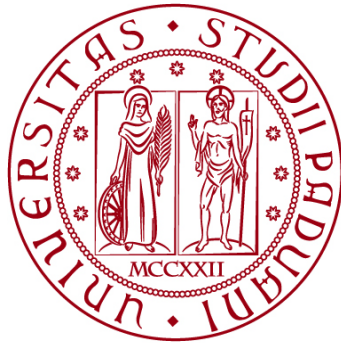


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

TESI DI LAUREA

**VALUTAZIONE DELLA CLASSE DI ATTENZIONE
ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE DI VIADOTTI ESISTENTI:
APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA A DIVERSI CASI
STUDIO**

Relatore: PROF. LORENZO BREZZI

Laureando: MARCO GASTALDELLO

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Sommario

Sommario	2
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO I: ANALISI DEI FENOMENI FRANOSI	6
1.1 Il rischio idrogeologico	6
1.2 Le frane	7
1.3 Le parti di un versante in frana	7
1.4 La velocità di una frana in relazione alla sua pericolosità	9
1.5 Classificazione delle frane	9
1.6 Il monitoraggio delle frane	14
1.7 I possibili interventi sui versanti	16
CAPITOLO II: IL PROBLEMA DEI VIADOTTI IN FRANA	17
2.1 Le frane in Italia: ISPRA, IFFI e PAI	17
2.2 I viadotti a rischio crollo in Italia	19
2.3 Frana 24/11/2019 (A6 Savona-Torino)	19
CAPITOLO III: CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO, LE LINEE GUIDA	23
3.1 Premessa linee guida	23
3.2 L'approccio multilivello	23
3.3 Livello 0. Censimento delle opere	25
3.4 Livello 1. Ispezioni visive e schede di difettosità	26
3.5 Livello 2. Analisi dei rischi rilevanti e classificazione su scala territoriale	28
3.5.1 Classe di attenzione associata al rischio frana	30
3.6 Livello 3. Valutazione preliminare dell'opera	35
3.7 Livello 4. Verifica accurata	36
3.8 Livello 5. Sistema di sorveglianza e monitoraggio	39
CAPITOLO IV: ANALISI CASI STUDIO	42
4.1 Ponte sul canale Enel	42
4.1.1 Livello 0 - Censimento	42
4.1.2 Livello 1- ispezione	43
4.1.2.1 Informazioni ispezione	43
4.1.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi	43
4.1.2.3 Contesto geo-morfologico	43
4.1.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	44
4.1.2.5 Contesto geologico	44
4.1.2.6 Caratteristiche del fenomeno	45
4.1.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione	45

4.1.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione	45
4.1.3 Livello 2 - Classe di attenzione	45
4.2 Ponte Bastianassi I	46
4.2.1 Livello 0 - Censimento	46
4.2.2 Livello 1- ispezione	47
4.2.2.1 Informazioni ispezione	47
4.2.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi	47
4.2.2.3 Contesto geo-morfologico	47
4.2.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	48
4.2.2.5 Contesto geologico	48
4.2.2.6 Caratteristiche del fenomeno	48
4.2.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione	49
4.2.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione	49
4.2.3 Livello 2 - Classe di attenzione	49
4.3 Ponte Bastianassi II	50
4.3.1 Livello 0 - Censimento	50
4.3.2 Livello 1- ispezione	51
4.3.2.1 Informazioni ispezione	51
4.3.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi	51
4.3.2.3 Contesto geo-morfologico	51
4.3.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	52
4.3.2.5 Contesto geologico	53
4.3.2.6 Caratteristiche del fenomeno	53
4.3.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione	54
4.3.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione	54
4.3.3 Livello 2 - Classe di attenzione	54
4.3.3.1 Suscettibilità	54
4.3.3.2 Vulnerabilità	56
4.3.3.3 Esposizione	58
4.3.3.4 Classe di attenzione frane	61
4.4 Viadotto del pescatore	61
4.4.1 Livello 0 - Censimento	61
4.4.2 Livello 1- ispezione	62
4.4.2.1 Informazioni ispezione	62
4.4.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi	62
4.4.2.3 Contesto geo-morfologico	62
4.4.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	63
4.4.2.5 Contesto geologico	63

4.4.2.6	Caratteristiche del fenomeno	63
4.4.2.7	Parametri caratteristici per classe di attenzione	64
4.4.2.8	Affidabilità complessiva della valutazione	64
4.4.3	Livello 2 - Classe di attenzione	64
4.5	Ponte svincolo per Padova	64
4.5.1	Livello 0 - Censimento	64
4.5.2	Livello 1- ispezione	65
4.5.2.1	Informazioni ispezione	65
4.5.2.2	Misurazioni e rilievi integrativi	65
4.5.2.3	Contesto geo-morfologico	65
4.5.2.4	Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	66
4.5.2.5	Contesto geologico	66
4.5.2.6	Caratteristiche del fenomeno	67
4.5.2.7	Parametri caratteristici per classe di attenzione	67
4.5.2.8	Affidabilità complessiva della valutazione	67
4.5.3	Livello 2 - Classe di attenzione	67
4.6	Ponte svincolo per Primolano	67
4.6.1	Livello 0 - Censimento	67
4.6.2	Livello 1- ispezione	68
4.6.2.1	Informazioni ispezione	68
4.6.2.2	Misurazioni e rilievi integrativi	68
4.6.2.3	Contesto geo-morfologico	68
4.6.2.4	Area riconosciuta pericolosa e conoscenza	69
4.6.2.5	Contesto geologico	70
4.6.2.6	Caratteristiche del fenomeno	70
4.6.2.7	Parametri caratteristici per classe di attenzione	71
4.6.2.8	Affidabilità complessiva della valutazione	71
4.6.3	Livello 2 - Classe di attenzione	71
4.6.3.1	Suscettibilità	71
4.6.3.2	Vulnerabilità	73
4.6.3.3	Esposizione	75
4.6.3.4	Classe di attenzione frane	77
	CONCLUSIONI	79
	BIBLIOGRAFIA	80
	SITOGRAFIA	80

INTRODUZIONE

In un periodo storico dove le emergenze sono all'ordine del giorno, dove infatti la pandemia del Covid-19 ha sconvolto le nostre vite e la possibilità di una terza guerra mondiale risulta ad oggi concreta il nostro Paese è da tempo alle prese con un'altra urgenza: quella del degrado infrastrutturale che continua a causare crolli, fragili ed improvvisi, nella quotidianità del traffico. In questi anni, soprattutto dopo il crollo del ponte Morandi, si è parlato e scritto molto su come e cosa fare. Manutenzione e monitoraggio sono le due soluzioni di cui più si parla. Questa sfida, considerato l'altissimo numero di viadotti presenti in Italia, gestiti da enti diversi, risulta molto complicata, ma questi crolli non rappresentano casi isolati, bensì lo specchio di una realtà spesso lasciata decadere, sulla quale non sempre è stata svolta la dovuta manutenzione né le verifiche strutturali dopo decenni di esercizio.

Dopo un minuzioso lavoro durato alcuni mesi, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato le "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", valide per ponti di luce superiore a 6 metri. Il documento e la metodologia in esso descritta possono applicarsi sia ai ponti stradali che a quelli ferroviari; tuttavia la presente versione del documento tratta prevalentemente i dettagli operativi nel caso dei ponti stradali. Questo risulta essere uno strumento indispensabile, sia per i tecnici che per gli enti, al fine, (nei prossimi anni) di pianificare e schedare le infrastrutture, valutandone la sicurezza e l'urgenza di interventi di sicurezza e adeguamento strutturale.

Questa tesi propone un'analisi dei fenomeni franosi in ogni aspetto che li caratterizza, andando a definire dapprima il rischio che le frane possono comportare, per poi andare a classificare le frane secondo le caratteristiche che più risultano determinanti quali dimensione, velocità ecc...

Nel secondo capitolo si può osservare il problema dei viadotti a rischio crollo in Italia, collegando questo fenomeno a quello relativo alle frane, le cui informazioni vengono tratte per lo più dalla cartografia online fornitaci da ISPRA. E' riportata poi l'analisi del crollo, dovuto ad un evento franoso, il più gravoso degli ultimi anni, ovvero quello relativo al viadotto sulla A6 (Savona-Torino).

Nel capitolo 3 vengono analizzate le "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio di ponti esistenti", con particolare riferimento all'approccio multilivello da queste proposto ed alla determinazione della classe di attenzione.

Nell'ultimo capitolo troviamo l'applicazione delle linee guida ad alcuni casi studio, analizzati ed ispezionati in prima persona. Siamo infatti andati a determinare la classe di attenzione relativa a 6 viadotti esistenti localizzati in provincia di Vicenza.

CAPITOLO I: ANALISI DEI FENOMENI FRANOSI

1.1 Il rischio idrogeologico

il rischio idrogeologico corrisponde al rischio connesso all'instabilità dei versanti, o ad esondazioni di corsi fluviali dovuto a particolari condizioni ambientali, atmosferiche, meteorologiche e climatiche. E' uno dei rischi ambientali più connessi alle attività umane e di conseguenza un evento connesso a questo rischio può provocare danni con possibili conseguenze sull'incolumità della popolazione e sulla sicurezza di attività e servizi sul territorio.

Nel rapporto UNESCO di VARNES & IAEG del 1984 è stata effettuata un'analisi in cui si è calcolato il rischio totale relativo al dissesto idrogeologico come:

$$R_t = (E) \cdot (R_s) = (E) \cdot (H \cdot V)$$

Figura 1.1.1 : Formula rischio idrogeologico

Dove:

- R_t : Rischio totale, associato ad un determinato evento catastrofico, esprime numericamente i danni attesi in termini di vite umane, persone ferite, danni alle proprietà ed alle attività economiche;
- E : Elementi a rischio, ovvero la popolazione, le proprietà e le attività economiche potenzialmente in pericolo associate ad un determinato fenomeno catastrofico;
- R_s : Rischio specifico, cioè il grado atteso di perdite, legato ad un particolare evento, si può esprimere con il prodotto di H per V ;
- H : Pericolosità naturale, rappresenta la probabilità che un determinato evento possa manifestarsi in uno specifico luogo in un certo intervallo di tempo;
- V : Vulnerabilità, ovvero il grado di danno atteso da un certo tipo di evento, può variare da 0 a 1 con 0 (nessun danno) e 1 (distruzione totale);

In presenza di un dissesto idrogeologico bisogna tener conto di diversi fattori:

- Descrizione dello stato di natura: raccogliere informazioni relative a specifici potenziali fenomeni catastrofici, facendo riferimento a informazioni storiche;
- Valutazione dell'intensità: valutare il grado di danno che il fenomeno analizzato può sopportare;
- Valutazione della pericolosità: l'uso di metodi statistici o deterministici per valutare la probabilità che un particolare evento si verifichi entro un certo periodo di tempo;
- Valutazione del rischio: consiste nell'individuare il rischio ed attribuirne un valore;

- Gestione del rischio: una serie di interventi atti a diminuire i possibili danni, che potrebbe portare sull'ambiente, sui manufatti e sulla popolazione, l'evento considerato.

I fenomeni associati al rischio idrogeologico hanno caratteristiche specifiche che possono essere parzialmente individuate su specifiche mappe, le cause possono essere naturali o antropiche. Frane e inondazioni possono dipendere da fattori naturali legati a condizioni meteorologiche avverse, topografia del suolo o del bacino idrico, del pendio e della copertura vegetale. In questi eventi oggi, l'attività umana gioca un ruolo importante, che è associato ai cambiamenti delle condizioni climatiche causati dall'emissione di grandi quantità di gas serra nell'atmosfera, con i continui effetti dell'impoverimento del suolo, della cementificazione e dell'intensa urbanizzazione.

1.2 Le frane

La superficie terrestre è soggetta ad una continua evoluzione, dovuta in parte al tempo, in parte a processi di tipo geologico, geomorfologico e meteorologico. Tra questi processi è possibile evidenziare le frane in senso stretto e fenomeni di deformazione lenta, tutti raggruppati nel più generico termine di "fenomeni franosi".

In letteratura si possono individuare molteplici definizioni di frane e fenomeni franosi:

- Terzaghi, 1950.
"Rapido spostamento di una massa di roccia, o di terreno residuale o sedimenti, adiacenti ad un pendio, con movimento del centro di gravità della massa stessa verso il basso e verso l'esterno".
- Varnes, 1958.
"Movimento verso il basso e verso l'esterno di materiali (rocce e terreni naturali, materiali di riporto, o combinazioni di più materiali) formanti un pendio".
- Skempton & Hutchinson, 1969.
"Movimento di masse di terreno o di roccia lungo un pendio, risultante da una rottura per taglio ai limiti della massa in movimento".
- Cruden, 1991.
"Movimento di una massa di roccia, terreno o detriti lungo un pendio".

1.3 Le parti di un versante in frana

Per descrivere correttamente una frana si fa ricorso ad una terminologia precisa. In una frana si distinguono:

- Una zona di scorrimento: zona della frana all'interno della quale il materiale mobilizzato giace ad una quota inferiore a quella della superficie originaria del pendio; In questa zona si possono distinguere ulteriormente:

- Il coronamento: è adiacente alla parte superiore della scarpata principale ove il materiale roccioso, formante il pendio originario del versante, si trova ancora in posto indisturbato o poco disturbato da crepe o fessure di collasso;
 - La scarpata principale: superficie ripida che si crea nella parte alta della zona indisturbata in seguito al movimento di materiale; `e la zona del versante da cui ha avuto origine il distacco del materiale;
 - La superficie di rottura: superficie che isola inferiormente il materiale che ha subito movimento; dal punto di vista meccanico è chiamata superficie di scorrimento o di taglio;
 - Il corpo principale: è la porzione del corpo di frana che giace al di sopra della superficie di rottura, quindi tra la scarpata principale e il piede della frana. Entro il corpo principale si possono riconoscere: la testata: la parte più alta del materiale in frana, al contatto con la scarpata principale; le scarpate secondarie: superfici ripide che interrompono la continuità del materiale franato.
- Una zona di accumulo: zona della frana all'interno della quale il materiale mobilizzato giace ad una quota superiore a quella della superficie originaria del pendio. Per materiale mobilizzato si intende il materiale che si è mosso rispetto alla sua posizione originaria e si è deposto più a valle. In questa zona si possono distinguere:
 - La superficie di separazione: superficie lungo la quale si ha il contatto tra il materiale franato e quello sottostante, in posto;
 - Il piede: coincide con il punto terminale, a valle, della superficie di rottura o scivolamento; è la zona più distante dalla scarpata principale e di forma generalmente curva.

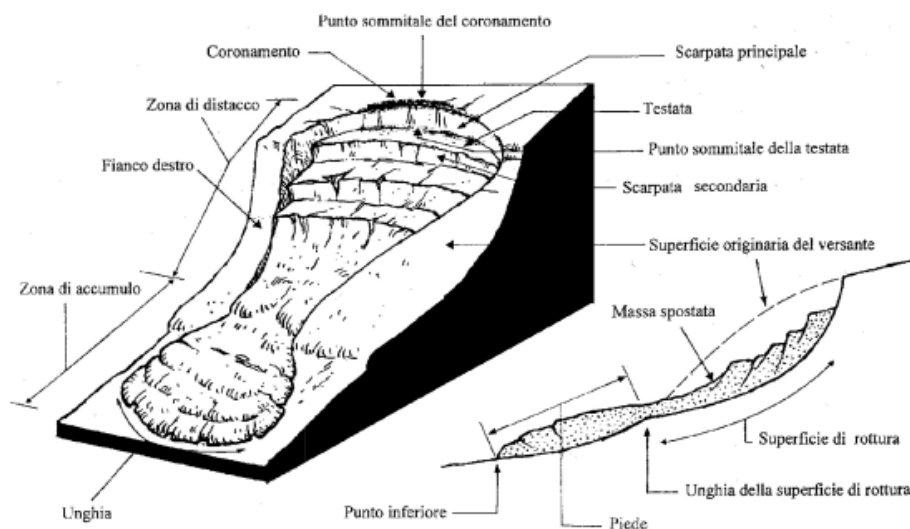


Figura 1.3.1 : Nomenclatura di un versante in frana

1.4 La velocità di una frana in relazione alla sua pericolosità

I fenomeni franosi coprono una vastissima casistica di eventi, il volume dei corpi di frana può variare da poche decine a parecchi milioni di metri cubi, con velocità variabili da alcuni mm/anno a decine di m/s.

I pendii soggetti a movimenti franosi si possono distinguere in base al loro stato di attività in:

- attivo: in movimento;
- quiescente: attualmente non in movimento, ma che potrebbe trasformarsi in pendio attivo, nel caso in cui si presentasse la causa di movimento originale;
- stabilizzato: non in movimento, in quanto le cause di movimento risultano assenti, per eventi naturali o per intervento umano; inattivo: non risultano movimenti negli ultimi cicli stagionali;
- inattivo: non risultano movimenti.

Il pendio è un sistema meccanico di tipo geotecnico le cui risposte meccaniche ai cambiamenti nel tempo delle condizioni al contorno si esplicano in movimenti di pendio.

Nel 1981 Hungr propone una scala di classificazione dei fenomeni franosi basata sulla loro velocità di movimento ed associata ad una scala di danni. Questa scala è basata sulle ipotetiche conseguenze di un fenomeno franoso e pone precise soglie di velocità che delimitano 7 classi. Il valore minimo (1) indica un movimento estremamente lento privo di conseguenze, il valore massimo (7), classificato come estremamente rapido ha conseguenze catastrofiche.

Classe	Descrizione	Danni osservabili	Velocità	(m/s)
7	Estremamente rapido	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.	5 m/s	5
6	Molto rapido	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	3m/min	5×10^{-2}
5	Rapido	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.	1.8 m/h	5×10^{-4}
4	Moderato	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.	13m/mese	5×10^{-6}
3	Lento	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se il movimento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	1.6 m/anno	5×10^{-8}
2	Molto lento	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	16 mm/anno	5×10^{-10}
1	Estremamente lento	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni		

Figura 1.4.1 : Classificazione di Hungr (1981)

1.5 Classificazione delle frane

Il fenomeno franoso è la risposta di un pendio, nei terreni e nelle rocce, ai cambiamenti delle condizioni al contorno, di carattere idraulico e ambientale. Tale risposta si esplicita in un



movimento, detto cinematismo, che è uno dei principali criteri di classificazione di questo fenomeno. La classificazione di fenomeni franosi generalmente adottata in campo internazionale è quella di Varnes del 1978, rivista poi da Cruden e lo stesso Varnes nel 1996. Essa suddivide tali fenomeni franosi in classi in base al tipo di cinematismo e al tipo di materiale, definendo dunque una casistica che include ogni possibile evento. I cinque tipi di cinematismo distinti sono: crollo, ribaltamento, scivolamento, espansione, colata, ai quali si aggiungono i fenomeni complessi, considerati a parte. I tre tipi di materiale sono: roccia, detrito, terra.

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
	TOPPLES	Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	Rotational	Single rotational slide (slump)	Multiple rotational slide	Successive rotational slides
	Translational (Planar)	Rock slide	Debris slide	Earth slide
SPREADS	<p>e.g. cambering and valley bulging</p>			Earth spread
FLOWS	Solifluction flows (Periglacial debris flows)		Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX	e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Figura 1.5.1 : Classificazione dei fenomeni franosi

Come nella classificazione da tabella in base al cinematismo abbiamo dunque:

- Frane di crollo

Il crollo (*fall*) consiste in un distacco di un volume di materiale da un pendio molto ripido o subverticale in cui si presenta una discontinuità che può generare il distacco. Esso è frequentemente rilevato nelle rocce. Dopo il distacco di massi o blocchi di materiale lapideo, essi discendono in caduta libera fino all'impatto e successivamente il loro moto evolve in rimbalzo e rotolamento o scivolamento, compatibilmente con la morfologia e la rigidità del pendio, la dimensione relativa tra il blocco in caduta e gli elementi del substrato costituenti il pendio stesso e dalla presenza di situazioni particolari come può essere la presenza di vegetazione. A seguito dell'impatto e degli eventuali rimbalzi, c'è un'ulteriore possibilità di frammentazione del blocco con fenomeni di scoppio e di disgregazione dei volumi rocciosi, i quali inoltre possono provocare la proiezione di schegge anche a notevole distanza.

I crolli in roccia si distinguono in:

- grandi frane da crollo: sono coinvolti grandi volumi con il distacco di un ammasso roccioso;
- caduta massi: riguarda singoli blocchi di roccia fino a 10 m³ divisi da discontinuità; dopo la fase di rimbalzo si ha lo scivolamento o rotolamento sino all'arresto.

- Ribaltamenti

Il ribaltamento è il risultato di una rotazione di una massa tipicamente di roccia rispetto ad un punto o asse al di sotto del centro di gravità della massa stessa. In accordo con Goodman e Bray si distinguono due tipi di ribaltamento: ribaltamento a blocchi: sono presenti due piani di discontinuità, uno sub-orizzontale e uno sub-verticale, che isolano dei blocchi che interagiscono tra loro; ribaltamento flessionale: è presente un sistema di discontinuità che immerge nel pendio e che genera delle lastre di roccia o delle colonne di roccia soggette al ribaltamento. Le lastre si inflettono sotto l'azione del proprio peso, sotto l'azione dell'acqua o sotto l'azione di appoggio delle lastre più a monte. Quando la lastra si inflette si generano delle fratture dovute al raggiungimento della resistenza a trazione della roccia. I due tipi di ribaltamento si possono combinare in caso di inflessione, generazione di una superficie di rottura e poi ribaltamento dei blocchi.

- Scivolamenti planari o traslazionali

Lo scivolamento è il movimento verso il basso di suolo o roccia, che avviene nelle zone superficiali di un pendio lungo una superficie di taglio che genera un cambiamento nel pendio. Si differenzia in planare e rotazionale. Lo scivolamento traslazionale è generalmente un fenomeno superficiale e consiste in uno scorrimento di materiale lungo una superficie planare, solitamente coincidente con orizzonti di debolezza strutturale quali fratture, superfici di stratificazione, superfici di contatto tra substrato roccioso e materiale di copertura, superfici di contatto tra strati con diverse proprietà geotecniche. In generale l'innescò del movimento è anticipato dalla formazione di fessurazioni trasversali,

sub-rettilinee e discontinue, a seguito delle quali si verifica il collasso con scivolamento verso valle.

- Scivolamenti rotazionali

Lo scivolamento rotazionale è lo scorrimento lungo una superficie curvilinea concava verso l'alto. Rispetto allo scivolamento planare è un fenomeno più profondo, essendo il rapporto tra profondità del corpo di frana D e ampiezza L variabile tra 1.2 e 1.5. Il fenomeno si può presentare sia nelle rocce che nei terreni, e in entrambi i casi all'interfaccia si può generare un ulteriore tension crack e quindi una nuova superficie di rottura, caratterizzando il fenomeno come retroattivo.

