



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
- mancaanza 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

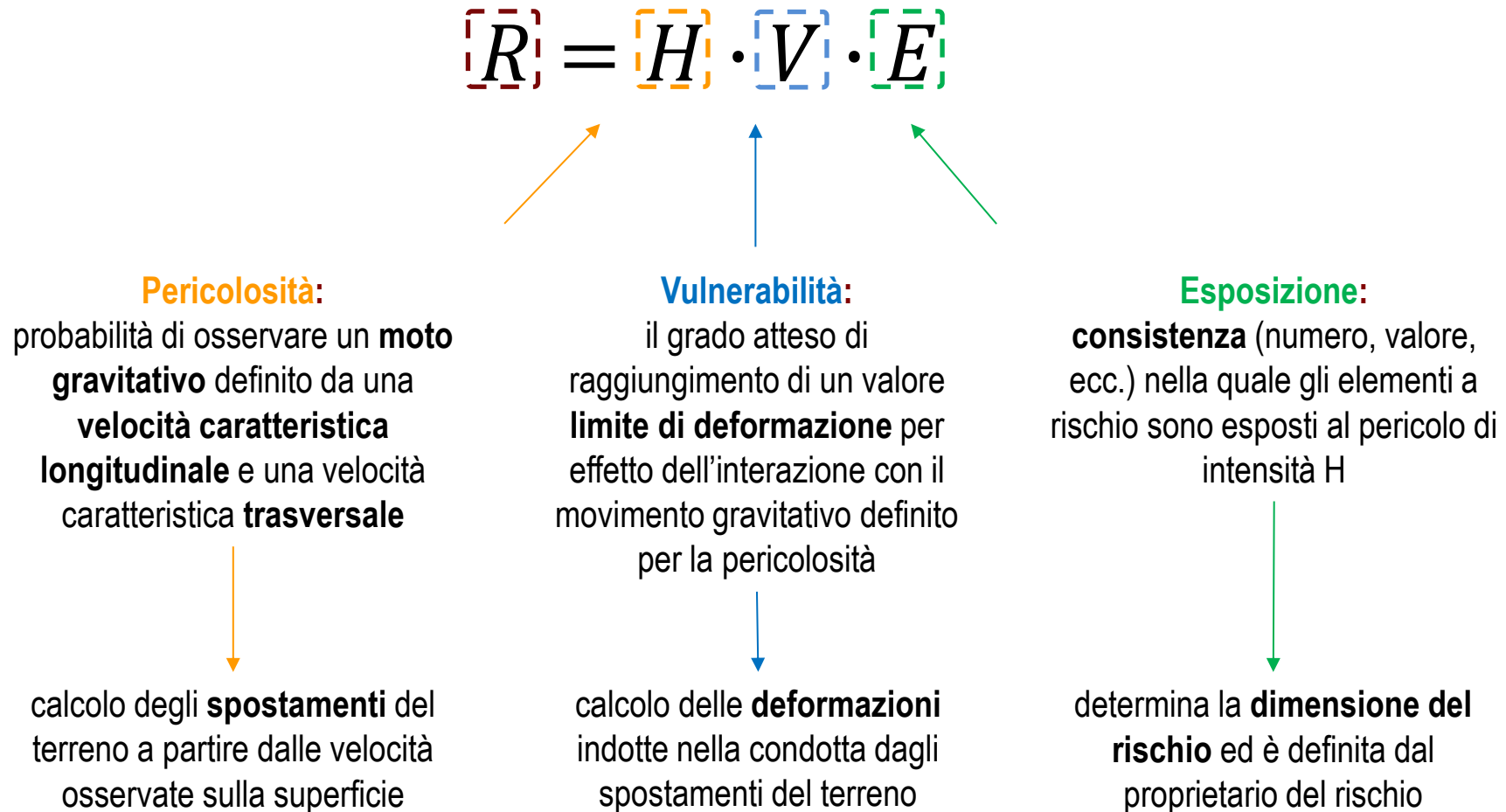
Tutte le immagini riportate derivanti dalle elaborazioni, le analisi dei risultati e le mappe riportanti il rischio sono state redatte a scopo illustrativo e non rappresentano la realtà fisica della rete e dei luoghi

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

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

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

(in conformità con le ISO 31000:2018)

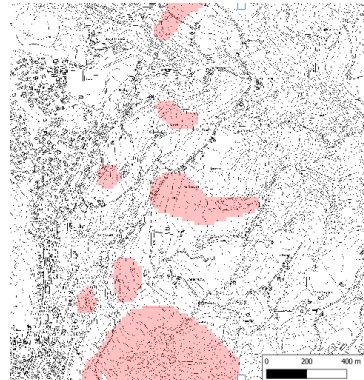
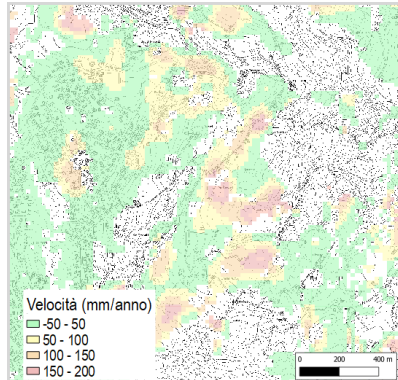


Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

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

Pericolosità

- dati Interferometrici



Esposizione

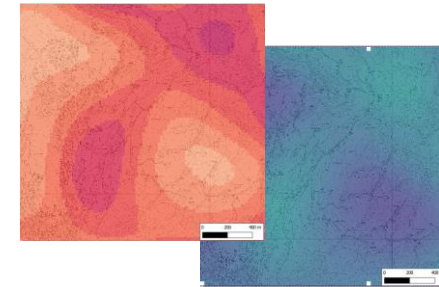
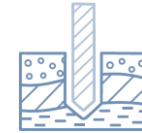
- specifica per gli obiettivi del gestore e dell'infrastruttura



Vulnerabilità

Parametri geomeccanici e geomorfologici

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



Parametri dell'infrastruttura

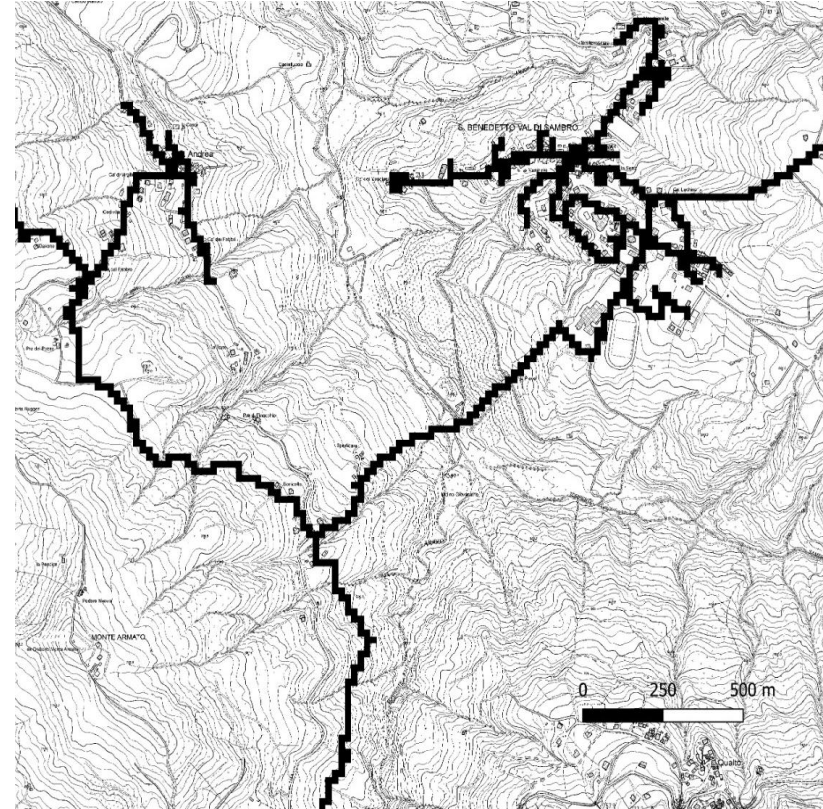
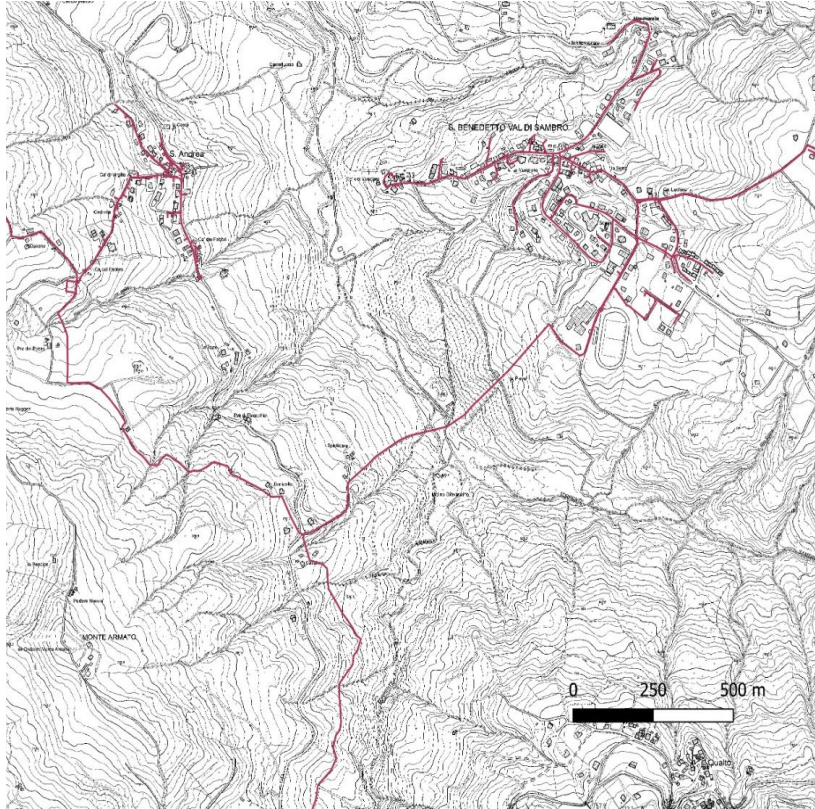
- localizzazione
- estensione
- materiale
- dati operativi



