



Ispezioni, valutazioni, controlli visivi e strumentali collaudi e verifiche di sicurezza d'infrastrutture stradali a 4 anni dalla emanazione delle Linee Guida Ponti

IL RISCHIO FRANE NELLE LINEE GUIDA PONTI MIT 2020



Ing. Fabrizio Cuggiani

Frane: Varnes, 1978 - Cruden & Varnes, 1996 (si verificano inoltre anche frane di tipo complesso/composito)

TIPO DI MOVIMENTO		TIPO DI MATERIALE (PRIMA DEL MOVIMENTO)		
		AMMASSO ROCCIOSO	TERRENO SCIOLTO	
			DETRITO	TERRA
CROLLI		CROLLO DI ROCCIA (a)	CROLLO DI DETRITO (h)	CROLLO DI TERRA (p)
RIBALTAMENTI		RIBALTAMENTO DI ROCCIA (b)	RIBALTAMENTO DI DETRITO (i)	RIBALTAMENTO DI TERRA (q)
SCIVOLA- MENTI	ROTAZ.	SCIVOLAM. ROTAZ. DI ROCCIA (c)	SCIVOLAM. ROTAZ. DI DETRITO (l)	SCIVOLAM. ROTAZ. DI TERRA (r)
	TRASL.	SCIVOLAMENTO TRASL. DI ROCCIA (d)	SCIVOLAMENTO TRASL. DI DETRITO (m)	SCIVOLAMENTO TRASL. DI TERRA (s)
ESPANSIONI LATERALI		ESPANSIONE LATER. DI ROCCIA (e)	ESPANSIONE LATER. DI DETRITO (n)	ESPANSIONE LATER. DI TERRA (t)
COLAMENTI		COLAM. DI ROCCIA (f)	COLAM. DI DETRITO (o)	COLAM. DI TERRA (u)
FRANE COMPLESSE		(g)		

Table 1 A summary of Varnes' 1978 classification system (based on Varnes 1978, Fig. 2.1)

Movement type	Rock	Debris	Earth
Fall	1. Rock fall	2. Debris fall	3. Earth fall
Topple	4. Rock topple	5. Debris topple	6. Earth topple
Rotational sliding	7. Rock slump	8. Debris slump	9. Earth slump
Translational sliding	10. Block slide	11. Debris slide	12. Earth slide
Lateral spreading	13. Rock spread	—	14. Earth spread
Flow	15. Rock creep	16. Talus flow	21. Dry sand flow
		17. Debris flow	22. Wet sand flow
		18. Debris avalanche	23. Quick clay flow
		19. Solifluction	24. Earth flow
		20. Soil creep	25. Rapid earth flow
			26. Loess flow
Complex	27. Rock slide-debris avalanche	28. Cambering, valley bulging	29. Earth slump-earth flow

La classificazione di Varnes è generale ed è riconosciuta in larga scala in tutto il mondo, serve per definire i diversi tipi di movimenti franosi ed è stata aggiornata da Hungr nel 2013

In questa tabella vedete diversi tipi di movimento, vedete diversi materiali coinvolti, sia dal punto di vista di possibili ammassi rocciosi di diversa consistenza, sia dal punto di vista invece di terreni sciolti, ma è chiaro che ogni fenomeno ha di per sé una sua peculiarità

Table 2 Landslide velocity scale (WP/WLI 1995 and Cruden and Varnes 1996)

Velocity class	Description	Velocity (mm/s)	Typical velocity	Response ^a
7	Extremely rapid	5×10^3	5 m/s	Nil
6	Very rapid	5×10^1	3 m/min	Nil
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuation
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Evacuation
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Maintenance
2	Very slow	5×10^{-7}	16 mm/year	Maintenance
1	Extremely Slow			Nil

^a Based on Hungr (1981)

Classifica di Cruden e Varnes (1996)

“Landslide types and processes”

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



RACCOLTA DATI DI INTERAZIONE PONTI CON FRANE

Lo scenario è quindi molto variabile: ci sono evidenze, nel caso di frane, in cui il fenomeno è chiaro, facilmente identificabile, sia dal punto di vista del fenomeno che dal punto di vista delle caratteristiche.

Nel caso invece di applicazione delle LINEE GUIDA, molto spesso **quello che ci si trova a fare nell'ambito delle valutazioni della sicurezza, è dover riconoscere fenomeni che non sono ancora avvenuti o di cui non si sa molto e le cui caratteristiche non sono particolarmente conosciute**



LINEE GUIDA PONTI MIT 2020

4.4 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

MECCANISMI D'INTERAZIONE FRANE - PONTI



TIPI E MECCANISMI DI INTERAZIONE

Meccanismi di interazione:

- le frane lente, roto-traslazionali, sono tipicamente ad interazione longitudinale o trasversale al ponte e possono coinvolgere le pile, le spalle o l'intero ponte
- nel caso dei fenomeni più rapidi, come i flussi, le interazioni sono principalmente contro le pile, ma possono coinvolgere anche le spalle e l'intero ponte, in funzione di volume e velocità di frana e della grandezza del ponte
- nel caso di caduta massi, anch'essi fenomeni rapidi, sono urti principalmente contro le pile, ma possono coinvolgere anche l'intero ponte ed è frequente la caduta sugli impalcati



TIPI E MECCANISMI DI INTERAZIONE

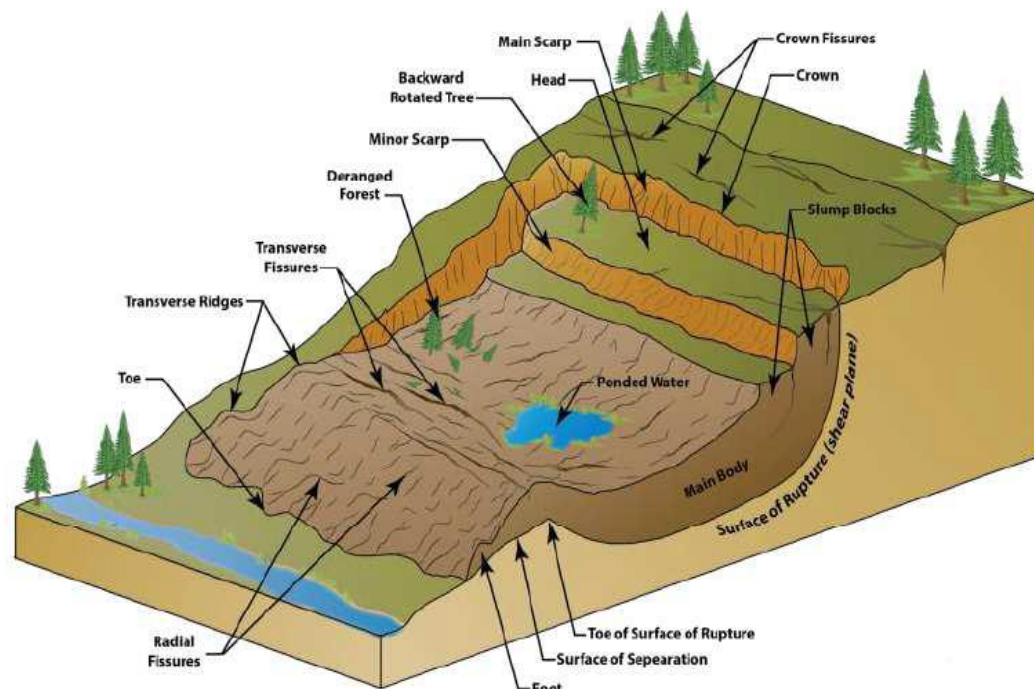
Le linee guida italiane, in questo senso distinguono l'interazione diretta su alcune parti del ponte, ossia quella già in corso nel caso di frane lente, dall'interazione indiretta di una frana che potrebbe innescarsi e colpire la struttura del ponte a causa degli impatti subiti durante la sua propagazione.

MOVIMENTI FRANOSI - SLIDES

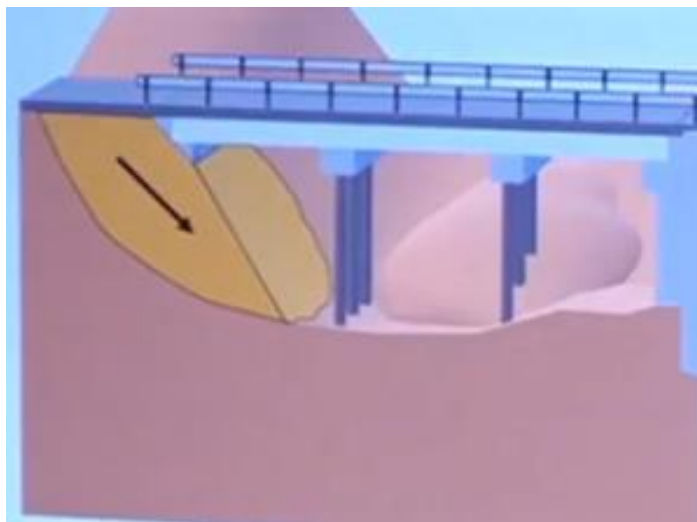
Abbiamo poi i tipi di scivolamenti di cui, come vedete qua, c'è una lunga lista di diversa tipologia, tali fenomeni possono coinvolgere **qualsiasi tipo di materiale**, avere **forme che possono essere rotazionali o traslative**, quindi avere delle superfici di scivolamento **più o meno profonde** e proprio per questa **grande variabilità che caratterizza gli scivolamenti le velocità** che caratterizzano questi fenomeni che sono le più svariate, quindi andiamo dalla **velocità lenta, estremamente lenta**, di movimenti gravitativi profondi a invece **velocità più elevate di scivolamenti invece planari tra due pendii soprattutto superficiali**.

SCIVOLAMENTI - SLIDES

Movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia che avviene lungo una **superficie di neoformazione, generalmente curva e concava verso l'alto**, che si produce al momento della rottura del materiale.



ESEMPIO DI INTERAZIONE LONGITUDINALE



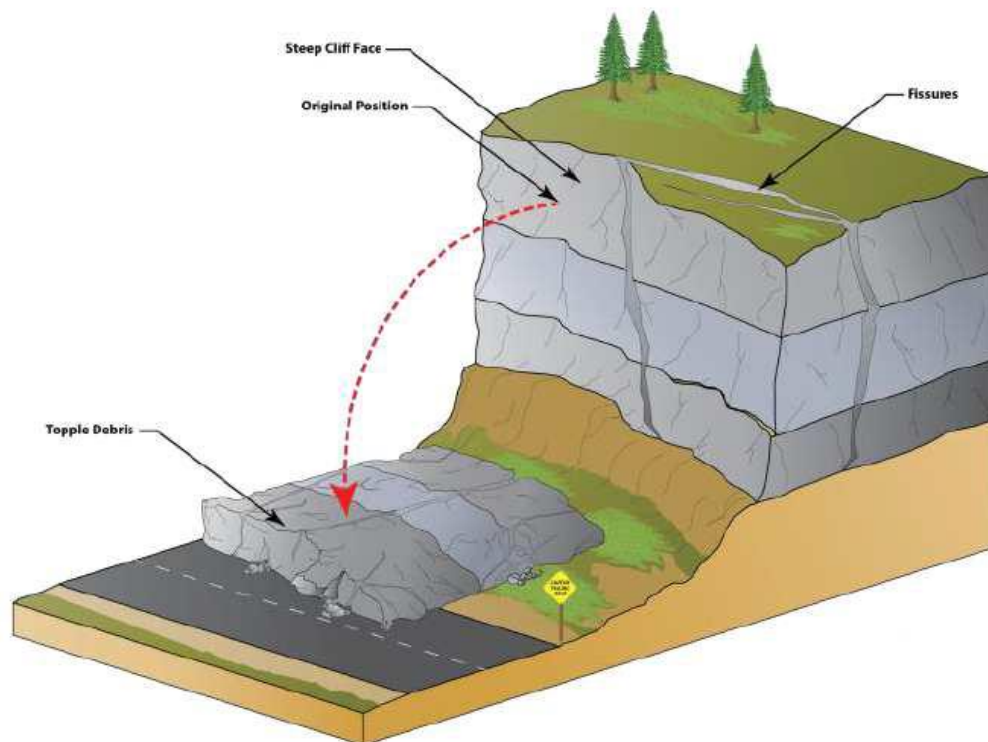
Nel caso del viadotto ad Albiano Magra, interamente crollato in data 08.04.2020, con solo due feriti lievi grazie a restrizioni di transito per COVID, **c'è stata un'interazione lenta longitudinale**, ossia nella direzione dell'opera, e con analisi dati satellitari che un poco sottolineavano che si vedevano dei movimenti del versante in direzione longitudinale al ponte.

MOVIMENTI FRANOSI - TOPPLE

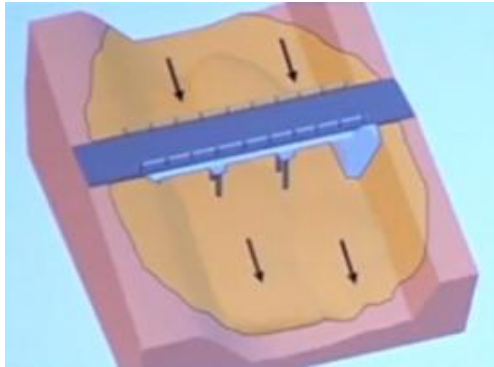
Una **prima famiglia** di fenomeni, sono **fenomeni molto rapidi**, dal cinematismo molto rapido, **sono crolli e ribaltamenti tipicamente in roccia**, ma possono anche coinvolgere materiali, diciamo **via via sciolti** e che **possono poi evolvere in fenomeni franosi tipo debris flow con colate critiche**

RIBALTAMENTO - TOPPLE

Rotazione in avanti, verso l'esterno del versante, di una massa di terra o roccia, intorno ad un punto situato al di sotto del baricentro della massa spostata.



