



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze

Direttore Prof.sa Cristina Stefani

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA**

**VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA
NELLA RETE VIARIA DEL COMUNE DI TRISSINO (VI)**

Relatore: Prof. Mario Floris

Correlatori: Dr. Alessandro Pasuto

Dr. Simone Frigerio

Laureanda: Debora Antonello

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

SOMMARIO

1. Introduzione.....	5
2. Inquadramento territoriale e morfologico.....	7
2.1 Geologia e Tettonica generale.....	9
2.2 Geologia, geomorfologia e idrogeologia dell'area in studio.....	11
3. Metodologie di indagine.....	15
3.1 Classificazione dei fenomeni franosi.....	15
3.2 Pericolosità, vulnerabilità e rischio da frana.....	26
3.2.1 Pericolosità spaziale.....	29
3.2.2 Pericolosità temporale.....	33
3.2.2.1 Consultazione delle foto aeree.....	33
3.2.2.2 Interferometria RADAR satellitare.....	37
3.2.2.3 Afflussi meteorici.....	41
4. Risultati ottenuti.....	43
4.1 Pericolosità spaziale.....	43
4.1.1 Riclassificazione dei dati spaziali di input.....	43
4.1.2 Analisi dei dati con il modello "Frequency ratio".....	46
4.1.3 Determinazione della carta di suscettibilità.....	49
4.1.4 Validazione del modello: "Success rate curve" e "Predictive rate curve".....	51
4.2 Pericolosità temporale.....	55
4.2.1 Analisi delle foto aeree.....	55
4.2.2 Analisi interferometrica.....	66
4.2.3 Analisi degli afflussi meteorici.....	73
4.2.4 Determinazione della carta di pericolosità temporale.....	75
4.3 Pericolosità totale.....	77
4.4 Valutazione del rischio da frana per la rete viaria.....	79
5. Conclusioni.....	82
6. Bibliografia.....	84
Allegato 1.....	86
Allegato 2.....	87
Indice delle figure.....	109
Indice delle tabelle.....	111

1. INTRODUZIONE

L'Italia è uno dei paesi europei maggiormente interessati da fenomeni franosi. Tale nazione presenta infatti un'esposizione al rischio da frana molto elevato per la sua geologia e morfologia (territorio montano-collinare per il 75%).

Proprio le frane sono i processi naturali che si ripetono con maggior frequenza così come i terremoti e causano innumerevoli vittime e danni a centri abitati, strutture e infrastrutture (Iadanza et al., 2012).

La presente tesi ha preso in considerazione le problematiche riferite ai fenomeni franosi nell'area del comune di Trissino, in provincia di Vicenza, che coinvolgono principalmente i depositi di alterazione delle rocce vulcaniche presenti.

L'obiettivo del lavoro è stato quello di caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale delle frane, con particolare riferimento a quei fenomeni che inducono condizioni di rischio alla rete viaria comunale.

Il termine rischio fa riferimento al grado di perdita che viene previsto per una singola categoria di elementi (in questo caso le strade), perdita che si verifica nel momento in cui un particolare fenomeno franoso di una certa intensità viene innescato. Esso è espresso dal prodotto fra la pericolosità totale (spaziale e temporale), definita come la probabilità che un certo fenomeno potenzialmente distruttivo si verifichi in un determinato intervallo di tempo coinvolgendo una certa area, e la vulnerabilità, ovvero la tendenza alla compromissione di una data porzione di territorio o di un determinato bene esposto all'azione di agenti naturali.

La valutazione del rischio è possibile quindi solo quando si focalizzano le conseguenze dell'impatto dei fenomeni franosi sulla società in termini di perdite (Van Asch et al., 2014) e si genera quando sussistono i presupposti di pericolosità, i quali interferiscono con beni di elevata vulnerabilità.

Per gli scopi della tesi, quindi, sono stati analizzati i principali fattori che condizionano lo sviluppo delle frane (Floris et al., 2011) ed è stato valutato il

loro stato di attività per elaborare dei modelli previsionali delle instabilità (Floris et al., 2011).

Nelle fasi preliminari del lavoro è stata raccolta e analizzata la documentazione tecnica e scientifica disponibile per l'area in studio:

- il progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia);
- la carta geomorfologica del PAT (Piano di Assetto Territoriale);
- le foto aeree, le ortofoto e i dati SAR di interferometria RADAR satellitare;
- l'archivio delle precipitazioni annuali e mensili dal 1954 al 2010 .

Lo studio ha previsto l'analisi a larga scala (1:5000-1:10000) dei fattori che condizionano i numerosi fenomeni franosi presenti nel territorio.

Tale analisi è stata condotta in forma probabilistica utilizzando il metodo denominato "Frequency ratio" (Lee & Min, 2001; Floris et al., 2011) e grazie all'ausilio di tecniche GIS, per fare in modo di stimare la suscettibilità da frana (pericolosità spaziale) dell'area in studio.

In seguito è stata condotta un'analisi dell'evoluzione temporale dei fenomeni franosi (pericolosità temporale).

A tal fine sono stati presi in considerazione gli afflussi meteorici, gli spostamenti al suolo misurati attraverso tecniche interferometriche e le foto aeree. In questa fase si è cercato di trovare una correlazione fra gli spostamenti e le piogge, nel tentativo di stabilire in modo univoco quale fosse il principale fattore innescante delle frane.

Infine, combinando la pericolosità spaziale con la pericolosità temporale e con la vulnerabilità degli elementi a rischio presi in considerazione, le strade, è stato calcolato il rischio specifico a cui è soggetta la rete viaria del comune di Trissino.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E MORFOLOGICO

Il comune di Trissino si trova a nord-est d'Italia, in provincia di Vicenza (Fig. 2.1), la superficie del territorio comunale è pari a 21,96 Km². Il territorio fa parte dell'estremo est dei Monti Lessini, alle pendici della valle dell'Agno e confina con i comuni di Brogliano, Nogarole Vicentino, Arzignano, Montecchio Maggiore e Castelgomberto (Fig. 2.2).

