



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica



AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE
Region Autonome
Valle d'Aoste
Regione Autonoma
Valle d'Aosta

PROVINCIA AUTONOMA
DI TRENTO
Regione Autonoma
Friuli Venezia Giulia



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



I
CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

I
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI



ISPRRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

Analisi quantitativa del rischio per frane a cinematica da lenta a moderata: esempio di caso applicativo per l'interazione con condotte gas a scala territoriale

Ing. Marco Zei¹, Prof. Ing. Marco Uzielli^{1,2}

¹Georisk Engineering Srl

²Università degli Studi di Firenze

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

16 maggio 2025 – Aula magna CNR, Piazzale Aldo Moro 7 - Roma

Indice dei contenuti

Definizione del contesto:	<i>principali problematiche legate al dissesto per reti gas il Rischio e le sue componenti dati di input per l'analisi individuazione dell'unità spaziale di analisi il software LARA – Landslides-infrastructures Adaptive Risk Analysis</i>
Modello di Pericolosità:	<i>utilizzo del dato interferometrico calcolo della velocità per cella unitaria</i>
Modello di Vulnerabilità:	<i>interazione terreno–condotta e FS</i>
Stima del Rischio:	<i>schema trasversale e longitudinale casistica e confronto con le rotture osservate i numeri dell'analisi svolta con LARA</i>
Conclusioni:	<i>lessons learned</i>

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Definizione del contesto: *principali problematiche legate al dissesto per reti gas*

Principali problematiche per infrastrutture lineari interrate legate a fenomeni di dissesto:

- reti diffuse e molto estese territorialmente, spesso in aree remote e non facilmente ispezionabili
- risorse limitate rispetto all'estensione complessiva della rete
- mancanza di strumenti quantitativi per la gestione



Analisi quantitativa del rischio come strumento per:

- il supporto alla gestione delle risorse per interventi di manutenzione della rete
- individuazione delle criticità e prioritizzazione degli interventi
- la valutazione di scenari futuri e pianificazione strategica

Tutte le immagini riportate derivanti dalle elaborazioni, le analisi dei risultati e le mappe riportanti il rischio *sono state redatte a scopo illustrativo e non rappresentano la realtà fisica della rete e dei luoghi*

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Definizione del contesto: *il Rischio e le sue componenti*

(in conformità con le ISO 31000:2018)

$$R = H \cdot V \cdot E$$

Pericolosità:
probabilità di osservare un **moto gravitativo** definito da una **velocità caratteristica longitudinale** e una velocità caratteristica **trasversale**

calcolo degli **spostamenti** del terreno a partire dalle velocità osservate sulla superficie

Vulnerabilità:
il grado atteso di raggiungimento di un valore **limite di deformazione** per effetto dell'interazione con il movimento gravitativo definito per la pericolosità

calcolo delle **deformazioni** indotte nella condotta dagli spostamenti del terreno

Esposizione:
consistenza (numero, valore, ecc.) nella quale gli elementi a rischio sono esposti al pericolo di intensità H

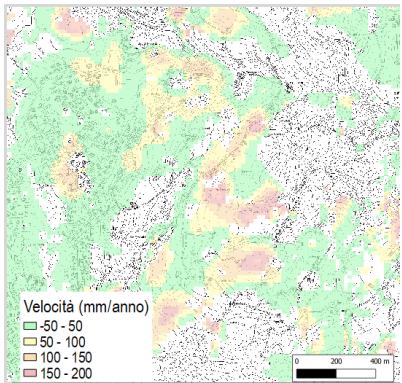
determina la **dimensione del rischio** ed è definita dal proprietario del rischio

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Definizione del contesto: *dati di input per l'analisi*

Pericolosità

- dati Interferometrici



Esposizione

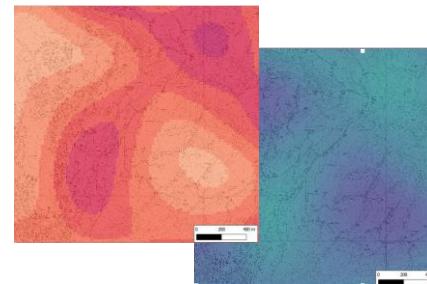
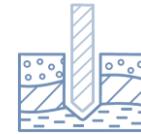
- specifica per gli obiettivi del gestore e dell'infrastruttura



