

Accordo tra il CSLP ed il Consorzio ReLUIS attuativo dei DM 578/2020 e DM 204/2022

Attività di formazione per i tecnici degli Enti Locali

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

coordinatori Proff. Edoardo Cosenza e Mauro Dolce



Napoli

Lezione 5 Il rischio frane

Angelo Amorosi, Rossella Bovolenta, Simonetta Cola, Claudio di Prisco, Maria Rita Migliazza, Nicola Moraci, Andrea Segalini, Stefania Sica, Gianfranco Urciuoli, Roberto Valentino, Maurizio Ziccarelli

Modulo II – Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Le linee guida per i ponti esistenti



Piano di formazione (ex art. 4 D.M. 204/2022)

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Il rischio frane



Linee Guida per la Classificazione e la Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza e il Monitoraggio dei Ponti Esistenti.

Interferenze fra frane e infrastrutture viarie. Drammatiche evidenze.

Rilevati



Viadotti



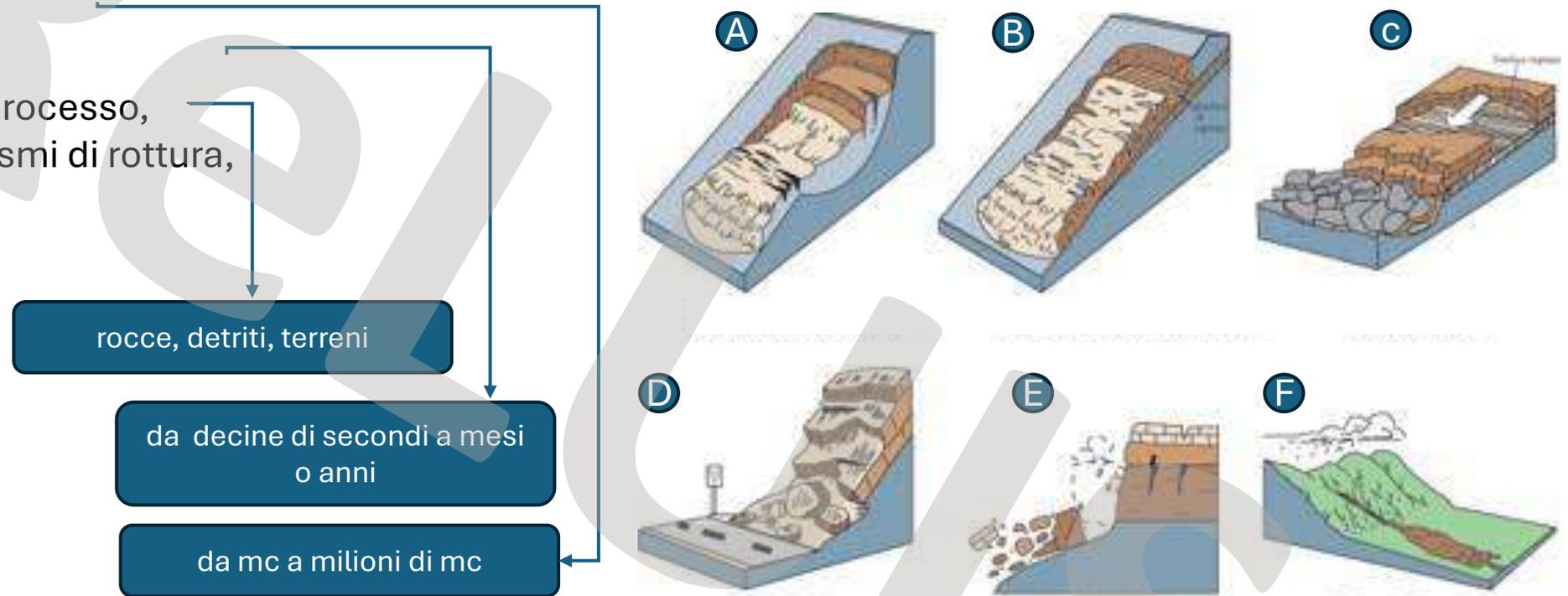
Gallerie



Le frane possono esercitare azioni distruttive su ogni tipo di infrastruttura.

Con il termine **frana** si intendono fenomeni naturali, detti anche instabilità di versante, fra loro molto differenti:

- per volumi coinvolti,
- tempi di accadimento,
- materiali coinvolti nel processo,
- geometrie dei meccanismi di rottura,
- cause scatenanti,
- danni provocati,
- ricorsività,
- etc.



In tutti i casi si tratta di **movimenti gravitativi (innescati cioè principalmente dalla forza di gravità) che avvengono lungo versanti naturali o artificiali** (un fattore predisponente è l'acclività del pendio).

Tipi di frana. Classificazione

TIPO DI MOVIMENTO (PREVALENTE)	TIPO DI MATERIALE (PRIMA DEL MOVIMENTO)		
	PREVALENTEMENTE SOTTILE (ROCCIA) ROCCIA (ROCK)	PREVALENTEMENTE GROSSOLANO DETTRITO (DEBRIS)	TERRENO SOCCO TERRA (SOIL)
I - CROLLI (FALLS) La massa si muove prevalentemente nell'aria. Il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi, e il ribaltamento di frammenti di roccia o di terreno sciolto.	1. CROLLO DI ROCCIA (ROCK FALL) Estremamente rapido	1. CROLLO DI DETTRITO (DEBRIS FALL)	1. CROLLO DI TERRA (SOIL FALL)
II - RIBALTAMENTI (TOPPLES) Movimento circolare a torsione che causa un ribaltamento attorno ad un punto di rotazione a sfuocato al di sotto del baricentro della massa interessata. Quando il fenomeno non si arresta può evolvere in un crollo o in uno scorrimento.	2. RIBALTAMENTO DI ROCCIA (ROCK TOPPLE) Da Frasca e Rodda, 1970	2. RIBALTAMENTO DI DETTRITO (DEBRIS TOPPLE)	2. RIBALTAMENTO DI TERRA (SOIL TOPPLE)
III - SCORRIMENTI (SLIDES) A. ROTAZIONALI (SCORRIMENTI ROTAZIONALI) Movimento dovuto a forze che producono un momento di rotazione attorno ad un punto al di sopra del centro di gravità della massa. La superficie di rottura si presenta concava verso l'alto. B. TRASLATIVI (SCORRIMENTI p.d. / TRANSLATIONAL) Il movimento si verifica prevalentemente lungo una superficie più o meno piana o debolmente ondulata, corrispondente frequentemente a discontinuità strutturali, quali fessure, giunti di fessurazione o di stratificazione, o passaggio di strati di diverse composizioni litologiche, o contatto tra roccia in posto e versanti erosi.	3. SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI ROCCIA (ROCCIA ROTATIONAL SLIDE) Da un'altissima scarpata (modificata)	3. SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI DETTRITO (DEBRIS ROTATIONAL SLIDE)	3. SCORRIMENTO ROTAZIONALE DI TERRA (SOIL ROTATIONAL SLIDE)
IV - ESPANSIONI LATERALI (LATERAL SPREADS) Movimenti di espansione laterale, diffusi in una massa frantumata che si verificano nei due seguenti modi: A. IN AMMASSI ROCCIOSI (W. BEDROCK) Il fenomeno comprende deformazioni spazialmente continue e sottili, sia superficiali che profonde. Essi compaiono in terreni differenziali, che sono estremamente lenti e generalmente non accelerati. Tra limiti che rimangono relativamente fissi, i movimenti possono: 1) avvenire lungo più superfici di taglio che approssimativamente non sono colligate; 2) provocare peggioramenti e ingrossamenti, oppure apparire approssimativamente simili, nella distribuzione delle velocità, ai movimenti tipici dei fluidi viscosi. B. IN TERRENI SOCCOLI (IN SOIL) Il fenomeno si esplica con movimenti entro la massa sciolta, sia per cui si forma attorno all'intera frana il movimento e la distribuzione apparente delle velocità e degli spostamenti, sono simili a quelle dei fluidi viscosi. Le superfici di scorrimento nella massa che si muove non sono generalmente verticali, oppure hanno breve durata. Il limite tra la massa in movimento e il materiale in posto può essere una superficie netta di movimento differenziale, oppure una zona di scorrimenti distribuiti. Il movimento varia da estremamente rapido a estremamente lento.	4. SCORRIMENTO TRASLATIVO DI ROCCIA IN BLOCCO (ROCK BLOCK SLIDE) Da un'altissima scarpata (modificata)	4. SCORRIMENTO TRASLATIVO DI DETTRITO (DEBRIS SLIDE) Da molto lento a rapido	4. SCORRIMENTO TRASLATIVO DI TERRA IN BLOCCO (SOIL BLOCK SLIDE) Da molto lento a rapido
V. COLAMENTI (FLOWS) A. IN AMMASSI ROCCIOSI (W. BEDROCK) Il fenomeno comprende deformazioni spazialmente continue e sottili, sia superficiali che profonde. Essi compaiono in terreni differenziali, che sono estremamente lenti e generalmente non accelerati. Tra limiti che rimangono relativamente fissi, i movimenti possono: 1) avvenire lungo più superfici di taglio che approssimativamente non sono colligate; 2) provocare peggioramenti e ingrossamenti, oppure apparire approssimativamente simili, nella distribuzione delle velocità, ai movimenti tipici dei fluidi viscosi. B. IN TERRENI SOCCOLI (IN SOIL) Il fenomeno si esplica con movimenti entro la massa sciolta, sia per cui si forma attorno all'intera frana il movimento e la distribuzione apparente delle velocità e degli spostamenti, sono simili a quelle dei fluidi viscosi. Le superfici di scorrimento nella massa che si muove non sono generalmente verticali, oppure hanno breve durata. Il limite tra la massa in movimento e il materiale in posto può essere una superficie netta di movimento differenziale, oppure una zona di scorrimenti distribuiti. Il movimento varia da estremamente rapido a estremamente lento.	5. COLATA DI DETTRITO (DEBRIS FLOW) Molto rapida	5. COLATA VELOCE DI TERRA (SOIL VELOCITY FLOW) Molto rapida	5. COLATA DI TERRA (SOIL FLOW) Da estremamente lenta a molto rapida
VI - COMPLESSI (COMPLEX) Il movimento risulta dalla combinazione di due o più dei casi dei tipi principali sopra descritti. Molte frane sono composte, ma generalmente un tipo di movimento prevale, spazialmente o temporaneamente, sugli altri.	6. VALANGA DI DETTRITO (DEBRIS AVALANCHE) Da molto rapida a estremamente rapida	6. COLATA DI SABBIA ASCIUTTA (DRY SAND FLOW) Da molto rapida a estremamente rapida	6. COLATA DI SABBIA ASCIUTTA (DRY SAND FLOW) Da molto rapida a estremamente rapida
ESEMPI	SCORRIMENTO ROTAZIONALE - RIBALTAMENTO DEBRIS (DEBRIS TOPPLE) Zhang - 1982	SCORRIMENTO ROTAZIONALE - COLATA DI TERRA DEBRIS (DEBRIS TOPPLE) Zhang - 1982	SCORRIMENTO ROTAZIONALE - COLATA DI TERRA DEBRIS (DEBRIS TOPPLE) Zhang - 1982

NOMENCLATURA

SCARPATA PRINCIPALE (MAIN SCARP) - Superficie generatrice della frana che definisce l'area interessata. Spesso è la parte sommitale della frana, provocata dall'erosione del materiale di fronte a quella non spostata. Questa è il suo prolungamento al di sotto del materiale sciolto, distribuzione di superficie di rottura.

SCARPATA SECONDARIA (MINOR SCARP) - Ripida superficie che interdice il materiale sciolto, prodotta da movimenti di scorrimento all'interno della massa di frana.

TESTATA (HEAD) - La parte più alta del materiale in movimento, lungo il limite tra il materiale spostato e la scarpata principale.

PUNTO INFERIORE (TOE) - Il punto più alto del limite tra il materiale sciolto e la scarpata principale.

MARGINE INFERIORE DELLA SUPERFICIE DI ROTTURA (TOE OF SURFACE OF DISRUPTION) - Il limite quasi sempre irregolare tra la parte inferiore della superficie di rottura e la superficie originaria del versante.

LINEA DELLA FRANA (TOE) - Il margine del materiale spostato, situato alla maggior distanza della scarpata principale.

PUNTO INFERIORE (TOE) - Il punto di lunghezza situato a maggior distanza del punto sommitale della frana.

FRANCA (FRANCA) - Il materiale che si è spostato dalla sua posizione originaria nel versante. Può essere delimitato o non delimitato.

ZONA DI DISTACCO (ZONE OF DETACHMENT) - L'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota inferiore a quella della superficie originaria del versante.

ZONA DI ACCUMULO (ZONE OF ACCUMULATION) - È l'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota superiore a quella della superficie originaria del versante.

SINISTRA DESTRA (FRANCHI) - Nella descrizione di un caso franco il meglio usare le direzioni originali con la parola "sinistra" e "destra" sempre in riferimento a sinistra, questi sono riferiti a chi guarda in terra del versante.

L - LUNGHEZZA (L) - La lunghezza di una frana.

VELOCITÀ (VELOCITY) - La velocità di un caso franco.

COMPONENTE ORIZZONTALE (H) - Componente orizzontale di L.

COMPONENTE VERTICALE (V) - Componente verticale di L.

ALTEZZA (HEIGHT) - L'altezza del materiale spostato dal materiale in posto, rispetto alla linea di base del versante.

AREA (AREA) - L'area interessata dal movimento franco.

FRANCA (FRANCA) - Il materiale che si è spostato dalla sua posizione originaria nel versante. Può essere delimitato o non delimitato.

ZONA DI DISTACCO (ZONE OF DETACHMENT) - L'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota inferiore a quella della superficie originaria del versante.

ZONA DI ACCUMULO (ZONE OF ACCUMULATION) - È l'area entro la quale il materiale spostato si trova a quota superiore a quella della superficie originaria del versante.

SINISTRA DESTRA (FRANCHI) - Nella descrizione di un caso franco il meglio usare le direzioni originali con la parola "sinistra" e "destra" sempre in riferimento a sinistra, questi sono riferiti a chi guarda in terra del versante.

L - LUNGHEZZA (L) - La lunghezza di una frana.

VELOCITÀ (VELOCITY) - La velocità di un caso franco.

COMPONENTE ORIZZONTALE (H) - Componente orizzontale di L.

COMPONENTE VERTICALE (V) - Componente verticale di L.

ALTEZZA (HEIGHT) - L'altezza del materiale spostato dal materiale in posto, rispetto alla linea di base del versante.

AREA (AREA) - L'area interessata dal movimento franco.

Velocità	Intervallo
10 ⁰	0 - 10 cm/h
10 ¹	10 cm/h - 1 m/h
10 ²	1 m/h - 10 m/h
10 ³	10 m/h - 100 m/h
10 ⁴	100 m/h - 1 km/h
10 ⁵	1 km/h - 10 km/h
10 ⁶	10 km/h - 100 km/h
10 ⁷	100 km/h - 1000 km/h

A. Carrara, B. D'Ala, E. Semenza. **Classificazione e nomenclatura dei fenomeni franosi**

TAV. 1
TIPOLOGIA DEI MOVIMENTI DI VERSANTE
(TYPES OF SLOPE MOVEMENTS)

Lavoro modificato da: David J. Varnes, Slope Movement Types and Processes, in: Landslide: Analysis and Control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176, Chapter 2, 1978.

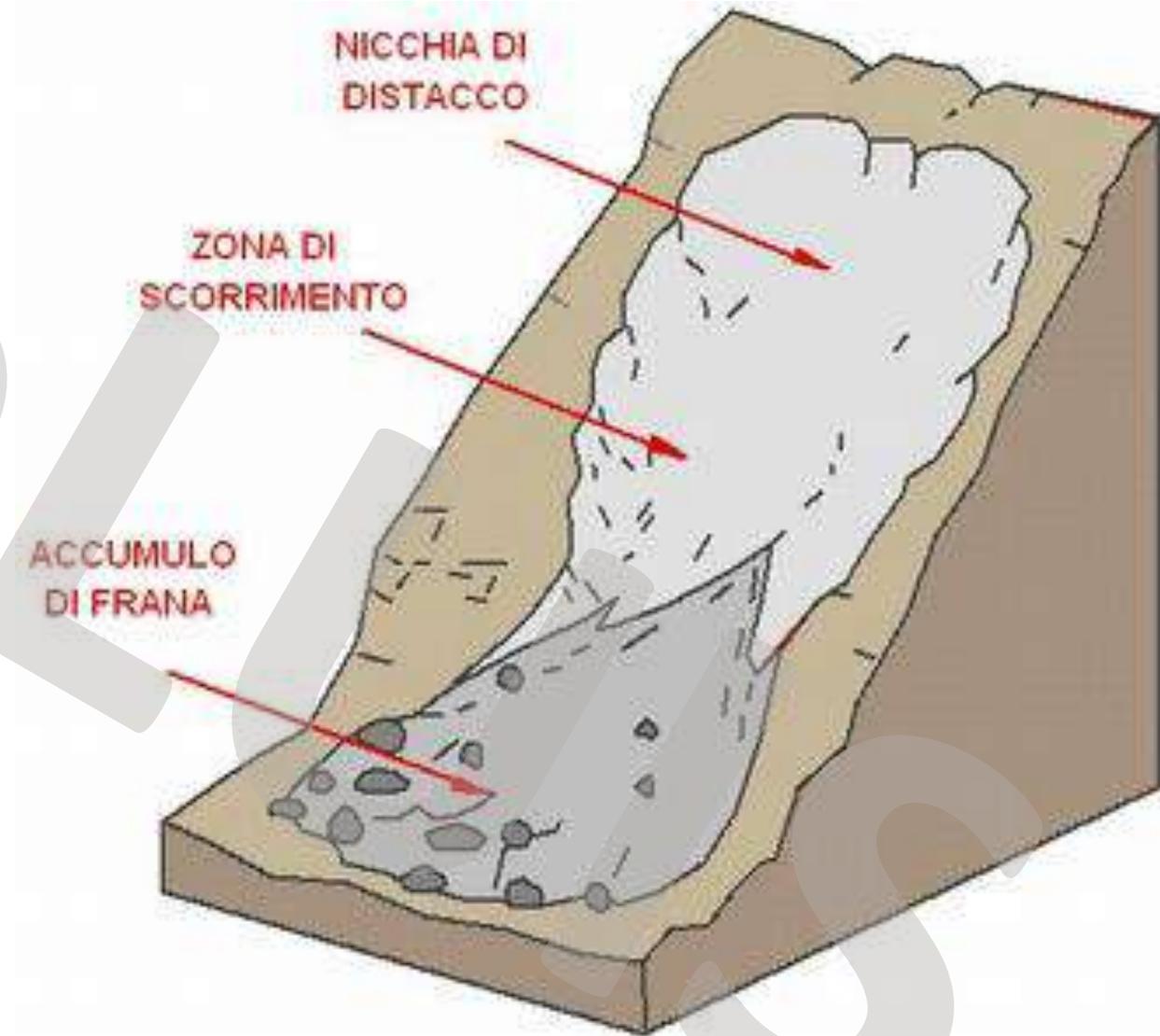
Logo: In questo fondo possono essere usati per fini di ricerca applicata e didattica dell'Università, in Italia da viale 200, 10125 Bari, oppure all'Ufficio di Geologia dell'Università, Europe e Est. 20 - 41100 Ferrara.

Logo: In questo fondo possono essere usati per fini di ricerca applicata e didattica dell'Università, in Italia da viale 200, 10125 Bari, oppure all'Ufficio di Geologia dell'Università, Europe e Est. 20 - 41100 Ferrara.

Logo: In questo fondo possono essere usati per fini di ricerca applicata e didattica dell'Università, in Italia da viale 200, 10125 Bari, oppure all'Ufficio di Geologia dell'Università, Europe e Est. 20 - 41100 Ferrara.

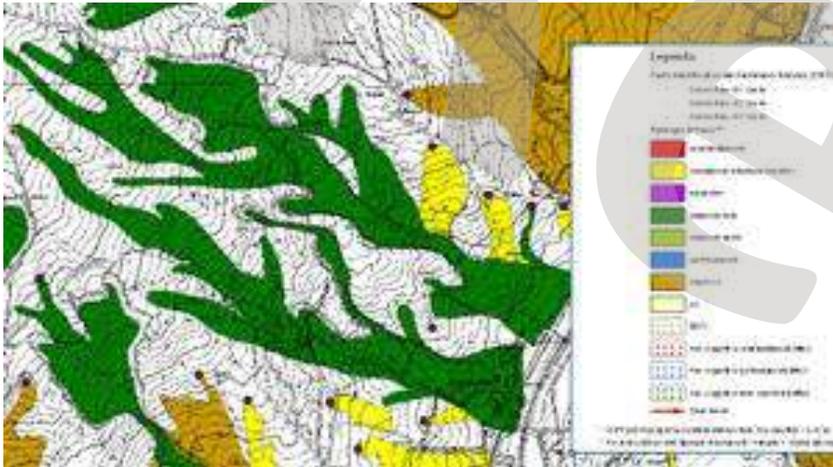
Un po' di **nomenclatura** (richiami):

- Nicchia di distacco,
- Meccanismo di rottura
- Zona di scorrimento
- Fase di innesco
- Fase di propagazione
- Fase di arresto/deposizione

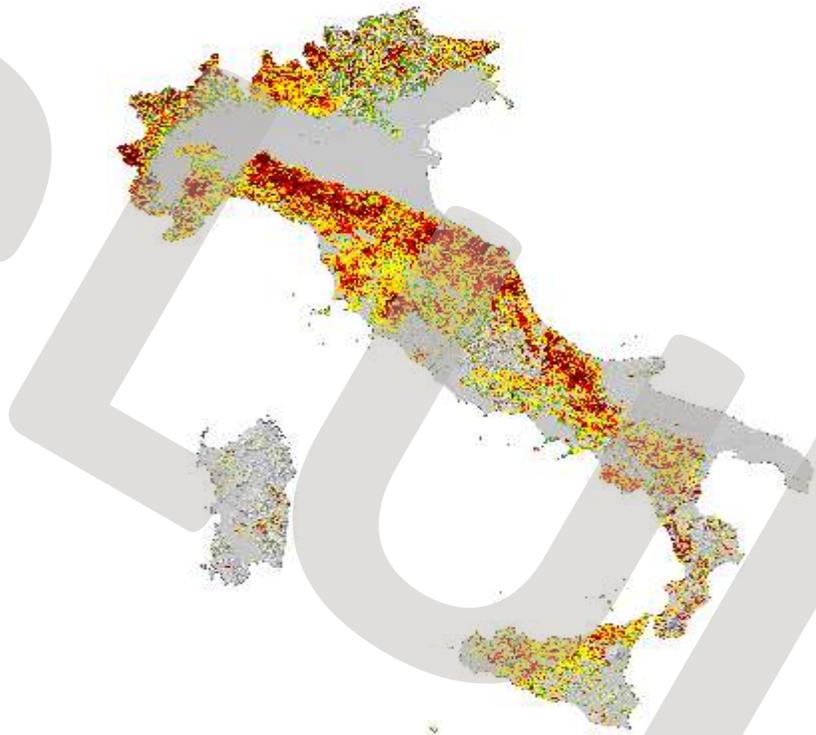


Importanza delle informazioni territoriali: il catalogo delle frane è il primo strumento di prevenzione

Carte di pericolosità (susceptibilità) costruite su dati storici ed evidenze in sito: il caso italiano



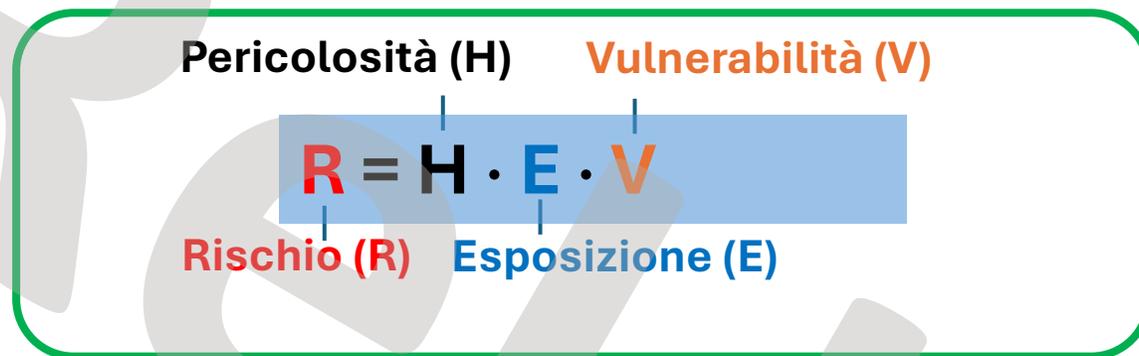
La numerosità dei movimenti franosi in Italia è davvero impressionante!



Carte di pericolosità
idrogeologica **PAI**

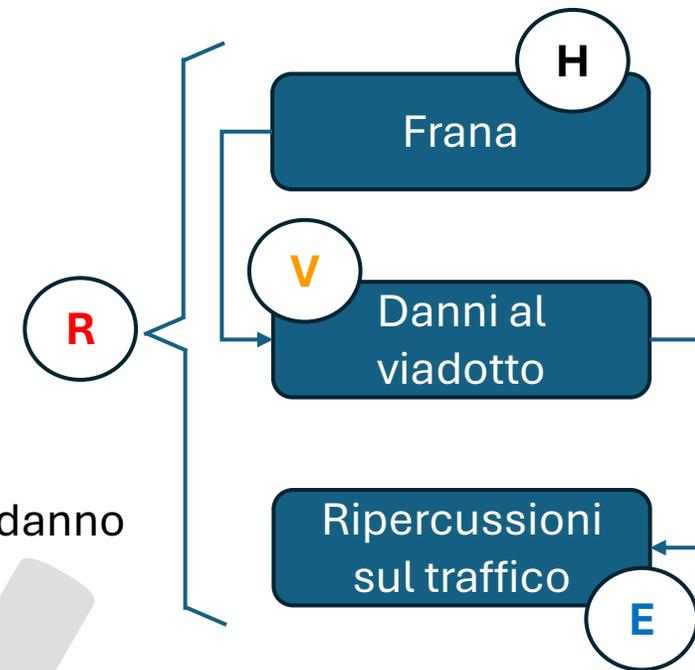


Quando si parla di **rischio frane** si intende il prodotto sei seguenti fattori:



Nel caso dei viadotti il rischio è da associarsi al collasso del viadotto o a un danno significativo che porti all'interruzione del traffico o a problemi alla rete stradale. In questo caso siamo in presenza di una **cascata** di eventi:

la frana, che ha un certa probabilità di accadimento in un determinato intervallo temporale, causa danni allo specifico elemento esposto (il **viadotto**), che, danneggiandosi crea problemi nella gestione dell'infrastruttura viaria (**traffico**).



L'intensità di un evento naturale ne misura la severità in una zona circoscritta di territorio. Nel caso dei sismi l'intensità è misurata in base alla scala Mercalli, ovvero per i danni che l'evento produce a persone e manufatti. Ciò suggerisce che anche per altri eventi naturali l'intensità possa essere misurata dalla capacità di produrre danni.

Nel caso delle frane il danno a persone e manufatti dipende principalmente da: velocità (spostamenti) e dimensione caratteristica del corpo di frana (ad esempio spessore).

H

H (pericolosità): misura la probabilità di accadimento in un dato intervallo di tempo di una **frana di fissata intensità in un'area circoscritta di territorio** (quella su cui sorge il viadotto). La pericolosità non nulla implica la sussistenza **dell'interferenza** della **frana** col **viadotto**.

Un evento naturale di data intensità esercita sul manufatto una **forzante** che dipende dall'**intensità dell'evento** nel sito del manufatto, dalle **caratteristiche costruttive** del manufatto e, nel caso delle frane, dalla **posizione relativa fra corpo di frana e manufatto**.

 E

E (esposizione): è il numero o il valore degli elementi antropici o naturali esposti a rischio, ovvero alla possibilità di essere danneggiati dall'evento pericoloso considerato.

Nel caso di un viadotto **E** consiste in:

- 1) valore dei veicoli e delle vite umane che potrebbero perire per la calamità,
- 2) valore del viadotto,
- 3) traffico stradale passibile di interruzione.

Se l'evento è prevedibile, ed è possibile interrompere il traffico prima del suo accadimento, i beni di cui al punto 1) possono essere esclusi dall'esposizione.

 V

V (vulnerabilità): misura la suscettibilità di un manufatto a subire danni per effetto di un evento di fissata intensità ed esprime il danno come aliquota delle membrature danneggiate rispetto al totale. Può essere riferita a varie classi di danno.

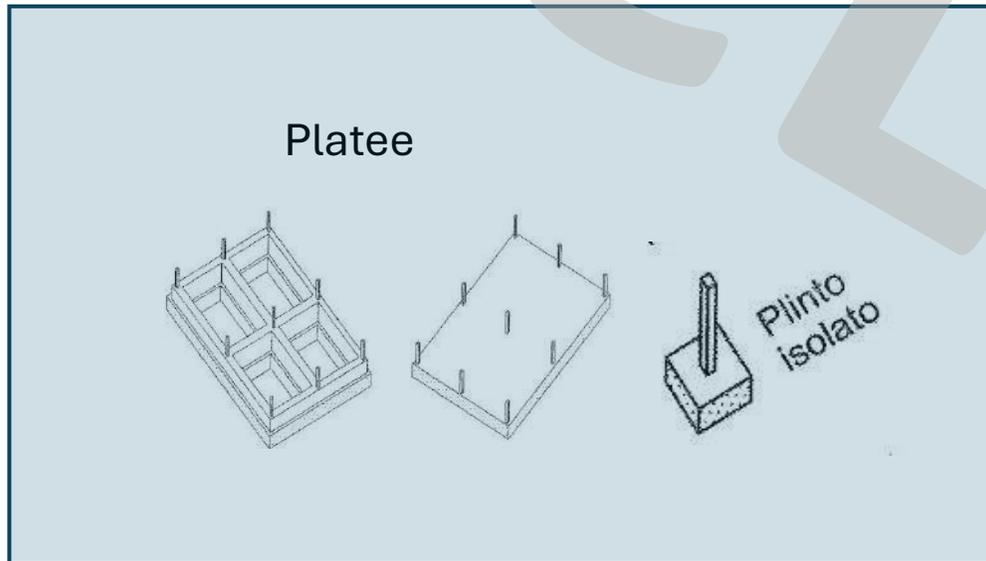
Nel caso dell'interazione fra frane e viadotti, la vulnerabilità è diversa in ragione di: i) tipo di frana (rapida o lenta) e ii) posizione relativa fra corpo di frana e viadotto.

I protagonisti della nostra storia sono:

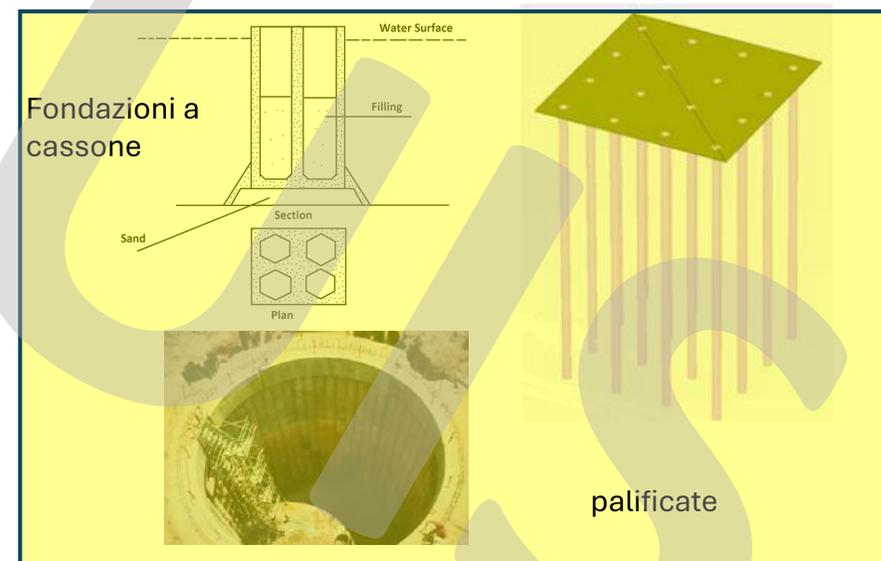
- **la frana** (con le sue caratteristiche),
- il viadotto, che è utile suddividere in **sovrastruttura** ed **opere di fondazione**.

Per ciò che concerne le fondazioni è utile distinguere:

Fondazioni superficiali



Fondazioni profonde



Le frane: il ruolo della classificazione:

Evoluzione temporale del movimento

Creeping landslides

Fast landslides

Tipo di rottura:

Localizzata

Diffusa

Geometria: Rotture traslazionali o rotazionali

Progressive o retrogressive

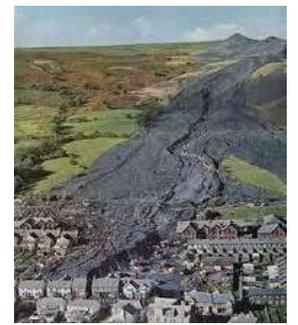
Cause dell'instabilità:

Frane sismoindotte,

Frane pluvioindotte

Frane di origine antropica

Frane dovute a processi di weathering



Aberfan,
Galles meridionale



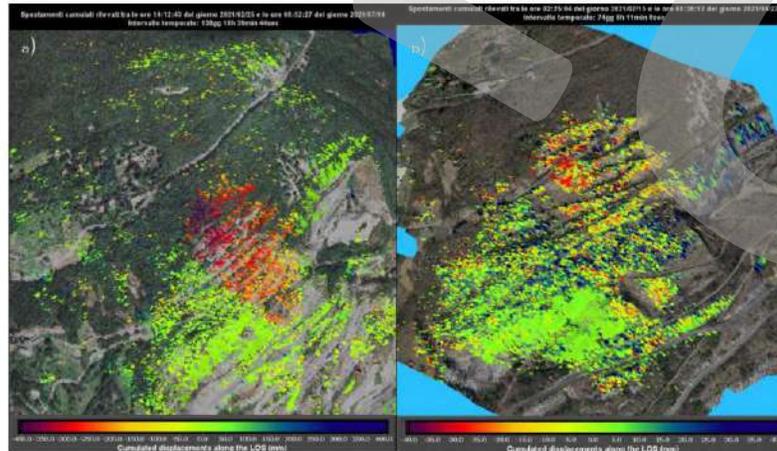
Dover, Inghilterra

Creeping landslides (frane a cinematica lenta)



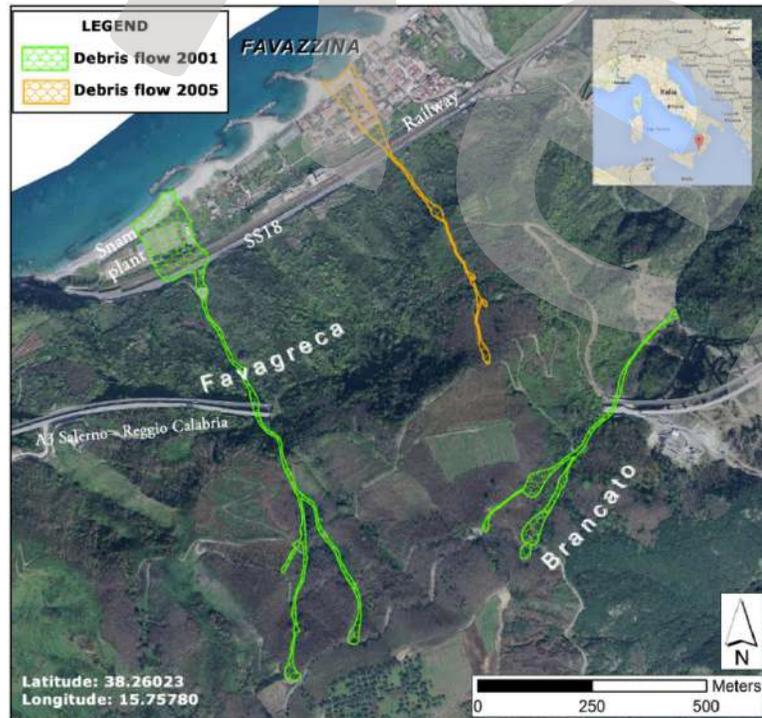
In questo caso, numerosi sono i segnali che testimoniano i movimenti avvenuti nel passato o eventualmente in atto.