- Espansioni

Le espansioni avvengono tipicamente su grandi porzioni di territorio e su pendii poco inclinati o su piani campagna orizzontali. Il cinematismo è un movimento laterale molto lento, che può essere associato anche ad altri tipi di cinematismo. L'espansione in roccia e terreno può essere dovuta ad una formazione con buone caratteristiche meccaniche poggiate su un'altra formazione con caratteristiche scadenti. Per il movimento del terreno sottostante possono formarsi delle fratture nel materiale superiore, fino ad arrivare ad una divisione in blocchi che si muovono molto lentamente.

- Colate detritiche

Le colate detritiche, comunemente anche chiamate debris flow, si caratterizzano come un rapido movimento di una massa nel quale la combinazione di materiale sciolto, roccia, materia organica, aria e acqua si mobilita verso valle trasportando materiale tipicamente detritico. La differenza rispetto agli scivolamenti planari è che nei debris flow il movimento non avviene solamente lungo la superficie di separazione tra substrato e massa in frana, ma è distribuito in modo continuo anche nel corpo frana, che si comporta quindi come un fluido viscoso, adattando la sua forma ad ogni cambiamento. La proprietà caratterizzante della colata è la sua velocità di propagazione, che può variare da pochi mm/anno a m/h sino a m/s, provocando movimenti estremamente rapidi che possono essere distruttivi. Le colate detritiche sono caratterizzate da alcune peculiarità che le rendono facilmente riconoscibili dall'esterno: l'associazione del pendio a ripidi canali, la mancanza di una nicchia di distacco e una forma allungata e stretta della scarpata principale, priva di vegetazione, sono infatti tipiche di questo fenomeno franoso. Le cause principali di questi fenomeni sono attribuite a intense precipitazioni o rapidi scioglimenti di neve, che erodono e mobilitano il materiale sciolto o le rocce in pendii ripidi, azioni facilitate dall'assenza di vegetazione, come ad esempio a seguito di un incendio.

- Fenomeni complessi

La classificazione esposta sin qui considera l'avvenimento dei singoli eventi franosi, ma molto spesso i movimenti di pendio sono una combinazione di due o più tipologie di cinematismo. Tale combinazione può essere di tipo temporale, ossia si verificano in successione due eventi con due diverse modalità, o di tipo spaziale, quando si verificano contemporaneamente due differenti cinematismi in diverse parti di pendio.

1.6 Il monitoraggio delle frane

Un efficiente sistema di monitoraggio (non solo geotecnico) deve consentire nel tempo di definire:

- superficie e profondità del fenomeno franoso (volumi in gioco);
- i movimenti in atto e la loro variazione spazio-temporale;
- la dipendenza dei movimenti al mutare delle condizioni meteorologiche e idrauliche;
- l'influenza di fattori esterni non direttamente riconducibili al movimento franoso (es. sismi o microsismi);
- stato tensionale dell'ammasso roccioso;
- efficienza di eventuali opere di stabilizzazione/consolidamento realizzate;
- controllo strumentale delle stesse nel tempo.

Il monitoraggio consiste nella valutazione della possibile evoluzione spazio-temporale del fenomeno di instabilità; per affrontare un evento franoso infatti non è sufficiente individuare la tipologia di movimento, ma anche la corretta identificazione dello stato del versante e della distribuzione dell'attività del movimento. Un monitoraggio attento e continuo può essere molto proficuo dal punto di vista della gestione del rischio nell'ambito della protezione civile.

Le principali tipologie di reti di monitoraggio sono:

- rete topografica, per gli spostamenti superficiali;
- rete inclinometrica, per gli spostamenti profondi;
- rete estensimetrica, per l'apertura delle fessure;
- rete piezometrica, per le oscillazioni della tavola d'acqua;
- rete idrometeorologica, per i dati di pioggia, temperatura, etc.

Il monitoraggio dell'acqua in un versante in frana è molto importante, dal momento che nella maggior parte dei casi la sua presenza rappresenta un fattore che va a discapito della stabilità del versante stesso. Per individuare e monitorare la quota piezometrica dell'acqua e per determinare le pressioni neutre all'interno della massa in movimento si ricorre dunque alle misure piezometriche.

Tali misure si effettuano tramite dei piezometri, che consistono in un tubo piezometrico che viene risalito dal liquido fino a raggiungere il piano dei carichi idrostatici che corrisponde ad

una pressione relativa nulla del fluido. Esistono diverse tipologie di piezometro, e la scelta viene effettuata in base alle caratteristiche della zona in frana e in particolare al coefficiente di permeabilità del terreno, che condiziona fortemente il tempo di risposta del piezometro. Per materiali ad alta permeabilità infatti, le variazioni della pressione idrostatica producono variazioni del livello dell'acqua nel piezometro pressoché istantanee; al contrario, in caso di mezzi a bassa permeabilità il tempo necessario per raggiungere il livello di equilibrio può essere molto lungo.

L'inclinometro è uno strumento che misura la deviazione dalla verticalità, misurando la dinamica evolutiva dello spostamento lungo la superficie. Esso consiste in una tubazione in alluminio, dotata di quattro scanalature, collocato verticalmente nel terreno. Le letture vengono effettuate a intervalli di quota minimi - tipicamente 0.5- 1m - tramite un'apposita sonda che, disposta secondo l'asse del foro, ne misura l'inclinazione e l'azimut.

Dopo una prima lettura iniziale, chiamata lettura degli zeri, in quanto il fondo viene imposto a zero, le successive letture nel tempo permettono di visualizzare la dinamica evolutiva dello spostamento lungo superficie, ottenendo il profilo degli spostamenti inclinometrici. Perché le misure inclinometriche risultino efficaci è ovviamente necessario che l'inclinometro vada oltre la superficie di scorrimento, raggiungendo con l'estremità una porzione di terreno stabile, che avrà dunque uno spostamento nullo. Con il confronto dei dati inclinometrici con i dati pluviometrici è inoltre possibile ricercare la correlazione tra movimenti della frana e particolari eventi meteorici, dato molto importante per esempio dal punto di vista della protezione civile per eventuali allertamenti. È evidente che in termini di costi, tempi e risorse, l'installazione di una rete di monitoraggio di tipo inclinometrico risulta essere impegnativa, ma è di fondamentale importanza per frane di particolare rilevanza, e per questo motivo estremamente diffusa.

Il monitoraggio dell'acqua in un versante in frana è anch'esso molto importante, dal momento che nella maggior parte dei casi la sua presenza rappresenta un fattore che va a discapito della stabilità del versante stesso. Per individuare e monitorare la quota piezometrica dell'acqua e per determinare le pressioni neutre all'interno della massa in movimento si ricorre dunque alle misure piezometriche. Tali misure si effettuano tramite dei dispositivi chiamati piezometri, che consistono in un tubo piezometrico che viene risalito dal liquido fino a raggiungere il piano dei carichi idrostatici che corrisponde ad una pressione relativa nulla del fluido. Esistono diverse tipologie di piezometro, e la scelta viene effettuata in base alle caratteristiche della zona in frana e in particolare al coefficiente di permeabilità del terreno, che condiziona fortemente il tempo di risposta del piezometro. Per materiali ad alta permeabilità infatti, le variazioni della pressione idrostatica producono variazioni del livello dell'acqua nel piezometro pressoché istantanee; al contrario, in caso di mezzi a bassa permeabilità il tempo necessario per raggiungere il livello di equilibrio può essere molto lungo.



1.7 I possibili interventi sui versanti

La messa in sicurezza di versanti interessati da fenomeni franosi negli ultimi anni è stata oggetto di una crescente attenzione da parte di pubbliche amministrazioni ed enti gestori, in quanto è stato verificato come le conseguenze indesiderate di tali fenomeni possano essere di grande rilevanza sia economica che sociale. Il rischio relativo ad eventi franosi si può eliminare diminuendo la pericolosità del versante, con interventi geotecnici, o la sua esposizione, spostando i beni esposti da conseguenze indesiderate. Quest'ultima è considerata solamente come una soluzione d'emergenza.

È possibile suddividere gli interventi in due tipologie:

- interventi che riducono le forze che tendono a provocare la rottura.

Le forze instabilizzanti si possono ridurre riducendo gli sforzi tangenziali lungo la superficie di scivolamento, ad esempio attraverso scavi di alleggerimento a monte del pendio, abbattimento della scarpata o rinfianchi al piede; oppure trasferendo degli sforzi tangenziali ad elementi strutturali ancorati ad una formazione non interessata dal fenomeno, quali muri di sostegno, paratie, palancole o pali.

- interventi che aumentano le forze resistenti.

L'aumento delle forze stabilizzanti può essere raggiunto incrementando gli sforzi normali ed effettivi lungo la superficie di scivolamento, attraverso la realizzazione di elementi strutturali con tiranti pretesi oppure con rinfianchi al piede; oppure riducendo le pressioni neutre in punti interni al volume in frana o lungo il contorno di esso, con l'allontanamento delle acque superficiali e l'ampia gamma dei sistemi di drenaggio; oppure migliorando la resistenza al taglio del materiale e modificando le caratteristiche meccaniche del terreno, tramite addensamento o iniezioni.

CAPITOLO II: IL PROBLEMA DEI VIADOTTI IN FRANA

2.1 Le frane in Italia: ISPRA, IFFI e PAI

L'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da fenomeni franosi, con 620.808 frane (area di circa 23.700 km², pari al 7,9% del territorio nazionale).

Tali dati derivano dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI) realizzato dall'ISPRA (Istituto per la protezione e la ricerca ambientale) e dalle Regioni e Province Autonome secondo modalità standardizzate e condivise. L'Inventario IFFI è la banca dati sulle frane più completa e di dettaglio esistente in Italia, per la scala della cartografia adottata (1:10.000) e per il numero di parametri ad esse associati. Un quadro sulla distribuzione delle frane in Italia può essere ricavato dall'indice di franosità, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale, calcolato su maglia di lato 1 km.

Ogni anno sono qualche centinaio gli eventi principali di frana sul territorio nazionale che causano vittime, feriti, evacuati e danni a edifici, beni culturali e infrastrutture lineari di comunicazione primarie.

L'ultimo rapporto dell'ISPRA, sottolinea come un terzo delle frane sia a «cinematismo rapido». Scende giù rapidamente, cioè, «con gravi conseguenze in termini di vite umane». Ma questa è solo la fotografia di quello che è già successo. Più interessante, e preoccupante, è la previsione di quello che potrebbe accadere. Specie se incrociata con la mappa delle infrastrutture che attraversano il nostro Paese, con strade, ponti, ferrovie, viadotti.

Risulta che il 16,6% del territorio italiano rientra in questo elenco poco rassicurante. Non sorprende che il valore massimo (83,2%) sia in una regione tutta montuosa, come la Valle d'Aosta. Colpisce che subito dopo, con il 60,1%, venga un territorio in larga parte pianeggiante, ma attraversato da tanti fiumi, come l'Emilia Romagna. La Lombardia è in una posizione media, con il 16%, quasi il doppio del Lazio. In fondo c'è invece la Sicilia, con il 2,9%. Se si sovrappone questa mappa del rischio alla cartina delle infrastrutture italiane ci sono 1.900 chilometri di rete ferroviaria, non solo ponti ma anche linea normale, che attraversano zone a rischio idrogeologico.

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

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

La superficie complessiva delle aree a pericolosità da frana PAI e delle aree di attenzione in Italia è pari a 59.981 km² (19,9% del territorio nazionale) (Mosaicatura v. 3.0 - Dicembre

2017). Se prendiamo in considerazione le classi a maggiore pericolosità (elevata P3 e molto elevata P4), assoggettate ai vincoli di utilizzo del territorio più restrittivi, le aree ammontano a 25.410 km², pari all'8,4% del territorio nazionale (Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio. Edizione 2018. ISPRA, Rapporti 287/2018).

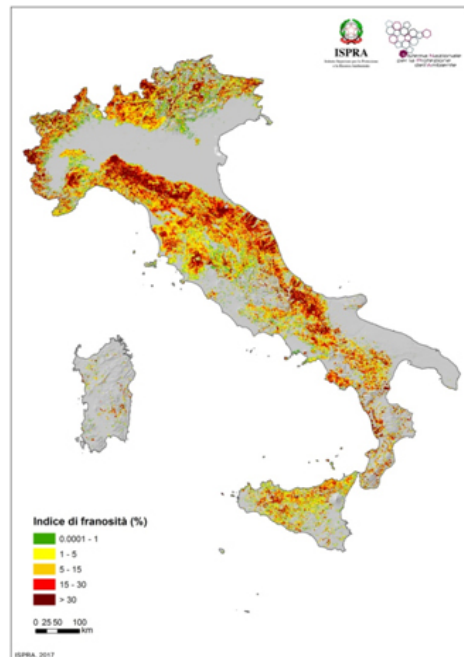


Figura 2.1.1 : indice di franosità in Italia

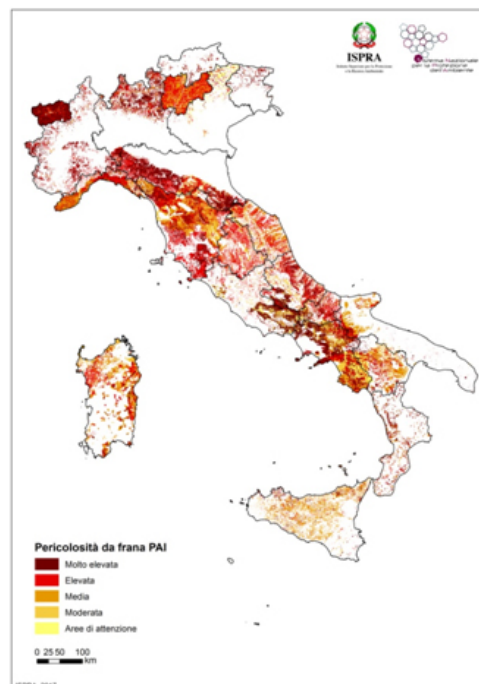


Figura 2.1.2 : pericolosità da frana in Italia

2.2 I viadotti a rischio crollo in Italia

Il maltempo in Italia con il crollo del ponte sull' A6 Torino-Savona ci ha riportato alla luce il problema cronico delle infrastrutture italiane e dei ponti a rischio crollo nel nostro Paese. Purtroppo la tragedia del Ponte Morandi ci ha mostrato il lato peggiore della nostra rete autostradale che è vecchia e soprattutto mal mantenuta. Si è acceso così l'allarme ponti con maggiori attenzioni sulle strutture più fatiscenti ed i viadotti più pericolosi delle autostrade che sono aperti alla circolazione.

In Italia ci sono almeno 1.900 ponti che presentano «altissimi rischi strutturali» sui 61 mila esistenti nel Paese, secondo uno studio di Carlo Castiglioni e Alessandro Menghini del Politecnico di Milano. È il dato emerso dal convegno "Uno sguardo oltre il ponte", organizzato dalle società Bureau Veritas Nexta e da Osmos. Più del 50% dei ponti italiani hanno un'età superiore ai 50 anni contro una media nei Paesi del G7 che si attesta fra i 20 e i 30 anni.

In questo capitolo andiamo a porre attenzione ad alcune frane che hanno nel recente passato interessato il nostro paese, ma più precisamente le nostre infrastrutture e gli utenti che usufruiscono di queste ultime.

2.3 Frana 24/11/2019 (A6 Savona-Torino)

Il 24 novembre 2019 una porzione di circa 30 metri di viadotto della A6 Torino-Savona in direzione Torino è crollata a circa 1,5 chilometri dalla località ligure, all'altezza del km 122 nella zona di Altare, in località Madonna del Monte. Per puro caso fortuito, non sono stati coinvolti automezzi e persone. I tecnici hanno subito eseguito sul posto una verifica per l'integrità del viadotto in direzione Savona, che è comunque risultato in sicurezza.

La frana in oggetto è stata causata da una ondata di maltempo straordinaria. Le frane sono state infatti molte decine nel medesimo periodo da Genova a Ventimiglia, sottolineando così una fragilità importante del territorio.

La frana in questione, che ha travolto i pilastri del viadotto portando via 30 metri di campata di una carreggiata e si è fermata sotto i piloni dell'altra, era composta da circa 30 mila metri cubi di materiale ed è piombata sul viadotto da un'altezza di 300 metri correndo a circa 20 metri al secondo.

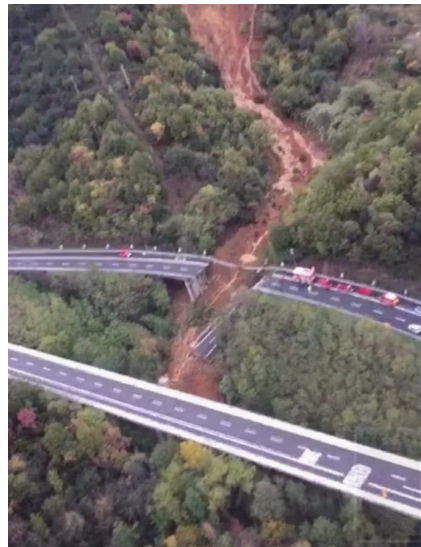


Figura 2.3.1 : Crollo Viadotto A6

Qualche mese dopo, il 22 Febbraio 2020, viene poi riaperto il nuovo viadotto Madonna del Monte sulla A6 Torino-Savona, lungo 58 metri e costruito in acciaio. Il viadotto è realizzato in un'unica campata, senza pilastri intermedi, così da scavalcare interamente la zona oggetto della frana. La costruzione è avvenuta in circa 70 giorni, ovvero dalla data del dissequestro dell'area, addirittura in anticipo rispetto ai tempi previsti. I lavori hanno visto un impiego medio di 40 addetti al giorno, in rappresentanza delle 27 società coinvolte sotto il coordinamento di Itinera. L'impalcato, del peso di circa 300 tonnellate, è stato realizzato in acciaio corten, scelto per le caratteristiche di resistenza alla corrosione e agli agenti atmosferici. Nell'ambito dei lavori del nuovo viadotto sulla A6 sono state installate circa 1.300 metri di barriere di sicurezza con il massimo livello di contenimento.

Risulta d'altra parte interessante capire se un fenomeno del genere potesse essere previsto e se, pertanto, ci possano essere strategie idonee a ridurre il rischio che disastri simili capitino, magari con conseguenze anche peggiori. In prossimità del viadotto non erano segnalate frane in attività. Nell'immagine, estratta dall'inventario IFFI, possiamo notare la presenza della frana avvenuta, identificata come di grandi dimensioni, che appunto rappresenta la colata rapida (colore verde chiaro) prima descritta. Possiamo comunque notare come nella zona siano presenti anche altri piccoli fenomeni franosi quali scivolamenti rotazionali-traslativi, (colore giallo) e crolli-ribaltamenti (colore rosso), avvenuti negli anni precedenti al crollo del ponte sulla A6.

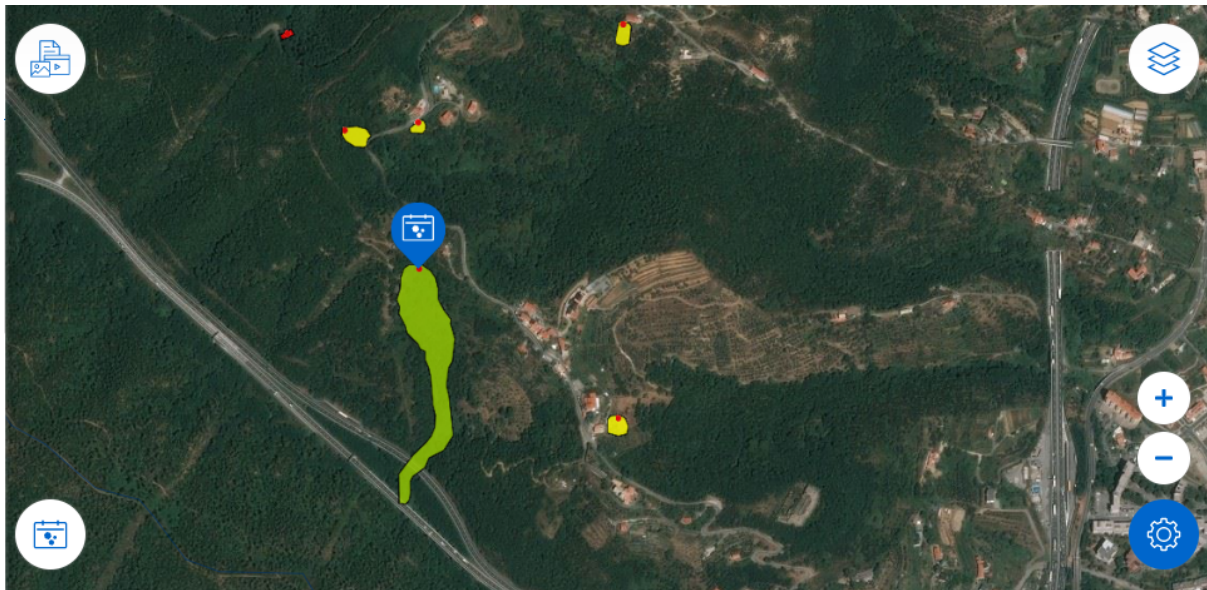


Figura 2.3.2 : Cartografia Iffi relativa alla zona del crollo del viadotto sull' A6

La frana in oggetto è stata così descritta dall'inventario IFFI tramite una scheda redatta a novembre 2021: "Scivolamento roto-traslazionale evolvente in colata rapida innescatasi sul versante a valle della "Madonna del Monte" che ha causato il crollo di un tratto del viadotto sull'autostrada A6 Torino-Savona. La carreggiata sud nel tratto tra Altare e il Bivio con la A10, è stata riaperta, a doppio senso di marcia, il 29 novembre, e nuovamente chiusa il 1 dicembre perché il monitoraggio della frana ha evidenziato il superamento di alcune soglie di sicurezza".

SPEA Ingegneria Europea S.p.a. nella relazione generale per i lavori di miglioramento della sicurezza ai sensi dell' art. 11 legge 531/82 (interventi straordinari di ristrutturazione viadotti) scrive: "Il viadotto filtro I di lunghezza complessiva pari a 77.60 m, è costituito da 3 campate sorrette da 2 pile monofusto, costruite su fondazioni dirette, poggianti su substrato roccioso, talvolta parzialmente alterato. Il viadotto supera una ripida incisione con orientazione approssimativa SW-NE, a cavallo della quale sono ubicate le pile; i versanti sono piuttosto acclivi, di difficile accesso e ricoperti da una fitta vegetazione, costituita sia da arbusti che da alberi ad alto fusto.

L'area in esame è stata oggetto di un rilievo plano-altimetrico (restituito in scala 1:200) e di analisi geomorfologiche condotte sia in sito che mediante fotointerpretazione, mirate all'individuazione di eventuali aree di dissesto, nonché alla localizzazione di pile che presentino indizi o potrebbero essere potenzialmente esposte a fenomeni di scalzamento dei plinti di fondazione.

