



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

PNR 2015-2020

Area di Specializzazione *Smart, Secure and Inclusive Communities*



Obiettivi Realizzativi 2 e 4

Valutazione del Rischio Idrogeologico

Sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio

**ANALISI A SCALA COMUNALE DI DATI INTERFEROMETRICI E
RILIEVI DEL DANNO A STRADE DI COLLEGAMENTO:
I CASI DI VAGLIO BASILICATA, TRIVIGNO, CASTELMEZZANO,
PIETRAPERTOSA**

Dario Peduto, Gianfranco Nicodemo, Davide Luongo

**Consorzio inter-Universitario per la previsione e
la prevenzione dei Grandi Rischi - Università degli Studi di Salerno**

29/02/2024



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Estratto della Raccolta dei Rapporti Tecnici di Disseminazione del Progetto MITIGO – Volume 2

© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432935



Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Ministero dell'Università
e della Ricerca



PON
RICERCA
E INNOVAZIONE
2014 - 2020

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



INDICE

Sommario	2
1. Premessa	2
2. Inquadramento generale	2
3. Casi di studio	4
3.1 Dati di monitoraggio da remoto	7
3.2 Danni alle infrastrutture	12
4. Analisi e Risultati	16
Conclusioni	23



ANALISI A SCALA COMUNALE DI DATI INTERFEROMETRICI E RILIEVI DEL DANNO A STRADE DI COLLEGAMENTO: I CASI DI VAGLIO BASILICATA, TRIVIGNO, CASTELMEZZANO, PIETRAPERTOSA

Dario Peduto, Gianfranco Nicodemo, Davide Luongo

SOMMARIO

1. Premessa

Il progetto MITIGO intende proporre soluzioni di mitigazione dei rischi idrogeologico e sismico per i collegamenti viari e per le strutture strategiche delle aree urbane montane interessate da frane e terremoti, carenza di servizi, difficoltà di mobilità e fenomeni di spopolamento. Per questo obiettivo, sono in atto studi geologici, geofisici, ingegneristici.

Il progetto individua 9 obiettivi realizzativi (OR), la cui suddivisione è di tipo tematico. Pertanto, data la complessa multidisciplinarietà dello studio, ad ogni OR partecipano, lavorando in collaborazione, diversi Partner o Attuatori e Imprese.

L'Unità di Ricerca CUGRI-UNISA coordina gli obiettivi "OR2: Valutazione del rischio idrogeologico" e "OR4: Sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio", la cui realizzazione prevede:

OR2: costituito da 4 fasi operative:

- 2.1) fase conoscitiva preliminare;
- 2.2) indagini e rilievi;
- 2.3) individuazione delle tipologie di frana;
- 2.4) valutazione del rischio e carte tematiche.

OR4: costituito da 3 fasi operative:

- 4.1 Sistema di monitoraggio mediante telerilevamento
- 4.2 Sistema di monitoraggio in situ
- 4.3 Sviluppo di piattaforme integrate per il monitoraggio e il supporto alle decisioni

2. Inquadramento generale

Le frane a cinematica lenta si verificano in molti contesti geo-ambientali in tutto il mondo, minacciando l'ambiente costruito come strutture e reti infrastrutturali. In Italia, con riferimento alla rete stradale principale del Paese, l'ISPRA (2014) ha rilevato 6.180 tratti stradali critici (ovvero potenzialmente interessati dalla riattivazione di eventi franosi mappati). Una strada che interagisce con un pendio instabile sede di frane lente richiede tipicamente attività di monitoraggio e manutenzione (ordinaria/straordinaria) aggiuntive rispetto alle attività comuni per evitare interruzioni della circolazione dei veicoli. Tali attività, se svolte con regolarità in funzione dei diversi fattori incidenti quali la tipologia della strada e il traffico previsto, la tipologia delle frane interagenti e dei geomateriali coinvolti, risultano costose con extracosti raramente sopportabili dal gestore della strada che potrebbe dar priorità ai tratti stradali in cui i lavori di monitoraggio/manutenzione non possono più essere rinviati. Gli effetti di questa frequente condizione portano ad una progressiva riduzione della funzionalità dell'infrastruttura con addirittura l'abbandono delle



strade (alcune primarie e molte secondarie) nelle zone collinari interne contribuendo al continuo calo demografico che in Italia sta interessando, negli ultimi decenni, molte aree dell'Appennino centro-meridionale. Ciò rende sempre più urgente la necessità di procedure facili da trasferire/applicare per la valutazione del rischio da frana a cinematica lenta per supportare un processo decisionale informato. Per quanto riguarda la valutazione del rischio rappresentato dalle frane sulla rete infrastrutturale, passando da analisi a piccola scala (ovvero 1:100.000) a media scala (ovvero 1:25.000), ed a grande scala (ovvero 1:5000) la necessità di informazioni quantitative aumenta e sono necessari dati più dettagliati con una risoluzione più elevata (Ferlisi et al., 2019, 2021; Westen et al. 2008, Winter 2019). Di conseguenza, le valutazioni su piccola e media scala possono essere eseguite in un quadro semi-quantitativo, mentre le analisi su larga scala (e ovviamente una scala dettagliata $> 1:2000$) richiedono un approccio quantitativo. La differenza fondamentale tra i due approcci è che mentre la valutazione qualitativa del rischio si basa principalmente su indici e/o indicatori con una classificazione nominale (ad esempio basso, moderato e alto) o numerica (ad esempio pesi crescenti in funzione della gravità), d'altra parte la valutazione quantitativa del rischio (QRA) quantifica un dato livello di perdita con la sua probabilità e incertezze. Indipendentemente dall'approccio semi-quantitativo o quantitativo adottato, l'analisi delle conseguenze attese sulle infrastrutture rappresenta un passaggio fondamentale nella valutazione e gestione del rischio da frana. Con riferimento all'infrastruttura viaria la valutazione delle conseguenze richiede l'identificazione del tronco (o dei tronchi) stradale esposto, la definizione della sua vulnerabilità fisica e la stima dei costi di riparazione/sostituzione. L'accoppiamento delle informazioni sul livello di gravità del danno e del relativo valore del parametro di intensità della frana scelto a riferimento rappresenta l'input di base per la generazione di strumenti probabilistici volti alla valutazione della vulnerabilità come ad esempio curve empiriche di fragilità e vulnerabilità (Ferlisi et al., 2019; Shinozuka et al. 2000). La generazione di tali strumenti richiede generalmente la disponibilità di un campione omogeneo di dati con informazioni relative ad entrambi i parametri di interesse. Da questo punto di vista oggi, un contributo per raccogliere dati sufficienti per l'analisi quantitativa del rischio può derivare dall'impiego di tecniche di telerilevamento che si sono rivelate utili anche per la progettazione, il monitoraggio e la pianificazione della manutenzione come misurazioni ottiche o acustiche, laserscanner, MT-InSAR, droni e altri metodi di misurazione, che non richiedono alcun contatto fisico con l'oggetto. Il vantaggio principale è che queste tecniche sono solitamente non invasive e, soprattutto, economicamente vantaggiose per analisi su vaste aree, come nel caso delle infrastrutture lineari. Negli ultimi decenni le misure di spostamento derivate dall'elaborazione interferometrica di immagini Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) sono diventate un complemento consolidato delle tecniche convenzionali. I dati DInSAR, infatti, forniscono misurazioni ad alta risoluzione degli spostamenti del suolo con precisione millimetrica (sulla velocità media nel tempo) a costi accessibili se confrontati con le tecniche convenzionali soprattutto su grandi aree (Peduto et al. 2017). Inoltre, la combinazione dei dati DInSAR con quelli convenzionali a terra (ovvero inclinometri, GPS, stazioni totali) e set di dati multitemporali dei danni registrati sulla strada in oggetto può aiutare a indagare la risposta dell'infrastruttura e contribuire alla stima della vulnerabilità e del rischio associato.



3. Casi di studio

L'area oggetto di studio nell'ambito del progetto (Figura 1) rientra nel territorio della Regione Basilicata ed ha una superficie di circa 2841 km². Dal punto di vista morfologico, il territorio è costituito prevalentemente dalla catena montuosa dell'Appennino Lucano, che si dispone ad arco lungo il bordo occidentale della Regione e culmina a sud nei rilievi della catena del Pollino, segnando il confine con la Calabria. La catena appenninica degrada verso est nell'ampia fascia collinare del materano (PAI, 2018). In particolare, l'area di studio comprende trenta comuni, di cui 16 in provincia di Potenza e 14 in provincia di Matera (Figura 2).

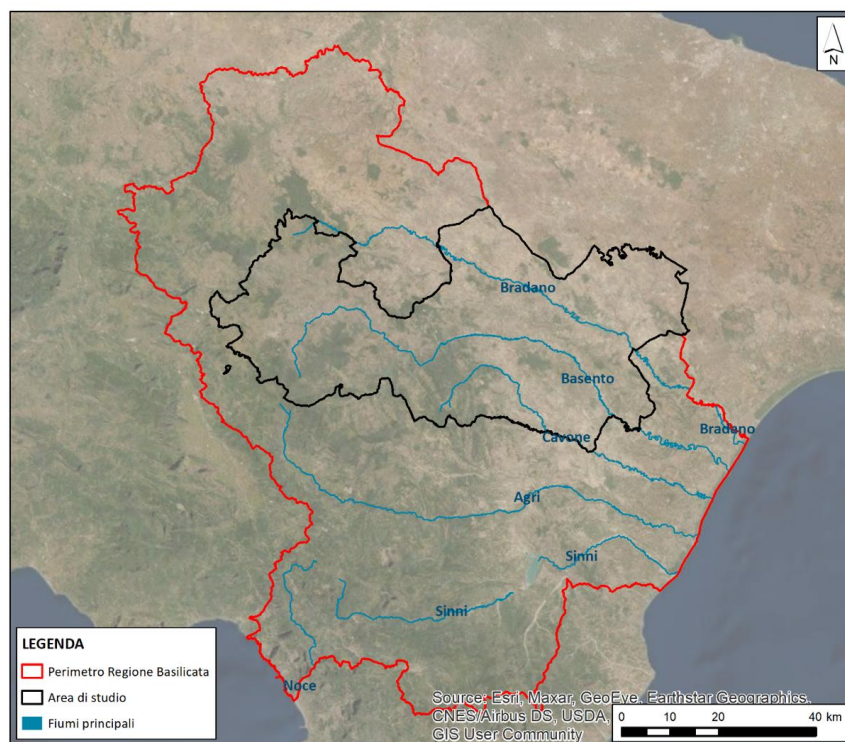


Figura 1 : Area di studio

Tramite l'utilizzo delle Carte Inventario ufficiali dei movimenti franosi redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Basilicata nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI, scala 1:10000, anno 2016) e nel progetto l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI, scala 1:25000, anno 2014 ultimo aggiornamento per la regione Basilicata), è stato possibile studiare la franosità dell'area in esame. Per quanto riguarda il numero delle frane, esso è rappresentativo della quantità di poligoni di frana censiti all'interno dell'inventario (PAI e IFFI). Con riferimento all'intera area di studio i movimenti inventariati sono 23994 e interessano una superficie complessiva di circa 471,6 km². I movimenti franosi mappati sono stati suddivisi in funzione della tipologia (Figura 3) e rapportati alle percentuali totali di ogni tipologia (Figura 4). Come si evince dalla Figura 4, la maggior parte dei movimenti franosi ricadono nelle tipologie (Colamento lento, scivolamento e fenomeni di creep). E' stato definito un indice di franosità, definito come il rapporto tra l'area totale in frana (471,6 km²) e l'area totale oggetto di studio (2841 km²), che per l'area in esame è risultato essere pari al 16,6%. Il risultato dell'indice di franosità è stato poi esteso in maniera dettagliata rapportandolo ai singoli comuni (Figura 5) mentre l'analisi si è focalizzata su 4 Comuni di riferimento rappresentati da: Vaglio Basilicata, Trivigno, Castelmezzano e Pietrapertosa.