Vulnerabilità

Parametri geomeccanici
e geomorfologici

- pendenza
- esposizione
- peso di volume
- coesione
- angolo di attrito



Parametri dell'infrastruttura

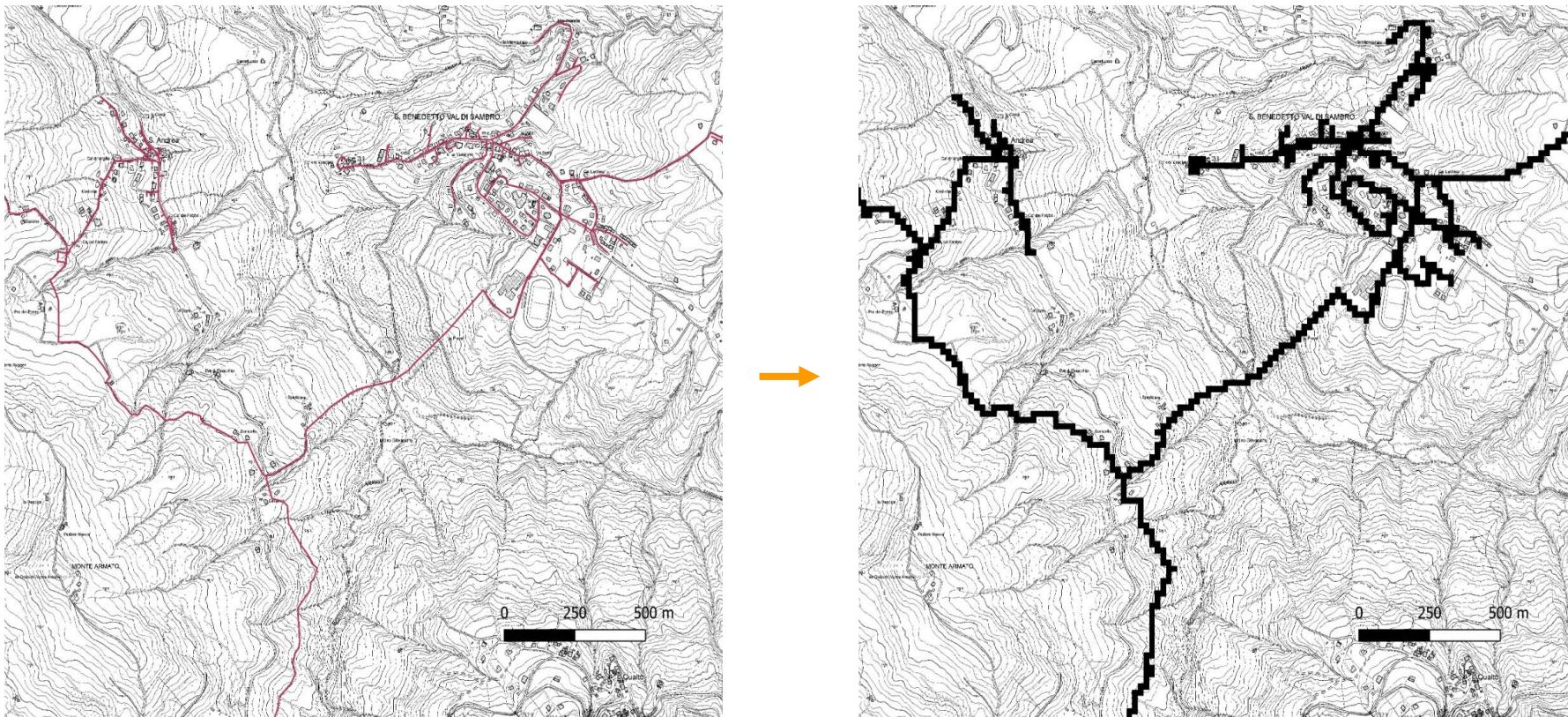
- localizzazione
- estensione
- materiale
- dati operativi



27 parametri

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Definizione del contesto: individuazione dell'unità spaziale di analisi



celle di dimensione 20m x 20m e 'rasterizzazione' delle informazioni definite per cella unitaria

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

16 maggio 2025 – Aula magna CNR, Piazzale Aldo Moro 7 - Roma

Definizione del contesto: *il software LARA – Landslides-infrastructures Adaptive Risk Analysis*

(LARA è un software sviluppato e registrato da Georisk Engineering Srl)