Di primaria importanza è definire la **dinamica evolutiva** del movimento franoso, del modello geologico e geotecnico del sistema viadotto – pendio instabile e procedere con il **monitoraggio**.

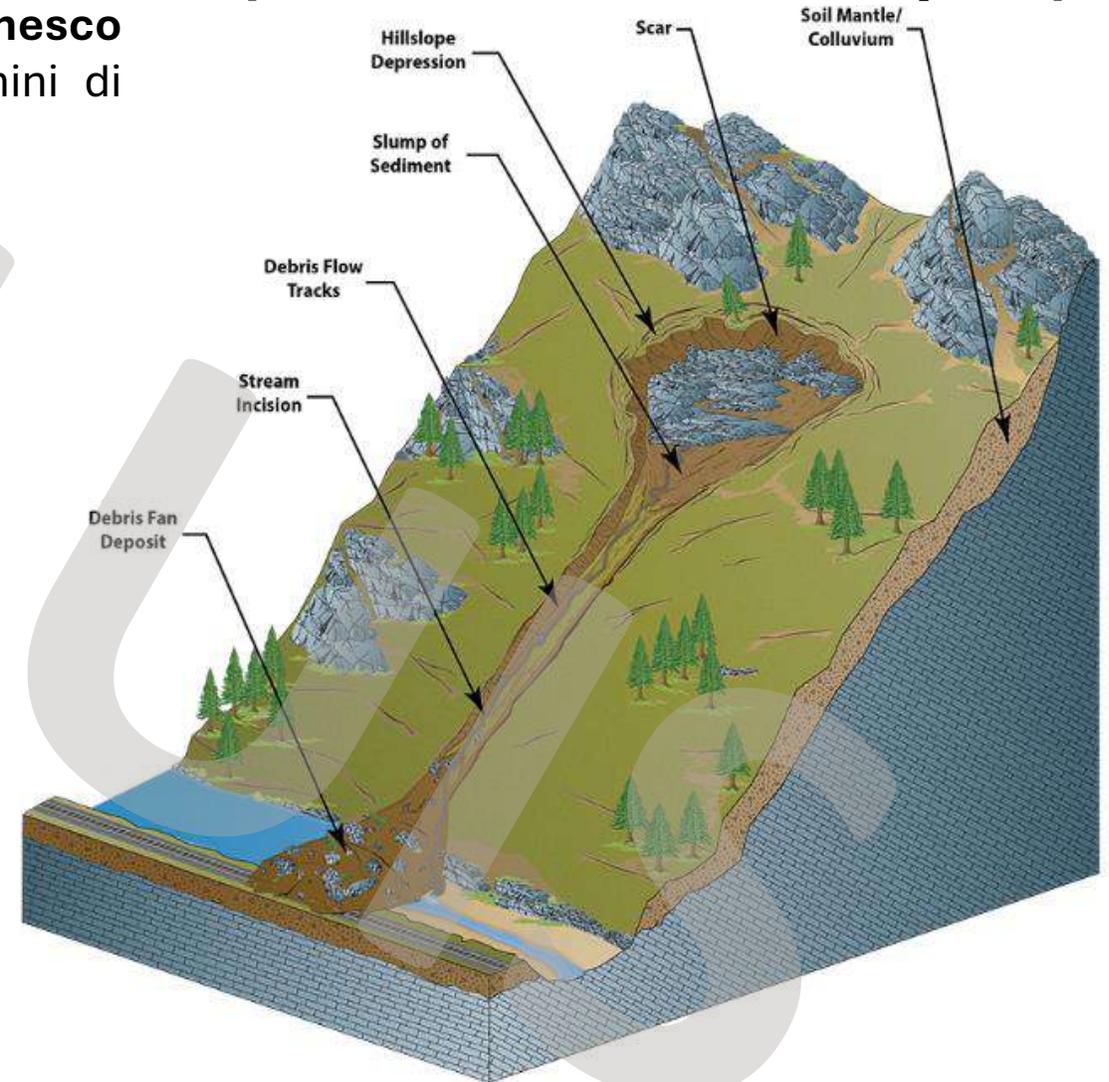


Caso della frana di Tavernola
(BG)

Molto spesso le **frane veloci** sono canalizzate. E' di primaria importanza individuare la **zona di innesco** e descrivere la propagazione anche in termini di **velocità** e **spessore del corpo di frana**.



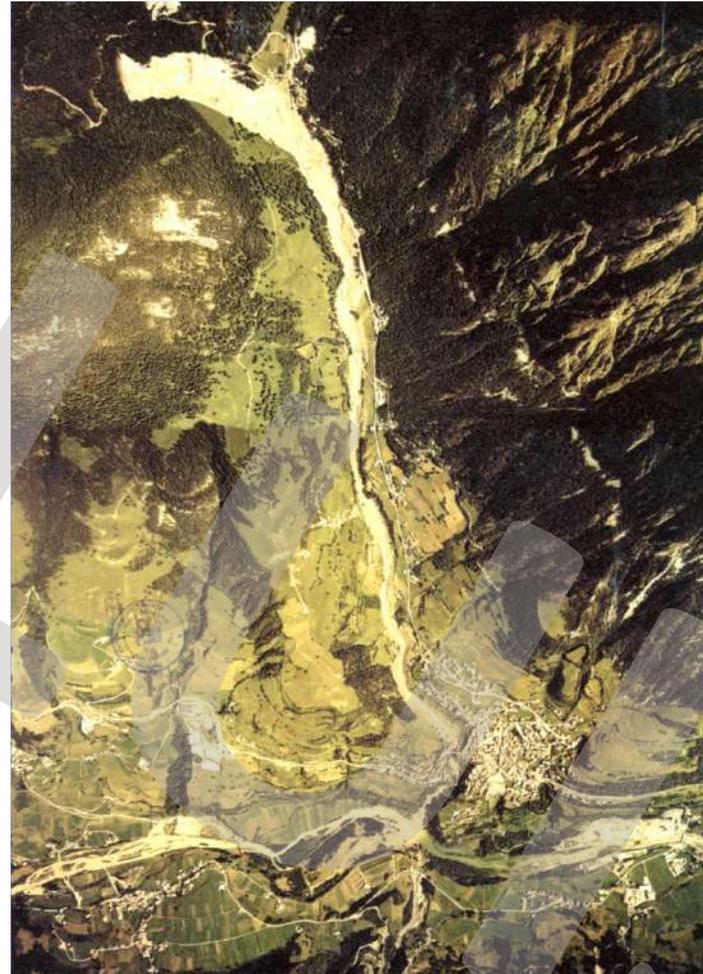
Fast landslides (frane a cinematica rapida)



FLOW SLIDES: esempio di frana veloce



Stava, 1985



Praticamente impossibile in questi casi individuare segnali premonitori.

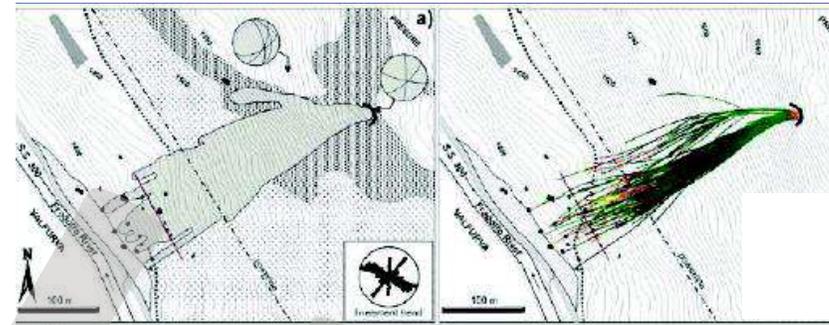
Frana di Pozzano, 1997
Frane di Sarno, Quindici, Siano e Bracigliano, 1998
Frana di Cervinara, 1999

.....
Frane di Casamicciola, 2022

Analogo è il caso della **caduta massi**.



Fast landslides (frane a cinematica rapida)



Anche in questo caso è di primaria importanza individuare l'area di **innescò** e descriverne la propagazione anche in termini di **velocità** e **volumi dei blocchi**.

Per definire la **pericolosità di un dato movimento franoso per il viadotto** (l'elemento a rischio) è necessario definire la **severità dell'interferenza**.

La severità dell'interferenza dipende:

- dal campo di spostamenti della massa in frana,
- dalla sua velocità,
- dal volume del materiale in movimento,
- dalla sua natura,
- dal suo stato,

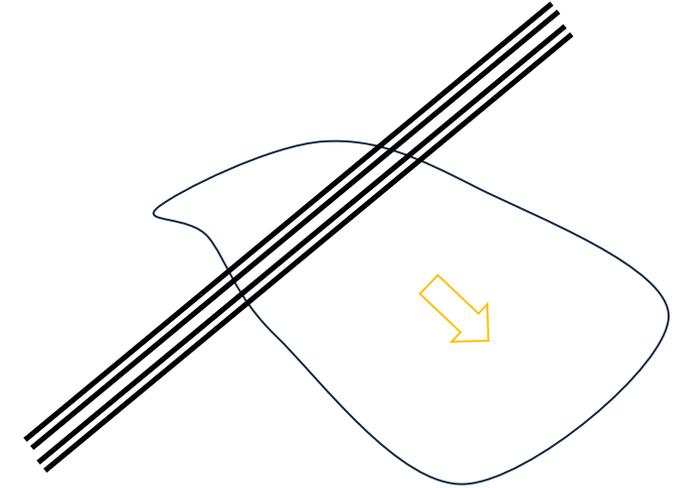
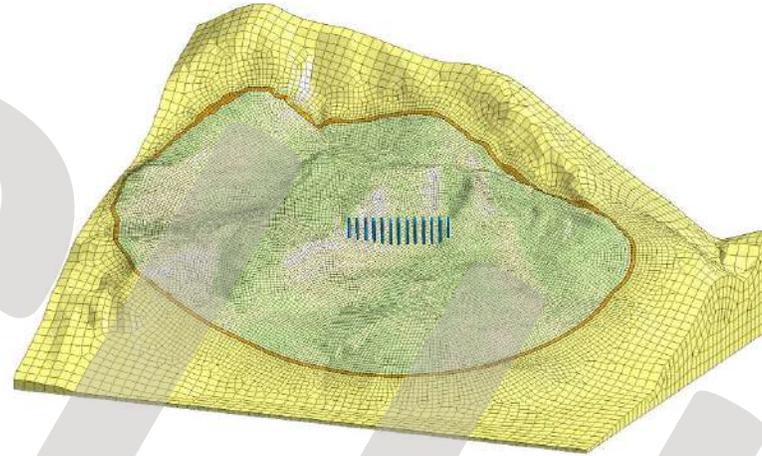
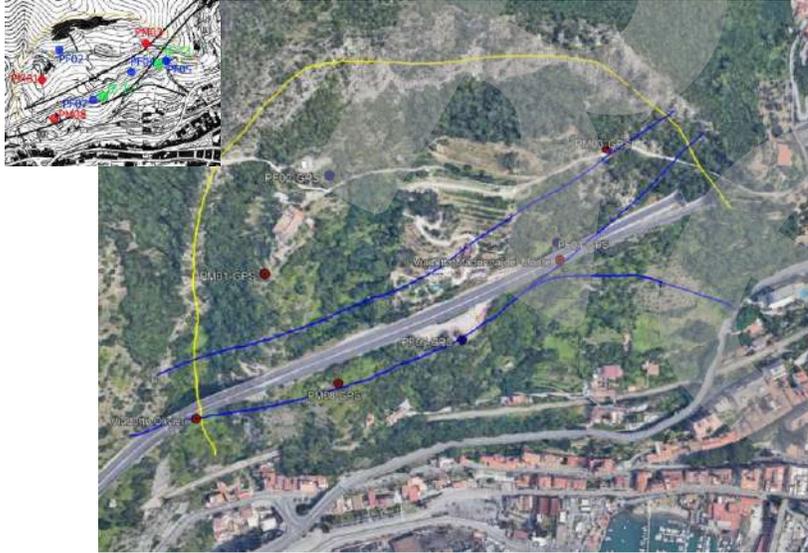
ma soprattutto essa si modifica a seconda del tipo di interazione:

- **diretta**, se l'opera è fondata sul corpo di frana;
- **indiretta**, se l'opera è investita dal corpo di frana nella sua fase di propagazione verso valle.

Spesso l'interferenza è presente ancor prima che abbia luogo la frana e cioè nelle **fasi prodromiche**. In questo caso il monitoraggio del viadotto è utile a definire lo stato evolutivo del movimento di versante.

INTERFERENZE DIRETTE

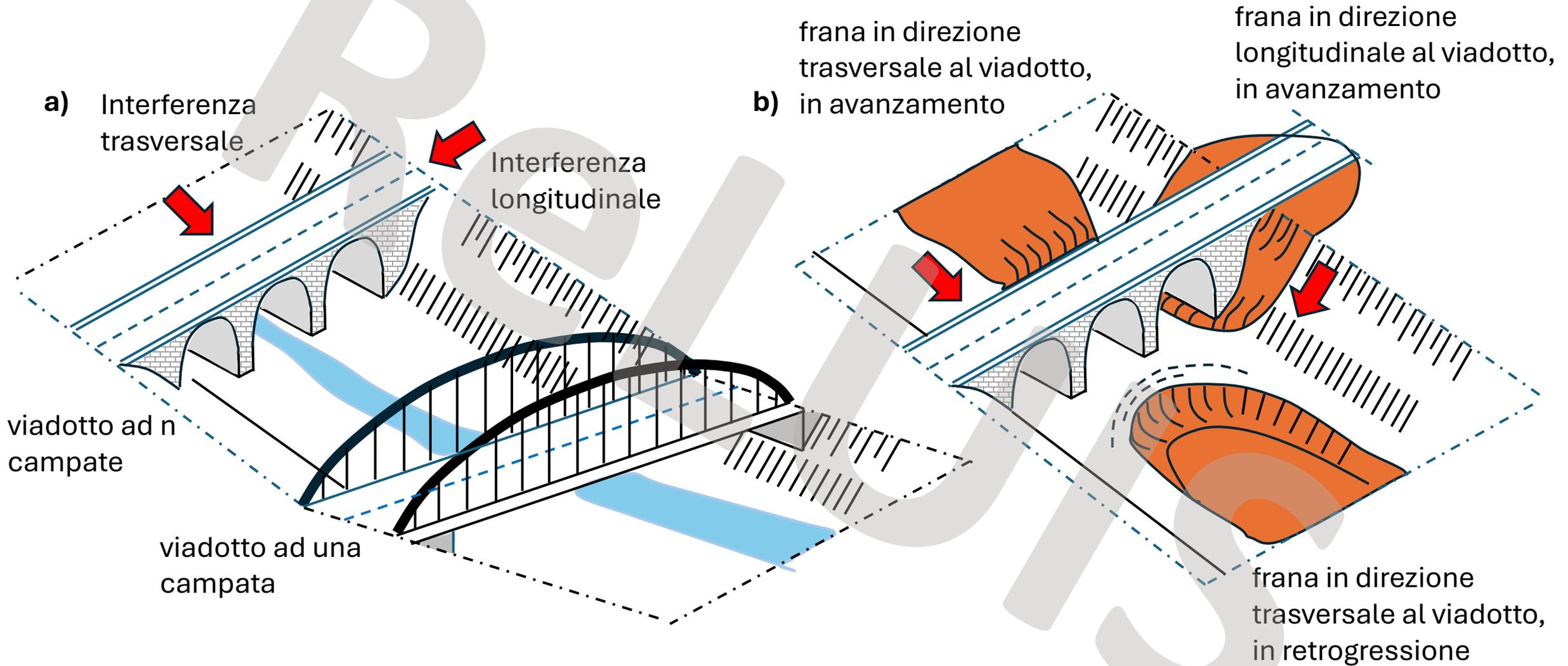
L'interazione ha luogo in condizioni statiche.



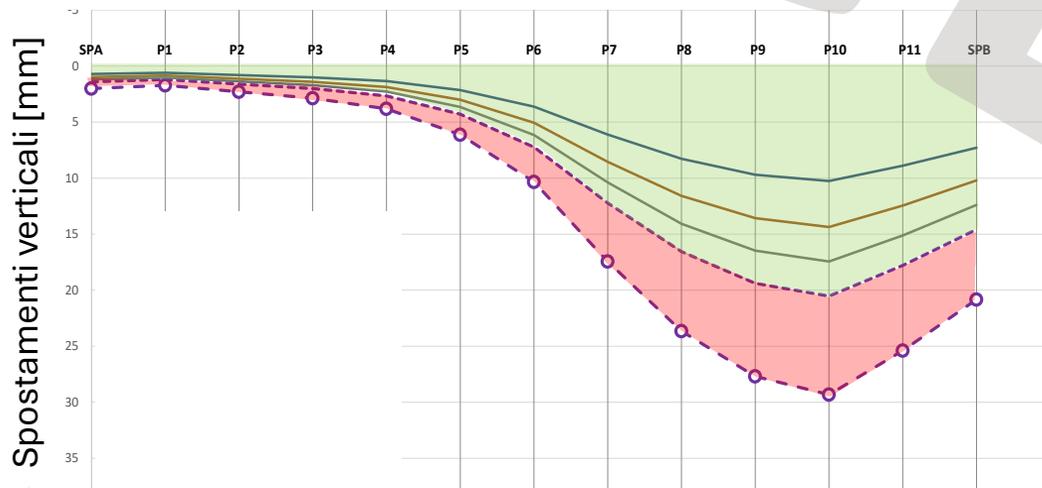
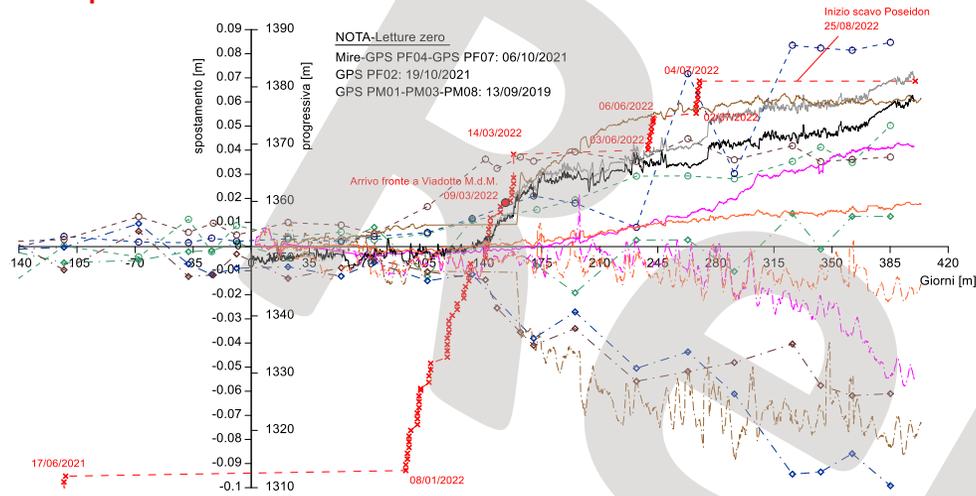
- In questo caso la ricostruzione del movimento franoso e della sua geometria è essenziale per descrivere il tipo di interazione.

- Anche la **posizione del viadotto** rispetto al **movimento franoso** è di primaria importanza, perché governa la risposta strutturale del viadotto.

Posizione relativa fra frana e viadotto



INTERFERENZE DIRETTE



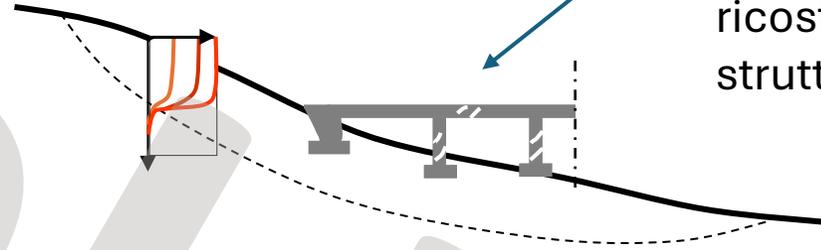
- Gli spostamenti indotti dal movimento franoso, che si accumulano nel tempo, sono sia verticali (cedimenti) che orizzontali. **Gli spostamenti verticali non sono necessariamente i più nocivi per il viadotto.**

- L'evoluzione temporale dei cedimenti/spostamenti dipende dalla dinamica evolutiva del versante e dalla capacità del viadotto di opporsi ad essa.

Velocità della frana

Lento 1.6 m/anno
Molto lento 16 mm/anno
Estremamente lento

Interferenza diretta



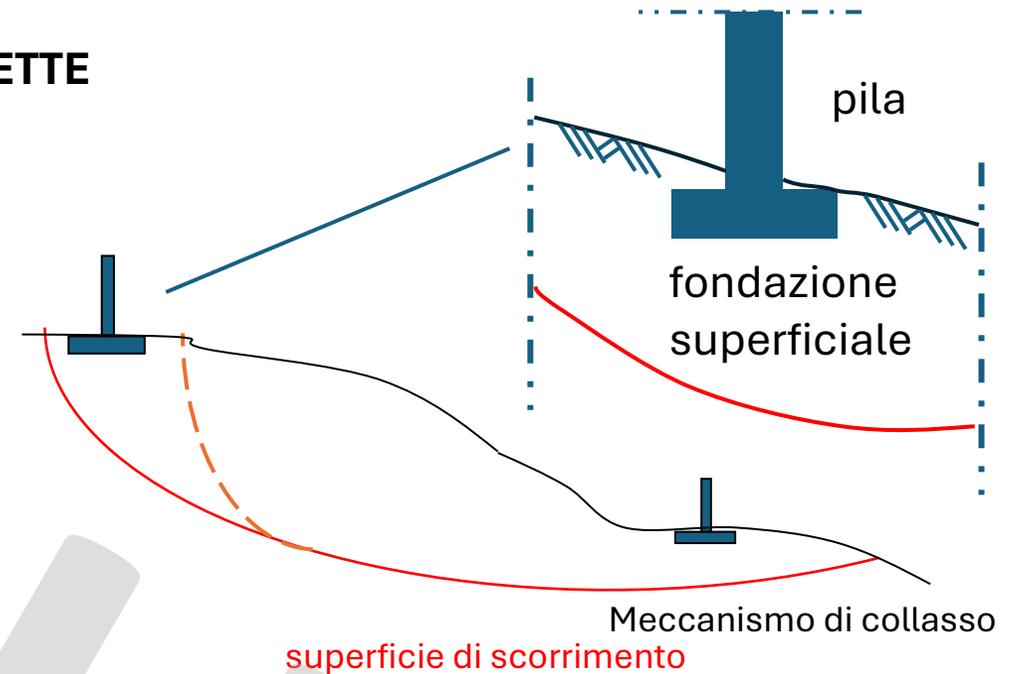
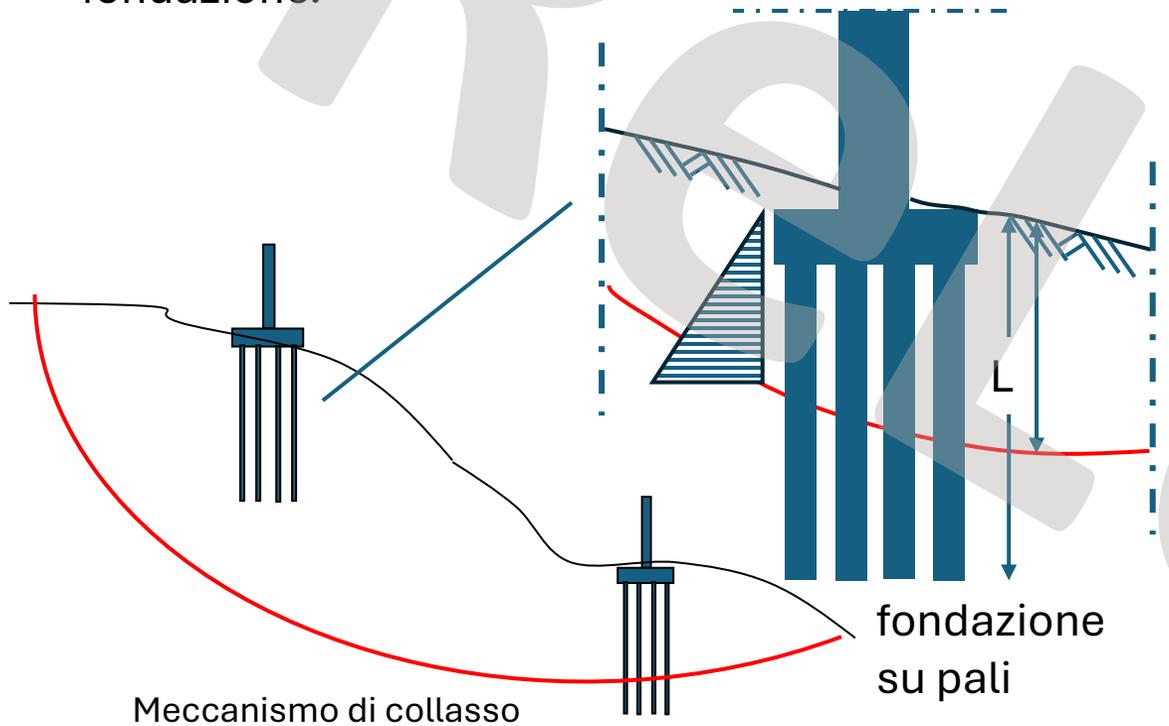
L'interpretazione del quadro fessurativo della struttura in elevazione può permettere di ricostruire la risposta strutturale della fondazione,

Interazione diretta. Induzione di cinematismi rigidi o modifica delle tensioni di interazione fra **fondazioni** e/o spalle e **terreno limitrofo**: meccanismi determinati da superfici di scorrimento sottopassanti o che intersecano la fondazione. **Frane di argilla caratterizzate da velocità da lenta a moderata.**

A parità di azione trasmessa dal corpo di frana, la fondazione, in ragione delle sua tipologia e delle sue dimensioni, ha la capacità di contrastare l'azione e di rispondere con spostamenti e rotazioni tanto minori quanto più la fondazione è robusta.

INTERFERENZE DIRETTE

- Nella definizione dell'interazione di fondamentale importanza è la tipologia (o le tipologie) di fondazione.



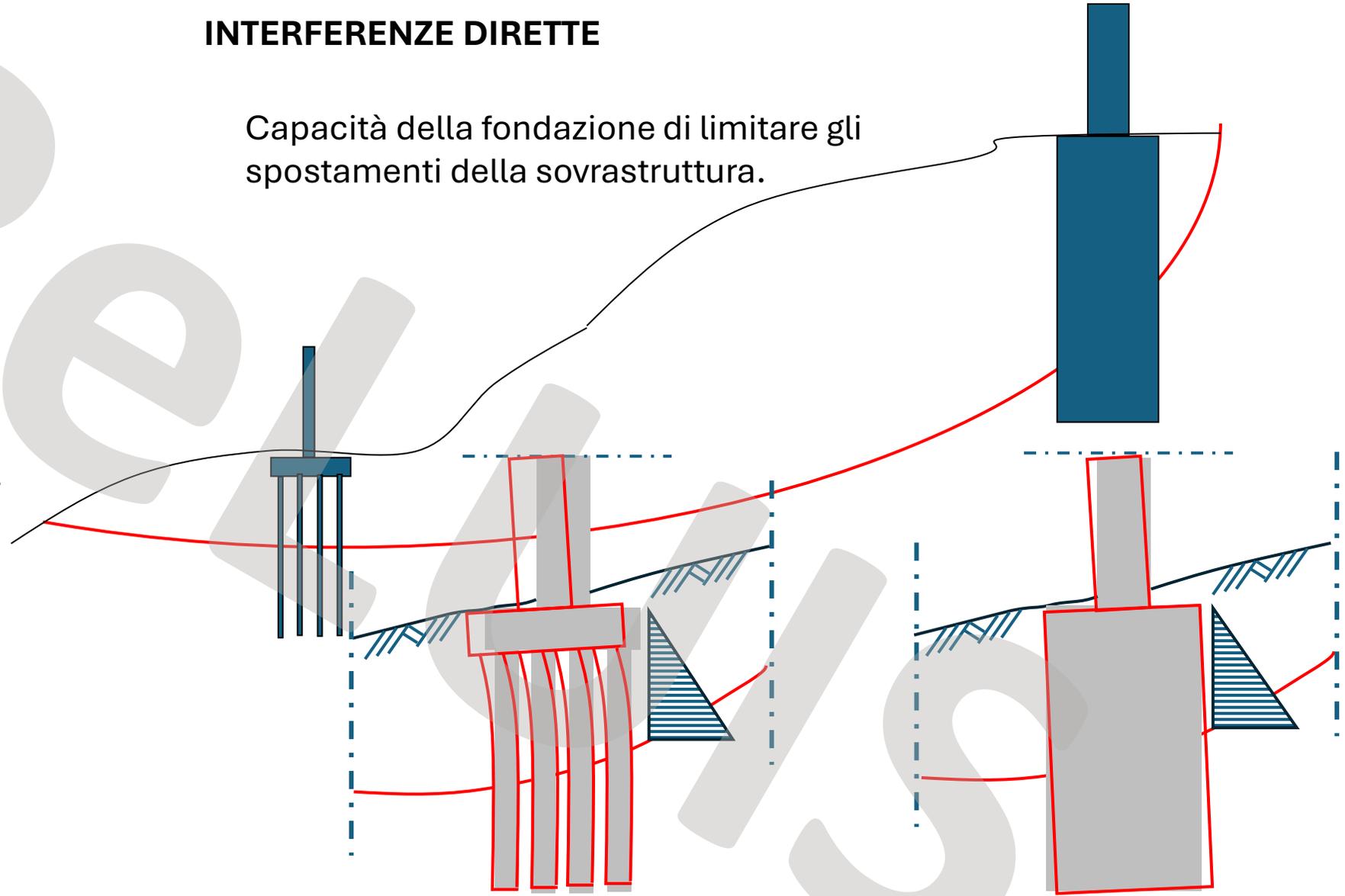
- Nel caso di **fondazioni superficiali** gli spostamenti locali del movimento franoso sono trasmessi direttamente alla struttura in elevazione.
- Nel caso di **fondazioni profonde** ciò dipende dalla geometria della fondazione e dalla posizione relativa della fondazione rispetto al corpo di frana.

INTERFERENZE DIRETTE

Capacità della fondazione di limitare gli spostamenti della sovrastruttura.

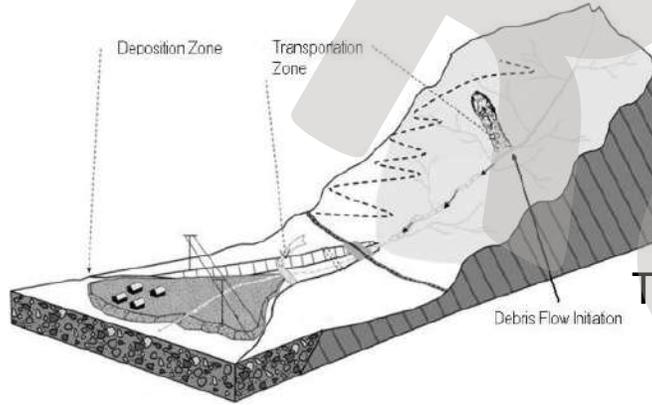
- Nel caso di fondazioni profonde diventa essenziale considerare l'interazione cinematica fra fondazione e terreno circostante:

spostamenti progressivi del terreno si traducono in carichi aggiuntivi per la struttura di fondazione.



INTERFERENZE INDIRETTE

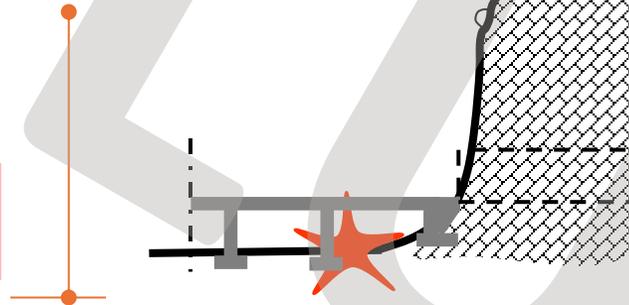
La massa in frana interferisce prevalentemente con la struttura in elevazione: **impalcato, pile e spalle**. In genere le fondazioni risentono solo in modo indiretto dell'interazione.



Tipo di movimento

Estremamente rapido
5 m/s

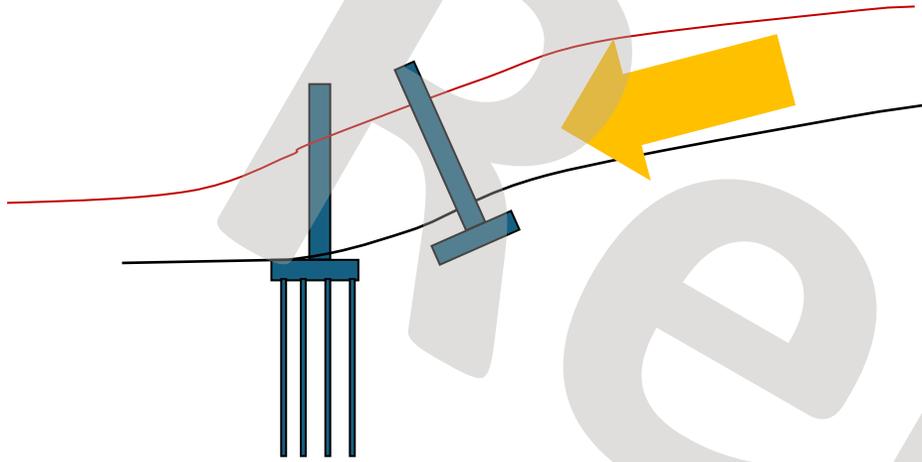
Molto rapido
3 m/min



Interferenza indiretta

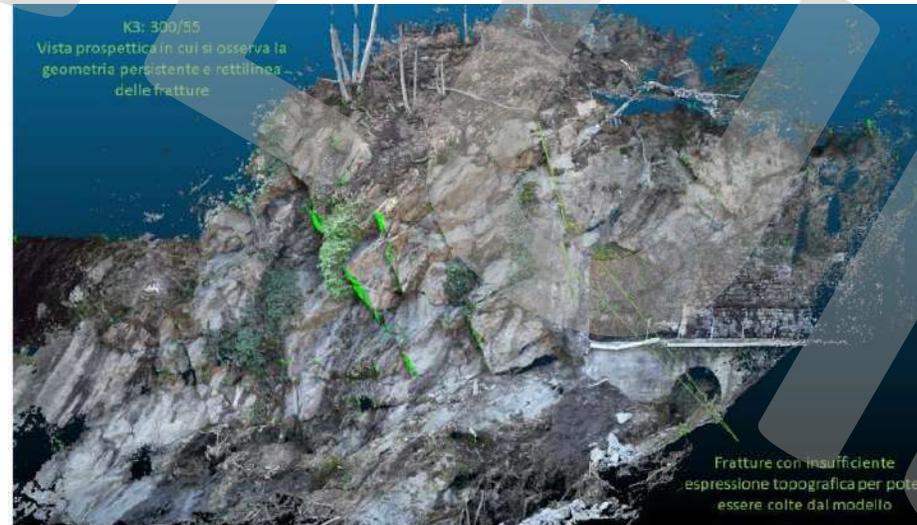


INTERFERENZE INDIRETTE



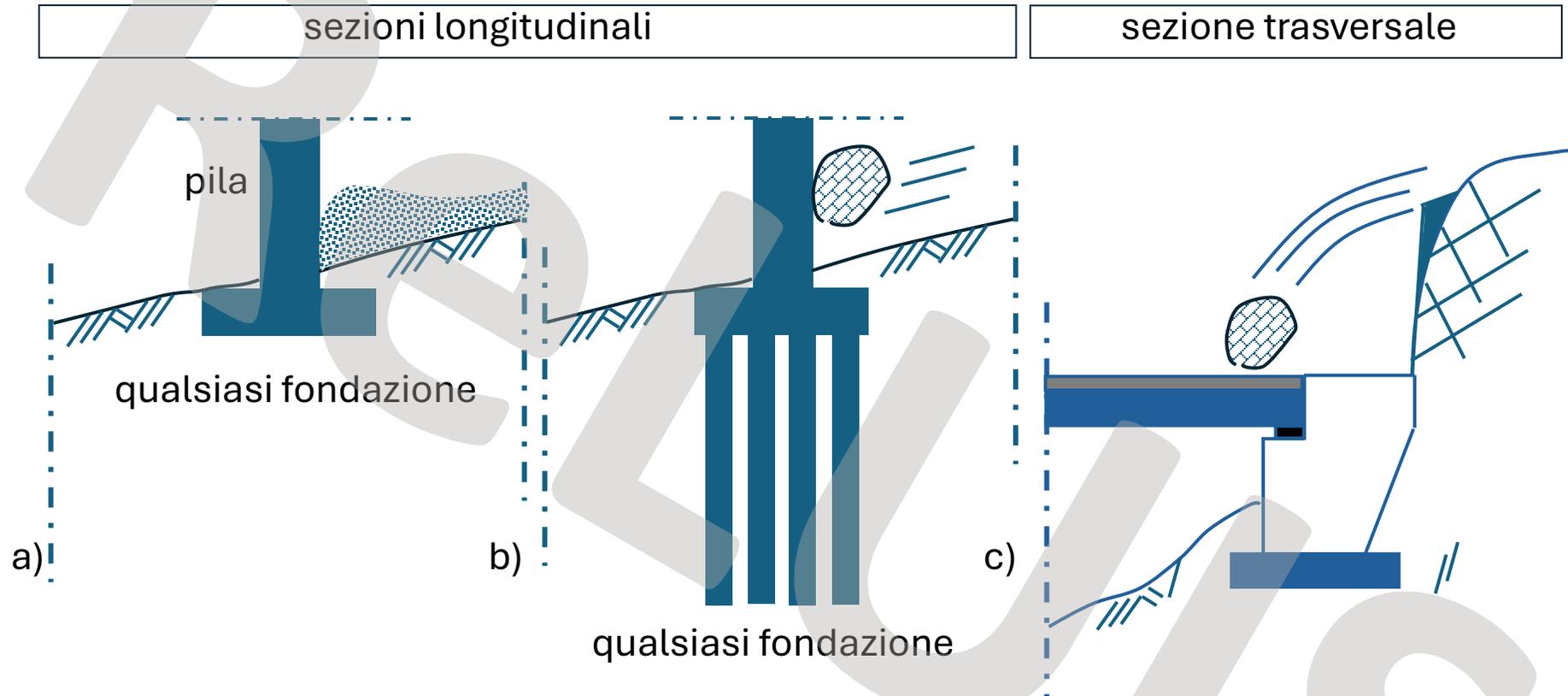
L'interazione è di natura prevalentemente **dinamica/impulsiva**.