Il rilievo geomorfologico in sito non ha evidenziato segnali di dissesto che potessero risultare critici o preoccupanti per la stabilità delle fondazioni; tutta l'area attraversata dai viadotti è, però, interessata da numerosi fenomeni di erosione delle coltri detritico-colluvionali, causati principalmente dal ruscellamento superficiale delle acque meteoriche e dallo scorrimento dei flussi idrici nelle discontinuità morfologiche dei versanti. Tali fenomeni sono amplificati



dalle caratteristiche geomeccaniche del terreno di copertura, nonché dalla notevole acclività dei versanti su cui poggiano le pile.

L'erosione della coltre di copertura è particolarmente accentuata in corrispondenza della pila 2, dove si nota il parziale affioramento del plinto di fondazione. In corrispondenza della spalla lato Savona, inoltre si osserva la presenza di una scarpata molto acclive, interessata da fenomeni di erosione e disgregazione superficiale.

Per limitare e controllare i fenomeni sopra descritti, gli interventi proposti a presidio delle pile del viadotto consistono essenzialmente nell'esecuzione di opere strutturali di difesa dallo scalzamento e di interventi di consolidamento diffuso delle coltri superficiali".

Si può quindi vedere come SPEA sia andata a lavorare per rimediare ai danni portati dall'evento franoso, andando prima a localizzare essenzialmente i danni portati dal dissesto e quindi i possibili rischi di danni futuri dovuti alla criticità di alcuni elementi per poi andare a definire la migliore soluzione operativa per la difesa dell'infrastruttura. A questo va aggiunto il necessario monitoraggio, che come ci riporta sempre l'inventario franoso IFFI è costituito da: "interferometria radar satellitare, telecamera/fotocamera, monitoraggio idrometeorologico (pluviometro, termometro, nivometro)". Risulta quindi necessario un monitoraggio costante della zona che sarà quindi in grado di avvertirci qualora si ripresentassero segnali di un secondo possibile evento franoso.

CAPITOLO III: CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO, LE LINEE GUIDA

3.1 Premessa linee guida

Sono state create delle linee guida che illustrano la procedura per la gestione della sicurezza dei ponti esistenti, ai fini di prevenire livelli inadeguati di danno, rendendo accettabile il rischio.

Sono composte da più fasi:

- Censimento e classificazione del rischio;
- Verifica della sicurezza;
- Sorveglianza e monitoraggio.

Per ponti e viadotti si intendono le costruzioni, aventi luce complessiva superiore ai 6.0 m, che permettono di oltrepassare una depressione del terreno o un ostacolo, sia esso un corso o uno specchio d'acqua, altro canale o via di comunicazione o una discontinuità naturale o artificiale. In quest'ottica, le linee guida forniscono gli strumenti per la conoscenza a livello territoriale dei ponti, nella più larga accezione del termine, e per definire le priorità per l'esecuzione delle eventuali operazioni di sorveglianza e monitoraggio, di verifica e di intervento. La metodologia descritta ha un'ampia valenza, possono applicarsi, nei principi e nelle regole generali, sia ai ponti stradali che a quelli ferroviari.

3.2 L'approccio multilivello

L'approccio si sviluppa su 6 livelli differenti, aventi grado di approfondimento e complessità crescenti.



Figura 3.2.1 : Livelli delle linee guida

Più precisamente i livelli sono così descritti:

- Il Livello 0 prevede il censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali mediante la raccolta delle informazioni e della documentazione disponibile.
- Il Livello 1, esteso alle opere censite a Livello 0, prevede l'esecuzione di ispezioni visive dirette e il rilievo speditivo della struttura e delle caratteristiche geo-morfologiche ed idrauliche dell'area, tese a individuare lo stato di degrado e le principali caratteristiche strutturali e geometriche di tutte le opere, nonché potenziali condizioni di rischio associate a eventi franosi o ad azioni idrodinamiche.
- Il Livello 2 consente di giungere alla classe di attenzione di ogni ponte, sulla base dei parametri di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati elaborando i risultati ottenuti dai livelli precedenti. In funzione di tale classificazione, si procede quindi con uno dei livelli successivi.
- Il Livello 3 prevede l'esecuzione di valutazioni preliminari atte a comprendere, unitamente all'analisi della tipologia ed entità dei dissesti rilevati nelle ispezioni eseguite al Livello 1, se sia comunque necessario procedere ad approfondimenti mediante l'esecuzione di verifiche accurate di Livello 4.
- Il Livello 4 prevede l'esecuzione di valutazioni accurate sulla base di quanto indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti.
- Il Livello 5, non trattato esplicitamente nelle presenti Linee Guida, si applica ai ponti considerati di significativa importanza all'interno della rete, opportunamente individuati. Per tali opere è utile svolgere analisi più sofisticate quali quelle di resilienza, valutando la rilevanza trasportistica, analizzando l'interazione tra la struttura e la rete stradale di appartenenza e le conseguenze di una possibile interruzione dell'esercizio del ponte sul contesto socio-economico in cui esso è inserito. Per l'esecuzione di tali studi può farsi riferimento a documenti di comprovata autorevolezza a carattere internazionale; alcuni cenni sulla valutazione della rilevanza trasportistica sono riportati nel § 1.4.

Dal Livello 0 al Livello 5, la complessità, il livello di dettaglio e l'onerosità delle indagini e delle analisi aumentano, ma il numero di infrastrutture su cui applicarle, così come il livello di incertezza dei risultati ottenuti, si riduce. Il flusso logico che complessivamente definisce le relazioni tra un livello e l'altro è mostrato in Figura.

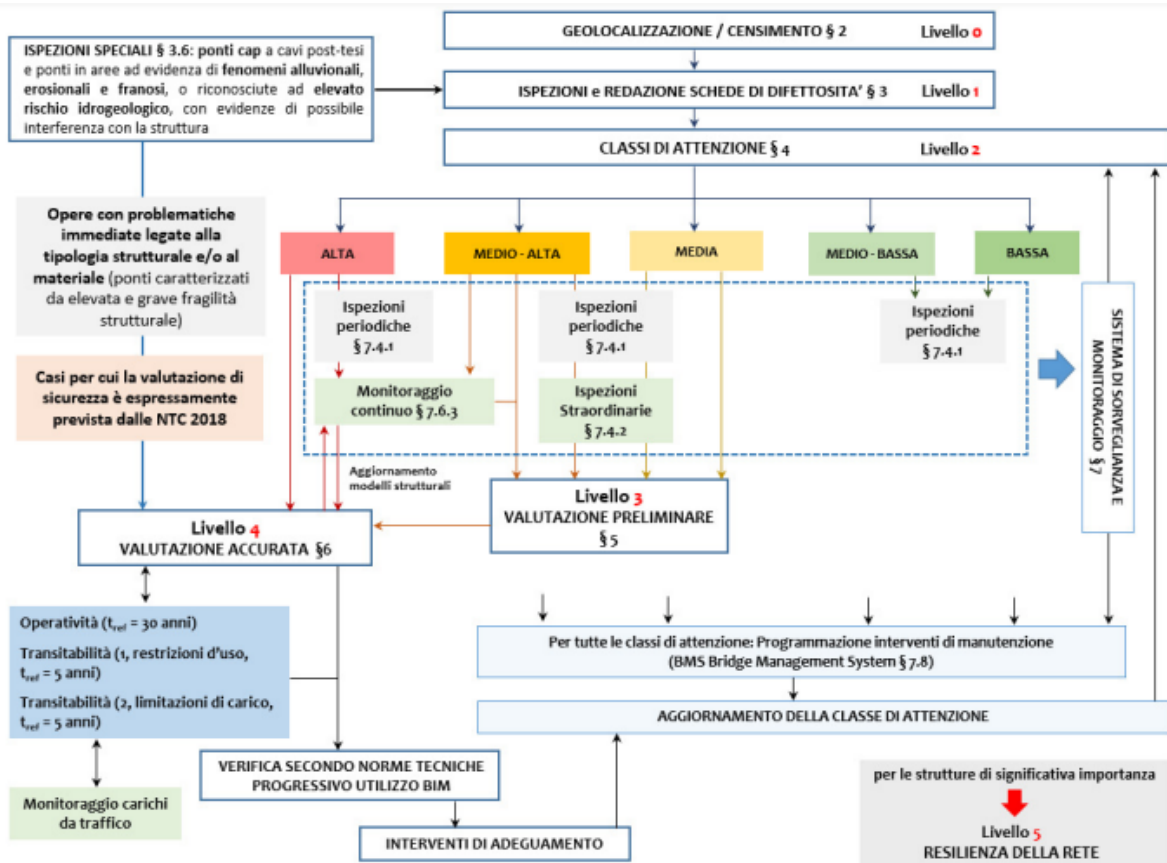


Figura 3.2.2 : Schema approccio multilivello

3.3 Livello 0. Censimento delle opere

Il censimento dei ponti previsto dal Livello 0 dell'approccio multilivello consiste nel catalogare tutte le opere presenti sul territorio, al fine di conoscere il numero di strutture da gestire e le loro caratteristiche principali, sia in relazione a geometria ed elementi strutturali, sia relativamente alla rete stradale in cui sono inserite ed al sito in cui è ubicata.

La raccolta dei dati inerente al censimento da parte degli enti proprietari/gestori permette altresì di creare un database dei ponti italiani, finalizzato a catalogare il vasto patrimonio infrastrutturale esistente. È importante che i dati siano aggiornati quando si acquisisce nuova documentazione.

Le informazioni raccolte nel censimento consentono altresì di suddividere i ponti in macro-classi ed individuare un ordine di priorità utile per programmare le ispezioni visive in situ e avviare le attività previste dal Livello 1 dell'approccio.

Per quanto riguarda i sistemi di trasporto occorre analizzare le reti stradali o di trasporto di appartenenza delle opere censite, relativamente a volumi e tipologia di traffico, oltre ad informazioni che permettono di stimare la presenza, lunghezza e percorribilità delle alternative stradali disponibili in caso di eventuali limitazioni o chiusure al transito dei veicoli sui ponti classificati.

3.4 Livello 1. Ispezioni visive e schede di difettosità

Il Livello 1 dell'approccio multilivello prevede l'esecuzione di ispezioni visive su tutte le opere presenti sul territorio e catalogate nel censimento di Livello 0.

Le ispezioni visive sono finalizzate a verificare l'attendibilità dei dati raccolti nel censimento di Livello 0, raccogliere ulteriori informazioni circa le effettive caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera in esame e del sito di costruzione e valutare, seppur in maniera speditiva e sommaria, il grado di conservazione delle strutture. È necessario, pertanto, assicurare, per quanto possibile, l'accesso al ponte in maniera più semplice ed agevole possibile e di garantirne, anche nel tempo, la completa ispezionabilità.

La strumentazione minima di base suggerita comprende semplici strumenti di misura per eseguire il rilievo geometrico della struttura, strumenti fotografici di prestazioni adeguate all'esecuzione di rilievi fotografici anche a distanza ed eventuali altri strumenti ritenuti utili per il rilievo.

In sede di ispezione visiva, oltre ad un accurato rilievo fotografico e ad un rilievo geometrico delle dimensioni principali dell'opera (laddove possibile), è eseguito il rilievo dello stato di conservazione della struttura, finalizzato ad individuare, evidenziare e segnalare, in apposite schede, i fenomeni di degrado ed i difetti presenti. Le indicazioni riportate sulle schede sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2. Nell'Allegato B sono fornite le schede di difettosità da impiegare in fase di ispezione di Livello 1.

Sono previste schede di difettosità differenziate per ogni tipologia di elementi costituenti il ponte e materiale di realizzazione (spalle in c.a., spalle in muratura, travi e traversi in c.a., ecc.). Si sottolinea l'importanza di acquisire il maggior numero possibile di dati in sede di ispezione, pertanto è bene avere l'accortezza di segnalare qualsiasi ulteriore informazione utile anche se non espressamente indicata nelle schede.

Oltre alle schede di rilievo della difettosità, per ogni ponte, occorre compilare la scheda descrittiva di ispezione (Allegato B) con le caratteristiche principali della struttura rilevate durante l'ispezione visiva, quali tipologia strutturale, tipologia e materiale degli elementi strutturali, caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio, schemi geometrici di massima e così via. Si sottolinea, inoltre, che nella scheda descrittiva di ispezione vi è un'apposita sezione dedicata al rilievo degli elementi critici, particolarmente influenti nella definizione del livello di difettosità attuale e, di conseguenza, della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica.

L'ispezione visiva in situ e la compilazione delle schede di difettosità permette 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. In particolare, si sottolinea l'importanza di ispezionare visivamente gli

elementi critici, laddove possibile, o altrimenti di segnalare l'impossibilità della loro ispezione diretta e quindi la mancata completa valutazione delle loro condizioni di conservazione.

In sede di ispezione visiva, sulla scorta della documentazione reperita al Livello 0 e di un accurato esame dell'area sulla quale sorge il ponte, tecnici adeguatamente formati sono chiamati a valutare fattori primari e secondari atti a definire la Classe di Attenzione nei riguardi di potenziali eventi franosi e/o alluvionali. Detti fattori sono individuati e raccolti in un'apposita Scheda "Frane e idraulica" (Allegato B), da compilare e allegare alle schede di difettosità strutturale. Gli elementi costituenti la scheda, per la parte relativa alle frane, sono correlati alle tre componenti della Classe di Attenzione: pericolosità/suscettibilità, vulnerabilità, esposizione. In particolare, è necessario disporre di una procedura per la valutazione speditiva del franco idraulico e di eventuali riduzioni di sezione dell'alveo dovute a fenomeni erosivi, al fine di dedurre la pericolosità/suscettibilità associata al ponte, oltre che valutare la presenza di particolari condizioni che contribuiscono ad incrementare la vulnerabilità del ponte ai fenomeni idraulici.

Il livello di esposizione al rischio idraulico, infine, porta alla valutazione delle potenziali conseguenze negative di alluvioni, oltre che per la struttura interessata, anche quali conseguenze indotte (inondazione).

La scheda di rilievo contiene quindi tutte le indicazioni necessarie per la stima dei parametri influenti per la determinazione della classe di attenzione frane e della classe di attenzione idraulica.

I dati raccolti nel censimento delle opere di Livello 0 e acquisiti durante le ispezioni di Livello 1 permettono di identificare i casi nei quali è richiesta l'esecuzione diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello e che, quindi, non sono oggetto di classificazione.

Tali casi sono essenzialmente i seguenti:

- casi in cui è necessaria la valutazione della sicurezza secondo le Norme Tecniche;
- opere caratterizzate da elevata "fragilità" intrinseca, per le quali una variazione, anche minima, delle caratteristiche strutturali compromette i meccanismi resistenti per i quali sono stati progettati e non garantisce il comportamento strutturale originario previsto, portando a situazioni di crisi di tipo fragile.

In ogni caso, tale possibilità si considera valida ogni qualvolta si ritiene necessario ed utile un approfondimento immediato delle indagini e una valutazione di rischio accurata.

Nel caso di ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi resi aderenti, e ponti in aree ad evidenza di fenomeni alluvionali, erosionali e franosi, o riconosciute ad elevato rischio idrogeologico, con evidenze di possibile interferenza con la struttura, occorre eseguire delle ispezioni speciali atte a verificare la necessità di procedere con l'esecuzione



diretta di valutazioni approfondite e di dettaglio di Livello 4. Nella pianificazione delle ispezioni speciali, priorità deve essere data ai ponti in c.a.p. a cavi post-tesi la cui costruzione risale agli anni '60/'70 e comunque a quelli per cui si rileva un avanzato e rilevante stato di degrado. I ponti di calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi sono strutture particolarmente critiche, in quanto né le tecniche di indagine convenzionali e ancor meno le ispezioni visive consentono di fornire un quadro conoscitivo adeguato sulle loro reali condizioni di degrado. D'altro canto, il degrado del calcestruzzo e la corrosione dell'armatura di precompressione possono generare importanti problemi di affidabilità, compromettendo l'effettiva capacità portante della struttura. Occorre pertanto eseguire ispezioni speciali, mirate all'individuazione del tracciato dei cavi e alla localizzazione di eventuali vuoti o difetti mediante la raccolta dei documenti originari di progetto e la redazione ed esecuzione di un piano di indagini non distruttive e alla valutazione del grado di difettosità mediante la progettazione ed esecuzione di un piano di indagini semi-distruttive.

Qualora le indagini svolte evidenzino fenomeni e/o difetti rilevanti, quali importanti stati di corrosione o rotture, anche parziali, dei cavi da precompressione, o nel caso in cui si ritenga che le ispezioni speciali non siano sufficienti a definire con adeguato grado di affidabilità lo stato di conservazione generale dell'opera ed il quadro completo dei difetti, occorre procedere a valutazioni di sicurezza approfondite, previste dal Livello 4 dell'approccio multilivello, assumendo come riferimento la parte delle presenti linee guida ad esse dedicate. Dove ritenuto necessario, occorre comunque prevedere immediati interventi di correzione dei difetti di iniezione e ripristino.

Se, invece, non si evidenziano condizioni con difettosità di elevata entità che richiedano analisi accurate e provvedimenti immediati, i ponti in calcestruzzo armato precompresso a cavi post-tesi sono soggetti all'analisi di Livello 1 per la redazione delle schede di difettosità e quindi ai metodi di classificazione previsti dal Livello 2 dell'approccio multilivello, al pari delle altre categorie di ponti, stimando quindi le classi di attenzione ad essi associate e calibrando di conseguenza l'approfondimento e le tempistiche delle operazioni di ispezione periodica, monitoraggio e verifica.

Tutte le attività svolte nell'ambito delle ispezioni speciali sui ponti di c.a.p. a cavi post-tesi, nonché i risultati ottenuti, sono descritte e dettagliate mediante le apposite schede di ispezione predisposte e allegate al presente documento (Allegato D).

3.5 Livello 2. Analisi dei rischi rilevanti e classificazione su scala territoriale

La classificazione dei ponti su scala territoriale consiste nella stima, semplificata e speditiva, dei fattori di "rischio" associati ai manufatti, censiti ed ispezionati nei livelli precedenti. Il rischio associato ai ponti è stimato in modo approssimato mediante la Classe di Attenzione (CdA). Si ritiene, infatti, fuorviante parlare di rischio vero e proprio, in quanto la sua analisi richiede valutazioni ed indagini più complesse ed approfondite rispetto a quelle semplici e speditive previste dal Livello 2 e non può basarsi sulle sole informazioni raccolte mediante ispezioni visive. La classe di attenzione è, invece, una stima approssimata dei fattori di

rischio, utile per la definizione di un ordine di priorità per l'approfondimento delle indagini/verifiche/controlli nonché per la programmazione degli interventi manutentivi e strutturali necessari.

La Linea Guida prevede 5 Classi di Attenzione:

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

Il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell'esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, effettuata elaborando i risultati scaturenti dalle ispezioni visive. Risulta conveniente distinguere quattro tipologie di rischio:

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

È dunque utile e necessario analizzare i rischi rilevanti in maniera separata ed indipendente, definendo un metodo di classificazione e, quindi, una Classe di Attenzione diversa per ognuno di essi. Note le CdA associate ai rischi rilevanti, esse sono poi combinate tra loro in modo da ottenere la CdA complessiva del ponte, su cui basare le successive azioni da intraprendere.

I tre fattori principali (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) sono determinati considerando i principali parametri che li influenzano. Questi ultimi sono distinti in parametri primari e parametri secondari.

I parametri primari e secondari sono determinati elaborando i dati raccolti mediante il censimento e le ispezioni visive.

A seconda del valore dei parametri primari si individuano 5 classi (bassa, medio-bassa, media, medio-alta, alta) definite con criteri e range specifici per ogni parametro. Tali classi sono poi corrette in funzione dei parametri secondari.

La classe di attenzione, anch'essa distinta nelle solite 5 classi, si ottiene infine dalla combinazione delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Il percorso logico alla base della determinazione della classe di attenzione è sintetizzato in Figura 3.5.1.

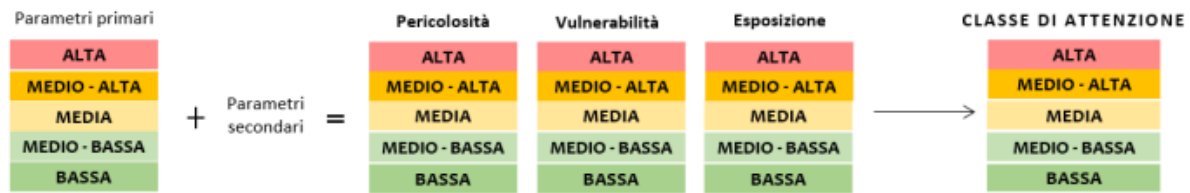


Figura 3.5.1 : determinazione CdA

Particolare cautela deve essere posta ai casi in cui non si dispone di tutte le informazioni necessarie per la definizione dei parametri, non potendo eseguire una classificazione accurata ed affidabile; tali casi devono essere segnalati esplicitamente.

3.5.1 Classe di attenzione associata al rischio frana

La definizione della classe di attenzione (CdA) associata al rischio frane tiene conto di alcuni specifici parametri che indicano il livello di coinvolgimento della struttura in eventuali fenomeni franosi, sia dal punto di vista spaziale che temporale. Qui di seguito viene illustrati in una tabella i diversi parametri che vengono considerati nel rischio frana.

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

Figura 3.5.2 : parametri CdA frane

Il livello di pericolosità/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 di Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive di Livello 1.

Qualora si possa ritenere che la probabilità di accadimento di un evento franoso coinvolgente la struttura in esame sia assente, non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto ininfluente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

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 in figura.