Metodo di analisi

$$R = H \cdot V \cdot E$$

Linguaggio di programmazione



Visualizzazione dei risultati

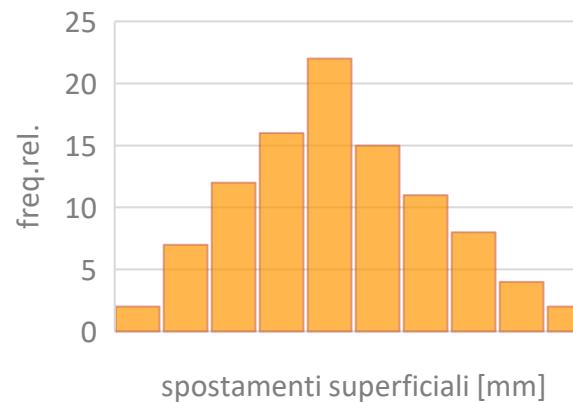
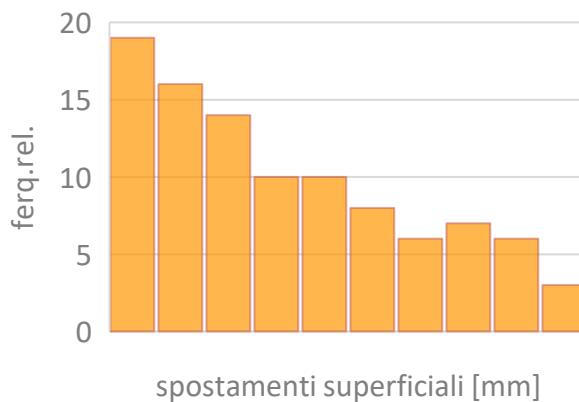
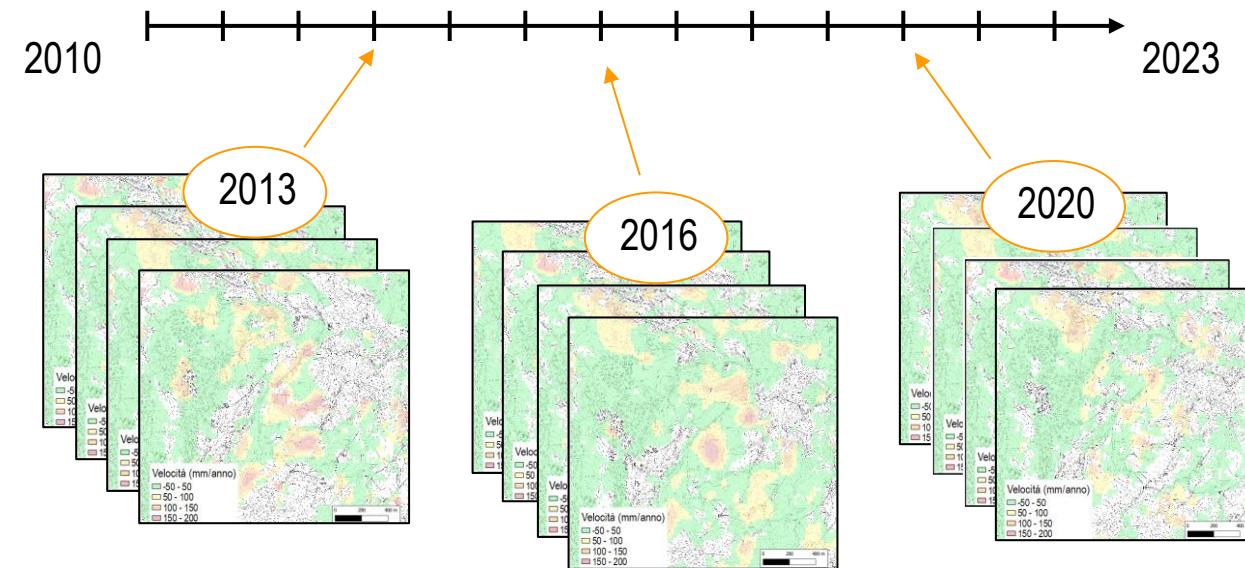


Il software LARA è stato implementato e integrato nel sistema di gestione cloud di INRETE Distribuzione Energia S.p.A. (società costituita da Hera S.p.A.) all'interno del progetto C.L.A.P.I. (Controlling LAndslide - Pipeline Interaction) volto all'ottimizzazione della manutenzione e gestione della rete di distribuzione gas sull'appennino tosco-emiliano.



Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Modello di Pericolosità: utilizzo del dato interferometrico