L'interazione è molto differente a seconda che si tratti di colate o blocchi di roccia.



Fondamentale è valutare le **forze di impatto** trasmesse dalla massa in frana al viadotto.

INTERFERENZE INDIRETTE



Ente che sollecita la struttura: **forza impulsiva di impatto.**

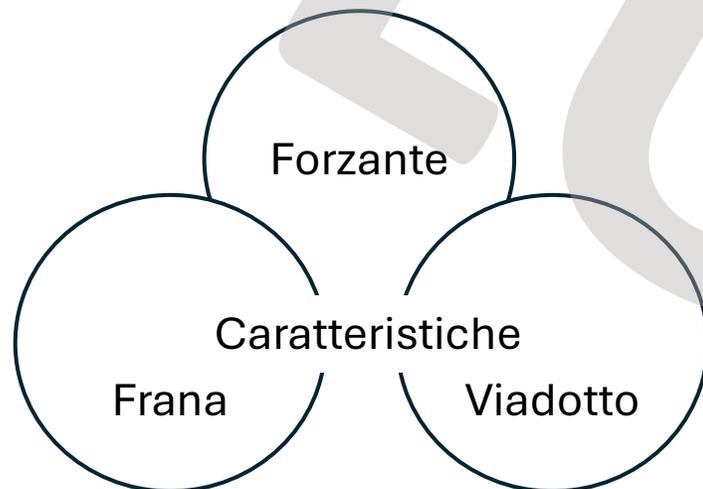
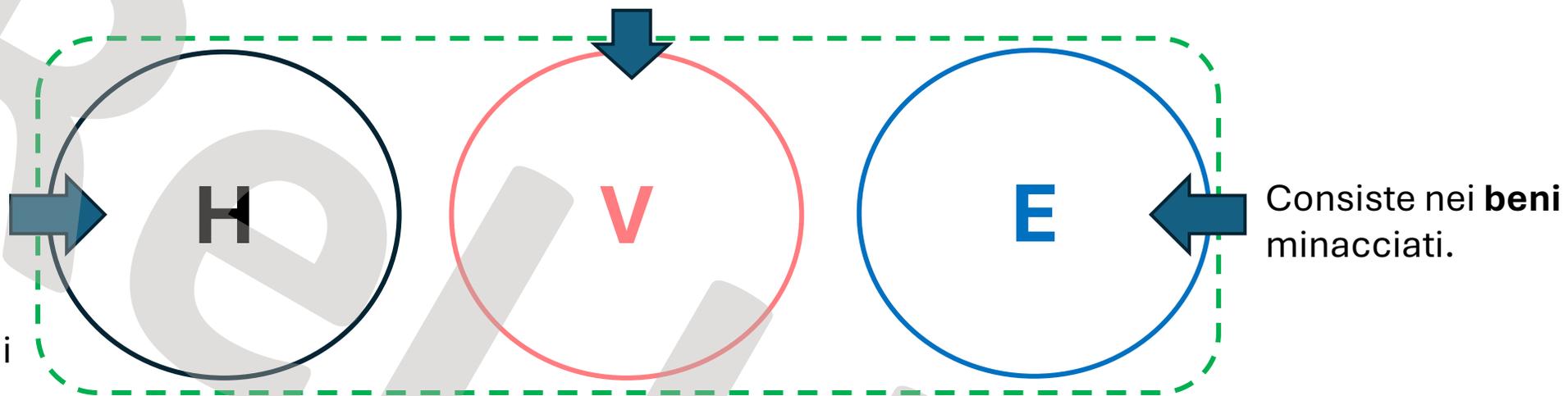
Carattere: **evoluzione repentina** non percepibile con il monitoraggio; impossibili, in genere, misure di salvaguardia.

Vulnerabilità. Dipende dalle caratteristiche strutturali dell'**opera** e deve essere specializzata in dipendenza del tipo di **interferenza**.

Pericolosità. Dipende dalle caratteristiche della **frana**:

- volume della frana (magnitudo),
- velocità di spostamento (*),
- spessore del corpo di frana o altra dimensione caratteristica (*).

(*) Nell'area del viadotto.



Pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sono tradizionalmente considerate componenti del rischio indipendenti fra loro.

La **forzante**, cioè l'azione che la frana trasmette al viadotto, dipende dalle caratteristiche della frana e del viadotto.

Tipo di movimento

Fast landslides

Estremamente rapido 5 m/s
Molto rapido 3 m/min
Rapido 1.8 m/h

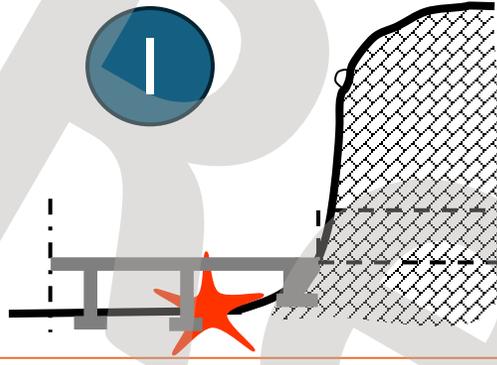
Perdita vite umane

Creeping landslides

Moderato 13 m/mese
Lento 1.6 m/anno
Molto lento 16 mm/anno
Estremamente lento

Danni a beni immobili

Interferenza indiretta

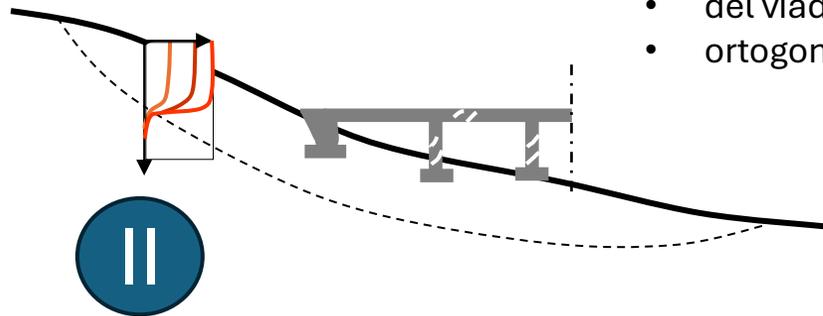


Interferenza con:

- le strutture verticali,
- l'impalcato.

In questo intervallo di velocità le frane hanno caratteristiche intermedie fra i meccanismi I e II.

Interferenza diretta



Interferenza con le fondazioni e le spalle, nella direzione:

- del viadotto,
- ortogonale al viadotto.

Le frane molto rapide ed estremamente rapide sono dotate di ampia capacità di propagazione sul versante (I).

Sono minacciati i manufatti fondati sul corpo di frana, ma anche quelli nella zona pedemontana.

Le frane lente e molto lente sono dotate di modesta capacità di propagazione (II).

Sono minacciati i soli manufatti fondati sul corpo di frana.

CLASSE DI ATTENZIONE

$$CdA = f(P, I, V, E)$$

P PERICOLOSITA'/SUSCETTIBILITA' relativa al movimento franoso

I = severità spazio - temporale dell'interazione (intensità della forzante in termini di carichi o spostamenti)

Il prodotto $P \times I$ permette teoricamente di valutare quanto quel determinato movimento franoso è pericoloso per quel determinato viadotto

V VULNERABILITA' del viadotto

f (Vulnerabilità strutturale dell'opera)

E Esposizione della rete al collasso del viadotto

PERICOLOSITÀ/SUSCETTIBILITÀ P

Per valutare speditivamente P è necessario tener conto sia dei **movimenti di versante attivi o quiescenti**, sia di quelli **potenziali**, dei quali non sono riscontrabili evidenze di esistenza sul territorio.

Per questo motivo è ragionevole sia considerare una pericolosità su **scala territoriale** che una su **scala locale**.

La prima sarà funzione di informazioni generali quali ad esempio:

1. La presenza di movimenti di versante censiti all'interno del territorio in oggetto
2. La classe sismica del territorio
3. La presenza di opere di mitigazione del rischio frana (tipologia e movimento interessato)

Per ciò che concerne la **suscettibilità** valutata su **scala locale**, sarà necessario chiedersi:

Se esistono movimenti di versante censiti che interferiscano direttamente con il viadotto (*).

Se esiste un movimento di versante non censito che interferisce direttamente con il viadotto (*).

Comprendere se il movimento di versante è attivo o no (fondamentale a tal riguardo ad esempio è capire se sono evidenti **criticità strutturali sulle membrature del viadotto** probabilmente causate da spostamenti differenziali a livello delle fondazioni).

(*) Frane in avanzamento o retrogressione

Importante sarà distinguere fra interazioni dirette ed indirette. Nel caso di potenziali **interazioni indirette** sarà necessario chiedersi, ad esempio, se sono presenti, in prossimità del viadotto, pareti in roccia intensamente fratturate o se il viadotto attraversa un impluvi potenzialmente interessati da frane rapide.

Raccolta dati: caratteristiche dell'interazione

Sarà necessario innanzitutto definire

- se l'interferenza attesa sia **singola** o **multipla**,
- se si tratta di interferenza diretta o indiretta,
- nel caso di interferenza indiretta se la frana è costituita da materiale sciolto o lapideo,
- quali sono gli elementi strutturali interferenti,
- se la frana interagirà longitudinalmente, trasversalmente o obliquamente rispetto all'asse che caratterizza lo sviluppo longitudinale del viadotto.

Raccolta dati: caratteristiche del sistema fondazionale

Sarà innanzitutto necessario conoscere la natura delle fondazioni, se profonde, superficiali o miste (ad esempio profonde le fondazioni delle pile e superficiali quelle delle spalle). Nel caso di fondazioni profonde se si tratta di palificate o fondazioni a cassone/pozzo.

La severità dell'interferenza fra frana e viadotto può essere assunta dipendente sia dalla descrizione spaziale dell'interferenza, qui di seguito definita **severità spaziale dell'interferenza**, che dai **tempi di accadimento** dell'interferenza stessa.

Essenziale, per la valutazione della severità dell'interazione, è ricostruire:

- nel caso di interferenza diretta, la geometria del **cinematismo di rottura** (il modello geotecnico del versante) e la sua evoluzione,
- mentre, nel caso di interferenza indiretta, zona di innesco e **propagazione**.

Naturalmente, in entrambi i casi, **l'evoluzione temporale** prevista è di grande importanza (**severità temporale**), in quanto le conseguenze attese in termini di danni al viadotto possono essere molto differenti. Per questo motivo, anche le strategie di mitigazione, a seconda dell'evoluzione temporale attesa, possono essere molto differenti.

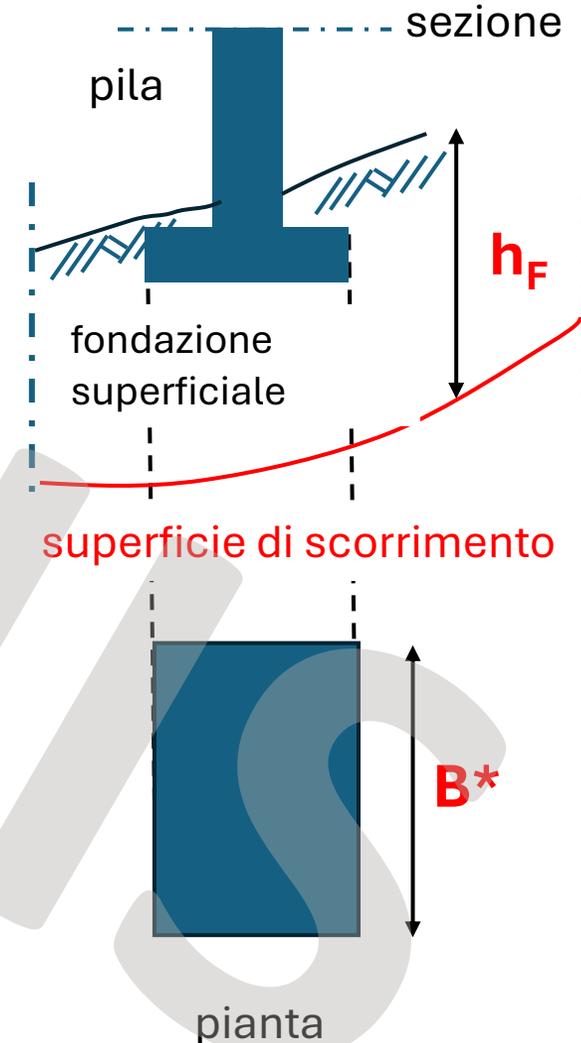
La **severità «spaziale»** dell'interazione può essere valutata in modo speditivo, a seconda che si tratti di interferenza diretta o indiretta, nel modo seguente;

Interferenza diretta – Fondazioni superficiali

In questo caso il parametro geometrico che governa spazialmente l'interazione è:

$$h_f / B^*$$

ove con B^* si indica la larghezza caratteristica della fondazione superficiale in oggetto, mentre con h_f lo spessore locale del movimento atteso. Naturalmente, quando questo rapporto è molto piccolo la severità spaziale dell'interazione è trascurabile.



Interferenza diretta – Fondazioni profonde

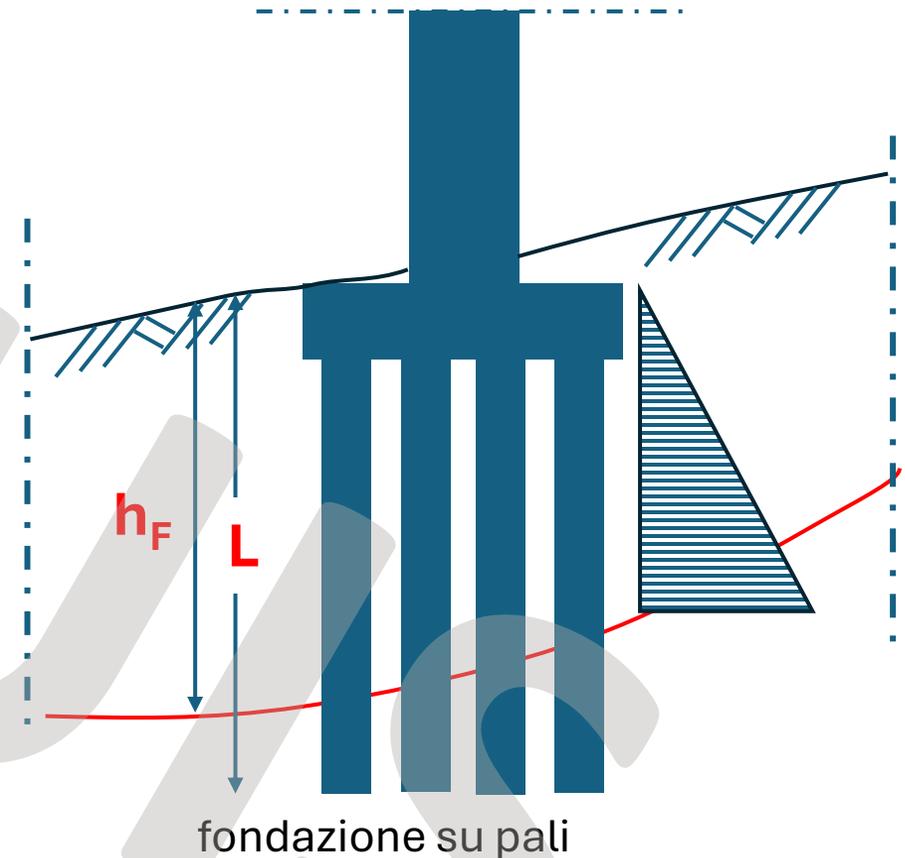
In questo caso la severità geometrica dell'interazione potrà essere speditivamente stimata in funzione del rapporto:

$$h_f / L$$

ove con L si è indicata la lunghezza dei pali o del pozzo.

Naturalmente a seconda della posizione reciproca fra fondazione e superficie di rottura e del campo di spostamenti registrato, la risposta strutturale potrà essere molto differente.

Per un'analisi di dettaglio possono essere impiegati o approcci sugli spostamenti accoppiati o approcci semplificati basati sul **metodo della sotto-strutturazione (sub-structuring)**.



Interferenza indiretta



In questo caso la severità geometrica dell'interazione sarà funzione principalmente di una dimensione caratteristica del corpo impattante e dell'elemento strutturale sul quale esso impatta. Naturalmente, in questo caso, riveste un ruolo secondario la struttura di fondazione.

Materiale lapideo (blocchi in roccia)

In prima approssimazione, in questo caso il rapporto geometrico che fornisce una misura della severità dell'interazione è

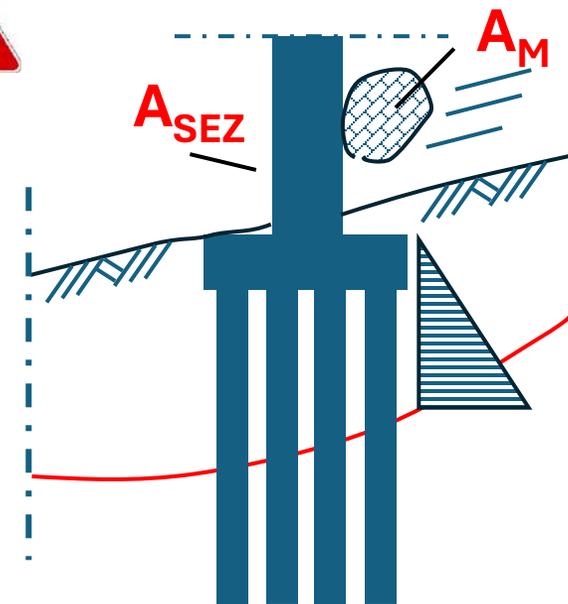
$$A_m / A_{sez}$$

ove A_m rappresenta l'area della sezione rappresentativa del blocco impattante, mentre A_{sez} la sezione trasversale dell'elemento sul quale il blocco impatta (sia esso l'impalcato o la pila).

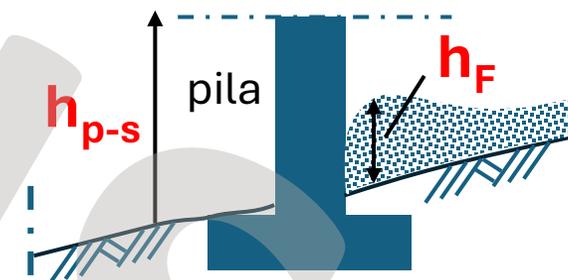
Materiale sciolto (colata detritica)

In questo caso il rapporto di interesse sarà: $h_f / h_{p/s}$

ove con h_f si è indicato lo spessore atteso della colata e con $h_{p/s}$ l'altezza della pila o della spalla.



qualsiasi fondazione



qualsiasi fondazione

A

La **severità «temporale»** dell'interferenza sarà invece funzione unicamente della velocità di evoluzione attesa del movimento franoso. Essa generalmente crescerà monotonamente con essa.

- Ad esempio, nel caso di interferenze indirette, al crescere della velocità della frana, trattandosi di un'interazione dinamica, crescerà l'intensità della forza di impatto e quindi l'intensità della forzante.
- Nel caso di interferenza diretta, la velocità di accumulo degli spostamenti causa un incremento dell'intensità della forzante per un fissato intervallo temporale (ad esempio correlato alla vita utile dell'opera).

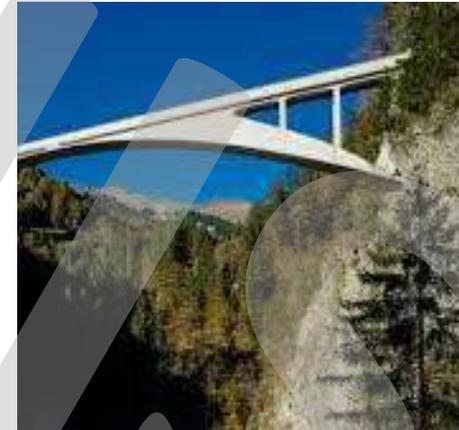


V VULNERABILITÀ DEL VIADOTTO

Infine, per ciò che concerne le variabili da prendere in considerazione per caratterizzare speditivamente la vulnerabilità della struttura in elevazione, non si potrà non considerare ad esempio:

- i **materiali** (muratura, calcestruzzo armato, calcestruzzo armato precompresso, acciaio)
- il numero di campate,
- la tipologia di **schema strutturale** (isostatico, iperstatico).

Il ruolo dei vari fattori si modifica naturalmente a seconda che si tratti di interazione diretta o indiretta.



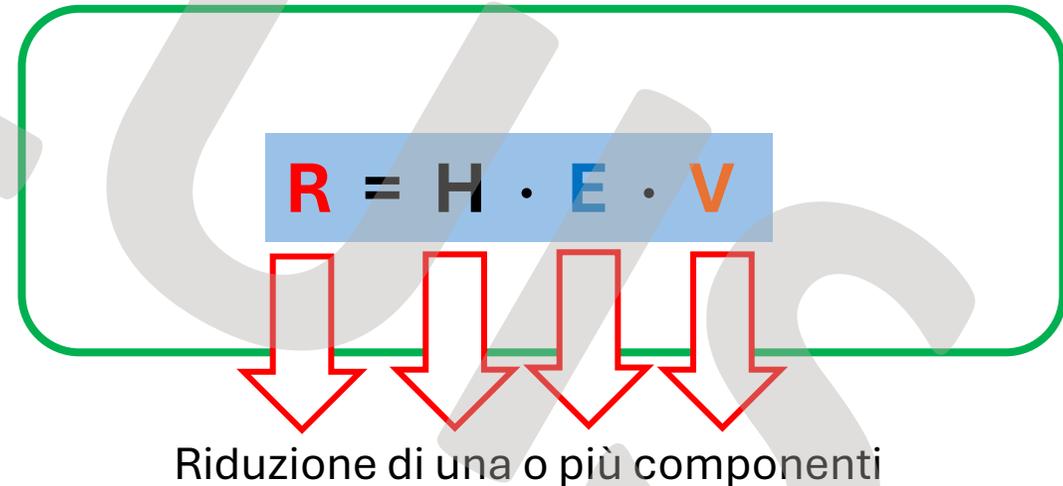
RIDUZIONE DEL RISCHIO

Nella gestione del rischio è possibile:

- ridurre H,
- ridurre E, in questo caso sono utili le misure di **salvaguardia della vita umana e dei beni mobili** esposti,
- ridurre V, in questo caso si incrementa la resistenza o la duttilità (**resilienza**) dell'opera; si può parlare di interventi di **rinforzo strutturale dell'opera**.

A seconda dei casi, è più conveniente operare sulla vulnerabilità, in altri sulla suscettibilità, in altri ancora sull'esposizione.

Una variabile dominante è il volume della massa in movimento: nel caso di grandi volumi si preferisce agire su vulnerabilità o esposizione.





Piano di formazione (ex art. 4 D.M. 204/2022)

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Il rischio frane



Linee Guida per la Classificazione e la Gestione del Rischio, la
Valutazione della Sicurezza e il Monitoraggio dei Ponti Esistenti

Contenuti

Generalità

La procedura di valutazione della Classe di Attenzione dei ponti prevista dalle *Linee Guida per la classificazione e la gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti*: **approccio multilivello**.

Relazione fra i livelli di valutazione (flussi logici).

Azioni conseguenti alla definizione della classe di attenzione.

Focus

La classe di attenzione associata al rischio frane (come per rischio strutturale-fondazionale; sismico, idraulico).

Valutazione separata di **pericolosità**, **vulnerabilità** ed **esposizione** e combinazione dei fattori per la definizione della classe di attenzione associata al rischio frane.

Le *Linee Guida* prevedono 6 livelli di valutazione concatenati caratterizzati da livelli di approfondimento crescente.

Specializzazione per il rischio frane.



APPROCCIO MULTILIVELLO DELLE LINEE GUIDA

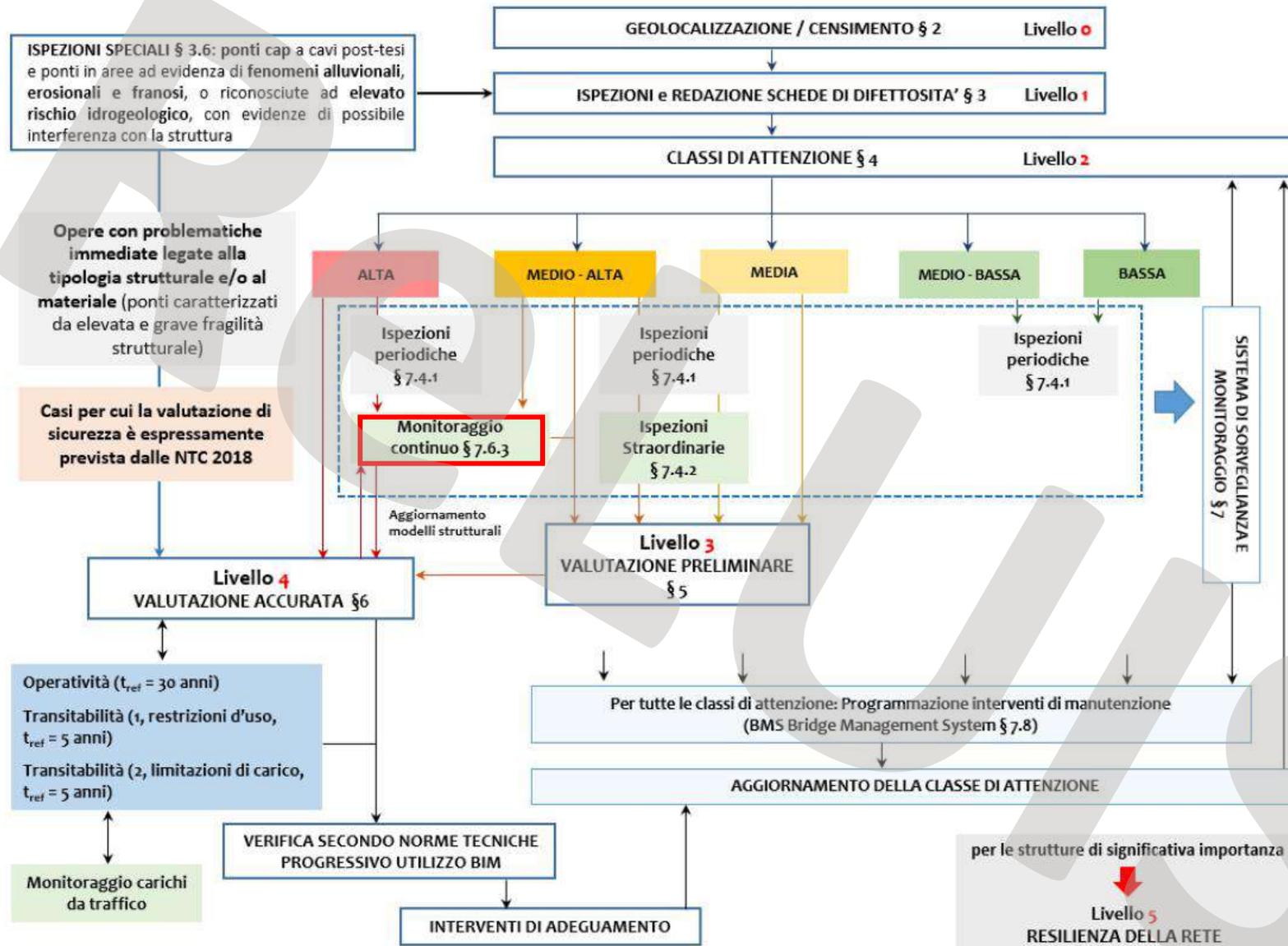
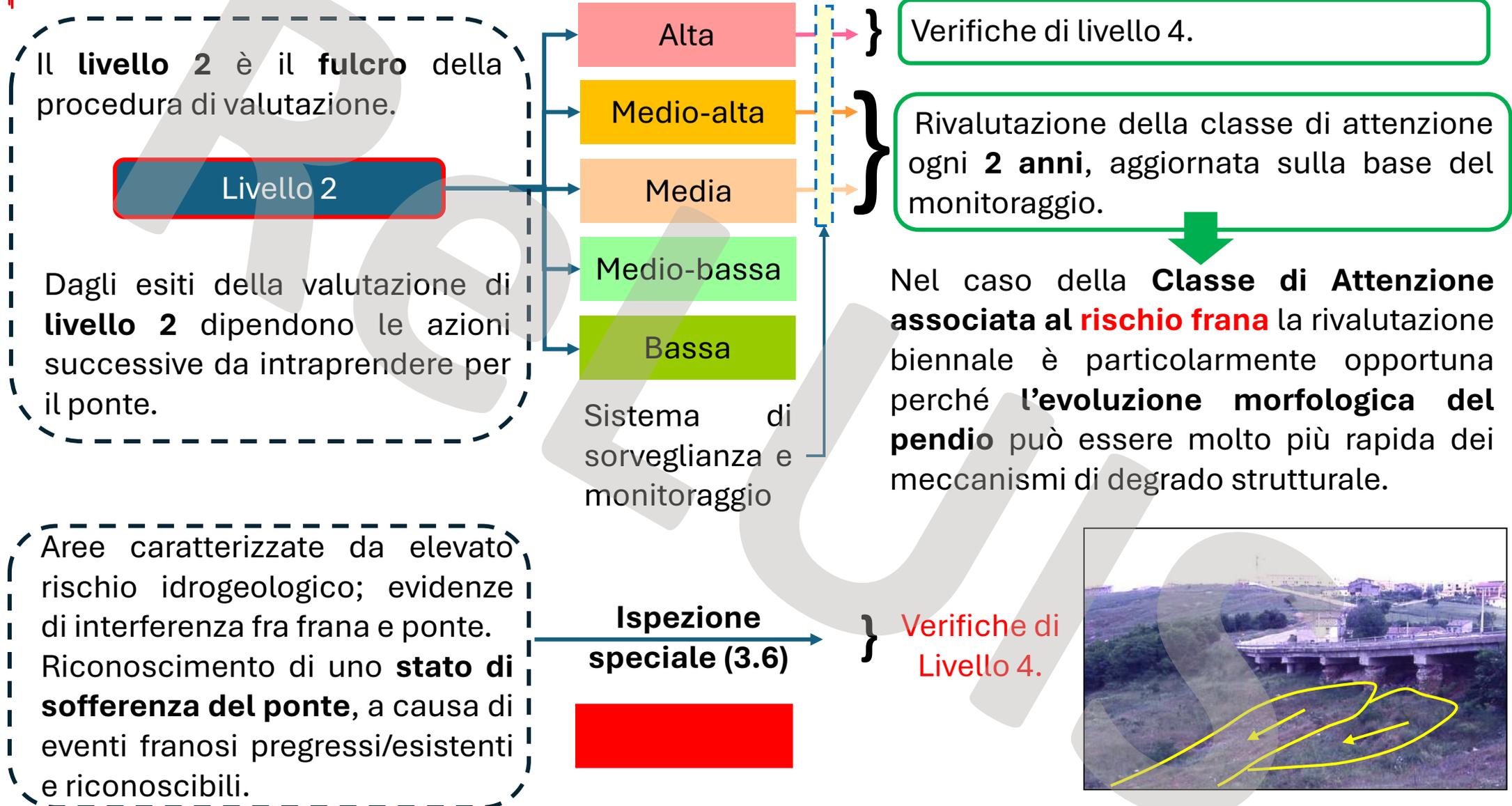


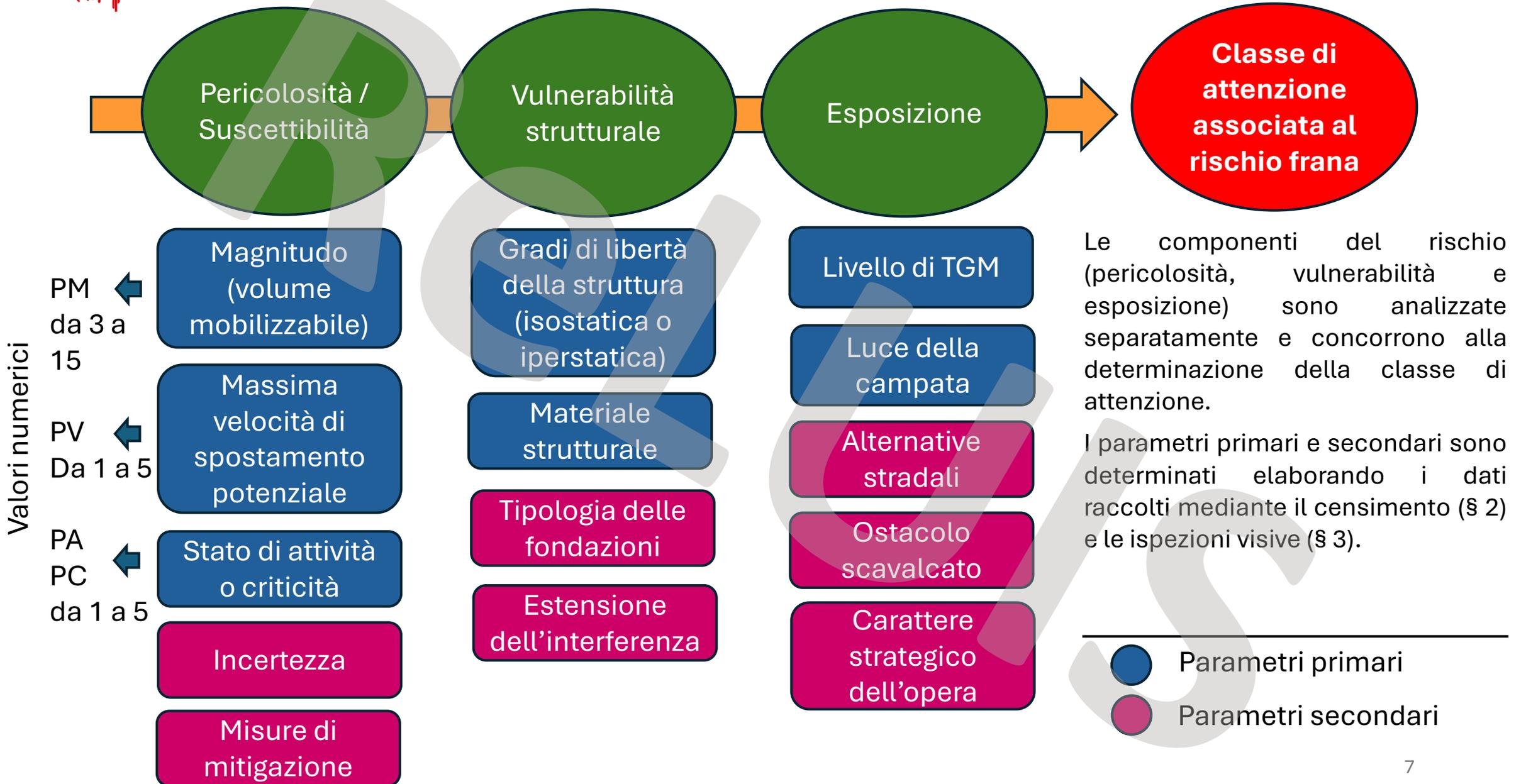
Fig.1.1
Approccio multilivello
e relazione tra livelli
di analisi



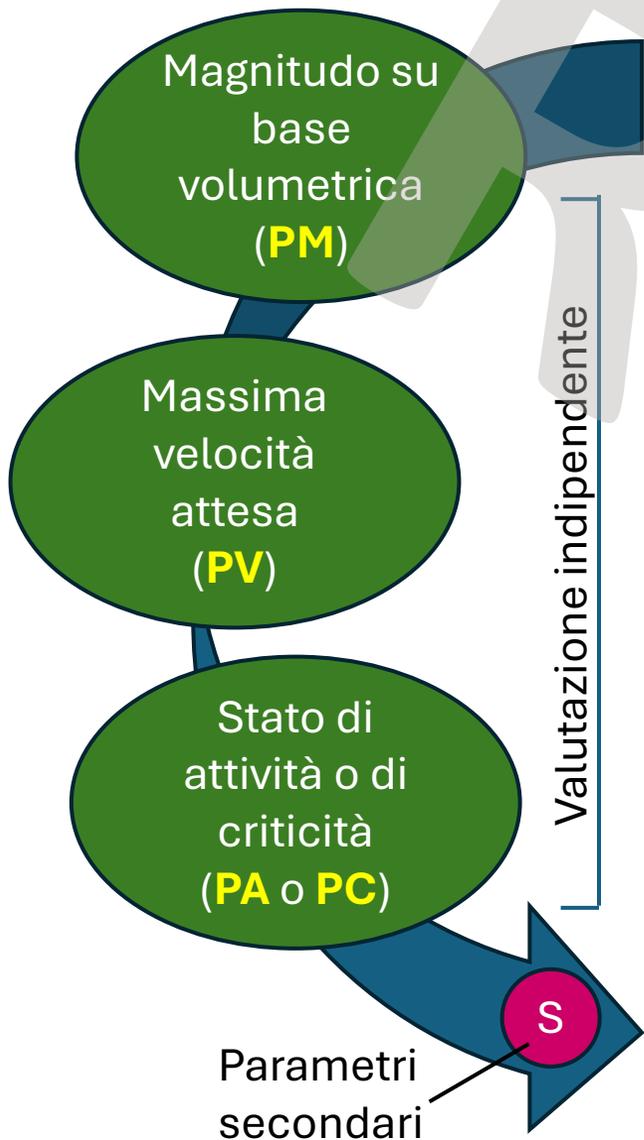
Relazioni fra i livelli della procedura



Classe di Attenzione associata al rischio frana



Suscettibilità di frana



Valutazione indipendente

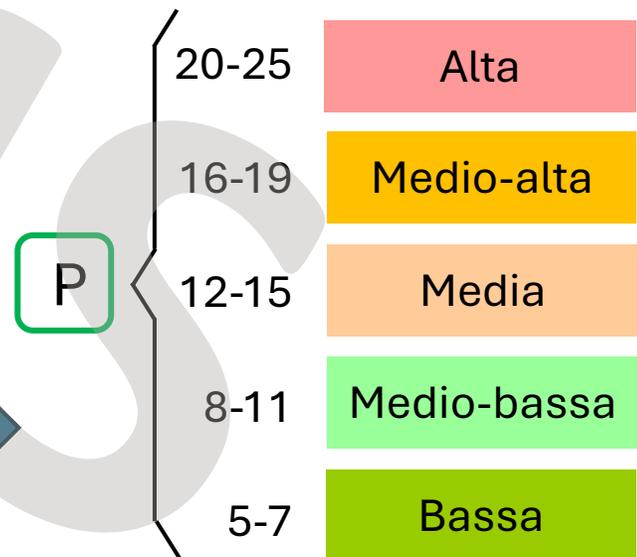
Estremante grande	Grande	Media	Piccola	Molto piccola
PM = 15	12	9	6	3

La procedura prevede cinque intervalli in termini di volume del corpo di frana in cui collocare la stima del caso esaminato.