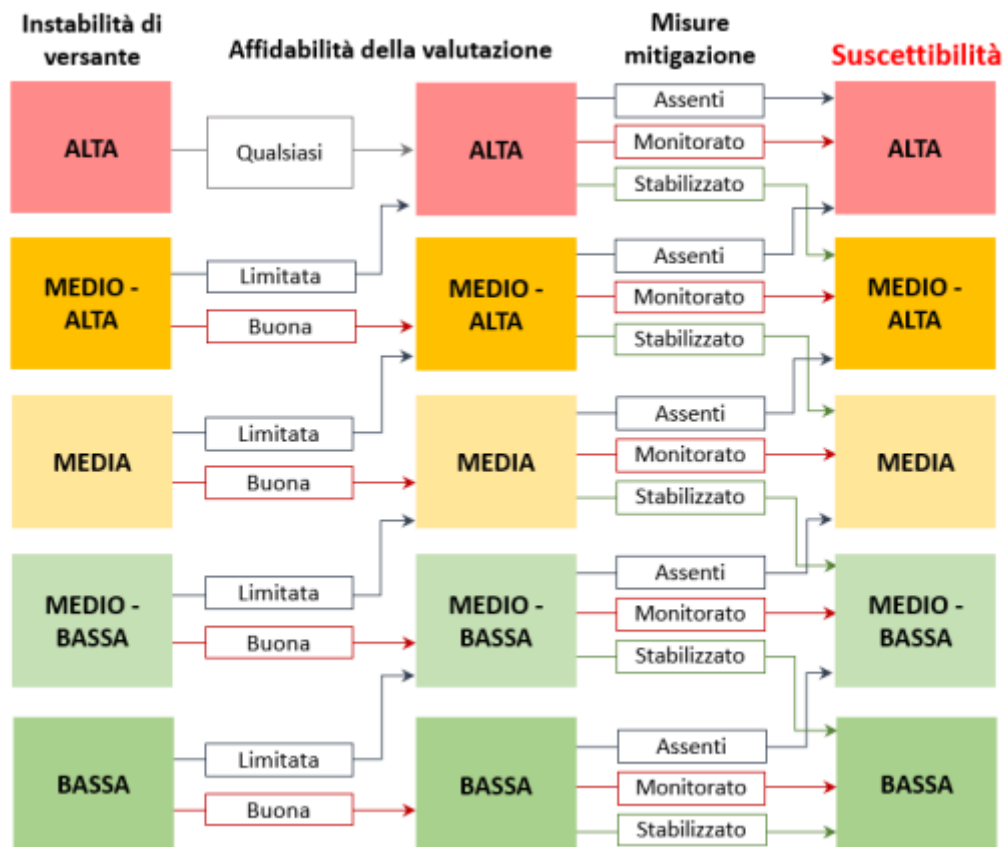


Figura 3.5.3 : Flusso logico per la determinazione della Classe di suscettibilità

Ribadita la complessità della previsione di accadimento, si è valutata fondamentale la definizione di tre parametri ritenuti di specifica importanza nel caso di ponti e di viadotti, rilevabili o deducibili dalle documentazioni e dalle osservazioni in situ. Tali parametri sono:

- parametro dello stato di attività per le frane riconosciute (PA), o di grado di criticità per le frane potenziali (PC).
- parametro della massima velocità potenziale di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale (PV);
- parametro della magnitudo, intesa come volume mobilizzabile (PM).

Al fine di giungere ad una gerarchizzazione del livello di instabilità di versante, è qui proposto un sistema a punti, attribuendo valori numerici ai tre parametri principali considerati, così come si ricava dalla tabella. La valutazione del livello di instabilità è quindi sviluppata sulla base della sommatoria dei valori associati ai tre parametri ovvero $P = PA + PM + PV$ per le frane riconosciute e $P = PC + PM + PV$ per le frane potenziali. Il compito del tecnico incaricato in sede di sopralluogo è quello di confermare la presenza di frane già riconosciute, sia in atto che inattive, nonché di individuare eventuali frane potenziali (ivi compresi i movimenti franosi superficiali indotti da pioggia), non riconosciute alla data dell'ispezione.

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
	<i>Estremamente/molto rapida</i>	<i>Rapida</i>	<i>Moderata</i>	<i>Lenta</i>	<i>Estremamente/molto lenta</i>
P_V	5	4	3	2	1

Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi

	> 10⁶	2,5 · 10⁵ - 10⁶	2,5 · 10⁵ - 10⁴	10² - 10⁴	< 5 · 10²
	<i>Estremamente/molto grande</i>	<i>Grande</i>	<i>Media</i>	<i>Piccola</i>	<i>Molto piccola</i>
P_M	15	12	9	6	3

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

Figura 3.5.4 : valutazione dell'instabilità tramite parametri CdA frane

Essendo difficoltà relative alla previsione di tipo spaziale dei fenomeni franosi, che dipendono anche dai dati pregressi disponibili e dalla stessa storia degli eventi, hanno indotto la necessità di introdurre un parametro secondario relativo all'incertezza delle determinazioni effettuate. Il livello di conoscenza del fenomeno o della situazione predisponente gli eventi di frana, infatti, può essere naturalmente di vario grado.

Qualora il livello di conoscenza (LC) del cinematismo di frana e della corrispondente previsione spaziale sia limitato, è opportuno tenere conto della conseguente incertezza nella definizione del livello di suscettibilità. Di conseguenza, l'affidabilità delle valutazioni si riduce e il livello di suscettibilità e, quindi, la classe di attenzione aumenta necessariamente. Ciò si traduce nella correzione delle classi definite in funzione dell'instabilità di versante.

Ulteriore parametro che determina la classe di suscettibilità del ponte è la presenza o meno di sistemi di stabilizzazione, quali reti e gallerie paramassi, barriere per flussi detritici, interventi di drenaggio, strutture di sostegno, ecc., oltre che sistemi di monitoraggio, e il loro attuale stato di conservazione. Si distinguono pertanto i ponti stabilizzati, qualora le misure di mitigazione del rischio dette sopra siano effettivamente attuate, monitorati, nel caso di presenza di sistemi di monitoraggio atti a controllare l'insorgere di eventuali eventi franosi, e i ponti per cui le misure di stabilizzazione/monitoraggio risultano assenti. L'assenza di sistemi finalizzati alla mitigazione del rischio frane induce l'innalzamento della classe di suscettibilità e quindi della classe di attenzione.

Alla base della definizione della vulnerabilità nel caso di rischio frane vi è la classificazione delle tipologie strutturali dei ponti. Quest'ultima è poi corretta mediante un parametro legato all'estensione dell'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura o parti di essa.

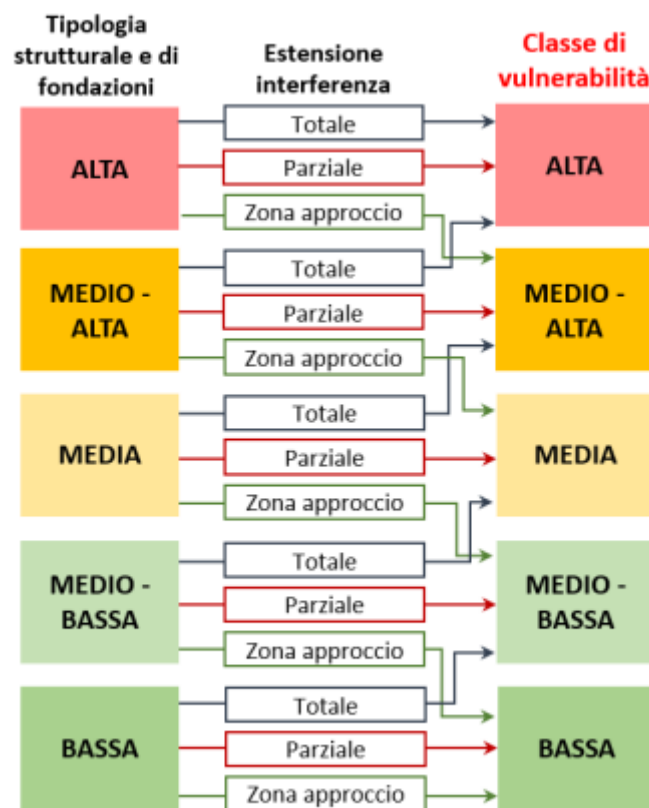


Figura 3.5.5 : determinazione classe di vulnerabilità frane

La classificazione delle tipologie strutturali è funzione della robustezza, ossia la capacità di resistere alle azioni generate nel movimento frana, generalmente non considerate in modo esplicito nella progettazione.

Sono quindi classificate le tipologie strutturali, in funzione di:

- schema statico, luce e materiale distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e luci medio-piccole e elevate;
- numero di campate, distinguendo ponti a singola campata e ponti multi-campate, in modo analogo alla classificazione utilizzata per stimare la vulnerabilità sismica. Si rimanda pertanto alla Tabella della CdA sismica per la determinazione della classe di vulnerabilità associata alla tipologia strutturale, da impiegare nella stima della classe di attenzione associata al rischio frane.

In riferimento al rischio frane, un dettaglio particolarmente rilevante è la tipologia di fondazioni di spalle e pile, specialmente in relazione alla loro capacità di resistere alle azioni orizzontali.

La definizione del livello di esposizione nel caso di rischio frane segue gli stessi criteri e considera gli stessi parametri impiegati per la stima del livello di esposizione sismica, ossia il livello di TGM e la luce media della campata, la presenza di alternative stradali, la tipologia di ente scavalcato e la strategicità del ponte in caso di emergenza, prescindendo dal parametro “trasporto di merci pericolose”.

Note le classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione legate al rischio frane del ponte, si procede con la determinazione della classe di attenzione (CdA) frane, combinandole come riportato nella tabella sottostante.

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		

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	

Figura 3.5.6 : determinazione CdA frane

3.6 Livello 3. Valutazione preliminare dell'opera

Le valutazioni preliminari di Livello 3 mirano a valutare la qualità e la tipologia dei difetti rilevati al Livello 1, o da ispezioni periodiche o straordinarie, richieste in base alla classe di attenzione determinata al livello 2.

In primo luogo, seppur non siano stati rilevati, ad un primo esame visivo, difetti o fenomeni di degrado tali da giustificare immediate verifiche di sicurezza (CdA Alta), è necessario, nel caso di CdA Medio-Alta, analizzare con maggior dettaglio tali problematiche osservate nelle ispezioni eseguite al Livello 1 individuandone le possibili cause. In secondo luogo, inoltre, occorre valutare, se pur in una analisi preliminare sicuramente approssimata, le risorse garantite dalle norme utilizzate all'epoca della progettazione dell'opera rispetto alle normative attualmente vigenti.

Assumendo, salvo evidenti indicazioni contrarie, che evidenzino macroscopici errori progettuali, che il progetto del ponte sia stato redatto in conformità alle indicazioni normative vigenti all'epoca della sua realizzazione e ottimizzato per far fronte ai corrispondenti carichi da traffico, ciò può essere eseguito valutando il rapporto tra la

domanda indotta sui vari elementi che compongono il ponte (solette, traversi, travi e/o strutture principali, pile, spalle, apparecchi di vincolo e fondazioni) dai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca (intesa quindi in questa valutazione come minima capacità garantita dalla norma di progettazione originaria) e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti.

Tale analisi consente di stimare, se pur preliminarmente, le risorse minime garantite dalle diverse normative, al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti.

Essi, infatti, almeno fino al 1980, rispecchiavano, nei pesi e nella geometria, i mezzi di trasporto effettivamente transitanti ed erano diversificati nel caso in cui sul ponte era previsto transito di mezzi militari (ponte di 1° categoria) o transito di soli mezzi civili (ponte di 2° categoria). In termini generali, mentre gli effetti indotti dai carichi associati ai mezzi militari di progetto sono tuttora paragonabili, se non talvolta superiori, agli schemi di traffico previsti dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, quelli indotti dai carichi con cui erano progettati i ponti di 2° categoria sono oggi spesso inferiori.

L'ente proprietario e/o gestore deve quindi valutare, caso per caso, la necessità di eseguire valutazioni accurate di Livello 4, sulla base della tipologia e qualità dei difetti riscontrati mediante le diverse tipologie di ispezione livelli previsti (valutando se, ad esempio, essi possano essere stati causati proprio dai carichi verticali da traffico) e delle analisi preliminari. Le informazioni aggiuntive ricavabili dai sistemi di monitoraggio, ove previsti, possono essere di ausilio alle valutazioni preliminari di Livello 3.

3.7 Livello 4. Verifica accurata

La verifica accurata al livello 4 è effettuata sui ponti che hanno ricevuto nel Livello 2 una Classe di Attenzione (CdA) Alta, oppure sui ponti la cui analisi nel precedente Livello 3 ha evidenziato particolari criticità, tali da necessitare una verifica più approfondita ai sensi delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC18) e relativa Circolare n. 7 del 21/01/2019.

Si tratta pertanto di una valutazione più completa per tutti quei casi in cui, a seguito dell'iter procedurale di analisi dal Livello 1 al Livello 3, siano emerse particolari vulnerabilità che richiedono una urgente verifica dell'intera struttura, come abitualmente concepita per un qualsiasi edificio o struttura esistente. Dovrà essere eseguita la verifica statica e sismica, ma anche la verifica sul piano della sicurezza idrogeologica. L'obiettivo principale del processo conoscitivo è la riduzione delle incertezze legate alla valutazione di carichi, comportamento dei materiali e delle strutture, ecc., così da raggiungere livelli di conoscenza appropriati in funzione delle verifiche da eseguire. L'esito delle verifiche servirà per avere maggiori informazioni sulla sicurezza dell'infrastruttura, e per prendere decisioni riguardo il suo utilizzo come: la parziale o totale chiusura al traffico, o la progettazione ed esecuzione delle opere di rinforzo da eseguirsi in tempi brevi.

In riferimento ai modelli di carico veicolare e al livello di sicurezza risultante dalle verifiche di Livello 4, le Linee Guida individuano tre distinte situazioni per un ponte:

- Adeguato, quando le verifiche siano soddisfatte secondo le Norme Tecniche utilizzando i carichi e i fattori parziali in esse previsti;
- Operativo, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite utilizzando i principi esposti nelle Norme Tecniche ma facendo riferimento nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali ad un tempo di riferimento ridotto. Il valore del tempo di riferimento convenzionalmente assunto a livello indicativo nelle presenti Linee Guida è pari a 30 anni;
- Transitabile, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite su un orizzonte temporale ridotto, pari al tempo di progettazione ed esecuzione dei lavori di messa in sicurezza, che è ridotto ad un massimo di 5 anni. Nel contempo possono esserci delle restrizioni quali la limitazione dei carichi consentiti o la restrizione d'uso del ponte.

La conoscenza del costruito rappresenta la base per valutare correttamente la sicurezza di un'opera e di conseguenza, costruire un percorso progettuale idoneo a risolvere le reali problematiche della struttura esistente. Senza il necessario approfondimento iniziale, aumenterebbe il rischio di valutazioni non corrette a cui seguirebbero decisioni di intervento non adeguate, o addirittura di mancato intervento laddove fosse stato necessario.

Questa conoscenza si sviluppa attraverso:

- l'analisi storico-critica;
- l'analisi del progetto originario;
- il rilievo (geometrico-strutturale, dei dettagli costruttivi, del quadro fessurativo e dei dissesti);
- la caratterizzazione geologico-tecnica del sito;
- le indagini finalizzate alla caratterizzazione dei dettagli costruttivi e dei materiali;
- approfondimenti di natura idrogeologica qualora il ponte esistente evidenziasse rischi derivanti dal dissesto del suolo;
- l'inquadramento dell'ambito idraulico e l'evidenza di fenomeni di scalzamento delle pile o delle spalle nonché il livello di efficienza di eventuali opere di mitigazione o di laminazione delle portate di piena;
- l'inquadramento dell'assetto geo-morfologico e l'evidenza di movimenti di versante potenzialmente interagenti con la struttura o parti di essa, nonché la presenza e l'efficienza di passati interventi di stabilizzazione.

Anche in presenza di documentazione originaria di progetto possono essere opportune indagini per verificare ed integrare le informazioni possedute. In particolare, si individuano:

- saggi in situ sugli elementi costruttivi;
- prove sperimentali per la determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali e delle strutture;

- rilievi in situ e carotaggi per la determinazione dello stato di durabilità dei materiali calcestruzzo, acciaio per c.a., acciaio per c.a.p., acciaio da carpenteria.

Le Linee Guida propongono un approccio iterativo, con l'esecuzione di un primo livello di indagine, che permetta di individuare le zone affette da maggiori problematiche, maggiormente sollecitate, o anche meno conosciute», per poi proseguire con livelli successivi di indagine.

L'analisi della sicurezza strutturale del ponte esistente deve sviluppare tutte le seguenti fasi:

- valutazione delle azioni: carichi permanenti, azioni da traffico, azione sismica e altre azioni;
- combinazioni di carico: combinazioni statiche e sismiche e relativi coefficienti parziali di sicurezza;
- valutazione dei parametri meccanici dei materiali e relativi coefficienti parziali di sicurezza;
- modellazione della costruzione, materiali ed azioni;
- analisi strutturale e valutazione delle azioni statiche e dinamiche;
- valutazione della resistenza e verifiche di sicurezza statiche e sismiche.

Le valutazioni saranno funzione dei livelli di approfondimento che dovranno essere raggiunti, secondo il seguente schema:

	Obiettivi	Carichi da traffico	t_{ref}
COMPLETA ADEGUATEZZA Valutazione del livello di sicurezza secondo le norme attuali (NTC 2018)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale, sismico e idraulico (alluvioni e frane) come previsto dalle NTC 2018, con eventuale riduzione fattori parziali carichi permanenti	Schemi convenzionali previsti dalle NTC 2018	Vita nominale (V_N) come da NTC 2018

Se il livello di sicurezza strutturale (statica/geotecnica) è insufficiente rispetto alle NTC

OPERATIVITA'	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ridotto e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con fattori parziali ridotti	30 anni
TRANSITABILITA' NTC 2018 (Immediata transitabilità 1)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto imponendo restrizioni all'uso del ponte e fattori parziali ridotti	Schemi da NTC 2018, con restrizioni di uso e fattori parziali ridotti	5 anni
TRANSITABILITA' CdS ● PESANTE ● INTERMEDIA ● LEGGERA ● AUTOVEICOLI (Immediata transitabilità 2)	Valutazione del livello di sicurezza strutturale con t_{ref} ulteriormente ridotto, imponendo limitazione dei carichi secondo CdS e con relativi fattori parziali ridotti	Schemi da CdS con relativi fattori parziali ridotti	5 anni

Figura 3.5.4 : Classi di operatività

Le Linee Guida diversificano l'utilizzo di coefficienti amplificativi delle azioni in funzione delle classi di operatività del ponte (Adeguate, Operativa, Transitabile). Per le situazioni riferite ad un ponte Operativo o Transitabile, è suggerita l'adozione di coefficienti parziali ridotti in funzione del limitato arco temporale.

Considerata la particolarità del contesto di molti ponti, è necessario approfondire le verifiche del sistema di fondazione, le verifiche locali e agli stati limite di esercizio.

Riguardo le fondazioni, le valutazioni andranno estese nei casi di dissesti o cedimenti fondazionali già esistenti, oppure quando, dall'analisi della sicurezza, emerge la possibilità di eventuali fenomeni di erosione e modifica del terreno attorno alle fondazioni, di liquefazione del terreno dovute ad azioni sismiche di progetto.

3.8 Livello 5. Sistema di sorveglianza e monitoraggio

Le attività di sorveglianza e monitoraggio sono nel seguito strutturate secondo una strategia cosiddetta "risk-based", cioè dipendente dalla Classe di Attenzione caratteristica del ponte nello stato corrente. Esse comprendono ispezioni ordinarie (definite di 2° Livello) e straordinarie, l'esecuzione di test statici e dinamici occasionali e l'installazione di sistemi per il monitoraggio strumentale in modalità periodica o permanente. La sorveglianza nel tempo del livello di sicurezza strutturale del ponte può avvalersi di diversi strumenti, i cui risultati sono correlabili tra di loro per una più precisa valutazione.

L'ispezione visiva, programmata periodicamente con frequenza in relazione alla Classe di Attenzione e all'importanza dell'infrastruttura, è utile al rilevamento di difetti causati dal degrado, dall'uso o da fenomeni ambientali nelle componenti strutturali e accessorie dell'opera che presentino manifestazioni esterne e che possano anche essere valutati mediante semplici misure e prove ND, oppure di situazioni al contorno di natura idraulica o geologica potenzialmente pericolose per l'integrità e la funzionalità dell'opera stessa.

Le ispezioni ordinarie devono essere condotte visivamente e con l'ausilio di semplici strumenti, quali martelli, strumenti di misura delle lunghezze, sensori portatili. Tutti i difetti riscontrati devono essere fotografati con risoluzione adeguata e con riferimenti metrici; le fotografie devono essere identificate e associate alla scheda. È possibile avvalersi di droni o di mezzi teleguidati o robotizzati dotati di ottica nei campi visibile e infrarosso o mediante scanner RGB.

Durante i sopralluoghi è raccomandata l'esecuzione di test non distruttivi come le prove sclerometriche, le misure di spessori di protezione, misure di umidità e pH (anche mediante applicazione di soluzione di fenoltaleina), misure di potenziale elettrico.

Si richiama l'attenzione sul fatto che le ispezioni ordinarie, oltre che le strutture, le opere di fondazione e le dotazioni ausiliarie, devono riguardare le condizioni dell'ambiente circostante ai fini del rilevamento di situazioni anomale con riferimento al rischio alluvioni e frane.

Le ispezioni straordinarie hanno lo scopo di acquisire informazioni utili ad approfondire la conoscenza dei fenomeni di degrado e della condizione strutturale dell'opera quando le ispezioni ordinarie abbiano riscontrato criticità evidenti, ad esempio con incidenti rilevanti, urti, sismi, alluvioni e frane che possano avere influito sulla stabilità dell'opera.

Si avvalgono di un maggior numero di prove distruttive e semi-distruttive, quali prelievo di campioni per test di laboratorio, prove di pull-out, eventualmente prove di carico statico e test dinamici, unite a quelle non invasive come sclerometro, ultrasuoni, prove magnetiche. Nei casi per i quali la Classe di Attenzione si è evoluta in senso negativo, le ispezioni straordinarie devono essere eseguite al più presto e comunque non oltre 60 giorni da quando ne venga resa nota la necessità.

In ogni caso, l'esecuzione di ispezioni straordinarie deve avvenire non oltre 5 anni dalla precedente ispezione per manufatti con Classi di Attenzione Bassa e Medio-Bassa e non oltre 2 anni negli altri casi. La relazione deve concludersi con la valutazione sullo stato dell'opera e sulle tendenze evolutive del degrado con indicazioni per le successive azioni, rivalutando la Classe di Attenzione.

Esistono particolari tipologie strutturali che meritano un'attenzione maggiore durante le ispezioni ordinarie e straordinarie. Le strutture precomprese a cavi post-tesi e iniettati, fra le quali, in particolare, quelle realizzate negli anni '60 e '70, possono essere soggette a pericolose situazioni di degrado che possono comportare corrosione dei cavi di precompressione e che, pertanto, possono influire negativamente sulla resistenza della struttura e provocare collassi improvvisi, anche in assenza di sovraccarico e/o di traffico. Tali situazioni possono essere in prevalenza causate da difetti nelle iniezioni dei cavi che, in presenza di stati di corrosione delle guaine o degli ancoraggi e/o infiltrazioni di acqua, possono costituire zone di innesco della corrosione.

Le indagini devono essere approfondite di conseguenza, in particolare per l'esecuzione di saggi che consentano l'ispezione diretta della condizione dei fili. Il tracciato dei cavi può essere determinato con tecniche non distruttive, quali indagini pacometriche, indagini Georadar, tomografie ultrasoniche o tecniche di Impact-Echo, che, oltre a consentire l'individuazione delle armature, permettono di identificare eventuali discontinuità, vuoti o fessure all'interno degli elementi indagati. Al medesimo scopo possono risultare di grande utilità i metodi magnetici, quali il metodo di dispersione del flusso magnetico (MFL – Magnetic Flux Leakage) e metodi elettrochimici, quali la misura del potenziale di corrosione che consente di stimare la velocità di corrosione delle armature.