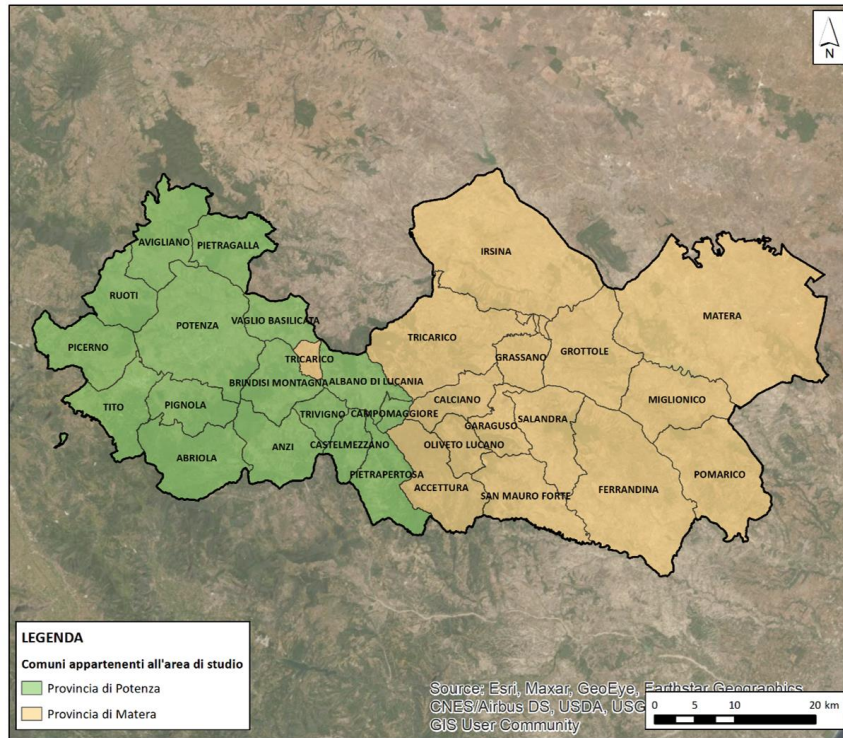


Figura 2: Mappa dei 30 Comuni appartenenti all'area di studio

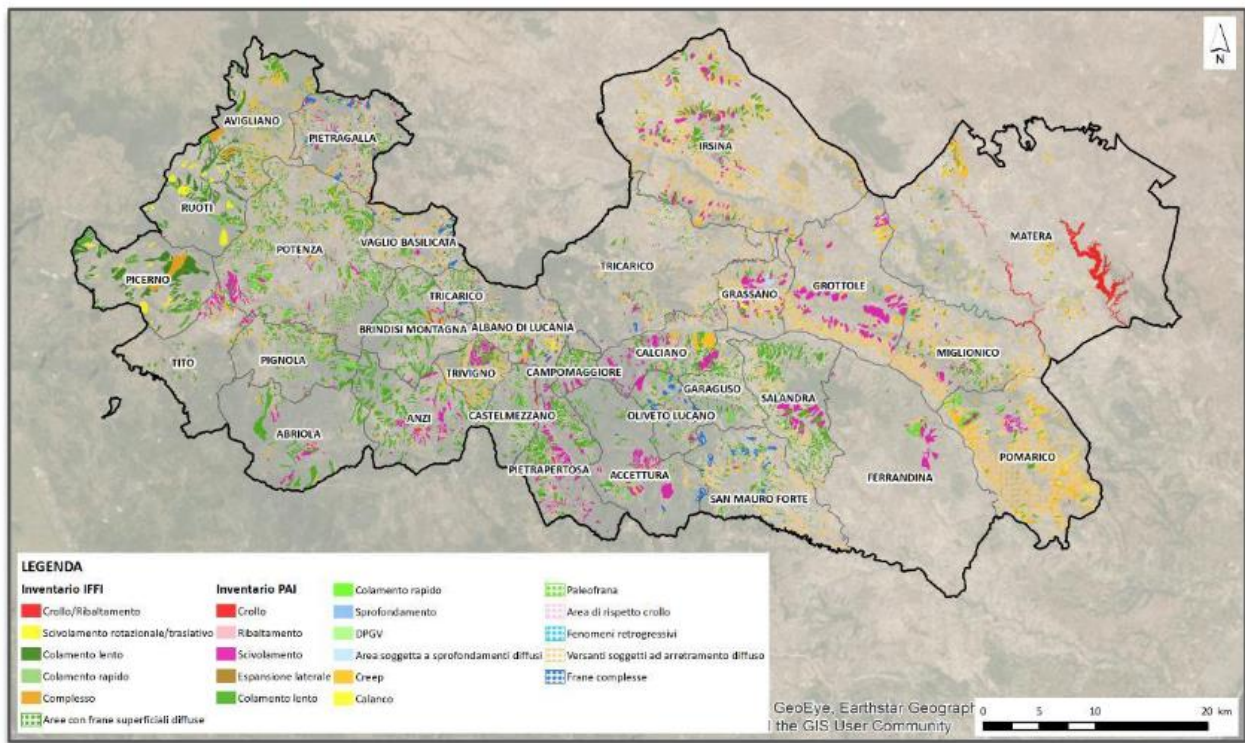


Figura 3: Inventario dei fenomeni franosi (PAI, 2016; IFFI 2014) sui 30 Comuni appartenenti all'area di studio

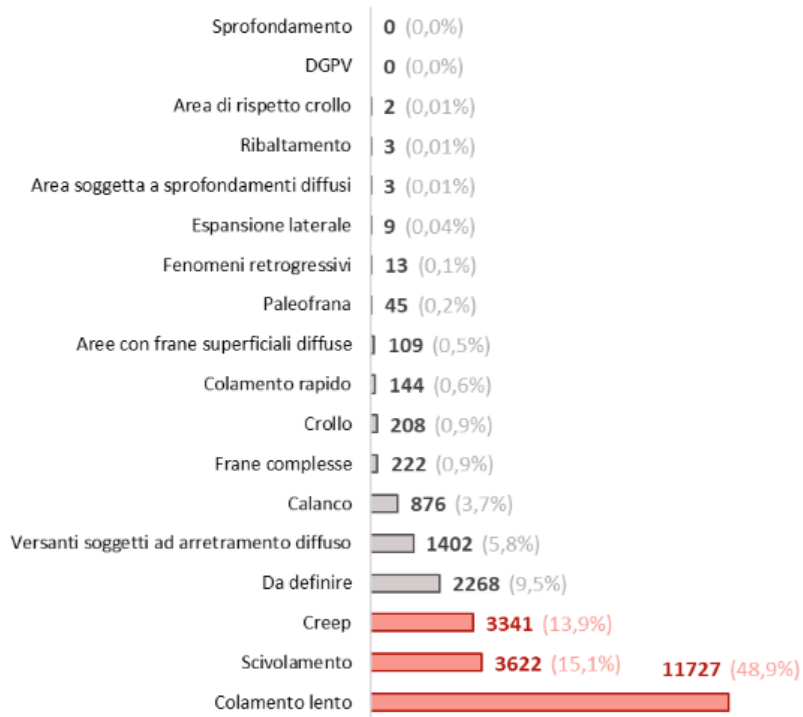


Figura 4: Numero di frane per tipologia e relative percentuali rispetto al numero totale con riferimento ai 30 Comuni appartenenti all'area di studio

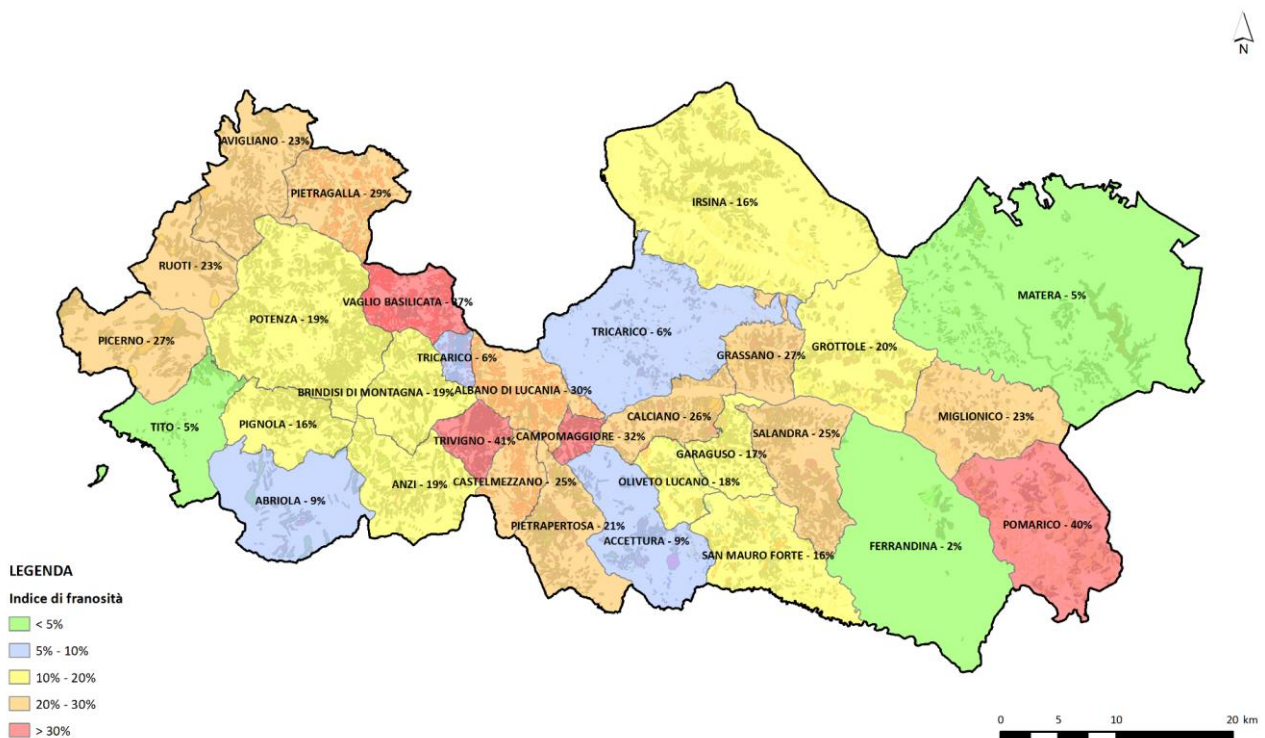


Figura 5: Indice di franosità per comune per i 30 Comuni appartenenti all'area di studio

3.1 Dati di monitoraggio da remoto

Nell'area oggetto di studio comprendente i 30 Comuni sono disponibili dati derivanti dall'elaborazione interferometrica di immagini Radar ad Apertura Sintetica (DInSAR) relativi a diversi sensori radar che garantiscono coperture spaziali e temporali differenti, in particolare si dispone di dati storici acquisiti dai sensori:

- ERS (Figura 6) coprono un periodo di acquisizione che va dal 7 luglio 1992 al 20 dicembre 2000, considerando entrambe le orbite (ascendente e discendente). Gli stessi presentano una copertura spaziale totale su tutta l'area di indagine (Figura 6) e la percentuale di frane lente coperte con almeno 3 PS è pari a 1,1% su un numero totale di frane di 20493.

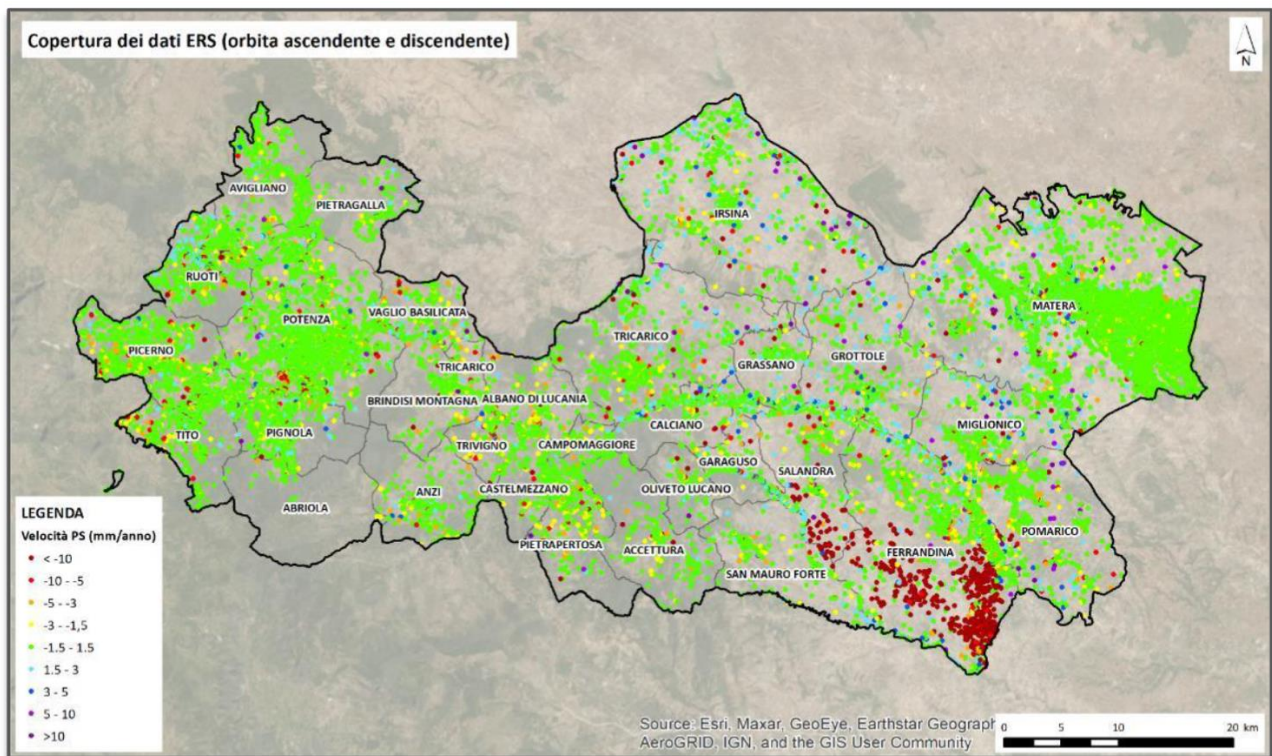


Figura 6: Mappa rappresentativa della copertura dei dati satellitari ERS sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale – MATTM)

- ENVISAT (Figura 7), disponibili nella sola orbita ascendente, coprono un periodo di acquisizione che va dal 24 giugno 2003 al 27 luglio 2010. Anche in questo caso la copertura spaziale è totale sull'area di studio (Figura 7) e la percentuale di frane lente coperte con almeno 3 PS è del 1,9% su un numero totale di frane di 20493.

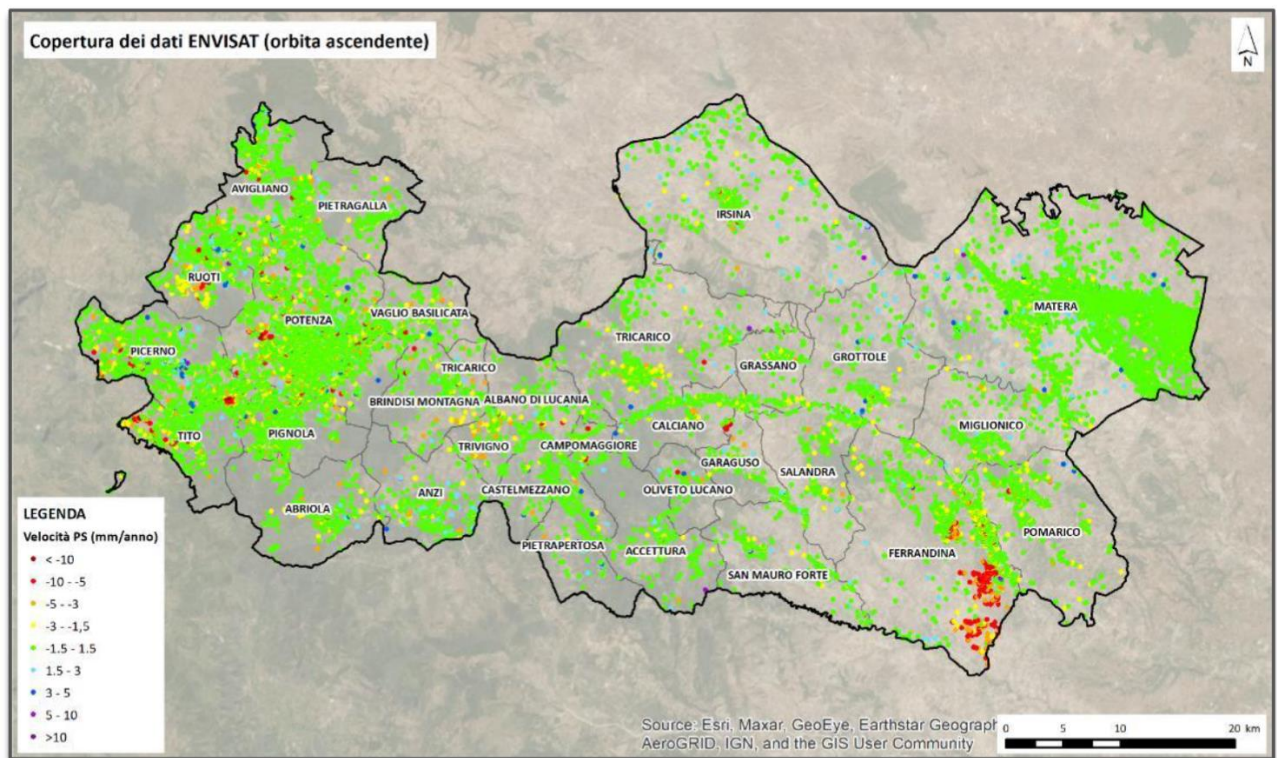


Figura 7: Mappa rappresentativa della copertura dei dati satellitari ENVISAT sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale – MATTM)

- i COSMO-SkyMed che coprono un periodo di acquisizione che va dal 23 gennaio 2011 al 25 aprile 2014, considerando entrambe le orbite (ascendente e discendente). La copertura spaziale in questo caso è parziale (Figura 8) e la percentuale di frane lente coperte con almeno 3 PS è del 11,3% su un numero totale di frane coperte di 13399.

Durante il progetto, il completamento dell'elaborazione delle immagini ad altissima risoluzione Cosmo-SkyMed (periodo 2011 – 2021), disponibili su orbita ascendente e discendente, eseguita dal partner del progetto e-GEOS ha consentito di approfondire le analisi dei 4 casi studio selezionati. In Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12 sono mostrate le distribuzioni spaziali dei dati Cosmo-SkyMed relative ai comuni di Vaglio Basilicata, Trivigno, Castelmezzano e Pietrapertosa.

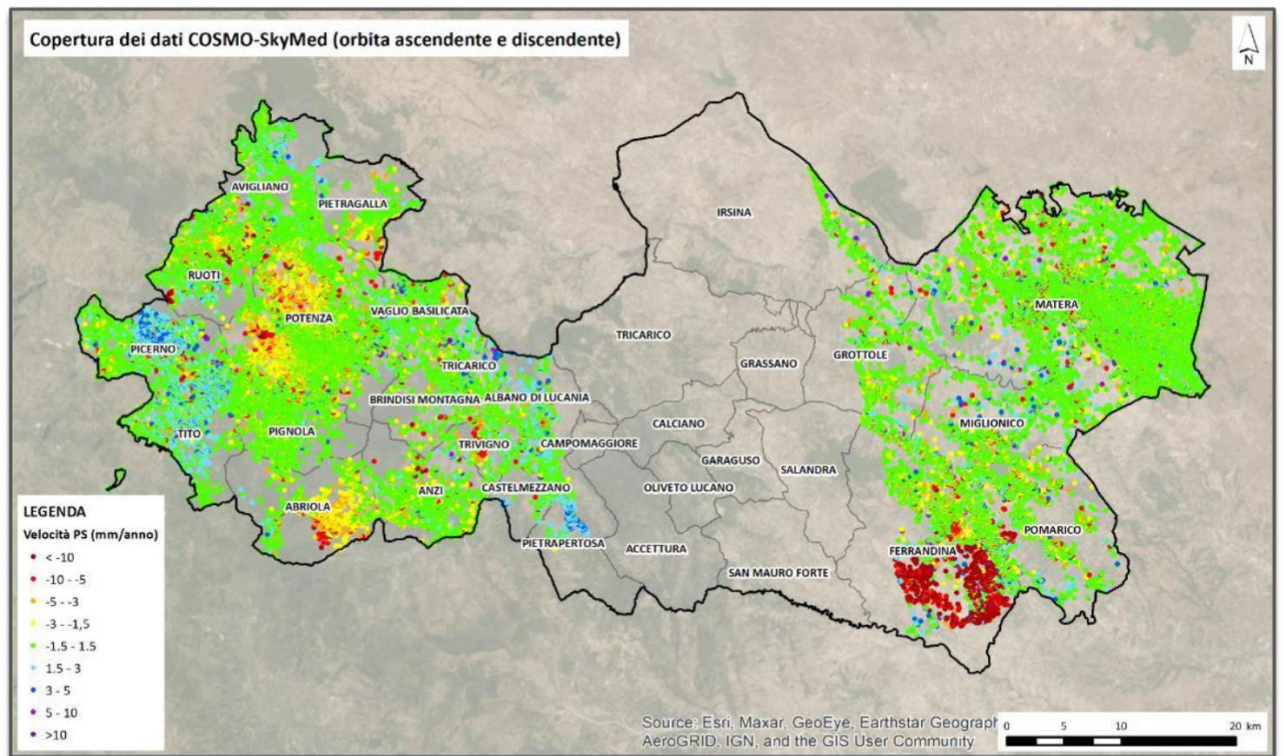


Figura 8: Mappa rappresentativa della copertura dei dati satellitari COSMO-SkyMed sull'area di studio (Fonte: Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale – MATTM)