Estremante rapida	Rapida	Moderata	Lenta	Molto lenta
PV = 5	4	3	2	1

La procedura prevede cinque intervalli in termini di massima velocità potenziale.

Attiva	Inattiva	Stabilizzata
PA = 5	3	1

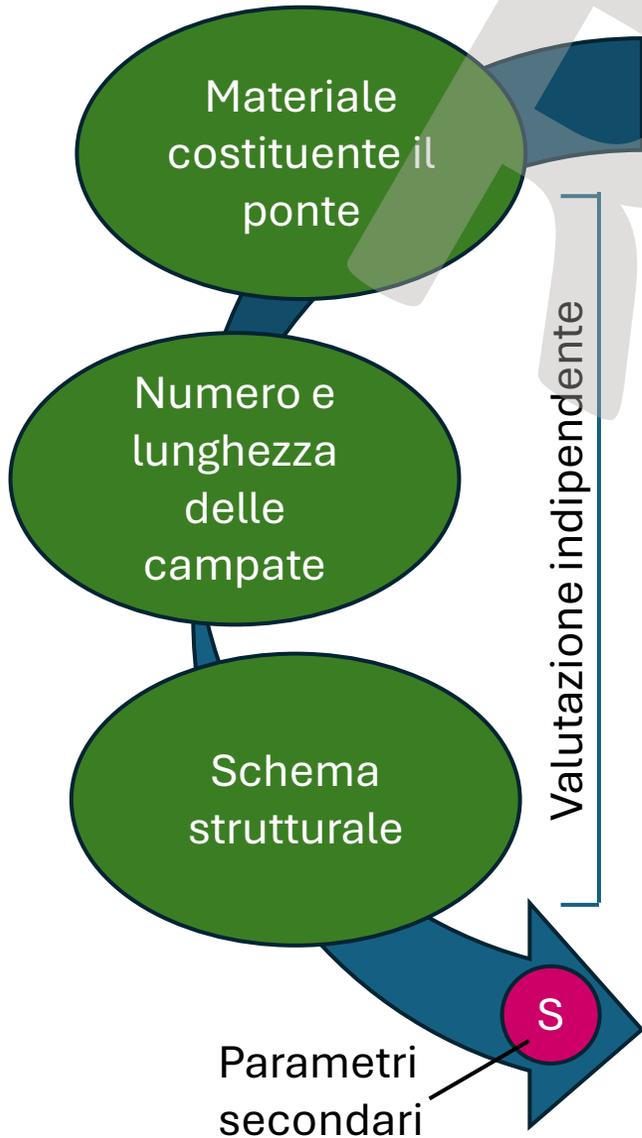


$$P = PM + PV + PA$$

S { Incertezza
Misure di mitigazione

Classe di Attenzione associata al rischio frana

Vulnerabilità strutturale e fondazionale



Calcestruzzo armato	Calcestruzzo armato precompresso	Muratura	Acciaio
---------------------	----------------------------------	----------	---------

La vulnerabilità è valutata sulla base della tipologia e della robustezza strutturale del ponte in maniera analoga alla CdA sismica.

Singola campata	Multi-campata	Campata medio-piccola (≤ 20 m)	Campata lunga (> 20 m)
-----------------	---------------	--------------------------------------	---------------------------

Lo schema a singola campata è considerato più favorevole.

Classe di vulnerabilità

Alta
Medio-alta
Media
Medio-bassa
Bassa

Isostatico	Iperstatico
------------	-------------

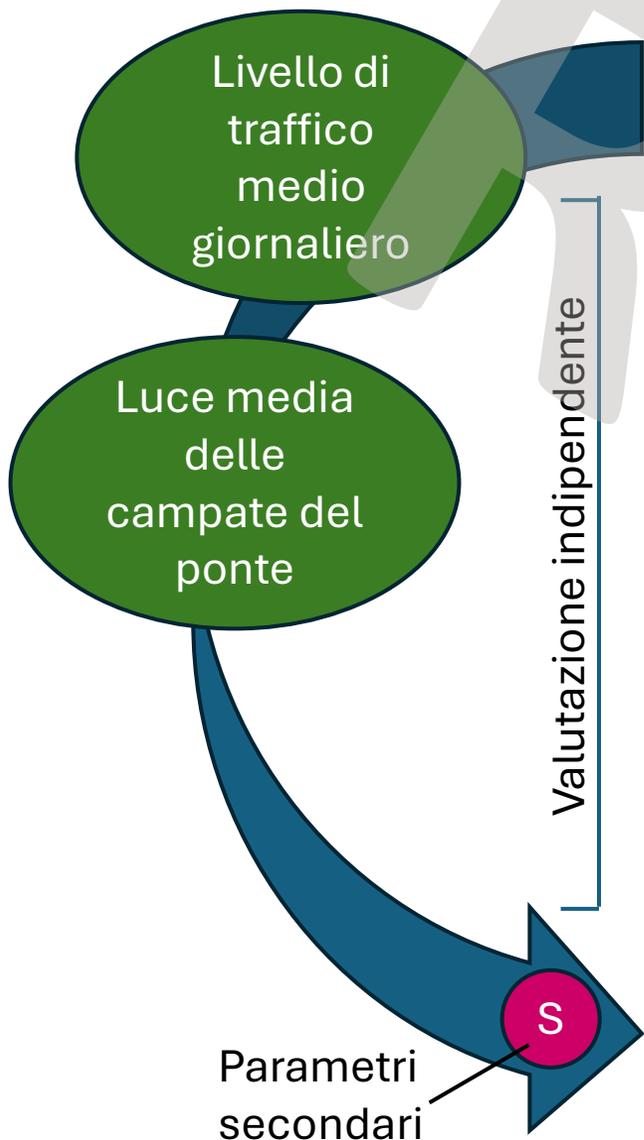
Lo schema iperstatico è considerato più favorevole.



{ Tipologia delle fondazioni.
{ Estensione dell'interferenza.



Esposizione

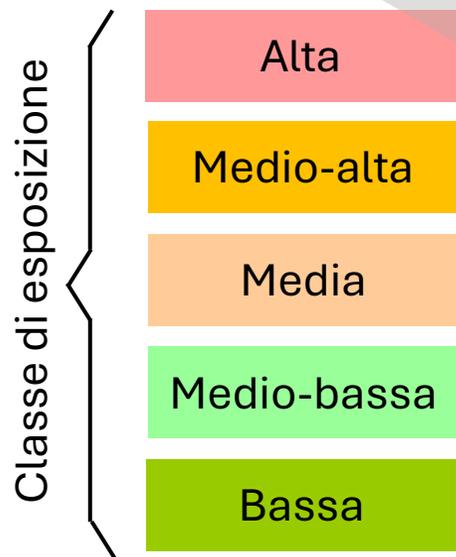


Alto	Medio	Basso
≥ 25000 veicoli / giorno	$10000 < \text{veicoli} / g < 25000$	≤ 10000 veicoli / giorno

L'intensità del traffico giornaliero è considerata la prima componente del livello di esposizione.

Grande luce	Luce media	Luce piccola
$L > 50$ m	$20 < L \leq 50$ m	$L \leq 20$ m

La probabilità di perdita di vite umane è considerata funzione della lunghezza della campata.



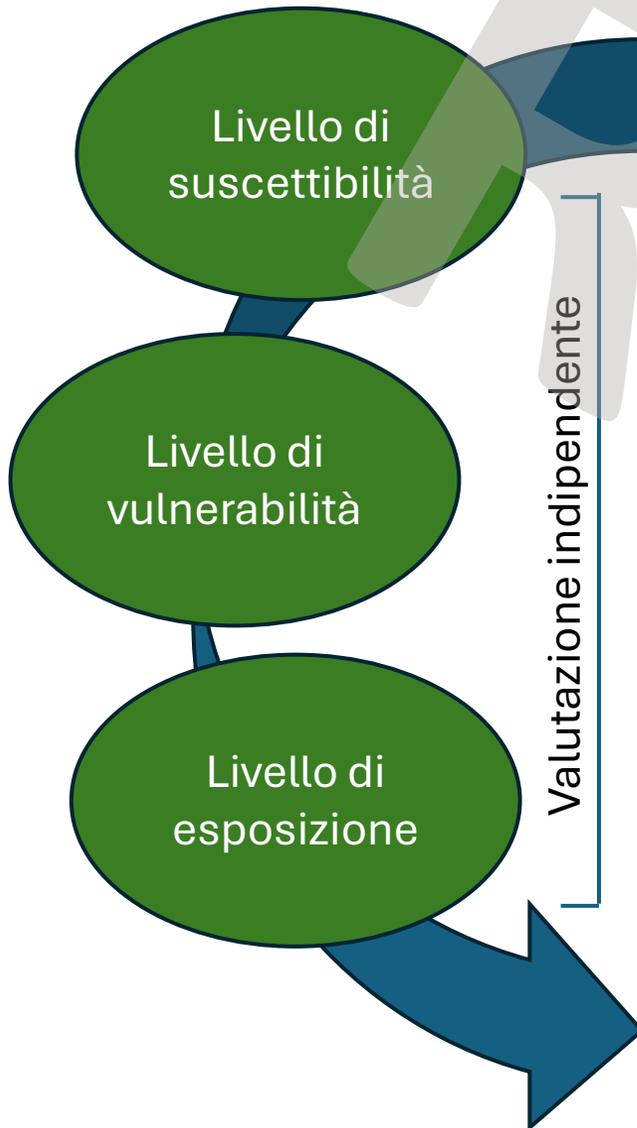
Alternative stradali.

Carattere strategico dell'asse viario.

Carattere strategico dell'ente scavalcato		
Alto	Medio	Basso

Il carattere dell'ente scavalcato tiene conto delle conseguenze economiche e sociali che l'eventuale crollo del ponte avrebbe sull'ente scavalcato.

Classe di Attenzione rischio frana



Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	Bassa
------	------------	-------	-------------	-------

Suscettibilità, vulnerabilità ed esposizione vengono combinate fra loro attraverso il loro livello, mediante opportune tabelle, e forniscono la Classe di Attenzione di ciascuno dei pericoli considerati.

Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	Bassa
------	------------	-------	-------------	-------

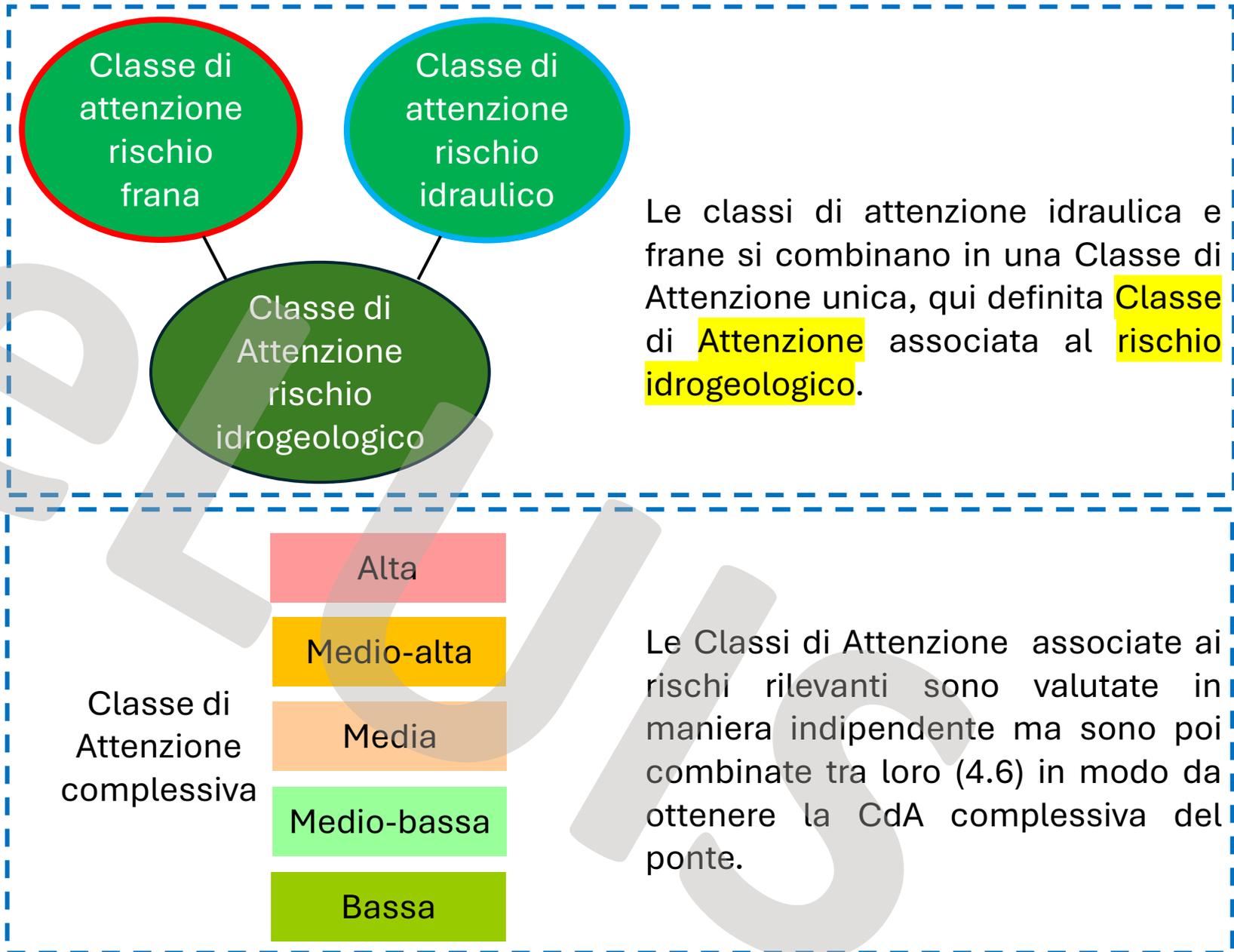
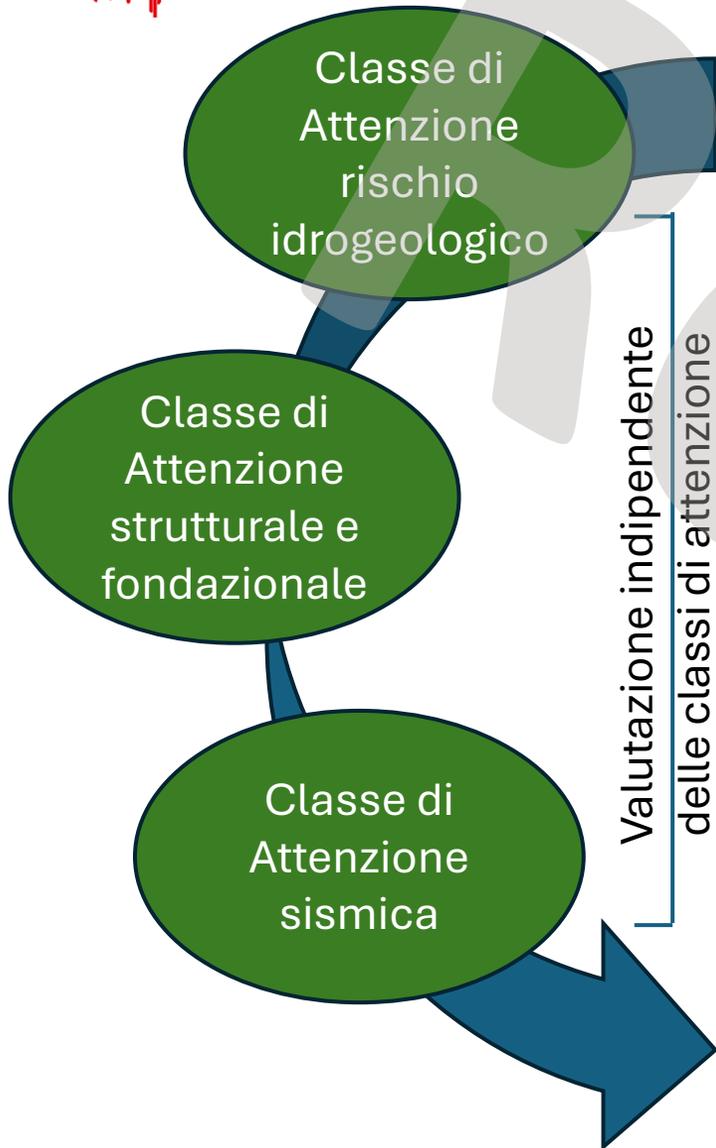
Nella fattispecie viene determinata la Classe di Attenzione associata al rischio frana.

Alta	Medio-alta	Media	Medio-bassa	Bassa
------	------------	-------	-------------	-------



Classe di Attenzione associata al rischio frana

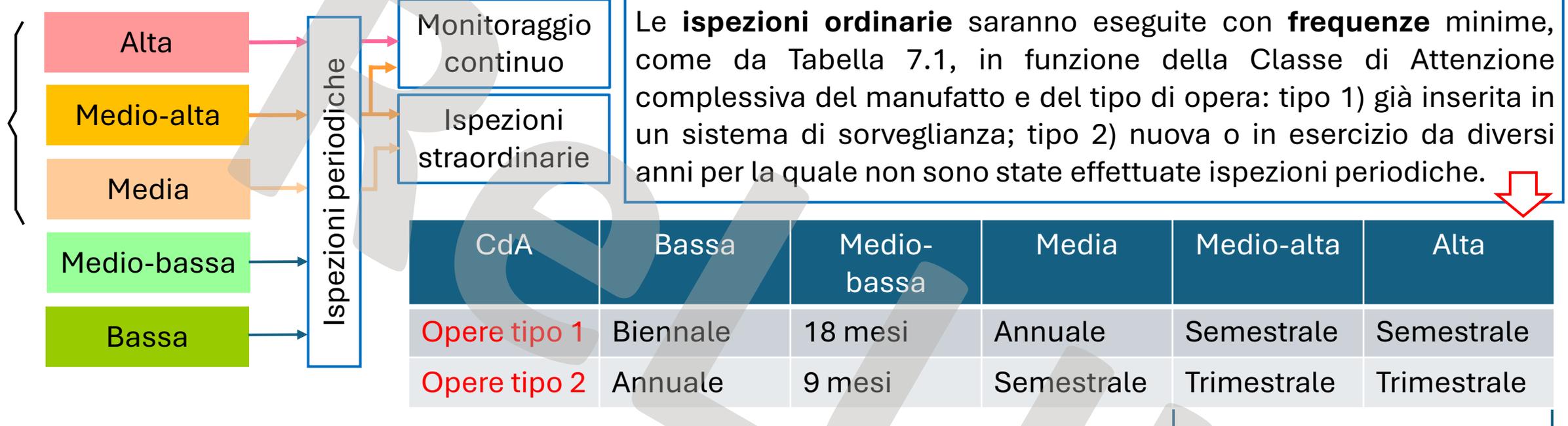
- Alta
- Medio-alta
- Media
- Medio-bassa
- Bassa



Le classi di attenzione idraulica e frane si combinano in una Classe di Attenzione unica, qui definita **Classe di Attenzione** associata al **rischio idrogeologico**.

Le Classi di Attenzione associate ai rischi rilevanti sono valutate in maniera indipendente ma sono poi combinate tra loro (4.6) in modo da ottenere la CdA complessiva del ponte.

Sistema di monitoraggio e sorveglianza

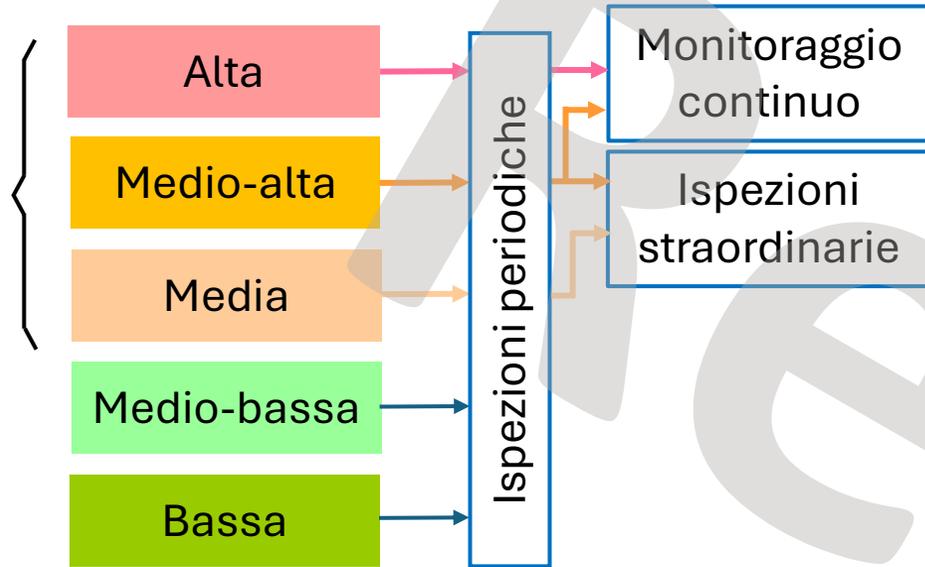


Le **ispezioni speciali** hanno il fine di approfondire un aspetto specifico che presenta particolari criticità, col fine di verificare l'eventuale passaggio diretto alla valutazione approfondita e di dettaglio di **Livello 4**.

Possibile una frequenza diversa sulla base del monitoraggio.

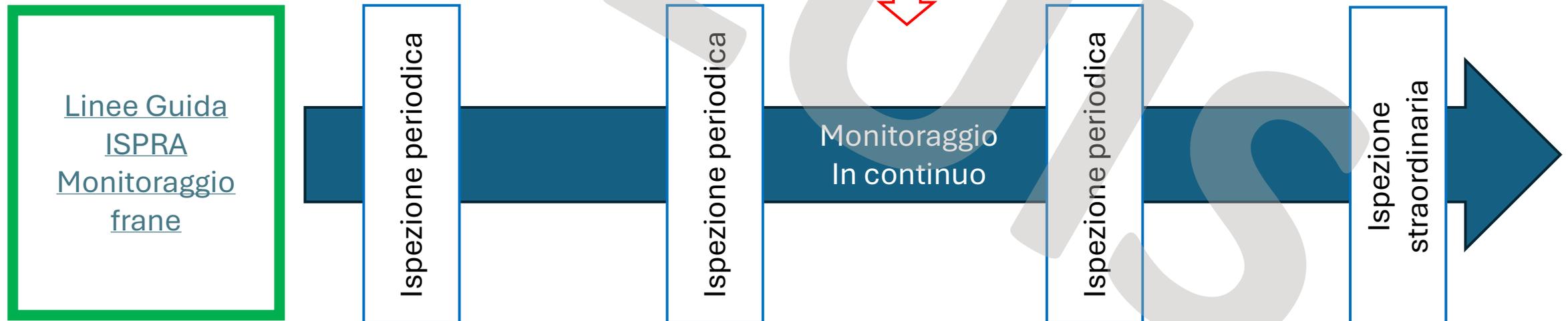
Le **ispezioni straordinarie** hanno lo scopo di acquisire informazioni utili ad **approfondire** la conoscenza dei fenomeni in atto (nella fattispecie **frane**) e della condizione strutturale dell'opera quando a seguito delle ispezioni ordinarie siano state riscontrate criticità evidenti o la manifestazione di un comportamento anomalo. Possono essere corroborate da indagini e prove.

Sistema di monitoraggio e sorveglianza



Il **monitoraggio strumentale** consiste nell'installazione e nella misura per periodi di tempo lunghi o per l'intera vita operativa della struttura di sensori o altra strumentazione in grado di restituire l'evoluzione del fenomeno osservato (nella fattispecie la **frana**) o del manufatto.

I dati del monitoraggio sono di estrema utilità in occasione delle ispezioni periodiche e straordinarie perché restituiscono la **serie storica** dell'evoluzione del fenomeno che può essere utilizzata per calibrare le analisi sul comportamento osservato.



MONITORAGGIO NELLE LINEE GUIDA

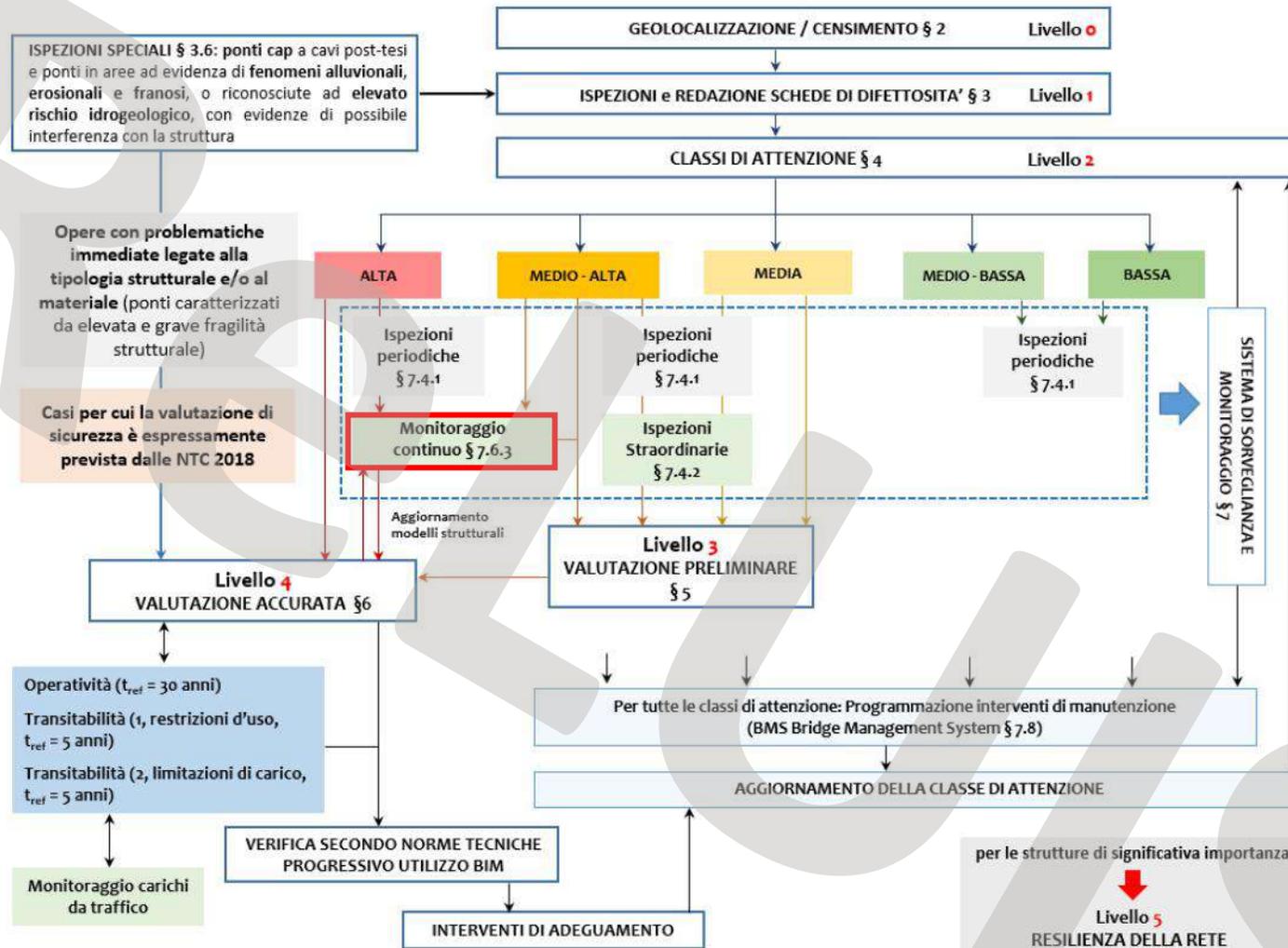


Fig.1.1
Approccio multilivello e
relazione tra livelli di
analisi

Nel **Livello 2**, per i ponti ricadenti in Classe di Attenzione **Alta** e **Medio Alta** è prevista l'installazione di sistemi di monitoraggio periodico o continuo come descritto nel § 7.6.

Misure di mitigazione del rischio

Se i dati del monitoraggio sono **acquisiti in continuo** ed **elaborati in tempo reale** possono alimentare un sistema di **early warning** che consente la chiusura del ponte prima di un possibile dissesto. In questo caso, dato il parametro monitorato, è necessario un periodo di training per la costruzione di algoritmi e modelli predittivi utili a riconoscere anomalie comportamentali dovuti all'evoluzione del fenomeno osservato.

$$R = P \times V \times E$$

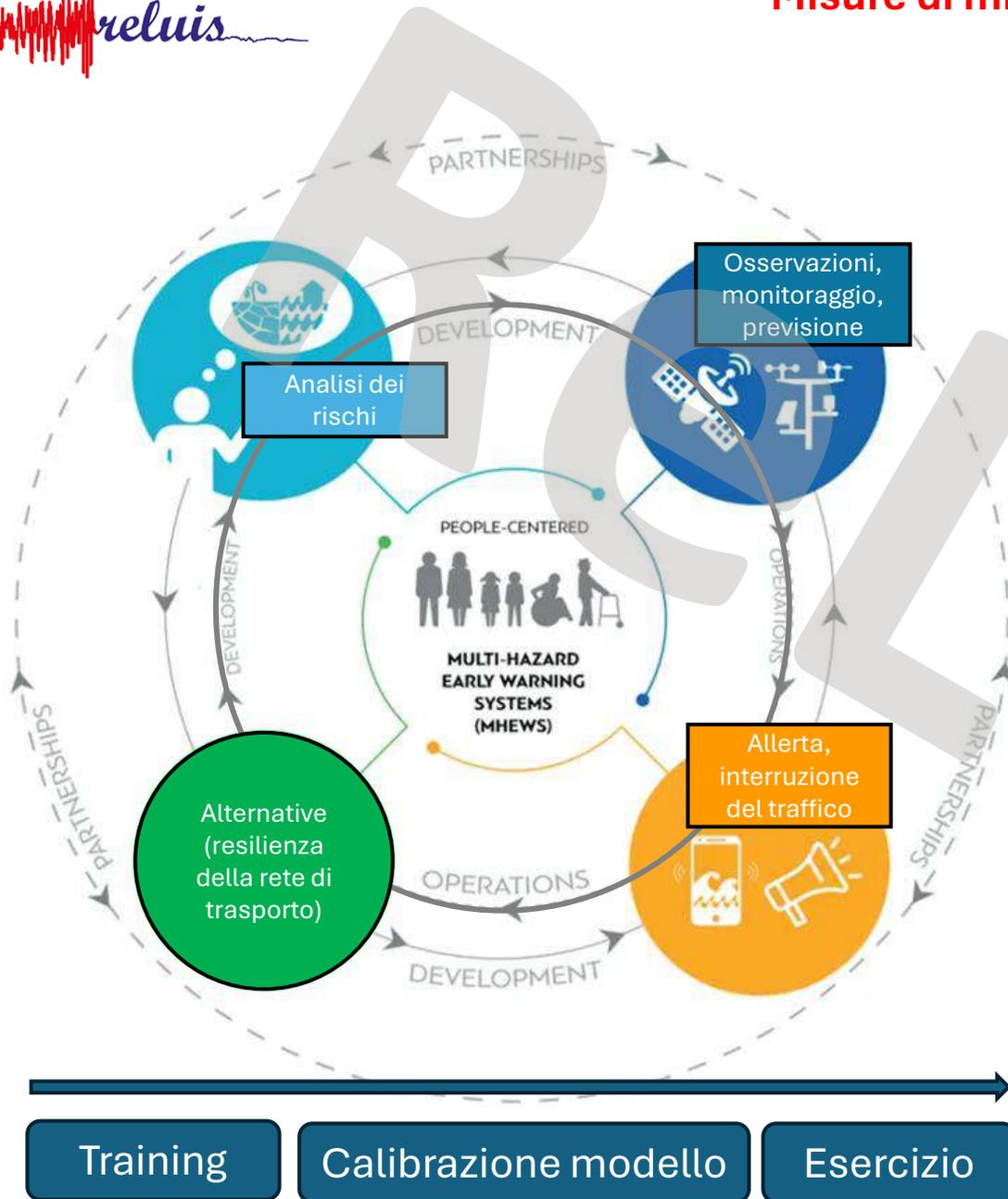
E = valore economico di: infrastruttura, traffico, vite umane.