ESEMPIO DI INTERAZIONE TRASVERSALE



Nel caso della frana sulla carreggiata del Viadotto Isarco del 05.02.2014, c'è stata invece un'interazione trasversale al viadotto, con flussi e colate rapide, fenomeni rapidi per i quali le velocità sono alte e **il volume movimentato diventa determinante** ai fini di possibili conseguenze per la struttura, per persone e cose.

MOVIMENTI FRANOSI - FLOWS

Poi, tornando sempre nella scala delle alte velocità, abbiamo quelli che sono i **flussi**, tipicamente **di materiali sciolti**, quindi: qualche materiale granulare, qualche materiale coesivo, **caratterizzati da medio elevati contenuti di acqua**, che vanno appunto a caratterizzare fenomeni che vanno dai **flussi** di detrito, a **colate** di detrito, a **valanghe di detriti**. Proprio a **sottolineare come l'innesco e il quantitativo d'acqua condizioni il meccanismo di propagazione, ma condizioni anche le velocità coinvolte e il deposito finale** che, in fenomeni come questi, diventa **cruciale se lungo il percorso di propagazione di una colata detritica c'è proprio un'infrastruttura** che potrebbe essere colpita

MOVIMENTI FRANOSI - FLOWS

FLUSSI – COLATE – FLOW

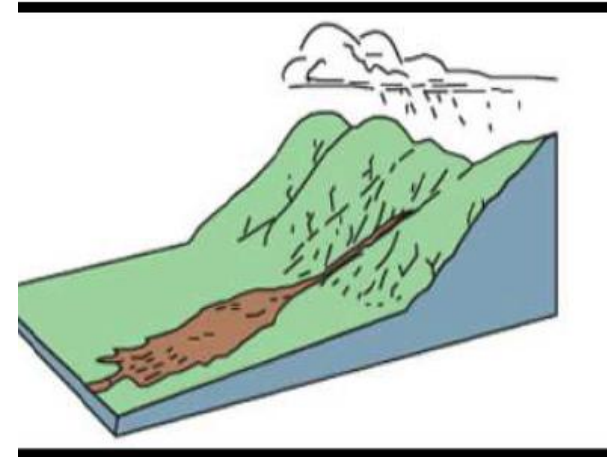
Si tratta di un aggregato ad **elevata viscosità, con velocità** dipendente dalla pendenza del versante e dal contenuto d'acqua della massa in movimento.

Colate di terre (earth flow)

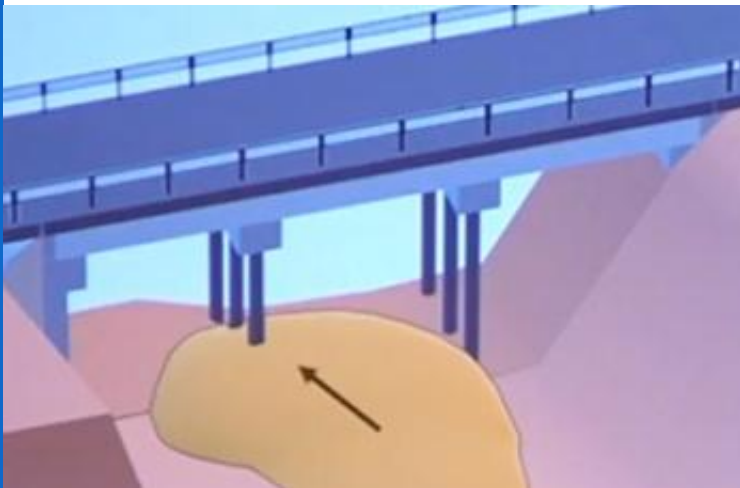
E possibile individuare una zona sorgente, un canale di trasporto e una zona di accumulo. Qualora il contenuto di acqua sia particolarmente abbondante si possono verificare le cosiddette *colate di fango (mud flow)*.

Colate di detrito (debris flow)

Il contenuto di acqua è senza dubbio più rilevante. Il materiale si presenta come una miscela composta da detrito di granulometria eterogenea e acqua.



ESEMPIO DI INTERAZIONE CON COLATE



A6, Viadotto Madonna del Monte



Nei casi di interazioni con flussi e di colate rapide, abbiamo fenomeni rapidi, in cui ovviamente **le velocità sono alte e il volume movimentato diventa perciò determinante per verificare gli effetti del danno.**

ESEMPIO DI INTERAZIONE CON DEBRIS FLOW



Nei casi dei flussi, di debris e earth flow, nei casi delle foto qui riportate, i volumi sono abbastanza contenuti e il materiale è abbastanza disciolto da non causare collassi alle strutture. Nel caso invece del crollo di campata e pile per 30 metri di lunghezza del Viadotto Madonna del Monte, vedere la slide precedente, avvenuto in data 24.11.2019 sulla A6 Savona-Torino 2019, crollo per fortuna senza vittime, i danni da frana sono stati significativi.

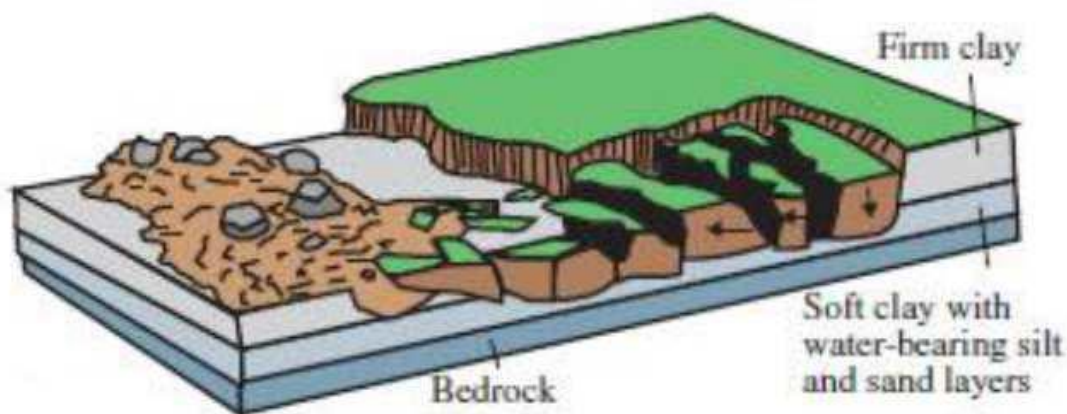
MOVIMENTI FRANOSI -SPREADS

Un'altra tipologia di frane sono gli **spread** tipicamente di materiali **di argille sensitive o di materiali liquefacibili**, meno frequenti in Italia

ESPANSIONI - SPREADS

Estensione e lieve subsidenza di un livello coesivo o di un ammasso roccioso in seguito alla **deformazione e allo spostamento di un livello meno competente sottostante**.

La superficie di rottura non è una superficie di intensa deformazione di taglio. Sono movimenti complessi, a componente orizzontale prevalente, che hanno luogo quando una massa rocciosa lapidee e fratturate (i calcari) giacciono su un terreno dal comportamento molto plastico (le argille).

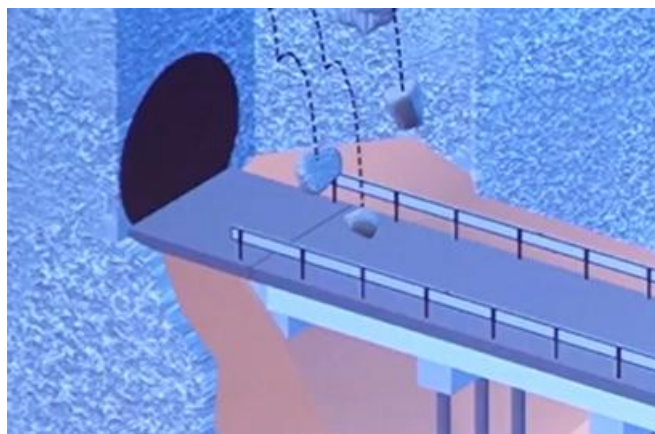




ESEMPIO DI INTERAZIONE CON EARTH FLOW



ESEMPIO DI INTERAZIONE CON CADUTA MASSI

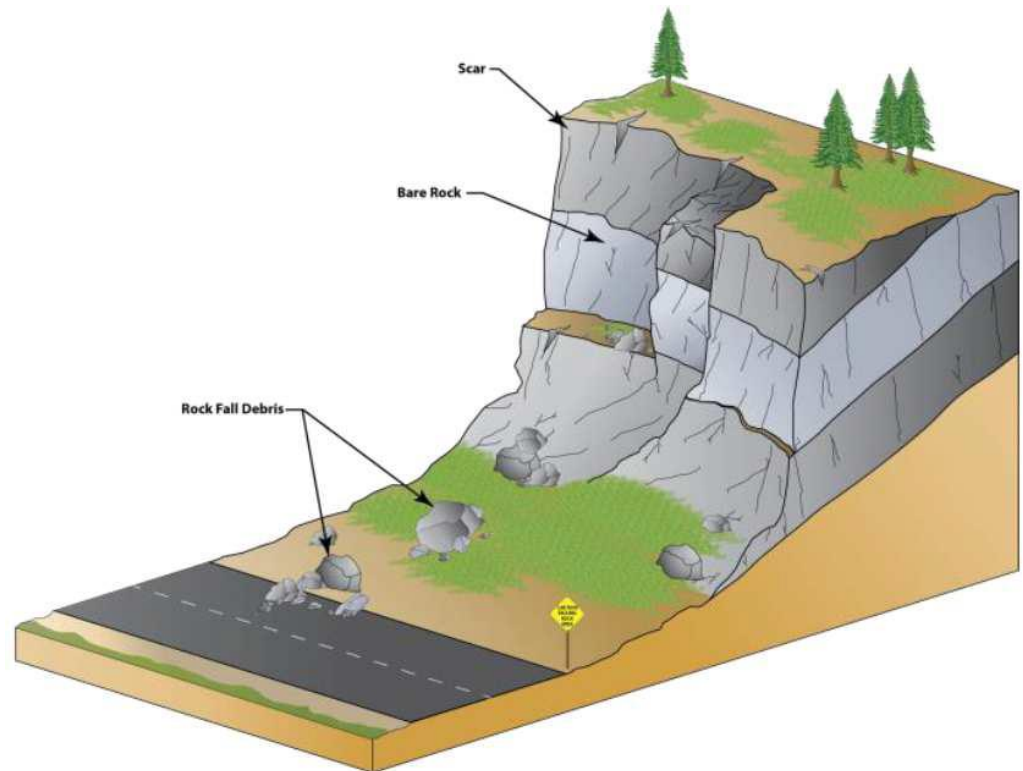


MOVIMENTI FRANOSI - FALL

Sono fenomeni molto rapidi, dal cinematismo molto rapido, sono crolli e ribaltamenti tipicamente in roccia, ma possono anche coinvolgere materiali via via sciolti, che possono poi evolvere in fenomeni franosi tipo debris flow con colate critiche

CROLLO – FALL

Massa che si stacca da un versante molto acclive e che, successivamente, si muove per caduta libera, rimbalzo, rotolamento.





Una frana, con la caduta di un grande masso, ha interessato la strada SS350 che collega le province di Vicenza e Trento. L'arteria già in precedenza era stata interessata da uno smottamento importante che ne aveva portato alla chiusura



MECCANISMI D'INTERAZIONE E DANNI DA PREVEDERSI





MECCANISMI D'INTERAZIONE E DANNI DA PREVEDERSI

La caduta massi è un tema molto importante. Per fortuna la frequenza di impatti di massi con ponti e viadotti non è altissima, ma **è chiaro che è molto difficile prevedere il distacco di blocchi di roccia come è successo in questo caso nelle foto qui, in Provincia di Vicenza, dato che erano presenti anche opere di mitigazione in reti paramassi.**

La massa distaccata era talmente grande da riuscire non solo a scavalcare la galleria paramassi della ferrovia, ma addirittura ad impattare anche contro l'impalcato.

Andare a risalire precedentemente a questo episodio, e **riuscire a prevedere prima che avvenisse, che ci potesse essere il rischio dell'innesco di un fenomeno di crollo di massi, di questo tipo, era chiaramente difficile.**



MECCANISMI D'INTERAZIONE DI INSTABILITA' LOCALE E INSTABILITA' AL PIEDE

Ci sono anche i casi di instabilità locali, erosioni al piede e fenomeni più localizzati, vicino alle pile o vicino alle fondazioni delle pile, o vicino alle fondazioni delle spalle, per cui si verificano danni ai ponti per cause idrauliche, spesso concomitanti con quelli da frane. Questi casi verranno trattati in un'altra presentazione, a parte.



SS Fondovalle Sele



SS Fondovalle Sele



Ing. Fabrizio Cuggiani



LINEE GUIDA - CdA FRANE - PREMESSE

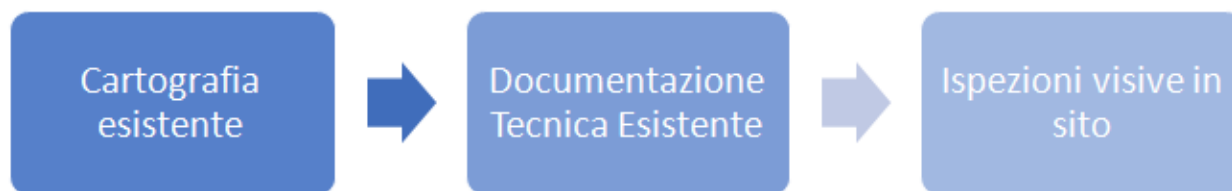
- Dal 2020 all'ispettore è chiesto di vedere e valutare ai fini della sicurezza non solo il ponte ma anche l'ambiente circostante interagente, nel territorio italiano che statisticamente appare fragile, essendo coperto da una densità spaziale di frane molto estesa e con fenomeni che interagiscono con le opere d'arte, essendo parimenti molto diffuse sul territorio e creando spesso gravi danni, come si rileva ogni anno in Italia.
- Capire l'importanza, la gravità e le conseguenze di questa interferenza è quanto ci è richiesto nelle **Linee Guida ponti del MIT del 2020 (LG)**, in particolare **qui vedremo la Classe di Attenzione nei riguardi della interazione delle frane con i nostri ponti.**



LINEE GUIDA - CdA FRANE

- I primi due livelli, il Livello 0 e il Livello 1, delle LG sostanzialmente chiedono:
 - una ricognizione della cartografia esistente
 - un riferimento della documentazione tecnica disponibile
 - un'analisi storica di quanto accaduto nell'area interessata
 - le ispezioni visive in sito

Valutazione Livello 0 / Livello 1 / livello 2





4.4.2 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ' LEGATO AL RISCHIO 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 non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.