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



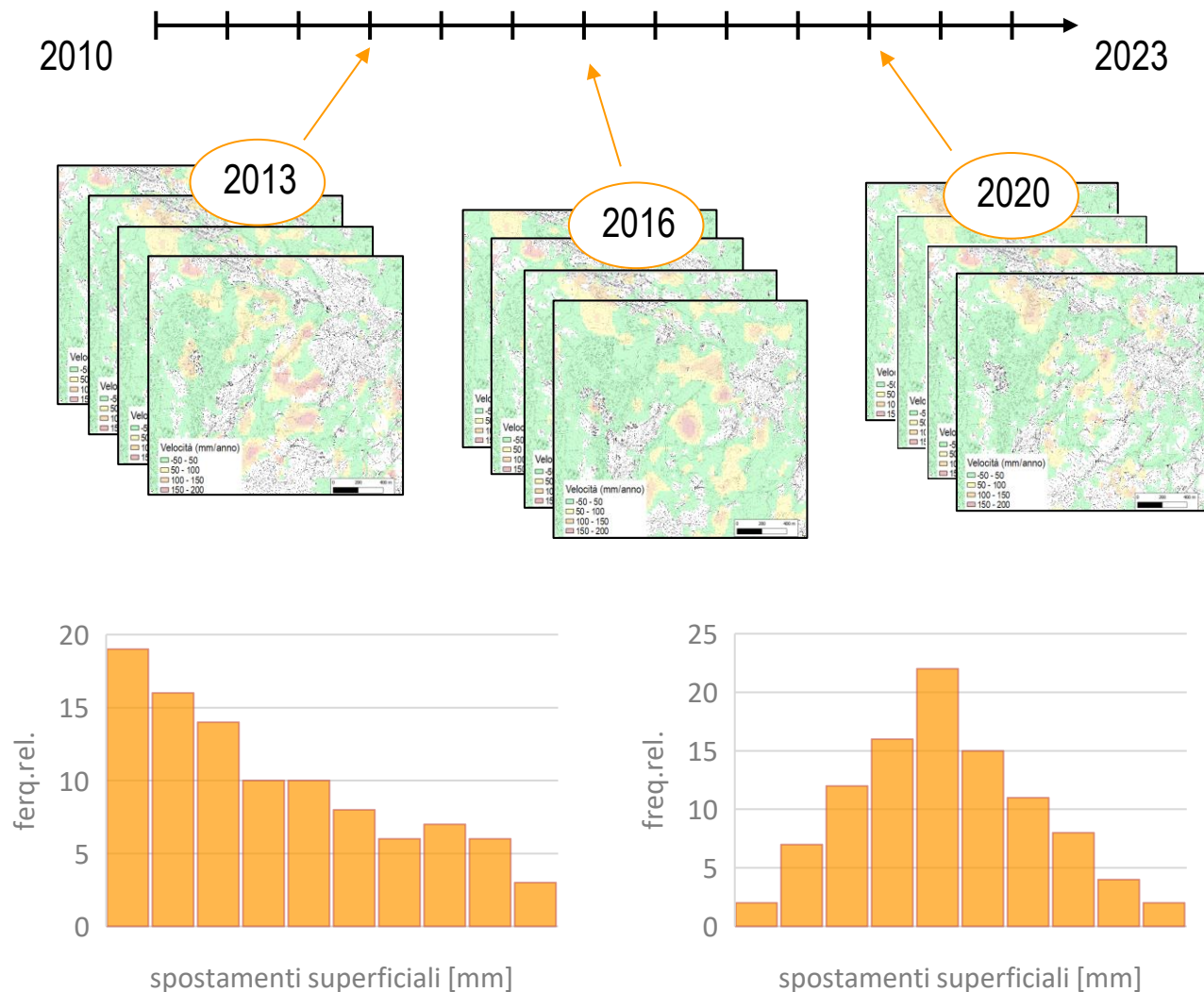
Il software **LARA** è stato implementato e integrato nel sistema di gestione cloud di INRETE Distribuzione Energia S.p.A. (società costituita da Hera S.p.A.) all'interno del progetto C.L.A.P.I. (Controlling LANDslide - Pipeline Interaction) volto all'ottimizzazione della manutenzione e gestione della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