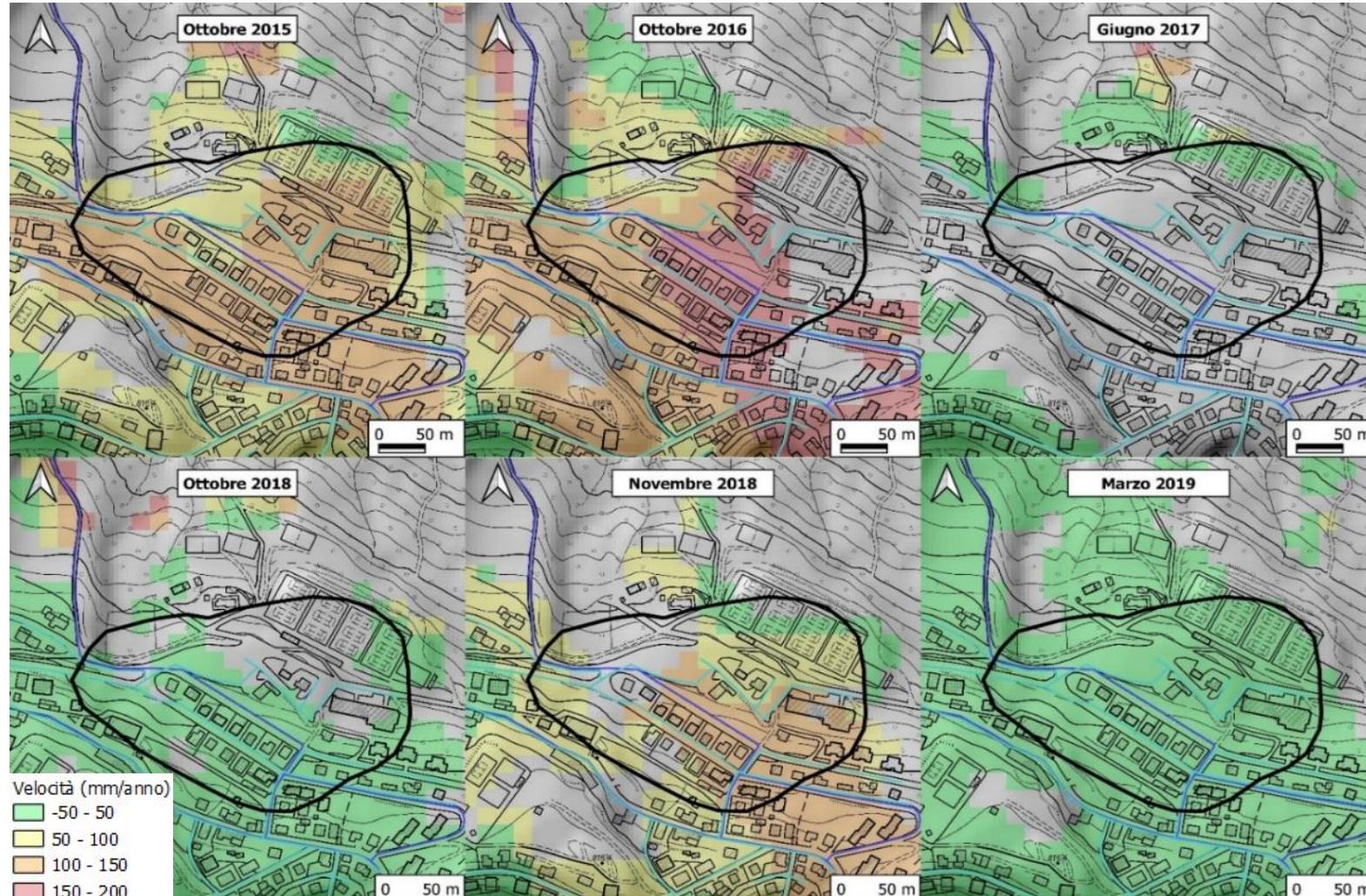
Costituzione di un database di dati satellitari in evoluzione e accrescimento **nel tempo** per la determinazione delle velocità superficiali (ν) convertite successivamente in **spostamenti superficiali (δ)**

Variabilità della pericolosità
(probabilità frequentista di osservazione di spostamenti)

$$H = P(\delta)$$

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

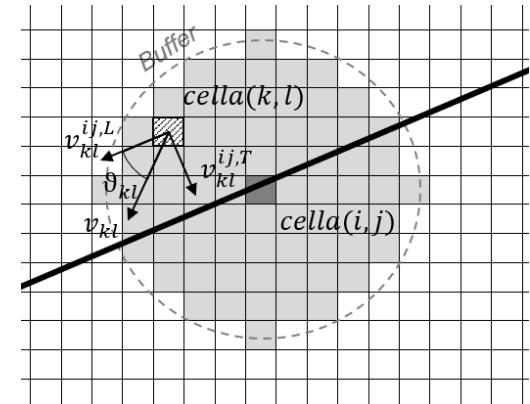
Modello di Pericolosità: calcolo della velocità per cella unitaria