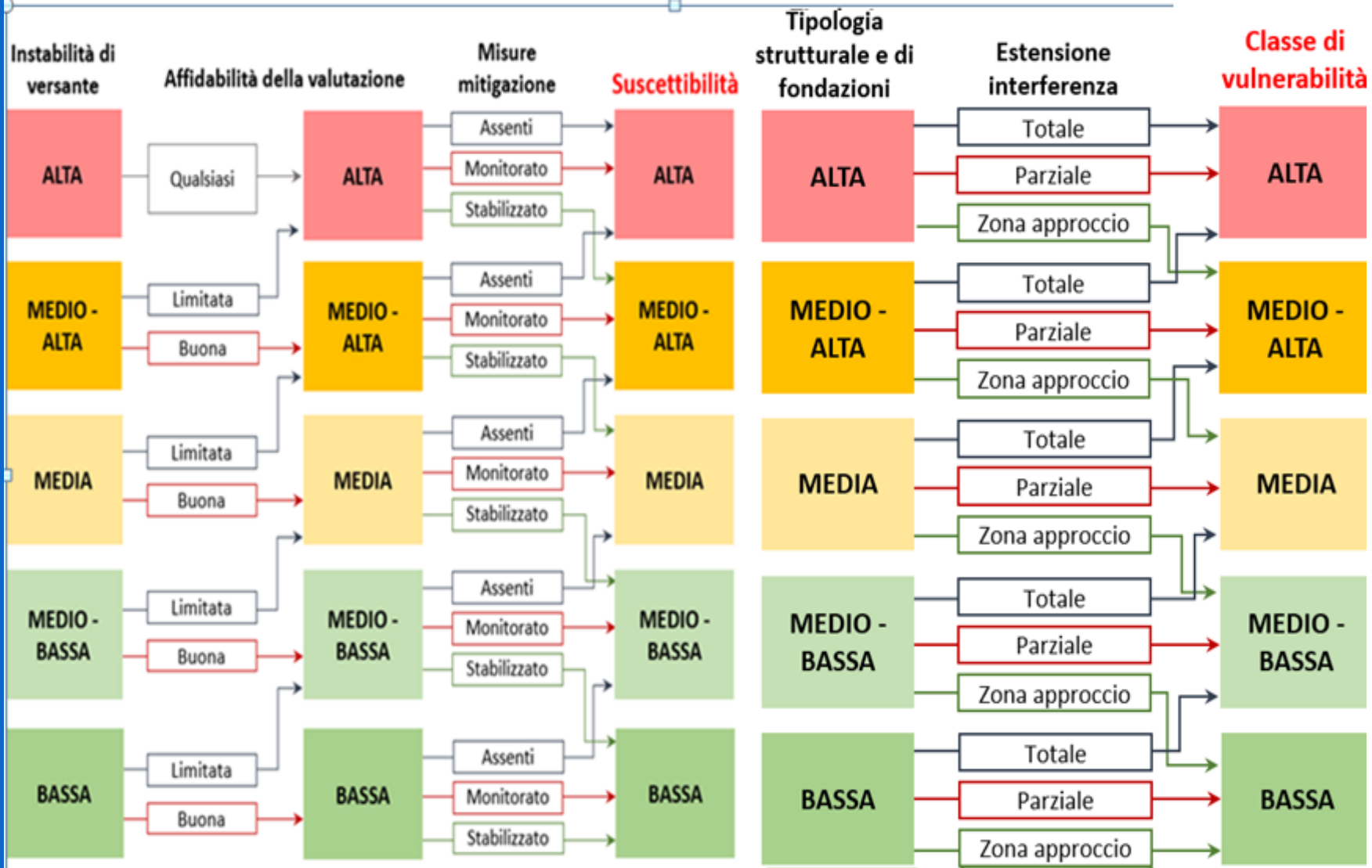
4.4.2 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ' LEGATO AL RISCHIO FRANE

D'altra parte, come già discusso nel § 3.5, l'eventuale collocazione delle strutture in aree coinvolte da accadimenti pregressi, inducono la necessità di proseguire con valutazioni più approfondite di Livello 4, superando, quindi, la valutazione della classe di attenzione e la conseguente classificazione. Documentazioni quali le carte di pericolosità e rischio delle Autorità distrettuali territorialmente competenti, così come quelle di altri processi pianificatori o derivanti da analisi tecnico-scientifiche, costituiscono solo un primo riferimento, utile ma certamente non esaustivo.



4.4.2 STIMA DEL LIVELLO DI PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ' LEGATO AL RISCHIO FRANE

A tal riguardo, particolarmente utili risultano quindi le ispezioni visive e la compilazione delle appropriate schede di rilievo di Livello 1. È inoltre da evidenziare che in talune situazioni l'analisi di dati satellitari potrebbe rilevarsi utile a definire instabilità nel tempo e nello spazio costituendo le strutture del ponte riferimenti per le elaborazioni. In estrema sintesi, 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 4.7*.



Si considera l'aumento di una Classe in caso di fondazioni dirette

Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Questa **INSTABILITÀ DI VERSANTE** come si vede dal primo flusso matriciale sulla vostra sinistra **viene poi modificata da una stima della affidabilità della valutazione** che è proprio **dipendente da quanto si conosce di quella frana.**

Quindi, **se la frana è una frana cartografata, studiata,** oggetto di approfondimenti, magari anche numerici, allora si può attribuire **un'affidabilità buona e questo va a confermare la classe attribuita in INSTABILITÀ DI VERSANTE.**



Tabella 4.15. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane

	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



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Altrimenti, se è invece una frana ipotizzata, o di cui si conosce molto poco, attribuendo un'affidabilità limitata, la classe CDA viene aumentata.

Successivamente viene applicato un **secondo filtro**, che è **quello** che ci fa pervenire alla valutazione di suscettibilità **sulla base dell'eventuale presenza di misure di mitigazione o di strumenti di monitoraggio.**

Quindi, **nella CDA delle frane il parametro fondamentale è appunto la SUSCETTIBILITÀ, che è anche un poco il parametro critico da determinare.**



4.4.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO

La definizione della classe di attenzione (CdA) associata al rischio frane tiene pertanto 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.

Analogamente alla definizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale e della classe di attenzione sismica, la classe di attenzione per rischio frane fa riferimento a fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, determinati mediante la combinazione di parametri primari e secondari. L'approccio utilizzato per la determinazione della CdA frane è, ancora una volta, un approccio per classi e operatori logici. Ne consegue che devono essere seguiti flussi logici che permettano di passare dalla classificazione dei parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e, infine, alla determinazione della Classe di Attenzione frane.



4.4.1 DEFINIZIONE GENERALE DEL METODO

Si sottolinea che, a differenza dell'usuale nomenclatura impiegata per la definizione degli altri tipi di CdA analizzati, si adotta il termine di “suscettibilità” piuttosto che di pericolosità; in tal modo, viste le specifiche difficoltà intrinseche alla definizione della probabilità di accadimento dell'evento, si vuole far riferimento alla sola previsione spaziale, trascurando la previsione di tipo temporale.

I parametri primari e secondari individuati come rilevanti per la determinazione delle CdA frane sono riportati in *Tabella 4.15*.



Tabella 4.15. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione associati al rischio frane

	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



Come si evince confrontando la *Tabella 4.15* con quelle relative alla classe di attenzione strutturale e fondazionale (*Tabella 4.1*) e alla classe di attenzione sismica (*Tabella 4.11*), **alcuni dei parametri considerati sono gli stessi**. In particolare, i **parametri di esposizione - livello di TGM** e luce della campata, alternative stradali, tipologia di ente scavalcato e strategicità dell'opera – hanno definizione analoga a quella impiegata per i parametri di esposizione **associati alla CdA strutturale e fondazionale e CdA sismica**, così come il parametro di vulnerabilità legato **alla tipologia e alla robustezza strutturale del ponte**, il quale è classificato in maniera analoga a quanto previsto per la determinazione della CdA sismica.



4.2 CLASSE DI ATTENZIONE STRUTTURALE E FONDAZIONALE

Tabella 4.1 - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione strutturale e fondazionale

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



CLASSE DI ATTENZIONE SISMICA

Tabella 4.11. - Parametri primari e secondari per la determinazione di fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sismica

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



Instabilità di versante (Magnitudo, velocità, stato di attività)

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 (P_A), o di grado di criticità per le frane potenziali (P_C).
- parametro della **massima velocità potenziale** di spostamento in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale P_V ;
- parametro della **magnitudo, intesa come volume** mobilizzabile P_M .



Instabilità di versante (Magnitudo, velocità, stato di attività)

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 4.16*.



Tabella 4.16. - Attribuzione dei valori numerici dei parametri di suscettibilità in funzione dello stato di attività, magnitudo, e velocità dell'evento

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

	> 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



Instabilità di versante (Magnitudo, velocità, stato di attività)

La valutazione del **livello di instabilità** è quindi sviluppata sulla base della **sommatoria dei valori associati ai tre parametri** ovvero $P = P_A + P_M + P_V$ per le frane riconosciute e $P = P_C + P_M + P_V$ per le frane **potenziali**, secondo la classificazione in *Tabella 4.17*.



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

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

PARAMETRI PRIMARI della CdA FRANE

4.4.2 STIMA DELLA SUSCETTIBILITA' LEGATA AL RISCHIO FRANE

FRANA RICONOSCIUTA O POTENZIALE

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

VELOCITA' ATTESA

Massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale					
	> 3 m/min	3 m/min - 1,8 m/h	1,8 m/h - 13 m/mese	13 m/mese - 1,6 m/anno	< 1,6 m/anno
	Estremamente/molto rapida	Rapida	Moderata	Lenta	Estremamente/molto lenta
P_V	5	4	3	2	1

VOLUME ATTESO

Magnitudo attesa su base volumetrica in metri cubi					
	> 10^6	$2,5 \cdot 10^5 - 10^6$	$2,5 \cdot 10^3 - 10^4$	$10^2 - 10^3$	< $5 \cdot 10^2$
	Estremamente/molto grande	Grande	Media	Piccola	Molto piccola
P_M	15	12	9	6	3

INSTABILITA' DEL VERSANTE

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

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

Dott. ERIKA PAGLIARA ANAS

Ing. Fabrizio Cuggiani

Il rischio frane nelle Linee Guida Ponti



INSTABILITÀ DI VERSANTE – VALORI DEI PARAMETRI P

Il parametro chiave per la determinazione della CdA frane è l'instabilità di versante P, *combinazione numerica di:*

- *Stato di attività* per frane riconosciute PA : frane attive, 5; non attive, 3; stabilizzate, 1.
 - *Grado di criticità* per frane potenziali P_c: altamente critica, 5; critica, 3; scarsamente critica, 1.
- Massima *velocità* attesa, funzione della
- *Tipologia di frana*, PV : estremamente/molto rapida, 5; rapida, 4; moderata, 3; lenta, 2; estremamente/molto lenta, 1.
 - *Magnitudo* attesa, PM : estremamente/molto grande, 15; grande, 12; media, 9; piccola, 6; molto piccola, 3.

Instabilità di versante è la somma dei seguenti 3 fattori $P = P_A + P_v(el) + PM =$
= 20-25 = ALTA, 16-19 = MEDIO-ALTA, 12-15 = MEDIA, 8-11 = MEDIO-BASSA, 5-7 = BASSA

La valutazione della suscettibilità parte dal valore di P che è poi modificato, considerando l'affidabilità della valutazione e l'eventuale presenza di opere di mitigazione o strumenti di monitoraggio

La CdA frane é determinata in base alla Suscettibilità, alla Vulnerabilità (considerando l'estensione dell'interferenza), e all'Esposizione

L'instabilità di versante è il fattore chiave per la determinazione della CdA FRANE



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Questo parametro instabilità di versante viene quindi espresso **come somma di tre fattori**, o sotto fattori. Un primo fattore che esprime **lo stato di attività** o stato di **criticità** di frane, attività per la frana riconosciuta di cui appunto si è sicuri che ci sia, o criticità qualora la frana sia una frana non nota e quindi sospetta e quindi definita potenziale nelle linee guida, con valori che vanno da 5 a 1. Un secondo fattore del parametro che descrive la velocità attesa, **la massima velocità attesa del fenomeno**, anche qui con parametri che vanno da 5 a 1



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

E un terzo e ultimo fattore del parametro che invece descrive **il volume coinvolto o potenzialmente coinvolto**, perché stiamo sempre parlando di frane lente già in movimento in interazione attiva o frane che potrebbero essere diciamo a cinematismi rapidi che al momento, per esempio, dell'ispezione, non sono effettivamente attive, ma che, se innescate con le condizioni al contorno giuste, potrebbero attivarsi e impattare contro la struttura.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Quindi trattasi del volume effettivamente movimentato o movimentabile.

In questo caso **il volume vale 15 punti massimi**, quindi le linee guida attribuiscono molta importanza al volume come fattore determinante nella valutazione di instabilità.

La somma dei valori di questi 3 fattori (parametri P) definisce il parametro (con valore totale) di instabilità di versante, valore che poi viene **modificato**, come anticipato, con **presenza o meno di opere di monitoraggio** e di opere o indicazioni di strumenti di monitoraggio e con **l'affidabilità della valutazione**.



PARAMETRI SECONDARI della CdA FRANE

DECRETO MIMS n. 493 del 03/12/2021

Le Linee Guida Per La Classificazione E Gestione Del Rischio, La Valutazione Della Sicurezza Ed Il Monitoraggio Dei Ponti Esistenti

PARAMETRI SECONDARI: INCERTEZZA DEL MODELLO E MISURE DI MITIGAZIONE

Incertezza del modello

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, secondo lo schema in Figura 4.7.