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

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

Modello di Pericolosità: *utilizzo del dato interferometrico*



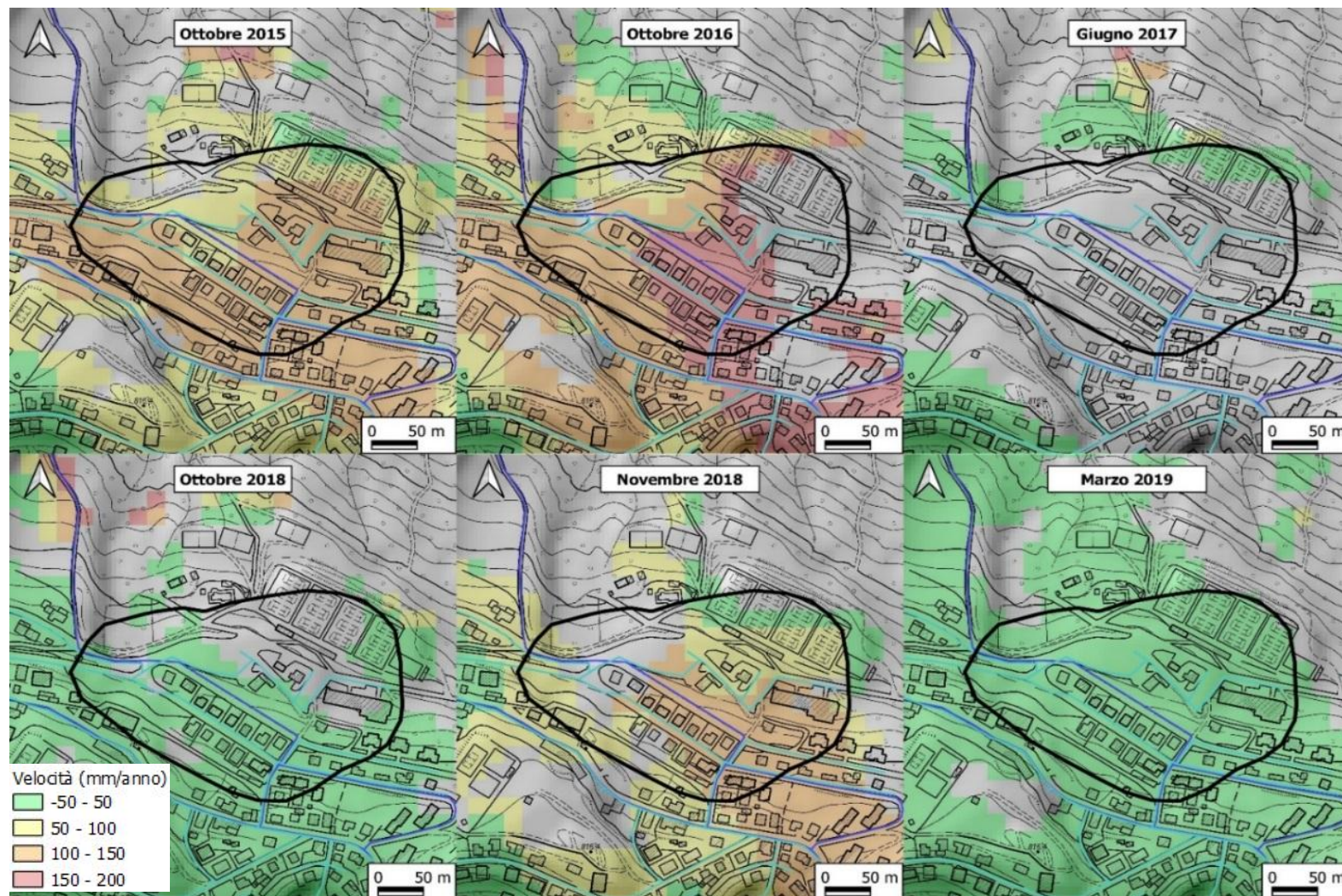
Costituzione di un database di
dati satellitari in evoluzione e
accrescimento **nel tempo**
per la determinazione delle
velocità superficiali (v)
convertite successivamente in
spostamenti superficiali (δ)

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*

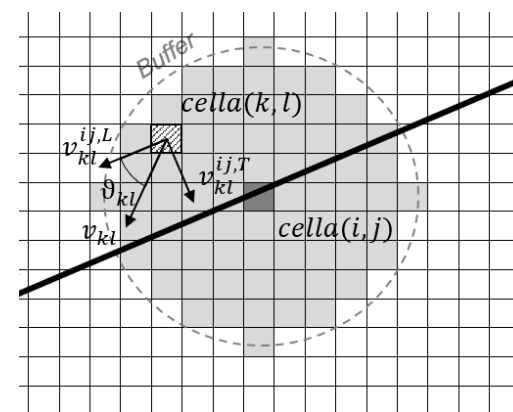


(dati forniti e interpretati da Fragile Srl)