I sistemi di early warning riducono l'**esposizione**, **in quanto salvaguardano le vite umane**. Il valore economico dell'infrastruttura e il traffico rimangono esposti a rischio. **Sono quindi misure di mitigazione parziali**.

P = pericolosità / suscettibilità

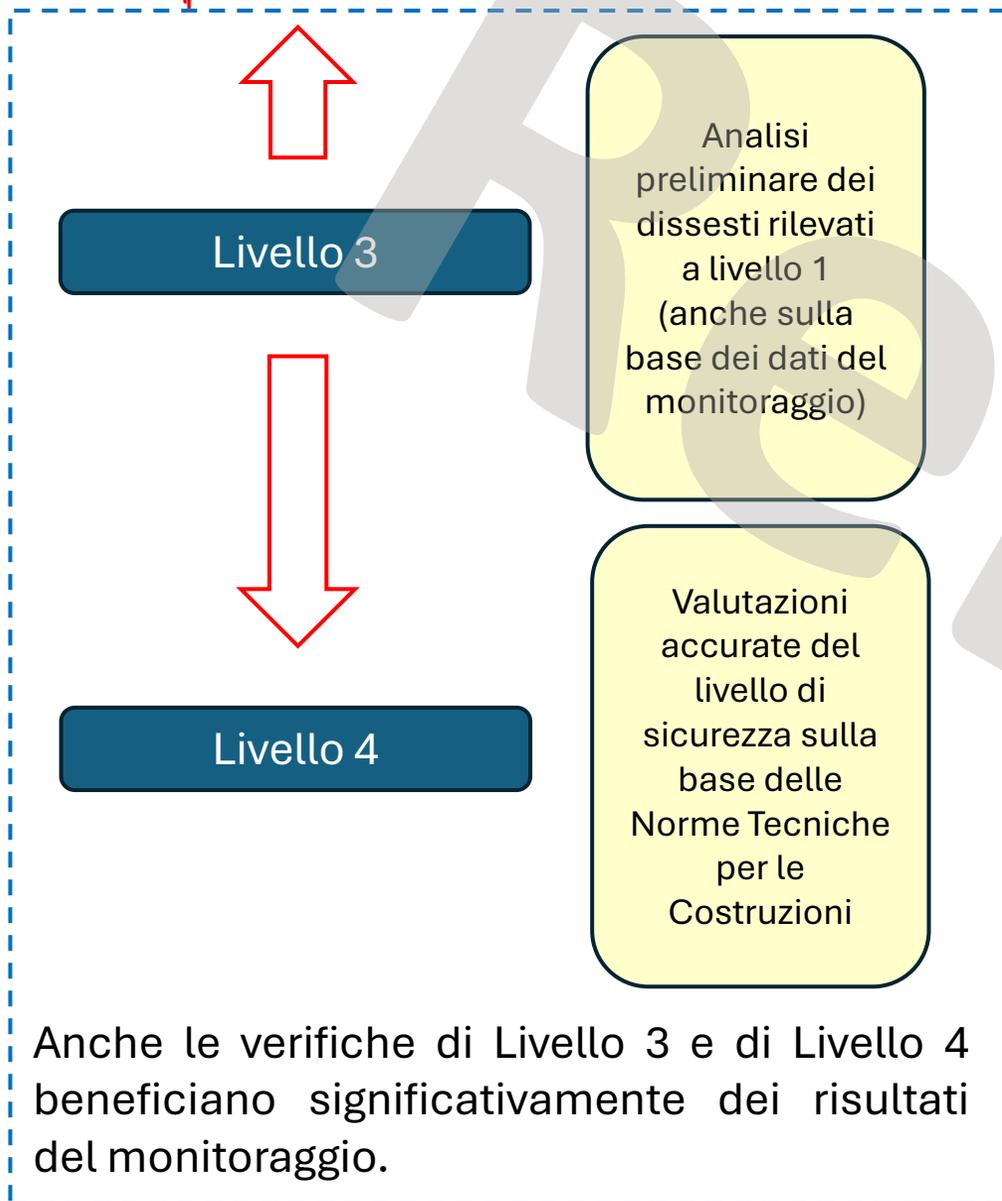
V = vulnerabilità

E = esposizione





Interventi di stabilizzazione



Dalle verifiche di Livello 4 può derivare la necessità di eseguire interventi di stabilizzazione del pendio o di rinforzo del ponte.

$$R = P \times V \times E$$

Gli **interventi di stabilizzazione del pendio** riducono la **pericolosità / suscettibilità** nella misura in cui producono un aumento del coefficiente di sicurezza del pendio (**interventi attivi**) o riducono la probabilità di interferenza (**interventi passivi**). Essi salvaguardano tutte le componenti dell'esposizione: vite umane e valore economico del ponte e del traffico.

$$R = P \times V \times E$$

Gli **interventi di rinforzo** delle **fondazioni** riducono la vulnerabilità del ponte.

Le maggiori garanzie in termini di sicurezza dell'infrastruttura si ottengono con gli **interventi di stabilizzazione dei pendii**.



Piano di formazione (ex art. 4 D.M. 204/2022)

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Il monitoraggio delle frane



Linee Guida per la Classificazione e la Gestione del Rischio, la
Valutazione della Sicurezza e il Monitoraggio dei Ponti Esistenti.

Definizione

Il monitoraggio di un pendio consiste nella **acquisizione** e **interpretazione** di misure, distribuite nel **tempo** e nello **spazio**, volte a rappresentare lo stato corrente e l'evoluzione delle grandezze che controllano il comportamento idro-meccanico del versante



Fasi di applicazione e obiettivi

Inquadramento iniziale:

Distribuzione degli **spostamenti** (cinematismo)

Estensione volumetrica (planimetrica e in profondità) del fenomeno

Regime delle **pressioni interstiziali**

Studio dell'evoluzione del fenomeno:

Evoluzione delle grandezze monitorate nel tempo e nello spazio (ad esempio gli spostamenti in superficie e in profondità -velocità, direzione- o le pressioni interstiziali) in relazione alle azioni naturali (ad esempio eventi meteorici o sismici) o antropiche (ad esempio esecuzioni di scavi o rinterri)...

Verifica della efficacia degli interventi di stabilizzazione:

Riduzione o annullamento degli spostamenti, riduzione della pressione interstiziale in corrispondenza della superficie di scorrimento, regime di sollecitazione su elementi strutturali (ad esempio tiranti)...

Early warning:

monitoraggio dei fattori innescanti (ad es. le pressioni interstiziali) e del loro effetto sulle altre grandezze rilevanti

MONITORAGGIO NELLE LINEE GUIDA

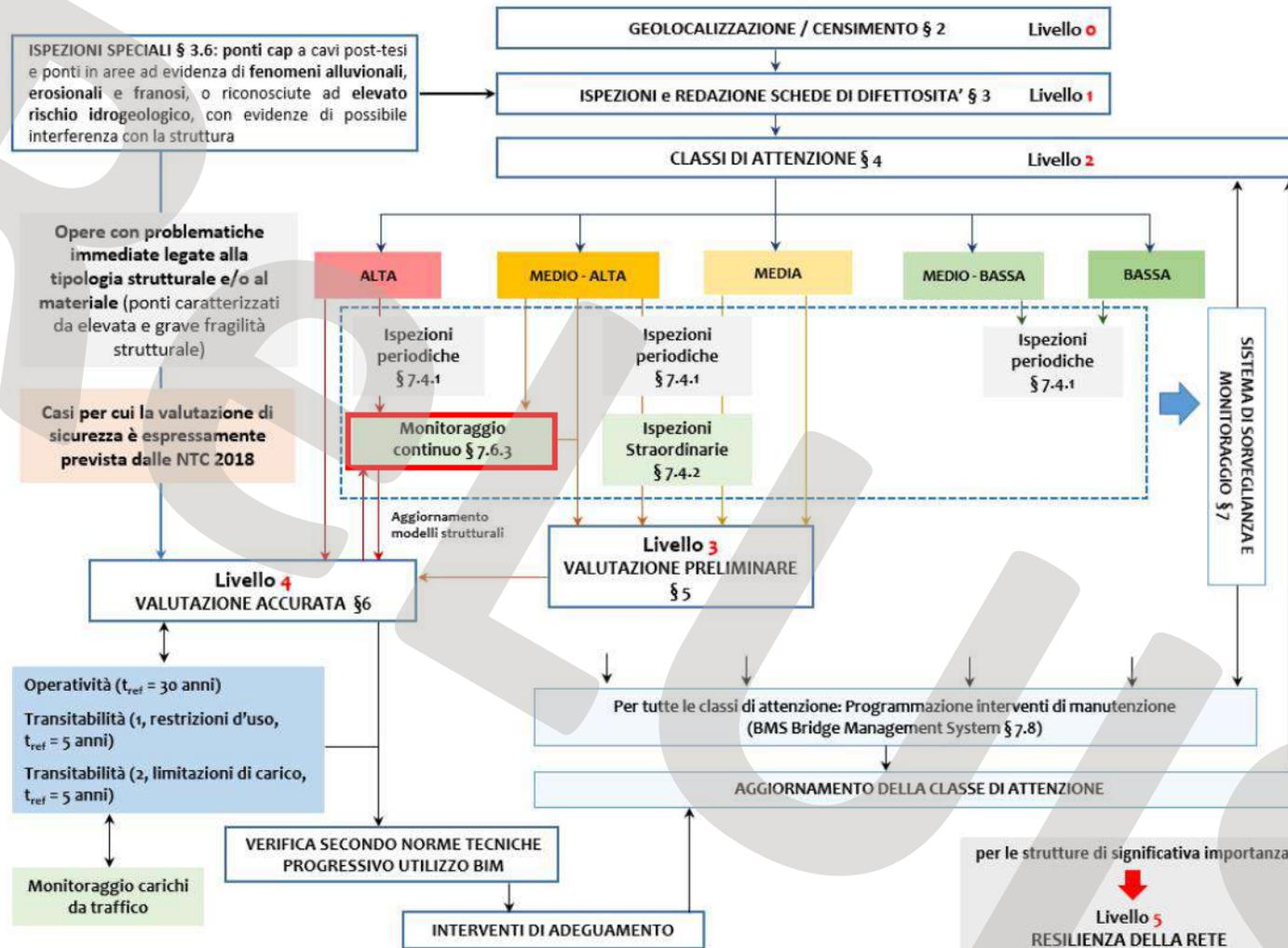
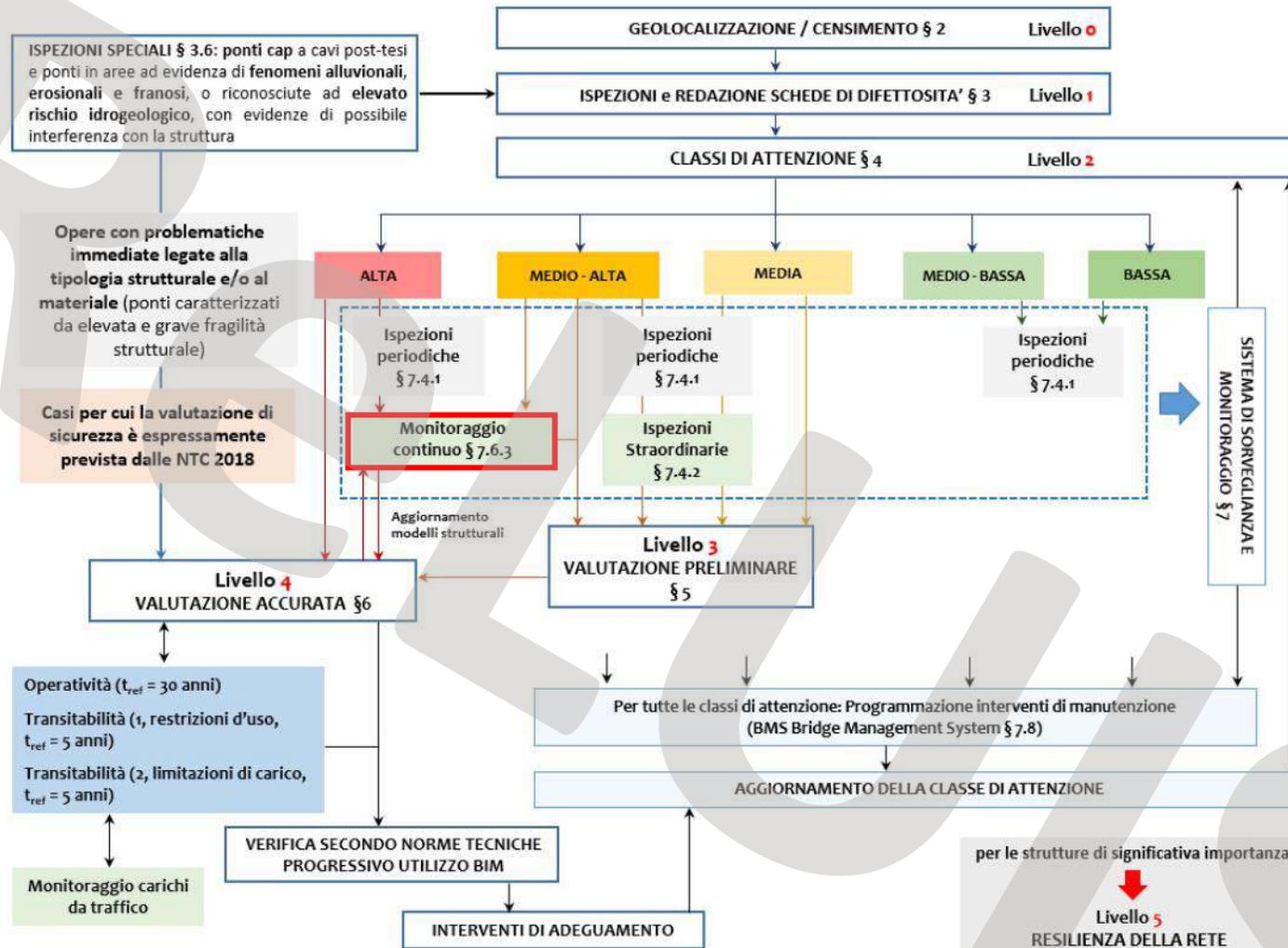


Fig.1.1
Approccio multilivello e
relazione tra livelli di
analisi

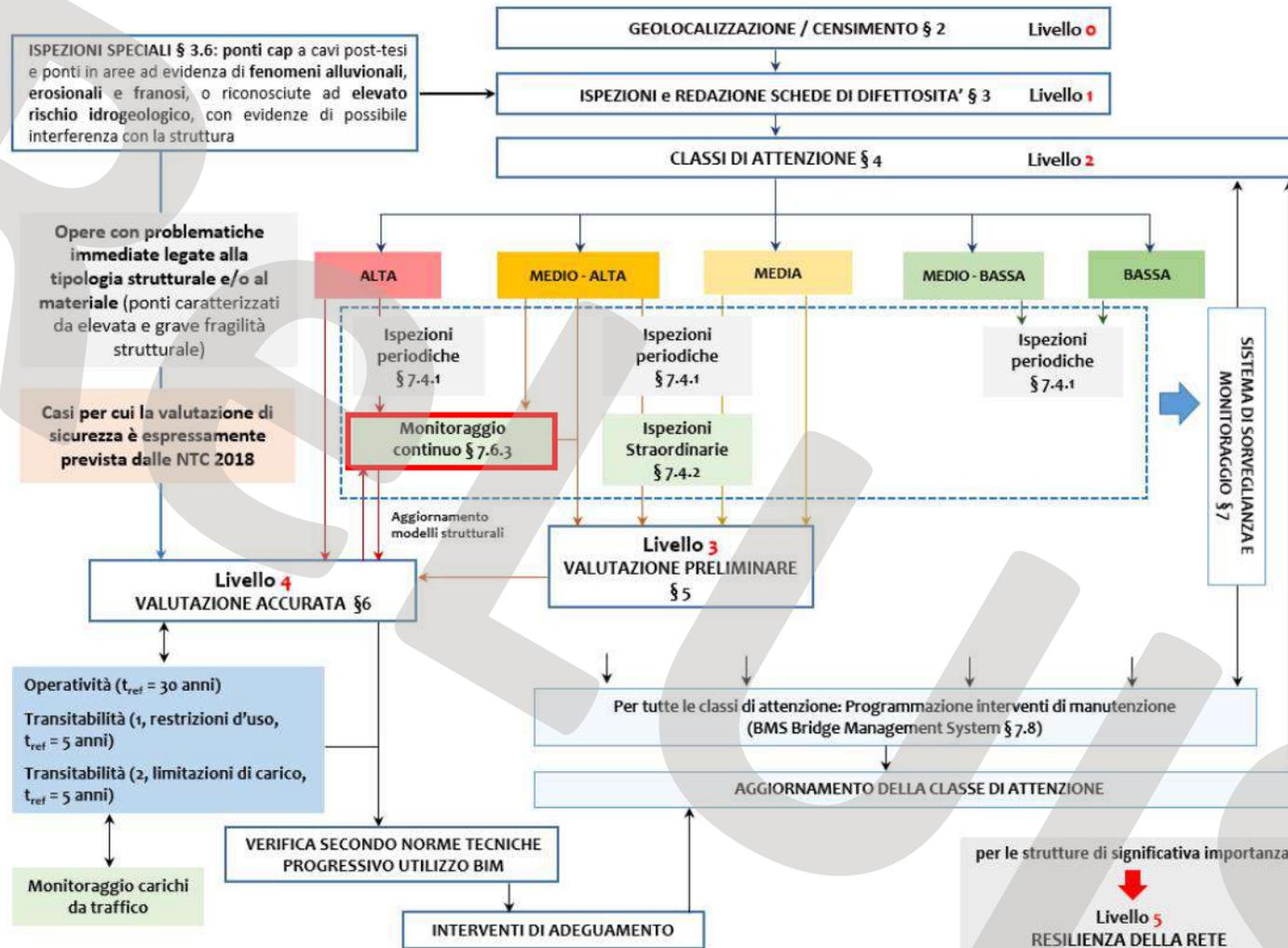
Nel **Livello 2**, per i ponti ricadenti in Classe di Attenzione **Alta** e **Medio Alta** è prevista l'installazione di sistemi di monitoraggio periodico o continuo come descritto nel § 7.6.

MONITORAGGIO NELLE LINEE GUIDA



Per i ponti ricadenti in Classe di Attenzione **Medio Alta**, ispezioni e monitoraggio sono di ausilio alle valutazioni preliminari di **Livello 3** e, laddove ispezioni periodiche (straordinarie) e monitoraggio strumentale evidenzino fenomeni evolutivi e problematiche rilevanti non precedentemente colte dalle ispezioni iniziali, occorre proseguire con l'esecuzione delle analisi accurate previste dal **Livello 4** (riclassificando il ponte in CdA **Alta**), sviluppando un **modello completo dell'opera** in continuo aggiornamento sulla base dei risultati del monitoraggio stesso.

MONITORAGGIO NELLE LINEE GUIDA



Per i ponti di Classe di Attenzione **Media**, il gestore verifica, caso per caso, sulla base delle valutazioni di Livello 3, se sia necessario installare sistemi di monitoraggio periodico o continuo (riclassificando il ponte in CdA Medio-Alta) e/o se eseguire valutazioni accurate di sicurezza di Livello 4 (riclassificando il ponte in CdA **Alta**).

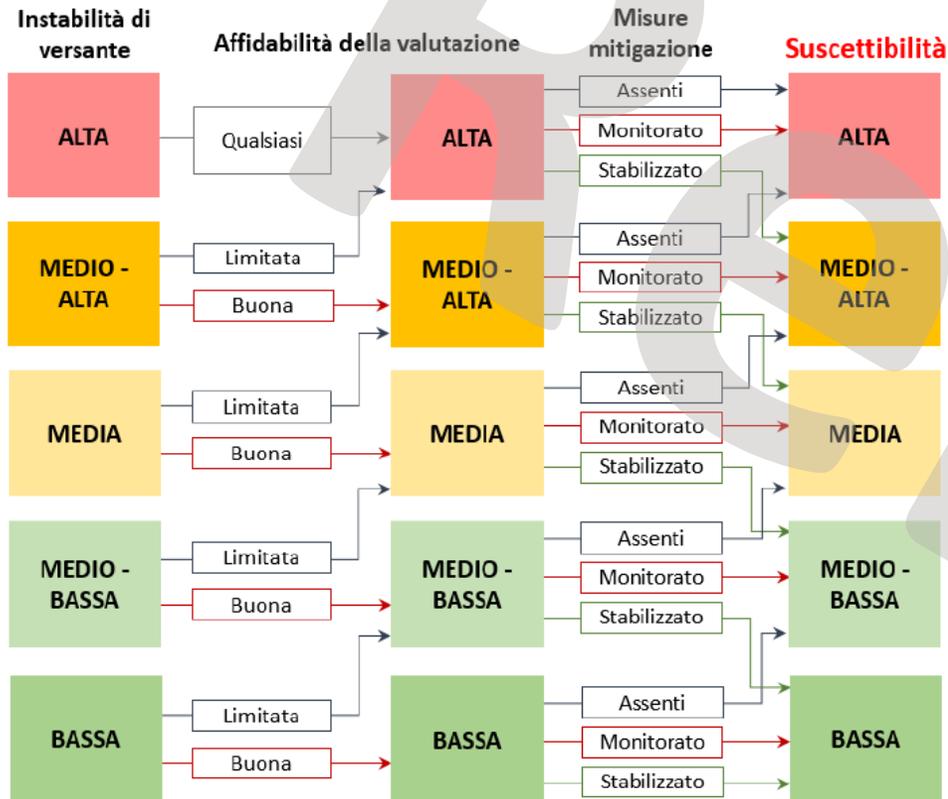


Figura 4.7. – Flusso logico per la determinazione della classe di suscettibilità

Livello 2

4.4.2 Stima del livello di pericolosità/suscettibilità legato al rischio frane

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.

In riferimento al ponte

7 Sistema di Sorveglianza e Monitoraggio

7.6.3 Monitoraggio permanente o continuo

Monitoraggio geotecnico

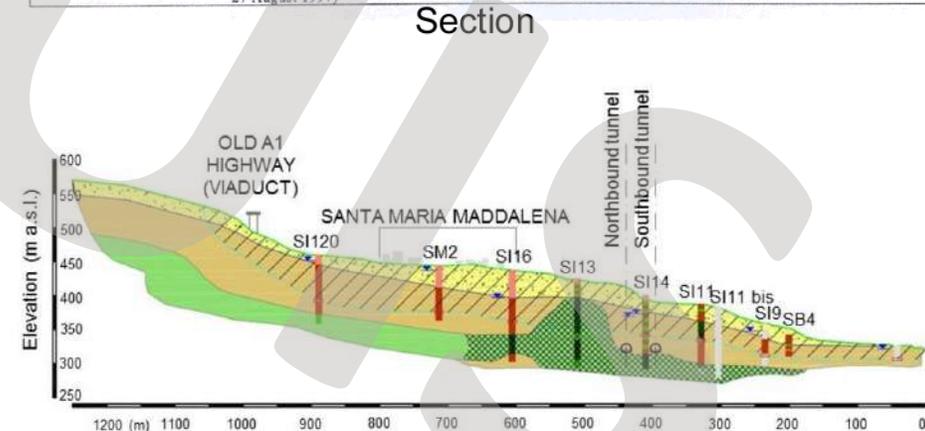
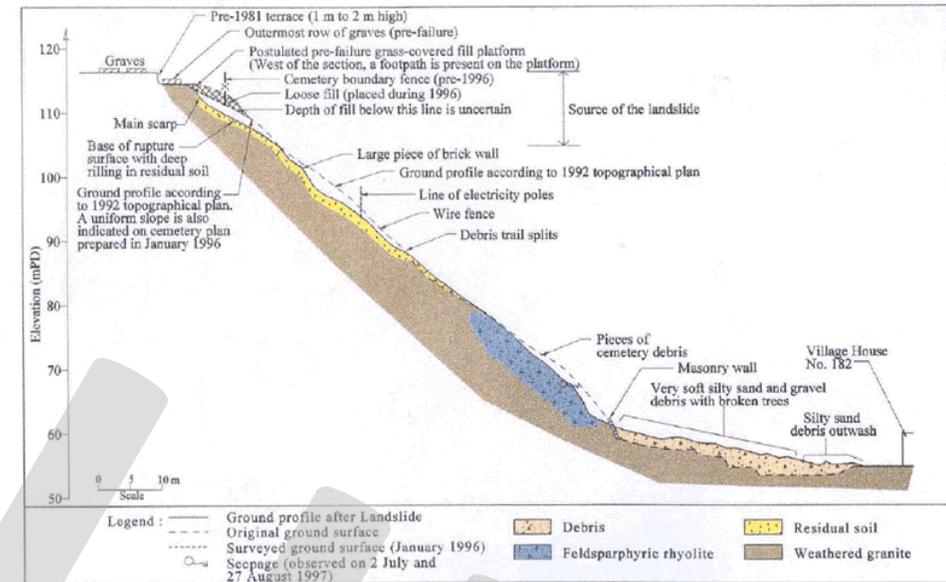
Ove se ne manifesti l'opportunità, potranno essere installati strumenti per il monitoraggio continuo dei movimenti delle **fondazioni delle pile, delle spalle e dei terreni interessati**, integrati nel sistema principale.

Anche per tali applicazioni sono disponibili ampie tipologie di strumentazione e sensori adatti all'integrazione in sistemi SHM (*Structural Health Monitoring*).

La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 1 – Definire le condizioni del progetto

- Tipo di progetto e organizzazione
- Stratigrafia e caratteristiche geotecniche dei terreni
- Condizioni idrauliche
- Strutture e infrastrutture al contorno
- Condizioni ambientali (frane, allagamenti, ecc.)
- Metodologie di costruzione
- Possibili condizioni critiche



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 2 – Prefigurare i meccanismi che controllano il fenomeno

- Formulare una o più ipotesi sui meccanismi che controllano il fenomeno

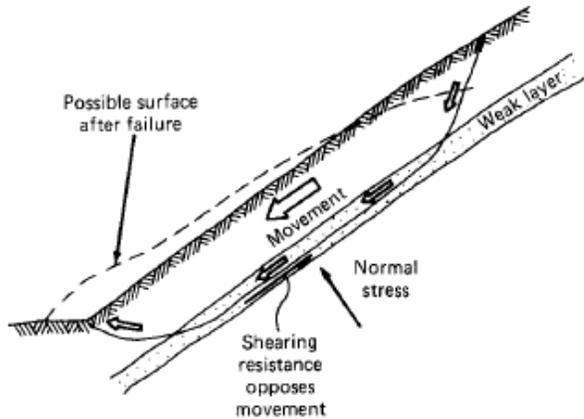


Figure 2.11. Failure of a slope in layered soil.

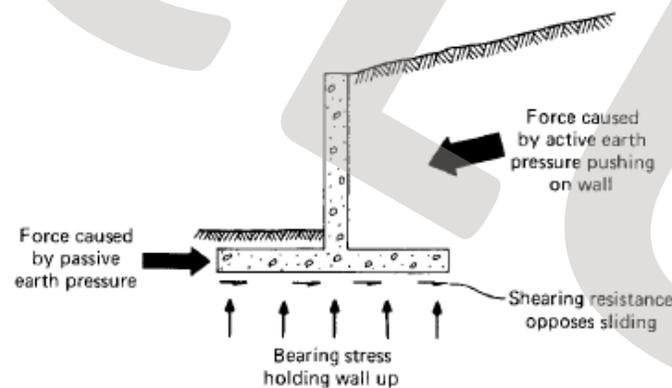
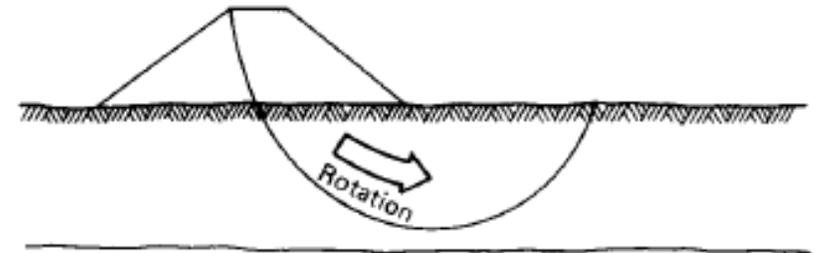
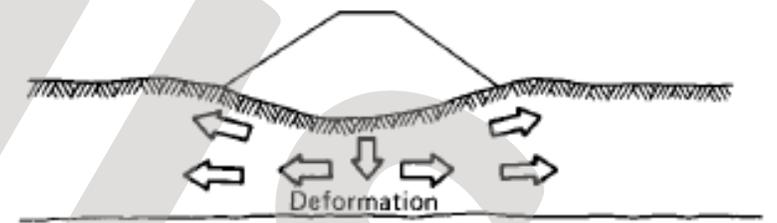


Figure 2.12. Behavior of a retaining wall.



(a)



(b)

Figure 2.14. Behavior of an embankment on soft ground: (a) rotational slide along arc and (b) settlement and lateral bulging of soft foundation.

La progettazione del sistema di monitoraggio

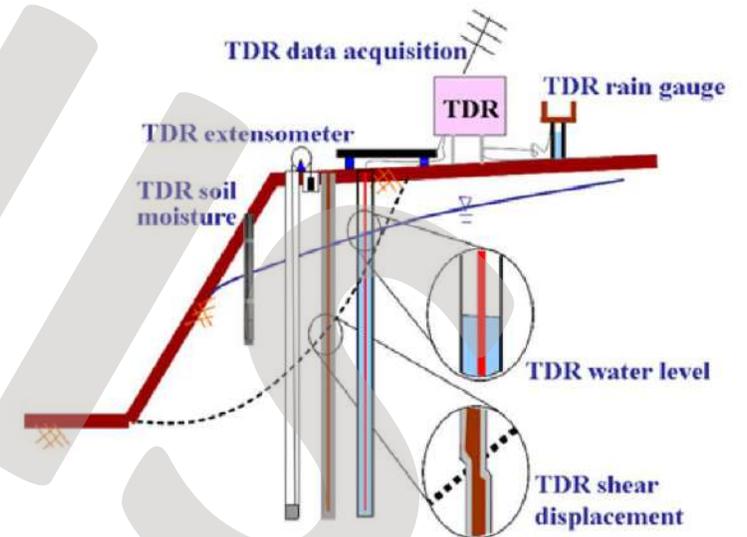
Passo 5 – Scegliere i parametri da monitorare

- Pressioni interstiziali
- Pressioni totali
- Pressioni totali a contatto con strutture
- Variazioni di sforzo in roccia
- Spostamenti verticali
- Spostamenti orizzontali
- Inclinazioni
- “Deformazioni” nei terreni
- Carichi o “deformazioni” in elementi strutturali
- Temperatura e condizioni ambientali
- ...

Qual è la grandezza più significativa?

Chi è causa e chi effetto?

Quanti punti di misura?



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 6 – Prevedere l'entità delle variazioni delle misure

Valore massimo:
fondo scala (FS, Full range)

Valore minimo:
sensibilità o accuratezza

Livelli di pericolo:

verde: tutto bene

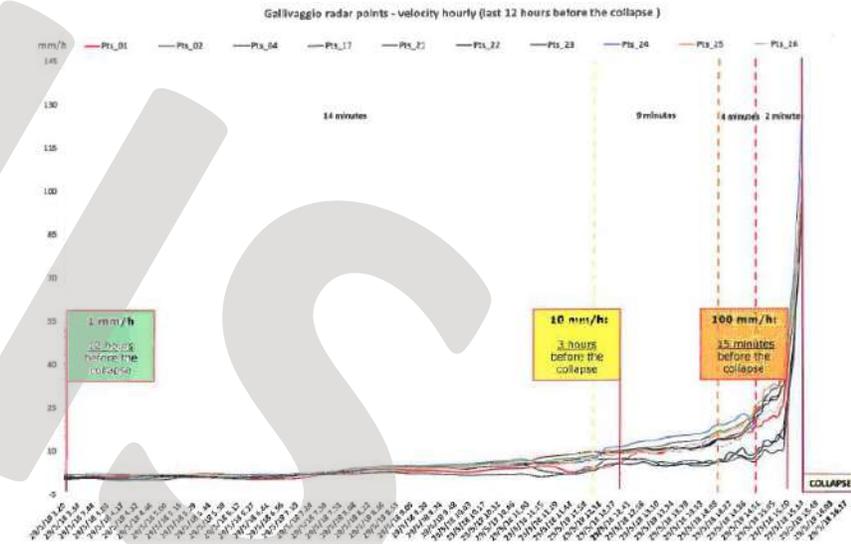
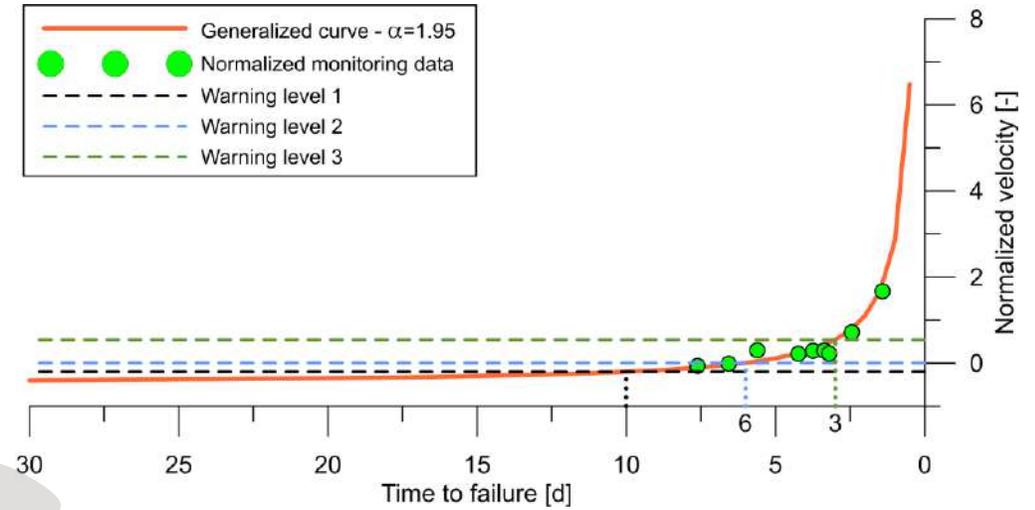
giallo: servono misure cautelative, aumentare la frequenza delle misure

rosso: servono provvedimenti urgenti

Intrieri et al. (2012) Eng. Geology

Monitoraggio
conoscitivo

Warning level	Trigger	Definition	Response
Ordinary level	Default level	Normal activity encompassing, to some degree, seasonal variations	Data are checked daily. Monthly monitoring bulletin
Attention level	When 2 or more extensometers exceed their own velocity thresholds	Increased activity possibility due to prolonged rainfalls. Potentially dangerous	Data are checked more frequently. Daily monitoring bulletin. H24 personnel from each stakeholder are alerted. Preparing for alarm
Alarm level	Based on expert judgement and on the use of forecasting methods	Accelerating trend far beyond any seasonal fluctuation. Collapse is expected	Data are checked even more frequently Two monitoring bulletins per day. The Provincial Street is closed



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 7 – Definire i piani di rischio

- Escogitare le azioni per ogni livello di pericolo, assicurandosi che materiali e persone siano sempre a disposizione
- Individuare chi ha l'autorità contrattuale ad avviare l'azione di rimedio
- Accertarsi che la comunicazione tra progettisti e costruttori sia sempre aperta
- Definire come le parti saranno allertate per avviare le azioni di rimedio.

Il ricorso al monitoraggio durante le fasi di costruzione richiede obbligatoriamente la pianificazione in anticipo dei provvedimenti che si devono prendere nel caso in cui si manifestino problemi.