PARAMETRI SECONDARI della CdA FRANE

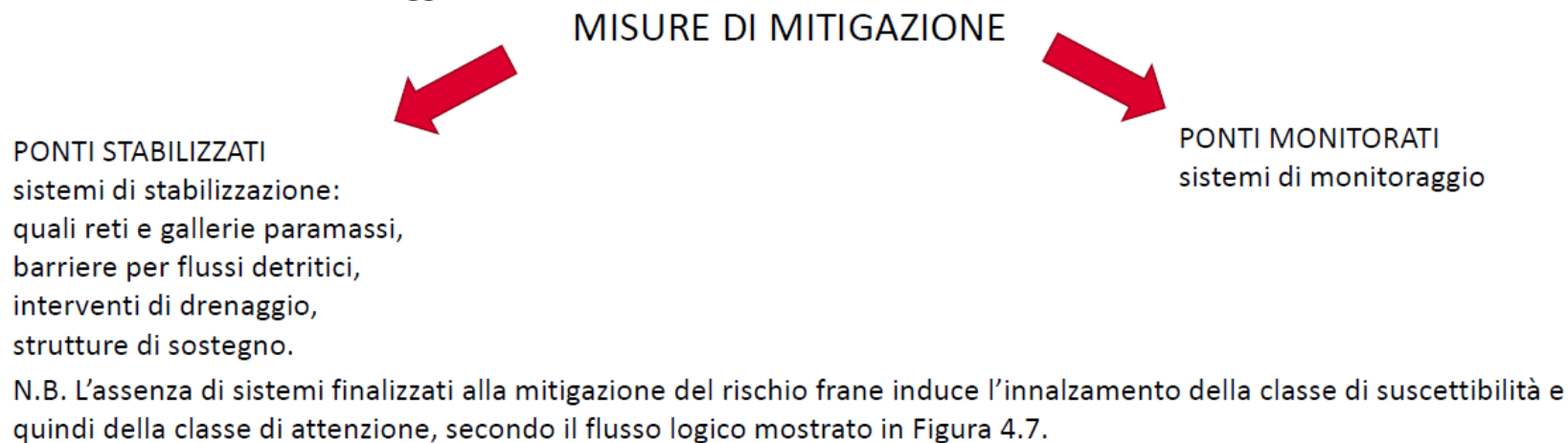
DECRETO MIMS n. 493 del 03/12/2021

Le Linee Guida Per La Classificazione E Gestione Del Rischio, La Valutazione Della Sicurezza Ed Il Monitoraggio Dei Ponti Esistenti

PARAMETRI SECONDARI: INCERTEZZA DEL MODELLO E MISURE DI MITIGAZIONE

Misure mitigazione

Ulteriore parametro che determina la classe di suscettibilità del ponte è la presenza o meno di sistemi di stabilizzazione oltre che di sistemi di monitoraggio e il loro attuale stato di conservazione.





RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

C'è poi un **secondo parametro**, che entra in gioco **nella definizione della vulnerabilità**, vulnerabilità che di per sé parte dalla **tipologia strutturale fondazionale**, che è uguale a quella del ponte, quindi dobbiamo conoscere lo schema statico del ponte e i materiali che compongono l'opera e **la classe di attenzione viene eventualmente aumentata nel caso di fondazioni superficiali**, perché si considera che le fondazioni superficiali non siano in grado di resistere in maniera efficiente alle spinte orizzontali



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Conoscere che tipo di fondazioni ha l'infrastruttura è rilevante, ma non sempre è facile saperlo.

Si ripete la necessità di sapere decidere come eseguire gli opportuni accertamenti e quali e quanti, ad opera di ditte e procedure certificate, note ed affidabili, nel percorso della conoscenza del costruito delle Linee Guida Ponti 2020



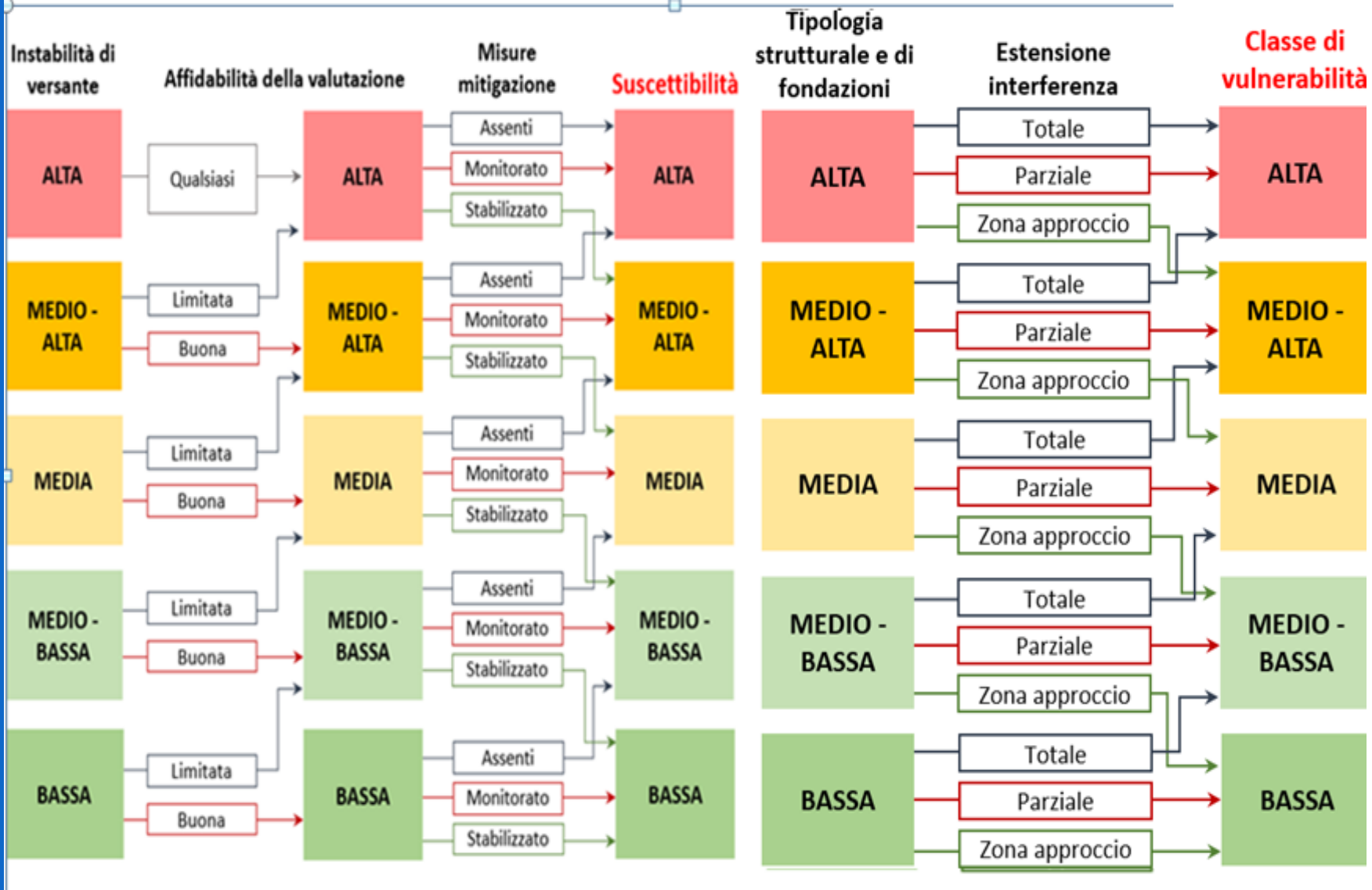
RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Dopodiché entra in gioco un altro parametro **che si chiama estensione dell'interferenza**, che cerca di esprimere quanto del difetto interagisca con il ponte, **quindi se la frana sia una frana che magari colpisca marginalmente** l'opera, se colpisce una pila, o più pile, o una spalla, **o completamente** l'intera totalità del ponte.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Una volta che si è definita la suscettibilità e la vulnerabilità, si aggiunge **l'esposizione**, quindi traffico medio giornaliero **(TGM)** e TGM pesante *(la cui conoscenza, non può essere istantanea, bensì frutto di controlli strumentali mirati e certificati, da prolungarsi per almeno un anno)*, poi luce media, ecc. e qui si entra in quelle tabelle di destra, **vedi Fig. 4.7 successiva**, per determinare la classe di attenzione delle frane. In tutto questo flusso, si è visto che la parte cruciale è la parte **determinante dal punto di vista della suscettibilità (LG par 4.4.1)**, che viene ottenuta principalmente dal parametro **instabilità di versante**.



Si considera l'aumento di una Classe in caso di fondazioni dirette

Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità



Incertezza di modello

Le considerazioni prima sviluppate riguardanti le difficoltà relative alla previsione di tipo spaziale, 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.



Incertezza di modello

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, secondo lo schema in *Figura 4.7 precedente*.



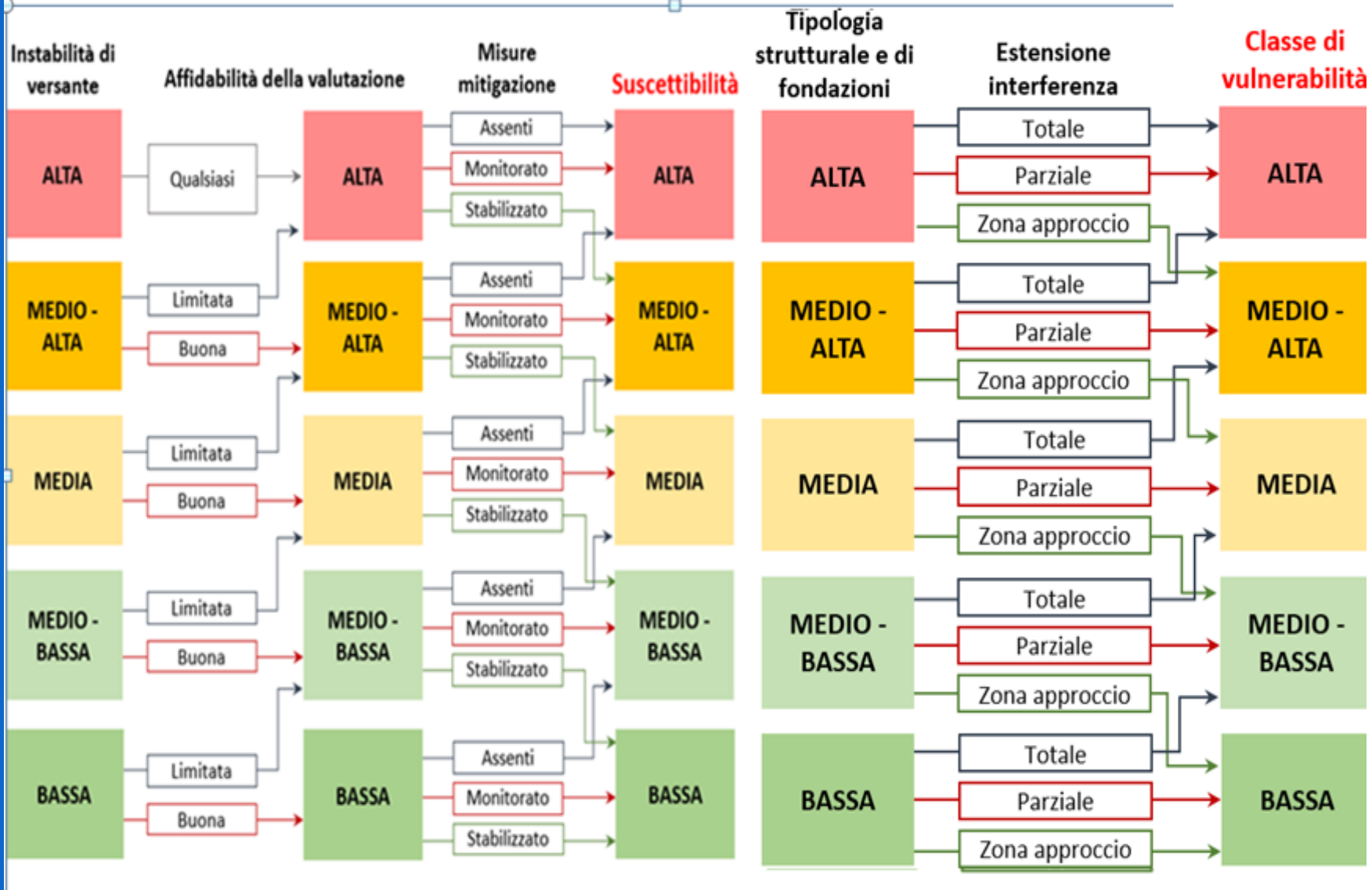
Misure di mitigazione

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, secondo il flusso logico mostrato in *Figura 4.7*.



Si considera l'aumento di una Classe in caso di fondazioni dirette

Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità



4.4.3 STIMA DEL **LIVELLO DI VULNERABILITÀ LEGATO AL RISCHIO FRANE**

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, secondo lo schema in *Figura 4.8*.

