione del reale livello delle classi di attenzione relative all'**Esposizione**. Tramite il **paragrafo 3.4** è possibile vedere come il parametro primario di **Traffico Medio Giornaliero (TGM)** venga combinato con Parametri secondari quali **Alternative stradali** e **Tipologia Ente Scavalcato** che tendono ancor di più a far innalzare il livello di **Classe di Esposizione**.



*Figura 20 Istogramma, utile alla lettura della distribuzione del numero delle Classi di Esposizione sul totale di 2000 casi, ottenuto nell'indagine statistica.*

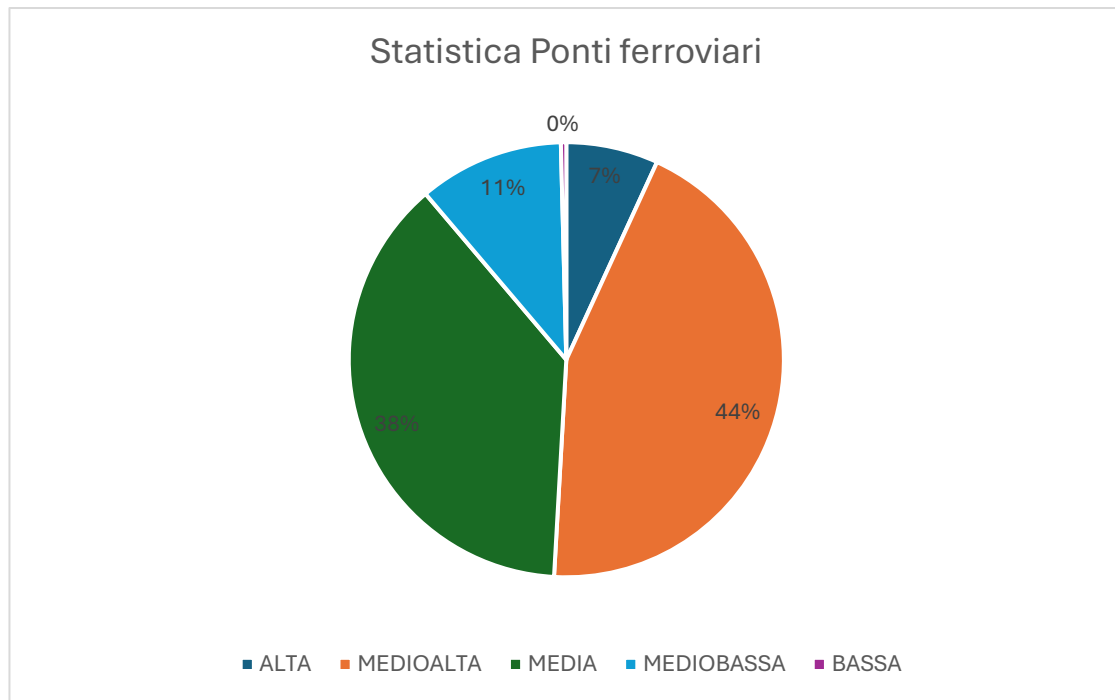
Dall' indagine statistica svolta per determinare la Classe di Attenzione territoriale di 2000 campioni di Ponti stradali sono apparse delle evidenze riguardo i parametri utilizzati a riguardo. Come è possibile notare dalle **figure 18, 19 e 20**; La distribuzione delle classi di attenzione relativa a ciascun parametro non risulta uniforme. Mentre la **Suscettibilità** tende come a "**Sovrastimare**" il rischio relativo alle frane con casi di Cda Alta elevati; La **Vulnerabilità** invece inverte la tendenza mostrando una distribuzione a campana di Gauss, distribuzione inaspettata poiché la Vulnerabilità poiché riferita a problemi strutturali e fondazionali del ponte, in un Paese dove purtroppo migliaia di ponti vengono definiti ad "**alto rischio strutturale**".

L'**Esposizione** che come visto in precedenza, e come per la Suscettibilità presenta un numero di Classi **ALTE** molto elevato a discapito delle classi **BASSE**, risulta avere standard molto severi in materia di salvaguardia del traffico e di conseguenza della vita umana. Il Parametro relativo all'esposizione se combinato alla Vulnerabilità in merito ai risultati ottenuti rischierebbe di collocare ad una fascia più **BASSA** un ponte con elevati problemi strutturali e un traffico ridotto, a discapito di un ponte senza problemi strutturali ma con un traffico elevatissimo. In un sistema ove il livello di **Classe di attenzione a livello territoriale** determina la priorità riguardo ispezioni ed interventi.

## 4.2 Statistica sui ponti ferroviari

L'indagine statistica attuata nel paragrafo precedente per i ponti stradali viene riproposta per i Ponti ferroviari, generando dei valori casuali entro determinati range prettamente stabiliti, nuovamente per 2000 campioni.

<b>CLASSE DI ATTENZIONE</b>	<b>NUMERO CASI SU TOT.2000</b>	<b>PERCENTUALE</b>
ALTA	137	6,85%
MEDIOALTA	881	44,05%
MEDIA	758	37,90%
MEDIOBASSA	216	10,80%
BASSA	8	0,40%
<b>SUSCETTIBILITA'</b>		
ALTA	329	16,45%
MEDIOALTA	618	30,90%
MEDIA	474	23,70%
MEDIOBASSA	384	19,20%
BASSA	195	9,75%
<b>VULNERABILITA'</b>		
ALTA	137	6,85%
MEDIOALTA	553	27,65%
MEDIA	475	23,75%
MEDIOBASSA	371	18,55%
BASSA	464	23,20%
<b>ESPOSIZIONE</b>		
ALTA	806	40,30%
MEDIOALTA	637	31,85%
MEDIA	342	17,10%
MEDIOBASSA	138	6,90%
BASSA	77	3,85%



*Figura 21 Grafico a torta sull'indagine statistica attuata per i Ponti ferroviari.*

#### CLASSE DI ATTENZIONE SU CAMPIONE DI 2000 PONTI FERROVIARI.

La distribuzione delle Classi di Attenzione relative al rischio frane per i ponti ferroviari come per il caso precedente non risulta uniforme.

Anche in questo caso le classi di attenzione aventi un livello **BASSA** o **MEDIO-BASSA** si presentano in numero limitato con **224 casi su 2000** e con una percentuale che si attesta **al 10,80%** per la classe di attenzione **MEDIO-BASSA** e **0,40%** per la classe di attenzione **BASSA**, numeri esigui ma pur sempre in rialzo rispetto l'analisi precedente.

Come per i ponti stradali sono le classi di attenzione di livello **MEDIA** e **MEDIO-ALTA** quelle più presenti con addirittura **1639 casi su 2000**.

Tuttavia, i dati relativi alla **Classe di Attenzione ALTA** che risulta in questo caso inferiore persino ai dati relativi alla classe **MEDIO-BASSA** con **137** casi e un **6,85%**.

Analizzando i parametri relativi a **Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione** si nota come per i ponti stradali una distribuzione distribuita in modo poco efficace delle classi di

attenzione; tuttavia, si notano variazioni importanti relative ai parametri di **Suscettibilità** e **Vulnerabilità**.

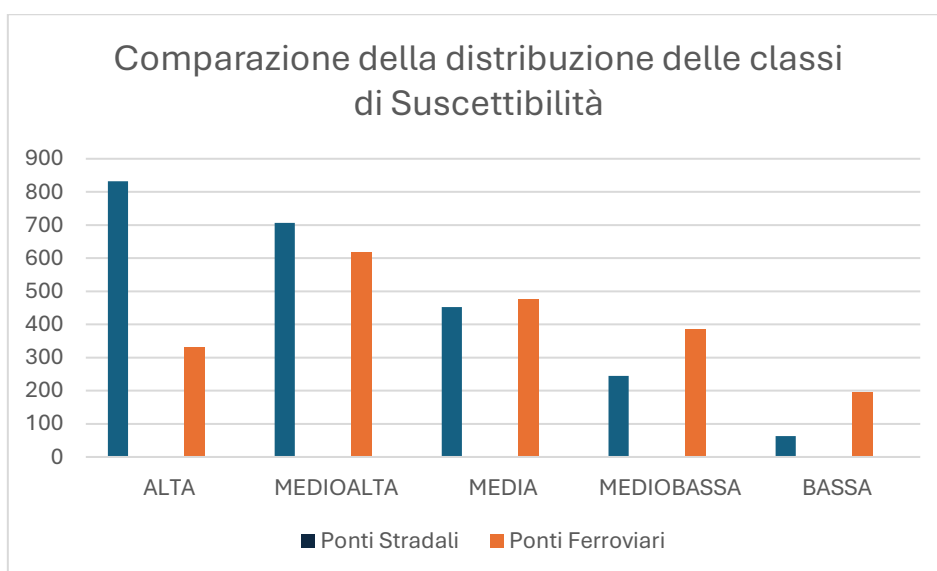
In Quanto la determinazione della classe di **Suscettibilità** risulta meno severa e la determinazione della classe di **Vulnerabilità** al contempo più accurata seppur con un minor livello di **Classi ALTE**.

L'**Esposizione** continua a presentare un numero di Classi **ALTE** molto elevato, che nel computo finale pesa parecchio.

## 4.3 – Differenze tra le due indagini statistiche

Osservando i risultati delle due indagini, si notano delle leggere differenze in termini di percentuali tra le varie **Classi di Attenzione** a livello territoriale. La distribuzione delle Classe di Attenzione relative ai ponti ferroviari appare più omogenea rispetto a quella relativa ai ponti stradali. In particolare, la Classe di Attenzione **ALTA** dei ponti ferroviari risulta presente meno della metà del numero di volte di quella relativa ai ponti stradali.

Essendo a conoscenza del fatto che la Classe di Attenzione è il risultato della combinazione dei tre parametri che sono **Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione**, è possibile mettere a confronto i risultati ottenuti per entrambe le indagini statistiche in merito a tali parametri.



*Figura 22 Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Suscettibilità dei ponti stradali e ferroviari.*

Dalla **Figura 22** immediatamente salta all'occhio la differenza che vi è in termini di percentuale per la **SUSCETTIBILITA'**, infatti per i ponti stradali il livello di **CdA ALTA** risulta maggiore del **36%**, superiore rispetto alle altre classi; per i ponti ferroviari invece la percentuale cala fino al **16%**, con la presenza elevata invece della classe **MEDIO-ALTA** al **30%**. Va detto che la distribuzione delle linee guida per ponti ferroviari appare più bilanciata, con numerosità maggiori nelle classi centrali, e minori in quelle estreme.

Il perché di tale risultato può essere analizzato al **paragrafo 3.4** osservando le tabelle relative al calcolo della suscettibilità stessa.

Alla **Figura 12** qui riproposta, è possibile osservare il flusso logico relativo alla determinazione della Suscettibilità per i ponti stradali. In questo caso le Misure di Mitigazione possono essere Assenti, il ponte può essere Monitorato o Stabilizzato, è qualora le misure di mitigazione risultino Assenti il livello della Classe di attenzione aumenta di un grado.

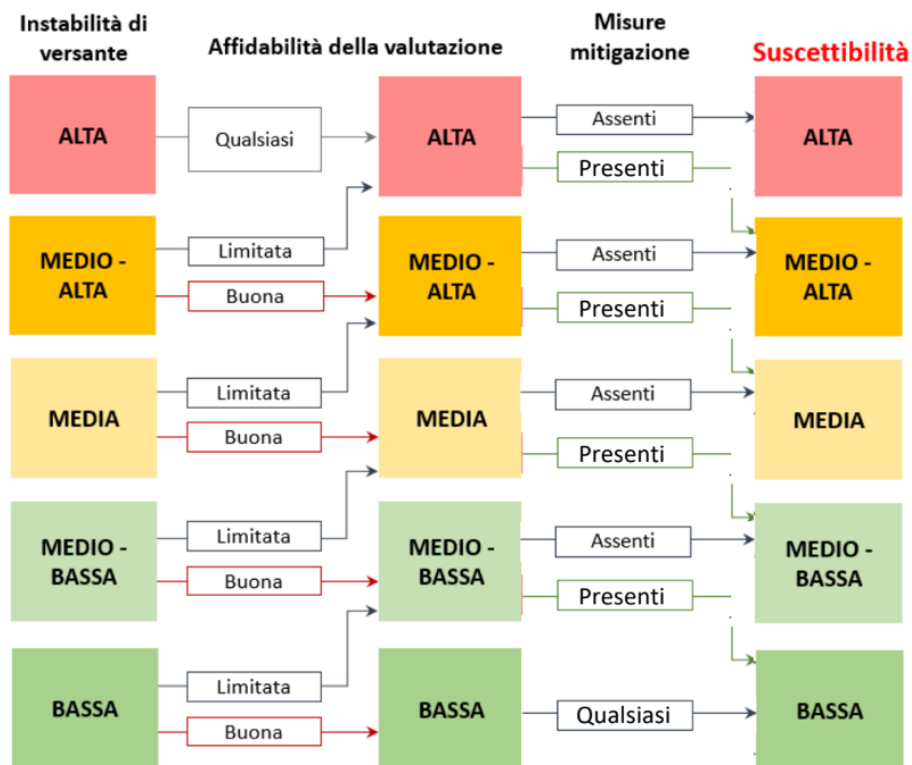


Figura 12.