Tenuto conto che la difettosità più grave e ricorrente per i ponti in c.a.p. a cavi post-tesi è legata alla possibile presenza di vuoti all'interno delle guaine di alloggiamento dei cavi, che può favorire la raccolta ed il ristagno d'acqua responsabili dell'innesco di pericolosi fenomeni corrosivi, risulta indispensabile procedere con indagini endoscopiche e prove vacuometriche, per verificare la presenza della malta di iniezione e di eventuali fenomeni ossidativi dei cavi e per quantificare il volume dei vuoti, ove presenti. Ove necessario, è possibile procedere a saggi localmente distruttivi, con rimozione del calcestruzzo e della guaina ed esame dello stato dei fili (conteggio dei fili interrotti e valutazione della riduzione di sezione e dello stato di tensione negli altri), nonché a prelievo di campioni del materiale di



iniezione su cui eseguire prove chimiche per determinarne composizione e presenza di umidità e cloruri. I saggi devono essere condotti nelle sezioni critiche a momento e taglio e nelle zone ove si sono manifestati i difetti tipici.

Lo scalzamento è un'altra delle situazioni a particolare rischio da valutare attentamente in fase di ispezione, poiché causa frequente di dissesto e collasso dei ponti con pile o spalle in alveo non adeguatamente protette. Il fenomeno è particolarmente insidioso poiché lo scavo del materiale circostante la fondazione è massimo in condizioni di piena, ma in seguito si possono verificare fenomeni di deposizione di materiale fine sciolto che non rendono osservabile l'effetto dello scavo ad una ispezione soltanto visiva. E' raccomandato che ispezioni dettagliate, anche subacquee, vengano eseguite periodicamente, nel corso dei controlli ordinari o straordinari, e comunque a seguito di eventi di piena anche non eccezionali dei corsi d'acqua attraversati.

CAPITOLO IV: ANALISI CASI STUDIO

In questo capitolo andiamo ad analizzare 6 casi studio che sono stati oggetto della nostra valutazione, comprensiva di ispezione tenutasi il giorno 14/10/2021. Per UNIPD era presente, insieme allo scrivente, il Dott. Ing. Lorenzo Brezzi. Come personale di ANAS che ha accompagnato le ispezioni era presente l'Ing. Nicola Fabris.

Le infrastrutture visionate sono situate in provincia di Vicenza (Veneto) e richiedevano un'analisi ai livelli (0-1-2) delle linee guida prima descritte. A seguito di un'adeguata analisi siamo andati a definire la classe di attenzione frane, per ciascuna infrastruttura visionata.

Per ogni ponte è stata effettuata un'analisi preliminare, di censimento, al fine di contestualizzare l'opera a livello di posizione geografica e contesto geomorfologico; in seguito un ulteriore approfondimento ci ha permesso di completare la compilazione della scheda di livello 0, (censimento dell'opera), tramite ricerca dati e software quali Google Maps, Qgis, siti di ISPRA, IFFI e PAI. Tali approfondimenti hanno permesso di valutare la necessità di un sopralluogo dedicato alla valutazione del rischio frane e all'esecuzione delle ispezioni con maggior consapevolezza delle caratteristiche di sito attese.

Successivamente, direttamente in sito, a termine di ogni ispezione siamo andati a compilare la scheda allegato di livello 1 che ha permesso di raccogliere le caratteristiche necessarie per valutare la pericolosità di fenomeni franosi, qualora presenti.

Per completare il lavoro, a ispezioni terminate, le schede sono state analizzate e, insieme alle informazioni reperite in fase di censimento e alle evidenze visionate durante ciascun sopralluogo, si è potuto completare il livello 2, con la compilazione dei relativi report e la definizione della CdA frane relativa ad ogni infrastruttura.

Di seguito, per ogni viadotto esaminato, si riportano brevemente i passaggi eseguiti, a partire dal livello 0, per perseguire gli obiettivi stabiliti.

4.1 Ponte sul canale Enel

4.1.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto sul canale Enel avviene tramite software GIS, e permette di collocare lo stesso in una zona prevalentemente pianeggiante in prossimità di rilievi montuosi.

Il censimento del viadotto sul canale Enel utilizza le informazioni contenute nelle risorse cartografiche interrogabili online e caricate in ambiente GIS. In particolare, dalla documentazione relativa al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) è emerso che il viadotto non si trovi in una condizione di pericolosità da frana. Anche l'inventario dei fenomeni franosi italiani (Catalogo IFFI) colloca il suddetto viadotto in una zona priva di movimenti franosi. Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto sul canale Enel è inserito all'interno di formazioni di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), nonostante la cartografia disponibile non indichi presenza di pericolosità franosa, si è comunque ritenuto opportuno passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane in quanto il viadotto risulta posizionato in prossimità di rilievi montuosi.



Figura 4..1.1.1: Mappa IFFI relativa al dissesto



Figura 4.1.1.2: Mappa PAI relativa al dissesto

4.1.2 Livello 1- ispezione

4.1.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini. Al fine di eseguire l'ispezione, non è necessaria l'interruzione del traffico per la presenza di una strada sterrata munita di slargo per la sosta. Si ritiene peraltro soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato infatti possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.1.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.1.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pianura alla base dei versanti", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

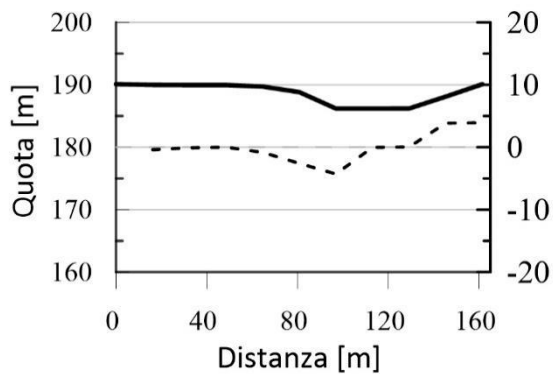


Figura 4.1.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

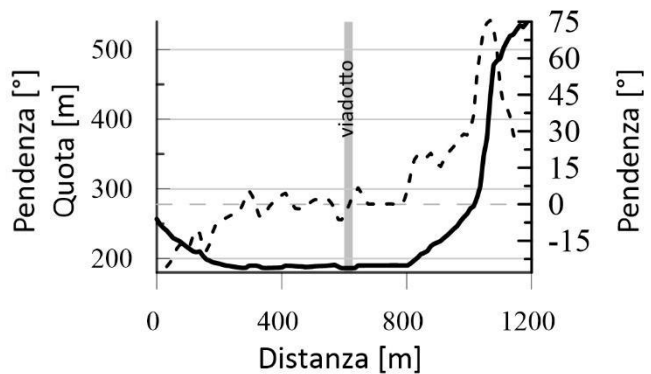


Figura 4.1.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto

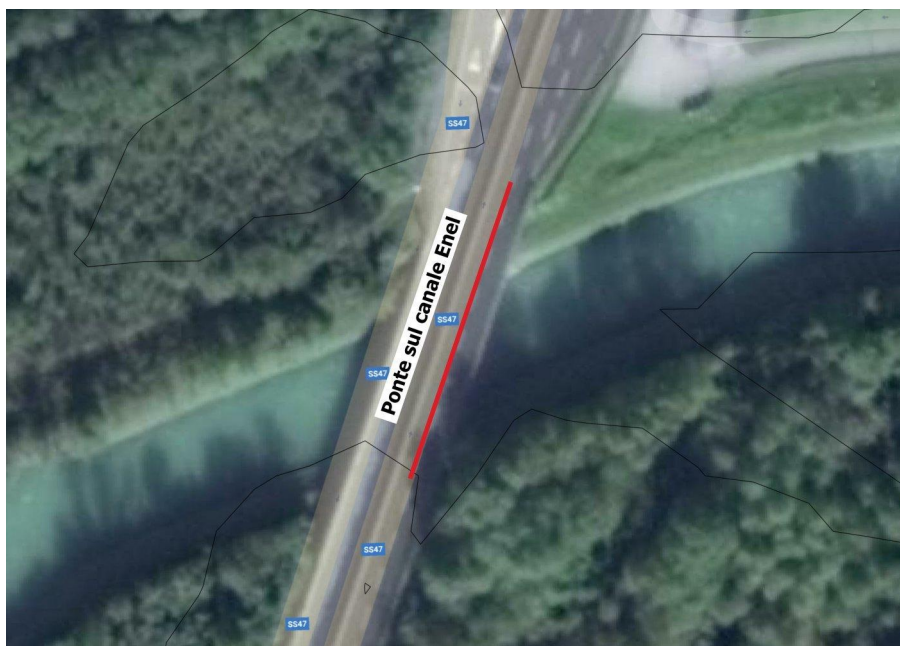


Figura 4.1.2.3.2: Ortofotografia dell'area attorno al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.1.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalle cartografie IFFI e PAI esaminate, si è rilevato che il viadotto è collocato in un'area in assenza di dissesto. Il sopralluogo ha confermato tale condizione, non evidenziando evidenze particolari di instabilità.

4.1.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto sul canale Enel è inserito all'interno di formazioni di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico)

Inoltre, la relazione geologica realizzata in un'area poco distante dal viadotto al fine di avvalorare i lavori di ammodernamento nel tratto compreso tra la fine della variante di Rivalta (km 60.606) e l'inizio della variante di Cismon (km 63.005) ha confermato la presenza

di un substrato calcareo-dolomitico generalmente compatto ma talora fratturato nella parte sommitale. Tale substrato presenta una profondità variabile e talvolta è presente come materiale sub-affiorante. Nella medesima area sono presenti banchi di spessore variabile da 0 a 15 metri di depositi alluvionali del fiume Brenta costituiti da ciottoli e blocchi di notevoli dimensioni.

4.1.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si è osservato che il rischio frana non è rilevabile. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di vegetazione riparia, a ricoprimento degli argini del canale di proprietà dell'Enel.



Figura 4.1.2.6.1: Vista dell'area sottostante il viadotto

4.1.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto sul canale Enel, il sopralluogo effettuato ha permesso di confermare quanto emerso dall'analisi della documentazione disponibile, indicando l'assenza di evidenze di rischio da frana.

4.1.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto sul canale Enel sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.1.3 Livello 2 - Classe di attenzione

Il Viadotto sul canale Enel risulta localizzato in un'area non classificata come area di frana e priva di evidenze che indichino la presenza di dissesti. Di conseguenza la sua classe di attenzione frane risulta BASSA.

		Classe di attenzione frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Class e di attenz ione idraul ica	Alta	Alta		Medio-Alta		Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta		Media	
	Media	Medio-Alta		Media		Medio-Bassa
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa	Bassa

Figura 4.1.3.1: Tabella valutazione cda Frane-Idraulica

4.2 Ponte Bastianassi I

4.2.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto Bastianassi I avviene tramite software GIS: il viadotto è situato in una zona prevalentemente pianeggiante o a pendenza comunque moderata in prossimità di rilievi montuosi. Il censimento del viadotto permette di notare che dalla documentazione relativa al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) non vi sia condizione di pericolosità da frana. L'inventario dei fenomeni franosi italiani (Catalogo IFFI) colloca il suddetto viadotto in una zona priva di movimenti franosi.

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto Bastianassi I è inserito all'interno di formazioni di dolomie cristalline neritiche e di piattaforma (Triassico superiore) e di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), nonostante la cartografia disponibile non indichi presenza di pericolosità franosa, si è comunque ritenuto opportuno passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane in quanto il viadotto risulta posizionato in prossimità di rilievi montuosi.



Figura 4.2.1.1: Mappa IFFI relativa al dissesto



Figura 4.2.1.2: Mappa PAI relativa al dissesto

4.2.2 Livello 1- ispezione

4.2.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini.

Al fine di eseguire l'ispezione, non è necessaria l'interruzione del traffico per la presenza di una strada sterrata di servizio. Si ritiene soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato infatti possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.2.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.2.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pendio poco acclive ($0 - 10^\circ$)", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

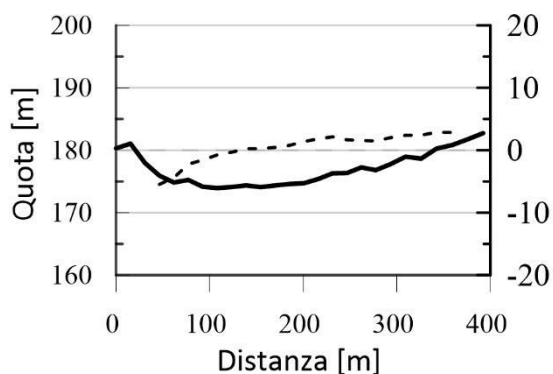


Figura 4.2.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

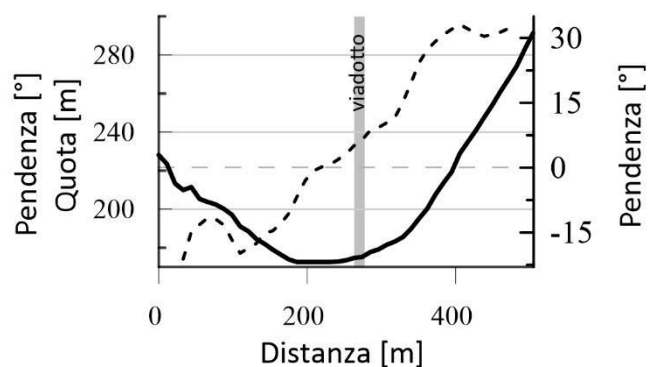


Figura 4.2.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto

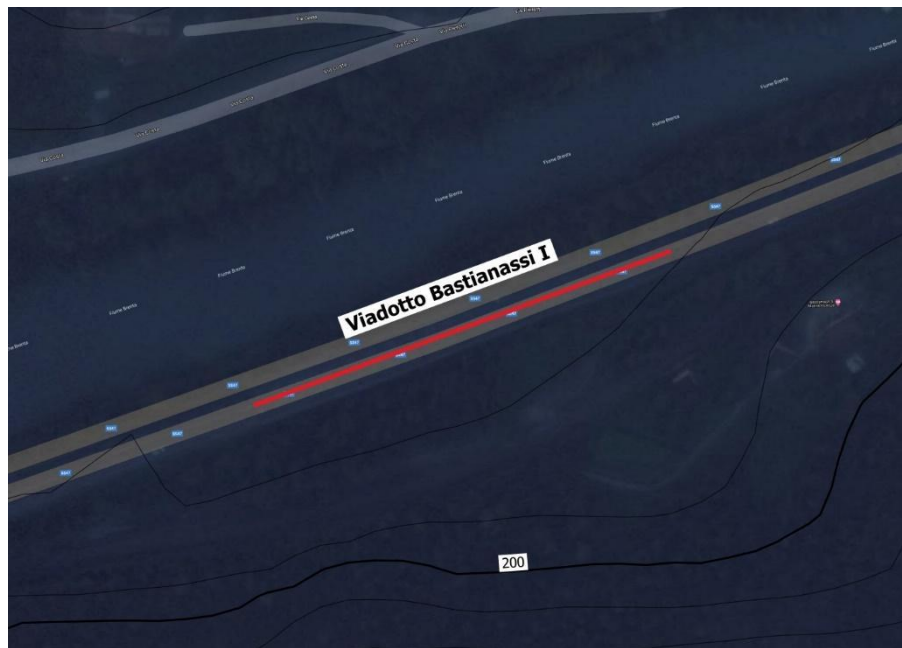


Figura 4.2.2.3.3: Ortofoto dell'area attorno al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.2.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalle cartografie IFFI e PAI esaminate, si è rilevato che il viadotto è collocato in un'area in assenza di dissesto. Il sopralluogo ha confermato tale condizione.

4.2.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto Bastianassi I è inserito all'interno di formazioni di dolomie cristalline neritiche e di piattaforma (Triassico superiore) e di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

Inoltre, la relazione geologica realizzata in un'area poco distante dal viadotto al fine di avvalorare i lavori di ammodernamento nel tratto compreso tra la fine della variante di Rivalta (km 60.606) e l'inizio della variante di Cismon (km 63.005) ha confermato la presenza di un substrato calcareo-dolomitico generalmente compatto ma talora fratturato nella parte sommitale. Tale substrato presenta una profondità variabile, e talvolta è presente come materiale sub-affiorante. Nella medesima area sono presenti banchi di spessore variabile da 0 a 15 metri di depositi alluvionali del fiume Brenta costituiti da ciottoli e blocchi di notevoli dimensioni.

4.2.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si è osservato che il rischio frana non è rilevabile. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di terreno incolto macchia cespugliato.

I documenti di riferimento sono la relazione geologica e le mappe IFFI e PAI relative all'area in cui è localizzato il viadotto.



Figura 4.2.2.6.1: Vista dell'area sottostante una pila intermedia del viadotto



Figura 4.2.2.6.2: Vista della spalla lato Padova del viadotto

4.2.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto Bastianassi I, il sopralluogo effettuato ha permesso di confermare quanto emerso dall'analisi della documentazione disponibile, indicando l'assenza di evidenze di rischio da frana.

4.2.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto Bastianassi I sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.2.3 Livello 2 - Classe di attenzione

Il Viadotto Bastianassi I risulta localizzato in un'area non classificata come area di frana e priva di evidenze che indichino la presenza di dissesti. Di conseguenza la sua classe di attenzione frane risulta BASSA.

		Classe di attenzione frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
Class e di attenz ione idraul ica	Alta	Alta		Medio-Alta		Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta		Media	
	Media	Medio-Alta		Media		Medio-Bassa
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa		Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa	Bassa

Figura 4.2.3.1: Tabella valutazione cda Frane-Idraulica

4.3 Ponte Bastianassi II

4.3.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto Bastianassi II colloca l'infrastruttura in una zona prevalentemente pianeggiante o a pendenza moderata in prossimità di rilievi montuosi.

Il censimento del viadotto Bastianassi II utilizza le informazioni contenute nelle risorse cartografiche interrogabili online e caricate in ambiente GIS. In particolare, dalla documentazione relativa al PAI e dal catalogo IFFI è emerso che il viadotto non si trovi in una condizione di pericolosità. Tuttavia, in rete si sono trovate ulteriori cartografie di interesse: la Carta della pericolosità geologica del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione riporta infatti la presenza di elementi geomorfologici connessi a fenomeni di instabilità. Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale individua la presenza di dissesti geologici e scarpate di degradazione localizzati poco distanti dal viadotto.

Dalla mappa geologica d'Italia si è dedotto che il viadotto Bastianassi II risulta inserito all'interno di formazioni di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

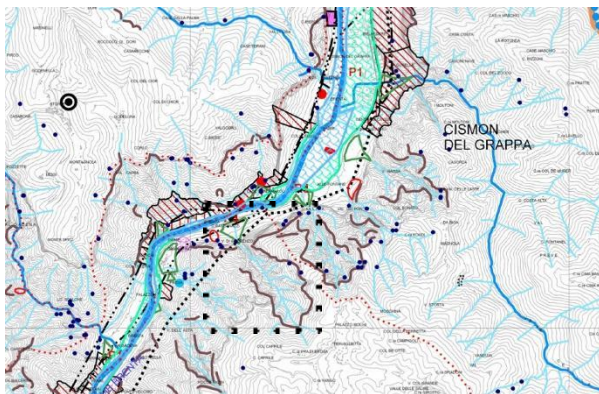


Figura 4.3.1.1: Carta della Fragilità zona Nord (PTCP - Vicenza)

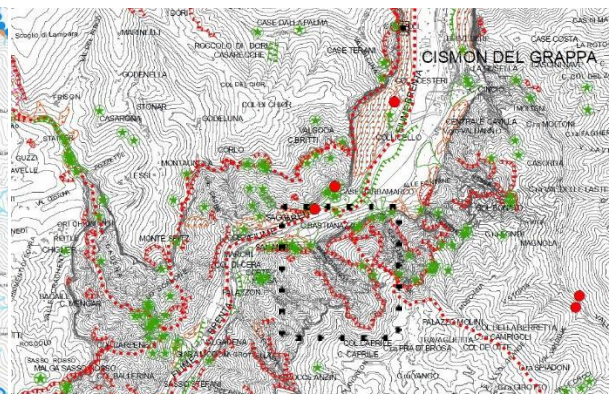


Figura 4.3.1.2: Carta Geomorfologica (PTCP - Vicenza)

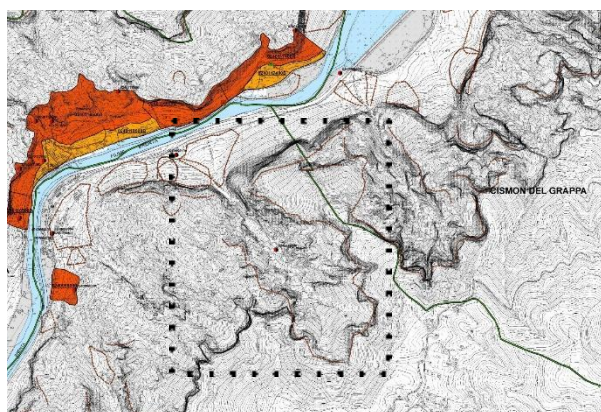


Figura 4.3.1.3: Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione

A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), nonostante le cartografie IFFI e PAI non indichino presenza di pericolosità franosa, poiché si è consultata altra

documentazione che ha evidenziato la possibile presenza di dissesti geologici, si è ritenuto opportuno passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane.

4.3.2 Livello 1- ispezione

4.3.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini. L'ispezione è stata possibile anche senza interruzione del traffico per la presenza di una strada sterrata di servizio. Si ritiene soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.3.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.3.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pendio moderatamente acclive ($10^\circ - 25^\circ$)", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

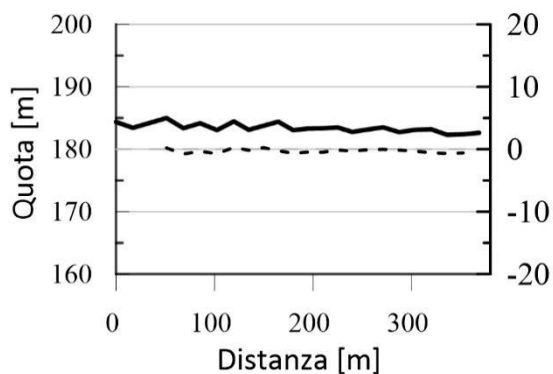


Figura 4.3.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

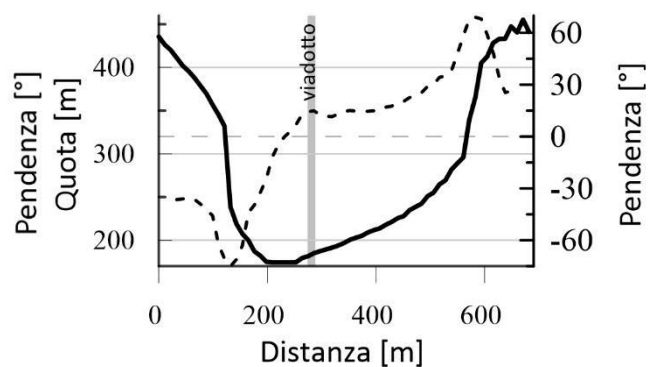


Figura 4.3.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto



Figura 4.3.2.3.3: Ortofoto dell'area attorno al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.3.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalle cartografie IFFI e PAI esaminate, si è rilevato che il viadotto non risulta collocato in un'area pericolosa. La Carta della pericolosità geologica del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione riporta invece la presenza di elementi geomorfologici connessi a fenomeni di instabilità. Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale individua la presenza di dissesti geologici e scarpate di degradazione localizzati poco distanti dal viadotto.

In fase di sopralluogo si è riscontrata la presenza di una frana prevalentemente detritica canalizzata posizionata perpendicolarmente al viadotto e in potenziale interazione parziale con esso. La presenza di briglie nell'alveo franoso fa intendere che il fenomeno sia ben conosciuto e controllato. Peraltro, l'instabilità non coinvolge direttamente le pile del viadotto: il detrito riesce infatti, quando mobilitato, a depositarsi al di sotto dell'impalcato. Va in ogni caso segnalato un livello rilevante di riempimento di materiale detritico all'interno dell'alveo.



Figura 4.3.2.4.1: Vista del materiale detritico depositato al di sotto del viadotto



Figura 4.3.2.4.2: Vista della briglia localizzata subito a monte del viadotto



Figura 4.3.2.4.3: Vista delle dimensioni del materiale depositato a monte del viadotto



Figura 4.3.2.4.4: Vista del livello di riempimento di materiale della porzione di monte della frana canalizzata

4.3.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto Bastianassi II è inserito all'interno di formazioni di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

In aggiunta, la relazione geologica realizzata in un'area poco distante dal viadotto al fine di avvalorare i lavori di ammodernamento nel tratto compreso tra la fine della variante di Rivalta (km 60.606) e l'inizio della variante di Cismon (km 63.005) ha confermato la presenza di un substrato calcareo-dolomitico generalmente compatto ma talora fratturato nella parte sommitale. Tale substrato presenta una profondità variabile e talvolta è presente come materiale sub-affiorante. Nella medesima area sono presenti banchi di spessore variabile da 0 a 15 metri di depositi alluvionali del fiume Brenta costituiti da ciottoli e blocchi di notevoli dimensioni.

4.3.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si sono osservate evidenze in grado di confermare la presenza di un rischio frana accertato, prevalentemente definibile come colata e valanga detritica. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di

terreno incolto nudo. Per quanto riguarda la morfometria della frana, la posizione dell'instabilità sul versante è bassa. Nello specifico l'orlo superiore della zona di distacco si trova a 1260 m slm; il viadotto si trova invece a una quota di 183 m slm.

4.3.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto Bastianassi II, dal sopralluogo effettuato e dall'analisi della documentazione disponibile, si può ipotizzare il fenomeno come una frana quiescente e, pertanto, riconosciuta come attiva. Per quanto riguarda la stima del parametro della massima velocità potenziale di spostamento della frana, si ritiene verosimile che il dissesto in analisi si muova, qualora presente, con una velocità Rapida (3 m/min – 1,8 m/h). Infine, la stima della magnitudo su base volumetrica si basa dalle osservazioni eseguite in fase di sopralluogo; a tal proposito, si ritiene verosimile stimare la magnitudo del dissesto come Piccola ($10^2 - 10^4 \text{ m}^3$).

Il sopralluogo ha permesso di valutare infine l'estensione dell'interferenza che la frana ha con il viadotto. Alla luce delle osservazioni fatte in sito, si ritiene che tale estensione sia limitata e pertanto si attribuisce al fenomeno un'interferenza solamente nella zona di approccio del viadotto.

4.3.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto Bastianassi II sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.3.3 Livello 2 - Classe di attenzione

4.3.3.1 Suscettibilità

Sulla base dei dati acquisiti prima del sopralluogo, la frana è classificata come "Attiva", per le evidenze riscontrate durante il sopralluogo. Di conseguenza, il parametro P_A risulta pari a 5.

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_D)	Altamente critica	Critica	Scarsamente critica
P_A o P_C	5	3	1

Figura 4.3.3.1.1: tabella stato di attività frane

Dalle informazioni a disposizione si attribuisce al fenomeno una velocità Rapida (3 m/min – 1,8 m/h); il parametro P_V risulta pertanto pari a 4.

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
	<i>Estremamente/molto rapida</i>	<i>Rapida</i>	<i>Moderata</i>	<i>Lenta</i>	<i>Estremamente/molto o lenta</i>
P_V	5	4	3	2	1

Figura 4.3.3.1.2: tabella velocità frane

La valutazione del parametro P_M basata sulla cartografia disponibile (IFFI e PAI) permette la stima di una magnitudo Piccola ($5 \cdot 10^2 - 10^4 \text{ m}^3$) che comporta quindi un punteggio pari a 6.

Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi

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

Figura 4.3.3.1.3: tabella grandezza volumetrica frane

Come indicato nelle LLGG, la valutazione del livello di instabilità di versante è data dalla sommatoria dei valori associati ai tre parametri ovvero $P = P_A(5) + P_V(4) + P_M(6)$ che per la frana in esame risulta quindi pari a 15, da cui si deduce che l'instabilità di versante è MEDIA.

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

Figura 4.3.3.1.4: tabella instabilità versante

Al fine di giungere ad una corretta valutazione della suscettibilità dell'opera si valutano i parametri secondari che sono:

- Affidabilità della valutazione: nel caso in esame è buona.
- Misure di Mitigazione: nel caso in esame stabilizzato, per la presenza di canalizzazione e di briglie realizzate per controllare e limitare le velocità del movimento franoso.

Pertanto, sulla base di questi due valori, la classe di suscettibilità viene valutata come MEDIO-BASSA.

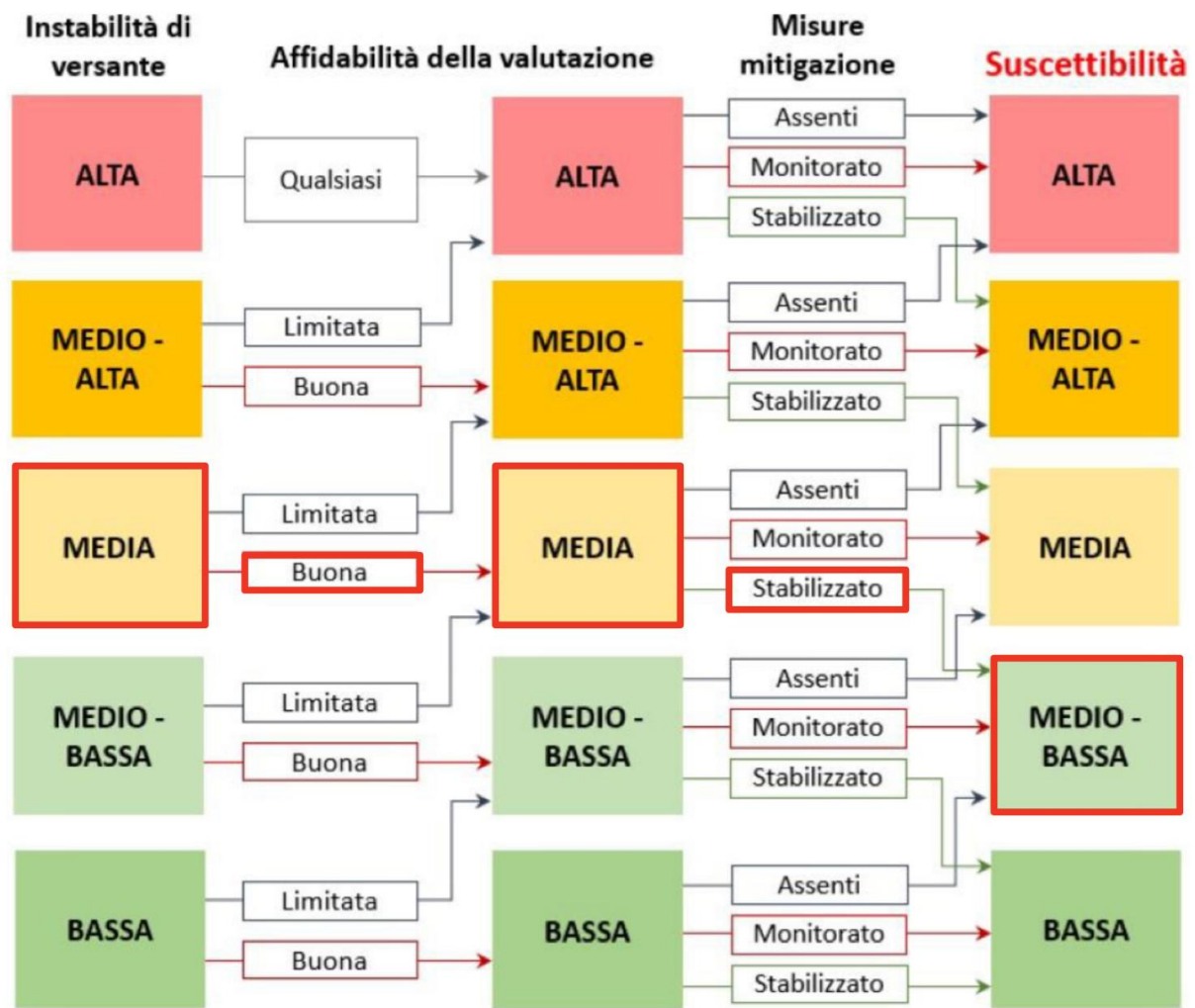


Figura 4.3.3.1.5: Flusso logico per la determinazione della suscettibilità

4.3.3.2 Vulnerabilità

La vulnerabilità dipende dalla tipologia strutturale del ponte, dalla tipologia di fondazione e dall'estensione dell'interferenza. Queste informazioni sono processate secondo quanto disposto nelle LLGG con riferimento alle figure 4.13 e 4.8 delle LLGG. Si ricorda inoltre che in presenza di fondazioni superficiali la classe di vulnerabilità va aumentata di una posizione.

I parametri primari per la valutazione della vulnerabilità sono quindi:

- tipologia/robustezza del ponte, che dipende da: a) schema statico, luce e materiale distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e luci medio-piccole e elevate; b) numero di campate, distinguendo ponti a singola campata da ponti multi-campate).
- tipologia di fondazioni di spalle e pile, specialmente in relazione alla loro capacità di resistere alle azioni orizzontali. Per tale ragione, nel caso in cui ci sia evidenza, dalla documentazione originaria disponibile e/o dalle ispezioni visivi effettuate, di presenza di fondazioni superficiali o comunque non progettate per resistere alle azioni orizzontali, occorre aumentare di un livello la classe strutturale.

Nella tabella relativa alla classificazione del viadotto sulla base dello schema statico, della luce e del materiale, per luci medio-piccole si intendono luci non maggiori di 20 m, per luci elevate le luci maggiori di 20 m.

Per quanto riguarda il viadotto Bastianassi II, lo schema strutturale è quello isostatico, realizzato in C.A.P. in semplice appoggio su multi-campata. La campata di lunghezza massima è classificata come elevata, in quanto di luce pari a 29.35 m.

		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

Figura 4.3.3.2.1: tabella vulnerabilità infrastruttura

Come visto in precedenza il parametro di estensione dell'interferenza è stato valutato come "zona di approccio".

In conclusione, sulla base delle analisi sopra riportate, la classe di vulnerabilità è valutata come MEDIO-ALTA.

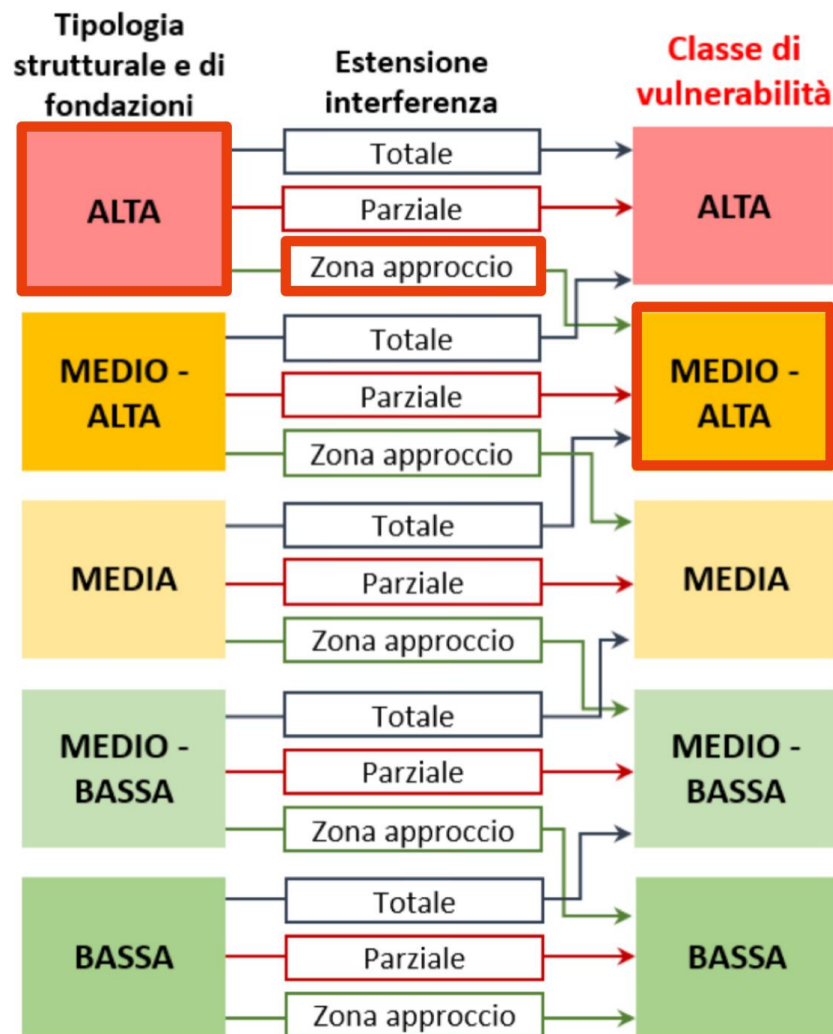


Figura 4.3.3.3.1: Flusso logico per la determinazione della Classe di vulnerabilità

4.3.3.3 Esposizione

L'esposizione dipende dal traffico medio giornaliero (TGM), dalla luce della campata, dalla presenza di alternative stradali, dall'ente scavalcato, dalla strategicità del ponte. Queste informazioni sono processate secondo quanto disposto con riferimento alle figure 4.3 e 4.6 delle LLGG.

Il livello di TGM individuato viene corretto in funzione della luce media della campata del ponte, distinguendo:

- Grande luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 50 m;
- Media luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 20 m e non maggiore di 50 m;
- Piccola luce: per ponti con campate di luce media non maggiore di 20 m.

Per quanto riguarda il valore del TGM, per il viadotto Bastianassi II il livello di traffico medio giornaliero sull'intera carreggiata, tenendo conto sia dei mezzi pesanti che di quelli leggeri, è complessivamente pari a 10048. La classe di esposizione iniziale, legata solamente al TGM è pertanto classificata come MEDIA. Tale valore deve essere corretto tenendo conto della luce

media della campata da cui dipende il rischio a cui l'utente della strada è esposto. Per il viadotto in esame la luce media delle campate è pari a 31.8 m, che corrisponde ad una campata classificata a Media luce. Il livello di esposizione relativo alla luce media è pertanto stimato di entità MEDIA.

La possibile chiusura o le limitazioni di traffico sul ponte causano inevitabili disagi alle economie locali. Tali disagi sono contenuti nel caso siano individuati itinerari stradali adeguati su cui eventualmente deviare i flussi di traffico. A seguito del sopralluogo eseguito, si ritiene che siano assenti alternative stradali che limitino i disagi conseguenti ad una chiusura totale o parziale delle carreggiate del viadotto Bastianassi II.

Il parametro successivo da prendere in considerazione misura qualitativamente le conseguenze indirette, di carattere sociale ed economico, legate al crollo, anche parziale, dell'opera. Per il viadotto Bastianassi II, il livello di esposizione associato alla tipologia di ente scavalcato è stimato di entità BASSA.

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

Figura 4.3.3.3.1: tabella traffico giornaliero

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

Figura 4.3.3.3.2: tabella luce media campata

ALTA	Ente scavalcato il cui uso preveda affollamenti significativi e/o con funzioni pubbliche e sociali essenziali e/o la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e/o enti di elevato valore naturalistico, economico e sociale (Ferrovia, zona edificata/antropizzata, strade a viabilità primaria, etc.)
MEDIA	Ente scavalcato il cui uso preveda normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e/o enti con limitato valore naturalistico, economico e sociale (strade a viabilità secondaria, corsi d'acqua, laghi, specchi d'acqua marini, etc.)
BASSA	Ente scavalcato con presenza occasionale di persone e privi di valore naturalistico, economico e sociale (discontinuità naturali, depressioni del terreno, etc.)

Figura 4.3.3.3.3: tabella Classe di vulnerabilità

Sulla base di quanto riportato in queste tabelle, la classe di esposizione del viadotto risulta MEDIA. L'opera in esame è considerata strategica e quindi la classe di esposizione frane complessiva risulta MEDIO-ALTA.

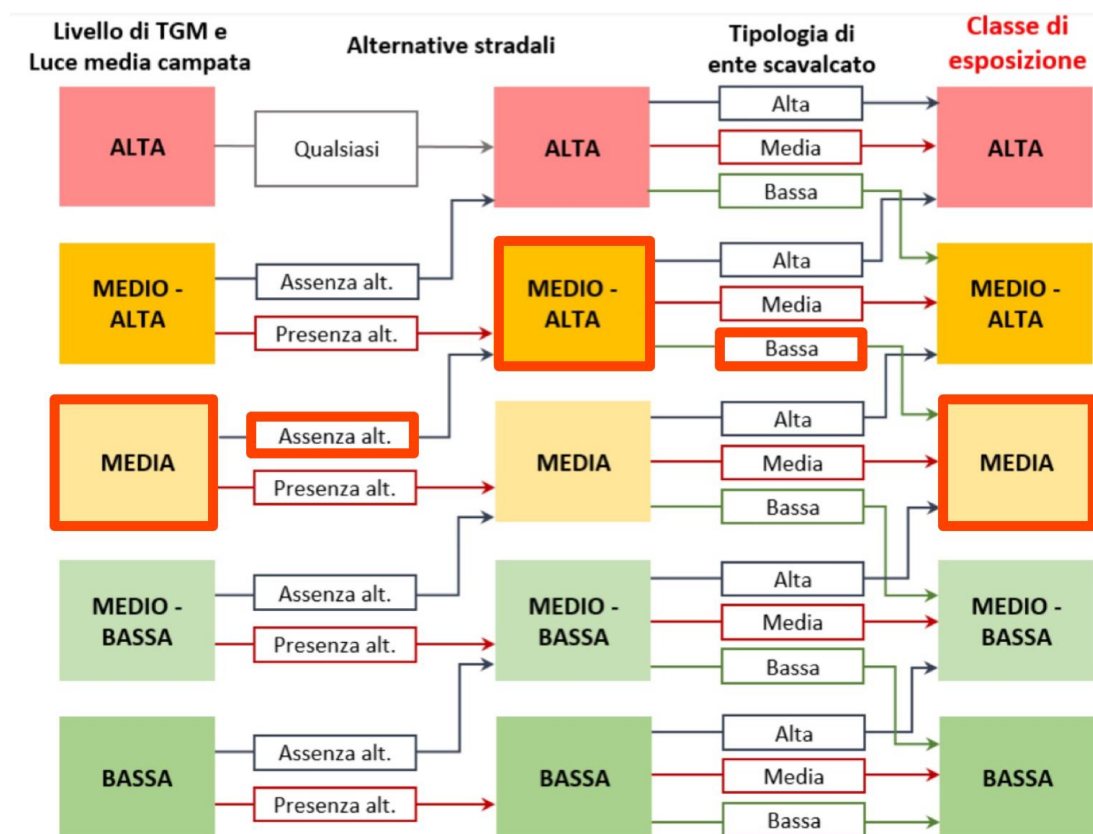


Figura 4.6.3.3.4: Flusso logico per la determinazione della Classe di esposizione

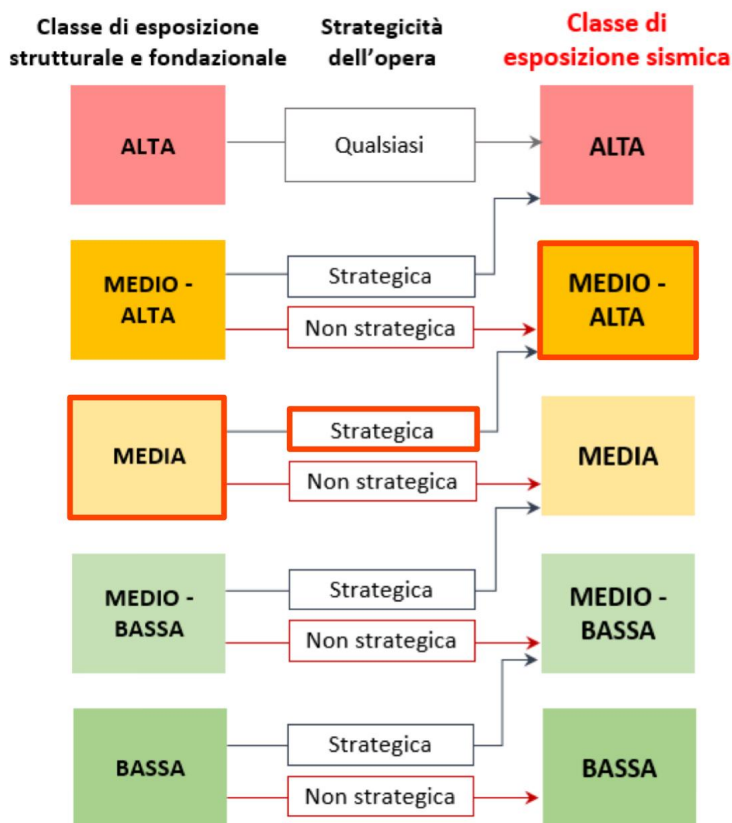


Figura 4.3.3.3.5: Flusso logico per la determinazione della Classe di esposizione sismica

4.3.3.4 Classe di attenzione frane

Il Viadotto Bastianassi II ha una classe di suscettibilità MEDIO-BASSA, una classe di vulnerabilità MEDIO-ALTA e una classe di esposizione MEDIO-ALTA. Pertanto, complessivamente, la classe di attenzione frane è da ritenersi MEDIA.

Classe di suscettibilità MEDIO-BASSA					
		Classe di esposizione			
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-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		

Figura 4.3.3.4.1: tabella classe di suscettibilità MEDIO-BASSA

		Classe di attenzione frane			
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa
Classe di attenzione idraulica	Alta	Alta		Medio-Alta	Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta		Media
	Media	Medio-Alta		Media	Medio-Bassa
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
	Bassa	Media		Medio-Bassa	Bassa

Figura 4.3.3.4.2: tabella Classe di Attenzione frane-idraulica

4.4 Viadotto del pescatore

4.4.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto del Pescatore avviene tramite software GIS, ed il viadotto risulta così collocato in una zona prevalentemente pianeggiante o a pendenza comunque moderata in prossimità di rilievi montuosi.

Utilizzando le informazioni contenute nella documentazione relativa al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) è emerso che il viadotto non si trovi in una condizione di pericolosità da frana. Anche l'inventario dei fenomeni franosi italiani (Catalogo IFFI) colloca il suddetto viadotto in una zona priva di movimenti franosi. Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto del Pescatore è inserito all'interno di formazioni di dolomie cristalline neritiche e di piattaforma (Triassico superiore). A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), nonostante la cartografia disponibile non indichi presenza di pericolosità franosa, si è comunque ritenuto opportuno passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane in quanto il viadotto risulta posizionato in prossimità di rilievi montuosi.



Figura 4.4.1.1: Mappa IFFI relativa al dissesto



Figura 4.4.1.2: Mappa PAI relativa al dissesto

4.4.2 Livello 1- ispezione

4.4.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini. Al fine di eseguire l'ispezione, non è necessaria l'interruzione del traffico per la presenza del vecchio tracciato della statale ora privo di traffico e utilizzato come strada di servizio. Si ritiene soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato infatti possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.4.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.4.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pendio moderatamente acclive ($10^\circ - 25^\circ$)", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

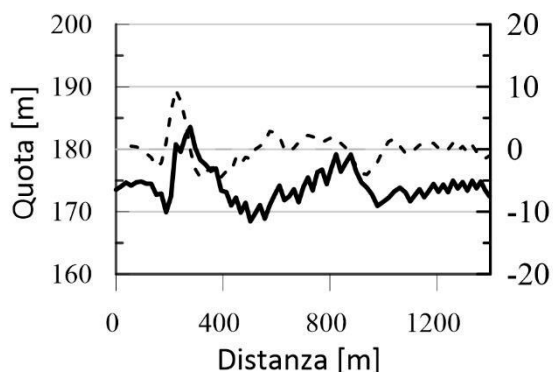


Figura 4.4.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

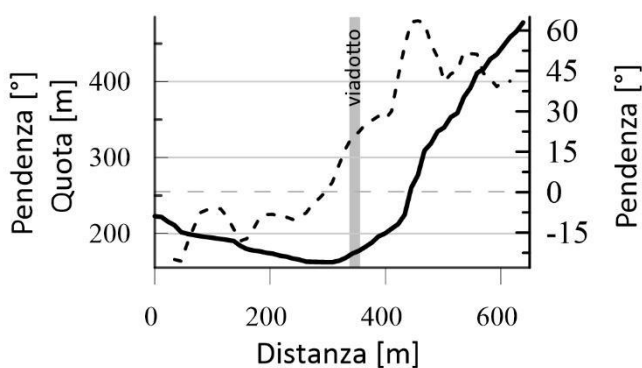


Figura 4.4.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto

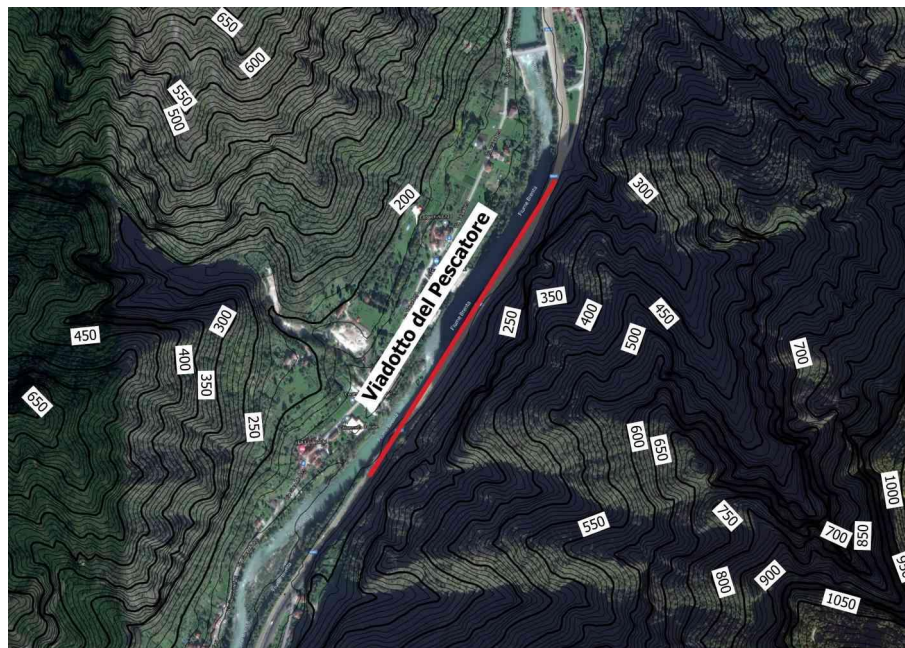


Figura 4.4.2.3.3: Ortofoto dell'area attorno al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.4.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalle cartografie IFFI e PAI esaminate, si è rilevato che il viadotto è collocato in un'area priva di dissesto. Il sopralluogo ha confermato tale condizione

4.4.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto del Pescatore è inserito all'interno di formazioni di dolomie cristalline neritiche e di piattaforma (Triassico superiore).

Inoltre, la relazione geologica realizzata in un'area poco distante dal viadotto al fine di avvalorare i lavori di ammodernamento nel tratto compreso tra la fine della variante di Rivalta (km 60.606) e l'inizio della variante di Cismon (km 63.005) ha confermato la presenza di un substrato calcareo-dolomitico generalmente compatto ma talora fratturato nella parte sommitale. Tale substrato presenta una profondità variabile, e talvolta è presente come materiale sub-affiorante. Nella medesima area sono presenti banchi di spessore variabile da 0 a 15 metri di depositi alluvionali del fiume Brenta costituiti da ciottoli e blocchi di notevoli dimensioni.

4.4.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si è osservato che il rischio frana non è rilevabile. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di terreno incolto nudo.

I documenti di riferimento sono la relazione geologica e le mappe IFFI e PAI relative all'area in cui è localizzato il viadotto.



Figura 4.4.5.2.6.1: Vista dell'area attorno al viadotto



Figura 4.4.2.6.2: Vista delle pile del viadotto collocate in area pianeggiante

4.4.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto del Pescatore, il sopralluogo effettuato ha permesso di confermare quanto emerso dall'analisi della documentazione disponibile, indicando l'assenza di evidenze di rischio da frana.

4.4.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto del Pescatore sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.4.3 Livello 2 - Classe di attenzione

Il Viadotto del Pescatore risulta localizzato in un'area non classificata come area di frana e priva di evidenze che indichino la presenza di dissesti. Di conseguenza la sua classe di attenzione frane risulta BASSA.

4.5 Ponte svincolo per Padova

4.5.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto svincolo da Enego-Asiago per Padova avviene tramite software GIS: il viadotto è situato in una zona prevalentemente pianeggiante in prossimità di rilievi montuosi.

Il censimento del viadotto, tramite la documentazione relativa al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) ci fa notare che il viadotto non si trova in una condizione di pericolosità da frana. Anche l'inventario dei fenomeni franosi italiani (Catalogo IFFI) colloca il suddetto viadotto in una zona priva di movimenti franosi. Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto svincolo da Enego-Asiago

per Padova è inserito all'interno di formazioni di calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici (Giurassico) e di calcari e talvolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico). A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), nonostante la cartografia disponibile non indichi presenza di pericolosità franosa, si è comunque ritenuto opportuno passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane in quanto il viadotto risulta posizionato in prossimità di rilievi montuosi.



Figura 4.5.1.1: Mappa IFFI relativa al dissesto



Figura 4.5.1.2: Mappa PAI relativa al dissesto

4.5.2 Livello 1- ispezione

4.5.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini. Al fine di eseguire l'ispezione, non è necessaria l'interruzione del traffico per la presenza di una strada sterrata munita di slargo per la sosta. Si ritiene soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato infatti possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.5.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.5.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pianura alla base dei versanti", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

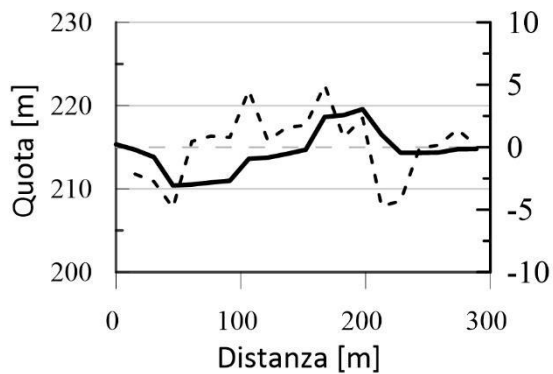


Figura 4.5.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

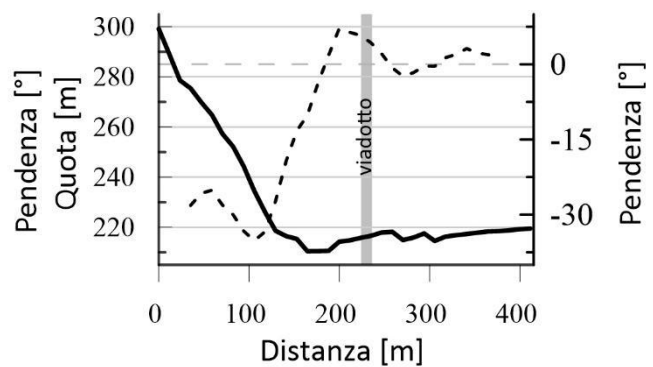


Figura 4.5.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto



Figura 4.5.2.3.3: Ortofoto dell'area al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.5.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalle cartografie IFFI e PAI esaminate, si è rilevato che il viadotto è collocato in un'area priva di dissesto. Il sopralluogo ha confermato tale condizione.

4.5.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Padova è inserito all'interno di formazioni di calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici (Giurassico) e di calcari e tavolta dolomie neritici e di piattaforma (Giurassico).

4.5.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si è osservato che il rischio frana è non rilevabile. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di vegetazione riparia e terreno incolto a ricoprimento dell'argine del fiume Brenta.



Figura 4.5.2.6.1: Vista dell'area in cui è localizzato il viadotto



Figura 4.5.2.6.2: Vista di alcune pile del viadotto localizzate in area pianeggiante

4.5.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Padova, il sopralluogo effettuato ha permesso di confermare quanto emerso dall'analisi della documentazione disponibile, indicando l'assenza di evidenze di rischio da frana.

4.5.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Padova sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.5.3 Livello 2 - Classe di attenzione

Il Viadotto svincolo da Enego-Asiago per Padova risulta localizzato in un'area non classificata come area di frana e priva di evidenze che indichino la presenza di dissesti. Di conseguenza la sua classe di attenzione frane risulta BASSA.

4.6 Ponte svincolo per Primolano

4.6.1 Livello 0 - Censimento

La geolocalizzazione del viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano colloca il viadotto stesso in una zona prevalentemente pianeggiante in prossimità di rilievi montuosi.

Il censimento del viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano utilizza le informazioni contenute nelle risorse cartografiche interrogabili online e caricate in ambiente GIS. In

particolare, la documentazione PAI non indica la presenza di dissesti, mentre l'inventario dei fenomeni franosi italiani (Catalogo IFFI) colloca il viadotto in prossimità di un crollo potenziale o ribaltamento (ID frana 0240066300). Anche il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione riporta indicazioni di localizzazione di dissesto franoso non delimitato. Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano è inserito all'interno di formazioni di calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici (Giurassico).

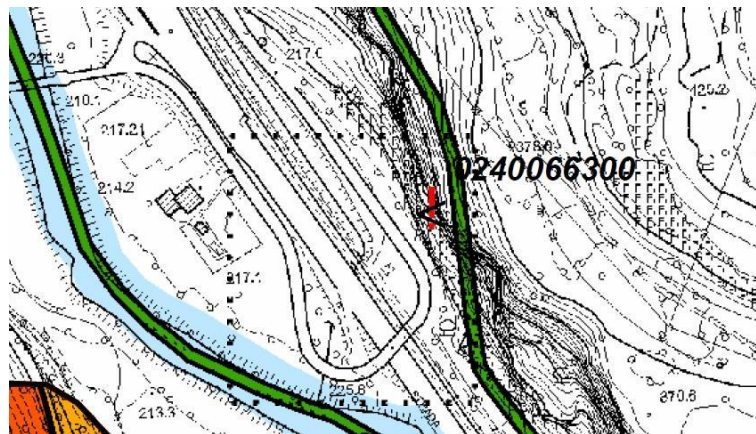


Figura 4.6.1.1: Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione

A seguito delle valutazioni eseguite al Livello 0 (censimento), è stato necessario passare al Livello 1 e svolgere un'apposita ispezione per valutare il CdA Frane.

4.6.2 Livello 1- ispezione

4.6.2.1 Informazioni ispezione

La strumentazione utilizzata durante il sopralluogo al fine di ispezionare il viadotto e le aree attigue era composta da dispositivi di acquisizione di immagini. Al fine di eseguire l'ispezione, non è necessaria l'interruzione del traffico per la presenza di un'area di servizio ANAS da cui sono accessibili le pile del viadotto. Si ritiene soddisfacente la condizione del territorio attorno al viadotto al fine di completare l'ispezione. Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente.

4.6.2.2 Misurazioni e rilievi integrativi

Non sono stati effettuati rilievi integrativi.

4.6.2.3 Contesto geo-morfologico

La morfologia del sito è quella classificabile in "Pianura alla base dei versanti", mentre l'unità fisiografica riscontrata è quella "Pianura intermontana". Si riportano di seguito alcune immagini significative relative all'area visionata con indicazione delle linee di livello e i profili longitudinale e trasversale.

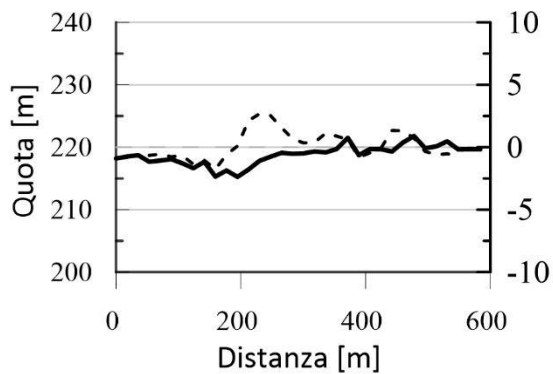


Figura 4.6.2.3.1: Sezione longitudinale al viadotto

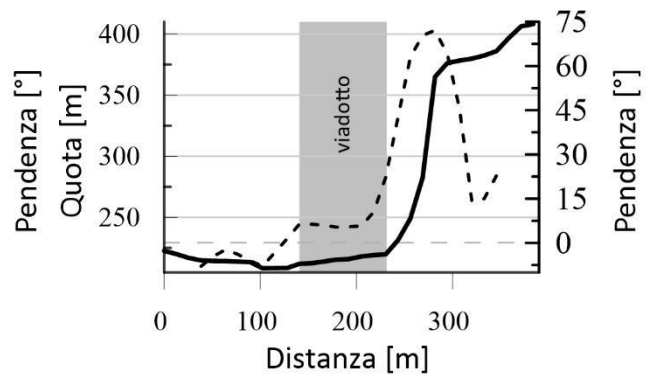


Figura 4.6.2.3.2: Sezione trasversale al viadotto

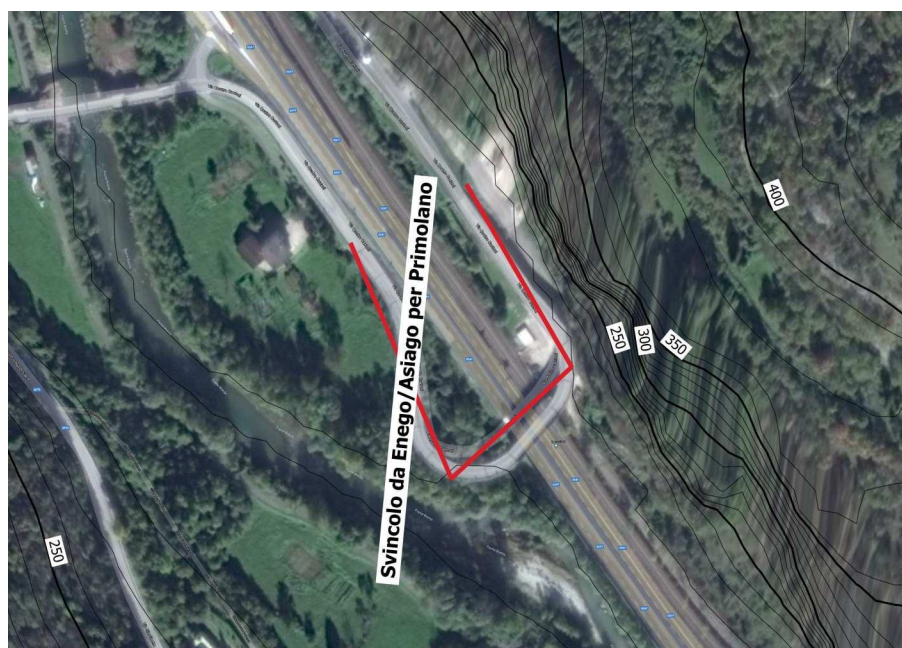


Figura 4.6.2.3.3: Ortofoto dell'area attorno al viadotto con visualizzazione delle curve di livello

4.6.2.4 Area riconosciuta pericolosa e conoscenza

Dalla cartografia IFFI si è rilevato che il viadotto risulta collocato in prossimità di un crollo potenziale o ribaltamento (ID frana 0240066300). Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione riporta indicazioni di localizzazione di dissesto franoso non delimitato.

In fase di sopralluogo si è confermata la presenza di un fenomeno potenziale di instabilità da crollo di porzioni di roccia del versante posto in prossimità del viadotto. La porzione di versante caratterizzata da problematiche risulta tuttavia stabilizzata mediante l'installazione di reti corticali che impediscono il distacco di materiale superficiale che altrimenti potrebbe crollare sulla carreggiata.



Figura 4.6.2.4.1: Vista della porzione di versante a monte del viadotto caratterizzato da rischio di crolli

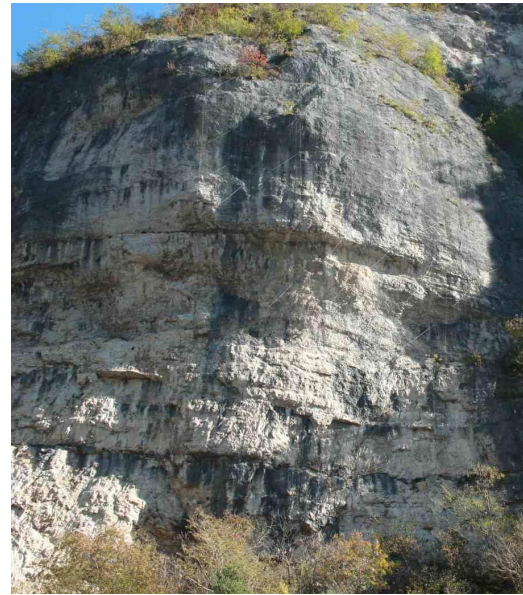


Figura 4.6.2.4.2: Vista del dettaglio delle reti corticali a protezione del versante

4.6.2.5 Contesto geologico

Il contesto geologico del materiale affiorante è ricavabile dalla mappa geologica d'Italia: il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano è inserito all'interno di formazioni di calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici (Giurassico) La scheda IFFI relativa all'area di studio (ID frana 0240066300) riporta inoltre la presenza di calcari grigi di Noriglio.

4.6.2.6 Caratteristiche del fenomeno

Durante il sopralluogo si sono osservate evidenze in grado di confermare la presenza di un rischio frana, prevalentemente definibile come crollo o ribaltamento in roccia. L'uso del suolo dell'area in cui è inserito il viadotto è prevalentemente caratterizzato dalla presenza di terreno incolto e dall'attraversamento della SS47. Per quanto riguarda la morfometria della frana, la posizione dell'instabilità sul versante è alta. Nello specifico l'orlo superiore della zona di distacco si trova a 375 m slm; il viadotto si trova invece a una quota di 230 m slm.

I documenti di riferimento sono il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione – Carta della pericolosità geologica, e la scheda IFFI relativa all'area di studio (ID frana 0240066300).



Figura 4.6.2.6.1: Vista dell'area circostante il viadotto

Figura 4.6.2.6.2: Vista di alcune pile del viadotto

4.6.2.7 Parametri caratteristici per classe di attenzione

La determinazione della classe di attenzione per il rischio frana si basa sulla valutazione di tre parametri principali: lo stato di attività, la magnitudo del dissesto e la sua velocità. Per quanto riguarda il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano, dal sopralluogo effettuato e dall'analisi della documentazione disponibile, si può definire il fenomeno come una frana riconosciuta (crollo in roccia) e stabilizzata mediante reti corticali. La scheda IFFI (ID frana 0240066300) descrive infatti il fenomeno come crollo a velocità estremamente rapida (> 5 m/s) quiescente in grado di recare danno medio alla strada statale. Per quanto riguarda la stima del parametro della massima velocità potenziale di spostamento della frana, si ritiene pertanto verosimile attribuire al dissesto in analisi una velocità Estremamente/molto rapida (> 3 m/min). Infine, la stima della magnitudo su base volumetrica si basa prevalentemente sulle osservazioni eseguite in fase di sopralluogo; a tal proposito, si ritiene verosimile stimare la magnitudo del dissesto come Molto Piccola ($< 10^2$ m³).

Il sopralluogo ha permesso di valutare infine l'estensione dell'interferenza che la frana ha con il viadotto. Alla luce delle osservazioni fatte in sito, si ritiene che tale estensione sia solamente in zona di approccio.

4.6.2.8 Affidabilità complessiva della valutazione

Durante il sopralluogo è stato possibile visionare il viadotto ed il territorio attorno ad esso in maniera soddisfacente. Di conseguenza, si ritiene che l'affidabilità complessiva della valutazione svolta per il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano sia buona, in quanto il viadotto è stato visionato per intero.

4.6.3 Livello 2 - Classe di attenzione

4.6.3.1 Suscettibilità

Sulla base dei dati acquisiti prima del sopralluogo, la frana è classificata come "Stabilizzata", per le evidenze riscontrate durante il sopralluogo. Di conseguenza, il parametro P_A risulta pari a 1.

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_D)	Altamente critica	Critica	Scarsamente critica
P_A o P_C	5	3	1

Figura 4.3.3.1.1: tabella stato di attività frane

Dalle informazioni a disposizione si attribuisce al fenomeno una velocità Estremamente/molto rapida (> 3 m/min); il parametro P_V risulta pertanto pari a 5.

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 o lenta
P_V	5	4	3	2	1

Figura 4.3.3.1.2: tabella velocità frane

La valutazione del parametro P_M basata sulla cartografia disponibile (IFFI e PAI) permette la stima di una magnitudo Molto Piccola ($< 10^2$ m³) che comporta quindi un punteggio pari a 3.

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

Figura 4.3.3.1.3: tabella grandezza volumetrica frane

Come indicato nelle LLGG, la valutazione del livello di instabilità di versante è data dalla sommatoria dei valori associati ai tre parametri ovvero $P = P_A(1) + P_V(5) + P_M(3)$ che per la frana in esame risulta quindi pari a 9, da cui si deduce che l'instabilità di versante è MEDIO - BASSA.

$P = P_A + P_M + P_V$ (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

Figura 4.3.3.1.4: tabella instabilità versante

Al fine di giungere ad una corretta valutazione della suscettibilità dell'opera si valutano i parametri secondari che sono:

- Affidabilità della valutazione: nel caso in esame è buona.

- Misure di Mitigazione: nel caso in esame stabilizzato, per la presenza di reti corticali installate sul versante instabile.

Pertanto, sulla base di questi due valori, la classe di suscettibilità viene valutata come BASSA.

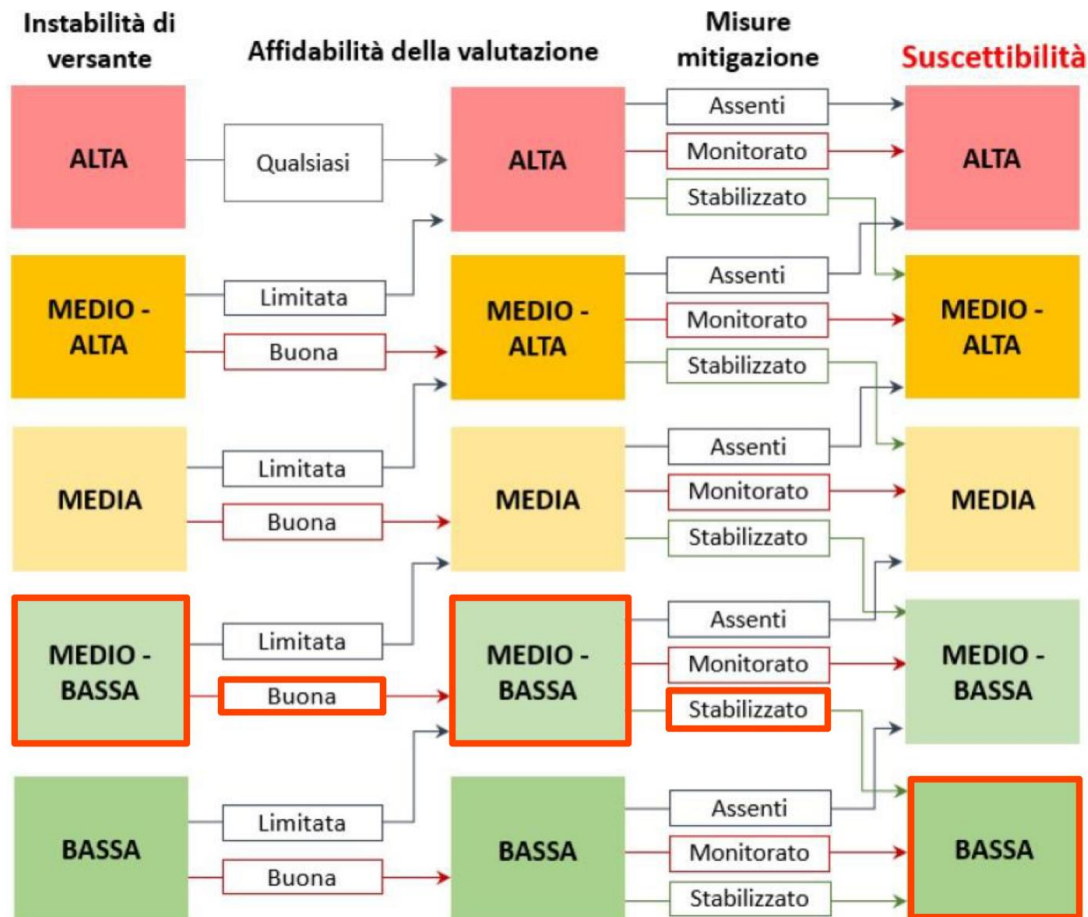


Figura 4.6.3.1.5: Flusso logico per la determinazione della suscettibilità

4.6.3.2 Vulnerabilità

La vulnerabilità dipende dalla tipologia strutturale del ponte, dalla tipologia di fondazione e dall'estensione dell'interferenza. Queste informazioni sono processate secondo quanto disposto nelle LLGG con riferimento alle figure 4.13 e 4.8 delle LLGG. Si ricorda inoltre che in presenza di fondazioni superficiali la classe di vulnerabilità va aumentata di una posizione.

I parametri primari per la valutazione della vulnerabilità sono quindi:

- tipologia/robustezza del ponte, che dipende da: a) schema statico, luce e materiale distinguendo schemi iperstatici e schemi isostatici e luci medio-piccole e elevate; b) numero di campate, distinguendo ponti a singola campata da ponti multi-campate).
- tipologia di fondazioni di spalle e pile, specialmente in relazione alla loro capacità di resistere alle azioni orizzontali. Per tale ragione, nel caso in cui ci sia evidenza, dalla documentazione originaria disponibile e/o dalle ispezioni visivi effettuate, di presenza di fondazioni superficiali o comunque non progettate per resistere alle azioni orizzontali, occorre aumentare di un livello la classe strutturale.

Nella tabella relativa alla classificazione del viadotto sulla base dello schema statico, della luce e del materiale, per luci medio-piccole si intendono luci non maggiori di 20 m, per luci elevate le luci maggiori di 20 m.

Per quanto riguarda il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano, lo schema strutturale è quello isostatico, realizzato in C.A.P. in semplice appoggio su multi-campata. La campata di lunghezza massima è classificata come elevata, in quanto di luce pari a 33.1 m.

		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

Figura 4.3.3.2.1: tabella vulnerabilità infrastruttura

Come visto in precedenza il parametro di estensione dell'interferenza è stato valutato come "in zona di approccio".

In conclusione, sulla base delle analisi sopra riportate, la classe di vulnerabilità è valutata come MEDIO-ALTA.

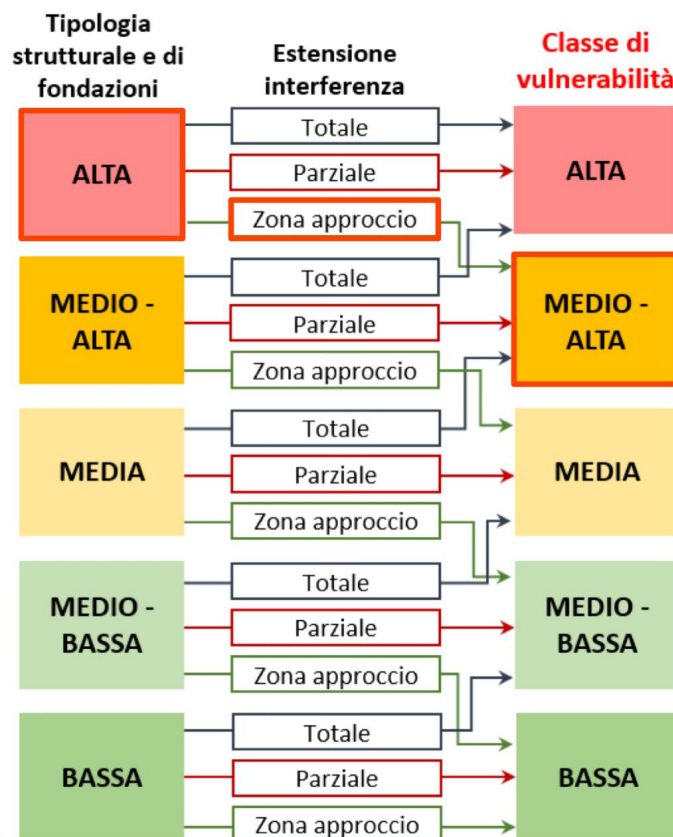


Figura 4.6.3.2.2: Flusso logico per la determinazione della Classe di vulnerabilità

4.6.3.3 Esposizione

L'esposizione dipende dal traffico medio giornaliero (TGM), dalla luce della campata, dalla presenza di alternative stradali, dall'ente scavalcato, dalla strategicità del ponte. Queste informazioni sono processate secondo quanto disposto con riferimento alle figure 4.3 e 4.6 delle LLGG.

Il livello di TGM individuato viene corretto in funzione della luce media della campata del ponte, distinguendo:

- Grande luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 50 m;
- Media luce: per ponti con campate di luce media maggiore di 20 m e non maggiore di 50 m;
- Piccola luce: per ponti con campate di luce media non maggiore di 20 m.

Per quanto riguarda il valore del TGM, per il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano non si dispone del livello di traffico medio giornaliero sull'intera carreggiata. Tuttavia, coerentemente con i dati disponibili per tratti di statale vicini al viadotto, si ritiene verosimile che la classe iniziale sia BASSA. Tale valore deve essere corretto tenendo conto della luce media della campata da cui dipende il rischio a cui l'utente della strada è esposto. Per il viadotto in esame la luce media delle campate è pari a 20.3 m, che corrisponde ad una campata classificata a Media luce. Il livello di esposizione relativo alla luce media è pertanto stimato di entità MEDIO-BASSA.

La possibile chiusura o le limitazioni di traffico sul ponte causano inevitabili disagi alle economie locali. Tali disagi sono contenuti nel caso siano individuati itinerari stradali adeguati su cui eventualmente deviare i flussi di traffico. A seguito del sopralluogo eseguito, si ritiene che siano presenti alternative stradali che limitino i disagi conseguenti ad una chiusura totale o parziale delle carreggiate del viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano.

Il parametro successivo da prendere in considerazione misura qualitativamente le conseguenze indirette, di carattere sociale ed economico, legate al crollo, anche parziale, dell'opera. Per il viadotto svincolo da Enego-Asiago per Primolano, il livello di esposizione associato alla tipologia di ente scavalcato è stimato di entità ALTA.

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

Figura 4.3.3.3.1: tabella traffico giornaliero

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
--------------	-------	-------------	-------

Figura 4.3.3.3.2: tabella luce media campata

ALTA	Ente scavalcato il cui uso preveda affollamenti significativi e/o con funzioni pubbliche e sociali essenziali e/o la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e/o enti di elevato valore naturalistico, economico e sociale (Ferrovia, zona edificata/antropizzata, strade a viabilità primaria, etc.)
MEDIA	Ente scavalcato il cui uso preveda normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali, la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza e/o enti con limitato valore naturalistico, economico e sociale (strade a viabilità secondaria, corsi d'acqua, laghi, specchi d'acqua marini, etc.)
BASSA	Ente scavalcato con presenza occasionale di persone e privi di valore naturalistico, economico e sociale (discontinuità naturali, depressioni del terreno, etc.)

Figura 4.3.3.3.3: tabella Classe di vulnerabilità

Sulla base di quanto riportato in queste tabelle, la classe di esposizione del viadotto risulta MEDIA. L'opera in esame è considerata non strategica e quindi la classe di esposizione frane complessiva rimane MEDIA.

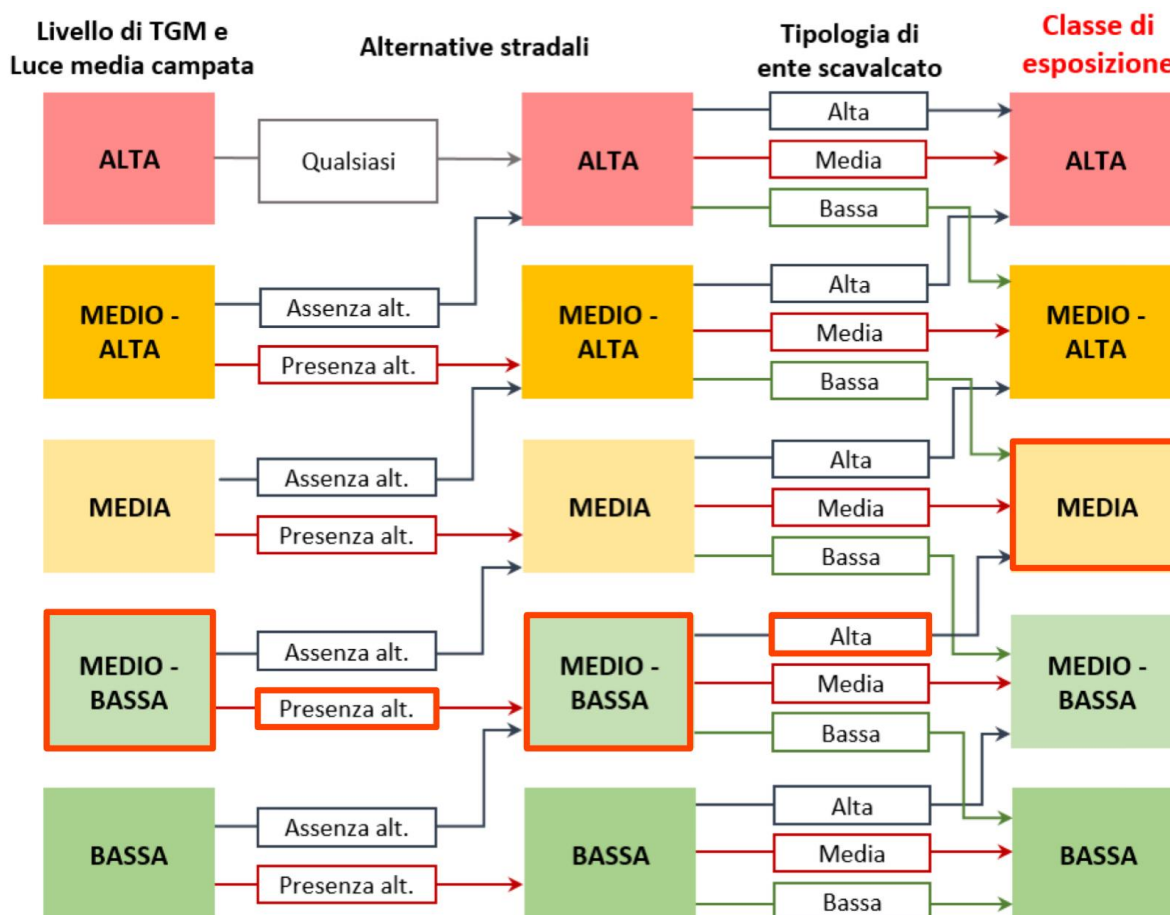


Figura 4.6.3.3.4: Flusso logico per la determinazione della Classe di esposizione

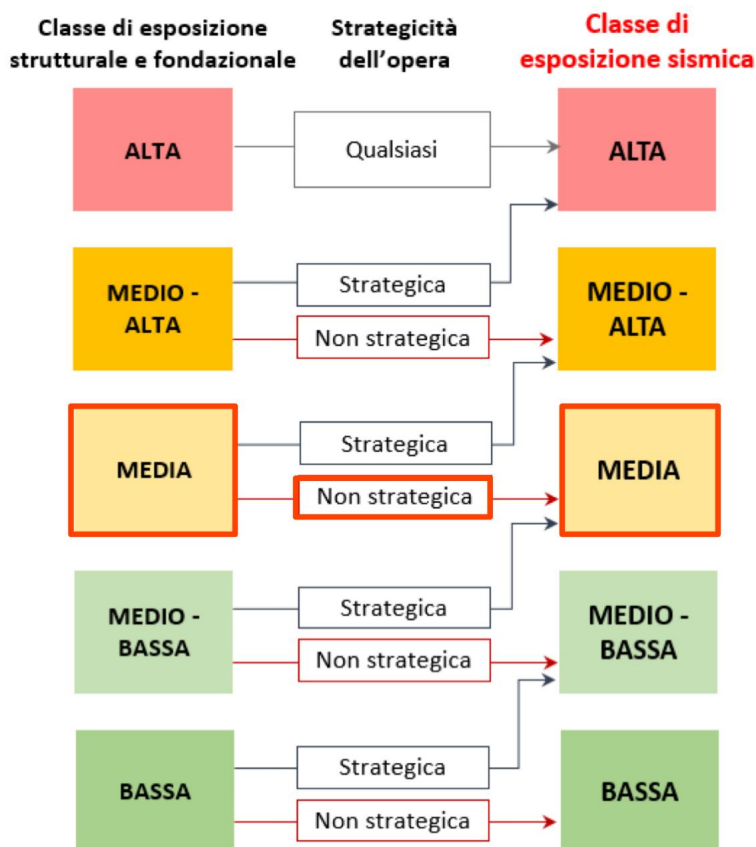


Figura 4.3.3.3.5: Flusso logico per la determinazione della Classe di esposizione sismica

4.6.3.4 Classe di attenzione frane

Il viadotto svincolo da Eneo-Asiago per Primolano ha una classe di suscettibilità BASSA, una classe di vulnerabilità ALTA e una classe di esposizione MEDIA. Pertanto, complessivamente, la classe di attenzione frane è da ritenersi MEDIA.

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	

Figura 4.6.3.4.1: tabella Classe di suscettibilità BASSA

		Classe di attenzione frane				
		Alta	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa



Classe di attenzione idraulica	Alta	Alta		Medio-Alta	Media
	Medio-Alta	Alta	Medio-Alta		Media
	Media	Medio-Alta		Media	Medio-Bassa
	Medio-Bassa	Medio-Alta	Media	Medio-Bassa	Bassa
	Bassa	Media			Medio-Bassa

Figura 4.3.3.4.2: tabella Classe di Attenzione frane-idraulica

CONCLUSIONI

Con il passare degli anni, il graduale aumento di crolli improvvisi nelle infrastrutture ha reso necessaria la creazione delle “Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio di ponti esistenti”, con l'obiettivo prevenire possibili catastrofi, andando a valutare la sicurezza caso per caso, e quindi la relativa classe di attenzione. Lo scopo deve essere quello di mitigare il rischio andando ad eseguire più controlli ed agire ove necessario.

Nel caso più specifico, ovvero quello dei fenomeni franosi, risulta ancor più imprevedibile un crollo imminente, in quanto la frana stessa risulta imprevedibile. Come però abbiamo visto nel primo capitolo ci sono alcune soluzioni di monitoraggio che ci permettono di valutare la possibile presenza di fenomeni di instabilità. Potenzialmente questo ci permette di andare ad intervenire in tempo sui versanti, stabilizzandoli.

Lo studio sul crollo del ponte dell'autostrada A6 (Savona-Torino) presentato nel capitolo 2 ci ha consentito di osservare come in una zona montagnosa, soggetta ad eventi franosi che si diversificano nella zona stessa, sia necessario ed utile procedere preventivamente con ispezioni e controlli atti ad individuare criticità.

Ovviamente questo risulta complicato se andiamo a considerare il numero di ponti ed allo stesso modo il numero di eventi franosi presenti nella nostra penisola. In questa strada ci può essere molto d'aiuto l'approccio multilivello proposto dalle linee guida che procede infatti per gradi di vulnerabilità e classi di attenzione.

Nel capitolo 4 siamo andati fisicamente ad analizzare alcuni casi studio interessanti per la compilazione degli allegati proposti dalle linee guida. Durante le operazioni abbiamo notato come talvolta fosse complicato fornire una valutazione affidabile ed oggettiva ad alcune domande proposte dalle linee guida, anche per la poca chiarezza in alcune terminologie e la singolarità dei casi studio. Altre volte, l'identificazione degli elementi necessari all'identificazione della CdA è resa molto complessa a causa di ulteriori complicazioni derivanti da punti di difficile accessibilità o per la limitata visibilità del territorio in cui il viadotto risulta inserito. Tali difficoltà rendono molto complesse le operazioni di identificazione di eventuali segni precursori o segnali di possibile dissesto in atto e pertanto l'osservazione dello stato di fatto della struttura stessa diventa di riferimento per valutare i possibili effetti che una frana può causare sul viadotto.

Nonostante ciò, si ritiene che la procedura si sia rivelata produttiva, peremettendoci di assegnare ad ogni ponte la relativa classe di attenzione. Per alcuni la classe di attenzione al rischio frana è risultata minima, in quanto non risultavano presenti evidenze di rischio frana. Abbiamo inoltre constatato che risulta molto utile al fine della valutazione l'utilizzo preliminare di Google Maps, Google Earth, per la contestualizzazione del viadotto in fase di redazione del livello 0. Risulta inoltre fondamentale e di riferimento principale per stimare il rischio idrogeologico l'utilizzo della cartografia online fornita da ISPRA (IFFI e PAI), oltre alle

risorse cartografiche disponibili online, sia in fase di studio preliminare che in loco, durante il sopralluogo stesso.

Da questo elaborato ricaviamo quindi note positive relative ad un problema che tuttora continua ad esistere e che richiede un intervento in vasta scala, verosimile a quello proposto nei casi studio, per fornire sempre più sicurezza alle nostre infrastrutture e di conseguenza alla nostra popolazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cruden D.M., Varnes D.J. - Landslide types and processes, in: Turner A.K., Schuster R.L., Landslides Investigation and Mitigation (Sp. Rep. 247, pp. 36-75), Transportation Research Board, US National Research Council, Washington 1996
- [2] Braccesi G., Caselli D., Cardinali A. - Indagini geofisiche e geotecniche di supporto alla caratterizzazione di un movimento franoso, Rovereto 2008
- [3] Canuti P., Casagli N., 1996, Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana, Atti del convegno di Bologna del 27 Maggio 1994, CNR-GNDCI – Regione Emilia-Romagna.
- [4] Caniani D., Pascale S., SDAO F., SOLE A., 2008, Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza, Nat. Hazards
- [5] CIAS, “Manuale per la valutazione dello stato dei ponti,” 2018.
- [6] Gisotti, G., Benedini M., 2000, Il Dissesto Idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio, Carocci Editore, Roma.
- [7] Varnes D. J., IAEG COMMISSION ON LANDSLIDES, 1984, Landslide Hazard Zonation – a review of principles and practice. UNESCO Paris
- [8] Varnes D., 1978, Slope movements. Types and Processes. In: Schuster R.L. & Krizker R.J. (eds.) “Landslide: analysis and control”. Nat. Acad. of Sciences, Trasp. Res. Board, Washington
- [9] W. Salvatore, “Valutazione del rischio strutturale dei ponti nelle reti infrastrutturali,” 2019.
- [10] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Norme tecniche per le costruzioni 2008,” 2008.
- [11] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Circolare applicativa NTC2018,” 2019.
- [12] Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio di ponti esistenti, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici , allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019, espresso in modalità “agile” a distanza dall’Assemblea Generale in data 17.04.2020.

SITOGRAFIA

- [1] <https://www.ediltecnico.it/>
- [2] <https://www.ingegneri.cc/>



- [3] <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- [4] <https://it.wikipedia.org>
- [5] <https://ita.sika.com>
- [6] <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>
- [7] <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>
- [8] <https://www.ilfattoquotidiano.it/>