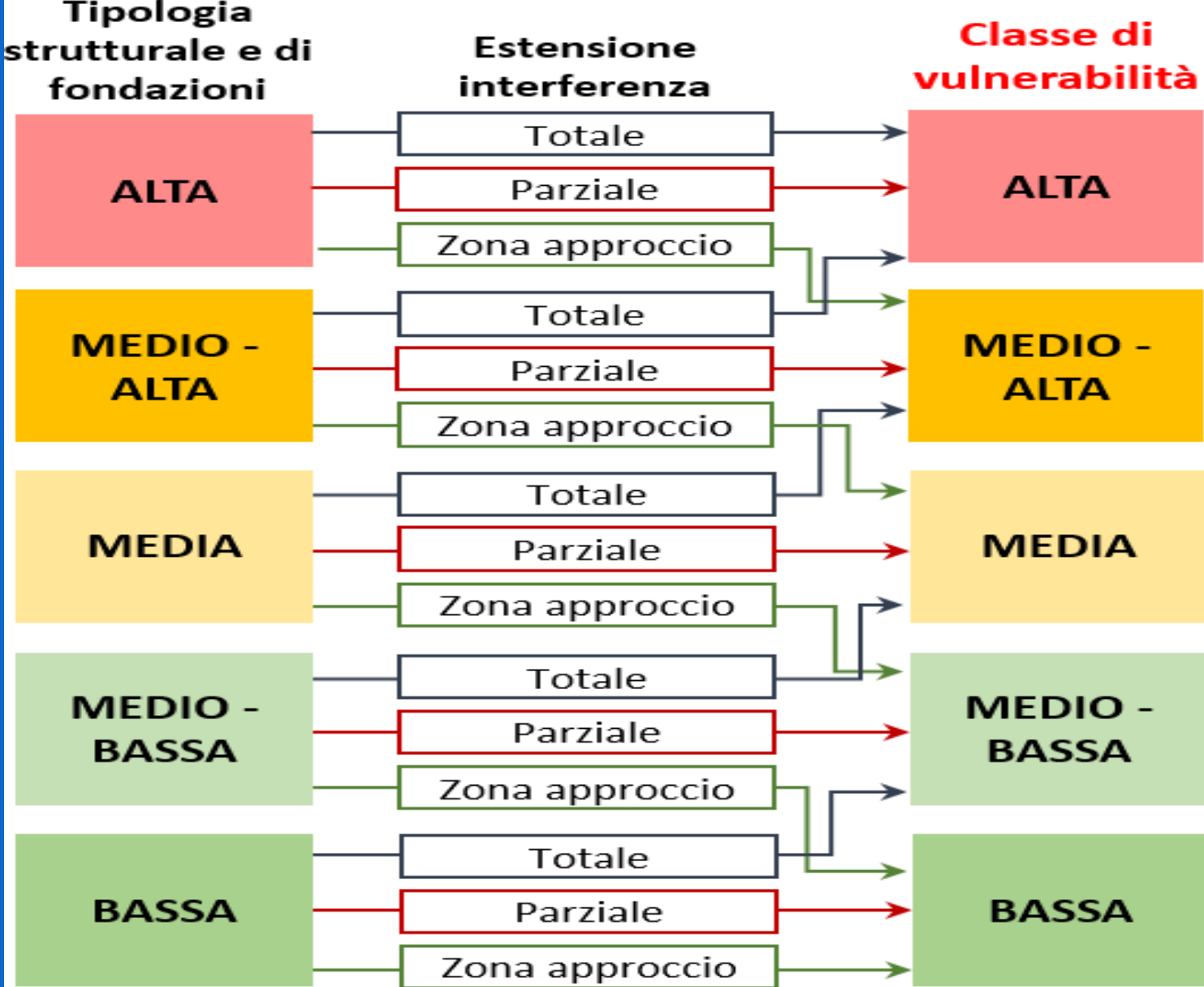


Figura 4.8. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità



Tipologia strutturale e tipologia di fondazioni

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 4.13 per la determinazione della classe di vulnerabilità associata alla tipologia strutturale, da impiegare nella stima della classe di attenzione associata al rischio frane.



Tipologia strutturale e tipologia di fondazioni

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.**

Per tale ragione, nel caso in cui ci sia evidenza, dalla documentazione originaria disponibile e/o dalle ispezioni visive effettuate, di **presenza di fondazioni superficiali** o comunque non progettate per resistere alle azioni orizzontali, **occorre aumentare di un livello la classe** definita in *Tabella 4.13*.



Tabella 4.13. – Classificazione sulla base di schema statico, luce e materiale

		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

dove per luci medio-piccole si intendono luci non maggiori di 20 m, per luci elevate le luci maggiori di 20 m.

Secondo la classificazione proposta, ponti multi-campata, ad esempio, sono da considerare più vulnerabili di ponti a singola campata, in quanto caratterizzati da un maggior numero di pile, elementi particolarmente vulnerabili alle azioni sismiche.



Estensione dell'interferenza

La definizione della vulnerabilità nel caso del rischio frane, tenuto conto della stretta dipendenza sussistente tra la tipologia di spostamento delle masse e le dimensioni, fa riferimento al livello dell'interferenza tra il possibile evento di frana e la struttura o parti di essa, mediante un parametro secondario “**estensione dell'interferenza**” che modifica la classificazione basata sulle tipologie strutturali, secondo lo schema in *Figura 4.8*. La presenza di questa interferenza, sebbene in alcuni tipi d'instabilità potrebbe essere di difficile definizione, può condurre ad una classe di attenzione maggiorata qualora sia l'intera struttura ad essere coinvolta, o comunque interessata dall'instabilità.

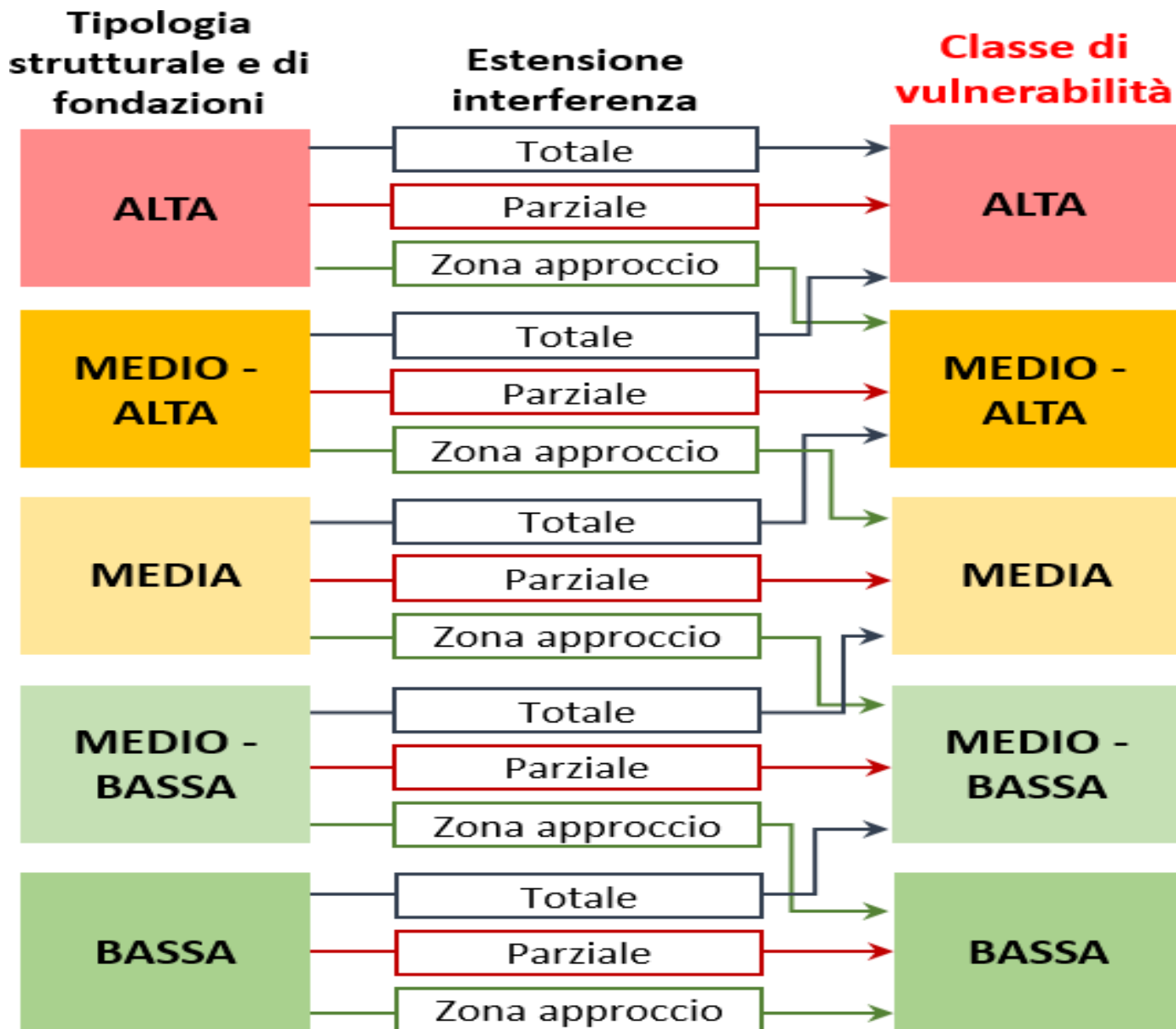


Figura 4.8. – Flusso logico per la determinazione della classe di vulnerabilità



4.4.4 STIMA DEL LIVELLO DI ESPOSIZIONE LEGATO AL RISCHIO FRANE

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** al § 4.3.4, 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”. Tali parametri si combinano secondo lo schema in *Figura 4.6*.

Classe di esposizione strutturale e fondazionale **Strategicità dell'opera** **Classe di esposizione sismica**

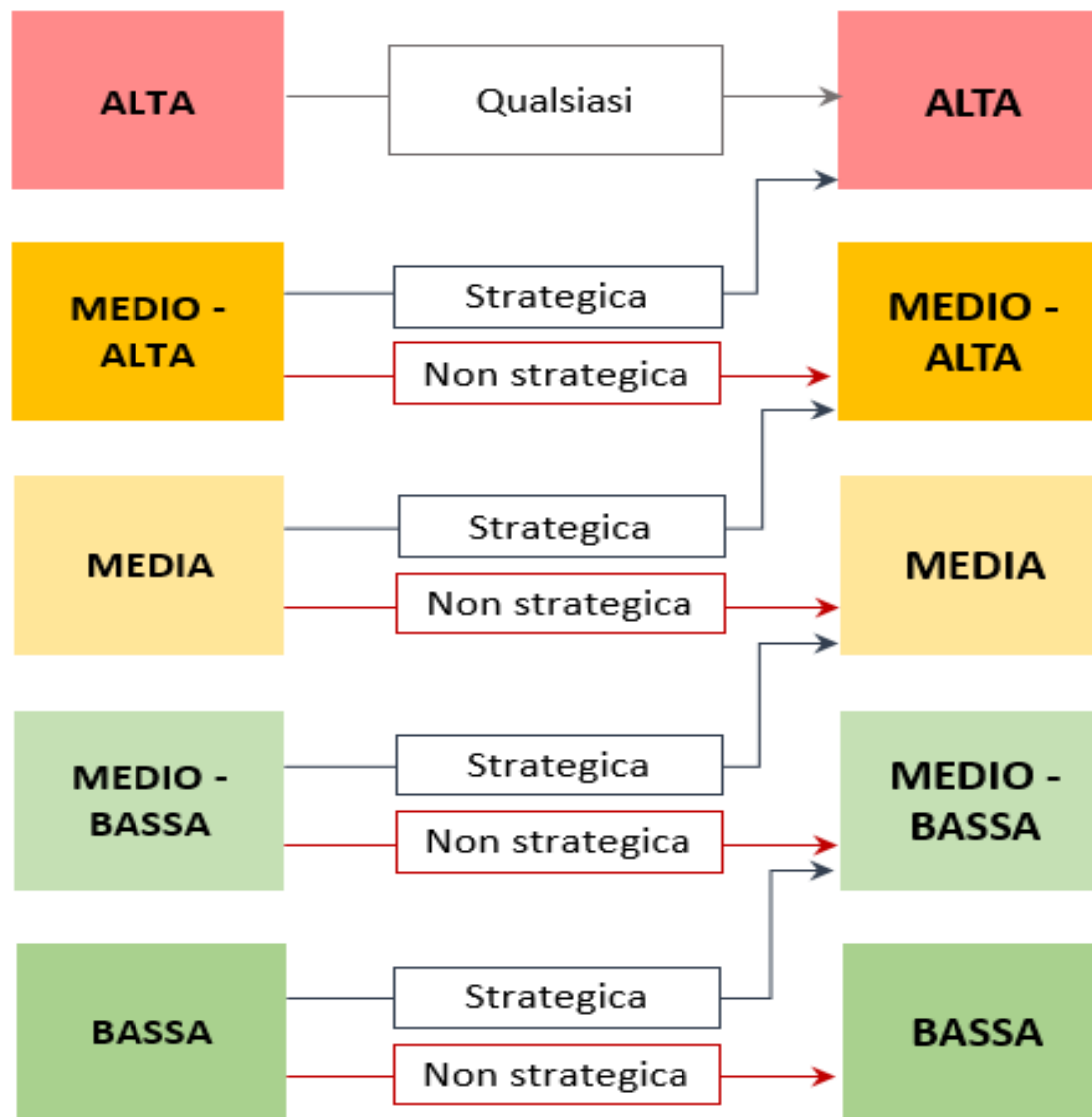


Figura 4.6. – Flusso logico per la determinazione della classe di esposizione sismica

Ing. Fabrizio Cuggiani



4.4.5 STIMA DELLA **CLASSE DI ATTENZIONE** **FRANE A LIVELLO TERRITORIALE**

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 in *Tabella 4.18*.