$$\tilde{v}_{kl}^{L,ij} = v_{kl}^{L,ij} \cdot \frac{1}{(d_{kl}^{ij})^2}$$

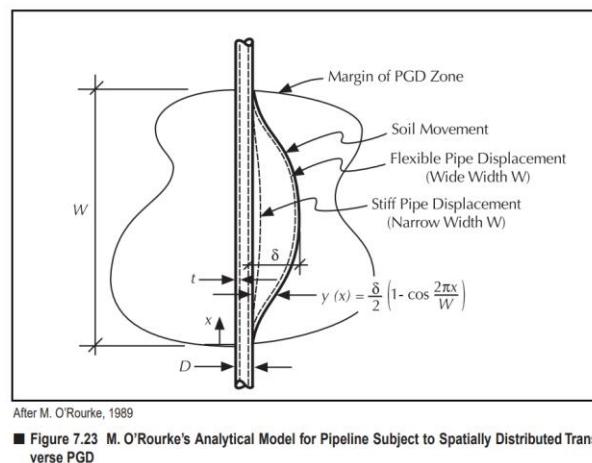
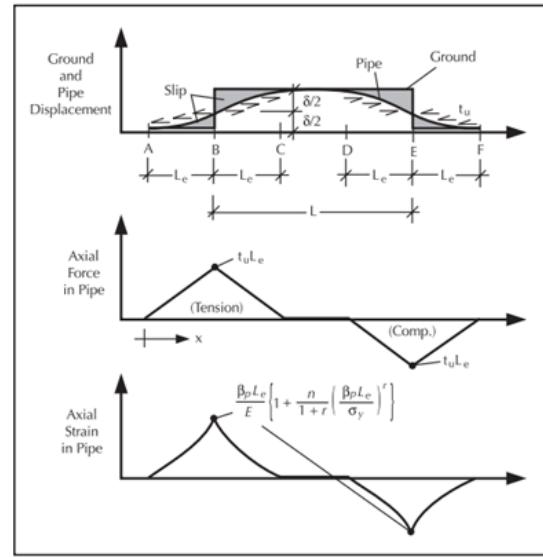
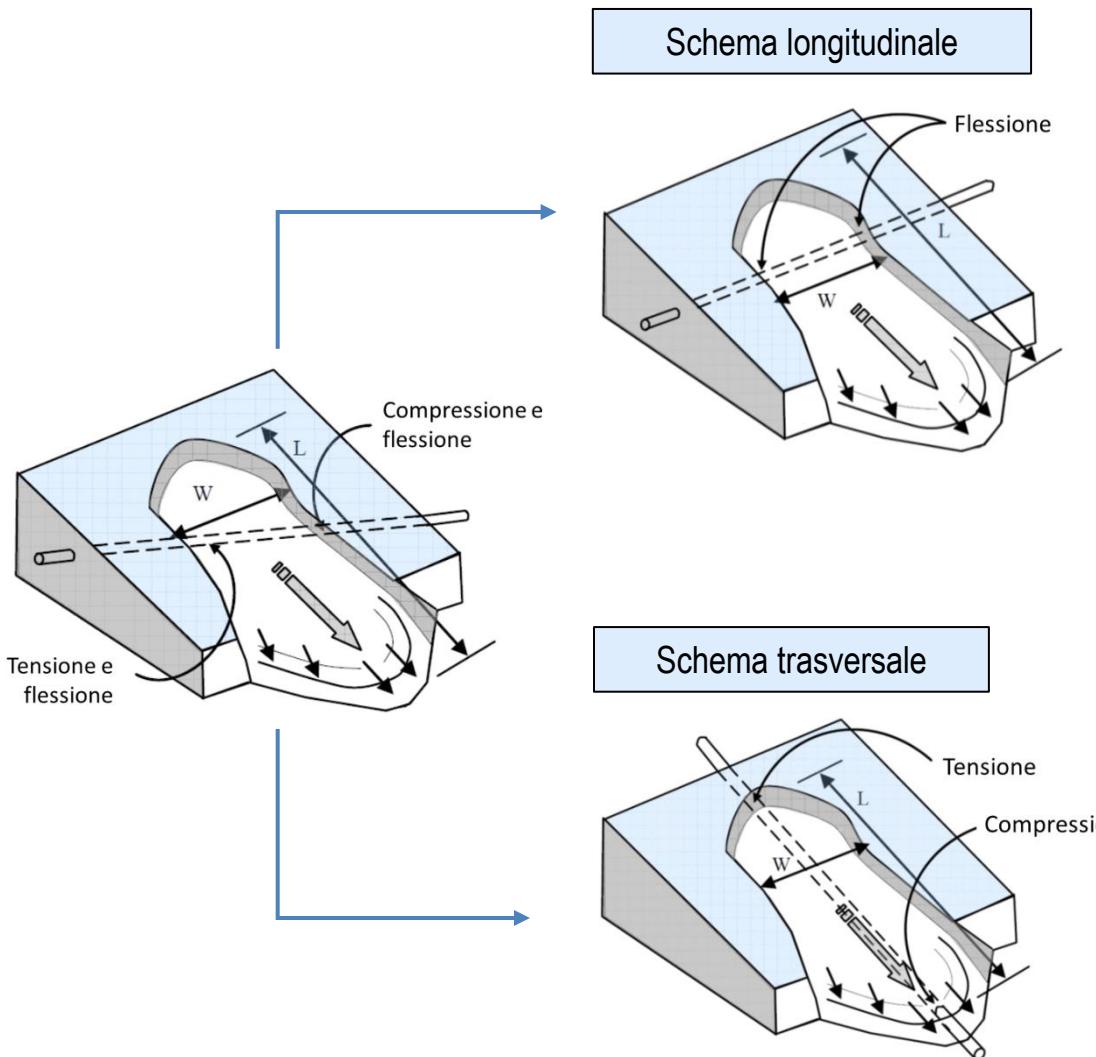
$$\tilde{v}_{kl}^{T,ij} = v_{kl}^{T,ij} \cdot \frac{1}{(d_{kl}^{ij})^2}$$

Schema della scomposizione vettoriale



Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

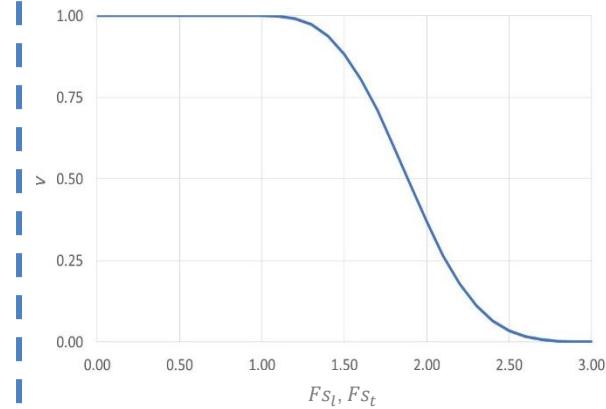
Modello di Vulnerabilità: interazione terreno–condotta e Fattore di Sicurezza



$$FS_l = \frac{\varepsilon_{allowable}}{\varepsilon(x)}$$

$$FS_t = \frac{\varepsilon_{allowable}}{\varepsilon_b}$$

Rappresentazione della funzione di vulnerabilità in funzione di FS



Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Stima del Rischio: schema trasversale e longitudinale