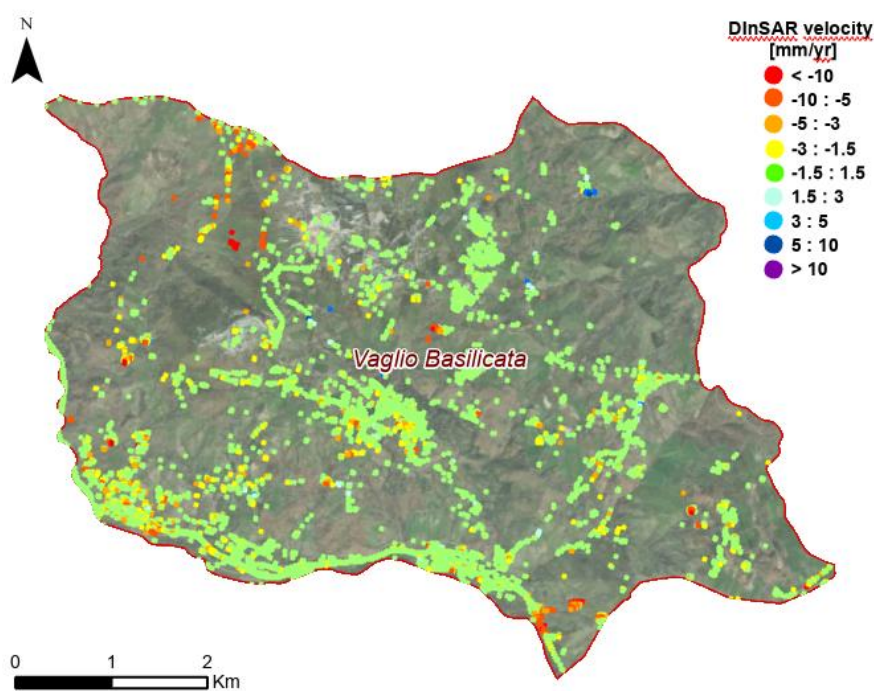


Figura 9: Distribuzione spaziale dei dati satellitari Cosmo-SkyMed (2011-2021), orbite ascendente e discendente, sul comune di Vaglio Basilicata

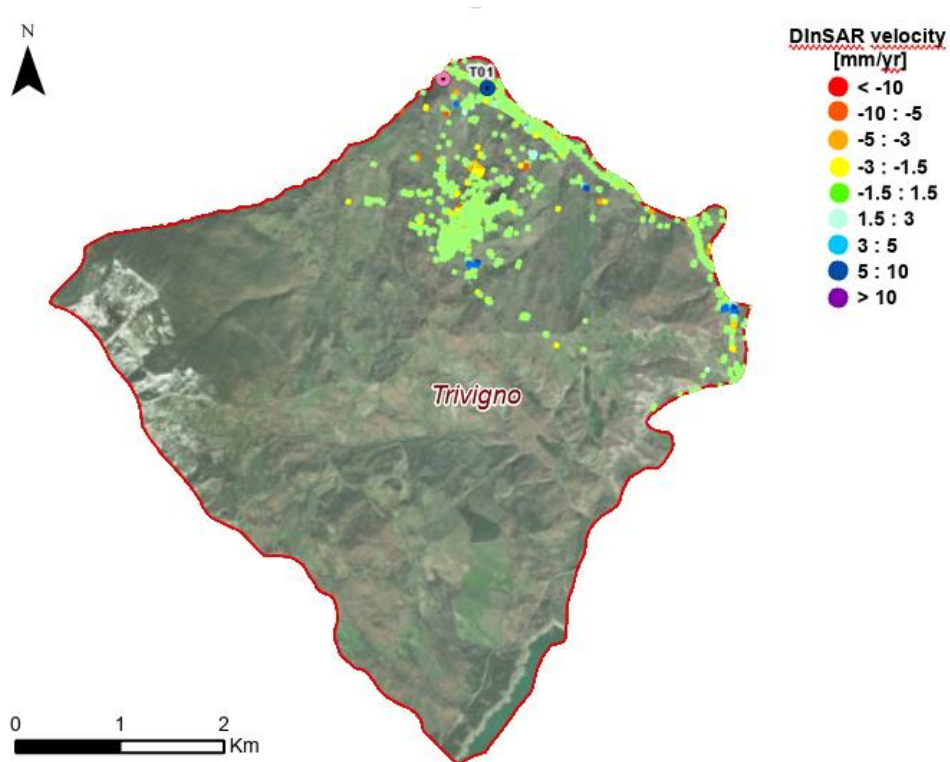


Figura 10: Distribuzione spaziale dei dati satellitari Cosmo-SkyMed (2011-2021), orbite ascendente e discendente, sul comune di Trivigno

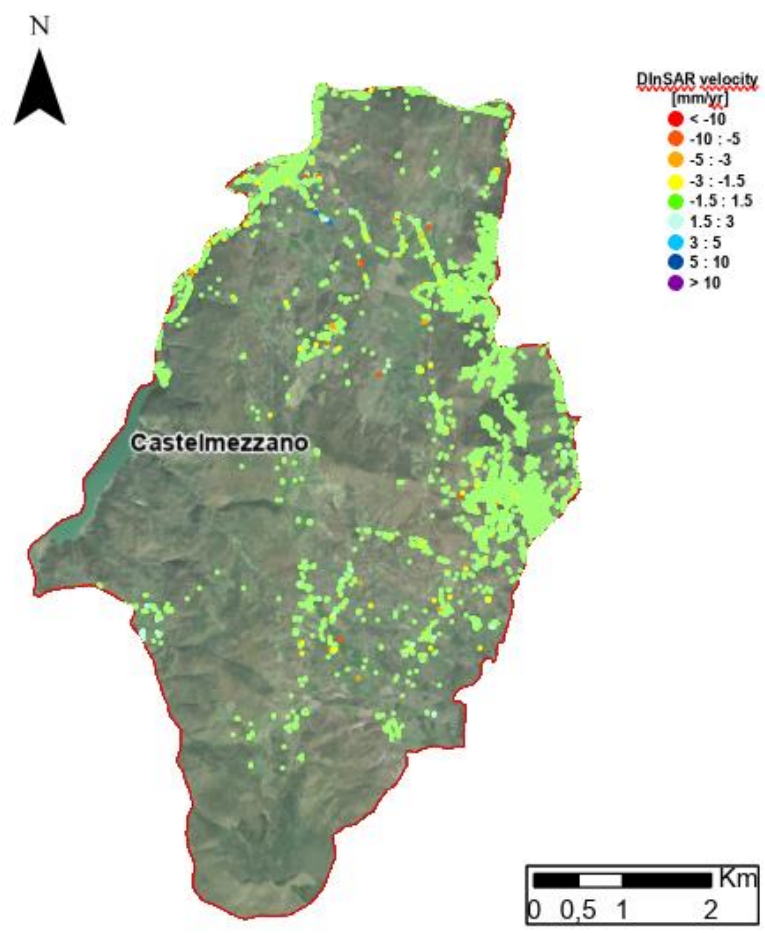


Figura 11: Distribuzione spaziale dei dati satellitari Cosmo-SkyMed (2011-2021, orbite ascendente e discendente) sul comune di

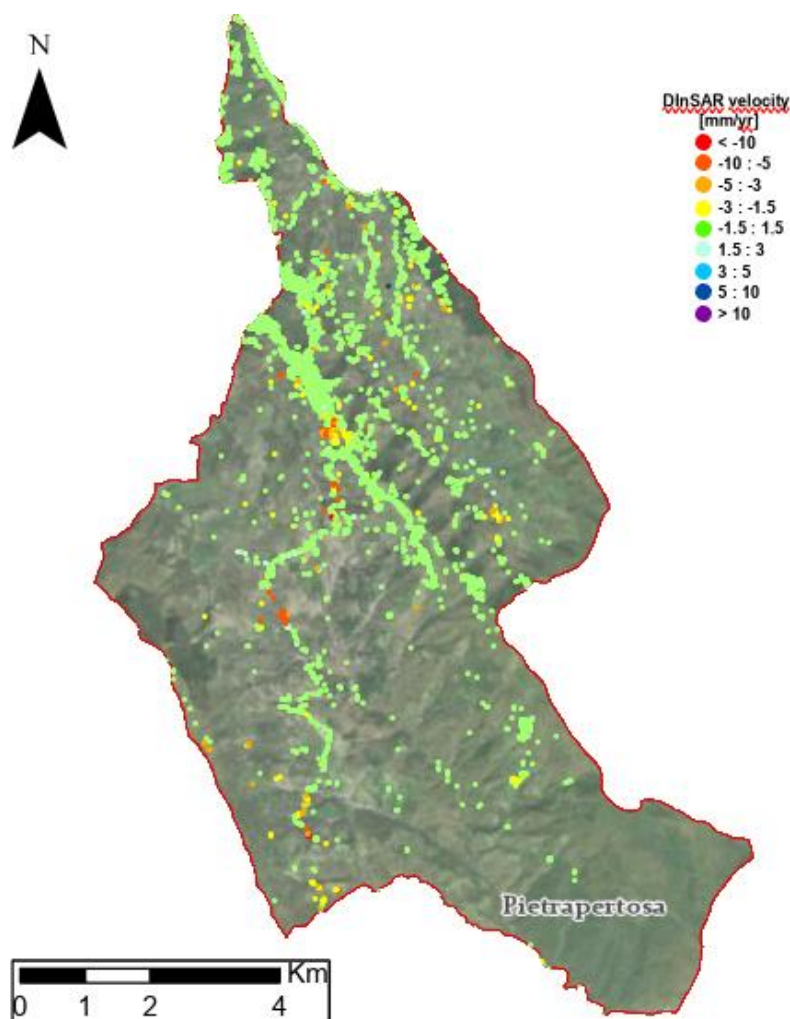


Figura 12: Distribuzione spaziale dei dati satellitari Cosmo-SkyMed (2011-2021 orbite ascendente e discendente) sul comune di Pietrapertosa.