L'altitudine del comune varia da un minimo di circa 100 metri s.l.m. all'estremo sud al confine con Arzignano, a un massimo di circa 800 metri s.l.m., nella parte nord ovest nei pressi del Monte Faldo.

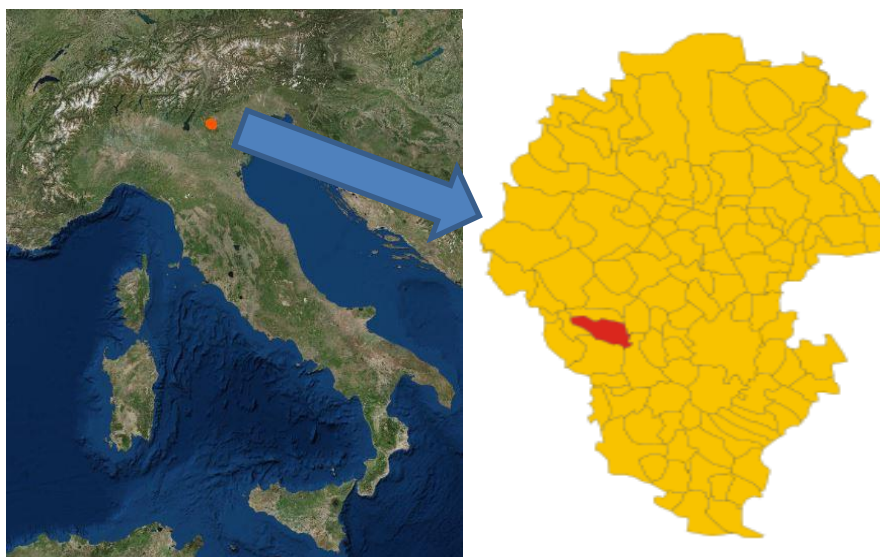


Fig. 2. 1 Localizzazione di Trissino in Italia, in provincia di Vicenza.

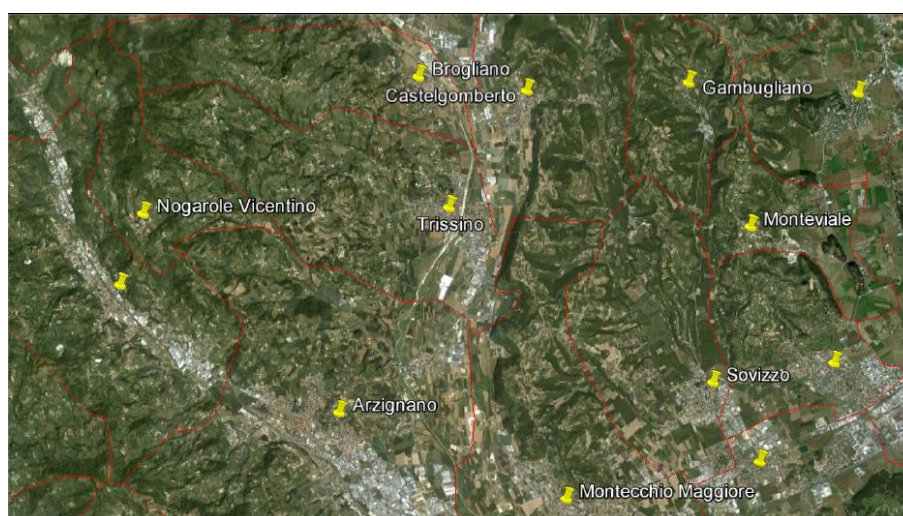


Fig. 2. 2 Ortofoto comprendente Trissino e i relativi comuni confinanti

Sono presenti due principali tipi di morfologie: il versante collinare e il fondovalle.

Il versante collinare è caratterizzato da rocce tenere plasmate dal reticolo idrografico presente. Ne derivano superfici con debole pendenza, le quali possono essere separate da scarpate molto elevate, associate a incisioni vallive. Il fondovalle si è formato a seguito dell'azione erosiva e deposizionale dei torrenti Agno e Arpega.

Il fondovalle del torrente Agno si trova a est del territorio comunale e comprende depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi con frazioni limo-sabbioso-argillose. Il fianco sinistro presenta un evidente cambio di pendenza in prossimità del versante collinare, dovuto molto probabilmente a episodi di sovralluvionamento dei depositi alluvionali del Quaternario, mentre il fianco destro è costituito da depositi pedecollinari argillosi e depositi limo-sabbioso-argillosi di conoide.

Per quanto riguarda il fondovalle del torrente Arpega, esso presenta depositi fini limo-sabbioso-argillosi e argillosi pedecollinari. La superficie su cui si estende è caratterizzata da irregolarità e ondulazioni, dovute a conoidi e frane.

2.1 GEOLOGIA E TETTONICA GENERALE

Nel periodo Giurassico, circa 180 milioni di anni fa, l'area delle Prealpi venete, comprendente i Monti Lessini, era occupata da un mare, delimitato da due piattaforme, sommerse da qualche decina di metri d'acqua: a ovest era presente la piattaforma trentina e a est la piattaforma friulana. Sul fondo del bacino si depositarono quantità notevoli di sedimenti, da cui derivano le rocce più antiche. A ovest della piattaforma friulana, ci fu invece l'inizio dello sviluppo di una scogliera corallina (Bosellini, 2004).

Nel Cretaceo superiore, circa 100 milioni di anni fa, cominciò a manifestarsi la tettonica alpina (fase eoalpina, mesoalpina, neoalpina), a causa della spinta della placca continentale africana contro la placca europea.

Nello specifico, per effetto della rotazione dell'Africa conseguente ai movimenti nell'Atlantico meridionale, la Tetide entra in una fase compressionale.

L'espansione dell'oceano Ligure-Piemontese venne interrotta e da questo punto cominciò a elevarsi la catena eoalpina, di cui non si hanno però testimonianze.

Tutto questo portò a deformazioni, a sovrascorrimenti e pieghe localizzate nella parte sud e sarà la causa delle due distinte fasi deformative seguenti:

- fase di età paleogenica (23-66 Ma), in cui si evidenzia un carattere estensionale, che corrisponde al periodo deformativo mesoalpino, da attribuire a un magmatismo basico;
- fase di età neogenica (3- 23 Ma), dove si riscontra un carattere compressionale, corrispondente al periodo neoalpino, responsabile del sollevamento definitivo dell'assetto strutturale dei rilievi veneti, con l'emersione dal mare e la successiva compressione e piegatura delle rocce più tenere.

Le Prealpi Venete cessano bruscamente a sud, in corrispondenza della nota piega a ginocchio, che evidenzia superficialmente lo scorrimento Bassano-Valdobbiadene, riconoscibile dalla Valle del Chiampo a Vittorio Veneto. Le faglie e le fratture presenti nella zona hanno contribuito a un'intensa

fratturazione delle rocce, modificando le caratteristiche meccaniche e il grado di degradabilità.

L'orientazione delle strutture presenti ha risentito notevolmente dell'influenza delle lineazioni regionali principali (Fig.2.3) che sono qui localizzate:

- Linea della Valsugana, immergente a ENE - OSO;
- Linea delle Giudicarie, immergente a NNE – SSO;
- Linea Schio-Vicenza, immergente a NNO – SSE, che determina la brusca terminazione verso est dei monti Lessini, dei Berici e degli Euganei.

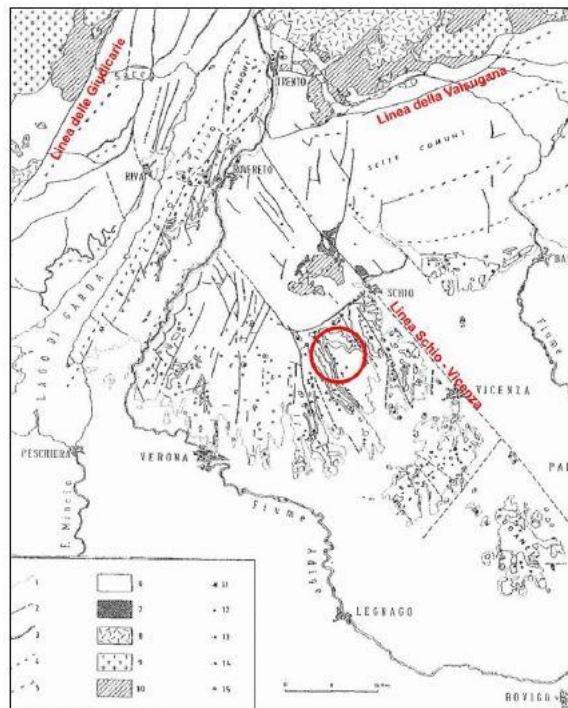


Fig. 2. 3 Schema tettonico dei Monti Lessini

2.2 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO

Il vulcanesimo terziario che si sviluppò nella fase mesoalpina nel Veneto Occidentale ha portato alla formazione e all'accumulo di molti materiali vulcanici basaltici, depositi come colate, ialoclastiti e arenarie vulcanoclastiche rimaneggiate. L'attività eruttiva fu, tuttavia, intermittente, con periodi di stasi caratterizzati dalla deposizione di rocce calcarenitiche. Si è concentrata soprattutto nella zona del semigraben Alpone-Agno, occupante tutta la parte dei Lessini orientali e dei Berici Occidentali, dove si sono potuti accumulare i prodotti vulcanici (Barbieri, 1982). La stratigrafia dei Lessini è data in Fig. 2.4. Nello specifico, l'inizio si ebbe nel Paleocene superiore (56-60 Ma), nelle valli del Chiampo e dell'Agno, mentre successivamente si estese anche al veronese.

Questa prima fase vulcanica è stata per la maggior parte sottomarina, con colate di lava, ialoclastiti e tufi subacquei (Fig. 2.5).

È presente in questa fase anche la Formazione di Spilecco, costituita da marne calcaree rosse-grigie, tufiti e calcari marnosi con nummuliti.

Nell'Eocene (34-56 Ma) si ebbe invece un periodo di stasi con la deposizione dei Calcari Nummulitici (Fig. 2.6), depositi calcarei di mare relativamente basso sedimentatesi all'interno del semigraben sopra citato.

I Lessini furono poi nuovamente sommersi durante la trasgressione priaboniana dell'Eocene superiore-Oligocene (23-38 Ma), riprendendo così il ciclo di lave da subacquee

a subaeree, con la deposizione di marne calcaree e tufitiche laminate e ricche di sostanza organica.

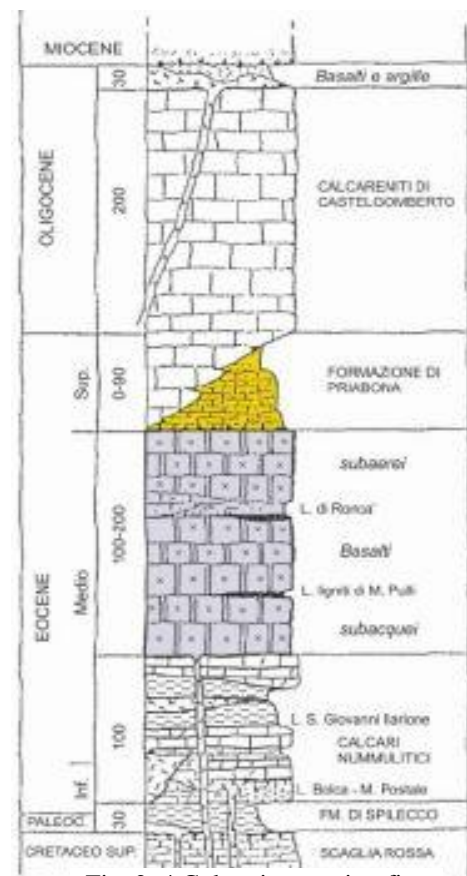


Fig. 2. 4 Colonnina stratigrafica dei Monti Lessini

Sopra le enormi colate subaeree, si ritrovano conglomerati, marne e calcareniti (Formazione di Priabona e Calcareniti di Castelgomberto in Fig. 2.7), derivanti proprio dalla trasgressione marina. Queste calcareniti si depositarono in una laguna interna circondata da un reef corallino. Il tetto di questa formazione è interessato da paleocarsismo dovuto sia all'emersione sia alla laguna.