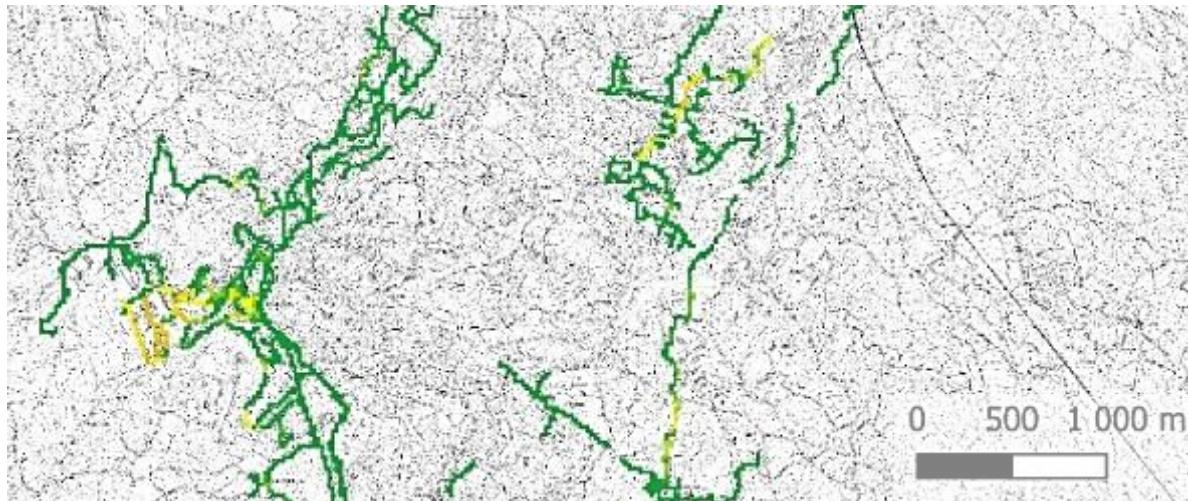
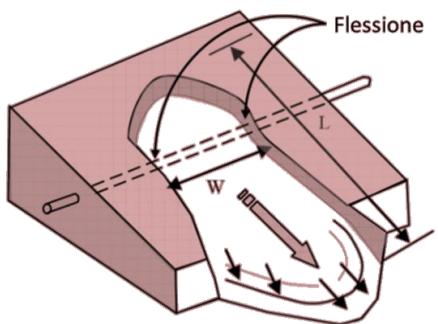