Tabella 4.18. – Determinazione della **classe di attenzione frane** in funzione di classe di suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione

Classe di suscettibilità ALTA

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

Classe di suscettibilità MEDIO-ALTA

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

Classe di suscettibilità MEDIA

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



Classe di suscettibilità MEDIO-BASSA

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

Classe di suscettibilità BASSA

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

Si va così a definire la CDC classe di attenzione complessiva delle frane. E' chiaro che entrare nello specifico di questi parametri, quindi dello stato di attività o criticità della massima velocità attesa, della magnitudo, è il passaggio fondamentale per riuscire a raggiungere una suscettibilità attendibile, non sovrastimata, senza aumentare eccessivamente il numero della CDA, altrimenti tutti i ponti rischiano di andare in classe alta, perdendo quello che è lo scopo della linea guida, di emettere una sorta di classifica di priorità per tutte le opere. Però la stima di tutti questi parametri non sempre è facile, soprattutto a valle di un'ispezione speditiva

RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Stato di attività: nelle LG è richiesto di definire, nelle frane riconosciute, uno stato di attività come **frana attiva, inattiva o stabilizzata**. E all'interno delle frane attive rientrano anche le **frane sospese**, le frane **quiescenti**, quindi quelle che magari non sono attive al momento dell'ispezione, ma sono riattivabili entro qualche ciclo stagionale, e già qui **non è facile andare con un'ispezione a determinare lo stato di attività**, perché io posso arrivare a fare l'ispezione e vedere delle fessure sul territorio, sul terreno, riconoscere magari la presenza di una frana, **ma se non so se quelle fessure si sono aperte nell'ultima settimana, o se erano lì magari da anni, faccio fatica a capire** se quella frana è una frana effettivamente attiva o quiescente in un arco temporale, diciamo interessato, o interessante per l'opera!



Parametri primari della suscettibilità: magnitudo, velocità e stato di attività

Linee guida 2020 – Livello 2, Classe di attenzione per frane: Instabilità di versante (stato di attività, velocità, magnitudo)

Per verificare i tipi di movimenti di versante vedi le tavole di Cruden & Varnes

Per

- Stato di attività
- Distribuzione di attività
- Stile di attività

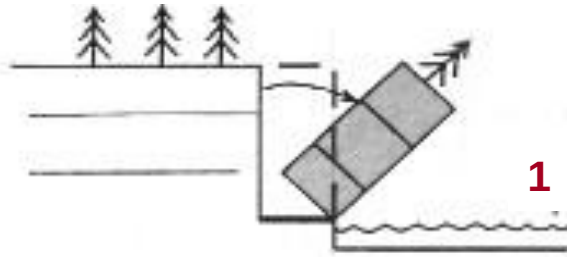
Vedere le definizioni qui a seguire:

Stato di attività: descrive ciò che è noto sui tempi del movimento.

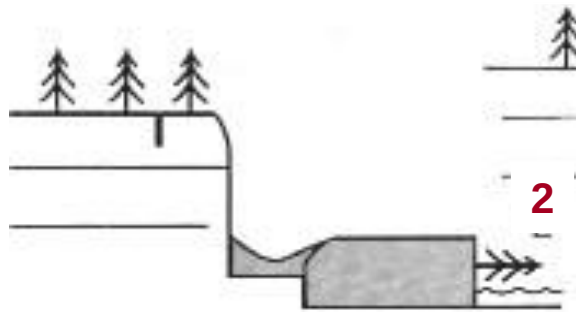
Distribuzione di attività: descrive grossomodo in che direzione la frana è in movimento.

Stile di attività: indica come differenti spostamenti all'interno della frana contribuiscono al movimento complessivo.

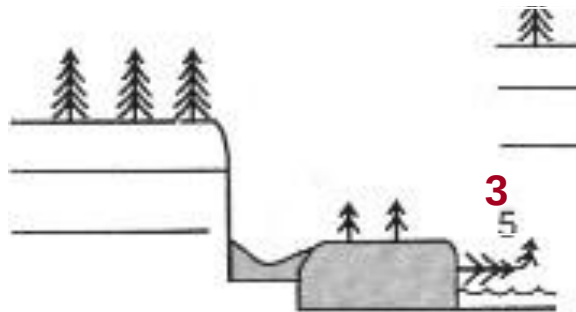
Stato di attività delle frane



1. ATTIVA



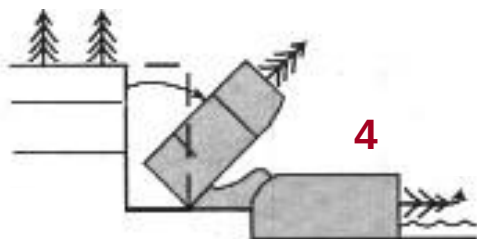
2. SOSPESA



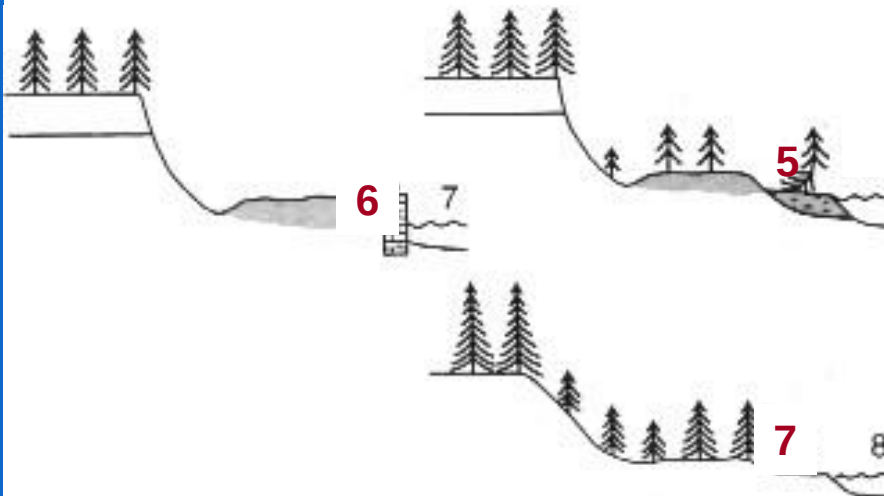
3. INATTIVA QUIESCENTE



Stato di attività



4. RIATTIVATA

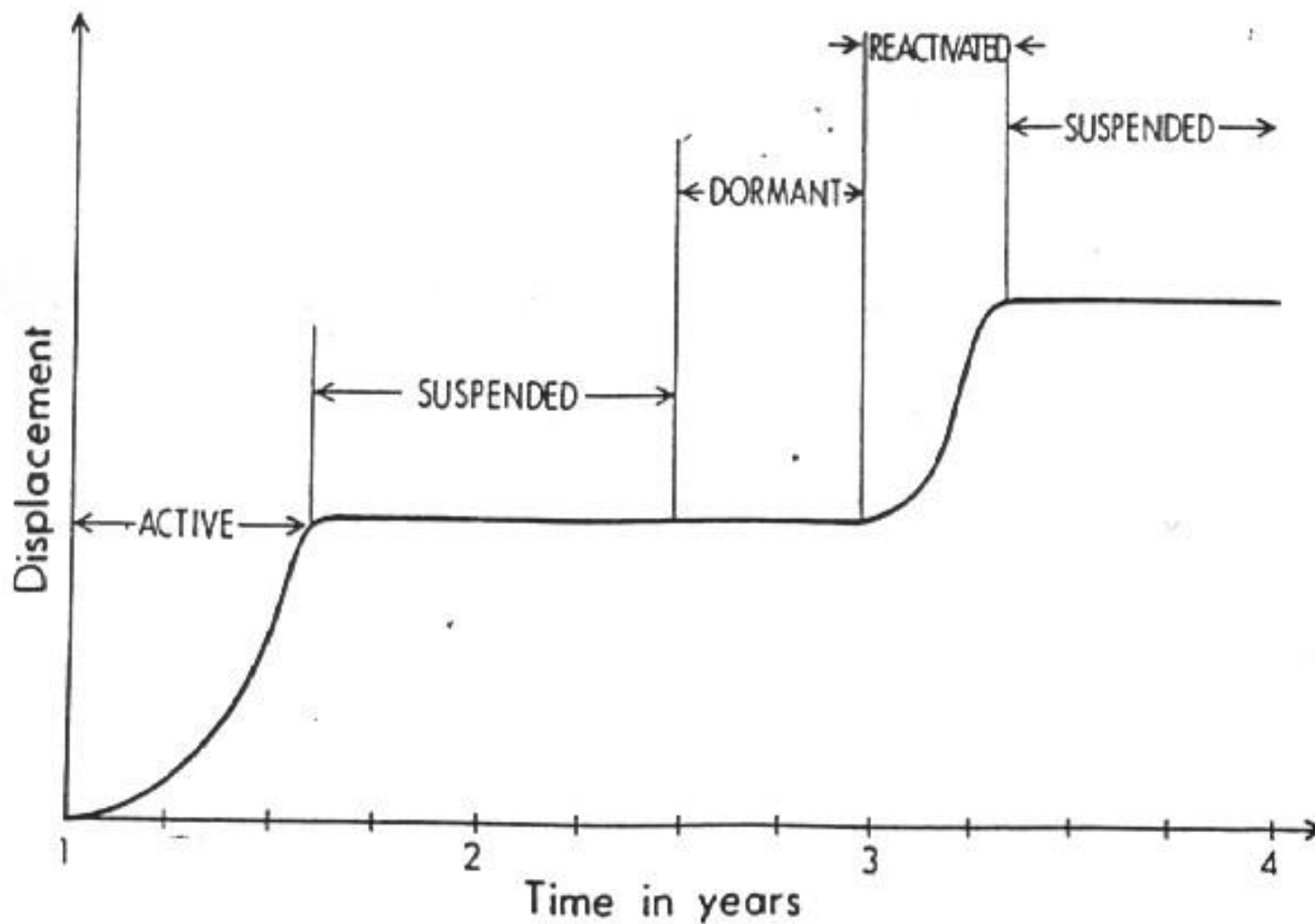


INATTIVA STABILIZZATA
5. NATURALMENTE
6. ARTIFICIALMENTE

7. RELITTA



Stato di attività





RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Tendenzialmente **quello che si è fatto e che si fa di solito, è fare riferimento a informazioni cartografiche**, quindi fare riferimento a quello che sono i contenuti delle **principali fonti di mappe di rischio**, quindi **l'inventario dei fenomeni franosi italiani IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani) **le cartografie di rischio idrogeologico dell'ISPRA**, per andare in qualche modo ad assegnare uno stato di attività coerente.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Per quanto attiene all'altro parametro, che è la massima velocità attesa, qui diventa ancora più difficile, in un'ispezione, diciamo singola, quindi temporalmente definita, andare a valutare una particolarità che è invece evolutiva nel tempo, quindi diventa complesso ancora di più stimare la velocità massima e, sempre facendo riferimento a quello che è presente in letteratura, richiamando quindi la classificazione di **MASSIMA VELOCITA' ATTESA** di Varnes e di Hungr, in cui sono state inserite nel loro lavoro 7 classi di velocità, dall'estremamente lento all'estremamente rapido, con una variazione di due ordini di grandezza tra una classe e la seguente, è interessante l'ultima colonna, quella con i nil, che Hungr mette come commento in via generale, perché parla di frane, non parla di infrastrutture, ma può ben calzare nell'ambito dei ponti.



Table 2 Landslide velocity scale (WP/WLI 1995 and Cruden and Varnes 1996)

Velocity class	Description	Velocity (mm/s)	Typical velocity	Response ^a
7	Extremely rapid	5×10^3	5 m/s	Nil
6	Very rapid	5×10^1	3 m/min	Nil
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuation
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Evacuation
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Maintenance
2	Very slow	5×10^{-7}	16 mm/year	Maintenance
1	Extremely Slow			Nil

^a Based on Hungr (1981)

Landslides



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Quindi quale è la risposta che si può dare a un tipo di fenomeno di quelle **velocità**?

Si rileva che è chiaro che **nelle frane molto lente**, estremamente lente, probabilmente il movimento è talmente lento da non causare problematiche rilevanti.

Nelle classi di velocità molto lenta o lenta è sufficiente una manutenzione, quindi è sufficiente monitorare la situazione ed essere sicuri che la struttura, o infrastruttura, mantenga le sue caratteristiche funzionali di operatività

RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Man mano che andiamo sulle classi di velocità più rapide bisogna passare a strategie di early warning system, per esempio, quindi, evacuazione, semafori, gestione del traffico, per togliere eventualmente l'esposizione.

Nel caso di fenomeni più rapidi, non c'è molto da fare, se non cercare di proteggere l'infrastruttura o eventualmente di fermare il movimento, prima che parta. Le linee guida in questo caso definiscono 5 classi, quindi comprimono al loro interno i due valori di velocità più lenti e i due più rapidi e attribuiscono valori da 1 a 5, invece che da 1 a 7.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

La complessità intrinseca dei diversi scenari di frana rende complesso determinare univocamente lo stato di attività e la velocità attesa di una frana, in assenza di monitoraggio.

Le informazioni possibili da utilizzare come aiuto sono molteplici: *informazioni bibliografiche, cartografie di rischio, relazioni, testimonianze, da inserire nel livello 0 delle LG; evidenze e segnali visibili sul terreno, rilevamenti speditivi, sorvoli con drone, remote sensing (telerilevamenti a distanza con sensori e misure di radiazione elettromagnetica); monitoraggio geodetico (topografico, GPS) o con strumenti geotecnici.*



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

La diversa "sensibilità" di questi strumenti investigativi lascia comunque alcune incertezze nella determinazione dello stato di attività e della velocità attesa.

L'esperienza del valutatore diventa fondamentale in assenza di monitoraggi strumentali dedicati.
Anche l'interpretazione del dato di monitoraggio deve essere opportunamente interpretata.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Andando a vedere un sito e andando a riconoscere segnali sul territorio, già capire che tipo di meccanismo è, e quindi dare un nome alla frana, e anche accorgersi sul territorio che c'è una frana, non è così facile, se non aiutati da cartografie e da informazioni geomorfologiche di dettaglio, andare poi a stimare parametri specifici come lo STATO DI ATTIVITÀ e la VELOCITÀ, diventa ancora più complesso.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Quindi le **informazioni** che vengono utilizzate normalmente qui per esempio per le linee guida sono quelle **reperibili nel livello 0, oppure informazioni bibliografiche, cartografie di rischio, relazioni tecniche e testimonianze.**

Si possono usare poi informazioni, diciamo, di osservazione del territorio, quindi tipicamente di livello 1, e poi, nelle situazioni diciamo più fortunate dal punto di vista del valutatore perché ha più informazioni, o nelle situazioni più pericolose, si possono utilizzare i risultati di sistemi di monitoraggio.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Ovviamente ognuno di questi metodi, cioè ognuno di questi approfondimenti di conoscenza, fa sì che **la sensibilità dello strumento permetta un riconoscimento diverso del fenomeno.**

Anche l'esperienza del valutatore, sia nel notare le cose, sia nell'interpretare i dati di monitoraggio, è fondamentale.