Alla **Figura 15** qui riproposta è rappresentato invece il Flusso logico che porta alla determinazione della Classe di Attenzione della Suscettibilità per i ponti ferroviari. In questo caso le Misure di Mitigazione possono essere Assenti o Presenti, con la grande differenza che, qualora le misure di mitigazione siano Assenti, il livello della Classe di Attenzione resta invariato.

Nelle linee guida per ponti ferroviari, pertanto, il parametro instabilità di versante può crescere di due classi in virtù dell'affidabilità della valutazione e della eventuale presenza o assenza di opere di mitigazione. Le linee guida per ponti ferroviari, invece, mitiga questo passaggio, provocando nella peggiore delle condizioni un solo incremento di classe dall'instabilità di versante alla suscettibilità, riducendo così questa spinta verso le classi alte evidenziata nelle linee guida stradali.

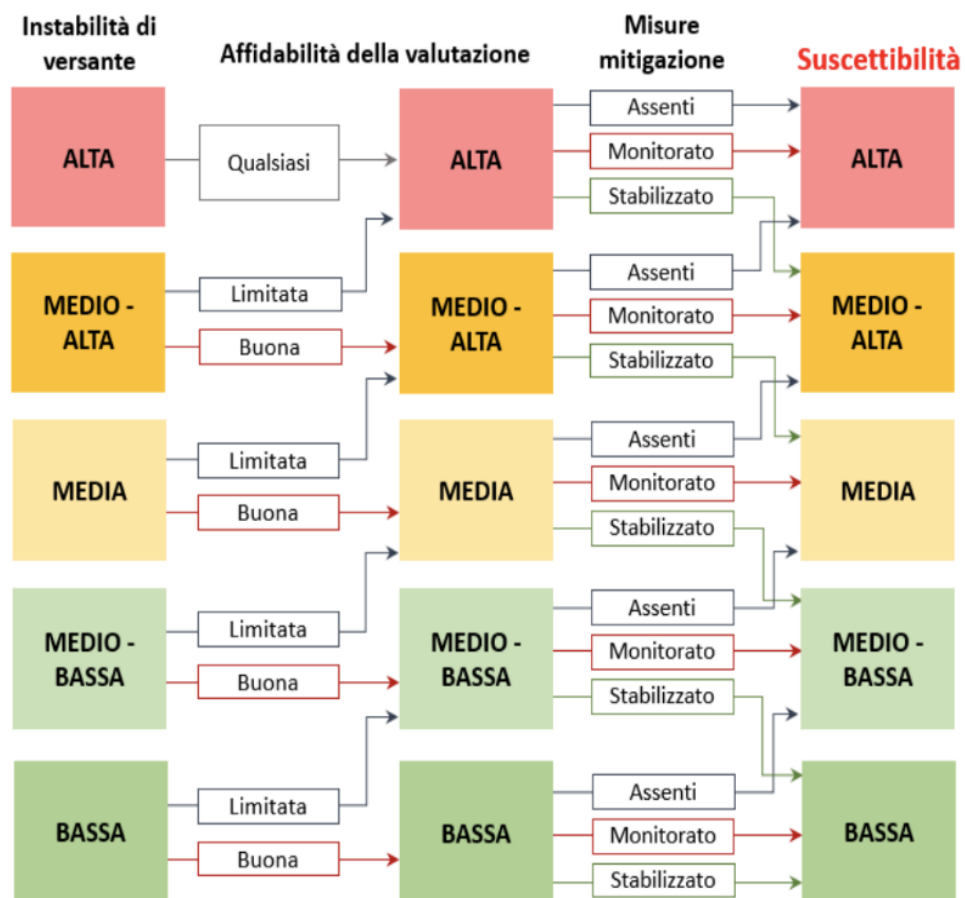
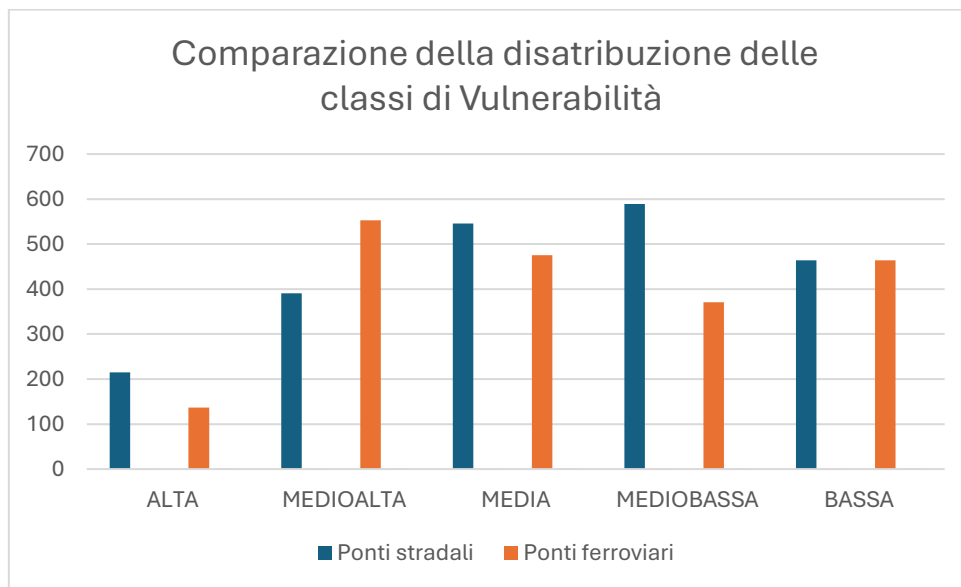


Figura 15.

La differenza tra i due Flussi logici, seppur minima tende a far scendere in percentuale il livello medio della classe di Attenzione relativa ai ponti ferroviari.

Anche nella statistica relativa al calcolo dei livelli della Classe di Attenzione della **Vulnerabilità** è possibile notare delle differenze nella distribuzione tra le due indagini, come mostrato nella figura sottostante.



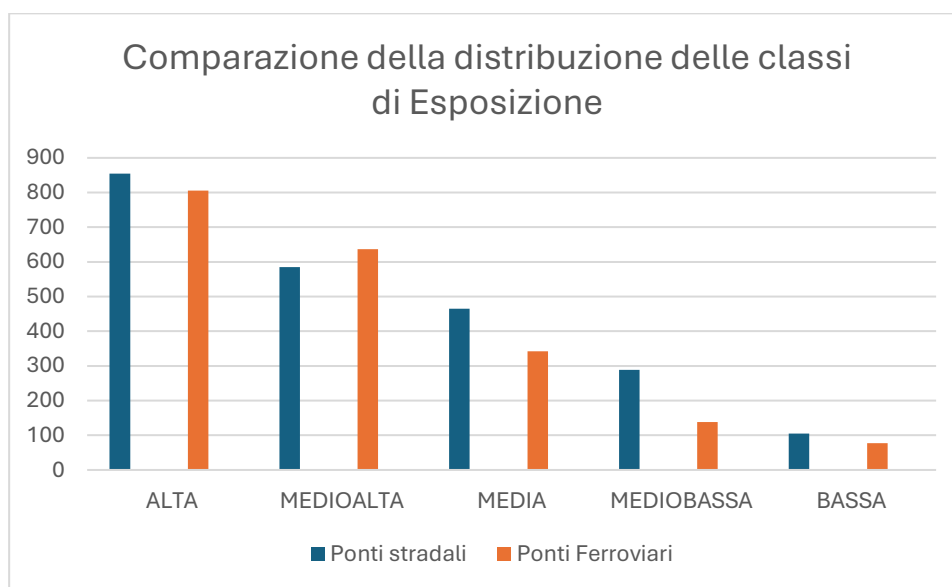
*Figura 23 Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Vulnerabilità dei ponti stradali e ferroviari.*

Come mostrato al **paragrafo 3.4**, anche nella determinazione delle classi di Vulnerabilità le due Linee Guida si differenziano, con la Linea Guida relativa ai ponti ferroviari che divide il fenomeno frane di tipo Diretto ed Indiretto.

Le **linee guida relative ai ponti ferroviari** essendo uscite successivamente a quelle **relative ai ponti stradali**, sembrano voler **migliorare** le criticità mostrate da quest'ultime. Infatti, dalle analisi statistiche ottenute si percepisce un maggior equilibrio nella determinazione delle classi di **Suscettibilità**, al contempo un adeguata attenzione alla **Vulnerabilità** del ponte. Va comunque sottolineato che le linee guida per i ponti stradali rappresentano un unicum anche a livello internazionale. Non esistono normative uniche di valutazione del rischio per ponti e viadotti che includano allo stesso tempo le problematiche strutturali, sismiche, idrauliche e geotecniche. Necessariamente, la normativa presenta

alcune criticità tipiche delle prime stesure di norme e regole. Le linee guida ferroviarie nascono a valle di qualche anno di esperienza di applicazione di quelle stradali e, fortunatamente, propongono un approccio simile ma migliorato laddove possibile.

Quasi invariata invece appare infine la distribuzione delle classi di attenzione relative all'**Esposizione**, come mostrato nella figura sottostante.



*Figura 24 Istogramma, utile al confronto della distribuzione del numero delle Classi di Esposizione dei ponti stradali e ferroviari.*

# Capitolo 5

## INDAGINE STATISTICA SU CASI STUDIO

Continuando lo sviluppo di tale indagine statistica su Microsoft Excel, sono stati selezionati e bloccati alcuni dei valori che in prima fase erano ottenuti casualmente. La selezione dei valori da mantenere costanti ambisce e permette di ricreare scenari particolari, utilizzati come casi studio.

In particolare, i casi studio analizzati in quest'ultima parte dell'elaborato riguardano opere sia ferroviarie che stradali soggette al rischio frane e la stima della loro classe di attenzione frane. I casi studio sottostanti presentano, tre scenari in cui si ha il confronto dei risultati ottenuti nel caso di ponti stradali e ponti ferroviari; successivamente viene esaminato un ulteriore approfondimento che riguarda singolarmente l'una o l'altra categoria.

1. Ponte interagente con un movimento gravitativo lento e profondo di versante: frana di dimensioni elevate caratterizzata da velocità molto ridotte.
2. Ponte interagente con un movimento gravitativo veloce di versante, di dimensioni contenute: frana di dimensioni ridotte caratterizzata da velocità molto elevate.
3. Studio dell'effetto di assenza o presenza di misure di mitigazione nella determinazione della classe di rischio frane di ponti ferroviari e stradali.
4. Confronto di risultati ottenuti relativi alla classe di attenzione frane per ponte ferroviario soggetto a frana di tipo diretto o indiretto.
5. Confronto di risultati ottenuti relativi alla classe di attenzione frane per ponte stradale avente Traffico Giornaliero Medio elevato o ridotto.

## 5.1 Ponte soggetto a frana grande e lenta

Per riprodurre tale caso sono stati modificati i parametri relativi della **Suscettibilità** nei ponti stradali e, successivamente, nei ponti ferroviari. Il Volume della magnitudo relativo alla frana è stato fissato a 15 (valore massimo) per simulare il cedimento di un intero versante, al contempo la velocità della frana è stata posta variabile tra il valore 1 e 2 su un valore massimo di 5. L'obiettivo è appunto quello di simulare uno scorrimento del versante di un volume molto significativo di terreno che subisca annualmente uno spostamento di pochi metri o addirittura centimetri, interagente con un viadotto stradale e ferroviario.