3.2 Danni alle infrastrutture

Le frane a cinematica lenta rappresentano un tipo di movimento frequente lungo i pendii che possono compromettere pesantemente la funzionalità o addirittura la stabilità delle strutture esposte come edifici e reti infrastrutturali. Questi fenomeni naturali possono indurre notevoli conseguenze sociali ed economiche, sebbene di solito non siano associati alla perdita di vita umana. L'attenzione si è focalizzata sull'individuazione della rete viaria a scala territoriale, nello specifico si sono riscontrati 6.659,80 km totali di strade di cui il 14,41 % interagenti con corpi franosi. Per le aree di studio campione rappresentate dai quattro comuni di Vaglio Basilicata, Trivigno Castelmezzano e Pietrapertosa sono state individuate le principali strade di collegamento tra la SS 407 Basentana e i centri urbani a partire dal tematismo vettoriale della rete stradale. Attraverso un confronto con l'inventario dei fenomeni franosi, sono stati individuati i tratti stradali interagenti con frane a cinematica lenta. Su quest'ultime le condizioni di danneggiamento sono state ricercate attraverso un rilievo virtuale del danno condotto utilizzando lo strumento Google Street View e mirato alla ricerca di segni di dissesto sia sulla sede stradale che sulle opere d'arte minori (ad es.: muri di contenimento, barriere). Su ogni tratto stradale identificato (per la quale è disponibile almeno un'immagine di Google Street View nell'intervallo di tempo oggetto di indagine), è assegnato un livello di

gravità del danno adattando la scala di classificazione dei danni alle infrastrutture stradali proposto da Ferlisi et al. 2021 (sulla base della classificazione fornita da Mavrouli et al. 2019), considerando quattro classi:

- D0 (trascurabile): deformazioni e fessurazioni della pavimentazione stradale sono assenti o raramente visibili;
- D1 (leggero): deformazione della pavimentazione stradale senza comparsa di fessurazioni;
- D2 (moderato): deformazione e fessure interessano sensibilmente la pavimentazione stradale coinvolgendo parzialmente o interamente le corsie e/o i bordi della carreggiata con necessaria riduzione dei limiti di velocità;
- D3 (grave): deformazioni e fessure compromettono definitivamente la continuità della pavimentazione stradale coinvolgendo parzialmente o interamente le corsie e/o i bordi della carreggiata con necessarie restrizioni al traffico (ad esempio, senso unico alternato).

A partire da singoli tratti stradali danneggiati (o non danneggiati), le sezioni che mostrano livelli di danno uniformi sono unite in tratti ed un unico livello di severità del danno è assegnato a ciascuno di essi. Si riportano di seguito (Figura 13; Figura 14) le mappe del danno derivate per i quattro comuni oggetto di studio.

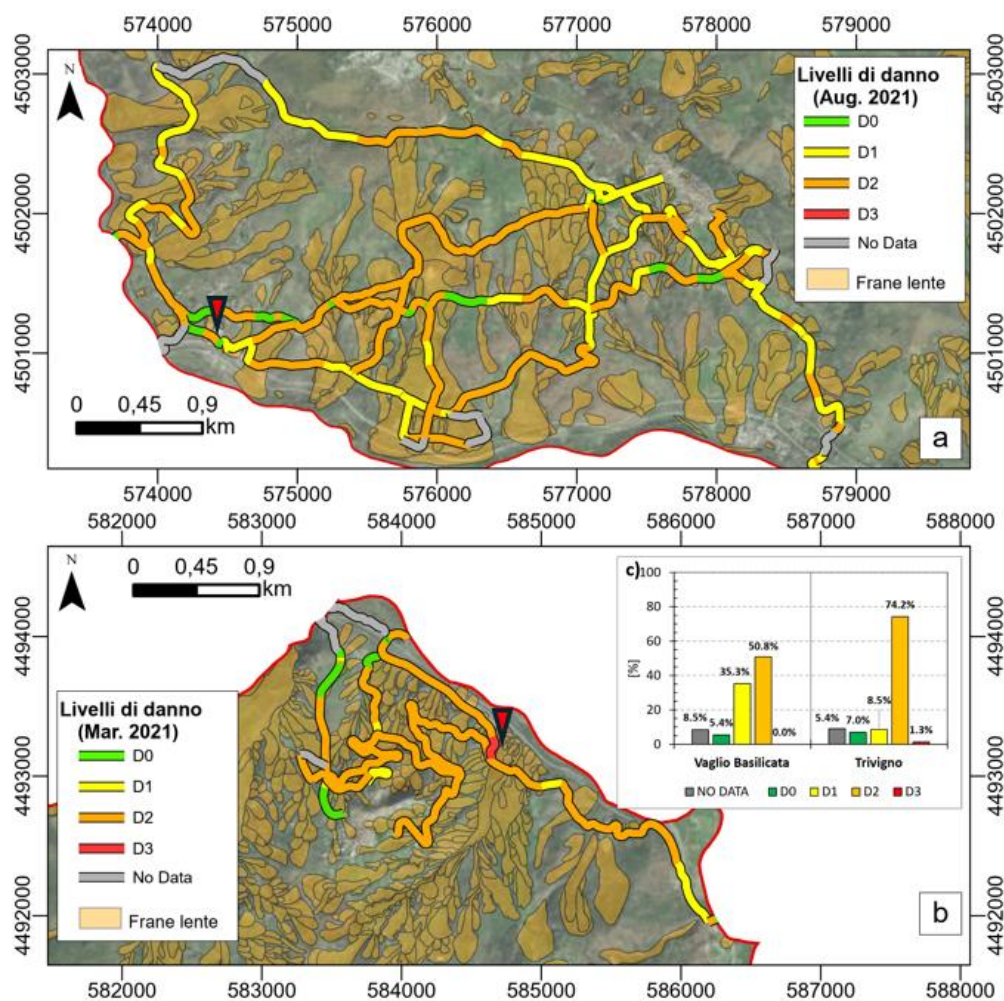


Figura 13: Mappe dei tratti stradali danneggiati con livelli di gravità risultanti dalla classificazione dei danni utilizzando immagini di Google Street View datate agosto 2021 per Vaglio Basilicata (a) e marzo 2021 per Trivigno(b).

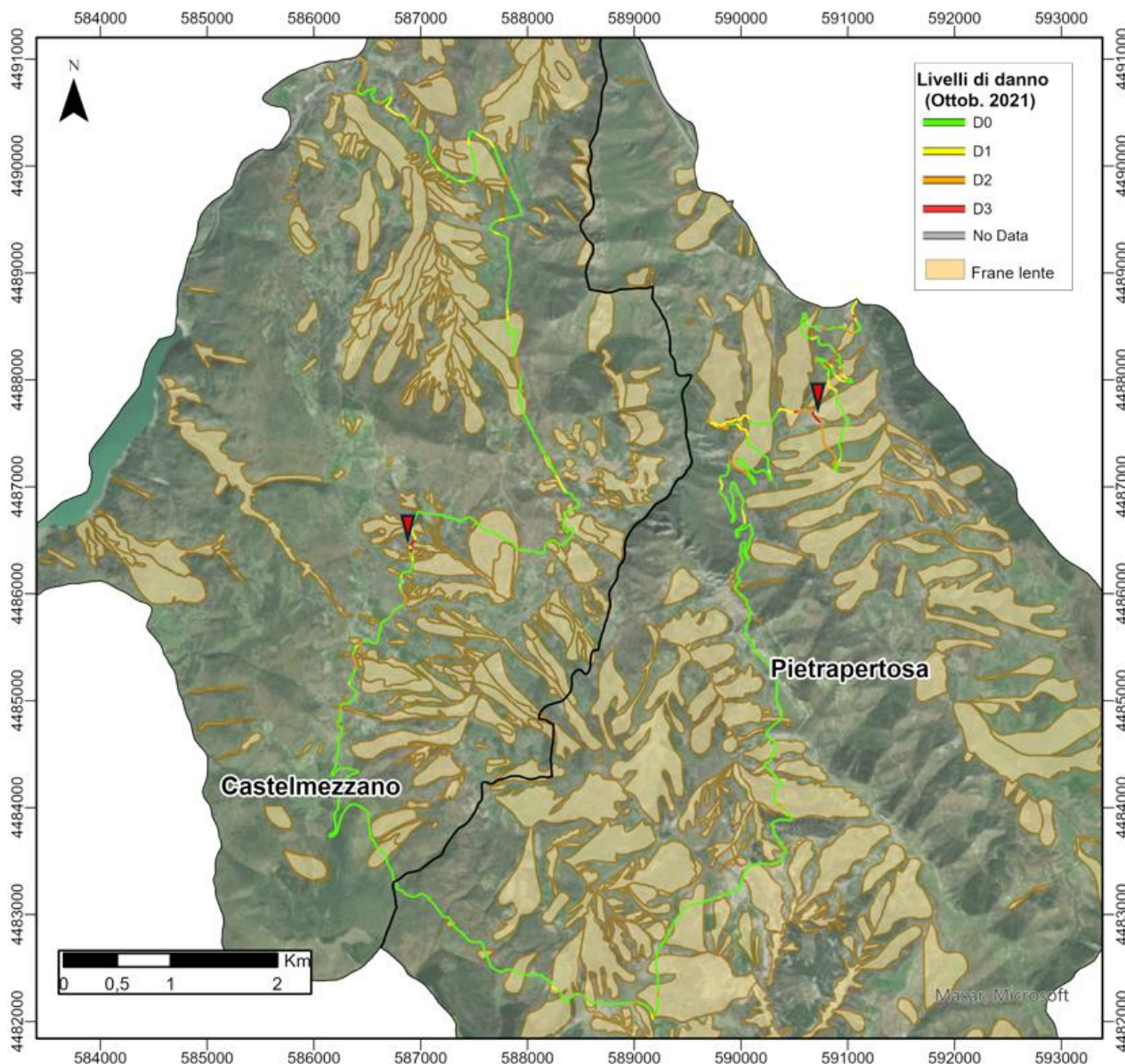


Figura 14: Mappe dei tratti stradali danneggiati con livelli di gravità risultanti dalla classificazione dei danni utilizzando immagini di Google Street View datate ottobre 2021 per i comuni di Vaglio Basilicata e Pietrapertosa.

I rilievi del danno con riferimento ai quattro comuni analizzati, evidenziano diverse criticità delle infrastrutture interagenti con corpi di frana. A titolo di esempio vengono riportati in Figura 15 alcuni tratti rilevati con livello di danno D2 (per il comune di Vaglio Basilicata Figura 15a) e D3 per i restanti tre comuni. I tratti mostrati in Figura 15 fanno riferimento ai segnaposti identificati nelle mappe di Figura 13 e Figura 14.

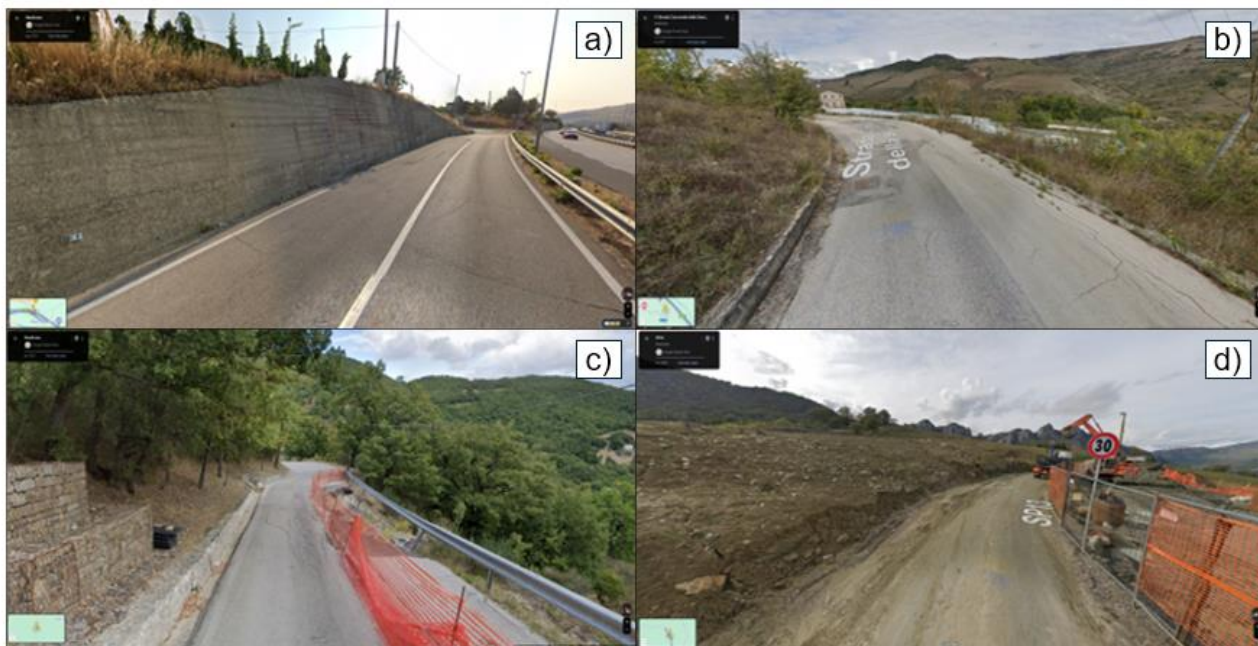


Figura 15: Esempi di rilievo virtuale del danno tramite Google StreetView con riferimento a immagini relative al 2021: a) Vaglio Basilicata, b) Trivigno, c) Castelmezzano, d) Pietrapertosa

4. Analisi e Risultati

Nel corso del progetto, è stata messa a punto una procedura (Figura 16) per la classificazione del rischio (o attenzione) da frana lungo i tratti stradali di collegamento da/per i comuni di Vaglio Basilicata e Trivigno e la SS 407 Basentana che ha visto l'analisi e la combinazione ragionata di diversi indicatori quali: indice di suscettibilità derivato da una zonazione della suscettibilità da frana a scala territoriale per mezzo di analisi statistiche bivariate, tassi medi di spostamento ricavati dall'analisi di dati di telerilevamento DInSAR e risultati dei rilievi virtuali del danno ottenuti da Google Street View. I risultati dell'applicazione sulle aree di studio sono descritti nel dettaglio nell'articolo pubblicato su rivista Pecoraro et al., 2023, <https://doi.org/10.3390/app13053368>).

La procedura a scala comunale è sviluppata considerando tre fasi consecutive (Figura 16).

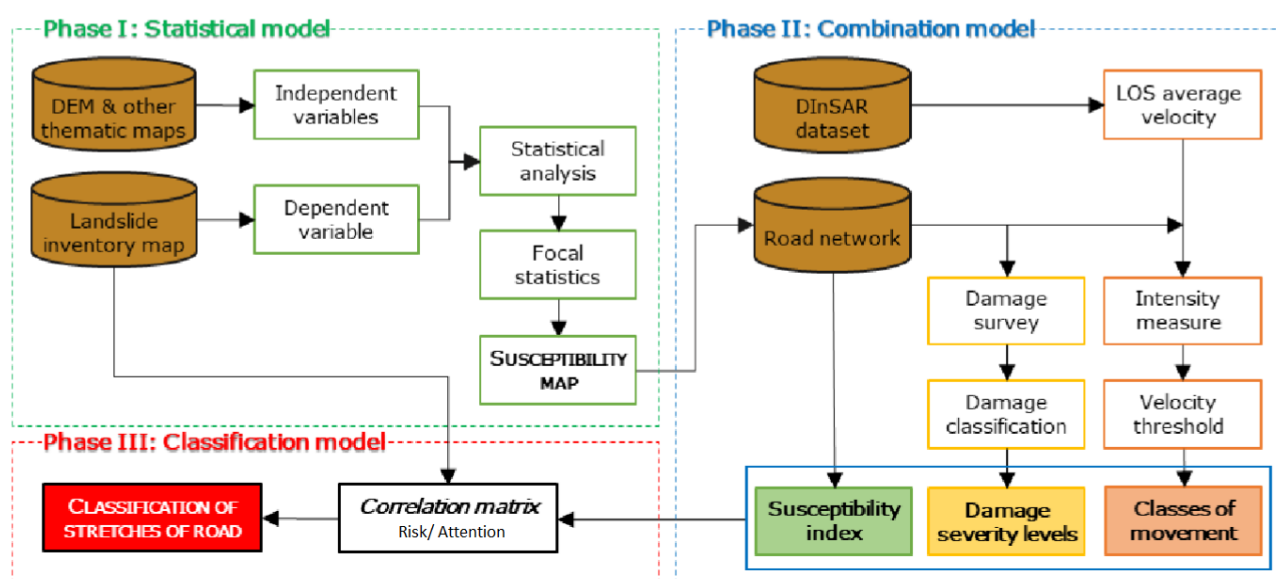


Figura 16: Procedura per lo studio dell'interazione tra frane a lento movimento e la rete stradale a livello comunale combinando informazioni provenienti da mappe di suscettibilità, analisi di dati DInSAR e indagini sui danni.

In particolare, le attività sono essenzialmente rivolte a: (i) definizione e applicazione di un modello statistico di zonizzazione; (ii) individuazione di un indice di suscettibilità, del livello di danno e della classe di movimento basato su misurazioni dello spostamento della superficie topografica derivate dal DInSAR lungo la rete stradale, attraverso un modello combinato; (iii) produrre una matrice di correlazione combinando tutte le informazioni in modo da assegnare un livello di rischio (o di attenzione) ad ogni tratto della rete stradale, mediante un modello di classificazione definito. A questi scopi, i dati spaziali sono stati gestiti in ambiente GIS. Nello specifico la fase (i) ha riguardato l'analisi statistica basata su correlazioni bivariate tra le variabili indipendenti (vale a dire, ciascuna variabile spaziale disponibile derivata da mappe tematiche significative, quali pendenza, esposizione, accumulo di deflusso) e quelle dipendenti (ovvero, le frane cinematica lenta presenti nell'inventario ufficiale). La mappa computazionale della suscettibilità da frana viene utilizzata come input per produrre mappa di zonizzazione della suscettibilità da frana dell'area basata su unità di zonizzazione del terreno opportunamente definite tra unità computazionali del terreno, TCU e unità di zonizzazione del terreno, TZU. Le TCU si riferiscono ai domini spaziali utilizzati per definire un modello per l'analisi delle frane, mentre le TZU sono domini spaziali utilizzati per produrre una mappa delle frane ai fini della zonizzazione.

In particolare, la dimensione delle TCU è associata alla risoluzione spaziale della mappa, mentre la dimensione delle TZU è associata alla risoluzione informativa desiderata della zonizzazione. Il valore dell'indice finale di suscettibilità della zonizzazione, ISTZU, è assegnato a ciascuna TZU in base alla seguente equazione:

$$IS_{TZU} = \frac{\sum_{k=1}^N IS_{TCU(k)}}{N}$$

dove $IS_{TCU(k)}$ è l'indice di suscettibilità computazionale della k-esima TCU appartenente all'area di influenza della TZU, e N è il numero di TCU appartenenti all'area di influenza di TZU. Le mappe di zonizzazione risultanti, il cui numero dipende dal numero di caratteristiche dimensioni delle aree di influenza considerate nelle analisi, vengono valutate comparativamente utilizzando le curve ROC. La mappa di zonizzazione ottimale può essere considerata quella che massimizza l'area sotto la curva, AUC, delle curve ROC. La fase (ii) denota lo sviluppo di un modello combinato mirato all'uso congiunto dei dati statistici, analisi degli spostamenti e dei danni. A questo scopo, le TZU intersecanti la rete stradale in esame, TZU_{road} , vengono individuate introducendo un buffer disposto simmetricamente in direzione ortogonale rispetto alla mezzzeria della strada. L'indice di suscettibilità stradale, IS_{road} , viene calcolato considerando l' IS_{TZU} derivato dalla mappa di zonazione della suscettibilità realizzata al termine della fase (i). La velocità media DInSAR, registrata lungo la linea di vista (LOS) sensore-bersaglio, è assunta come misura di intensità di ciascuna TZU. Un valore di velocità medio, calcolato come media aritmetica del V_{LOS} annuale di ciascun bersaglio coerente rientrante nella kth TZU (se coperta) o derivanti da frane a cinematica lenta interagenti (per le quali sono disponibili abbastanza bersagli coerenti) viene assegnato a ciascuna TZU. Considerando un valore soglia della velocità (nello specifico di 1,5 mm/anno), in base all'accuratezza del dataset DInSAR utilizzato, assunto come indicatore di movimento, viene definita una condizione di "movimento" o "non movimento". I danni che interessano la rete stradale vengono valutati sulla base dei risultati dei rilievi virtuali effettuati utilizzando i dati disponibili di Google Street View. Ad ogni tratto stradale viene assegnato un livello di danno come descritto nel paragrafo 3.2. A partire da singoli tratti stradali danneggiati (o non danneggiati), i tratti le cui sezioni mostrano livelli di danno uniformi, vengono uniti ed è a loro assegnato un livello di danno unico. Ad ogni TZU_{road} vengono infine associate le tre tipologie di informazioni recuperate: indice di suscettibilità, livello di danno (se la cella della griglia è coperta) e velocità con stato di movimento associato (se la cella della griglia è coperta).

Nella fase (iii), la coerenza tra le informazioni raccolte dai metodi statistici, dalle misure di spostamento e dall'analisi dei danni nella seconda fase è stata elaborata e sottoposta a controlli incrociati per classificare il livello di rischio (in presenza di una frana mappata) o di attenzione richiesta (in assenza di una frana mappata) associata a ciascuna TZU_{road} . Le informazioni raccolte dall'inventario delle frane e dai tre indicatori calcolati nella seconda fase (indice di suscettibilità, livello di severità del danno, velocità) sono state trattate come variabili dicotomiche, in modo che ci sia solo un risultato positivo o negativo possibile per ciascuno di esse: "sì" o "no" per frana; ">0" o "<0" per l'indice di suscettibilità; "danneggiato" o "non danneggiato" per il livello di danno; "in movimento" o "non in movimento" per la velocità. Pertanto, quando una TZU_{road} non è coperta da rilievi del danno o dal DInSAR, viene prudenzialmente considerato rispettivamente "danneggiato" o "in movimento". Sono state considerate sedici combinazioni possibili e ad esse associati quattro livelli di rischio (in presenza di frana mappata) o attenzione richiesta (in assenza di frana mappata), adottando i seguenti criteri:

- “alto”, quando tutti e tre gli indicatori sono positivi;
- “medio”, quando due indicatori sono positivi;
- “basso”, quando un indicatore è positivo;
- “molto basso”, quando tutti e tre gli indicatori sono negativi.

In base a tale classificazione la rete stradale viene suddivisa in tratti esposti a diversi livelli di rischio (o attenzione) aggregando TZU_{road}. Per tratti stradali dove le informazioni non sono univoche (es. tratti stradali che presentano diversi livelli di rischio oppure attenzione), viene considerato il livello di rischio o attenzione più elevato.

La metodologia descritta ha prodotto come risultato, per i comuni di Vaglio e Trivigno, la classificazione in livelli di rischio e attenzione dei tratti stradali interagenti con la SS 407 Basentana mostrata in Figura 17.

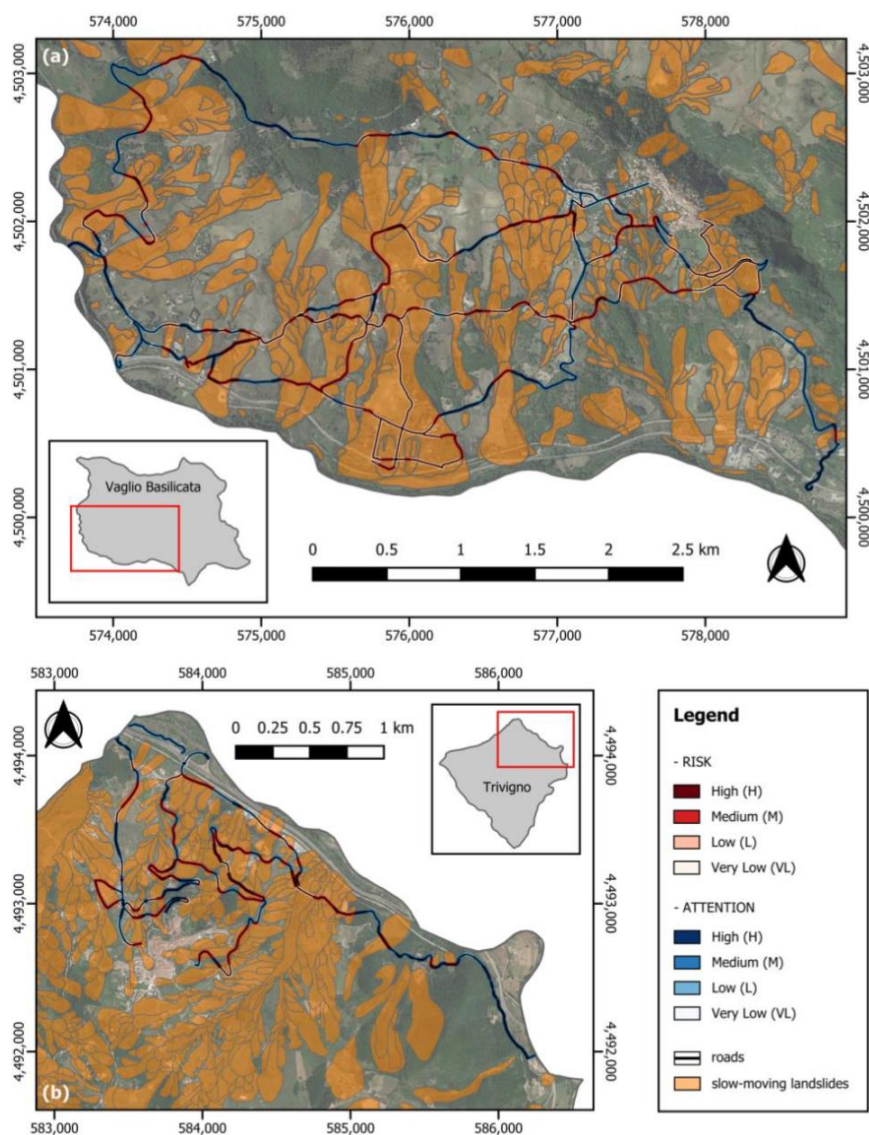


Figura 17: Classificazione dei tratti stradali indagati in diversi livelli di rischio e attenzione risultante dall'applicazione della metodologia proposta nei comuni di Vaglio Basilicata (a) e Trivigno (b).

La metodologia è stata poi estesa anche alla rete stradale di collegamento tra i comuni di Castelmezzano e Pietrapertosa. In particolare, alla strada interpodereale Santa Croce Camastra di collegamento tra il comune

di Castelmezzano e la SS 407 Basentana e alla strada SP 13 che collega il comune di Pietrapertosa con la SS 407 Basentana; è stato oggetto di analisi anche il tratto stradale della SP 13 di collegamento tra i due comuni citati. I risultati sono mostrati in Figura 18.

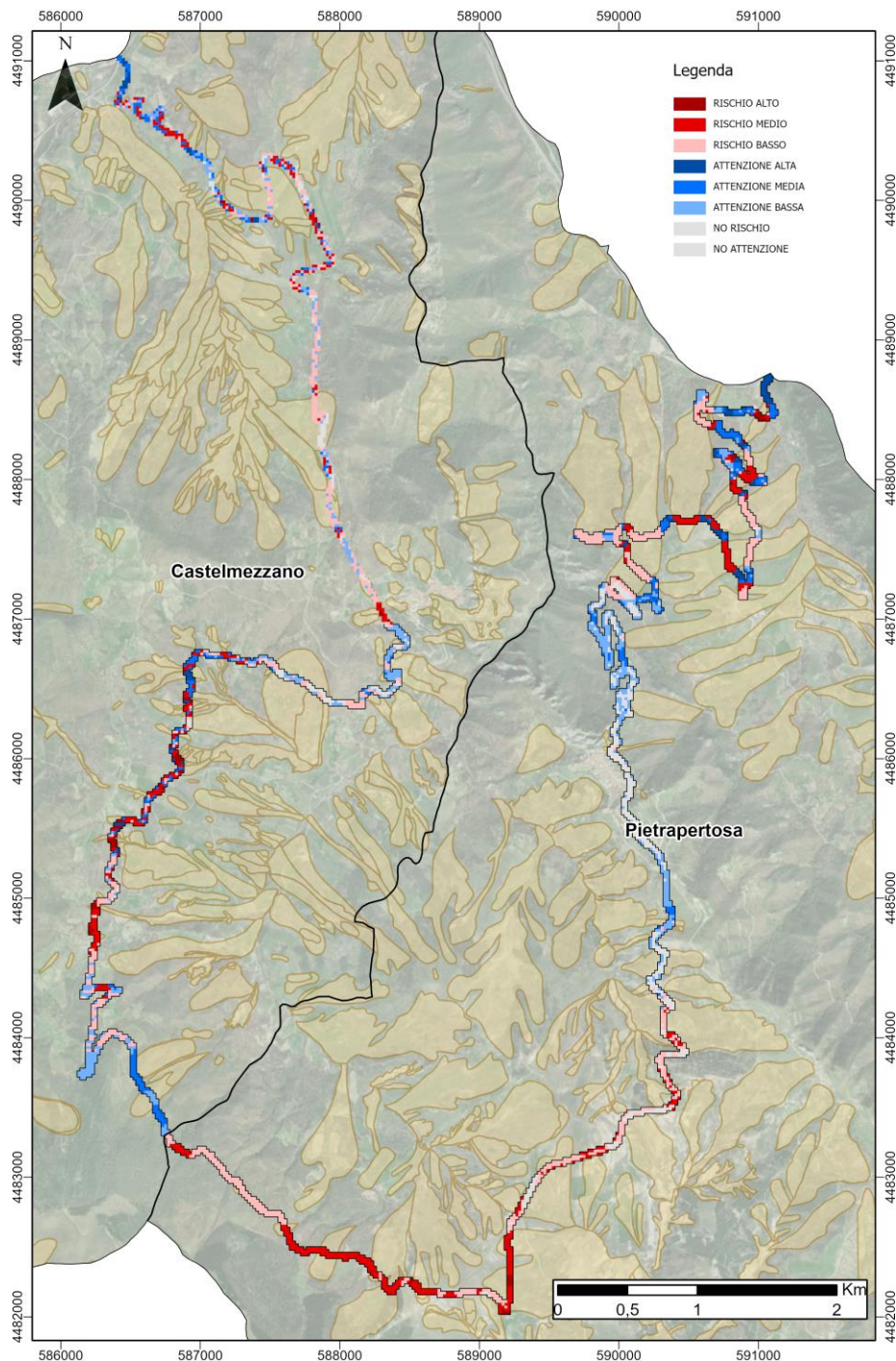


Figura 18: Classificazione dei tratti stradali indagati in diversi livelli di rischio e attenzione risultante dall'applicazione della metodologia proposta nei comuni di Castelmezzano e Pietrapertosa.

Con riferimento alle analisi a scala comunale finalizzate allo studio del comportamento cinematico di frane a movimento lento, requisito necessario per una valutazione “dinamica” del rischio infrastrutturale associato a riattivazioni e/o accelerazioni di frane lente pluvio-indotte, è stata svolta un’attività di

sperimentazione in collaborazione con la Fondazione CMCC volta all'individuazione di relazioni tra le precipitazioni e/o variabili idrauliche del suolo derivate dalla rianalisi atmosferica di dati acquisiti da remoto e gli spostamenti superficiali ricavati dall'elaborazione di dati di telerilevamento satellitare DInSAR. In particolare, la rianalisi di variabili atmosferiche acquisite da remoto (es. precipitazione cumulata, contenuto volumetrico d'acqua nel suolo derivati dal sensore CERRA con risoluzione spaziale pari a 5.5 km) e l'analisi degli spostamenti superficiali ricavati dall'elaborazione di dati di telerilevamento satellitare DInSAR (es. acquisiti dalla costellazione Cosmo-SkyMed) ha mostrato buoni risultati con riferimento alla scala comunale sull'area di studio di Vaglio Basilicata selezionata a riferimento. I risultati ottenuti sono stati presentati in occasione del VIII Convegno Nazionale dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica (CNRIG'23) e sintetizzati nella nota pubblicata negli atti su Geotechnical Engineering in the Digital and Technological Innovation Era, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham (https://doi.org/10.1007/978-3-031-34761-0_30).

I dati meteorologici e DInSAR, analizzati congiuntamente con riferimento ad un intervallo temporale fisso corrispondente all'anno idrologico (1 settembre – 31 agosto) per gli otto anni di sovrapposizione tra i due set di dati disponibili (2012–2020) per l'area di studio di Vaglio Basilicata hanno fornito i risultati mostrati in Figura 19.

In particolare, le velocità medie annuali di PS in movimento derivate dai dati DInSAR (LOS soglia di velocità superiore a 1,5 mm/anno) che copre le frane a lento movimento, sono stati calcolati con riferimento a ciascun anno idrologico (Figura 19a) e rappresentati adottando box-plot che riportano media, mediana, primo e terzo quartile, minimo e valori massimi e relativi valori anomali. Queste informazioni derivate dai dati DInSAR sono state confrontate rispetto alle anomalie nei valori delle precipitazioni cumulate nell'arco di 12 mesi (Figura 19b) e alle anomalie nel numero di mesi per i quali il volume medio di contenuto volumetrico di acqua (VWC) è superiore a una soglia specificata (fissata a 0,27) (Figura 19c), valutati dal dataset CERRA nello stesso periodo di osservazione. Entrambe le anomalie sono state calcolate su scala mensile assumendo come base di riferimento i trent'anni dal 1991 al 2020. La soglia presunta per il VWC è abbastanza vicina al valore medio calcolato sull'intero periodo 1991–2020. Il rapporto tra misure meteorologiche da telerilevamento e dati DInSAR (Figura 19) indica una buona corrispondenza tra i due insiemi di dati, con un numero maggiore di anomalie mensili sia per i valori cumulati delle precipitazioni su 12 mesi che per il VWC che superano la soglia fissa, in corrispondenza dei tre anni (2, 5 e 7) per i quali si registrano le velocità medie annue DInSAR più elevate. Questo risultato è confermato dal dato spaziale di distribuzione delle frane a cinematica lento coperta da pixel coerenti in movimento (PS) mostrata in Figura 20. Infatti, negli otto anni idrologici indagati, gli anni 2, 5 e 7 sono caratterizzati da un numero maggiore di PS in movimento (con un valore di velocità media superiore alla velocità soglia pari a 1,5 mm/anno) nonché valori di intensità più elevati.



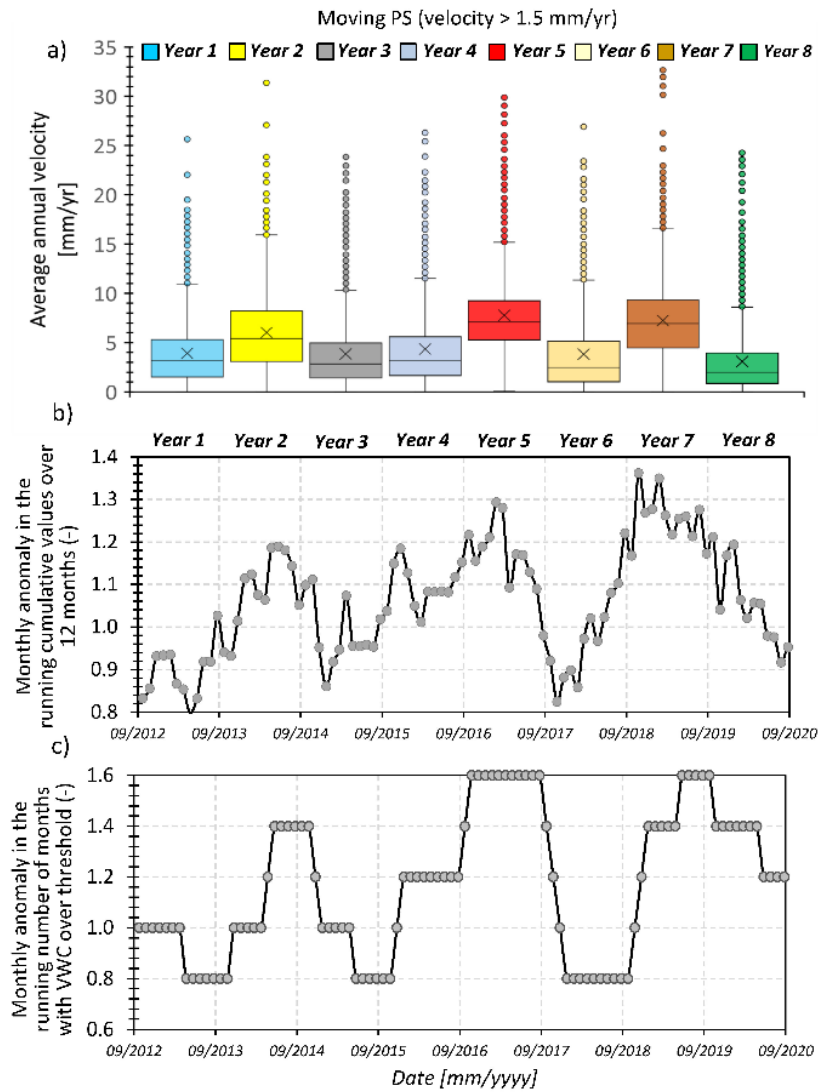


Figura 19: Velocità annuali medie dei PS in movimento recuperate da DInSAR (soglia di velocità LOS superiore a 1,5 mm/anno); b) anomalie nei valori cumulativi correnti nell'arco di 12 mesi confrontati allo scenario di riferimento 1991-2020; c) anomalie nel numero progressivo di mesi con volume d'acqua contenuto (VWC) superiore alla soglia (fissa pari a 0,27) rispetto al riferimento 1991-2020.

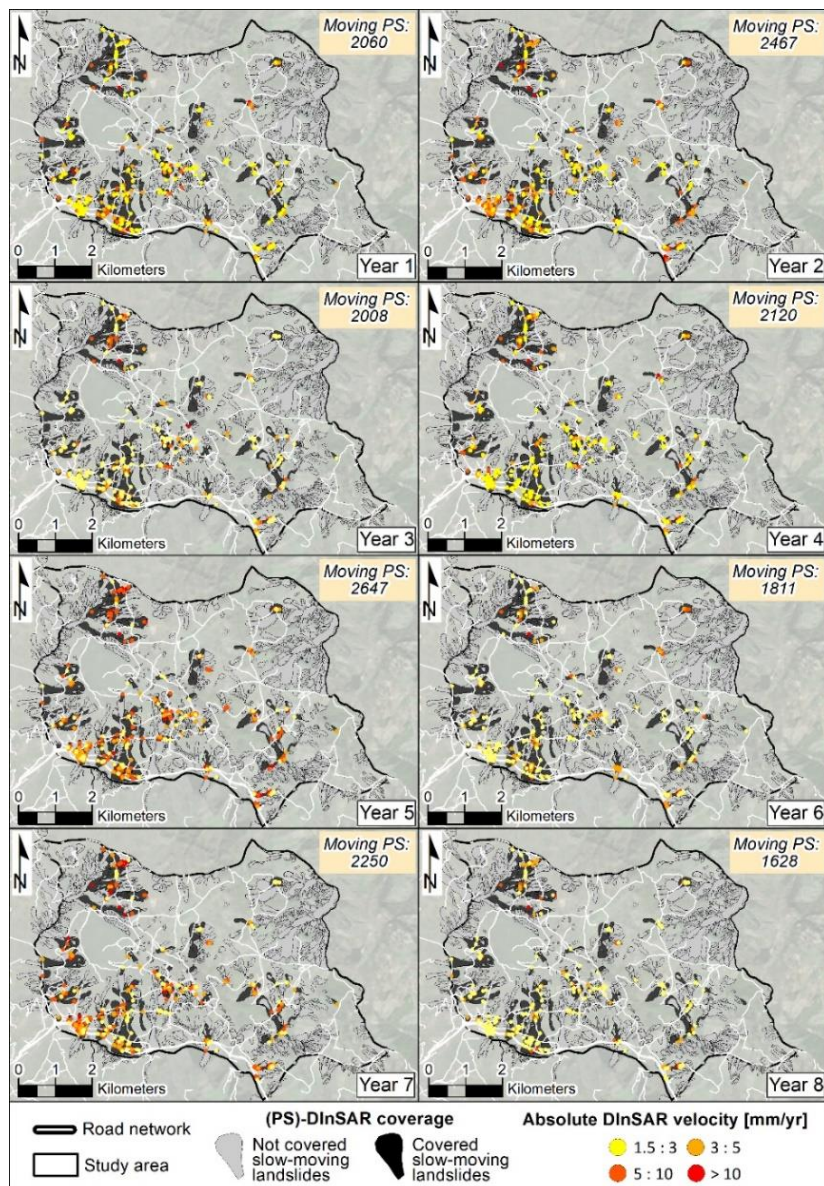


Figura 20: Distribuzione spaziale di frana a cinematica lenta, Comune di Vaglio Basilicata, coperta da pixel ad alta coerenza (PS) con un valore di velocità medio annuo che supera una soglia di velocità pari a 1,5 mm/anno negli otto anni di osservazione.

CONCLUSIONI

La presente relazione sintetizza i risultati delle analisi condotte a scala comunale nell'ambito del Progetto MITIGO finalizzati alla combinazione di dati di spostamento e di danno sulle infrastrutture stradali, che interagiscono con frane a cinematica lenta, acquisiti da remoto e finalizzati alla valutazione delle conseguenze attese e del rischio/attenzione ad esse connesso.

La procedura messa a punto per la classificazione del rischio (o attenzione) da frana lungo i tratti stradali di collegamento dei quattro comuni analizzati ha permesso l'individuazione dei tratti stradali dove potrebbe essere necessario adottare misure di mitigazione (per tratti stradali classificati a rischio alto e medio) o ulteriori approfondimenti (per tratti stradali classificati ad alta e media attenzione). È importante evidenziare che i risultati della classificazione ottenuti nelle aree di studio devono essere interpretati tenendo conto della scala comunale dell'analisi - quindi la procedura non mira a definire livelli di rischio o di attenzione a livello locale - e che le fonti di incertezza che influenzano l'accuratezza finale dei risultati sono molteplici. A questo proposito, le incertezze possono essere inerenti a: mappatura delle frane in movimento lento a scala regionale (vale a dire, l'inventario delle frane adottato); la natura della valutazione del livello di gravità del danno stradale (vale a dire, la valutazione a distanza senza una estesa validazione sul campo); la valutazione qualitativa degli spostamenti cumulati necessari per assegnare, ai tratti di strada interagenti con frane a cinematica lenta, uno specifico livello di danno; l'impossibilità di considerare le caratteristiche meccaniche dei materiali del manto stradale e dei terreni interagenti con i tratti stradali. L'aspetto positivo più importante della procedura proposta risiede nell'evidenza che i tratti stradali, potenzialmente interessati dall'attività delle frane a cinematica lenta, possono essere classificati e prioritizzati a scala comunale, in una serie di livelli di rischio o di attenzione adottando una procedura di classificazione qualitativa piuttosto semplice in relazione alla scala di analisi basata su pochi dati relativamente facili da reperire e da gestire. La procedura proposta consente di ottenere la classificazione dei tratti stradali interessati da frane a cinematica lenta anche in assenza di informazioni sulla dimensione, sullo stato di attività o sul volume delle frane e con dati limitati sulla pericolosità e sulla vulnerabilità. Questo tipo di approccio può risultare utile come supporto per studi della rete stradale su vaste aree al fine di stabilire le priorità delle misure di mitigazione del rischio, nonché per identificare i tratti stradali che richiedono ulteriori indagini e analisi sia geomorfologiche che geotecniche. Per quanto riguarda i risultati delle analisi finalizzate allo studio del comportamento cinematico di frane a cinematica lenta, requisito necessario per una valutazione "dinamica" del rischio infrastrutturale associato a riattivazioni e/o accelerazioni di frane lente pluvio-indotte, essi hanno evidenziato la possibilità di collegare informazioni rilevate dallo spazio (satelliti) in analisi finalizzate allo studio il comportamento cinematico delle frane lente a scala comunale. I risultati ottenuti sono incoraggianti poiché hanno consentito l'analisi a ritroso, utilizzando dati fruibili liberamente (omogenei nello spazio e nel tempo), di aree o periodi non adeguatamente coperti dalle reti di osservazione meteorologica negli ultimi decenni. Con riferimento a tale ultimo aspetto, sono in corso ulteriori approfondimenti su altri casi di studio al fine di ampliare e rafforzare le analisi effettuate sul territorio di Vaglio Basilicata e validarne i risultati.





www.mitigoinbasilicata.it

Obiettivi Realizzativi n. 2 e 4
Valutazione del Rischio Idrogeologico
Sviluppo di un sistema integrato di monitoraggio

Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea - FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it

Responsabile della pubblicazione:
 Università degli Studi della Basilicata
 Scuola di Ingegneria
 Via dell'Ateneo Lucano 10
 85100 Potenza



UNIONE EUROPEA
 Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



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