Fig. 2. 5 Lave subacquee



Fig. 2. 6 Deposito di calcari nummulitici



Fig. 2. 7 Calcareniti di Castelgomberto

I depositi vulcanici della zona di questo comune sono soggetti a frane, innescate principalmente dagli intensi afflussi meteorici che coinvolgono il territorio e incrementano la portata dei corsi d'acqua. Le frane avvengono generalmente nella parte più superficiale del terreno e sono di tipo scivolamento rotazionale/traslato e colamento.

Tutti i corsi d'acqua che sono presenti nel comune di Trissino hanno un carattere torrentizio; ciò significa che presentano un deflusso periodico, che dipende in larga misura dagli afflussi meteorici.

Il torrente principale è l'Agno, che nasce nelle piccole Dolomiti, più precisamente nel territorio di Recoaro, grazie alla confluenza fra tre torrenti: Rotolon, Lora e Creme. Inizialmente l'Agno scorre in una stretta valle, che è resa fertile proprio da queste acque. La valle si allarga poi verso Trissino.

Nel corso del suo tragitto riceve apporti dai rii che provengono dai Lessini che fiancheggiano la vallata. Cambia ben sei volte il proprio nome: da Agno a Guà, da Frassine a Canale Brancaglia, Canale S. Caterina e Canale Gorzone, questi ultimi canali artificiali.

Il torrente trasporta notevoli quantità di materiali detritici, arrestati grazie anche alla presenza di imbrigliamenti costruiti sul fondo. La storia del corso d'acqua è legata soprattutto alle piene che lo contraddistinsero per la violenza e i danni che sono stati causati. Infatti, nella zona piove abbondantemente in autunno e in primavera, con poca differenza fra le stagioni. I mesi più piovosi sono aprile, maggio, ottobre, novembre, quelli meno piovosi sono invece gennaio, febbraio e luglio. Proprio per questo motivo il corso d'acqua è caratterizzato da un andamento stagionale delle portate, che sono abbondanti durante i periodi di piena, regolate dalla realizzazione di casse di espansione e presentano apporti scarsi o nulli durante i periodi di magra, dove l'alveo si ritrova quasi completamente asciutto.

A sud di Trissino, l'Agno è alimentato dal torrente Arpega, che diventa suo affluente di destra. Quest'ultimo nasce ai piedi del Monte Faldo, scorre nella

valle omonima, inizialmente stretta e poi più larga a ridosso del fondovalle. Oltre a questi due torrenti, si ha anche la presenza di un reticolo idrografico meno marcato di tipo dendritico, che scorre nei terreni poco permeabili presenti. Da citare inoltre è la rete di canali di scolo e fossati localizzata nel fondovalle, con scopo di irrigazione e regimazione delle acque dei campi, mentre nel rilievo collinare si ha la presenza di sorgenti utilizzate anch'esse per fini irrigui o per l'alimentazione delle fontane delle contrade.

In Fig. 2.8 si riporta la carta idrogeologica redatta dal comune di Trissino, che fa riferimento al Piano di Assetto Territoriale (PAT), per evidenziare dove scorrono effettivamente i due torrenti principali Agno e Arpega.