### Ponti stradali

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	423	18,40%
MEDIOALTA	1528	66,46%
MEDIA	332	14,44%
MEDIOBASSA	16	0,70%
BASSA	0	0,00%

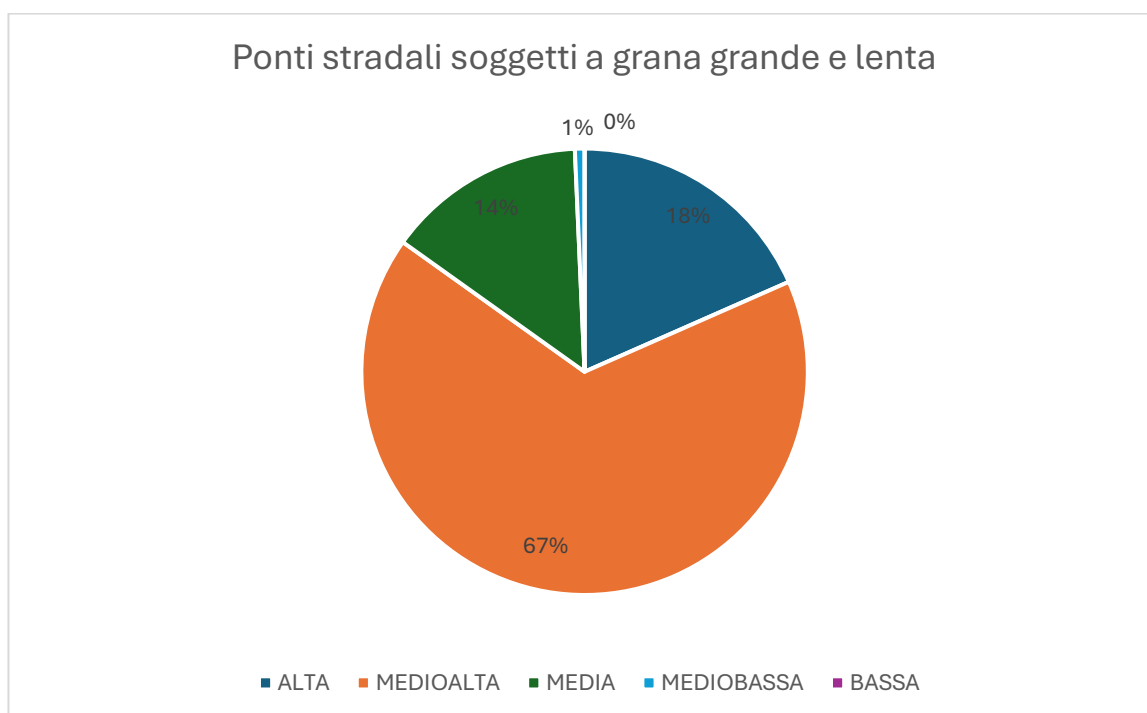


Figura 25 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, per frana grande e lenta.

## Ponti ferroviari

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	307	15,35%
MEDIOALTA	1324	66,20%
MEDIA	363	18,15%
MEDIOBASSA	6	0,30%
BASSA	0	0,00%

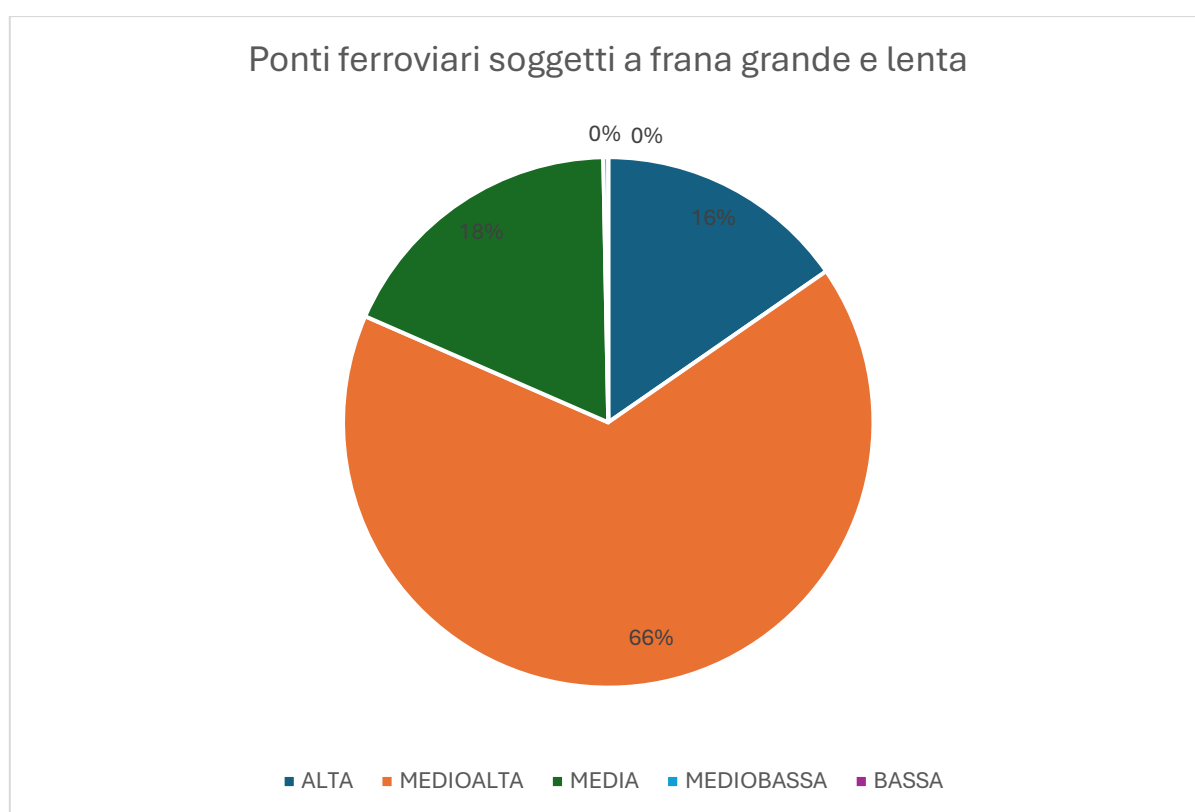


Figura 26 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana grande e lenta.

Sia per ponti stradali che per ponti ferroviari nel caso di una grande frana, seppur di velocità ridotta, si nota una percentuale di CdA **ALTA** in rialzo rispetto le indagini preliminari, quindi in crescita rispetto il 7% della prima analisi statistica, a sottolineare il rilevante impatto del volume nel calcolo della suscettibilità. Scompaiono completamente le classi BASSA e MEDIO-BASSA. In generale le due torte non sembrano cambiare di molto, a parte che per la classe di attenzione ALTA e MEDIO-ALTA che diminuiscono leggermente a vantaggio

della Classe di attenzione MEDIA. Questo porta a pensare che la normativa relativa ai ponti ferroviari riesca un minimo a distinguere i casi realmente gravi, almeno da un punto di vista statistico.

## CASO REALE DI FRANA GRANDE E LENTA

Un Esempio di Frana Grande e Lenta è la frana di Ripoli.

Ripoli è una frazione situata nel comune di Volterra, in provincia di Pisa. L'attivazione della frana risale all'anno 2010 a causa dei lavori per lo scavo della galleria Val di Sambro; è uno dei più recenti episodi di dissesto idrogeologico in Toscana, una regione che, per la sua conformazione geologica e per le caratteristiche del suolo, è particolarmente vulnerabile a fenomeni di frana e smottamenti.

I lavori per lo scavo iniziarono tra maggio e ottobre 2008, mentre i residenti di Ripoli Santa Maria Maddalena cominciarono a lamentare danni nell'autunno 2010, da quel momento in poi iniziò per i residenti un calvario lungo quasi 14 anni. Sono stati effettuati sin da subito analisi e monitoraggi su tutta l'area con conseguente stop temporaneo dei lavori.

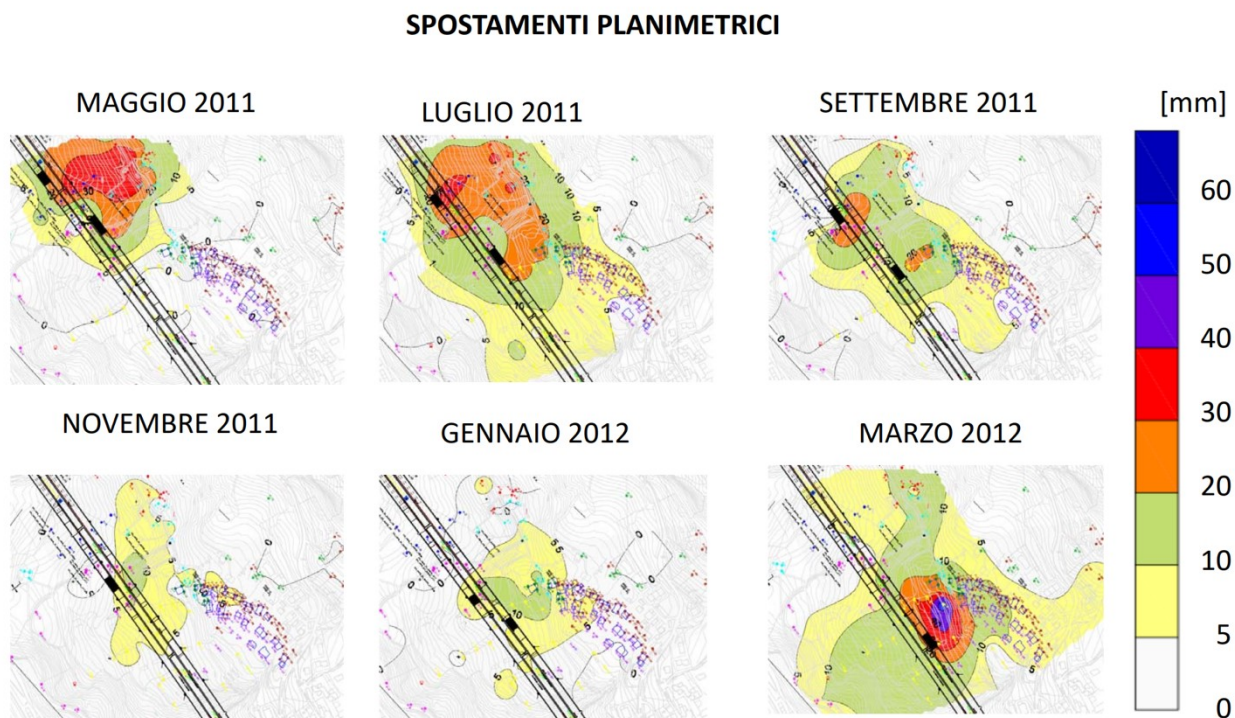


Figura 27 Spostamenti Planimetrici, misurati lungo la frana di Ripoli tra il 2011 e il 2012.

Gli spostamenti annuali risultarono comunque al di sotto del metro, ma il volume della frana fece comunque scattare dei campanelli di allarme.

Nel 2012 è chiaro che la frana non è più un pericolo per il valico ma per l'Autostrada A1 stessa, infatti, la frana arrivò ai piloni dell'Autostrada del sole, che da Firenze porta al capoluogo emiliano. Lo spostamento di almeno uno dei giganteschi pilastri che reggono il viadotto Piazza, registrato dalla fine di ottobre, fu di un centimetro e mezzo. Il movimento è stato segnalato grazie agli strumenti di monitoraggio posizionati dalla stessa Autostrade per l'Italia, che per evitare altri danni ha deciso di monitorare palmo a palmo tutta l'area del paese.



*Figura 28 Autostrada del sole (A1), soggetta alla frana.*

Le cause del perdurare della frana di Ripoli sono legate principalmente a fattori ambientali, tra i quali:

- Terreno Argilloso: l'area di Volterra è caratterizzata da un suolo argilloso che, a contatto con l'acqua, tende a perdere coesione, aumentando il rischio di frane.
- Precipitazioni intense ed accumulo di acque: nei giorni precedenti l'evento, si sono verificate abbondanti piogge, che hanno saturato il terreno, rendendolo più incline a cedere.