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

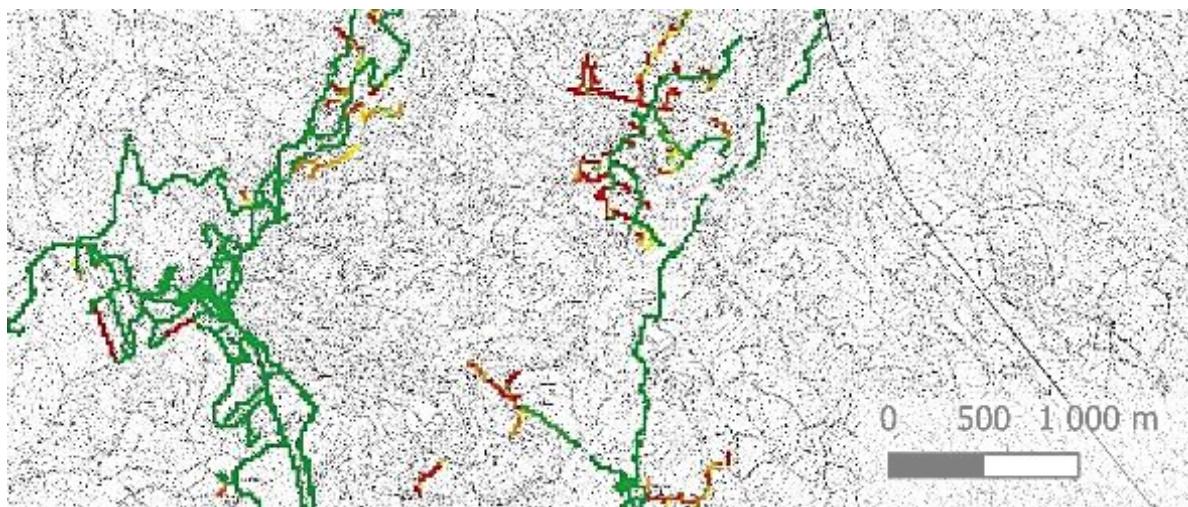
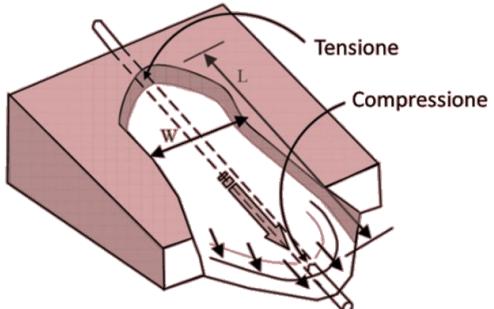
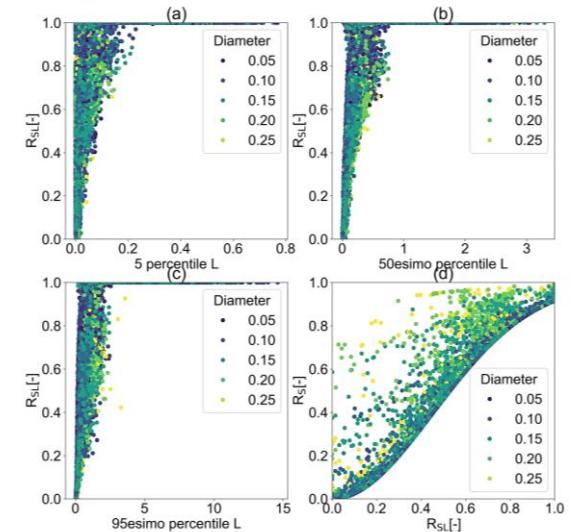
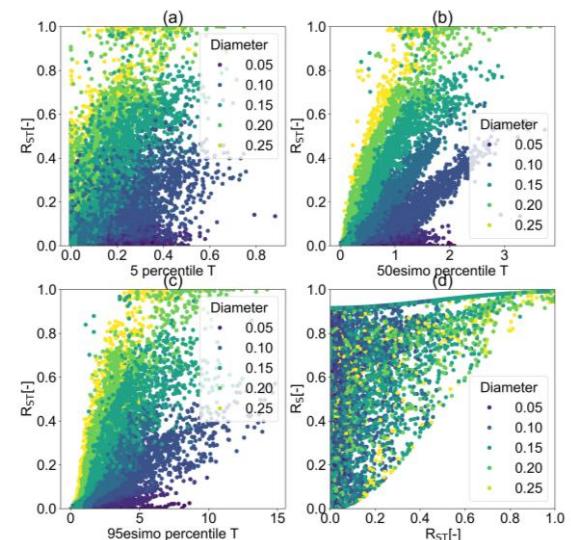


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi



Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Stima del Rischio: casistica e confronto con le rotture osservate

a)

Segnalazione di **rottura** della condotta e valori di **rischio elevato** dalla modellazione

b)

Segnalazione di **rottura** della condotta e valori di **rischio basso** dalla modellazione

c)

Segnalazione di **rottura** della condotta e **assenza di dati** per la modellazione