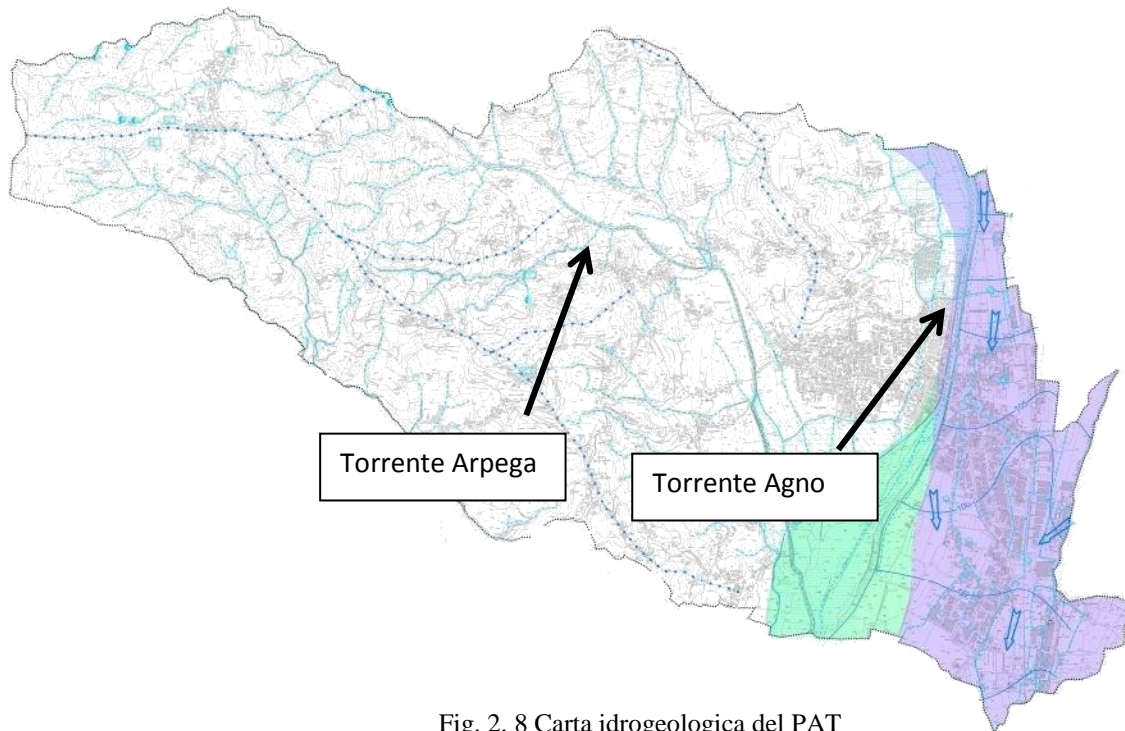


Fig. 2. 8 Carta idrogeologica del PAT

3. METODOLOGIE DI INDAGINE

3.1 CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

L'area in studio è caratterizzata da numerosi fenomeni franosi di diversa tipologia ed entità. Con il termine frana si intende il trasporto di una massa di roccia, terreno o detriti lungo un pendio verso il basso, sotto l'azione della forza di gravità.

Generalmente le frane vengono classificate attraverso la classificazione di Varnes (1978), che ingloba bene i principi di scientificità (caratteri osservabili in modo oggettivo), finalizzazione (caratteri utili per la prevenzione e la stabilizzazione), e praticità (caratteri di facile e immediato reperimento).

Un movimento franoso è caratterizzato da determinati caratteri distintivi, utili per definire la zona di distacco della frana (zone of depletion) e la zona di accumulo (zone of accumulation).

Il materiale rimaneggiato, nel corso del suo spostamento, può essere soggetto a fratture sia trasversali che longitudinali. In Fig. 3.1 e 3.2 si mostrano i caratteri distintivi di un fenomeno complesso (Varnes 1978).

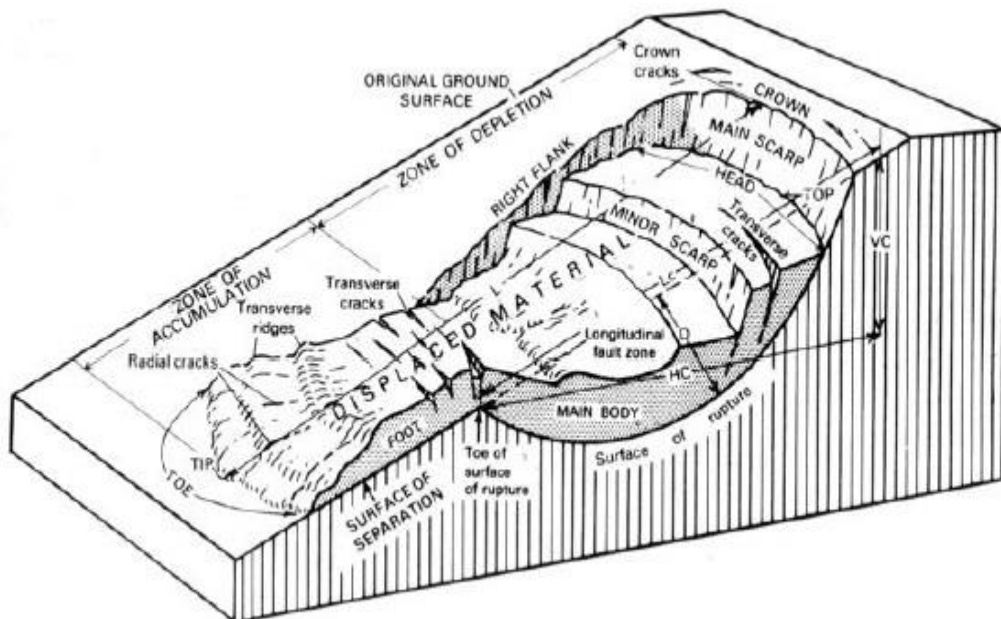


Fig. 3. 1 Caratteri distintivi della frana

- 1) CORONAMENTO (crown; couronne)
- 2) SCARPATA PRINCIPALE (main searp; escarpement principal)
- 3) PUNTO SOMMITALE (top; sommet)
- 4) TESTATA (head, tete)
- 5) SCARPATA SECONDARIA (minor scarp; escarpement secondaire)
- 6) CORPO PRINCIPALE (main body; corps)
- 7) PIEDE (foot; pied)
- 8) PUNTO INFERIORE (tip, extremite aval)
- 9) UNGHIA (toe, front)
- 10) SUPERFICIE DI ROTTURA (surface rupture, surface de rupture)
- 11) UNGHIA DELLA SUPERFICIE DI ROTTURA (toe of the surface of rupture, pied de la surface de rupture)
- 12) SUPERFICIE DI SEPARAZIONE (surface of separation; surface de separation)
- 13) MATERIALE SPOSTATO (o FRANATO) (displaced material; matériau déplacé)
- 14) ZONA DI ABBASSAMENTO (zone of depletion, - zone d'affaissement)
- 15) ZONA DI ACCUMULO (zone of accumulation; zone d'accumulation)
- 16) ABBASSAMENTO (depletion; depression)
- 17) MASSA ABBASSATA (depletion mass; masse affaissee)
- 18) ACCUMULO (accumulation; accumulation)
- 19) FIANCO (flank; flanc)
- 20) SUPERFICIE ORIGINARIA DEL VERSANTE (original ground surface; surface topographique originate)

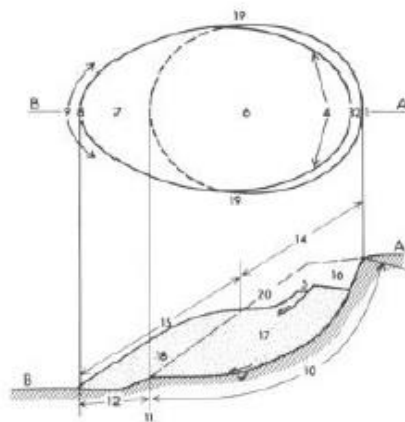


Fig. 3. 2 Caratteri distintivi della frana

Secondo la classificazione di Varnes, successivamente modificata da Cruden & Varnes (1994), le frane possono essere suddivise in base al tipo di movimento e alla tipologia di materiale coinvolto (Tab. 3.1) e anche in base alla loro attività (Tab. 3.2).