- Geologia del Territorio: la morfologia collinare della zona, con pendii ripidi e instabili, l'azione erosiva dei corsi d'acqua, l'applicazione di carichi a monte contribuiscono a incrementare il rischio di smottamenti.

Ovviamente sono stati attuati immediatamente una serie di interventi per garantire la sicurezza dell'area e per ripristinare la stabilità del pilone interessato. Inizialmente, è stato ridotto il traffico o deviato su altre corsie per alleggerire il carico sul viadotto e il pilone stesso prevenendo ulteriori danni. Poiché la frana non si arrestava infine la tratta è stata chiusa temporaneamente per consentire le operazioni di messa in sicurezza. Sono stati installati ulteriori sistemi di monitoraggio in tempo reale per controllare eventuali movimenti del terreno e del pilone. Questo ha permesso di avere dati continui sulla situazione e di intervenire prontamente in caso di necessità. Inoltre, squadre di tecnici e ingegneri specializzati hanno lavorato per consolidare il terreno alla base del pilone. Sono state effettuate operazioni di drenaggio per ridurre la saturazione del suolo e sono stati utilizzati materiali e tecniche per stabilizzare il pendio, come la costruzione di muri di contenimento e l'utilizzo di cemento per rafforzare la struttura. Una volta messa in sicurezza l'area, sono stati avviati lavori di ripristino del terreno circostante e del pilone stesso. Questi lavori hanno incluso la ricostruzione del manto stradale e la verifica strutturale del viadotto per assicurarsi che non ci fossero ulteriori rischi. Grazie a questi interventi tempestivi, è stato possibile evitare un disastro maggiore e garantire la riapertura dell'autostrada A1 in condizioni di sicurezza. Il viadotto è stato rinforzato e il traffico ha potuto riprendere gradualmente, con un costante monitoraggio per prevenire ulteriori problemi. La vicenda della frana di Ripoli sul pilone dell'A1 ha messo in evidenza la necessità di una manutenzione costante delle infrastrutture stradali, specialmente in zone geologicamente instabili. Si è discusso molto sull'importanza di investire in tecnologie di monitoraggio e in interventi preventivi per ridurre il rischio di frane e altri fenomeni naturali che possono mettere in pericolo infrastrutture critiche.

## 5.2 – Ponte soggetto a frana piccola e veloce

Anche per l'indagine statistica rivolta alle frane piccole e veloci si è andato a modificare il valore della **suscettibilità** fissando il Volume della magnitudo tra una variabile di 3-6 su 15 (valore massimo) per simulare il cedimento di una piccola parte di versante, al contempo la velocità della frana è stata posta variabile tra il valore 4 e 5 (valore massimo). L'obiettivo è appunto quello di simulare la frana rapida di una ridotta porzione del versante di una montagna o collina che può impattare con un viadotto stradale o ferroviario.

### Ponti stradali

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	112	4,87%
MEDIOALTA	920	40,02%
MEDIA	983	42,76%
MEDIOBASSA	278	12,09%
BASSA	6	0,26%

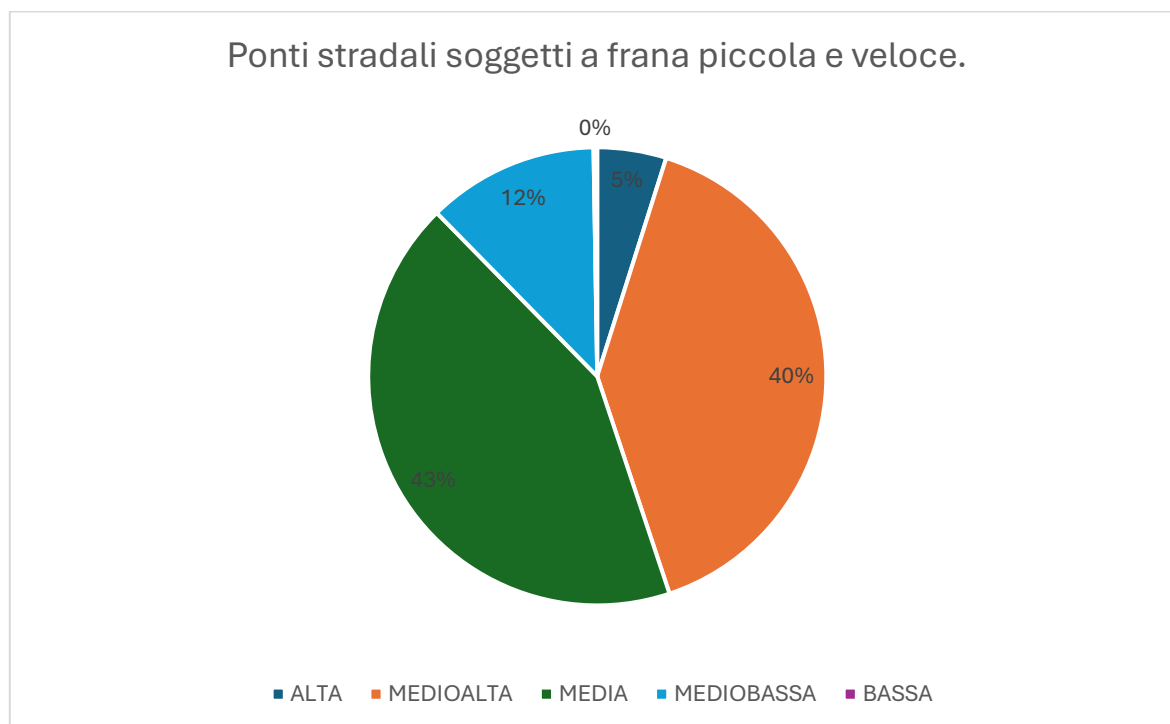
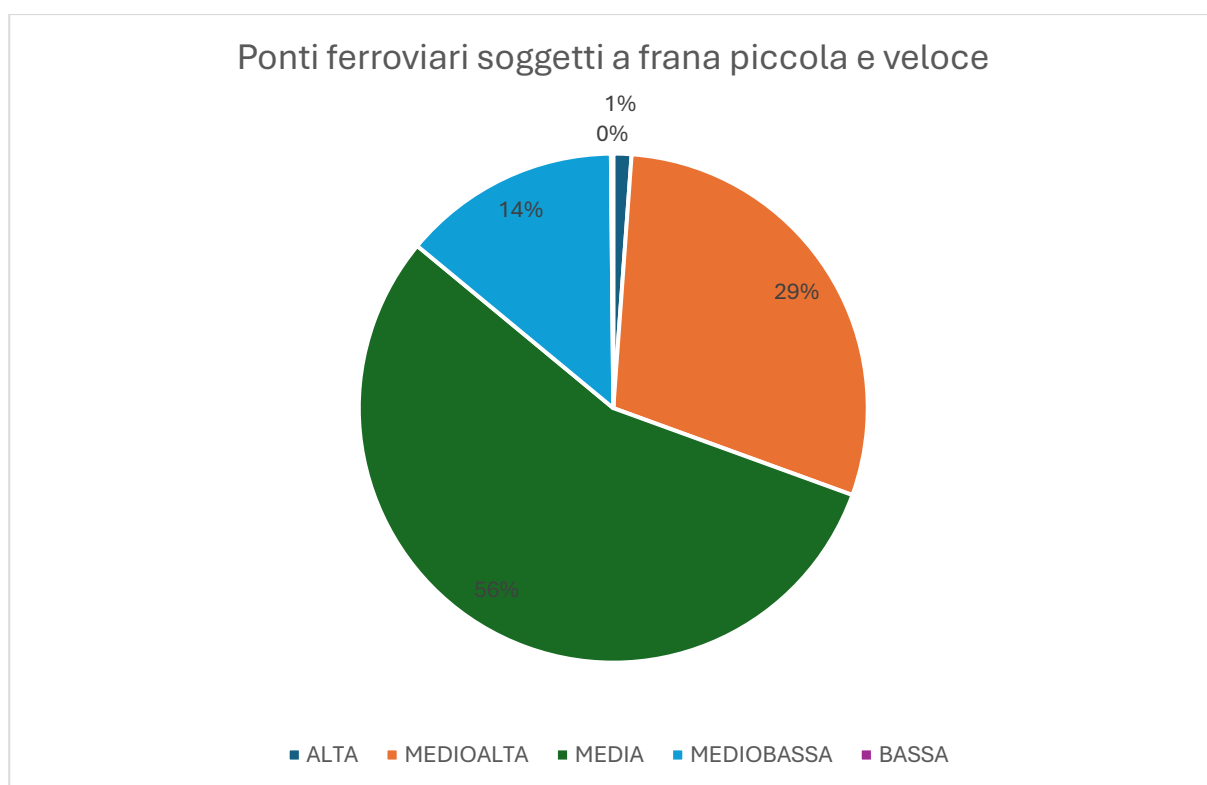


Figura 29 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, per frana Piccola e Veloce.

## Ponti ferroviari

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	23	1,15%
MEDIOALTA	588	29,40%
MEDIA	1109	55,45%
MEDIOBASSA	277	13,85%
BASSA	3	0,15%



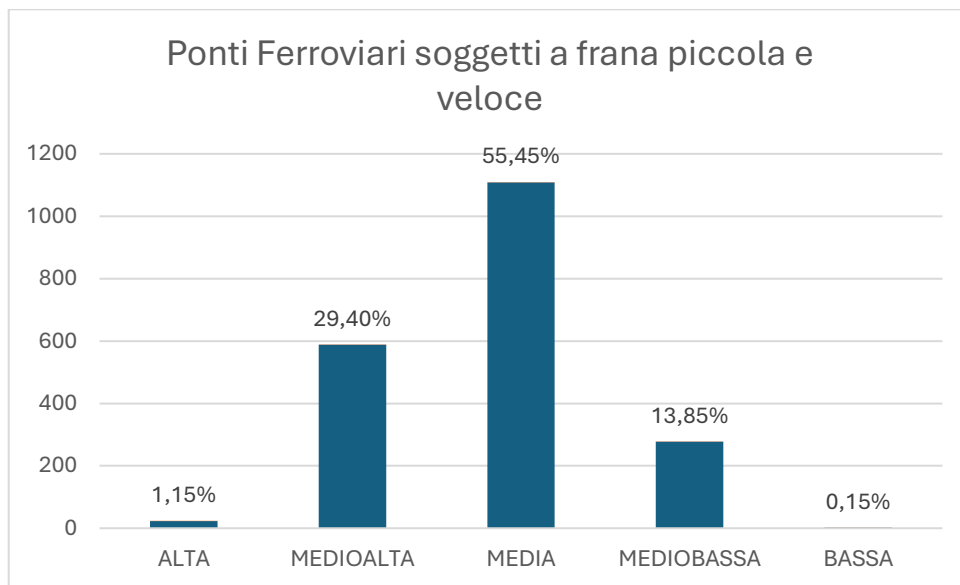
*Figura 30 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana Piccola e Veloce.*

In questo si nota come la percentuale di CdA ALTA risulti minore del 2% per i ponti ferroviari e minore del 5% per i ponti stradali, più bassa rispetto alla media del 15% del primo caso studio.

Inoltre, risulta notevole il calo della CdA **MEDIO-ALTA** rispetto al caso precedente con frana grande e lenta, dove la CdA **MEDIO-ALTA** risulta anche del 35-40% maggiore. Appare

comunque evidente che nonostante questo calo, la CdA **MEDIO-ALTA** riferita ai ponti stradali risulti più alta del 10% rispetto a quella dei ponti ferroviari.

Difatti la distribuzione delle classi di attenzione riferita ai ponti Ferroviari segue la curva a campana di Gauss, presentando appunto ben **1109 su 2000** Classi di Attenzione **MEDIE**, più del 55%.



*Figura 31 Istogramma, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, per frana Piccola e Veloce.*

Ricompare infine la casistica di CdA MEDIO-BASSA, non presente nel caso precedente. Questo porta a pensare nuovamente almeno secondo un occhio statistico che la normativa relativa ai ponti ferroviari riesca a distinguere più conformemente i casi.