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

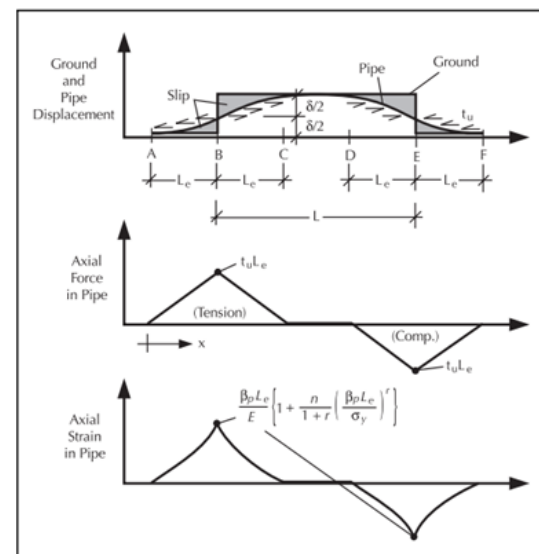
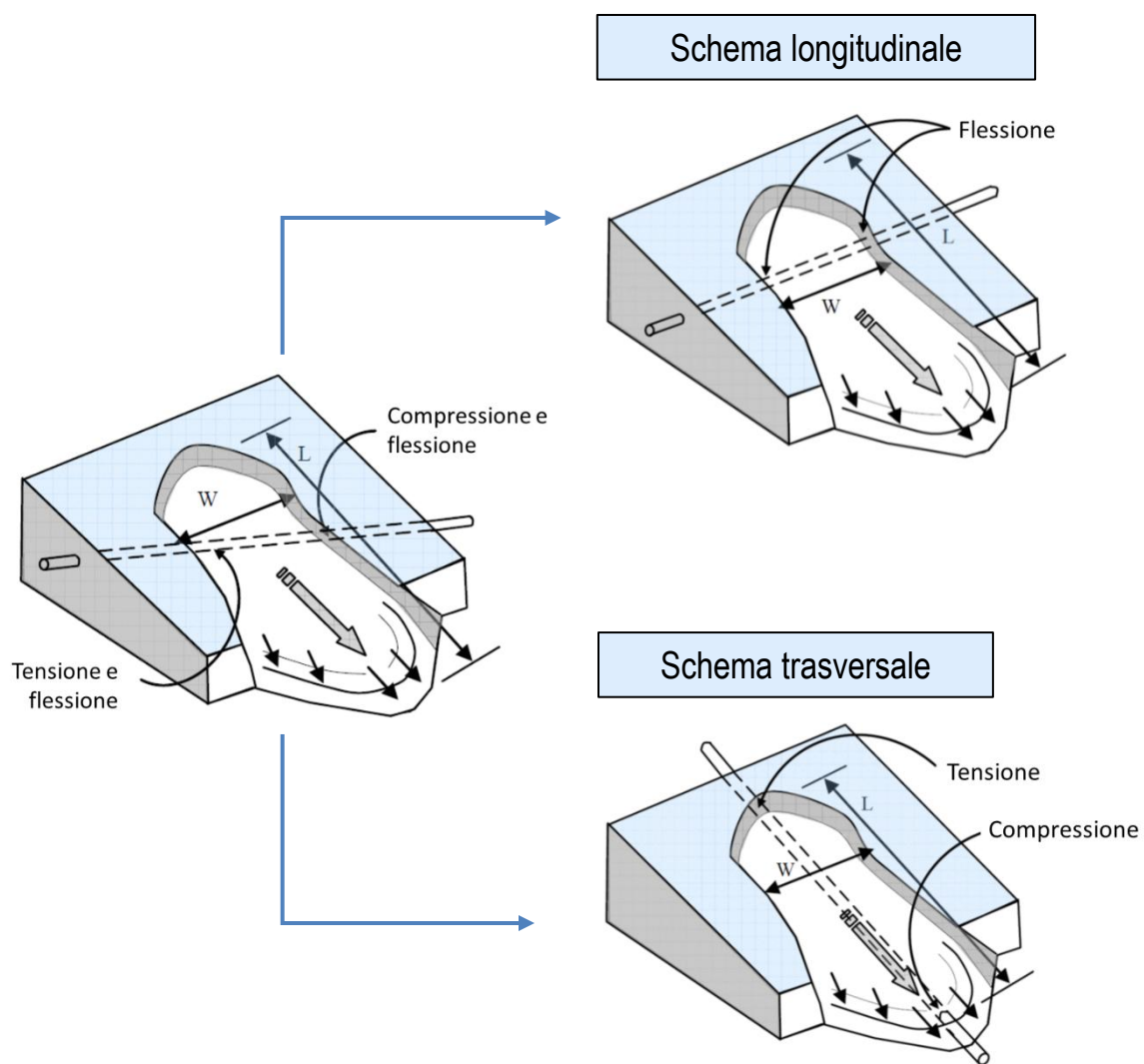
$$\tilde{v}_{kl}^{T,ij} = v_{kl}^{T,ij} \cdot \frac{1}{(d_{kl}^{ij})^2}$$