Le frane presenti nel territorio di Trissino sono di tipo scivolamento rotazionale/traslato e colamento e coinvolgono principalmente i terreni più superficiali (fino a 6-8 metri).

TIPO DI MOVIMENTO	Tipo di materiale		
	Rocce	Terreni	
		grossolani	prevalentemente fini
<u>Crolli</u>	di roccia	di detrito	di terra
<u>Ribaltamenti</u>	di roccia	di detrito	di terra
Scorrimenti	<u>rotazionali</u>	di roccia	di detrito
	<u>traslazionali</u>	blocchi	blocchi
<u>Espandimenti laterali</u>	di roccia	di detrito	di terra
<u>Colate</u>	di roccia	di detrito	di terra
Frane complesse	Combinazione di 2 o più tipi principali		

Tab. 3. 1 Classificazione delle frane per tipo di movimento (Cruden, 1978)

In generale lo scivolamento traslazionale prevede uno scorrimento di lame di terreno lungo un orizzonte di debolezza.

Tali movimenti in genere sono scatenati da eventi di pioggia di lunga durata ed elevata intensità o semplicemente dallo scalzamento al piede per opera dei torrenti presenti.

Generalmente la nicchia di distacco presenta fratture verticali, con uguale andamento della scarpata principale e i fianchi sono basse

scarpate con fratture che divergono spostandosi verso valle. Il corpo di frana risultante è indisturbato, con l'unghia a superficie rugosa (Fig. 3.3).

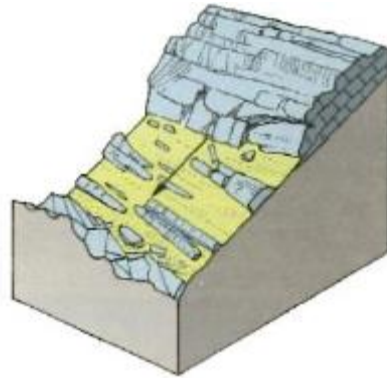


Fig. 3. 3 Modello di una frana di scivolamento traslazionale

Lo scivolamento rotazionale fa riferimento allo scorrimento di masse di terreno lungo una superficie curvilinea, tendente a raggiungere in poco tempo una nuova

situazione di stabilizzazione. Il movimento avviene a seguito della presenza di un livello di debolezza, reso instabile da eventi meteorici intensi, scalzamento al piede e anche notevoli

carichi sul pendio, che non possono essere sostenuti. La nicchia di distacco presenta fratture

aperte e concave verso l'alto, come l'andamento della scarpata principale. I fianchi sono caratterizzati da striature. Il corpo di frana che ne deriva ha fessure, così come il piede, e l'unghia è lobata (Fig.3.4).

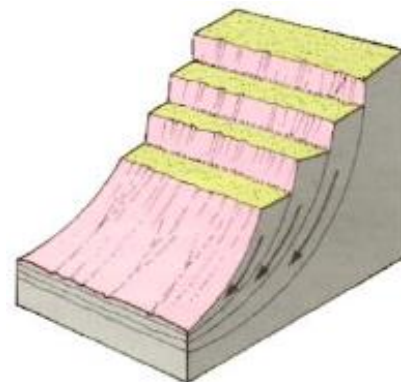


Fig. 3. 4 Modello di una frana di scivolamento rotazionale

I colamenti non sono caratterizzati da superfici di scivolamento nette. Si sviluppano generalmente lungo i torrenti, portando a trasporti in massa eccezionali, in seguito all'elevata rimobilizzazione del materiale. Anche per questo fenomeno la causa predominante è la precipitazione intensa.

La scarpata è lunga e stretta con striature, mentre i fianchi sono profondi nella

parte superiore e rigonfi nella parte inferiore. Il corpo di frana segue anch'esso l'andamento dei torrenti, presentando blocchi che nell'area in studio sono composti da una matrice limoso-sabbiosa e l'unghia di forma lobata (Fig. 3.5).

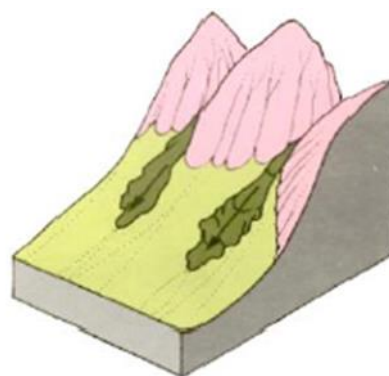


Fig. 3. 5 Modello di una frana di colamento

Per quanto riguarda invece l'attività di una frana, essa descrive il suo stato basato sui tempi di attivazione e riattivazione, la sua distribuzione che definisce la tendenza evolutiva nello spazio, e il suo stile, che indica il contributo di diversi tipi di movimento (Tab. 3.2).

STATO	ATTIVITÀ	
	DISTRIBUZIONE	STILE
1. attiva	1. in avanzamento	1. complessa
2. sospesa	2. retrogressiva	2. composta
3. riattivata	3. multi-direzionale	3. successiva
4. inattiva	4. in diminuzione	4. singola
4.1 quiscente	5. confinata	5. multipla
4.2 naturalmente stabilizzata	6. costante	
4.3 artificialmente stabilizzata	7. in allargamento	
4.4 relitta		

Tab. 3. 2 Attività della frana (Cruden & Varnes, 1994)

Le frane riconosciute nel comune di Trissino attraverso un accurato studio spaziale del territorio sono 64.