## CASO REALE DI FRANA PICCOLA E VELOCE

La frana che ha interessato il viadotto dell'autostrada A6 Torino-Savona è stato un evento significativo che ha avuto luogo il 24 Novembre 2019 tra i comuni di Altare e Savona in Liguria coinvolgendo il viadotto “Madonna Del Monte” suscitando grande attenzione mediatica e preoccupazione per la sicurezza delle infrastrutture stradali in Italia.



*Figura 32 Autostrada A6, soggetta a frana.*

La frana è stata causata da una serie di fattori, in primo luogo a causa delle rigide condizioni atmosferiche dei giorni precedenti la frana, infatti, la Liguria era stata colpita da piogge eccezionalmente intense e prolungate, che avevano già causato allagamenti e altri danni nella regione. Queste piogge hanno saturato il terreno, riducendo la coesione del suolo sulle colline circostanti. Inoltre, l'area colpita dalla frana si è rivelata geologicamente vulnerabile, con terreni già predisposti a movimenti franosi. La natura del suolo, combinata con le intense precipitazioni, ha portato al distacco della massa di terra. La frana ha travolto parte del viadotto, portando al crollo di una sezione dell'autostrada A6. Fortunatamente, grazie alle autorità che avevano già limitato il traffico sulla tratta a causa del maltempo, non ci sono state vittime.

Tuttavia, il crollo ha causato la completa interruzione del traffico sulla A6, una delle principali vie di collegamento tra il nord Italia e la costa ligure, causando non pochi disagi. Dopo il crollo, sono stati attuati immediatamente diversi interventi per far fronte all'emergenza, l'intera tratta interessata è stata chiusa al traffico per garantire la sicurezza e permettere così ai tecnici di valutare i danni.

Inoltre, sono stati effettuati i giusti controlli e monitoraggi per verificare la stabilità dei restanti tratti del viadotto e delle aree circostanti. Questo ha incluso l'uso di droni, rilevamenti satellitari e tecnologie geotecniche avanzate.

Per ripristinare la circolazione il più rapidamente possibile, è stata costruita una variante temporanea che ha permesso di deviare il traffico, riducendo i disagi per gli automobilisti e per l'economia locale. La ricostruzione del viadotto è stata avviata rapidamente dopo la frana. Le operazioni di ricostruzione hanno richiesto l'impiego di tecnologie avanzate per garantire che il nuovo viadotto fosse resistente a eventi simili in futuro. Il progetto ha incluso il rafforzamento delle fondazioni e l'adozione di misure preventive per ridurre il rischio di ulteriori frane.



*Figura 33 Nuovo viadotto realizzato sull'autostrada.*

L'evento ha avuto un impatto significativo non solo dal punto di vista della viabilità, ma anche sul piano emotivo e politico, poiché ha sollevato interrogativi sulla manutenzione delle

infrastrutture stradali in Italia. La frana sulla A6 è stata spesso citata insieme al crollo del Ponte Morandi a Genova del 2018 come un esempio della necessità di migliorare la gestione e la manutenzione delle infrastrutture nel paese.

## 5.2.1 Differenze tra le frane osservate

Nonostante la frana sull'A6 abbia un volume decisamente ridotto rispetto alla frana di Ripoli, con poco meno di ( $10^4$ ) metri cubi (10.000 metri cubi) contro i ( $10^7$ ) (60 milioni di metri cubi) della seconda, l'epilogo appare notevolmente diverso.

La frana grande e lenta, come quella di Ripoli, con i suoi ridotti spostamenti ha favorito l'intervento sulla zona da parte di esperti e il suo monitoraggio, la frana sull'Autostrada invece manifestandosi come un evento rapido ed immediato, non ha lasciato il tempo ad esperti di valutare appieno la situazione.

Tramite l'analisi statistica effettuata in entrambi i casi è possibile notare un'apparente incongruenza rispetto al caso reale. Infatti, dall'indagine statistica si è appreso come le frane grandi e lente risultino in media più pericolose di quelle piccole e rapide con la **Classe di Attenzione** che raggiunge valori **superiori al 15%** per il primo caso ma **non supera il 5%** nel secondo. Nella realtà le frane rapide, se pur tipicamente caratterizzate da volumi inferiori, dispongono però di velocità rilevanti che comportano ingenti energie cinetiche che risultano estremamente rilevanti qualora si verificassero impatti con pile, spalle o impalcati. Avendo modificato la **Suscettibilità** nell'intento di svolgere l'indagine statistica, si determina che tale incongruenza derivi dal calcolo di essa.

Infatti, la **magnitudo attesa su base volumetrica**, espressa in metri cubi, risulta essere il fattore principale nella determinazione dell'instabilità di un versante, come visto nel **paragrafo 3.4**. Tale fattore possedendo un range che va da 3 a 15, influenza **fino al 60%** il calcolo del livello di **Suscettibilità** lasciando poco spazio agli altri parametri aventi un range variabile tra 1 e 5. Pertanto, la determinazione dell'instabilità di un versante risulta molto influenzata dal volume della frana o della potenziale frana. I restanti fattori risultano meno rilevanti nel calcolo, offrendo dei risultati non sempre troppo veritieri. Pertanto, sarebbe opportuno rivedere tale procedimento, proponendo una soluzione in cui la **magnitudo attesa su base volumetrica** non influenzi del tutto il calcolo della **Suscettibilità** ma lasci più spazio ad altri fattori, come ad esempio la **velocità** che in determinate occasioni è il fattore decisivo di un evento franoso.

## 5.3 Assenza o presenza di misure di mitigazione

Come visto al **Paragrafo 4.3**, ponti stradali e ferroviari differiscono nel calcolo della Classe di Attenzione relativa alla suscettibilità per via delle Misure di Mitigazione. Le Misure di mitigazione possono essere assenti, il versante può essere monitorato o stabilizzato nel caso dei ponti stradali invece possono essere assenti o presenti nel caso dei ponti ferroviari. A tale differenza è imputato il risultato ottenuto mettendo a confronto la **Suscettibilità** delle due indagini statistiche. Pertanto, verrà proposta un'indagine statistica per i ponti stradali in cui il monitoraggio o la stabilizzazione dei versanti stessi risulti un sistema di Mitigazione, in modo da semplificare il sistema di paragone tra i ponti stradali e ferroviari. Pertanto, le misure di mitigazione risulteranno come Assenti o Presenti per entrambe le linee guida.

In seguito all'indagine statistica, i livelli delle classi di attenzione relative alla suscettibilità sia dei ponti stradali che per quelli ferroviari, mostrano una distribuzione omogenea dimostrando quanto già detto al **paragrafo 4.3**.

Suscettibilità ponti stradali:

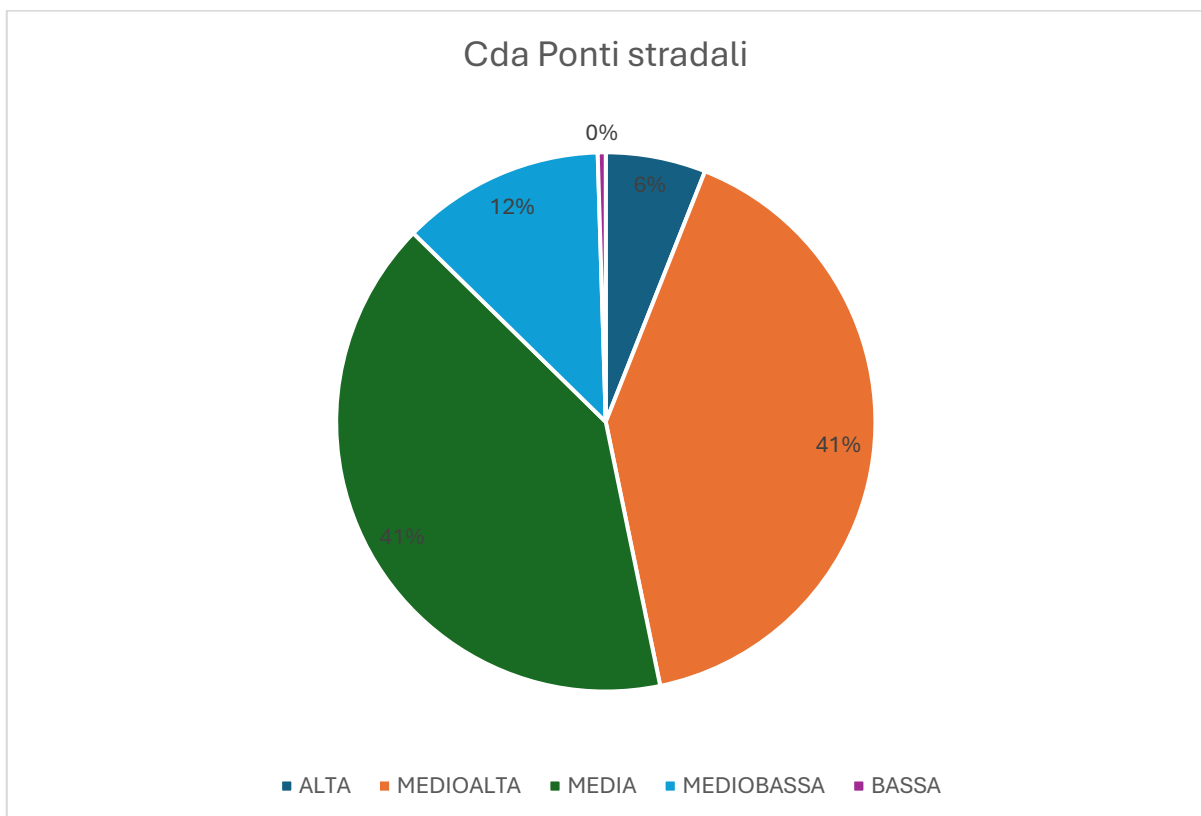
<b>CLASSE DI ATTENZIONE</b>	<b>NUMERO CASI SU TOT.2000</b>	<b>PERCENTUALE</b>
ALTA	374	16,27%
MEDIOALTA	718	31,23%
MEDIA	609	26,49%
MEDIOBASSA	390	16,96%
BASSA	208	9,05%

Suscettibilità ponti ferroviari:

<b>CLASSE DI ATTENZIONE</b>	<b>NUMERO CASI SU TOT.2000</b>	<b>PERCENTUALE</b>
ALTA	339	16,95%
MEDIOALTA	622	31,10%
MEDIA	503	25,15%
MEDIOBASSA	358	17,90%
BASSA	178	8,90%

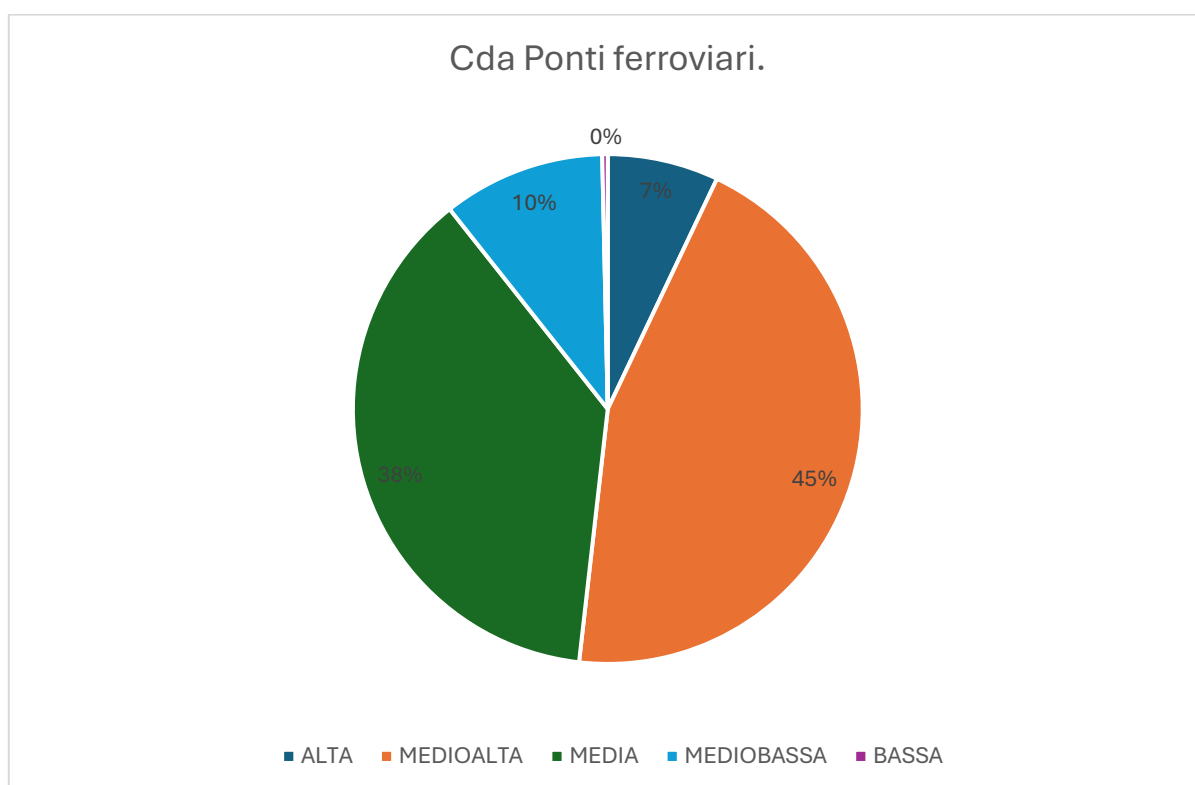
Con una distribuzione omogenea di livelli nell'indagine statistica relativa alla **Suscettibilità**, ci si aspetta lo stesso nel **Calcolo della Classe di Attenzione a livello territoriale**.