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 8 – Assegnare i compiti nella progettazione, costruzione e organizzazione

INCARICO	FIGURE COINVOLTE			
	COMMITTENTE	PROGETTISTA	SPECIALISTA STRUMENTAZIONE	COSTRUTTORE
Pianificare il programma di monitoraggio	X	X	X	
Recuperare gli strumenti e provvedere alla calibrazione		X	X	
Installare gli strumenti			X	X
Provvedere alla manutenzione e calibrazione degli strumenti secondo un programma			X	X
Definire ed aggiornare il programma di esecuzione delle misure		X	X	
Raccogliere i dati			X	X
Elaborare e presentare i dati			X	
Interpretare ed preparare la relazione dei dati		X	X	
Decidere come implementare i risultati	X	X		

Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance
[John Dunncliff](#) 1993

La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 9 – Scelta degli strumenti

- Massima semplicità
- Non permettere che la spesa domini sulla scelta
- Verificare la qualità di precedenti prestazioni
- Valutare separatamente trasduttore, centralina di misura, sistema di comunicazione
- La lettura è sempre corretta?
- E' possibile verificare la taratura dopo l'installazione?
- Verificare la disponibilità e le capacità del personale

- ✓ **SENSIBILITA'** sufficiente per misurare la grandezza cercata
- ✓ **AFFIDABILITA'** del dato per tutto il periodo di osservazione

- ✓ **RAPPRESENTATIVITA'**: Lo strumento introduce una discontinuità nel terreno, pertanto la distribuzione di sforzi, deformazioni e pressioni potrebbe differire da quella originale e lo strumento potrebbe fornire **misure** non **rappresentative** del **fenomeno** che si vuole **studiare**.



È importante conoscere la natura del fenomeno che si vuole studiare, le modalità di funzionamento dello strumento e le modalità di installazione dello strumento

La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 10 – Scelta della posizione degli strumenti

- ❑ Flessibilità nella scelta sulla base di nuove informazioni ottenute in fase di costruzione
- ❑ Congruente con il comportamento previsto ed il metodo di analisi adottato
- ❑ Deve tenere conto della possibilità che lo strumento possa essere danneggiato e smettere di raccogliere informazioni

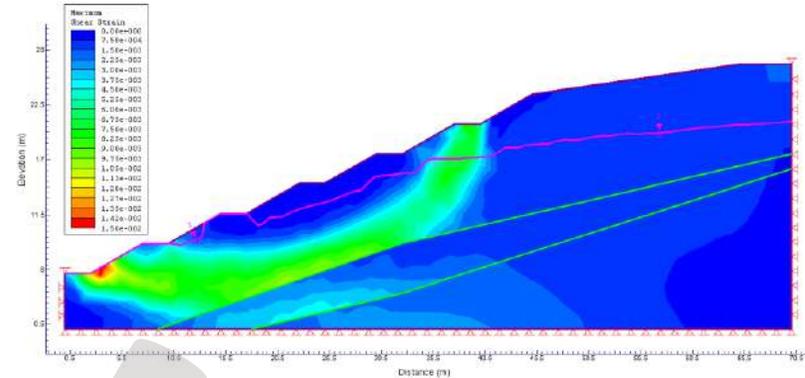


Sezioni strumentate



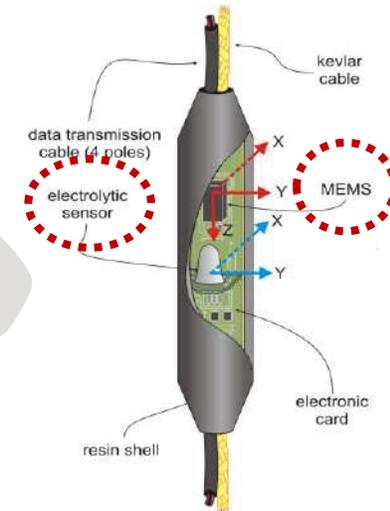
PRIMARIE → Rappresentative del comportamento generale

SECONDARIE → Sezioni di controllo e confronto



Analisi numeriche (FEM, DEM, ...) possono essere utili per identificare le aree a maggior criticità

RIDONDANZA delle misure, tramite l'installazione di più strumenti e/o strumenti innovativi che integrano più sensori

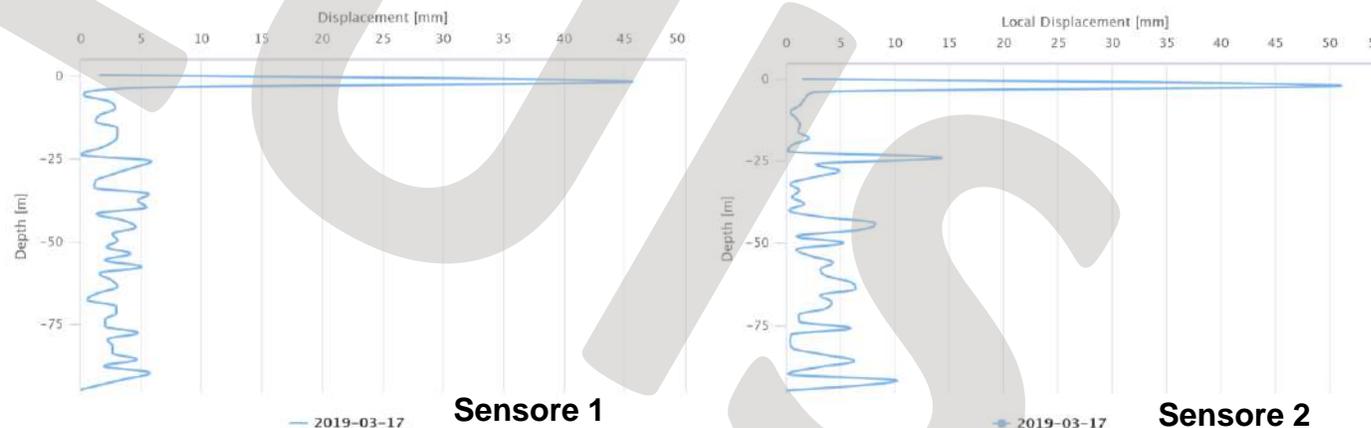
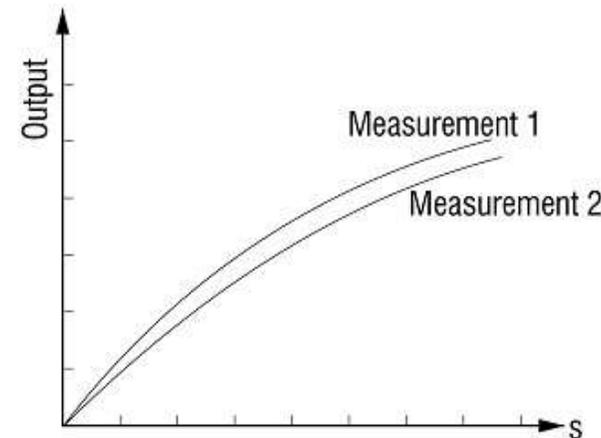


La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 12 – Definire le procedure per verificare la correttezza delle misure

La strumentazione sta funzionando correttamente?

- Osservazione visiva
- Duplicazione degli strumenti
- Ridondanza
- Coerenza (confronto sinottico delle misure)
- Ripetibilità della misura
- Controlli periodici in sito



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 13 – Elencare lo scopo di ogni strumento



Servono tutti gli strumenti scelti?

- ✓ Numerare gli strumenti
- ✓ Per ognuno giustificarne la necessità
- ✓ Togliere gli strumenti inutili



Non credo sia il caso di correre alcun rischio

La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 14 – Verificare il budget a disposizione

Anche se la parte di progettazione non è ultimata, è fondamentale in questa fase valutare la spesa attesa per quanto previsto al **passo 8**, in modo da verificare la disponibilità di fondi



INCARICO	FIGURE COINVOLTE			
	COMMITTENTE	PROGETTISTA	SPECIALISTA STRUMENTAZIONE	COSTRUTTORE
Pianificare il programma di monitoraggio	X	X	X	
Recuperare gli strumenti e provvedere alla calibrazione		X	X	
Installare gli strumenti			X	X
Provvedere alla manutenzione e calibrazione degli strumenti secondo un programma			X	X
Definire ed aggiornare il programma di esecuzione delle misure		X	X	
Raccogliere i dati			X	X
Elaborare e presentare i dati			X	
Interpretare ed preparare la relazione dei dati		X	X	
Decidere come implementare i risultati	X	X		

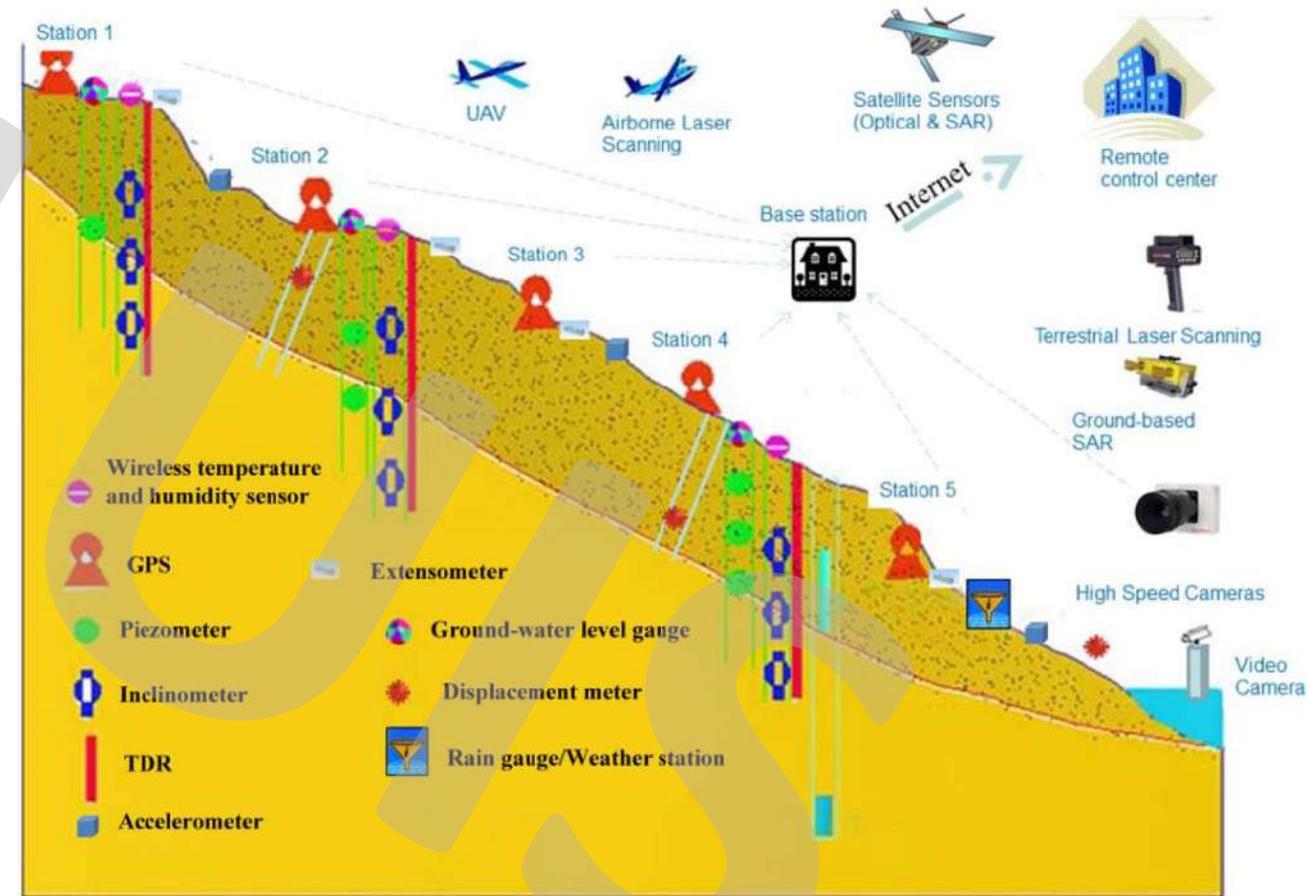
La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 15 – Specifiche per l'acquisto degli strumenti

Per garantire il corretto funzionamento della strumentazione, questa deve essere acquistata da **fornitori affidabili** sulla base delle caratteristiche richieste dal caso specifico (e.g. sensibilità, frequenza di acquisizione, ridondanza, automazione del processo, ...)



SCHEDE TECNICHE

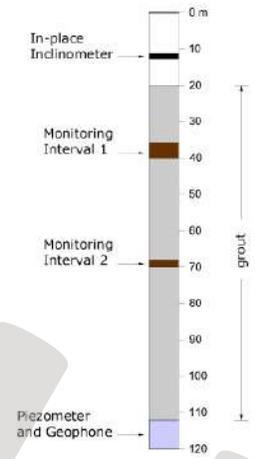


La progettazione del sistema di monitoraggio

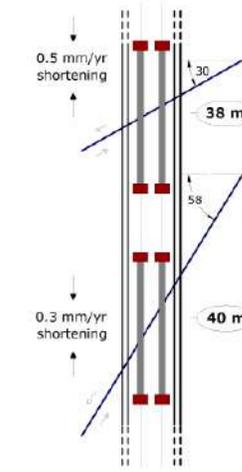
Passo 16 – Programma di installazione

- Scrivere le procedure di installazione ‘step-by-step’, incluse le modalità di verifica da effettuare prima e dopo l’installazione
- Elencare i materiali e gli strumenti necessari per l’installazione
- Preparare i moduli per registrare le operazioni di installazione
- Pianificare la formazione del personale
- Coordinare l’attività con l’impresa costruttrice
- Pianificare l’accessibilità
- Pianificare la protezione da danni e vandalismo
- Programmare le fasi di installazione

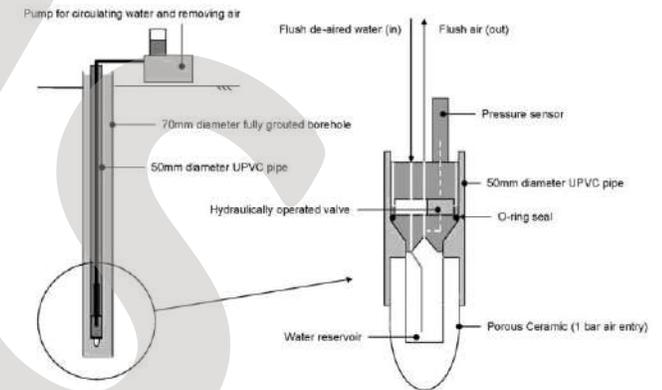
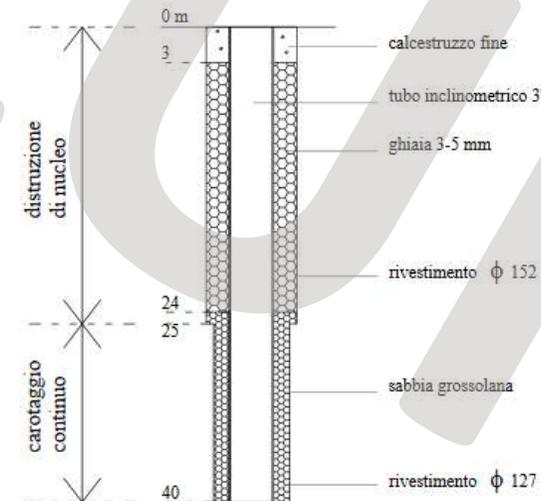
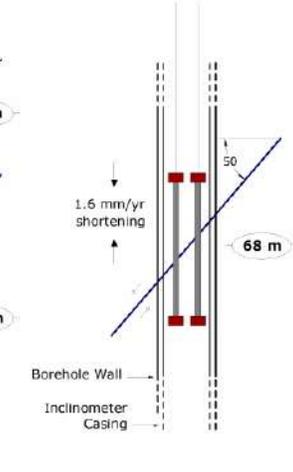
Borehole Layout



Monitoring Interval #1



Monitoring Interval #2



La progettazione del sistema di monitoraggio

Passo 17 – Pianificare le attività di taratura e manutenzione regolare

PROCEDURE DI
CALIBRAZIONE

INTERVENTI DI
MANUTENZIONE



In fase di
produzione

Al momento
dell'installazione

Durante la fase
operativa

Centralina di
raccolta dati

Pezzi di ricambio



Indagini e Monitoraggio

1. Caratteri morfologici;
2. Caratteri geologici e geomorfologici (rilievo);
3. Successione stratigrafica (sondaggi);
4. Proprietà fisiche e meccaniche dei terreni (prove in sito e in laboratorio);
5. Regime delle pressioni interstiziali;
6. I caratteri geometrici e cinematici delle frane in atto (spostamenti in superficie e in profondità);
7. I caratteri climatici della zona
8. ...

Rilievo geomorfologico

Sintetizzato nella carta geomorfologica della frana:

- Aspetti morfologici dell'area;
- i segni di instabilità (scarpata, sollevamenti al piede, spostamenti di infrastrutture o manufatti);
- possibili fattori d'innesco (ristagno d'acqua, zone paludose, fenomeni di erosione)

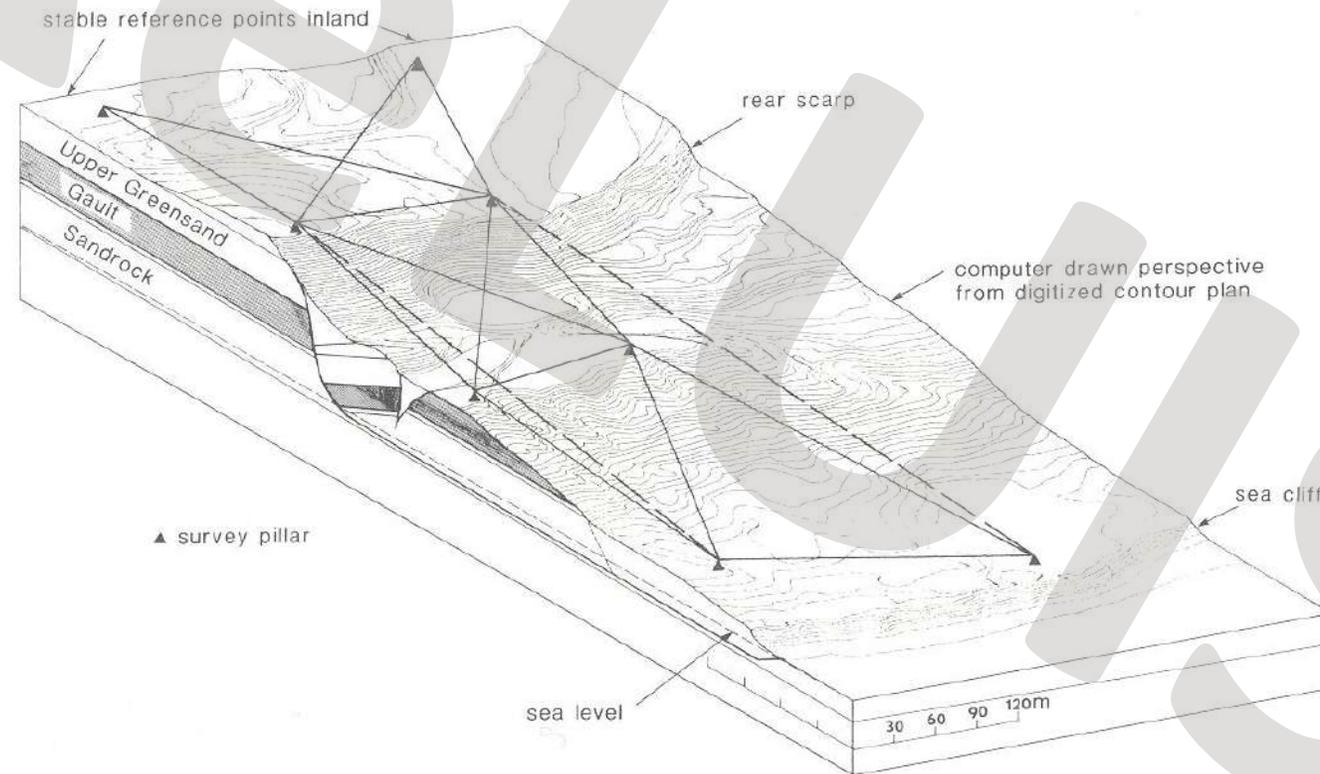
Frutto dell'interazione tra geologo, geomorfologo e ingegnere.

Di per sè non è esaustiva ai fini della definizione di dettaglio del modello geotecnico della frana: servono ulteriori indagini specifiche

Monitoraggio degli spostamenti **superficiali**

Rilievo topografico

Per ottenere le curve di livello dell'area includente la frana e la posizione di manufatti e infrastrutture



Monitoraggio degli spostamenti **superficiali**

Telerilevamento

Immagini satellitari: risoluzione (= minimo valore misurabile della grandezza in esame) oggi anche elevata (<centimetrico) ma dipendente dalla **orientazione** relativa **dell'orbita satellitare** rispetto a quella del **pendio**.

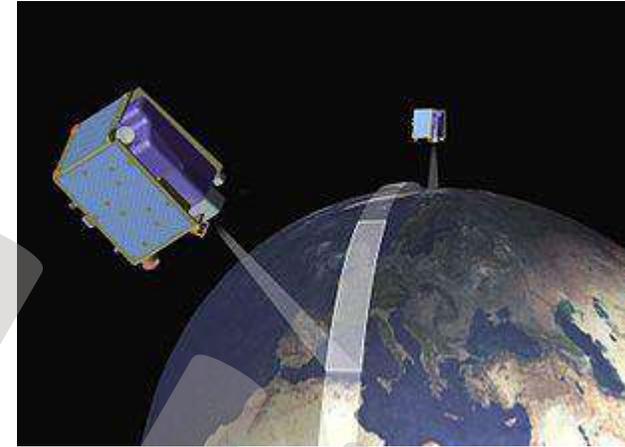


Foto aeree: eseguite in volo ($H_{\text{veivolo}} \cong 10 * h_{\text{pendio}}$) ed interpretate con le tecniche della fotogrammetria, per ottenere curve di livello dell'area d'interesse una volta note le posizioni di alcuni punti di riferimento.

Monitoraggio degli spostamenti in profondità

Obiettivi:

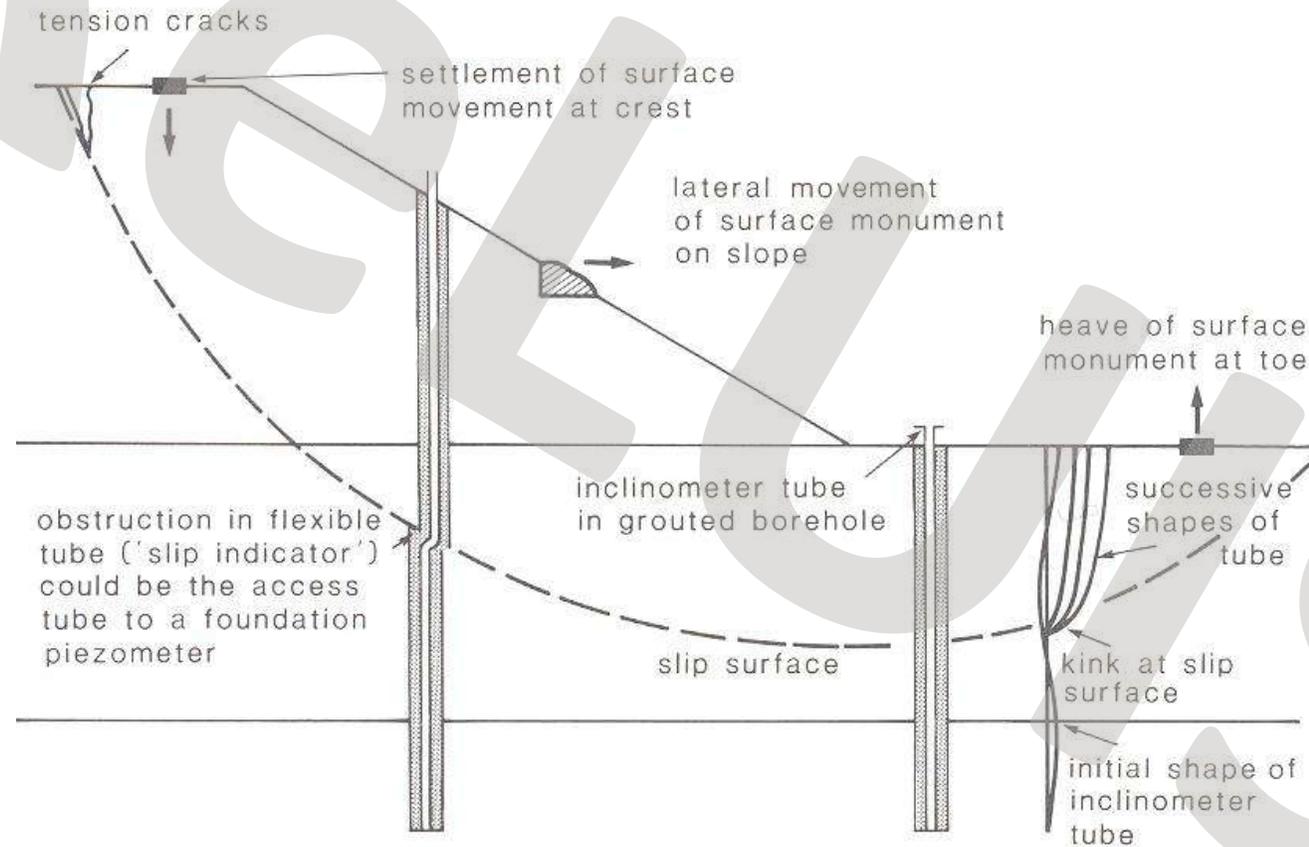
- Individuazione della superficie di scorrimento
- Monitoraggio della evoluzione degli spostamenti in profondità

Strumento: installazione di inclinometri

Monitoraggio degli spostamenti in profondità: inclinometro

Finalità:

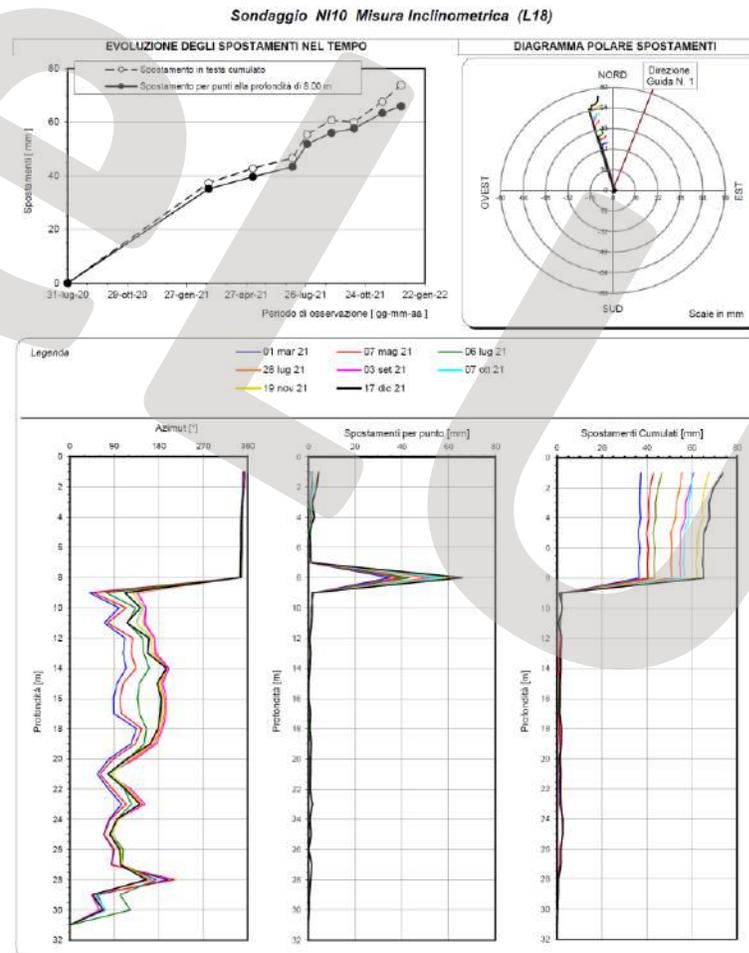
- Misura degli spostamenti orizzontali con la profondità



Monitoraggio degli spostamenti in profondità: inclinometro

La misura:

- Profondità massima: dipende dalla precisione richiesta (fino a 30m ottima)
- Valori minimi di spostamento osservabile: circa 3-5 mm



Monitoraggio degli spostamenti in profondità: inclinometro

Esecuzione delle misure:

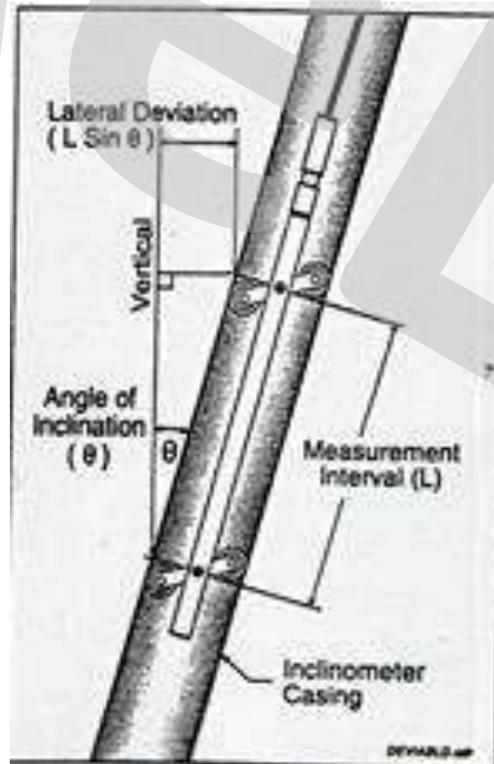
- Misure dal basso verso l'alto lungo i due allineamenti perpendicolari definiti dalle guide
- La prima misura (detta di **zero**) consente di osservare l'inclinazione iniziale del tubo inclinometrico, rispetto alla quale si valutano i successivi spostamenti
- Lungo ogni allineamento le misure sono effettuate due volte, ruotando l'inclinometro di 180° (idealmente a somma nulla, ma talvolta differenti per irregolarità delle guide, deriva dell'inclinometro)



Monitoraggio degli spostamenti in profondità: inclinometro

Interpretazione delle misure:

Spostamenti relativi alla base, assunta fissa (da cui, l'inclinometro va intestato nella formazione stabile).



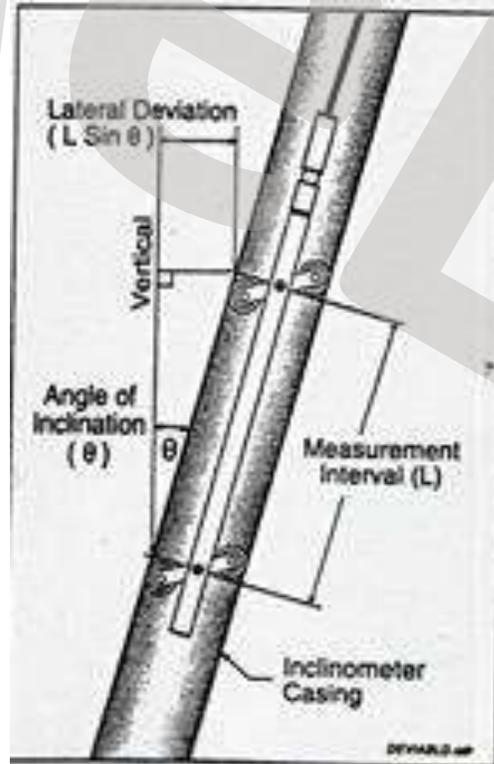
$$S_i = L \sin \theta_i$$

$$S = \sum_i L \sin \theta_i$$

Monitoraggio degli spostamenti in profondità: inclinometro

Interpretazione delle misure:

Spostamenti relativi alla base, assunta fissa (da cui, l'inclinometro va intestato nella formazione stabile).



$$S_i = L \sin \theta_i$$

$$S = \sum_i L \sin \theta_i$$

N.B.: In sede di progetto del monitoraggio, devo stimare in prima approssimazione la profondità della superficie di scorrimento (che è, a sua volta, una delle informazioni di output attese!)