Si hanno in misura maggiore colamenti, seguiti da scivolamenti roto/traslazionali e da frane con entrambe le componenti (Fig. 3.6 e Fig. 3.9).

Generalmente le colate presentano un andamento allungato e si localizzano preferenzialmente lungo i piccoli torrenti presenti nella zona.

Gli scivolamenti non si prolungano molto verso valle, tendendo ad assumere un andamento più contenuto e il materiale non viene trasportato a notevoli distanze, così come per i colamenti.

In Fig. 3.6 si può osservare l'ortofoto del comune di Trissino, con indicata l'ubicazione delle frane presenti nella zona, classificate in base al tipo di movimento. Si può notare la localizzazione di questi movimenti gravitativi nella parte centro-occidentale della zona, dove le altitudini sono più elevate rispetto alla parte orientale, costituita dal centro abitato di Trissino.

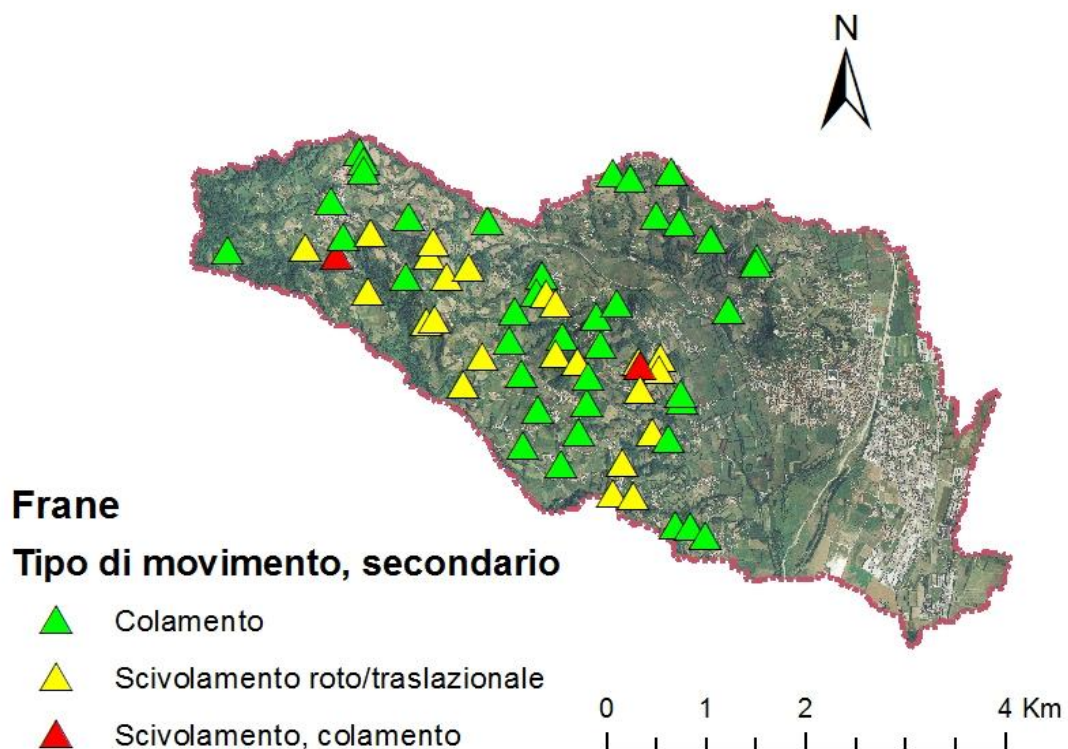


Fig. 3. 6 Ortofoto del comune di Trissino con l'ubicazione dei movimenti franosi

Per la delimitazione e determinazione dei movimenti gravitativi presenti nell'area in studio del comune di Trissino sono state prese in considerazione principalmente due tipologie di carte:

- la carta inventario del progetto IFFI;
- la carta geomorfologia del PAT.

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (progetto IFFI), realizzato dall'ISPRA e con il contributo delle Regioni e delle Province Autonome, fornisce un quadro notevolmente dettagliato delle frane presenti sul territorio italiano. L'inventario a oggi comprende più di 500 mila fenomeni franosi in un'area di circa 22 mila km², pari al 7% del territorio della nostra nazione. Secondo questo database cartografico, ogni fenomeno franoso viene cartografato attraverso tre elementi:

- un PIFF, che rappresenta il punto identificativo del fenomeno franoso ed è il punto più elevato della frana;
- un poligono, quando la superficie del dissesto è cartografabile alla scala di rilevamento adottata;
- una linea quando invece la larghezza della frana non è cartografabile.

In Fig. 3.7 si osserva questa carta inventario per il comune di Trissino, con la presenza del PIFF o del poligono, o di entrambi per ciascuna frana.