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	169	7,35%
MEDIOALTA	959	41,71%
MEDIA	869	37,80%
MEDIOBASSA	288	12,53%
BASSA	14	0,61%



*Figura 34 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, utilizzando il procedimento di determinazione delle misure di mitigazione per ponti ferroviari.*

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	145	7,25%
MEDIOALTA	885	44,25%
MEDIA	775	38,75%
MEDIOBASSA	189	9,45%
BASSA	6	0,30%



*Figura 35 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari.*

I risultati di questa indagine statistica dimostrano che il parametro relativo alle **misure di mitigazione** risulta di particolare importanza nel far variare le due indagini attuate al **Capitolo 4**.

A seguito di questi risultati ci si chiede del perché nei ponti stradali il **monitoraggio** o la **stabilizzazione** di un versante non vengano intesi come misure di **Mitigazione**. Questo comporterebbe un abbassamento del livello delle classi di attenzione a livello territoriale, evitando il sovraccarico delle strutture richiedenti attenzione, a favore delle strutture con misure di mitigazione assenti.

## 5.4 Ponte ferroviario soggetto a frana diretta o indiretta

Nel caso di ponti ferroviari vengono distinte le frane dirette da quelle indirette: ci si riferisce a due tipologie di eventi franosi che, pur coinvolgendo le opere in modi diversi, possono mettere a rischio sicurezza ed operatività delle infrastrutture ferroviarie allo stesso modo. Anche nei ponti stradali la distinzione è presente, ma non comporta effetti nel calcolo della CdA frane. Nella normativa delle infrastrutture ferroviarie, invece, la distinzione tra diretta e indiretta modifica in maniera rilevante il calcolo della vulnerabilità. La normativa suppone infatti che una frana diretta, tipicamente lenta, interagisca con il volume significativo delle fondazioni dell'opera e, pertanto, che la tipologia fondazionale sia determinante. Nel caso di frana indiretta, tipicamente ad alta velocità ed interagente solo qualora innescata si verifichi un impatto tra materiale franato e ponte, è la dimensione delle pile a determinare in maniera importante la robustezza della struttura e, di conseguenza, la sua vulnerabilità.

Le istruzioni operative redatte da **Ansfisa**, sulle linee guida redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la valutazione della sicurezza di ponti ferroviari, definiscono il coinvolgimento di volume significativo relativo al ponte come estensione dell'interferenza.

Tale interferenza verrà considerata **diretta** quando il movimento franoso comprende in tutto o in parte il volume significativo, mentre verrà considerata **indiretta** quando il movimento franoso coinvolge la struttura solo a seguito della sua eventuale mobilitazione.

## Ponti ferroviari sottoposti a Frana Diretta

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	247	12,35%
MEDIOALTA	1045	52,25%
MEDIA	557	27,85%
MEDIOBASSA	150	7,50%
BASSA	1	0,05%

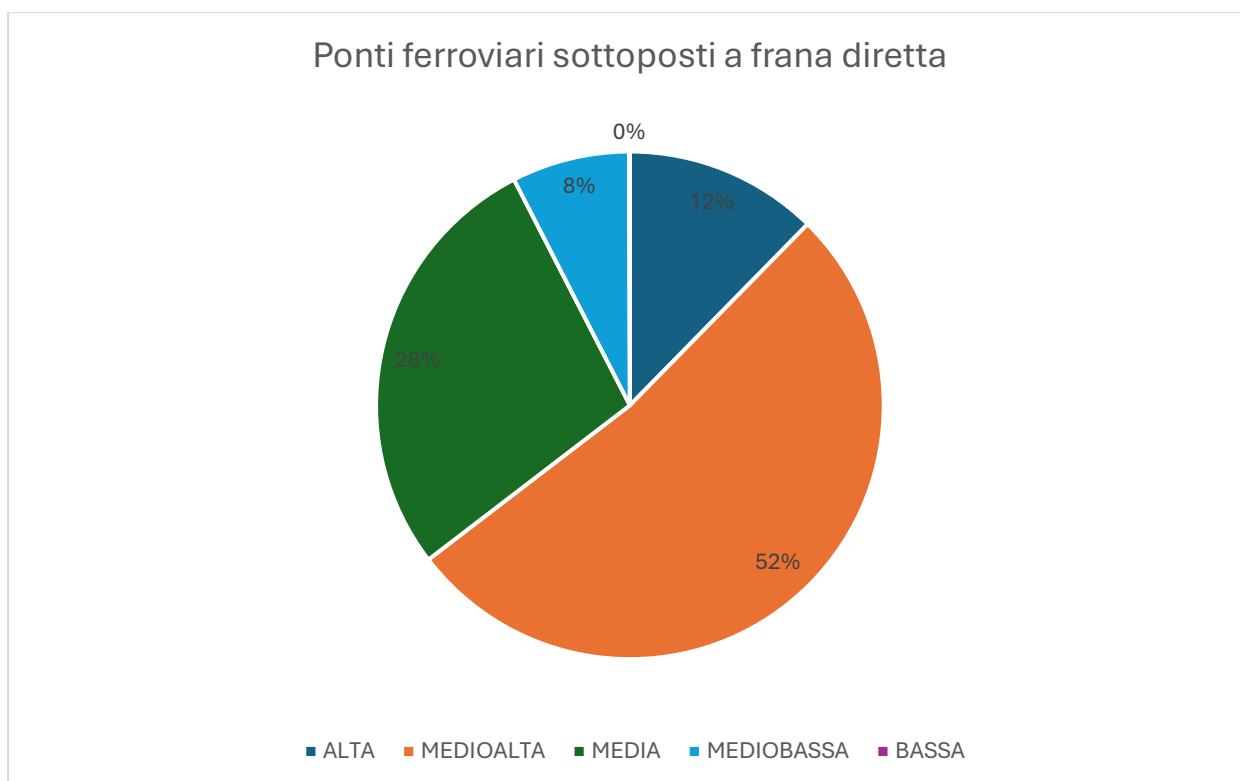


Figura 36 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a frana diretta.

## Ponti ferroviari sottoposti a Indiretta

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	227	11,35%
MEDIOALTA	974	48,70%
MEDIA	653	32,65%
MEDIOBASSA	140	7,00%
BASSA	6	0,30%

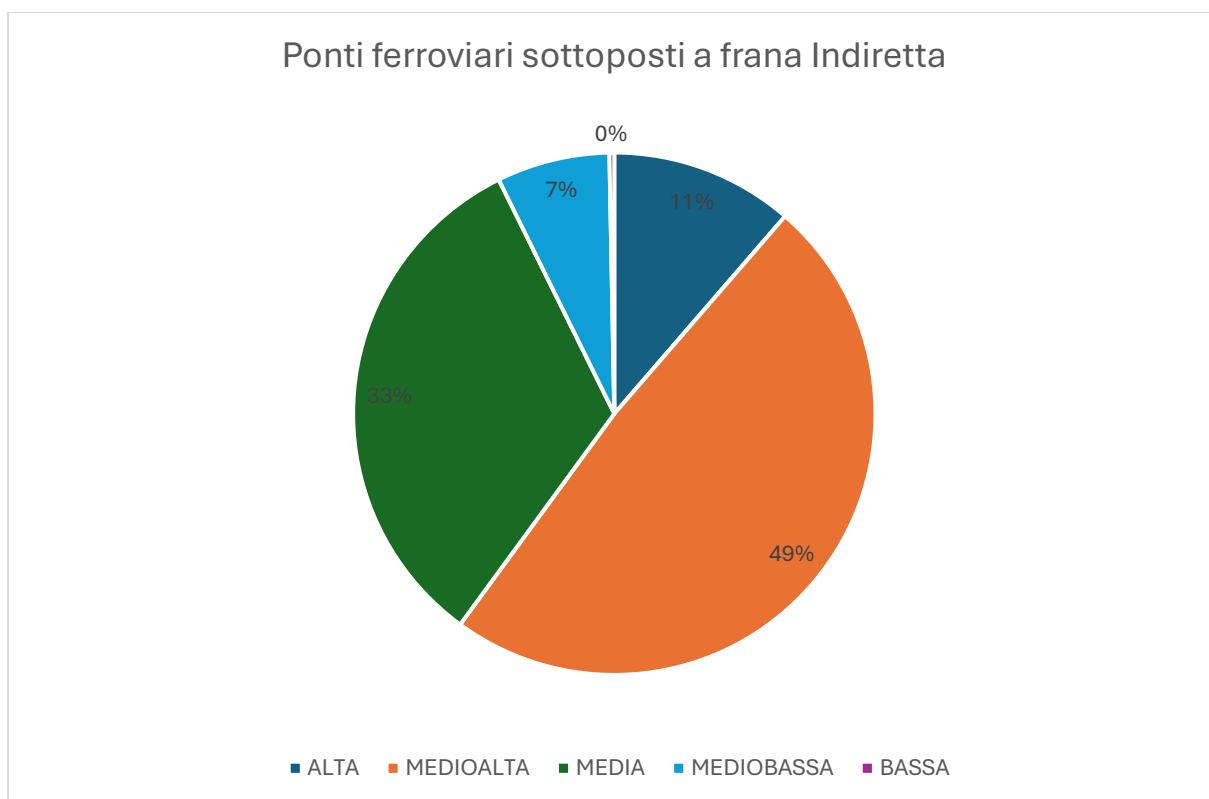


Figura 37 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a frana indiretta.

Confrontando le distribuzioni appare evidente come le frane indirette presentino un leggero ma visibile calo delle classi ALTA e MEDIO-ALTA, a vantaggio di una maggior numerosità di classi MEDIE.

Un ulteriore futuro approfondimento di tale casistica potrebbe prevedere l'assegnazione di velocità alte al caso di interazione indiretta, magari presupponendo volumi contenuti, e di velocità più basse al caso di interazione diretta, con volumi di vario tipo. Alla luce dei risultati precedenti, è probabile ipotizzare che la differenza tra le distribuzioni apparirebbe ancor più marcata.

## **Evidenze Osservate**

Al netto dei risultati ottenuti dall'indagine statistica, la variazione delle Classi di Attenzione relative al rischio frane per entrambe le tipologie di evento franoso risulta non superiore al 3%.

Come già detto, tale parametro rientra all'interno del flusso logico utile alla determinazione della classe di attenzione relativa al rischio frane per ponti ferroviari e non stradali.

Inoltre, per i ponti ferroviari utilizzando le **Tabelle 14 e 15** nel calcolo della Cda relativa al rischio frane si fa riferimento anche al parametro relativo al diametro delle pile, assente invece nelle linee guida relative ai ponti Stradali.

Essendo a conoscenza del fatto che le Linee guida relative ai ponti ferroviari sono state pubblicate successivamente a quelle relative ai ponti stradali, ci si aspetta che la scelta di aggiungere all'interno del flusso logico per la determinazione della classe di **Vulnerabilità** questa divisione tra fenomeno diretto ed indiretto, sia motivata. Ciononostante, le Linee guida relative ai ponti stradali continuano a mantenere il proprio approccio, al contempo le linee guida relative ai ponti ferroviari mostrano per entrambe le tipologie di evento franoso risultati davvero simili.

Come visto in precedenza, anche le schede di ispezione di livello 1 relative ai ponti stradali identificano l'evento franoso di tipo diretto o indiretto, al fine fornire le conoscenze necessarie per valutare l'approccio all'opera e a ciò che la circonda e non ai fini del calcolo Classe di Attenzione relativa.

Al netto delle informazioni acquisite, considerando il fatto che il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, rispetta la clausola di intangibilità temporanea riguardo le linee guida relative ai ponti Stradali, è difficile determinare ad oggi se le novità pubblicate per le nuove linee guida relative ai ponti ferroviari, verranno proposte anche per questi ultimi.

Come visto in questo capitolo i risultati ottenuti dall'indagine statistica, mostrano una variazione della Cda per entrambe le tipologie di evento franoso non superiore al 3%, che per un'indagine effettuata su 2000 casi risulta un numero piuttosto esiguo.

L'utilizzo di un metodo comune per entrambe le tipologie di opera semplificherebbe il confronto tra le linee guida anche sul tema della digitalizzazione e trasposizione delle formule su software come Excel e Matlab, in ogni caso la distinzione dell'evento franoso in **diretto o indiretto** risulta, un'identificazione dell'evento **necessaria** ai fini della modalità di intervento alla frana, ma bisognerebbe sapere se sia veramente necessaria anche ai fini del calcolo della Classe di Attenzione a livello territoriale.

## 5.5 Esposizione del traffico in un ponte stradale

L'esposizione, parametro poco attenzionato durante le precedenti indagini, è in realtà il parametro che più tiene conto della salvaguardia di chi attraversa il ponte.

Tale paragrafo ha il compito di dimostrare quanto possono variare i livelli delle classi di attenzione a livello territoriale, variando il numero di veicoli transitanti sul ponte.

Ma come visto al **paragrafo 4.1**, l'eccessiva importanza associata al traffico giornaliero di un ponte stradale, potrebbe causare incertezze nella determinazione della classe di attenzione relativa al rischio frane, causando un aumento della classe di attenzione di un'opera non a rischio piuttosto che quella di un'opera richiedente interventi.

Il livello di TGM (Traffico Giornaliero Medio) è combinato con altri parametri quali la luce media della campata, la presenza di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato e la strategicità del ponte in caso di emergenza, per il computo della Classe di esposizione strutturale e fondazionale secondo lo schema illustrato in **Figura 14**.

Nel calcolo del Traffico Giornaliero Medio vengono utilizzate le informazioni riguardanti reti stradali raccolte nel censimento di Livello 0, acquisite in seguito a studi specifici o fornite dai gestori di competenza, il volume di traffico previsto, in termini di Traffico Medio Giornaliero (TGM), ossia il numero medio di veicoli transitanti in un giorno sull'intera larghezza di carreggiata servita dal ponte (**Tabella 11**).

### Ponte Molto Trafficato

Per questa indagine sono stati utilizzati dei parametri quali, Traffico Giornaliero medio Elevato (>25000 veicoli/Giorno) e una Grande luce (per ponti con campate di luce media maggiore di 50 m).

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	612	26,62%
MEDIOALTA	1218	52,98%
MEDIA	442	19,23%
MEDIOBASSA	27	1,17%
BASSA	0	0,00%

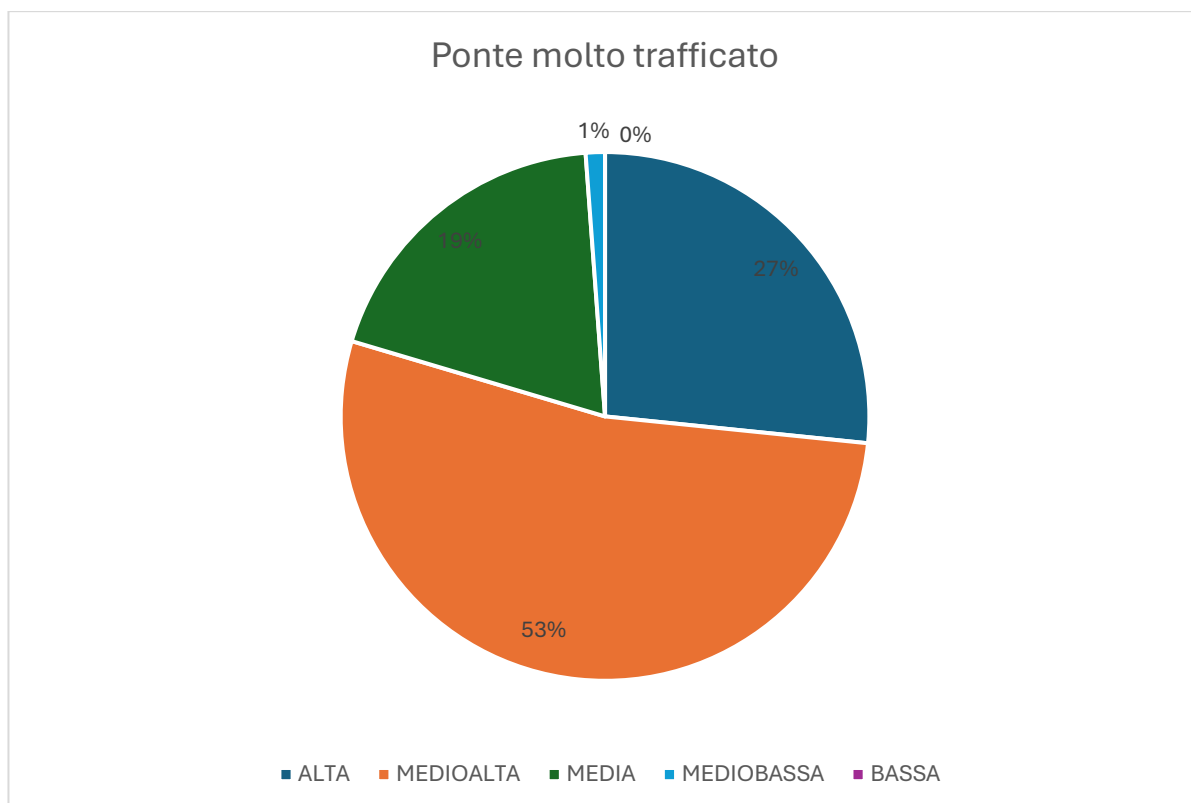


Figura 38 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti stradali, soggetti a Molto Traffico.

Nel grafico finale relativo alle CdA di un ponte stradale trafficato è possibile notare come la Classe Bassa sia del tutto inesistente, a favore di una percentuale di quasi 80% relativa alle classi ALTA e MEDIO-ALTA.

Come osservato un ponte con un Traffico Giornaliero Medio elevato, porta il più delle volte ad avere una classe di attenzione ALTA o MEDIO-ALTA, tanto da avere una percentuale di CdA ALTA più che raddoppiata rispetto alle indagini preliminari del **Capitolo 4**.

Le Linee Guida identificano un ponte con Traffico Giornaliero medio Elevato, un ponte dove transitano giornalmente in media più di 25000 veicoli, questo metro di misura utilizzato da decenni è stato adottato da ANAS in base a studi di capacità stradale, volumi di traffico e criteri di sicurezza per la gestione della rete. Peraltro, un volume di traffico così sostenuto suggerisce che l'opera possa verosimilmente risultare strategica, scelta che spingerebbe ulteriormente verso l'alto la CdA ottenuta.

Al contempo l'utilizzo dell'automobile è diventato sempre più indispensabile da parte degli Italiani, secondo i dati **ISTAT** in Italia il numero di auto pro capite continua a crescere, passando dallo 0,45 auto per abitante tra il 90 e il 2000, allo 0,6 auto per abitante nel 2010 all'attuale 0,67, con la maggior parte delle reti stradali costruite a cavallo tra il 1960 e il 1980. Al contempo i dati di **Autostrade per l'Italia** segnano 40 mila veicoli per tratta giornaliera. Quindi considerando il costante aumento di veicoli transitanti sulla rete stradale, sarebbe opportuno rivedere il metro di valutazione, per le categorie relative al Traffico Giornaliero Medio, inoltre proponendo altri livelli di TGM, oltre ai già citati "Basso, medio e Alto", si otterrebbe una valutazione più realistica e dettagliata.

Le linee guida definiscono un livello di TGM Alto un traffico maggiore a 25000 veicoli/Giorno, ma impugnando i dati di ANAS relativi al 2023 (<https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale>), è evidente come vi siano parecchi ponti aventi un TGM superiore persino a 50 mila veicoli, pertanto un metro di valutazione più esteso e flessibile, riuscirebbe ad avere risultati più precisi evitando di sovrastimare le situazioni e definendo livelli di Classi di Attenzione più equilibrati.

## Poco Trafficato

Per questo grafico sono stati utilizzati dei parametri quali, Traffico Giornaliero medio Basso (<10000 veicoli/Giorno) e una Piccola luce (per ponti con campate di luce media non maggiore di 20 m).

CLASSE DI ATTENZIONE	NUMERO CASI SU TOT.2000	PERCENTUALE
ALTA	28	1,22%
MEDIOALTA	978	42,54%
MEDIA	968	42,11%
MEDIOBASSA	305	13,27%
BASSA	20	0,87%

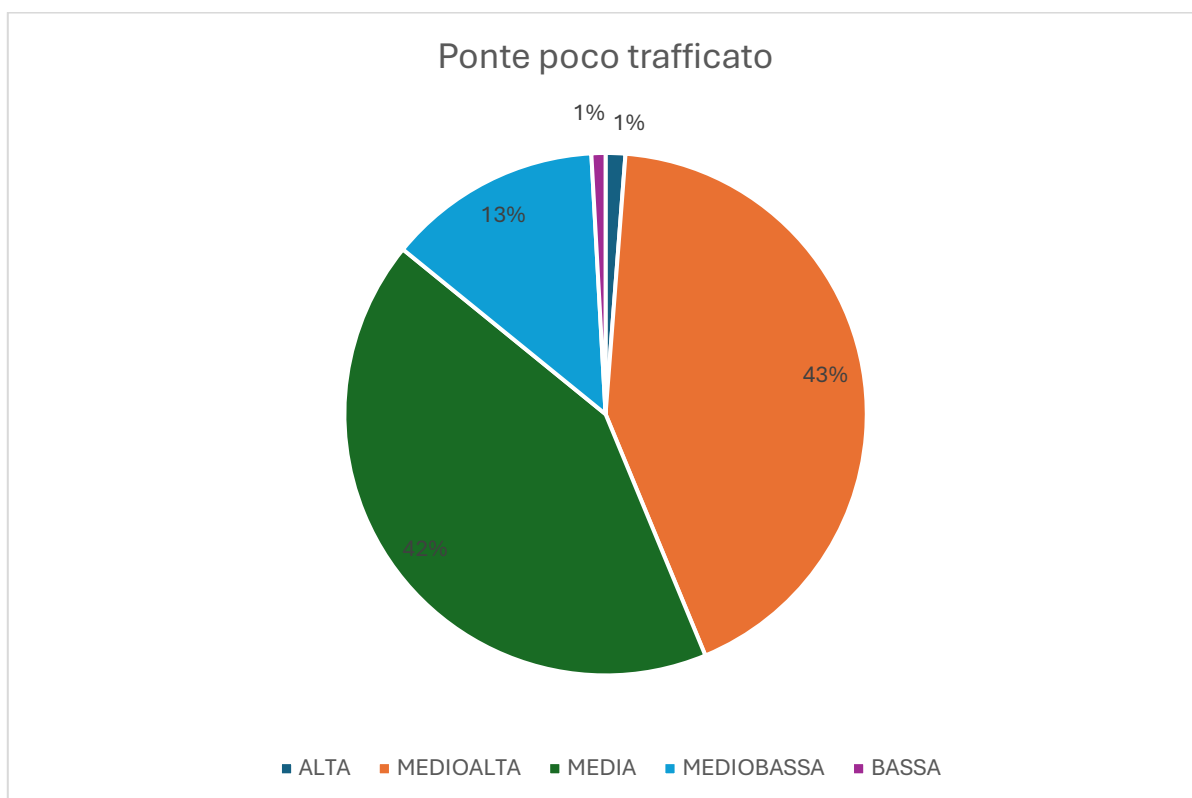


Figura 39 Grafico a torta, sulla distribuzione delle classi di attenzione, relative alla statistica sui Ponti ferroviari, soggetti a Poco Traffico.

Per un ponte poco trafficato la distribuzione delle Classi di Attenzione appare per ovvi motivi variata rispetto al ponte trafficato, infatti, in questo caso la Classe **ALTA** risulta avere una

percentuale vicina all'1%. Le classi medie risultano invece quelle con una presenza più elevata.

Come annunciato al **capitolo 4.1** e dimostrato tramite indagine statistica, la variazione del traffico, parametro necessario alla determinazione della classe di Esposizione, causa importanti variazioni osservabili nel computo finale della Classe di attenzione relativa al rischio frane. Variazioni che comunque mantengono circa l'**85%** delle classi tra la Cda **MEDIA** e **MEDIO-ALTA**, con percentuali di CdA **BASSA** minori dell'**1%**.

Utilizzando i parametri più bassi relativi al **TGM** e alla luce media della campata, ci si aspetterebbe un calo drastico del livello delle Classi più alte a favore di quelle più basse, cosa che avviene soltanto in parte.

Pertanto, la scala di valutazione delle Classi di Attenzione relative suscita perplessità, poiché sembra orientata a stabilire livelli di classi elevati, in qualsiasi situazione.

In ogni caso esistono delle soluzioni mitigative, per regolare il traffico e per garantire una sicurezza adeguata in situazioni di pericolo, che non si basano su di interventi di consolidamento o potenziamento strutturale, ma in soluzioni organizzative e logistiche.

Per regolare il traffico su un ponte, soprattutto se si tratta di un ponte strategico con traffico intenso o se sono presenti situazioni di rischio (come pericolo di frane dirette o indirette), si richiede una serie di misure e strategie che garantiscano sia la sicurezza per le persone che il giusto flusso di veicoli. Innanzitutto, è necessaria la presenza di segnali chiari che indichino il limite di velocità consentito, condizioni di rischio o presenza di lavori in corso, se possibile garantire la presenza di corsie di emergenza.

In alcune situazioni, l'uso di semafori può aiutare a regolare il flusso di veicoli, specialmente su ponti con traffico bidirezionale su una sola carreggiata, per via di chiusure temporanee dovute a lavori sulla struttura o per limitare il flusso di veicoli in determinate situazioni in cui si voglia evitare il sovraccarico della struttura. Nella maggior parte dei casi si parla di situazioni temporanee e non definitive.

Inoltre, in assenza di lavori o situazioni di pericolo e se il ponte supporta un traffico intenso di mezzi pubblici o di emergenza, si possono designare delle corsie preferenziali per garantire che i veicoli addetti alle emergenze possano transitare senza interruzioni.



# Conclusioni

L'analisi comparativa delle linee guida redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la valutazione della sicurezza di ponti stradali e ferroviari, condotta nei primi capitoli dell'elaborato, evidenzia differenze che seppur minime manifestano risultati differenti riguardo la sicurezza delle opere in sé.

In particolare, fulcro di questo studio, il rischio relativo a Frane, rivela un metodo di approccio differente per ciascuna linea guida. Partendo dalle schede di ispezione ponti di Livello 1, adoperate per acquisire informazioni sulle caratteristiche geometriche, strutturali e di conservazione delle opere, che segnano il primo punto di distacco nel processo di Determinazione della classe di Attenzione relativa al rischio frane per ciascuna delle Linee Guida in esame.

Distacco netto che avviene nella determinazione dei fattori di Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione, la cui combinazione definisce la Classe di Attenzione relativa al rischio frane. Difatti i fattori di Suscettibilità, Vulnerabilità ed esposizione, sono il risultato di flussi logici aventi parametri primari e secondari, variabili in base al tipo di Opera trattata da ciascuna linea guida.

Le Indagini statistiche condotte utilizzando il programma Microsoft Excel, hanno permesso di analizzare nel concreto quelle che sono le differenze tra le due Linee Guida in merito alla determinazione della classe di attenzione rischio frane.

Infatti, tramite una combinazione di valori e la trasposizione di tabelle variabili, è stato possibile sia creare diversi scenari riconducibili a fatti reali sia attuare un'indagine statistica con valori casuali.

L'indagine statistica parte da due pagine Excel in cui sono state generate casualmente circa 2000 casistiche sia per ponti stradali che per ponti ferroviari. Sono stati ottenuti valori casuali entro i range a disposizione ed è stato quindi attuato il processo di calcolo della Classe di Attenzione relativa al rischio Frane, per ciascuno di questi casi.

I Risultati ottenuti mostrano differenze tra la distribuzione dei livelli delle Classi di attenzione relative al rischio frane per ponti stradali e ferroviari.

In particolare, i dati relativi ai parametri di Suscettibilità, Vulnerabilità ed Esposizione, per i ponti stradali rivelano parecchie incertezze; La Suscettibilità al rischio frane risulta in certi versi sovrastimata e al contempo la Vulnerabilità riguardo problemi strutturali e fondazionali del ponte appare sottovalutata, stesso discorso riguardo l'Esposizione che rischia di creare un campanello di allarme dove non necessario.

Le linee guida relative ai ponti ferroviari essendo state pubblicate successivamente a quelle relative ai ponti stradali, sembrano voler rattoppare le carenze mostrate da quest'ultime. Infatti, dalle analisi statistiche ottenute si percepisce un maggior equilibrio nella determinazione delle classi di suscettibilità, al contempo un'adeguata attenzione alla Vulnerabilità del ponte.

L'indagine prosegue presentando dei casi studio, i cui scenari generati tramite l'accorgimento dei parametri relativi alle indagini statistiche svolte su Microsoft Excel, presentano anch'essi incongruenze, complicità o allarmismi indesiderati.

I primi tre casi studio presentano, tre scenari in cui si ha il confronto dei risultati ottenuti nel caso di ponti stradali e ponti ferroviari, in particolare il primo ed il secondo caso, relativi ad un ponte interagente il primo con un movimento gravitativo lento e profondo di versante, con frana di dimensioni elevate caratterizzata da velocità molto ridotte; il secondo con un movimento gravitativo veloce e limitato di versante, con frana di dimensioni ridotte caratterizzata da velocità molto elevate; hanno evidenziato delle incertezze riguardo la determinazione dell'instabilità di un versante che risulta molto influenzata dal volume della frana o della potenziale frana. I restanti fattori risultano quasi trascurabili, offrendo dei risultati non sempre troppo veritieri.

Il terzo caso studio relativo allo studio dell'effetto di assenza o presenza di misure di Mitigazione, nella determinazione della classe di rischio frane di ponti ferroviari e stradali. Ha dimostrato che definendo i parametri di monitoraggio e stabilizzazione di un versante come misure di Mitigazione, risulta un abbassamento del livello delle classi di attenzione a livello territoriale, evitando il sovraccarico delle strutture richiedenti attenzione, a favore delle strutture con misure di mitigazione assenti.

Il quarto caso studio confronta i risultati ottenuti relativi alla classe di attenzione frane relativi a ponte ferroviario soggetto a frana di tipo diretto o indiretto. Evidenziando, la stessa distribuzione dei livelli di suscettibilità dei ponti Stradali, nel caso in cui il fenomeno di frana non fosse distinto in diretto o indiretto. Dimostrando, come la distinzione dell'evento franoso in diretto o indiretto risulti, un'identificazione dell'evento necessaria ai fini della modalità di intervento alla frana, ma non una distinzione indispensabile ai fini del calcolo della Classe di Attenzione a livello territoriale.

Il quinto caso studio confronta i risultati ottenuti relativi alla classe di attenzione frane relativi per ponte stradale avente un Traffico Giornaliero Medio, elevato o ridotto. Evidenziando, una necessità di aggiornamento dei dati per quelli che sono i parametri di calcolo di Traffico Medio Giornaliero, forniti dall'Anas. Inoltre, il metro di valutazione della Cda relativa sembra orientata a definire livelli di classi elevati, sia nel caso di un ponte stradale avente Traffico Giornaliero medio Elevato e una Grande luce, che nel caso di un ponte stradale avente Traffico Giornaliero medio Basso e una Piccola luce.



## Bibliografia e sitografia

-ANSFISA, (2022), *Istruzioni Operative per l'applicazione delle LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI.*

-ANSFISA, (2023), *Istruzioni Operative per l'applicazione delle LINEE GUIDA PER IL CENSIMENTO, LA CLASSIFICAZIONE E LA GESTIONE DEI PONTI FERROVIARI.*

-Certifico S.r.l., (06/05/2020), *Schede di difettosità, Linee guida per la sicurezza ei ponti*, <https://www.certifico.com/merci-pericolose/373-costruzioni/documenti-costruzioni/documenti-costruzioni-enti/10722-linee-guida-per-la-sicurezza-dei-ponti>.

-Alessandro Trigilia, Carla Ladanza, Domenico Berti e Mauro Lucarin, (2015), *Principali Eventi franosi e alluvionali in Italia nel periodo (2003-2014)*,  
[Rapporto Eventi frane alluvioni ISPRA Febbraio 2015.pdf](#).

- Paolo Simonini, (2024), *documenti e dati relativi alla frana di Rispoli.*

-Amelia Esposito, (20/03/2012), *I geologi: “La frana di Ripoli è arrivata a un pilone dell'A1”*,  
<https://corrieredibologna.corriere.it/bologna/notizie/cronaca/2012/20-marzo-2012/i-geologi-la-frana-ripoli-arrivata-un-pilone-a1-2003753827219.shtml>.

-David Marceddu, (20/03/2012), *“La frana arriva sull'Autostrada del Sole. I geologi: “Si muove il pilone di un viadotto”*, <https://www.ilfattoquotidiano.it/2012/03/20/frana-arriva-sullautostrada-sole-geologi-muove-pilone-viadotto/198714/>.

-Cesare Giuzzi, (24/11/19), *“Il boato, la frana, il crollo del viadotto sull'A6: «Fermi sull'orlo del baratro, davanti a me è sparita la strada”*, [https://www.corriere.it/cronache/19\\_novembre\\_25/boato-frana-crollo-viadotto-a6-fermi-orlo-baratro-a-me-sparita-strada-33177b62-0f00-11ea-b3dc-1023409a22e2.shtml](https://www.corriere.it/cronache/19_novembre_25/boato-frana-crollo-viadotto-a6-fermi-orlo-baratro-a-me-sparita-strada-33177b62-0f00-11ea-b3dc-1023409a22e2.shtml).

-Redazione Bologna Today, (19/04/18), *“Variante di Valico, frana a Ripoli: un milione e 300mila euro da Autostrade”*, <https://www.bolognatoday.it/cronaca/ripoli-frana-variante-valico-scavi-autostrada.html>.

- Redazione Rai News, (21/02/20) "A6 Torino-Savona, inaugurato il viadotto crollato a novembre per una frana", <https://www.rainews.it/archivio-rainews/articoli/A6-Torino-Savona-inaugurato-il-viadotto-crollato-per-una-frana-acc636de-01df-4cd7-af6e-bdd3c39294ee.html>.

-Roberto Sculli, (25/11/19), "Crollo sull'A6, l'esperto: «Grave errore il pilone in quel punto»" <https://www.ilsecoloxix.it/italia/2019/11/25/news/crollo-sull-a6-l-esperto-grave-errore-il-pilone-in-quel-punto-1.37993713>.

- ANAS, (2024), "Dati di traffico medio giornaliero annuale", <https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale>.

-Autostrade per l'Italia, (2024), "Ponti e gallerie: un patrimonio da rigenerare" <https://libroverde.autostrade.it/pillole/ponti-e-gallerie-un-patrimonio-da-rigenerare/>.