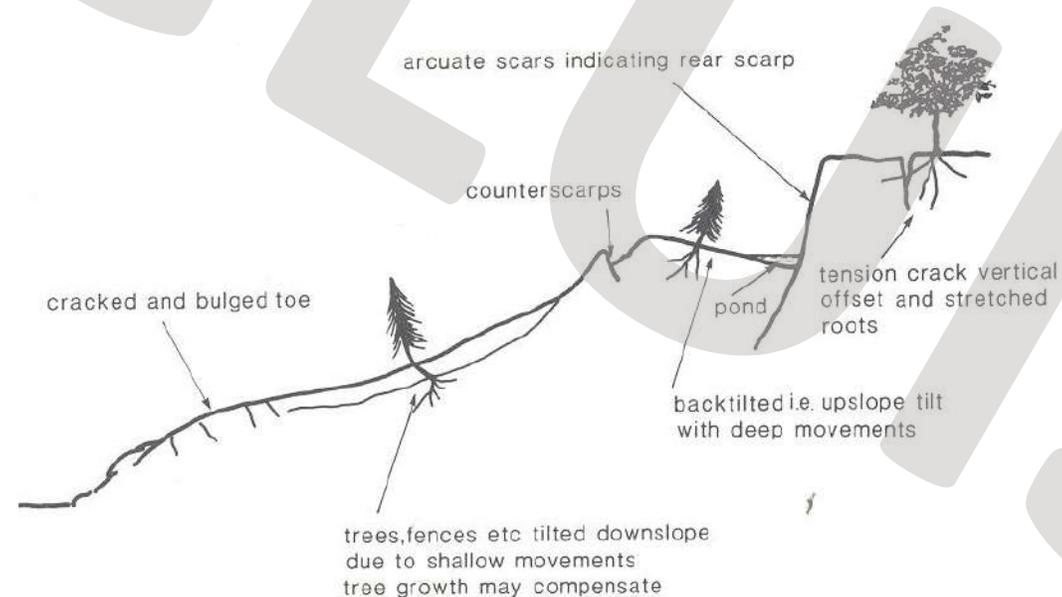
Progetto del monitoraggio inclinometrico: stima iniziale della profondità della superficie di scorrimento

Osservazioni indirette

Testa: se la scarpata è recente è deducibile l'inclinazione (può essere mascherata nel tempo da processi di accumulo);

Fianchi: talvolta in scorrimenti e colate si formano delle creste laterali;

Piede: si osservano rigonfiamenti, pieghe e fessure nel terreno



Progetto del monitoraggio inclinometrico: stima iniziale della profondità della superficie di scorrimento

Osservazioni indirette

Testa: se la scarpata è recente è deducibile l'inclinazione (può essere mascherata nel tempo da processi di accumulo);

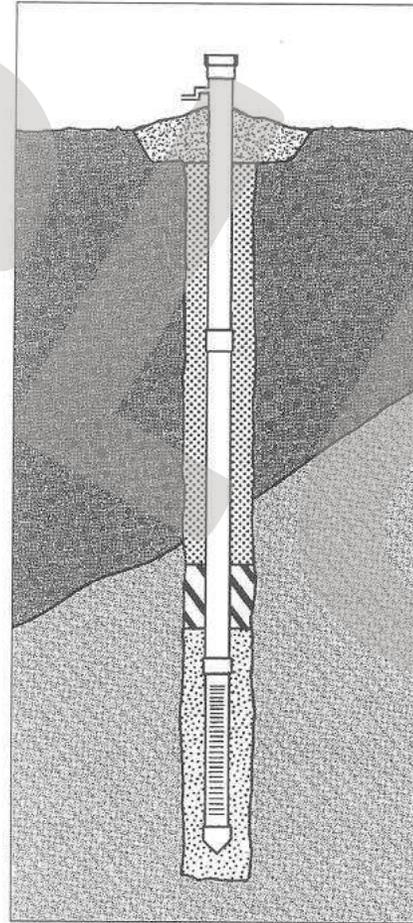
Fianchi: talvolta in scorrimenti e colate si formano delle creste laterali;

Piede: si osservano rigonfiamenti, pieghe e fessure nel terreno



Monitoraggio delle pressioni interstiziali: piezometri

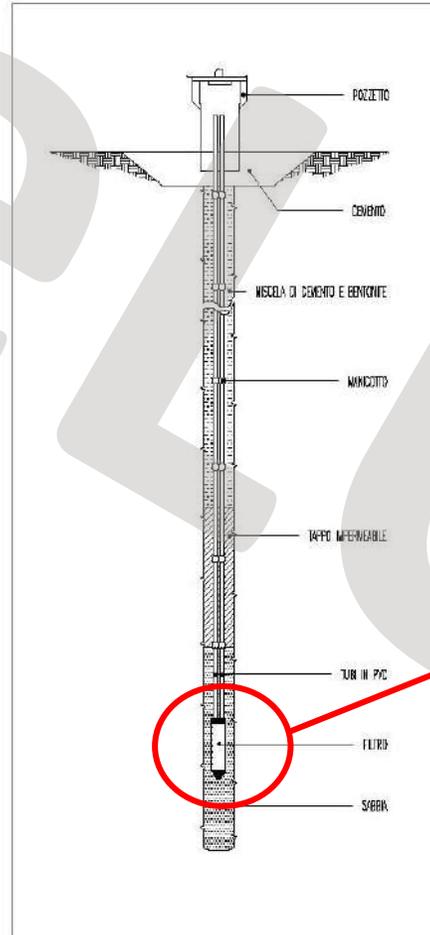
Piezometri a tubo aperto



Monitoraggio delle pressioni interstiziali: piezometri

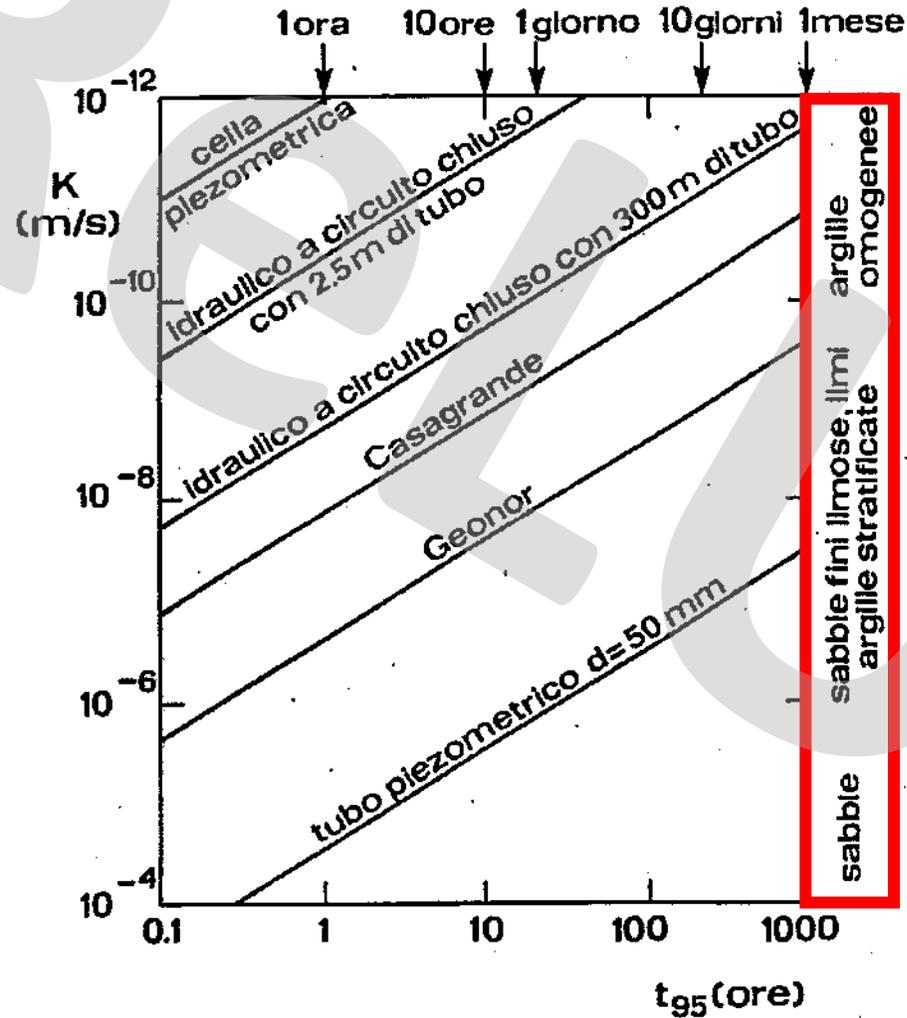
Piezometro Casagrande

CARATTERISTICHE TECNICHE	
DIMENSIONI FILTRO:	$\varnothing 41 \div 54$ mm Lunghezza $150 \div 200$ mm
COMPOSIZIONE FILTRO:	Agglomerato di silice, bronzi e acciai inox sinterizzati, ceramiche
POROSITÀ STANDARD:	$20 \div 60 \mu$
PERMEABILITÀ:	10^{-2} cm/sec circa
TUBAZIONI DI ACCESSO:	$15 \div 50$ mm diametro
MATERIALE DELLE TUBAZIONI:	PVC, acciaio, politene, nylon



Monitoraggio delle pressioni interstiziali: piezometri

Tempi di risposta:

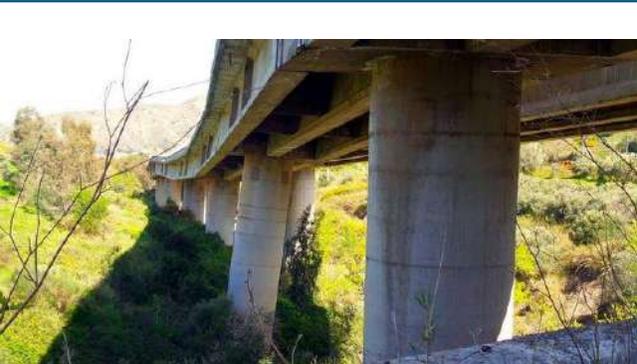




Piano di formazione (ex art. 4 D.M. 204/2022)

Modulo II - Rischi naturali e interventi di mitigazione per la sicurezza dei ponti

Il rischio frane

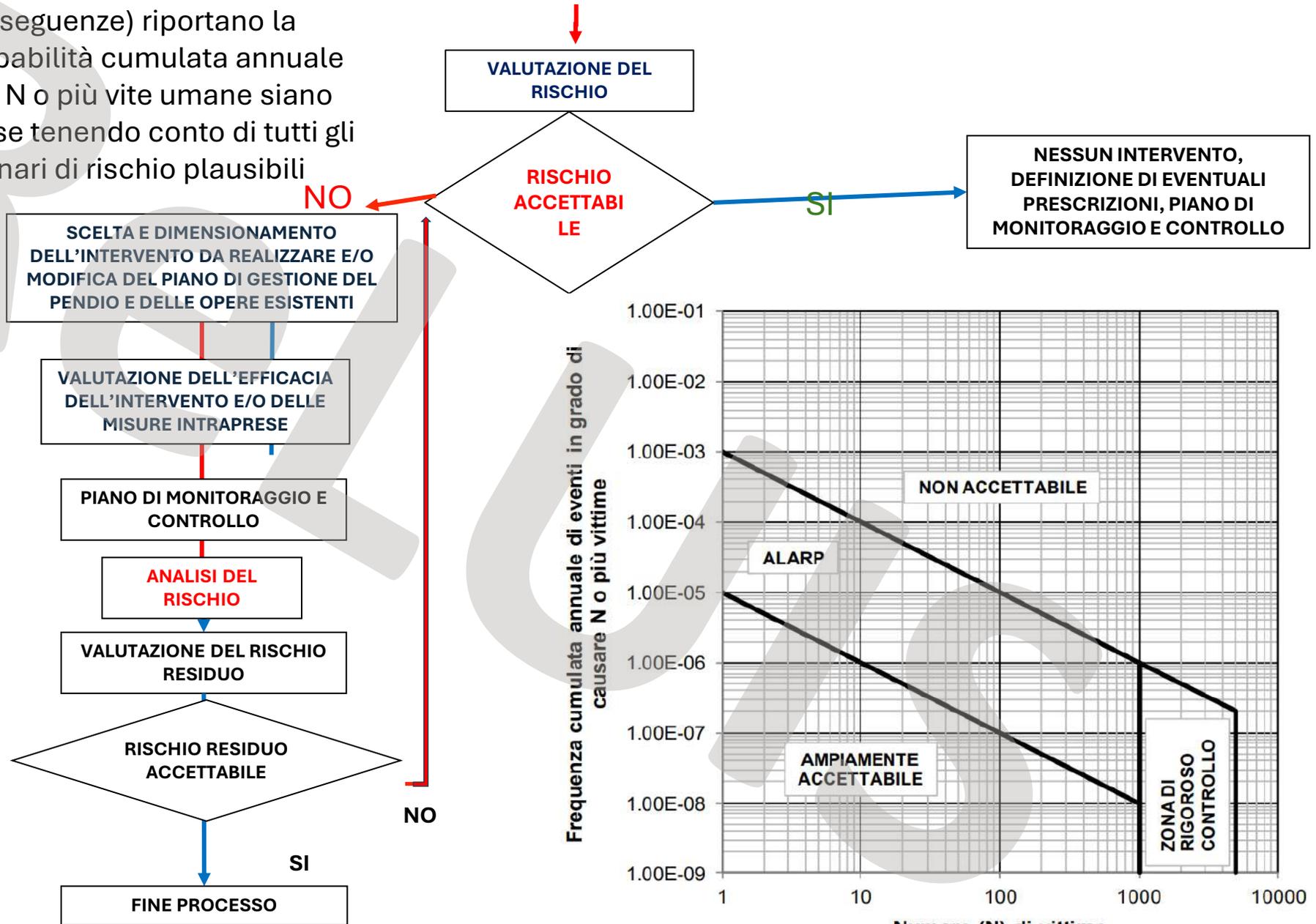


Linee Guida per la Classificazione e la Gestione del Rischio,
la Valutazione della Sicurezza e il Monitoraggio dei Ponti
Esistenti.

curve F-N (frequenza-conseguenze) riportano la probabilità cumulata annuale che N o più vite umane siano perse tenendo conto di tutti gli scenari di rischio plausibili

MITIGAZIONE DEL RISCHIO

MITIGAZIONE



STRATEGIE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Interventi di vario tipo che riducono uno o più tra **pericolosità** ($P_L, P_{T:L}$) dei fenomeni franosi, **dell'esposizione** ($P_{S:T}$) e/o della **vulnerabilità** ($V_{D:T}$) degli elementi a rischio.



$P_{(LOL)}$ PROBABILITÀ ANNUALE CHE UNA PERSONA PERDA LA VITA

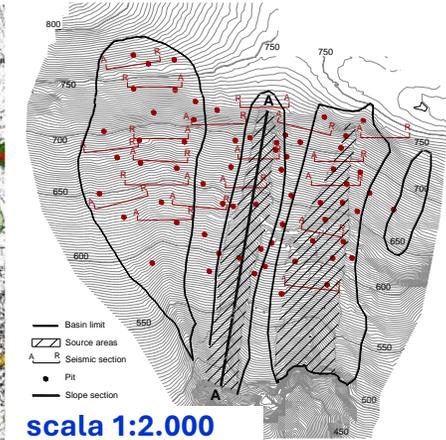
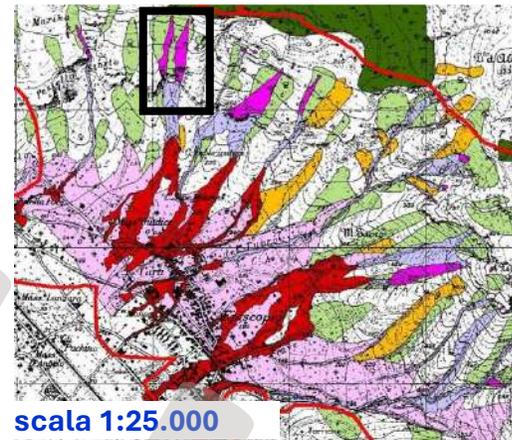
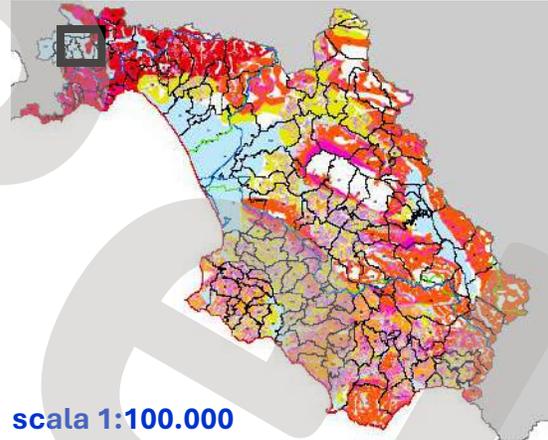
$P_{(L)}$ FREQUENZA DI ACCADIMENTO DEI FENOMENI

$P_{(T:L)}$ PROBABILITÀ CHE IL FENOMENO RAGGIUNGA LA PERSONA MAGGIORMENTE ESPOSTA;

$P_{(S:T)}$ PROBABILITÀ SPAZIO-TEMPORALE DELLA PERSONA MAGGIORMENTE ESPOSTA AL RISCHIO;

$V_{(D:T)}$ VULNERABILITÀ DELLA PERSONA MAGGIORMENTE ESPOSTA

MITIGAZIONE DEL RISCHIO ALLE DIFFERENTI SCALE



AREA VASTA $1: 100,000 \leq \text{SCALA} < 1:25,000$	SCALA MEDIA $1: 25,000 \leq \text{SCALA} < 1:5,000$		SCALA DI DETTAGLIO $\text{SCALA} \geq 1:5,000$	
DIVIETI	SI	SI	SI	} Riduzione di E
PERMESSI/ASSICURAZIONI	SI	SI	SI	
MONITORAGGIO/ALLARME	SI	SI	SI	
PREVENZIONE	NO	NO	SI	Riduzione di P
PROTEZIONE	NO	NO	SI	Riduzione di P

INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

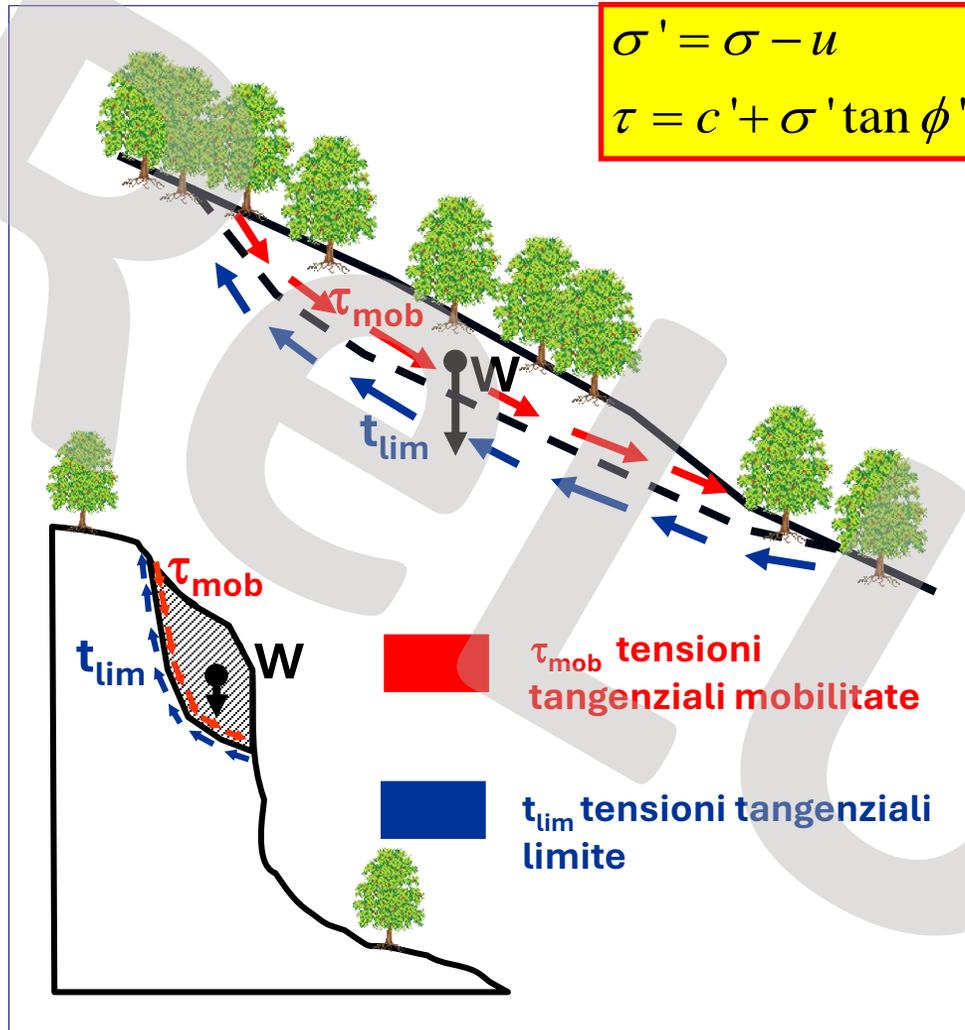
Interventi di prevenzione agiscono riducendo $P_{(L)}$

Interventi di protezione agiscono riducendo $P_{(T:L)}$

Riducono la probabilità di innesco di una frana di assegnata magnitudo mediante la **diminuzione dell'azione instabilizzante e/o l'aumento della resistenza disponibile** lungo assegnate superfici di scorrimento

Riducono la probabilità che una massa in movimento di assegnata intensità investa gli elementi esposti mediante la sua intercettazione, deviazione, contenimento, o in generale **modifica della traiettoria e/o dissipazione dell'energia cinetica.**

SCHEMATIZZAZIONE DEL PROBLEMA



$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

AZIONI INSTABILIZZANTI

$$E = \int_S \tau_{mob}(W, Q, i, kh) ds$$

RESISTENZA LIMITE

$$R = \int_S \tau_{lim}(\sigma', c', \phi') ds$$

MITIGAZIONE

RIDUZIONE AZIONI
INSTABILIZZANTI

INCREMENTO
RESISTENZA
DISPONIBILE

$$R = \int \tau_{lim}(\gamma_D; c'_D, \phi'_D; c_{uD}) \rightarrow \gamma_R = 1,1 \rightarrow R_D = (\int \tau_{lim}) / 1,1 \quad E_D = \int \tau_{mob}(\gamma_D)$$

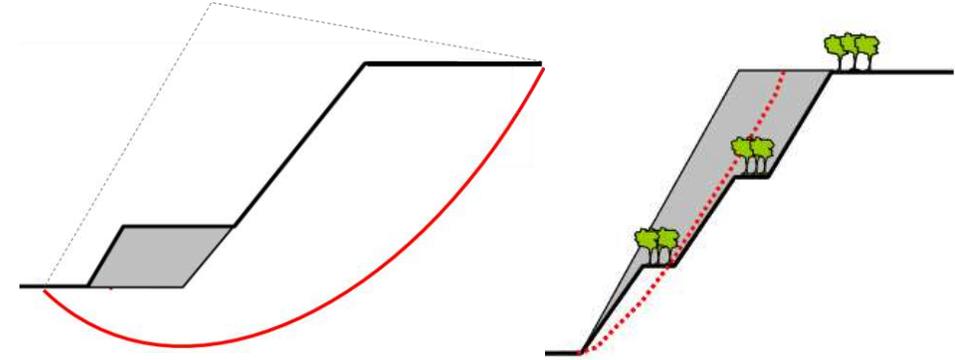
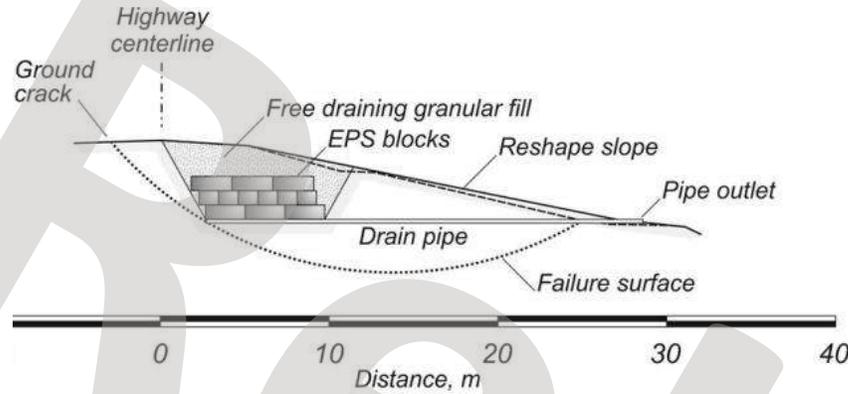
$$R_D \geq E_D$$

$$(R_D / E_D) \geq 1$$

$$F = \int \tau_{lim} / \int \tau_{mob} \geq 1,1$$

INTERVENTI DI PREVENZIONE

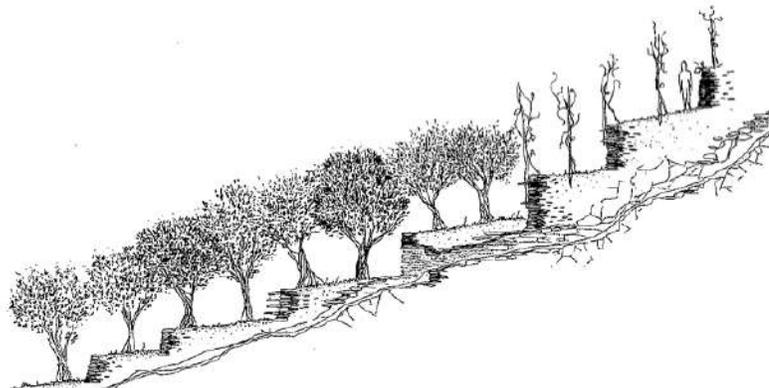
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$



**MODIFICA DEL BILANCIO
TRA AZIONI E
RESISTENZE LUNGO LA
SUPERFICIE DI ROTTURA**

VARIAZIONI DELLA GEOMETRIA E/O RIDISTRIBUZIONE DELLE MASSE

- SCARICO IN TESTA (CON EVENTUALE SOSTITUZIONE CON MATERIALE ALLEGGERITO)
- APPESANTIMENTO AL PIEDE CON O SENZA OPERE DI SOSTEGNO
- RIDUZIONE DELLE PENDENZA MEDIA
- GRADONATURA
- RIMOZIONE SELETTIVA DI MASSE INSTABILI, DISGAGGIO

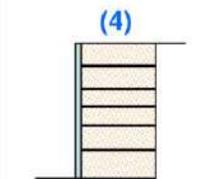
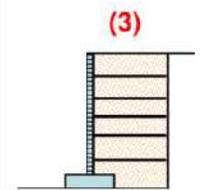
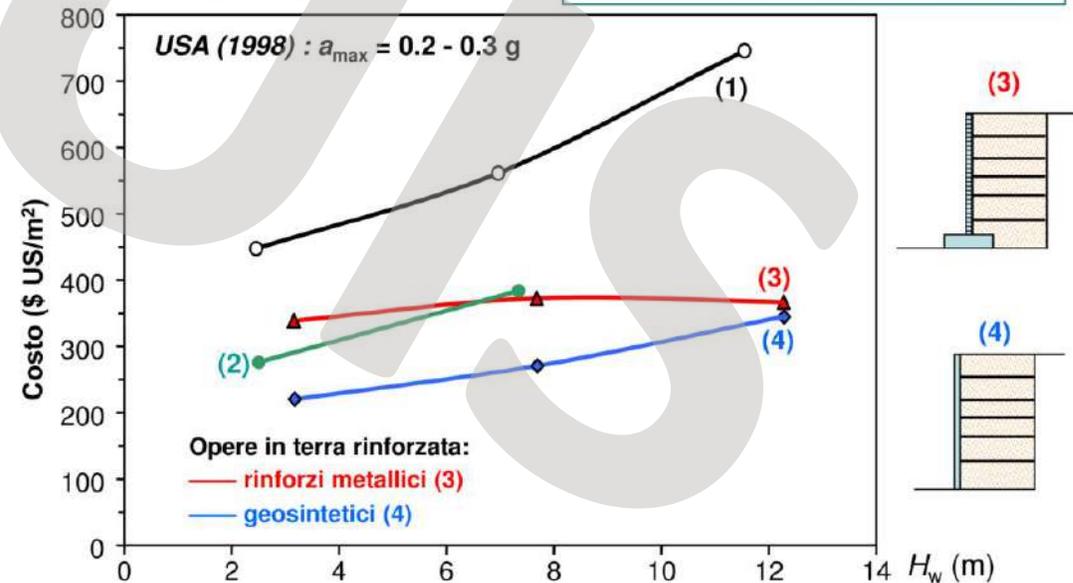
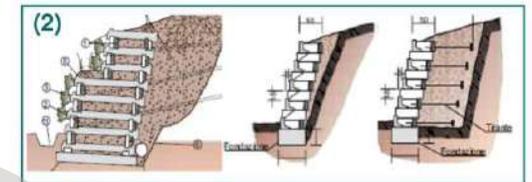
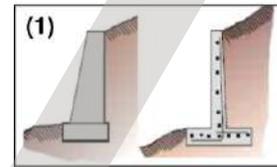


$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

**MODIFICA DEL BILANCIO
TRA AZIONI E RESISTENZE
LUNGO LA SUPERFICIE DI
ROTTURA**

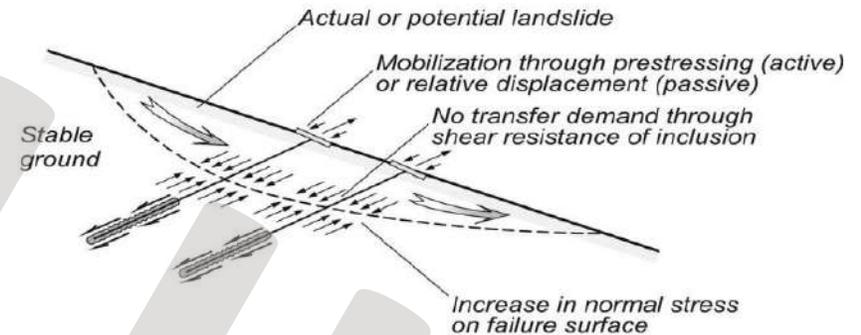
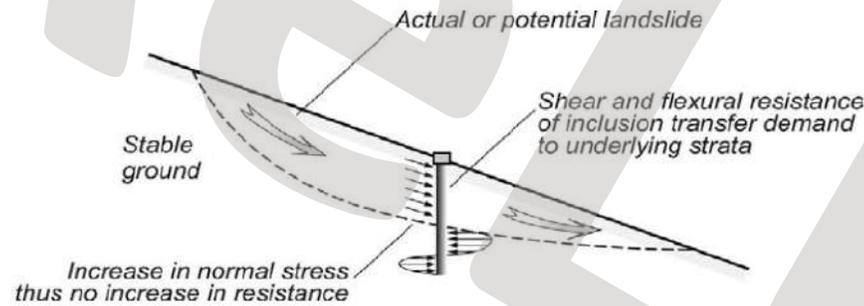
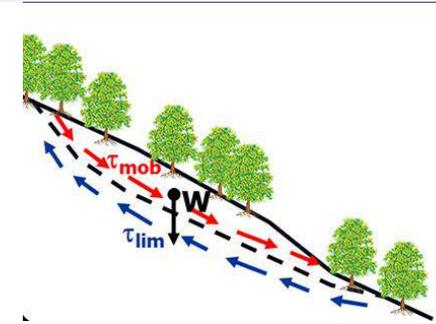
OPERE DI SOSTEGNO:

- TERRE RINFORZATE
- GABBIONI CON O SENZA VEGETAZIONE
- MURI A CATASTA CON O SENZA VEGETAZIONE
- MURI A GRAVITA
- MURI IN C.A.
- GRATE VEGETATE



INTERVENTI DI PREVENZIONE

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$



TRASFERIRE AZIONI STABILIZZANTI DALLE ZONE STABILI A QUELLE POTENZIALMENTE INSTABILI

ELEMENTI STRUTTURALI VERTICALI O SUB-VERTICALI:

- PALI, MICROPALI E DIAFRAMMI (COLLEGATI IN TESTA E SPESSO INTEGRATI CON TIRANTI ATTIVI)
- POZZI STRUTTURALI DI GRANDE DIAMETRO
- TRINCEE O SPERONI IN GHIAIA O CALCESTRUZZO

ANCORAGGI:

- CHIODATURA (TRADIZIONALE O CON AGGIUNTA DI APPARATI RADICALI)
- BULLONATURE, TASSELLI E IMBRACATURE IN ROCCIA
- TIRANTI A TREFOLI

INTERVENTI DI PREVENZIONE

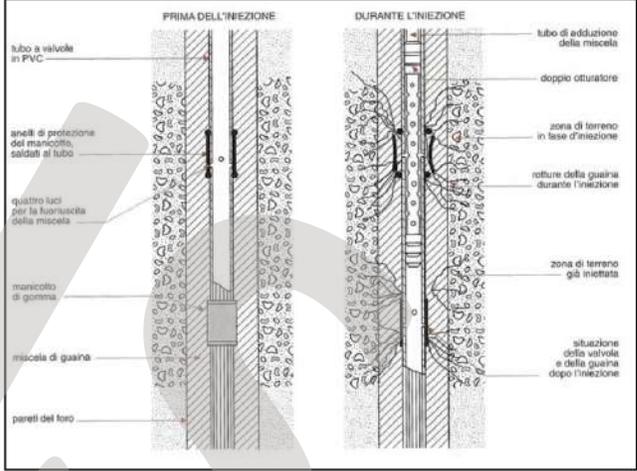
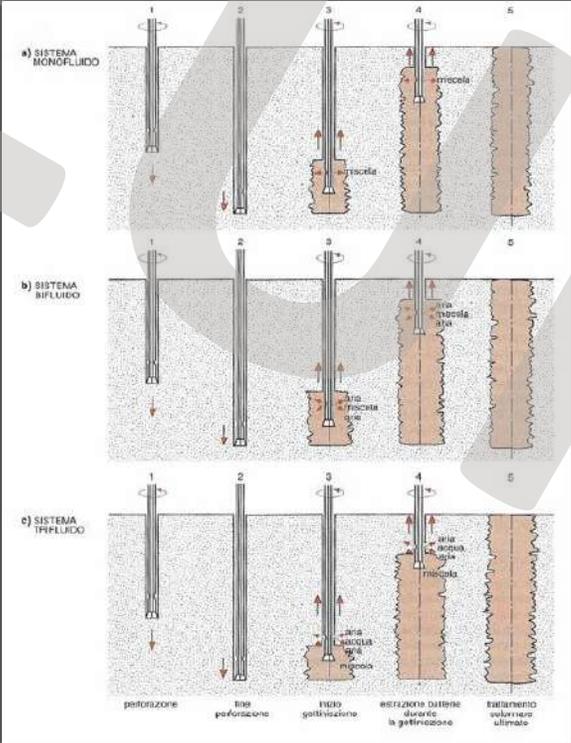
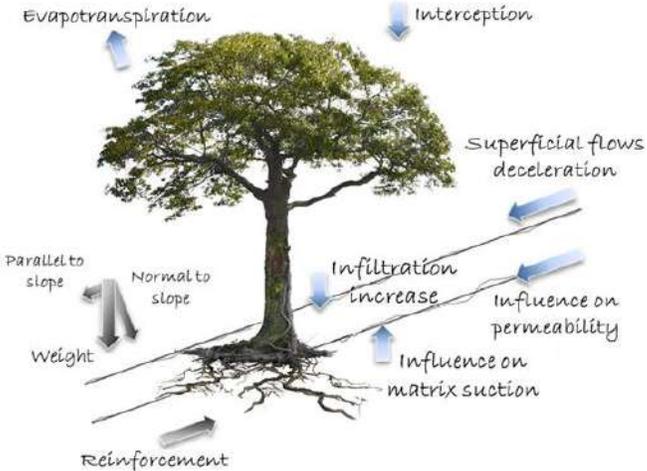
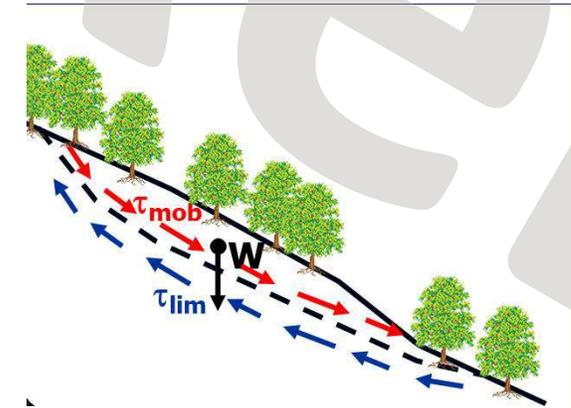
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

INCREMENTO DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DISPONIBILE

- MODIFICA CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MASSA INSTABILE**
- RINFORZO CON APPARATI RADICALI
 - SOSTITUZIONE DELLA MASSA INSTABILE
 - COMPATTAZIONE SUPERFICIALE E PROFONDA
 - MISCELAZIONE PROFONDA CON CALCE E/O CEMENTO
 - JET-GROUTING
 - INIEZIONI PER PERMEAZIONE
 - MODIFICA CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA





INTERVENTI DI PREVENZIONE

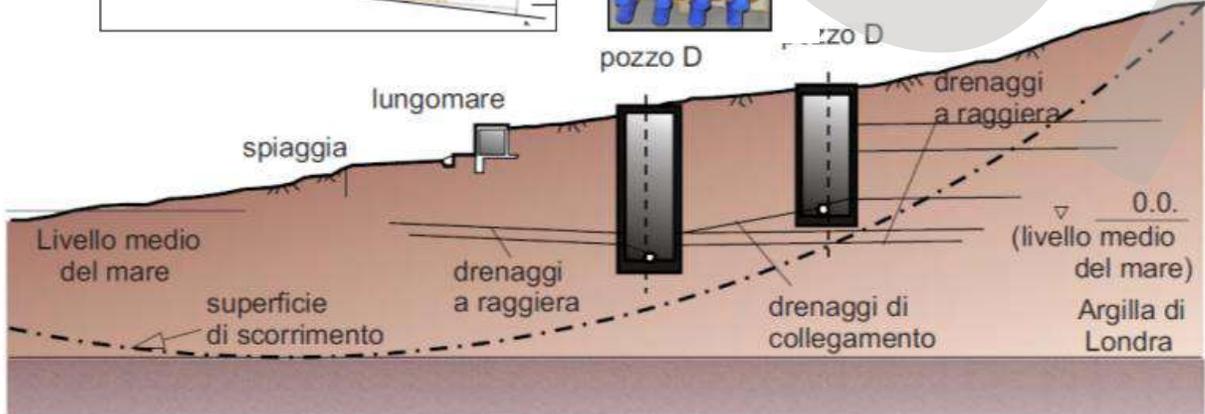
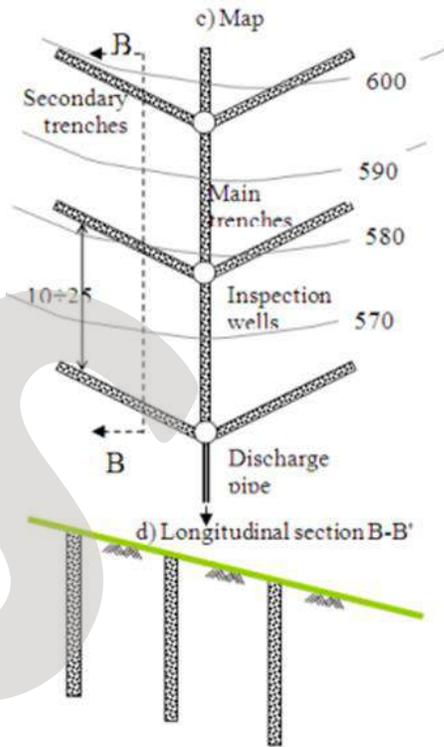
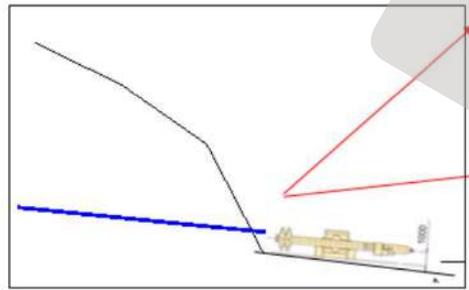
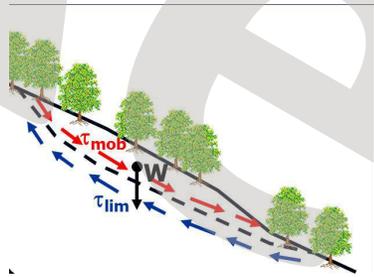
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

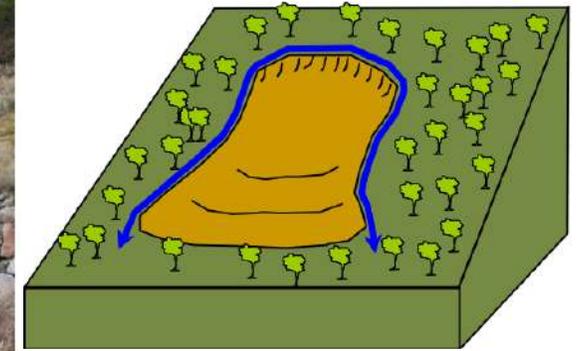
$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

INCREMENTO DELLA RESISTENZA AL TAGLIO DISPONIBILE

- MODIFICA DEL REGIME IDRAULICO SOTTERRANEO (RIDUZIONE DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI)**
- TRINCEE DRENANTI SUPERFICIALI E PROFONDE
 - DRENI SUB-ORIZZONTALI
 - POZZI DI PICCOLO, MEDIO O GRANDE DIAMETRO
 - CASSONI DRENANTI
 - GALLERIE E CUNICOLI DRENANTI



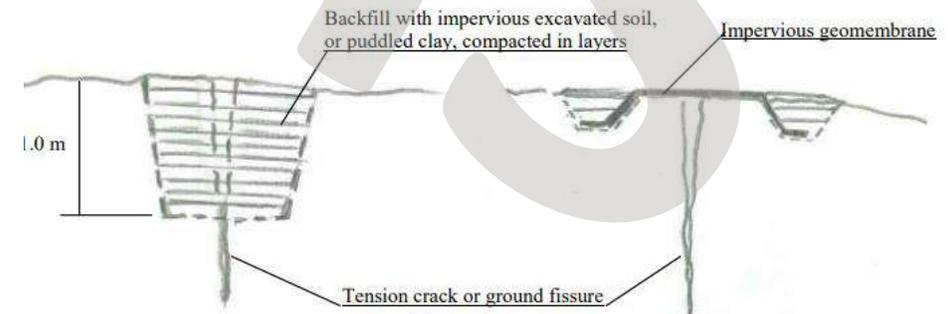
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$



**PREVENZIONE
DELL'EROSIONE E
DELL'INFILTRAZIONE
ACQUE METEORICHE**

MODIFICA DEL REGIME IDRAULICO SUPERFICIALE

- **DRENAGGI SUPERFICIALI** (CANALETTE, FOSSI, TUBAZIONI, FASCI DI RADICI DRENANTI)
- **SIGILLATURA DELLE FESSURE DI TRAZIONE**
- **IMPERMEABILIZZAZIONE** (GEOMEMBRANE, FACCIATE IMPERMEABILI)
- **COPERTURA VEGETALE**
- **CANALI E BRIGLIE**
- **DEVIAZIONE DEI CORSI D'ACQUA DAL PIEDE DEL VERSANTE**



INTERVENTI DI PREVENZIONE

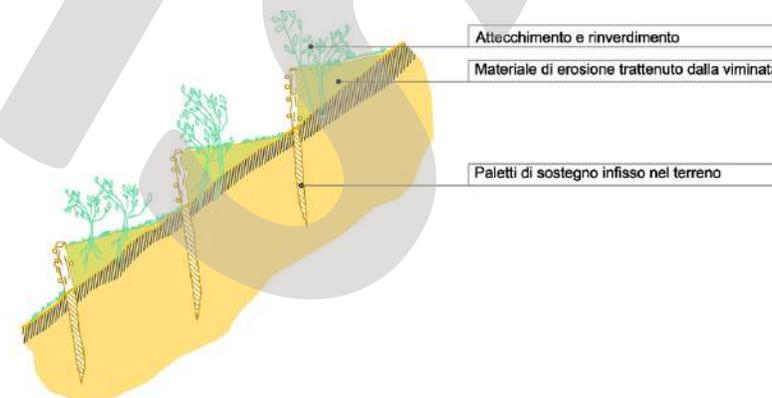
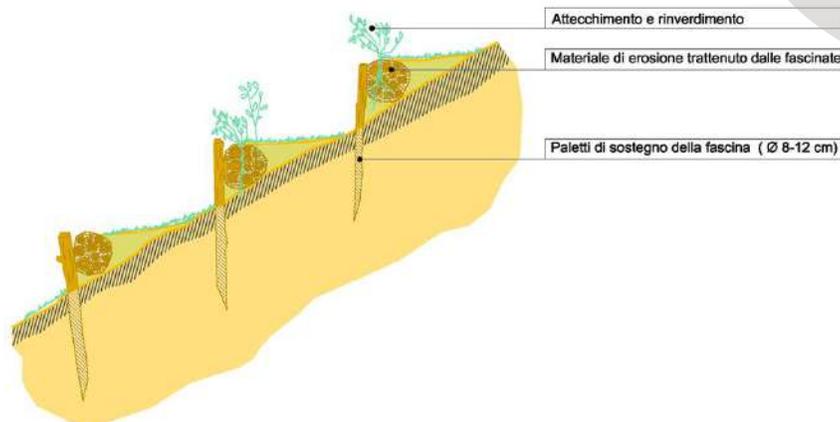
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$



IMPEDIRE L'EROSIONE DELLE PARTICELLE SOLIDE AD OPERA DI AGENTI ESTERNI (VENTO, ACQUA, GHIACCIO, ANIMALI E PERSONE)

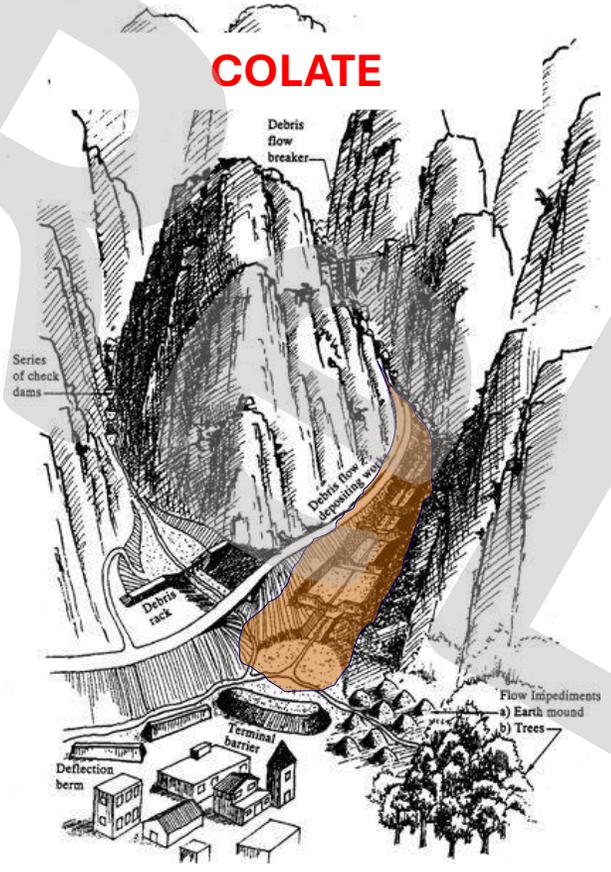
DIFESA DALL'EROSIONE

- **VEGETAZIONE (IDROSEMINA, COPERTURA CON ZOLLE ERBOSE, PIANTUMAZIONI CON ARBUSTI E/O ALBERI)**
- **FASCINATE, VIMINATE, PALIZZATE**
- **MATERASSINI IN FIBRE NATURALI**
- **GEOSINTETICI**
- **SOSTITUZIONE, COPERTURE DRENANTI**
- **SIGILLATURA DELLE FESSURE**
- **RIVESTIMENTO CON SPRITZ BETON O SIMILARI**



INTERVENTI DI PROTEZIONE

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$



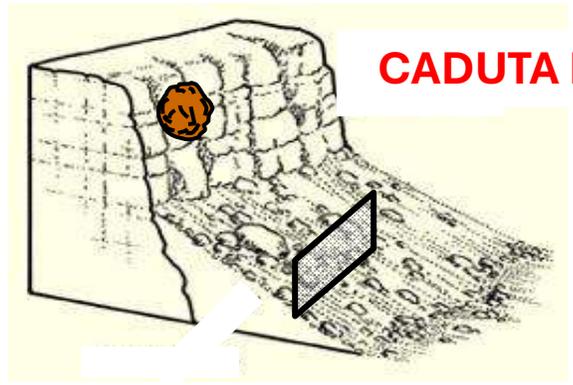
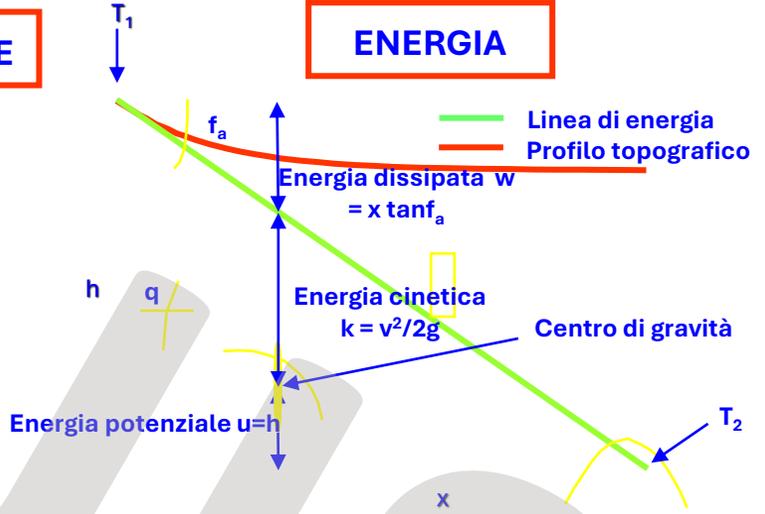
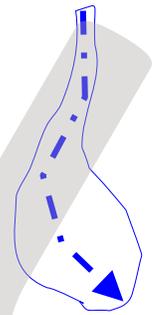
COLATE

CONTROLLO DELLA DIREZIONE

DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA CINETICA

DIREZIONE

ENERGIA



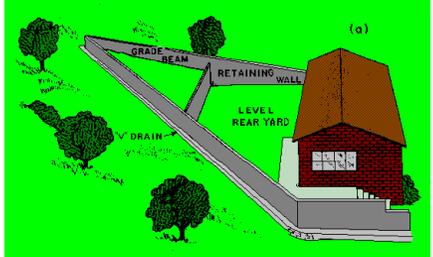
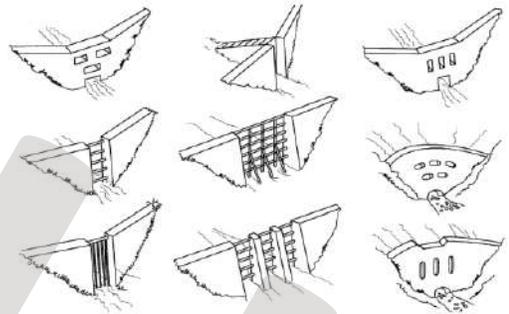
CADUTA MASSI

INTERVENTI DI PROTEZIONE - COLATE

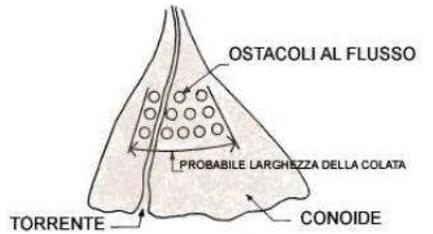
$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

CONTROLLO DELLA DIREZIONE

**OPERE DI DEVIAZIONE
BARRIERE LATERALI, DEFLETTENTI**



VISTA DALL'ALTO



VISTA DI LATO



DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA CINETICA

**OPERE DI DISSIPAZIONE
GRIGLIE E RETI PERMEABILI
OSTACOLI
BRIGLIE
BARRIERE FRONTALI
AREE DI DEPOSITO**



INTERVENTI DI PROTEZIONE – CADUTA MASSI

GUIDARE LA CADUTA DEI MASSI

**RETI A CORTINA
GALLERIE ARTIFICIALI**

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

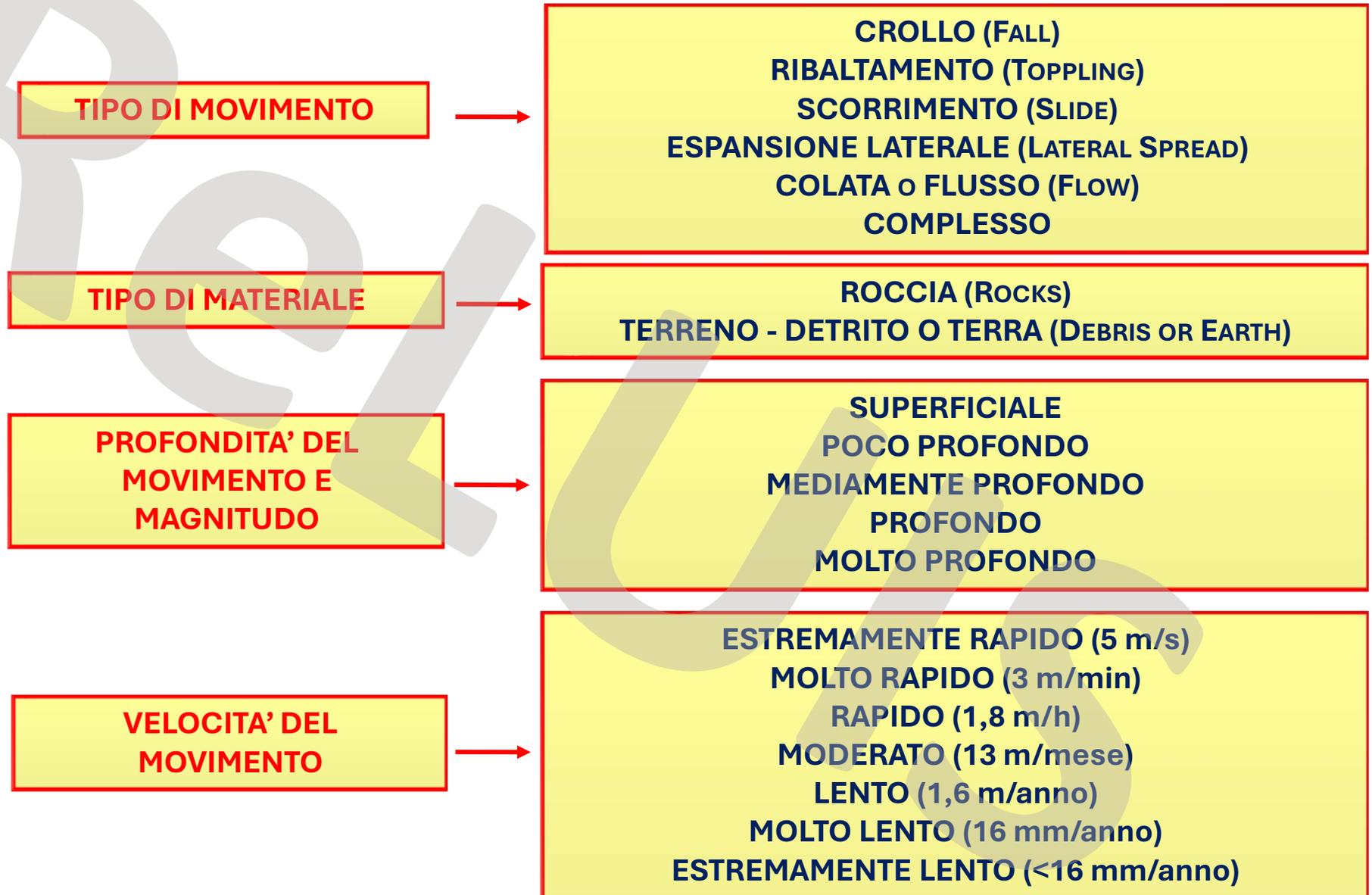


**DISSIPAZIONE
DELL'ENERGIA
CINETICA**

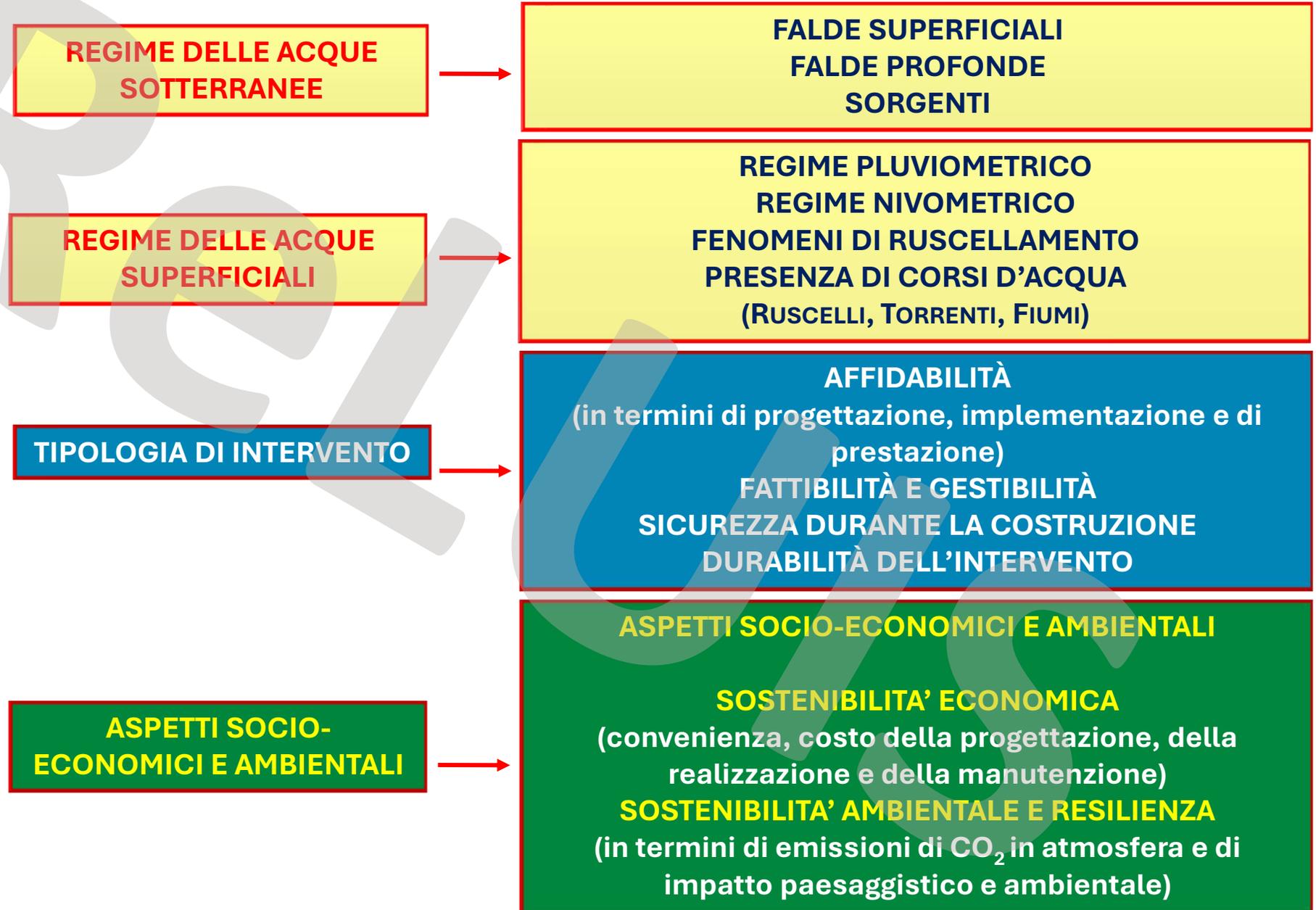
**VEGETAZIONE CON FUNZIONE DI BARRIERA
RILEVATI E VALLI PARAMASSI
BARRIERE PARAMASSI A RETE O RIGIDE
GALLERIE PARAMASSI**



SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI INTERVENTO



SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI INTERVENTO



INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE

RIDUZIONE DEL NUMERO E/O DEL VALORE DEGLI ELEMENTI ESPOSTI AL RISCHIO

$$R = P D = P E V$$

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

- RICONVERSIONE DI INSEDIAMENTI ESISTENTI IN USI COMPATIBILI CON IL LIVELLO DI RISCHIO ESISTENTE;
- RIDUZIONE DEL VALORE SPECIFICO DI UN BENE LIMITANDONE GLI USI CONSENTITI. Per esempio, introducendo l'obbligo di dare pubblicità della pericolosità dell'area nelle trattative immobiliari, anche se in tal modo si riduce il valore commerciale del bene e non necessariamente l'esposizione;
- **MONITORAGGIO, SISTEMI DI ALLERTA E PIANI DI EMERGENZA che individuano e gestiscono le fasi parossistiche delle frane allertando e delocalizzando temporaneamente la popolazione;**
- **DELOCALIZZAZIONE PERMANENTE** in aree idonee degli elementi esposti al rischio;
- **PIANIFICAZIONE VIRTUOSA DI LUNGO TERMINE** che **limita l'urbanizzazione di aree con determinati livelli di pericolo**, anche attraverso un sistema di incentivi e disincentivi, campagne di sensibilizzazione e coperture assicurative obbligatorie con premi commisurati al livello di pericolosità dell'area.

INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DELL'ESPOSIZIONE

SISTEMI DI ALLERTA PER IL RISCHIO DA FRANA (LEWS)

Insieme di processi necessari per generare e **diffondere tempestivamente informazioni di allertamento corrette alla popolazione, alla comunità e alle organizzazioni esposte al fine di consentire loro di agire in modo appropriato e in tempo utile** in aree caratterizzate da un livello di pericolosità da frana intollerabile.



ELEMENTI CHIAVE DEI SISTEMI DI ALLERTA



SISTEMA DI ALLERTA E PERCEZIONE DEL RISCHIO

PERCEZIONE DEL RISCHIO

Strategie di comunicazione e educazione al rischio

Coinvolgimento della comunità (**resilienza della comunità a rischio**)

Piano di emergenza (**resilienza della comunità a rischio**)

SISTEMA DI ALLERTA

DIFFUSIONE DELL'ALLERTA

COMUNICAZIONE E EDUCAZIONE

COINVOLGIMENTO DELLA COMUNITÀ

PIANO DI EMERGENZA

MODELLO DI ALLERTA

CRITERI DI ALLERTA

EVENTO DI ALLERTA

MODELLO DI FRANA

CONDIZIONI METEOROLOGICHE

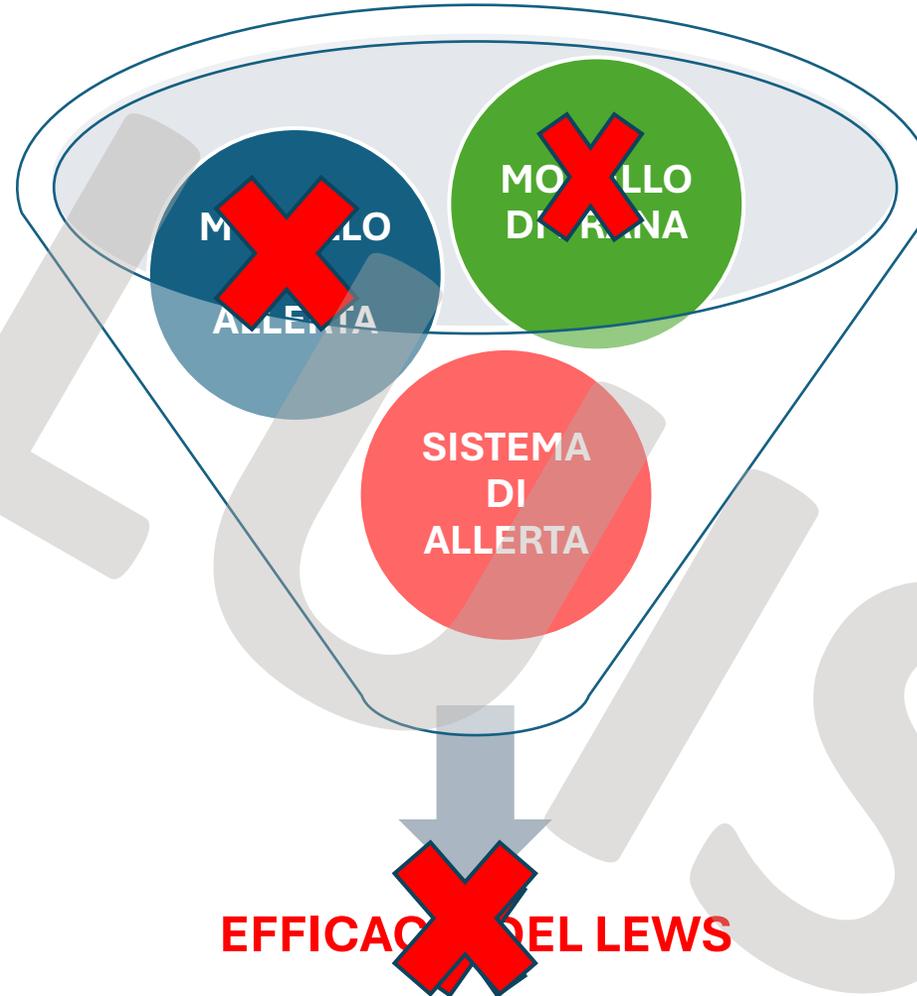
MONITORAGGIO

EVENTO DI FRANA

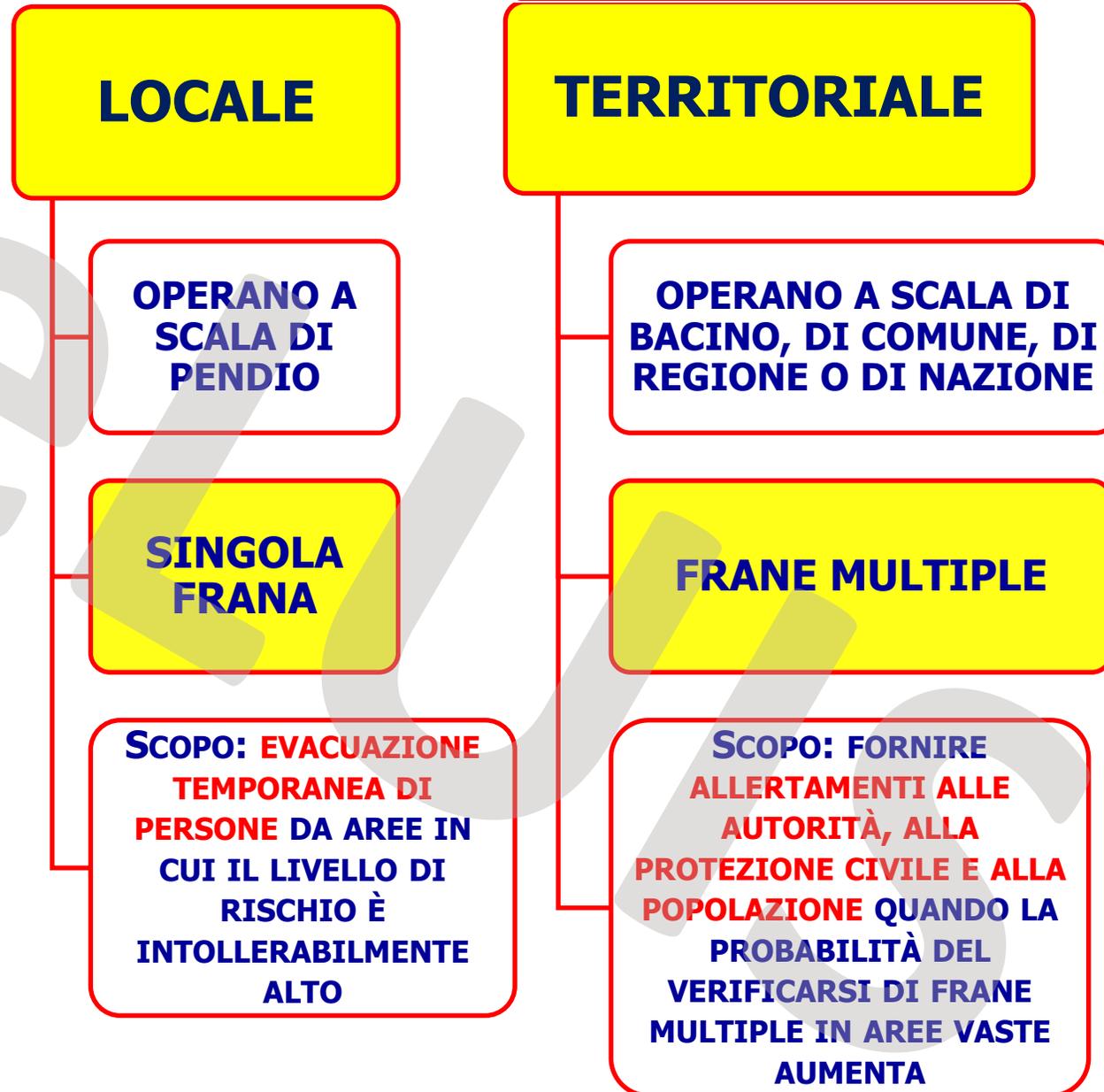
GEO-CARATTERIZZAZIONE

COMPONENTI DI UN SISTEMA DI ALLERTA (LEWS)

TUTTE E TRE COMPONENTI ESSENZIALI



SCALE DEI SISTEMI DI ALLERTA PER IL RISCHIO DA FRANA

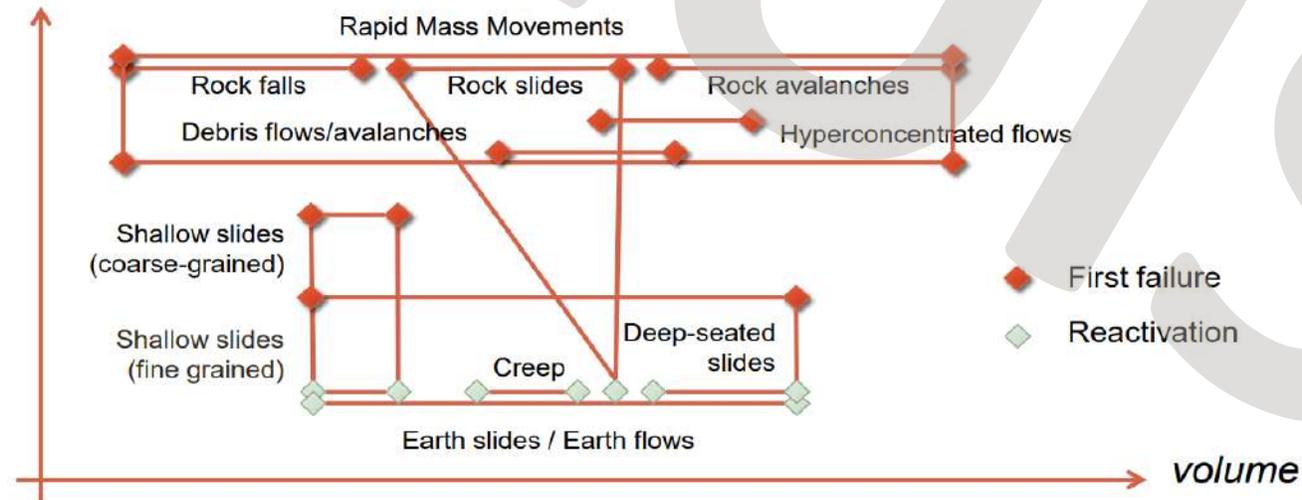


MONITORAGGIO DELLE FRANE FINALIZZATO ALL'ALLERTA

 <p>SCELTA FUNZIONE DI</p>	<p>CARATTERISTICHE DELLA FRANA</p>	<p>TIPO DI FRANA E DI MATERIALE</p>
		<p>FASE DI ATTIVITÀ</p>
		<p>VELOCITÀ</p>
		<p>VOLUME</p>
	<p>CARATTERISTICHE DELLA STRUMENTAZIONE</p>	<p>FACILITÀ IMPLEMENTAZIONE</p>
		<p>ROBUSTEZZA</p>
		<p>PRECISIONE E ACCURATEZZA</p>
		<p>COSTI (INSTALLAZIONE, MANTENIMENTO, LETTURE, RIPARAZIONE)</p>
	<p>SCALA OPERATIVA</p>	<p>LOCALE</p>
		<p>TERRITORIALE</p>

CLASSE	DESCRIZIONE	DANNI ATTESI	VELOCITÀ TIPICA	VELOCITÀ (m/s)
7	Estremamente rapido	Catastrofe di eccezionale violenza; edifici distrutti dall'impatto con la massa spostata; molte vittime; fuga impossibile.	5 m/sec	5
6	Molto rapido	Perdita di alcune vite umane; velocità così elevata da non consentire l'evacuazione.	3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$
5	Rapido	Evacuazione possibile; distruzione di strutture, possedimenti e attrezzature.	1,8 m/ora	$5 \cdot 10^{-4}$
4	Moderato	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere temporaneamente mantenute.	13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Lento	Possibilità di intraprendere lavori di ripristino/rinforzo durante il movimento; le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di manutenzione se lo spostamento cumulato durante una fase di accelerazione non è eccessivo.	1,6 m/anno	$5 \cdot 10^{-8}$
2	Molto lento	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$
1	Estremamente lento	Impercettibile senza strumentazione di monitoraggio; è possibile costruire con le dovute precauzioni.	< 16 mm/anno	$< 5 \cdot 10^{-10}$

velocity



TIPO DI FRANA E DI MATERIALE

FASE DI ATTIVITÀ

VELOCITÀ

VOLUME

volume

MONITORAGGIO DELLE FRANE FINALIZZATO ALL'ALLERTAMENTO



PARAMETRI CLIMATICI



PIOGGIA
TEMPERATURA E UMIDITÀ
VENTO
NEVE

ACQUE SOTTERRANEE



PRESSIONI INTERSTIZIALI
SUZIONI
CONTENUTO D'ACQUA DEL TERRENO
QUALITÀ DELL'ACQUA

TERRENO/ROCCIA



SPOSTAMENTI SUPERFICIALI
SPOSTAMENTI PROFONDI
DEFORMAZIONI
SPOSTAMENTI TRA LE DUE FACCE DELLE FRATTURE
MICROSISMICITÀ
EMISSIONI ACUSTICHE

**LA DETTAGLIATA CONOSCENZA DEL FENOMENO È FONDAMENTALE
PER IL CORRETTO POSIZIONAMENTO DELLA STRUMENTAZIONE DI
MONITORAGGIO**



PERSONE

LEWS

GESTORI

RICERCATORI

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

INTERVENTI CHE INCREMENTANO LA RESISTENZA STRUTTURALE

- **elementi singoli** che possono subire impatti puntuali o essere investiti da colate **UTILIZZABILI SOLO IN PRESENZA DI FRANE DI LIMITATA MAGNITUDO**,
- **elementi ubicati all'interno del corpo** di frane a cinematica lenta,
- elementi che **attraversano** o sono ubicati in **prossimità del perimetro del corpo di frana**;

LADDOVE GLI SPOSTAMENTI DIFFERENZIALI SONO INGENTI RISULTA IN GENERE POCO PRATICABILE REALIZZARE INTERVENTI DI RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ!

INTERVENTI CHE INCREMENTANO LA TOLLERANZA AGLI SPOSTAMENTI ED ALLE DEFORMAZIONI

PER FRANE A CINEMATICA LENTA:

- **travi di collegamento tra plinti di fondazione**;
- **fondazioni su solettoni continui**;
- **fondazioni su pali**, dimensionati per tenere conto di movimenti e sollecitazioni trasversali del terreno e non solo dei carichi imposti dalle sovrastrutture;
- **fondazioni a “pozzo”**, immorsate oltre la superficie di base del movimento e dimensionate per tenere conto di movimenti e sollecitazioni trasversali del terreno e non solo dei carichi imposti dalle sovrastrutture.

Per ridurre la vulnerabilità di INFRASTRUTTURE A RETE una possibile strategia è quella di AUMENTARE LA RIDONDANZA DEL SISTEMA.