Schema della scomposizione vettoriale



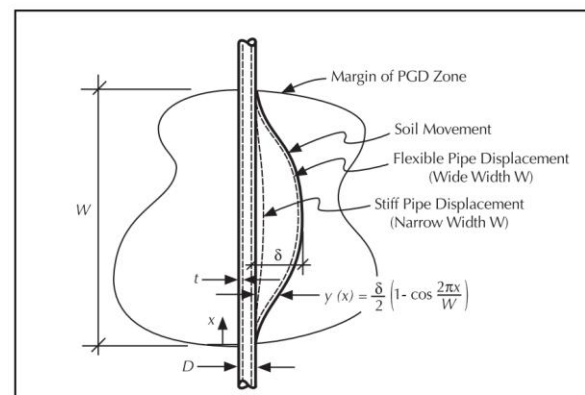
Dal rischio residuo al rischio accettabile: nuove prospettive nella gestione del rischio da frana

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



After M. O'Rourke et al., 1995

■ Figure 6.6 Distribution of Pipe Axial Displacement, Force and Strain for Case II



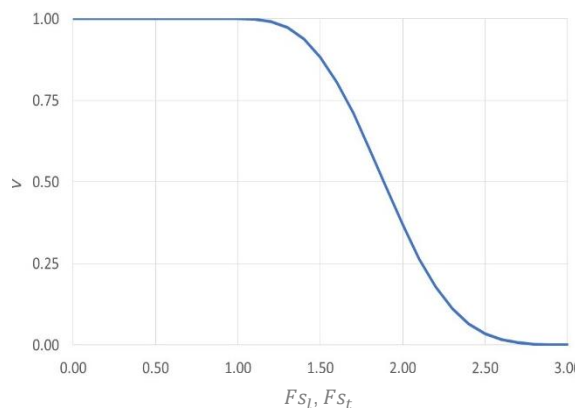
After M. O'Rourke, 1989

■ Figure 7.23 M. O'Rourke's Analytical Model for Pipeline Subject to Spatially Distributed Transverse PGD

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

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

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*

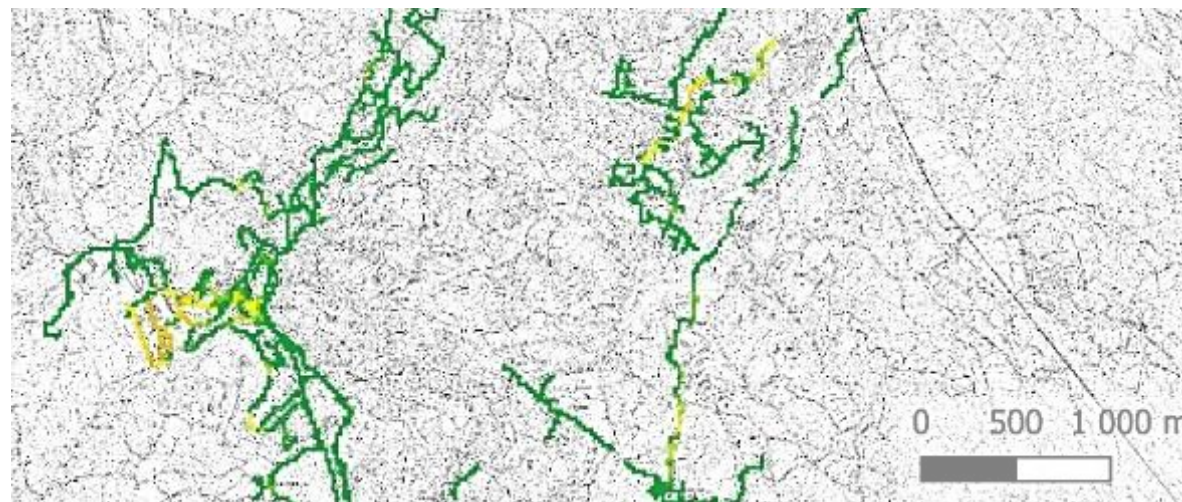
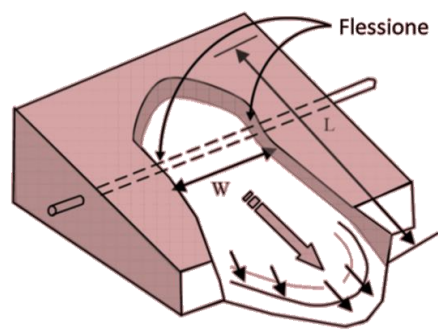


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

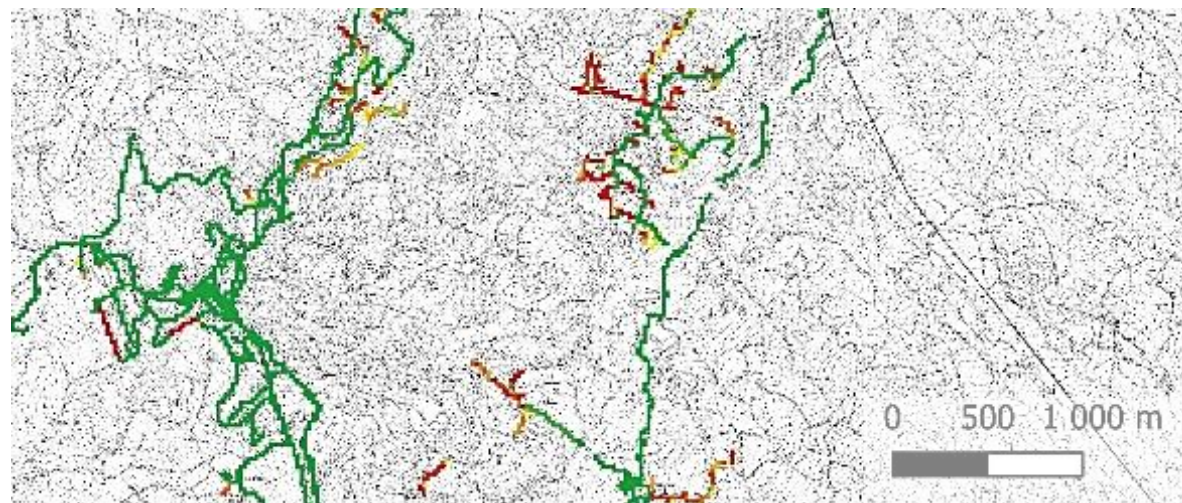
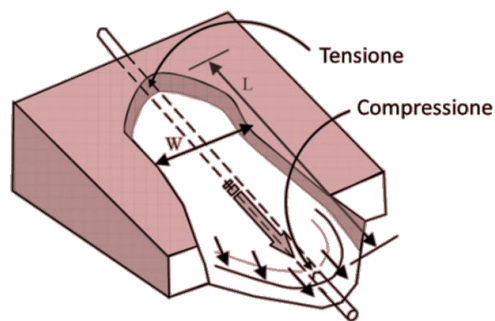
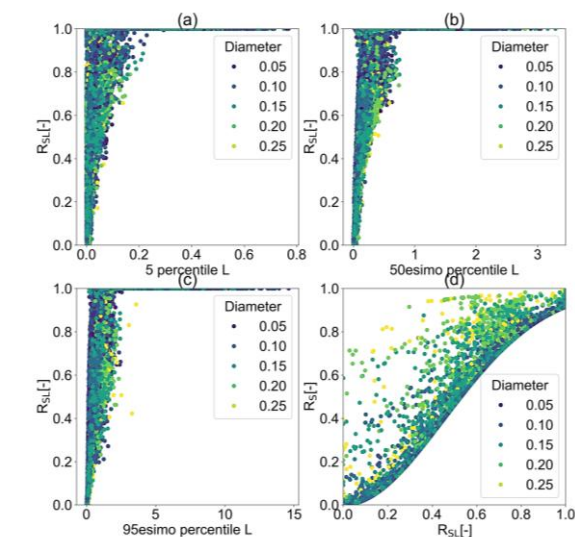
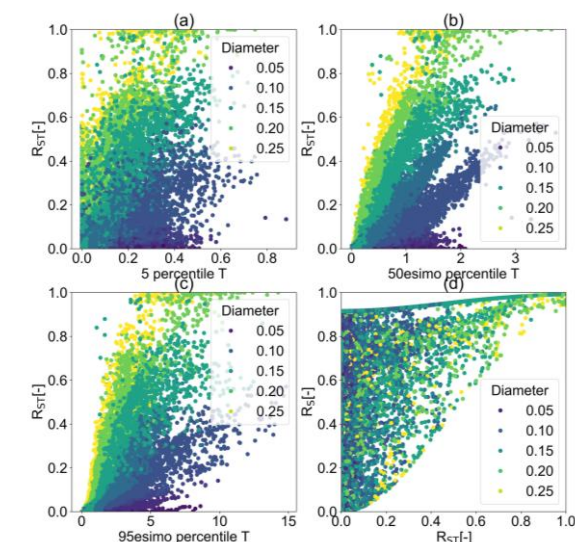


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi



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

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

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

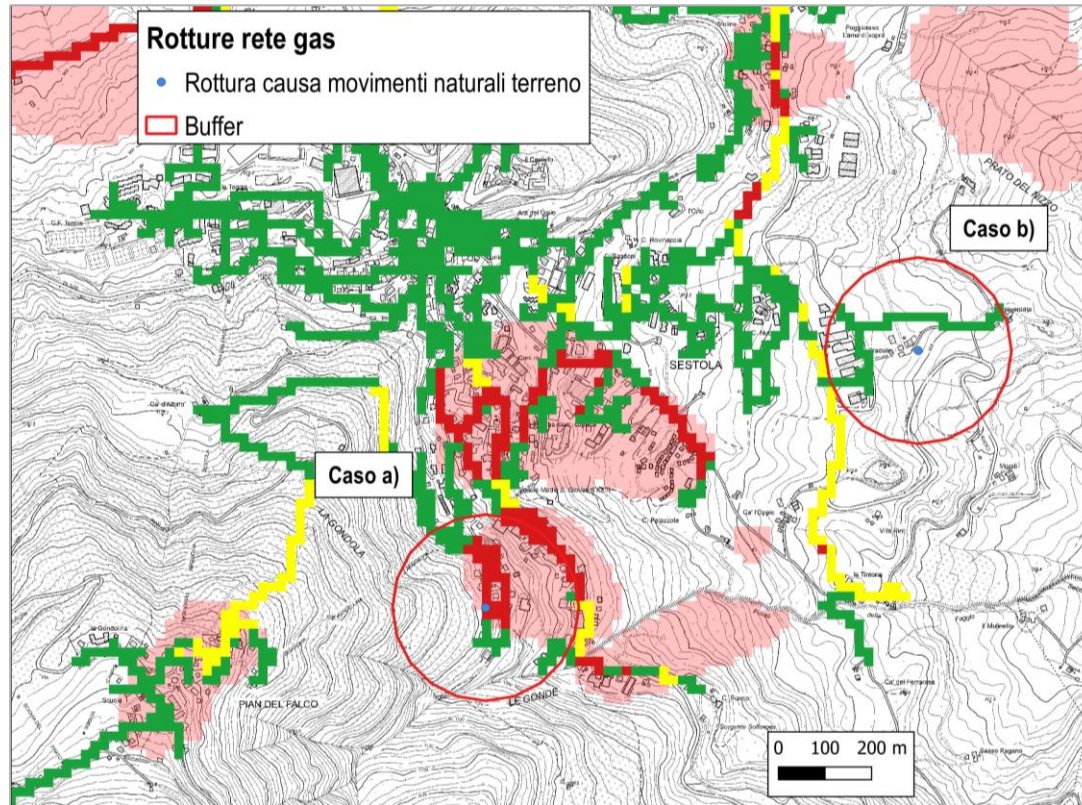


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

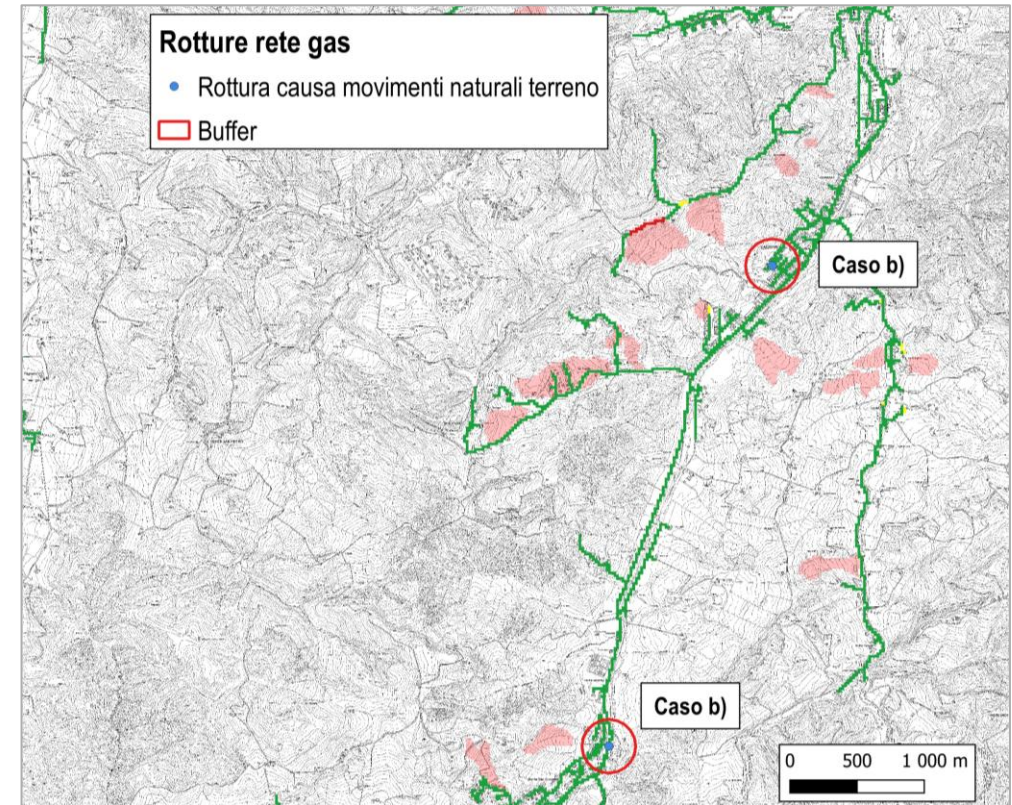


immagine redatta a scopo illustrativo, non rappresenta la realtà fisica della rete e dei luoghi

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