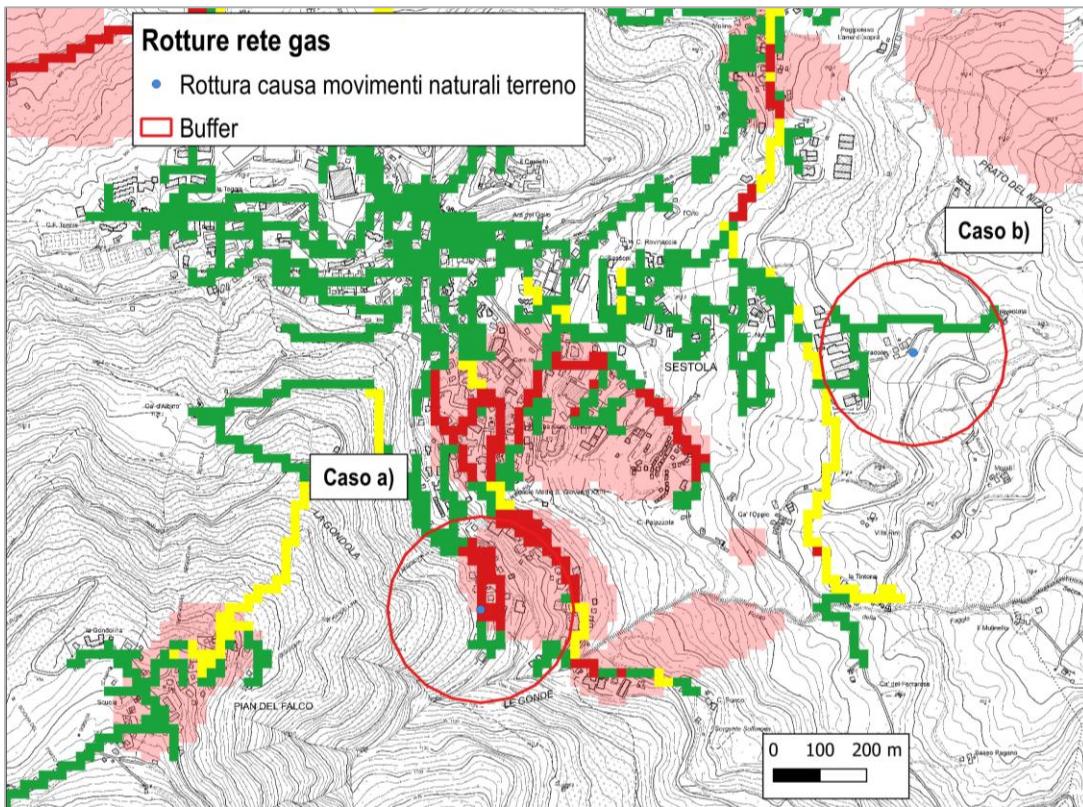


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

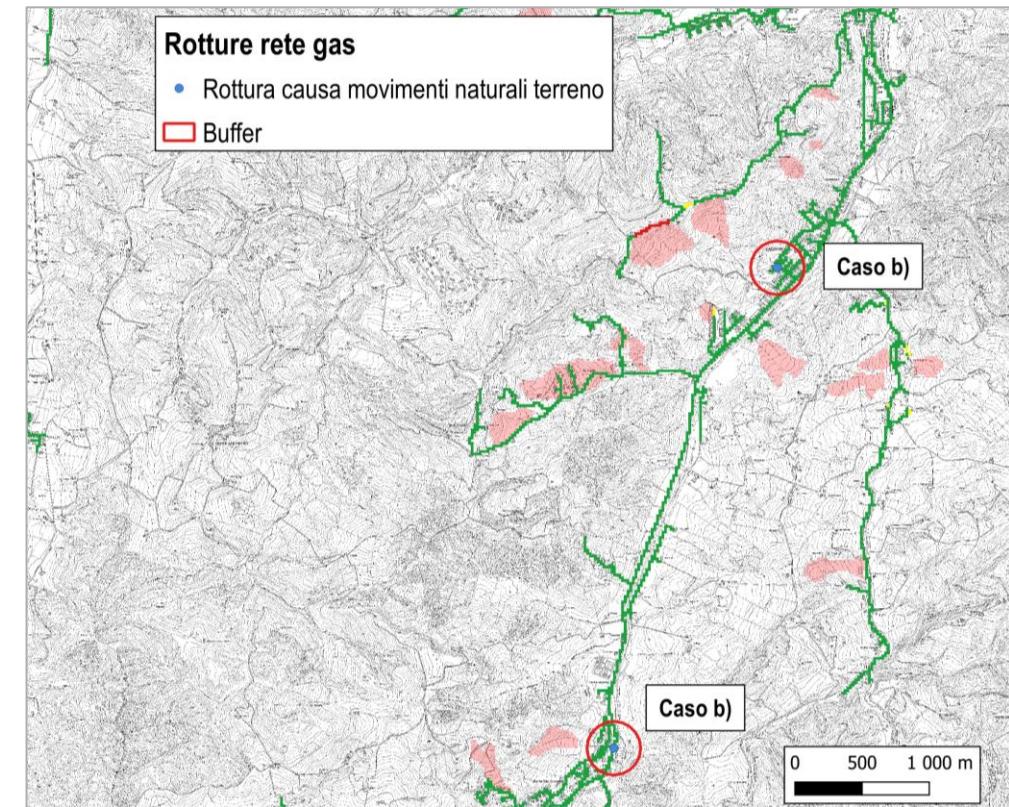


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Stima del Rischio: i numeri dell'analisi svolta con LARA

	Area (km ²)	Totale (km)	Specie 1 (km)	Specie 2 (km)	Specie 3 (km)	Specie 4 (km)
BACINO_01	1141	954	30	474	20	430

```
Specie 1 - Completed: 100.0% - Time[minutes] -> elapsed: 3.2 - remaning: 0.0 - total: 3.2  
celle indagate: 1866
```

```
Specie 2 - Completed: 100.0% - Time[minutes] -> elapsed: 78.0 - remaning: 0.0 - total: 78.0  
celle indagate: 29363
```

```
Specie 3 - Completed: 100.0% - Time[minutes] -> elapsed: 2.4 - remaning: 0.0 - total: 2.4  
celle indagate: 1244
```

```
Specie 4 - Completed: 57.7% - Time[minutes] -> elapsed: 39.4 - remaning: 28.9 - total: 68.3  
celle indagate: 25400
```

Celle analizzate: **57'873**

Tempo di calcolo: **152 min**

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

Conclusioni: *lessons learned*



- I proprietari del rischio hanno **risorse limitate** rispetto al numero e all'entità degli agenti di rischio presenti nei loro ambiti, necessitano di strumenti quantitativi adeguati.
- L'**analisi del rischio** su larga scala ha consentito di ottenere uno **strumento speditivo** in grado di **analizzare l'infrastruttura nel tempo** e nello **spazio**
- Le **incertezze** sui dati di **input** del modello, necessariamente definiti su larga scala, possono portare a **incongruenze** tra la **realtà fisica** e il valore di **rischio** associato
- L'**analisi di rischio** costituisce un ottimo **strumento per la pianificazione della gestione** dell'infrastruttura in quanto porta all'attenzione del proprietario del rischio le principali criticità sulla rete



grazie per l'attenzione

Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana