



**C.U.G.R.I.**  
Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



---

## *Ciclo di seminari*

# MODELLI DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE IN AREE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO

**7 GIUGNO 2023**

Sede Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno

*Il contributo di dati di monitoraggio multi-source nell'analisi del rischio  
da frana alle infrastrutture viarie*

---

**Dario Peduto**

Dipartimento di Ingegneria Civile, UNISA

Docente di "Indagini e monitoraggi geotecnici convenzionali e innovativi"

## Le reti stradali possono essere affette da diverse tipologie di frana



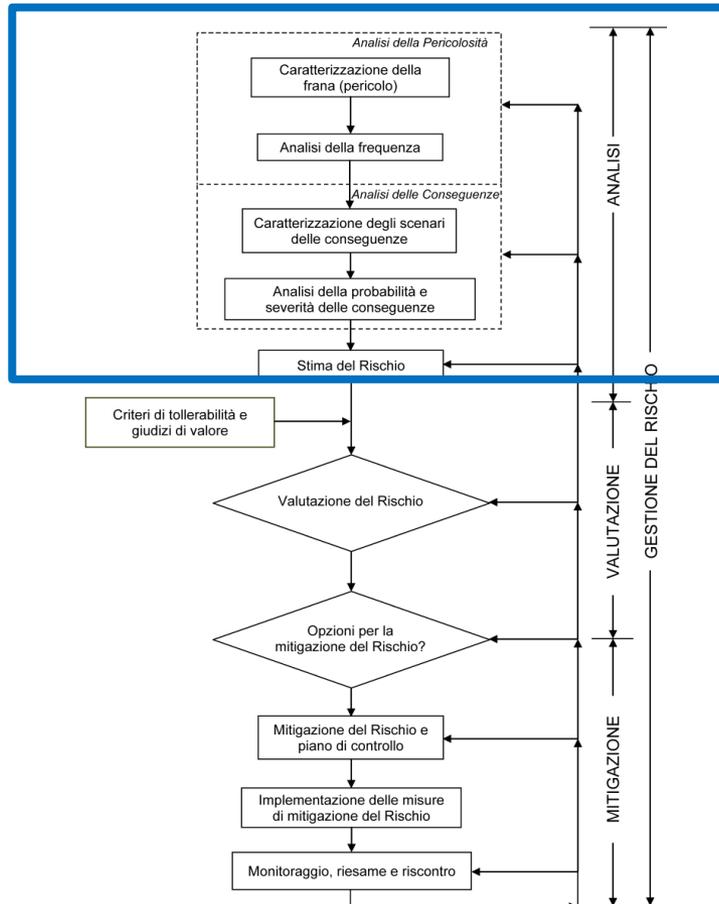
Classe	Descrizione	Velocità tipica	Velocità (m/s)
7	Estremamente rapido	5 m/sec	5
6	Molto rapido	3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$
5	Rapido	1,8 m/ora	$5 \cdot 10^{-4}$
4	Moderato	13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Lento	1,6 m/anno	$5 \cdot 10^{-8}$
2	Molto lento	16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$
1	Estremamente lento	< 16 mm/anno	$< 5 \cdot 10^{-10}$

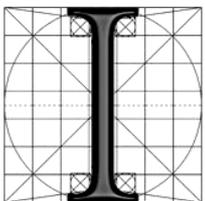
(Cruden e Varnes, 1996)

### Le frane generano **rischi** per le persone transittanti e per le stesse strade

- **Danni diretti** (ad esempio, alla pavimentazione stradale e alle opere di sostegno con gli associati costi di riparazione)
- **Danni indiretti** (ad esempio, la riduzione delle attività lavorative dovute alle restrizioni di accesso in un'area, problemi di mobilità)

## Il processo di gestione del rischio da frana (modificata da Fell et al., 2005).





ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA  
PROVINCIA DI SALERNO



**C.U.G.R.I.**

Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA CAMPANIA

## L'analisi del rischio da frana puo essere:

### Qualitativa (prioritizzazione)

Le analisi qualitative del rischio descrivono l'entità delle conseguenze e la probabilità che queste ultime si verifichino mediante scale nominali, descrittive o numeriche (Fell et al. 2008)

#### Punteggi

→ **frane di primo distacco in rocce o terreni** (Bunce et al. 1997, Budetta 2004, Li et al. 2009, Ferlisi et al. 2012, Budetta and Nappi 2013, Vishal et al. 2017, Wong 1998, Lowell and Morin 2000, ODOT 2001, Liang et al. 2006)

#### Matrici

→ **differenti tipologie di frana** (Pellicani et al., 2017)

### Quantitativa (perdita della vita)

Le analisi quantitative del rischio (QRA) si basano su stime numeriche della probabilità di accadimento (della generica tipologia di frana) e delle associate conseguenze (riferite a uno o più elementi esposti) (Fell et al., 2008).

#### Rischio per l'individuo

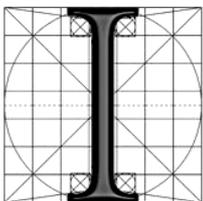
→ **frane di primo distacco in rocce o terreni**  
Rischio per persone su veicoli fermi/in movimento

#### Curve F-N

## Frane a cinematica lenta



Numericamente limitati sono i contributi specificamente orientati alla stima quantitativa del rischio per frane affette da frane esistenti (Argyroudis et al., 2019).



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA  
PROVINCIA DI SALERNO



**C.U.G.R.I.**

Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA CAMPANIA

## Decreto ministeriale (MIT) 578 del 17/12/2020

Art. 1

*(Adozione delle linee guida per la gestione del rischio dei ponti esistenti e per la definizione di requisiti ed indicazioni relativi al sistema di monitoraggio dinamico)*

1. Sono adottate le Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, di cui all'Allegato A al presente decreto, le quali, in attuazione di quanto previsto dall'articolo 14, comma 1, del decreto-legge 28 settembre 2018, n. 109, convertito, con modificazioni, dalla legge 16 novembre 2018, n. 130, assicurano l'omogeneità della classificazione e gestione del rischio, della valutazione della sicurezza e del monitoraggio dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari, esistenti lungo strade statali o autostrade gestite da ANAS S.p.A. o da concessionari autostradali.

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

Il livello di pericolosità/suscettibilità legato al rischio frane dipende dall'ambito geomorfologico (aree di pianure/versanti) in cui il ponte è inserito. Tale informazione si può acquisire attraverso i dati di censimento di Livello 0 e confermare mediante l'esecuzione di ispezioni visive di Livello 1.

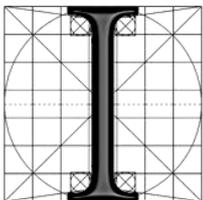
Qualora si possa ritenere che la probabilità di accadimento di un evento franoso coinvolgente la struttura in esame sia assente, non occorre proseguire con la valutazione della CdA frane, in quanto non influente ai fini della determinazione della CdA complessiva associata al ponte.

D'altra parte, come già discusso nel § 3.5, l'eventuale collocazione delle strutture in aree coinvolte da accadimenti progressivi, inducono la necessità di proseguire con valutazioni più approfondite di Livello 4, superando, quindi, la valutazione della classe di attenzione e la conseguente classificazione.

Documentazioni quali le carte di pericolosità e rischio delle Autorità distrettuali territorialmente competenti, così come quelle di altri processi pianificatori o derivanti da analisi tecnico-scientifiche, costituiscono solo un primo riferimento, utile ma certamente non esaustivo. A tal riguardo, particolarmente utili risultano quindi le ispezioni visive e la compilazione delle appropriate schede di rilievo di Livello 1. È inoltre da evidenziare che in talune situazioni l'analisi di dati satellitari potrebbe rilevarsi utile a definire instabilità nel tempo e nello spazio costituendo le strutture del ponte riferimenti per le elaborazioni.

**MODELLI DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE  
IN AREE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO**

**DARIO PEDUTO  
DICIV - UNISA**



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA  
PROVINCIA DI SALERNO



**C.U.G.R.I.**

Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



Schede di ispezione ponti di Livello 1 – Fenomeni di frana e fenomeni idraulici



**Rischio frane**

Area riconosciuta pericolosa (allegare riferimenti)

- |  |  |
|--|--|
| <input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto ma non ancora studiato | <input type="radio"/> Fenomeno riconosciuto e studiato         |
| <input type="radio"/> Fenomeno modellato e oggetto di monitoraggio | <input type="radio"/> Fenomeno oggetto di opere di mitigazione |

Contesto geologico

Formazioni \_\_\_\_\_  
Unità 1 \_\_\_\_\_  
Unità 2 \_\_\_\_\_  
... \_\_\_\_\_

Tipologia di fenomeno

- |  |   |
|--|---|
| <input type="radio"/> Accertato                    | <input type="radio"/> Potenziale                    |
| <input type="radio"/> Crollo in roccia             | <input type="radio"/> Ribaltamento                  |
| <input type="radio"/> Colate e valanghe detritiche | <input type="radio"/> Colate viscoso e traslative   |
| <input type="radio"/> Scorrimento rotazionale      | <input type="radio"/> Scorrimento traslativo        |
| <input type="radio"/> Complesso e composito        | <input type="radio"/> Fenomeni gravitativi profondi |

Distribuzione di attività (se definibile dai dati in possesso)

- |                                 |  |                                       |                                 |                                      |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="radio"/> Costante  | <input type="radio"/> Retrogressivo    | <input type="radio"/> In allargamento | <input type="radio"/> Avanzante | <input type="radio"/> In diminuzione |
| <input type="radio"/> Confinato | <input type="radio"/> Multidirezionale |                                       |                                 |                                      |

Uso suolo dell'area potenzialmente coinvolta (incidente sulla difficoltà di determinazione)

- |  |                                       |  |                                    |   |
|--|---------------------------------------|--|------------------------------------|---|
| <input type="radio"/> Area urbanizzata | <input type="radio"/> Area estrattiva | <input type="radio"/> Seminativo         | <input type="radio"/> Colture      | <input type="radio"/> Vegetazione riparia         |
| <input type="radio"/> Rimboscimento    | <input type="radio"/> Bosco ceduo     | <input type="radio"/> Bosco d'alto fusto | <input type="radio"/> Incolto nudo | <input type="radio"/> Incolto macchia cespugliato |

pag. 4

- |  |
|--|
| <input type="radio"/> Media ( $2,5 \cdot 10^3 - 10^4$ )  |
| <input type="radio"/> Piccola ( $10^2 - 10^3$ )          |
| <input type="radio"/> Molto piccola ( $< 5 \cdot 10^2$ ) |

Parametro della massima velocità attesa in funzione della tipologia di frana in atto o potenziale  $P_v$

- |  |
|--|
| <input type="radio"/> Estremamente/molto rapida ( $> 3$ m/min)   |
| <input type="radio"/> Rapida (3 m/min - 1,8 m/h)                 |
| <input type="radio"/> Moderata (1,8 m/h - 13 m/mese)             |
| <input type="radio"/> Lenta (13 m/mese - 1,6 m/anno)             |
| <input type="radio"/> Estremamente/molto lenta ( $< 1,6$ m/anno) |

Estensione interferenza

- |   |  |
|---|--|
| <input type="radio"/> Totale            | <input type="radio"/> Parziale (spalle o pile) |
| <input type="radio"/> Zona di approccio | <input type="radio"/> Altro _____              |

Affidabilità complessiva della valutazione

- |                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| <input type="radio"/> Buona | <input type="radio"/> Limitata |
|-----------------------------|--------------------------------|

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <input type="radio"/> Incolto prato pascolo | <input type="radio"/> Altro: _____ |
|---|------------------------------------|

Morfometria frana

Posizione instabilità sul versante

- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <input type="radio"/> Alta  | <input type="radio"/> Media      |
| <input type="radio"/> Bassa | <input type="radio"/> Fondovalle |

Dati generali (frane riconosciute / potenziali)

Quota orlo superiore zona distacco [m] _____	Quota ponte o viadotto [m] _____
Area totale [m <sup>2</sup> ] _____	Profondità superficie di distacco [m] _____
Volume massa [m <sup>3</sup> ] _____	

Parametro dello Stato di Attività per la quantificazione di  $P_u$  (frane riconosciute / potenziali)

- |   |  |
|---|--|
| <input type="radio"/> Frane riconosciute  | <input type="radio"/> Frane potenziali |
| <input type="radio"/> Attivo al momento del rilievo o con segni di movimento in atto        |  |
| <input type="radio"/> Sospesa - attivo nell'ultimo ciclo stagionale                         |  |
| <input type="radio"/> Quiescente - non attivo da più di un ciclo stagionale ma riattivabile |  |
| <input type="radio"/> Inattiva - non attivo da diversi cicli stagionali                     |  |
| <input type="radio"/> Stabilizzata  |  |

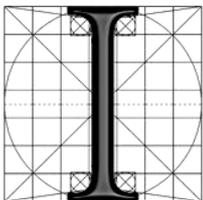
Parametro della magnitudo su base volumetrica in metri cubi  $P_u$  (frane riconosciute / potenziali)

- |  |
|--|
| <input type="radio"/> Estremamente/molto grande ( $> 10^6$ ) |
| <input type="radio"/> Grande ( $2,5 \cdot 10^5 - 10^6$ )     |

**Emerge la necessità di disporre di dati di monitoraggio aggiornati e distribuiti sulla evoluzione cinematica dei corpi di frana e delle opere con essi interagenti**

**MODELLI DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE  
IN AREE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO**

**DARIO PEDUTO  
DICIV - UNISA**



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SALERNO



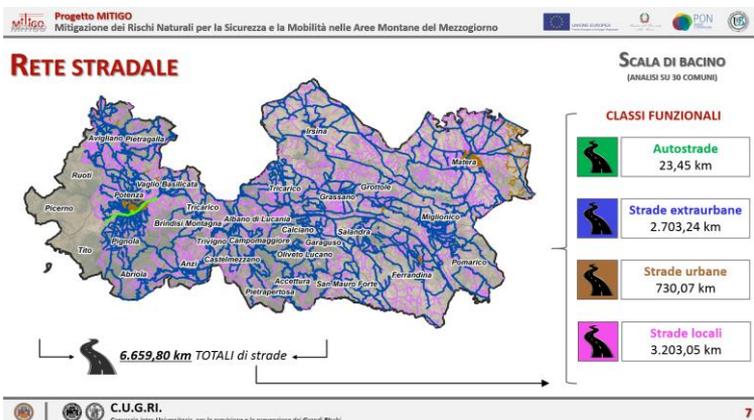
C.U.G.R.I.

Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"

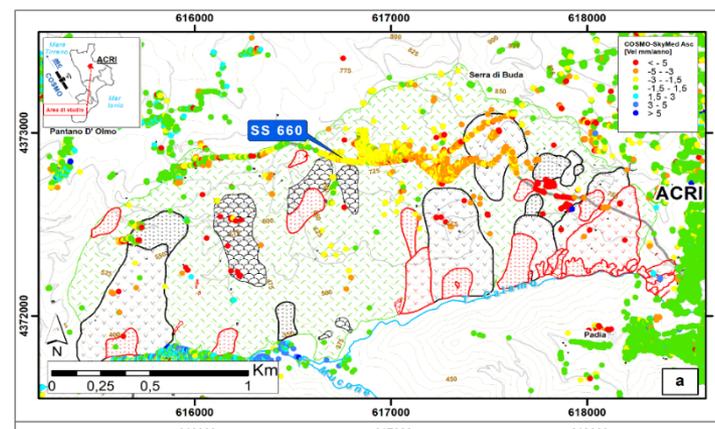


## La ricerca del gruppo di geotecnica DICIV/CUGRI

### Progetto MITIGO (Valle del Basento)



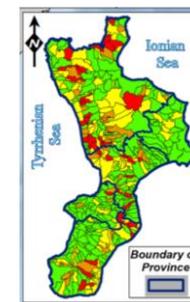
### Progetto MEFISTO (5 comuni della Provincia di Cosenza)



### Studi sul Cilento

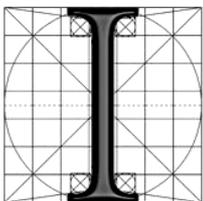


### Studi a scala regionale (es: Calabria)



MODELLI DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE IN AREE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO

DARIO PEDUTO  
DICIV - UNISA



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SALERNO



C.U.G.R.I.

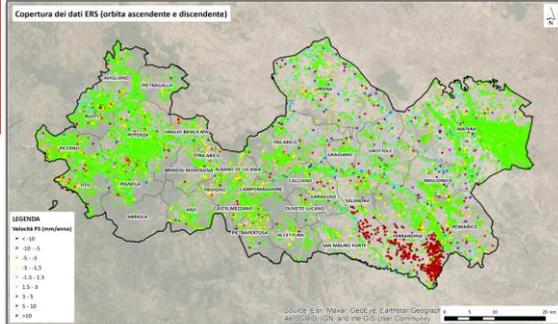
Consorzio inter-Universitario per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



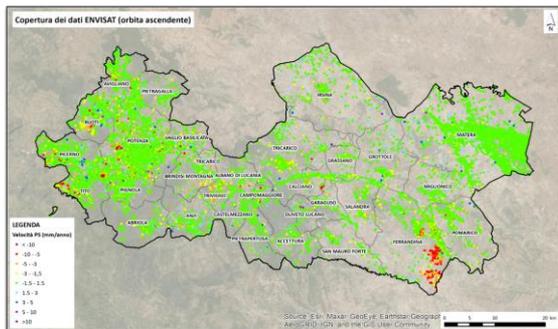
### ANALISI INTERFEROMETRICHE - DATI DI ARCHIVIO

Al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque Geoportale Cartografico Nazionale Via Cristoforo Colombo, 44 - 00147 Roma

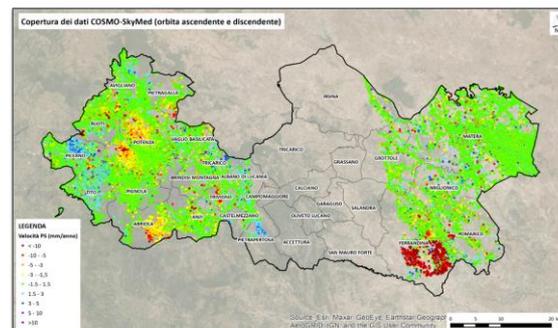
OGGETTO: Richiesta prodotti Interferometrici PS dei sensori ERS, ENVISAT e Cosmo-SkyMed per il territorio della Regione Basilicata da utilizzare nell'ambito del progetto PON di Ricerca ed Innovazione dal titolo: "MANGO - Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità nelle aree montane del Mezzogiorno: ARS01\_00964".



Copertura dati PSInSAR derivanti dall'elaborazione delle immagini SAR acquisite dal sensore ERS sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Tele rilevamento Ambientale - MATTM)



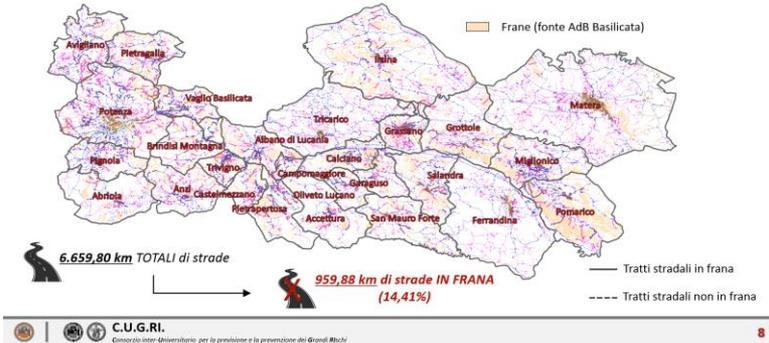
Copertura dati PSInSAR derivanti dall'elaborazione delle immagini SAR acquisite dal sensore ENVISAT sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Tele rilevamento Ambientale - MATTM)



Copertura dati PSInSAR derivanti dall'elaborazione delle immagini SAR acquisite dal sensore COSMO-SkyMed sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Tele rilevamento Ambientale - MATTM)

Progetto MITIGO Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno

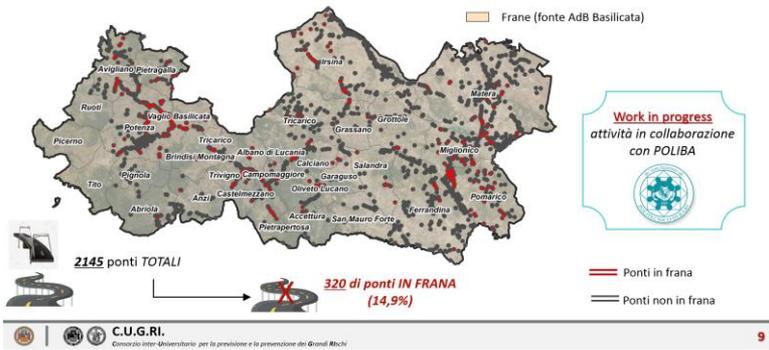
### TRATTI STRADALI IN FRANA



C.U.G.R.I. Consorzio inter-Universitario per la previsione e la prevenzione dei Grandi Rischi

Progetto MITIGO Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno

### PONTI IN FRANA

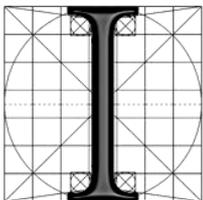


Work in progress attività in collaborazione con POLIBA

C.U.G.R.I. Consorzio inter-Universitario per la previsione e la prevenzione dei Grandi Rischi

## MODELLI DI GESTIONE DELLE INFRASTRUTTURE VIARIE IN AREE AD ELEVATO RISCHIO IDROGEOLOGICO

DICIV - UNISA



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA  
PROVINCIA DI SALERNO



**C.U.G.R.I.**

Consorzio inter-Universitario  
per la Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi  
Università di Salerno - Università di Napoli "Federico II"



**Progetto MITIGO**

Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## ANALISI CONGIUNTA

(SUSCETTIBILITA' ∩ FRANE ∩ DInSAR ∩ UTB)

vs.  
DANNI

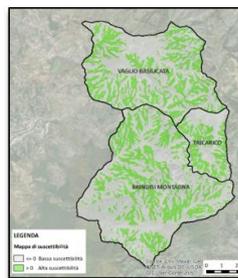


Comune	Area [km <sup>2</sup> ]	Area in Frana [km <sup>2</sup> ]	Indice di Franosità [%]
Vaglio Basilicata (PZ)	42,9	15,7	37
Brindisi di Montagna (PZ)	59,7	11,5	19
Trivigno (PZ)	25,9	10,6	41

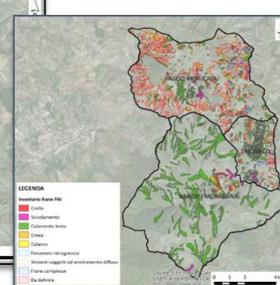
## ANALISI CONGIUNTA

### Intersezione

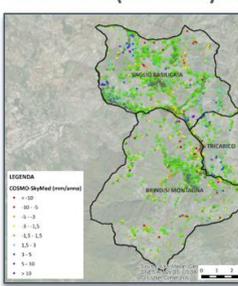
MAPPA DI SUSCETTIBILITÀ



INVENTARIO FRANE LENTE



DATI DInSAR (Cosmo-SkyMed)



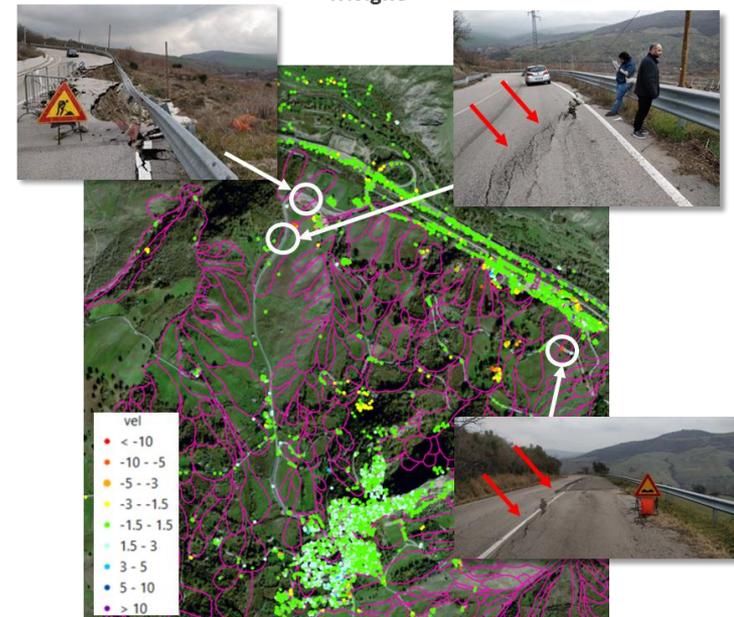
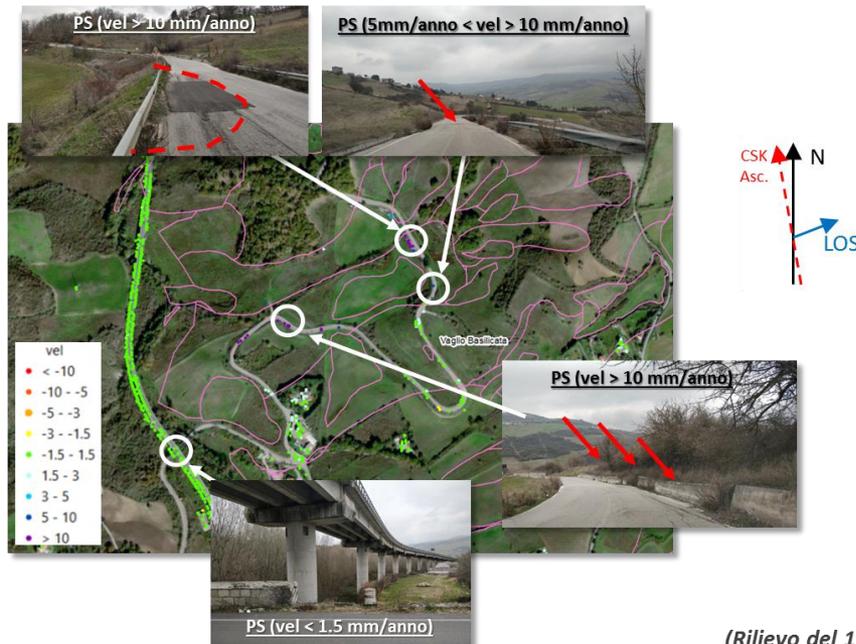
## Esecuzione di indagini data-driven

### RILIEVO DEL DANNO ALLE INFRASTRUTTURE (SOPRALLUOGO IN SITO)



Starda di collegamento dalla SS 407 (Basentana) al Comune di  
Vaglio Basilicata

Starda di collegamento dalla SS 407 (Basentana) al Comune di  
Trivigno



(Rilievo del 18/03/22)

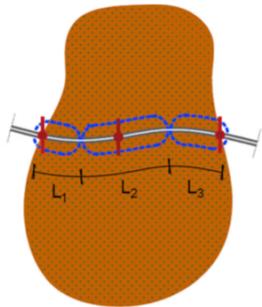
# Approccio metodologico basato su dati multi-source multitemporali

## Valutazione della vulnerabilità e del rischio associato alle infrastrutture esposte a frane a cinematica lenta

**FASE1**

IDENTIFICAZIONE DI SEZIONI STRADALI DI INTERESSE E STIMA DEL PARAMETRO/I DI INTENSITÀ RAPPRESENTATIVI MEDIANTE L'IMPIEGO DI DATI DI MONITORAGGIO DInSAR\*

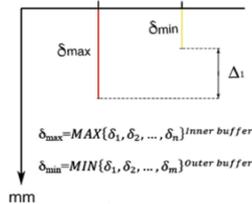
Identificazione tratti stradali in relazione alla distribuzione dei danni da frana registrati



(Ferlisi et al., 2021)



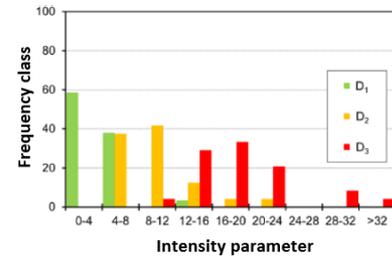
Stima parametro di intensità mediante l'impiego di dati DInSAR



(Nappo et al., 2019)

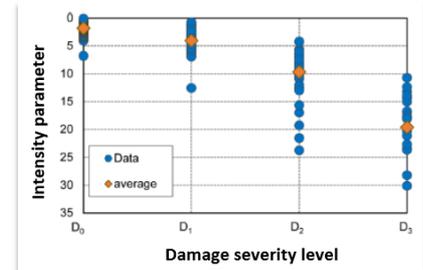
**FASE2**

CONTESTUALIZZAZIONE ED ANALISI DEI DANNI MULTI-TEMPORALI REGISTRATI SULLE SEZIONI STRADALI E DERIVAZIONE DI RELAZIONI CAUSA-EFFETTO



Relazioni empiriche causa-effetto (misure di spostamento DInSAR - danno alla strada) utili all'analisi del rischio da frana.

Analisi della distribuzione dei livelli di severità del danno registrati lungo i tratti stradali investigati in funzione delle intensità del parametro rappresentativo identificato.

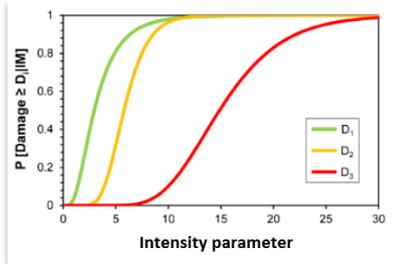


# Approccio metodologico basato su dati multi-source multitemporali

## Valutazione della vulnerabilità e del rischio associato alle infrastrutture esposte a frane a cinematica lenta

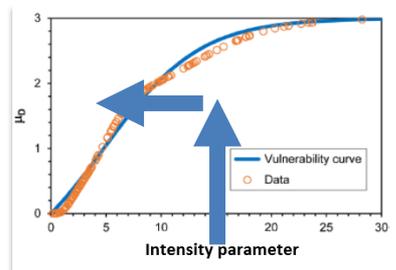
FASE 3

DEFINIZIONE DI MODELLI PROBABILISTICI DI PREVISIONE DELLE  
CONSEGUENZE PER LE INFRASTRUTTURE MEDIANTE GENERAZIONE DI  
CURVE EMPIRICHE DI FRAGILITÀ E VULNERABILITÀ



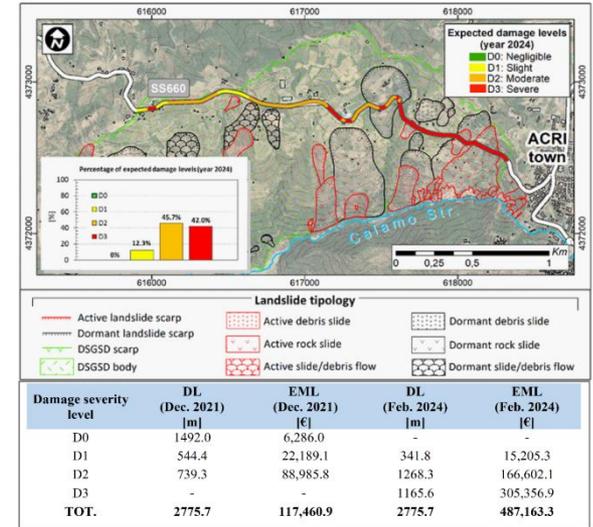
Generazione di curve di fragilità empiriche attraverso l'adozione di un modello probabilistico (quali ad esempio la funzione di distribuzione log-normale i cui parametri sono funzione della mediana dei valori associati al parametro d'intensità e la deviazione standard).

$$P(\text{Damage} \geq D_i | \Delta) = \Phi \left[ \frac{1}{\beta} \ln \left( \frac{\Delta}{\mu_D} \right) \right]$$



Generazione di curve di vulnerabilità mediante l'adozione di modelli di regressione dei dati sperimentali (quali ad esempio la funzione tangente iperbolica).

$$\mu_D = a [b + \tanh(c \cdot \Delta + d)]$$



**Risultati del Progetto MEFISTO finanziato da Agenzia Spaziale Italiana**

Ferlisi et al. (2021). Quantitative analysis of the risk to road networks exposed to slow-moving landslides: a case study in the Campania region (southern Italy). *Landslides*, 18:303–319.