Quindi **il rischio è che, in situazioni analoghe, che però hanno informazioni differenti di partenza, poi la valutazione finale non sia sempre coerente.**



LINEE GUIDA PONTI MIT 2020

4.4 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

LE ESPERIENZE DI ISPRA

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA, è stato istituito con la [legge 133/2008](#) di conversione, con modificazioni, del [Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112](#) a supporto DEL Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica (MASE).



DATI INTERAZIONE PONTI FRANE RACCOLTI DA ISPRA

Dato che lo **STATO DI ATTIVITÀ** è una variabile che viene inserita tipicamente anche nell'inventario dei fenomeni franosi, nelle schede delle frane, è interessante vedere come viene definita all'interno dei report, fatti dall'ISPRA, come viene ricercata, perché le problematiche anche in IFFI sono le stesse, quelle di accertare lo **STATO DI ATTIVITÀ** e, bene o male, le strategie sono simili: quindi, di fatto, rilevamento e interpretazione dei segnali, monitoraggio.



ATTIVITÀ DI ISPRA

L'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), è un ente pubblico che sta tra l'altro realizzando il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) e utilizza la seguente procedura per compilare le schede sul **rilievo dello stato di attività delle frane:**

- *fotointerpretazione*
- *rilevamento sul terreno di segnali*
- *monitoraggio*
- *dati storici/di archivio*
- *segnalazioni*
- *sperimentazione su un bacino campione della tecnologia INSAR (Interferometria Radar Satellitare)*



ATTUALI SVILUPPI – ANALISI INSAR

L'Interferometria Radar Satellitare (INSAR) è una tecnica di telerilevamento attraverso la quale è possibile ottenere mappe di spostamento di processi attuali e passati.

I dati SAR consentono di conseguire serie temporali di spostamento estremamente precise.

L'Interferometria SAR si basa sul confronto tra due immagini radar, acquisite in tempi differenti, sulla stessa area, dallo stesso sensore, normalmente installato su satelliti in orbita polare intorno alla Terra.



ATTUALI SVILUPPI: ACCOPPIAMENTO INDAGINI E SAR

Per aumentare la risoluzione dell'immagine si utilizza una particolare tecnica che, sfruttando il movimento del sensore durante l'acquisizione, simula una antenna sintetica molto più grande (**Synthetic Aperture Radar**).

Il risultato del confronto tra due immagini radar permette di stimare lo spostamento del terreno in base allo sfasamento delle onde riflesse durante le due acquisizioni.

Si ottiene quindi un'immagine detta interferogramma, le cui *frange* di interferenza sono dovute al movimento del terreno.



ATTUALI SVILUPPI: ACCOPPIAMENTO INDAGINI E SAR

Dall'interferogramma è possibile risalire allo spostamento del terreno, lungo la linea di vista del sensore.

I tentativi di determinazione delle VELOCITÀ e degli STATI DI ATTIVITÀ delle frane, basati sull'analisi satellitare confrontano le velocità rilevate su un bacino, da due diversi intervalli temporali per andare a capire se la frana è stabilizzata, o si muove ancora in attivo, con la criticità del fatto che non sempre i dati satellitari sono disponibili, non sempre si hanno le informazioni nell'area attorno al ponte, attorno all'opera.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Molto spesso si hanno informazioni sull'estensione quindi sull'area in pianta della frana e manca la terza dimensione, lo spessore.

Resta da definire il Volume mobilitato, mobilizzabile, non rilevabile con la tecnica INSAR, in quanto la INSAR rileva area e velocità di frana, per cui nelle ispezioni per le Val4, verifiche di sicurezza delle LG, occorre abbinare alla INSAR i monitoraggi in situ, tipicamente inclinometri, ben disposti, ben fissati e in numero congruo, proporzionale all'area da valutare.



RACCOLTA DATI INTERAZIONE PONTI FRANE

Nella letteratura tecnica troviamo qualche aiuto, per passare dall'informazione dell'area all'informazione volumetrica, con un intervallo di confidenza per andare ad ottenere una stima del volume a partire dalla conoscenza ipotizzata dell'area.

La normativa, fa rilevare molto l'importanza del parametro Volume di frana, per cui 15 punti vengono attribuiti solo al volume, che è più della somma dei valori attribuiti agli altri due parametri (attività max=5 e velocità max=5) messi insieme (sommati tra loro).



CASISTICHE DI DANNI DA FRANE NEL DATABASE ISPRA

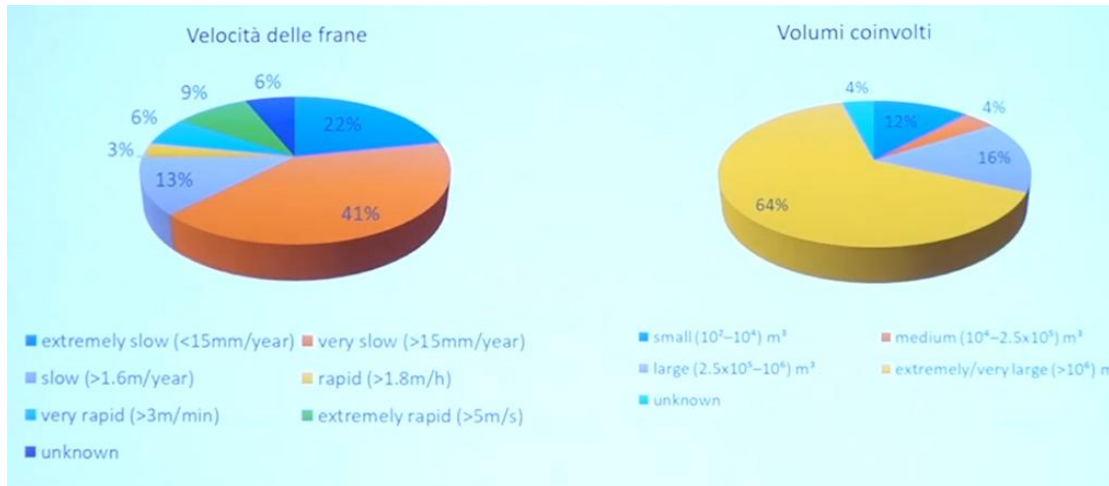
Premesso che sappiamo che le cause di **crolli di ponti** o di parte di essi possono addebitarsi a **cause interne, esterne, naturali, antropogeniche**.

Ciò premesso, una prima considerazione da fare è che si vede un lieve ma **continuo aumento di cause naturali di crolli**.

Si verifica infatti nel mondo un aumento di frequenza e intensità di fenomeni meteorici estremi e ciò forse potrebbe in parte correlarsi con il **cambiamento climatico**, che porta ad aumentare intensità e durata di precipitazioni, che innescano a loro volta frane sempre più importanti.

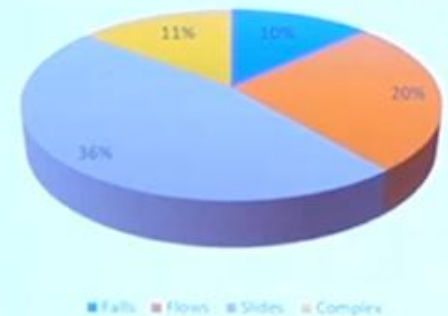
CASI DI DANNI DA FRANE DAI DATABASE ISPRA

Dai data base ISPRA i casi noti al mondo di interazione di frane con ponti sono quasi tutti dovuti a scivolamenti lenti e nelle frane lente i segnali precursori permettono un'efficiente gestione del rischio.



TIPI DI FRANA: tipicamente scivolamenti lenti, rotazionali o traslativi.

Nelle frane lente, i segnali precursori permettono una efficiente gestione del rischio.



Data from Herrera et al. (2018)
(849453 landslide)



CASISTICHE DI DANNI DA FRANE NEL DATABASE ISPRA

Principalmente i casi pubblicati sono quasi tutti scivolamenti lenti, con volumi coinvolti molto grandi o tendenzialmente grandi, perché per essere pubblicati dovevano avere rilevanza ed essere monitorati nella loro evoluzione temporale, per permettere di avere poi una statistica registrata di maggior dettaglio.

I sistemi di monitoraggio presenti nei database ISPRA sono quelli tipici delle frane lente, quindi inclinometri, piezometri, sistemi topografici, nei pochi casi di frane rapide si trovano anche sistemi di monitoraggio delle fessure e dei cambi di pendenze, clinometri, sestimetri.



Mettiamo a confronto la velocità della frana con il volume della frana per andare a definire statisticamente quelli che sono stati i livelli di danno delle infrastrutture per effetto di queste frane.

E' chiaro che una frana grande e molto veloce fa molto danno, però è interessante notare che nell'ambito delle frane lente la probabilità di danni o di perdita di funzionalità, anche per volumi elevati, rimane dell'ordine del 40-50% al massimo.



CASISTICHE DI DANNI DA FRANE NEI DATABASE ISPRA

Ciò significa che nel caso di una frana lenta ho il tempo di monitorare, intervenire, fare manutenzione e, tutto sommato, la pericolosità può essere gestita.

Sono invece le frane rapide ad essere quelle più preoccupanti, perché sono quelle che avendo velocità **elevate** (e tenuto conto che il passo è legato all'energia cinetica e va considerato con il quadrato della velocità), la rapidità di accadimento dell'evento frana diventa molto rilevante, probabilmente anche più del volume e quindi, se il volume è sufficiente e la velocità è quella tipica di un fenomeno rapido, questo può comportare danni rilevanti.

Quindi, statisticamente, la velocità appare più rilevante, causa più danni, rispetto al volume, anche se nelle LG è assegnato un maggior punteggio al volume di frana.



LINEE GUIDA PONTI MIT 2020

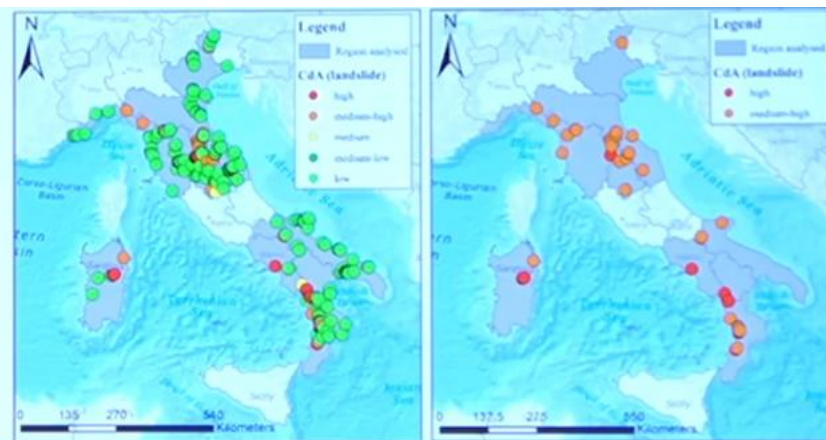
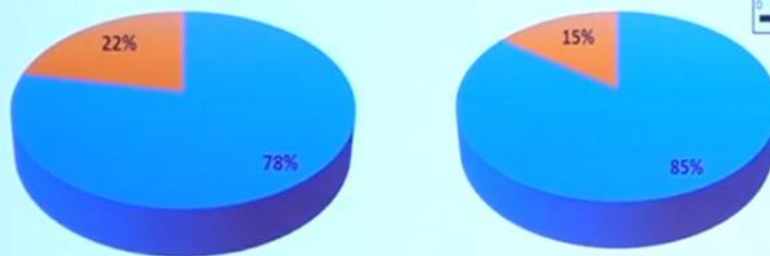
4.4 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

LE ESPERIENZE DEL CONSORZIO FABRE

L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Il data base FABRE ha raccolto circa 331 ponti distribuiti sul territorio italiano con un campione considerabile abbastanza quantitativo, di questi 331 viadotti, 72 hanno mostrato interazione con frane, quindi i restanti erano in zone pianeggianti o comunque non interagenti con le frane.

- 331 viadotti ispezionati dal personale di diverse Università coinvolte nel Consorzio FABRE.
- Il **campione** non è omogeneamente distribuito sulla penisola, ma può essere considerato **rappresentativo**.
- 72 (di 331) mostrano interazione con frane



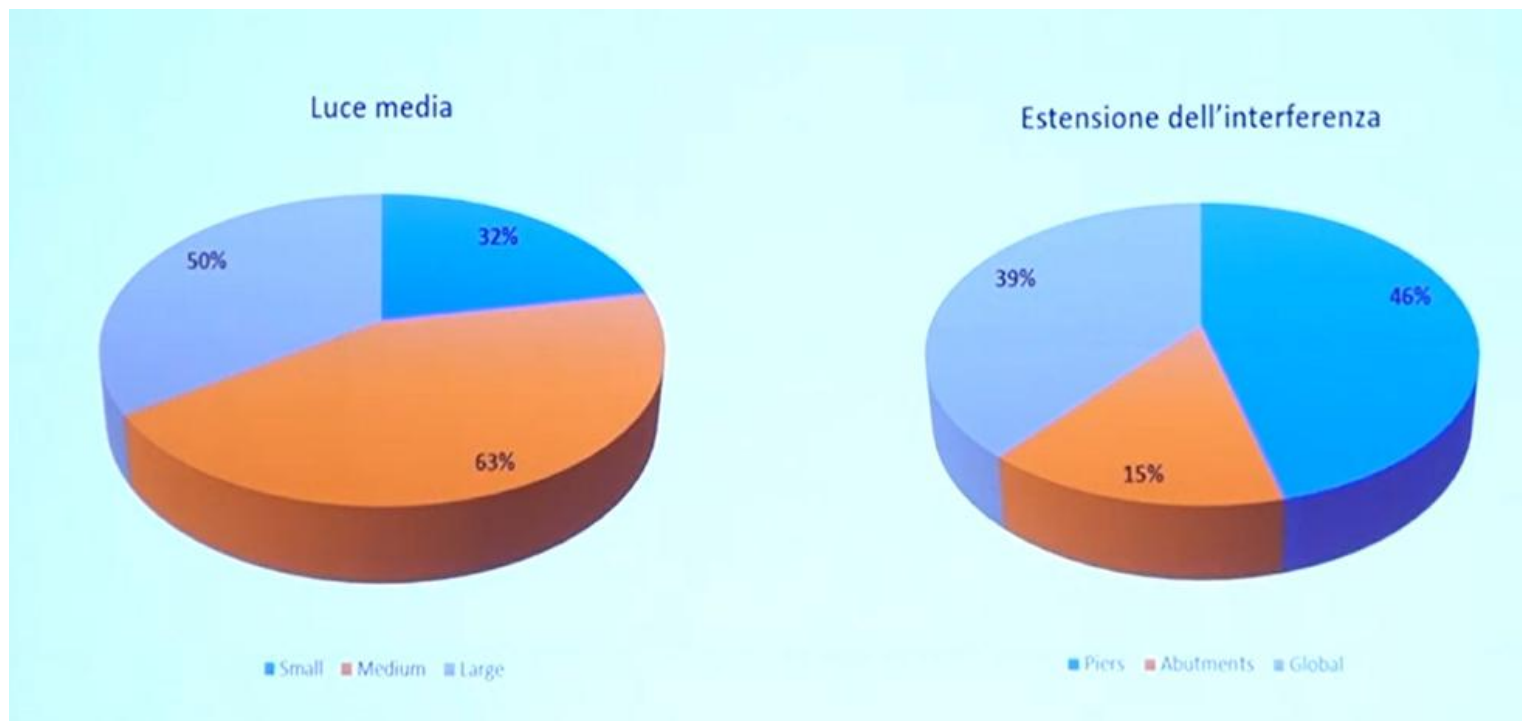
331 ponti o viadotti

72 opere con suscettibilità
'ALTA' o 'MEDIO-ALTA'



L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

La luce media era di lunghezza elevata, o media, probabilmente perché il campione è di ponti e viadotti di opere autostradali, con un'estensione dell'interferenza mista: da pile, a spalle, a interferenza totale.

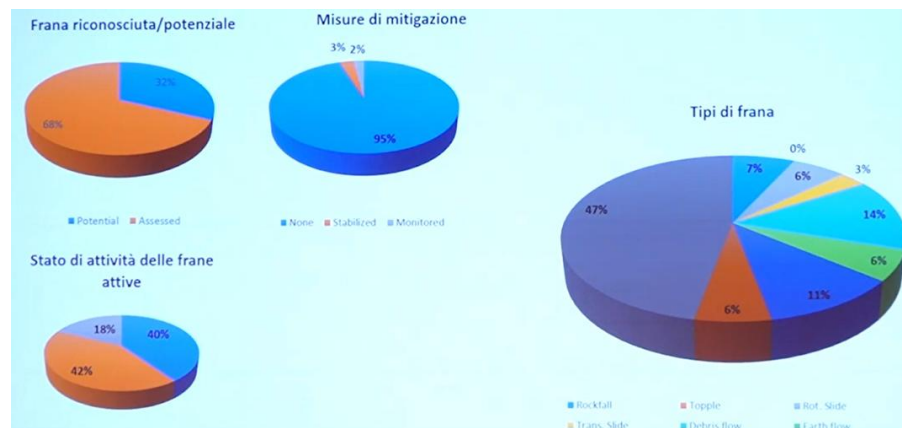


L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

I tipi di frana del campione di opere considerato sono stati valutati con movimenti complessi, **con misure di mitigazione quasi sempre assenti, quindi con aumento di una classe del parametro dell'instabilità di versante**, con una suscettibilità risultante alla fine che per il 60% del campione porta a CdA alta e per il 30% medio alta.

Quindi dove si instaura una frana quasi tutti i ponti esaminati sono andati in CdA medio alta o alta.

Questo già suggerisce che probabilmente il fatto di attribuire un'importanza rilevante nelle Linee Guida ai volumi, tende a sottolineare una CdA alta, anche se magari velocità e attività sono di livello più basso.



Ing. Fabrizio Cuggiani



L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

I risultati dei data base hanno mostrato una certa coerenza, ma è difficile stimare, come qui spiegato, lo stato di attività e la velocità, che è un parametro difficile da stimare ma importante, soprattutto quando si cerca di valutare il livello di danno rilevato.

Il volume deve essere ricavato molto spesso a partire dall'area, a meno di informazioni specifiche, e il danno sembra più correlato alla profondità della superficie di scivolamento che al volume coinvolto.



L'ESPERIENZA DEL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Ci sono ancora dubbi su quale volume considerare, se limitarsi ad un volume significativo per il ponte oppure se considerare tutto il volume di frana, anche se magari è 100 volte più grande dell'opera stessa.

Nelle frane lente l'esperienza dei data base ha suggerito in linea generale che i movimenti longitudinali sono un poco più pericolosi di quelli trasversali.

Da quanto sin qui visto si rileva che c'è il rischio di sovrastimare la suscettibilità e perciò la CdA delle frane, perdendo in parte il concetto di determinare le priorità di intervento.



LINEE GUIDA PONTI MIT 2020

4.4 CLASSE DI ATTENZIONE ASSOCIATA AL RISCHIO FRANE

CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Dal Consorzio FABRE, riguardo alla CdA frane nelle LG ponti, si ha che:

1. *I risultati dei data base di ponti campione esaminati da FABRE appaiono attendibili*
2. *la stima della suscettibilità da frana è un'attività molto complessa*
3. *è difficile stimare lo stato di attività specie se in assenza di monitoraggi strumentali*
4. *la velocità di frana è proporzionalmente collegata con l'entità stimabile dei danni*
5. *è difficile stimare la velocità delle frane, specie in assenza di monitoraggi strumentali*
6. *la velocità è un parametro difficile da stimare, ma importante, perché influisce molto sui danni, sembra il parametro più influente*
7. *se si stima la velocità, si può stimare pertanto il livello di danno in quanto essa ne è la maggiore causa*



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

8. *la variazione di velocità tra le classi è molto rilevante, varia di 10^2 m/sec per ogni salto di classe*
9. *il volume deve essere ricavato spesso a partire dall'area, a meno di informazioni specifiche*
10. *il danno è più correlato alla profondità di superficie di scivolamento che al volume coinvolto*
11. *si può stimare il volume di frana misurandone solo l'area e calcolando poi il volume mediante uso di correlazioni scientificamente validate, ma così facendo si deve adottare un largo margine di confidenza*
12. *l'estensione dell'interferenza modifica la vulnerabilità ma influisce poco sulla CdA frane*
13. *i ponti soggetti a frane lente, hanno meno danni dalle frane trasversali che dalle longitudinali*
14. *da tutto quanto visto, date le incertezze, c'è rischio di sovrastimare la suscettibilità e quindi la CdA frane*
15. *si perde così, in parte, l'obiettivo di determinare con certezza le priorità degli interventi*

CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

16. *la maggior parte delle frane che hanno portato a collasso o a gravi danni per la struttura con totale perdita di funzionalità non hanno avuto evidenti segnali premonitori ma tipicamente sono partite da frane dormienti o antiche (identificare la predisposizione del territorio è dunque fondamentale) – dipende da completezza e accuratezza della cartografia disponibile*
17. *Molte frane avvengono su pendii relativamente moderati (12° - 15°), iniziate con velocità relativamente lente (qualche mm/anno) – quindi necessariamente si parte dai segnali sulla struttura (potrebbe essere utile studiare approfondimenti sulle classi di velocità delle LG)*
18. *La valutazione dei volumi introduce soggettività a meno che non sia disponibile un monitoraggio tradizionale basato su inclinometri*
19. *L'interferenza quasi sempre «parziale» (quindi interferenza anche con un solo elemento del viadotto può portare a collasso complessivo) – LG trattano il problema dell'interferenza parziale «declassando» la gravità (potrebbe essere opportuno fare approfondimenti per correlarla alla tipologia strutturale/schema statico)*



ALTRE CONCLUSIONI DA CONSORZIO FABRE (Brezzi et al. 2024)

- a) *la complessità intrinseca dei diversi scenari di frana rende un procedimento complesso il determinare univocamente lo stato di attività e la velocità attesa di una frana, se ci si trova in assenza di monitoraggi*
- b) *è necessario, ai fini della conoscenza, andare a reperire le informazioni di archivio dalla bibliografia, dalle cartografie di rischio, dalle relazioni tecniche, dalle testimonianze*
- c) *occorre anche fare le prove in situ, reperire evidenze e segnali visibili sul terreno, fare rilevamenti speditivi, sorvoli con drone, mettere in atto remote sensing, monitoraggio geodetico (topografico, GPS) o mediante uso di strumenti geotecnici*
- d) *la diversa "sensibilità" di questi strumenti investigativi causa incertezze nella determinazione dello stato di attività e della velocità attesa*
- e) *l'esperienza del valutatore diventa fondamentale, specie in assenza di monitoraggi strumentali dedicati*
- f) *anche l'interpretazione del dato di monitoraggio deve essere opportunamente valutata da personale esperto*



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Esaminiamo le conseguenze di tutto quanto sin qui visto: quando un tecnico ha fatto la valutazione ed è riuscito in qualche modo a stimare la SUSCETTIBILITÀ, ha poi messo insieme vulnerabilità ed esposizione ed ha determinato una CdA per le frane, questa classe di attenzione geotecnica va combinata con le classi di attenzione idraulica, strutturale e sismica e così si ottiene la CdA complessiva del ponte.



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Se la CdA complessiva è alta, il ponte va direttamente al Livello 4 e quindi è sottoposto ad una visita accurata ed a tutti gli espletamenti per la conoscenza e verifica del progetto e dello stato di fatto, con tutti gli approfondimenti del caso.

Può capitare però, soprattutto nelle frane potenziali, quelle che non sono ancora state innescate, di avere un ponte che riteniamo stia benissimo, con difettosità bassissima, che magari è un viadotto, quindi non ha un corso d'acqua e che quindi ha una CdA sismica e idraulica bassa o medio bassa, che però ha un blocco in roccia che potenzialmente può collassare sopra di esso, quindi ha un rischio frane che è molto alto.



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Le Linee Guida combinando i 4 rischi tendono a dare particolare importanza al rischio strutturale, giustamente, guardando la difettosità e la condizione di degrado del ponte, in questo caso potrebbero non richiedere un livello 4 come approfondimento del ponte.

Ma ecco che le ISPEZIONI SPECIALI entrano in gioco nel contesto del solo rischio di frane, così come in altri contesti, per bypassare la CdA complessiva del ponte ed andare potenzialmente al livello 4, anche in caso di ponti in CdA strutturale non alta.



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Per fare chiarezza nelle Linee Guida ricostruiamo il **flusso** di pensiero che si percorre nell'applicazione delle LG.

Quindi partiamo **dal Censimento**, **se siamo in pianura** usciamo direttamente con CdA frane bassa, che viene poi combinata con le CdA degli altri tipi, se invece non si può escludere e **se c'è il sospetto di rischio di frana**, si va a fare **un'ispezione di livello 1** e se, a valle di tale ispezione si può escludere la pericolosità da frana, si classifica di nuovo classe di attenzione CdA bassa.



CONCLUSIONI DAL CONSORZIO FABRE (Salciarini et al. 2024)

Altrimenti bisogna andare a fare la valutazione di livello 2, quindi dopo di questa possiamo assegnare una CdA delle frane.

Se questa ipotetica frana mostra un sospetto di interazione con la struttura, se siamo **nel caso in cui la CdA frane venga magari alta e la CdA totale del ponte non lo sia, oltre che la valutazione della CdA, deve essere eseguita anche un'ISPEZIONE SPECIALE.**



QUALI CONCETTI È BENE RICORDARE? - PAROLE E FRASI SIGNIFICATIVE

Il panorama degli scenari potenziali è vario

Trattasi di fenomeni spesso rapidi, non valutabili all'istante, per frane veloci non c'è rimedio e fanno i danni maggiori

Frana o instabilità di versante, è il parametro rappresentativo

Fenomeni ancora mai accaduti la cui previsione è difficile

Suscettibilità invece di pericolosità, per una previsione che può essere solo spaziale e non temporale

Parametri della frana, attività, criticità, velocità, magnitudo o volume o area per profondità

Si può determinare il volume a partire dall'area mediante dati tabellati ma con qualche incertezza

Si misurano area e velocità con telerilevamenti, ma per rilevare anche lo spessore occorre accoppiare misure in situ

L'area e la velocità si possono misurare con SAR

Il volume si può trovare accoppiando SAR con inclinometri bene e opportunamente prefissati

LG danno valori max: 15 a volume e 5 a attività e 5 a velocità

Invece risulta che la velocità arreca più danni del volume

Influisce di più sui danni la profondità di spessore

Il danno è proporzionale alla profondità di scorrimento

Senza misure di attenuazione si aumenta di una classe

Con fondazioni dirette si aumenta di una classe

Per l'incertezza delle documentazioni e/o delle indagini si aumenta di una classe

La sensibilità della strumentazione migliora la precisione dei risultati

La esperienza dell'operatore incide sui risultati

I dati satellitari non sono sempre attendibili

Il movimento di frana longitudinale appare il più dannoso per il ponte, rispetto al trasversale

Le 7 Classi di Hungr sono comprese in 5 classi nelle LG

Stimare attività e velocità di frana è comunque un lavoro complesso

Accorgersi che c'è una frana in atto e capirne il meccanismo non è spesso cosa facile

L'ispezione speciale occorre anche nel caso che ci sia solo il rischio frane alto e tutto il resto a posto, a basso rischio

L'interazione può verificarsi diretta, indiretta, parziale, totale

Ing. Fabrizio Cuggiani



GRAZIE DELL'ATTENZIONE



Ing. Fabrizio Cuggiani