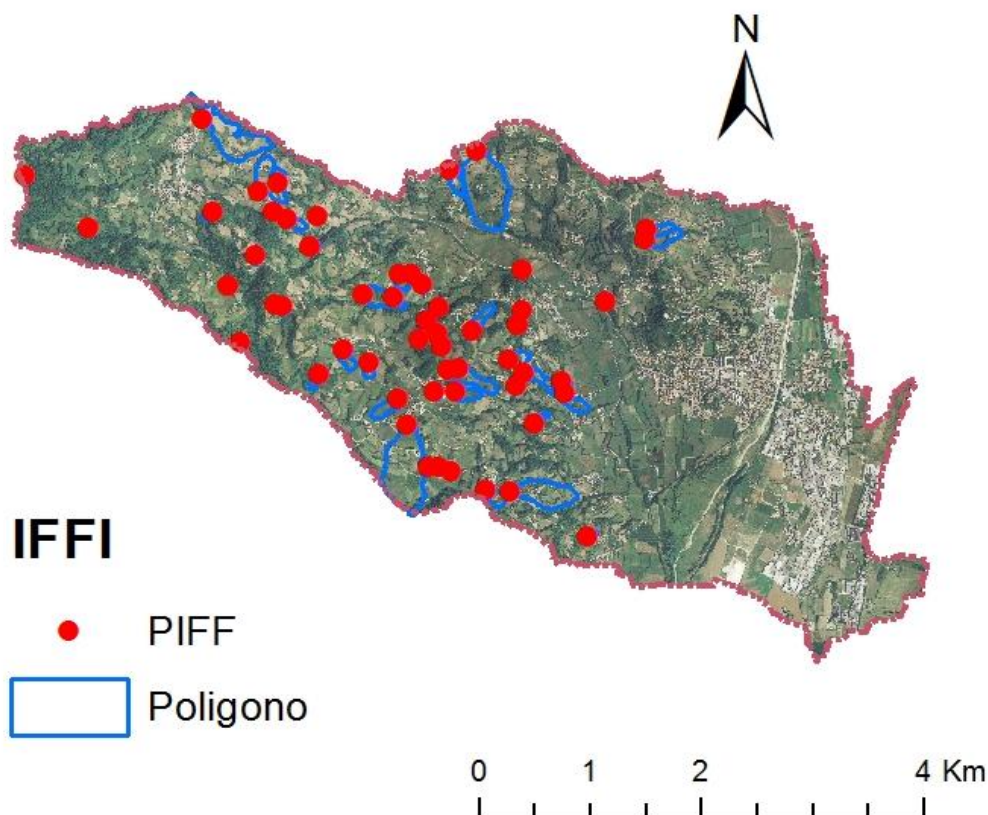


Fig. 3. 7 Carta Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) del comune di Trissino

La carta geomorfologica del Piano di Assetto Territoriale (PAT) del comune di Trissino (Fig. 3.8), costituisce uno strumento di analisi del territorio, importante per la conoscenza degli aspetti che riguardano il modellamento del rilievo e i processi di instabilità del suolo. Essa mostra le diverse tipologie di frane presenti a Trissino e i movimenti superficiali del terreno in rosso. Oltre a queste forme di versante dovute alla gravità, il piano evidenzia anche le forme strutturali e vulcaniche in marrone, le forme fluviali, fluvioglaciali e di versante dovute al dilavamento in verde e le forme artificiali come briglie o discariche in nero.

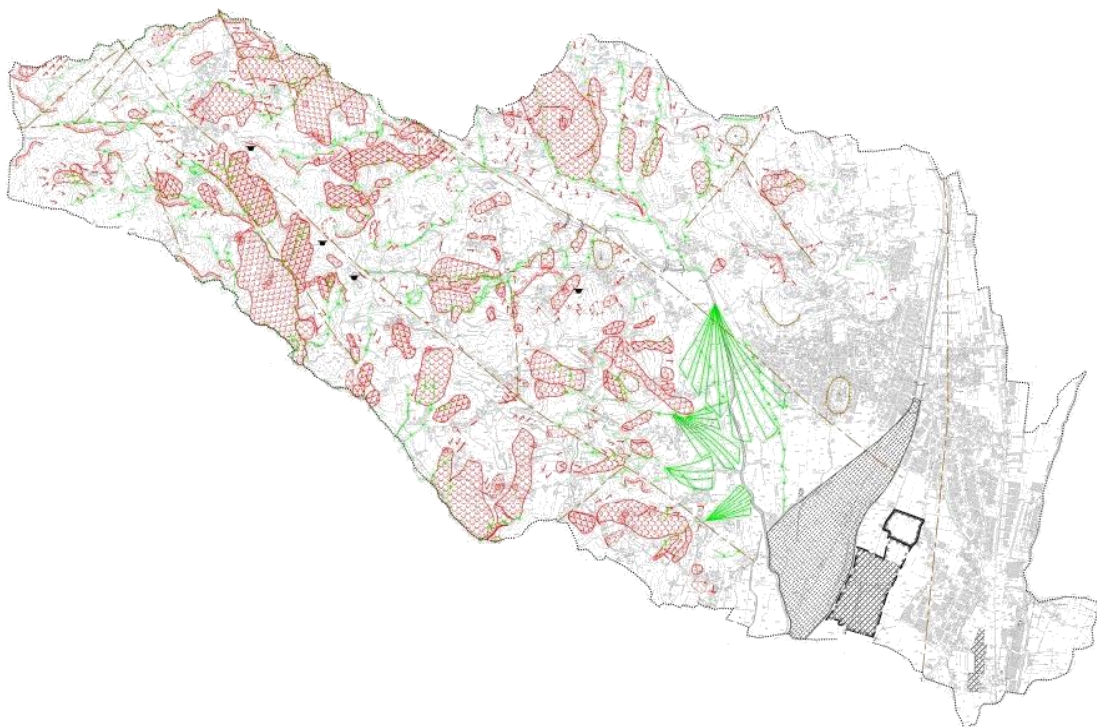


Fig. 3. 8 Carta Piano di Assetto Territoriale (PAT) del comune di Trissino

Grazie a entrambe le carte è stato possibile delimitare le 64 frane presenti, con l'ausilio di un sistema GIS.

Nella Carta Inventario dei Fenomeni Franosi realizzata per questo lavoro di tesi (Fig. 3.9), i movimenti sono stati catalogati con diversi colori, a seconda della diversa tipologia:

- in verde si hanno i colamenti, generalmente lenti;
- in giallo si trovano gli scivolamenti rotazionali/traslazionali;

- in rosso si possono osservare i movimenti con componente primaria di scivolamento rotazionale/traslattivo e con componente secondaria di colamento. In Fig. 3.9 è visibile l'ortofoto con le frane delimitate in poligoni, in associazione con Fig. 3.6, dove invece si evidenziano i punti più elevati al coronamento.

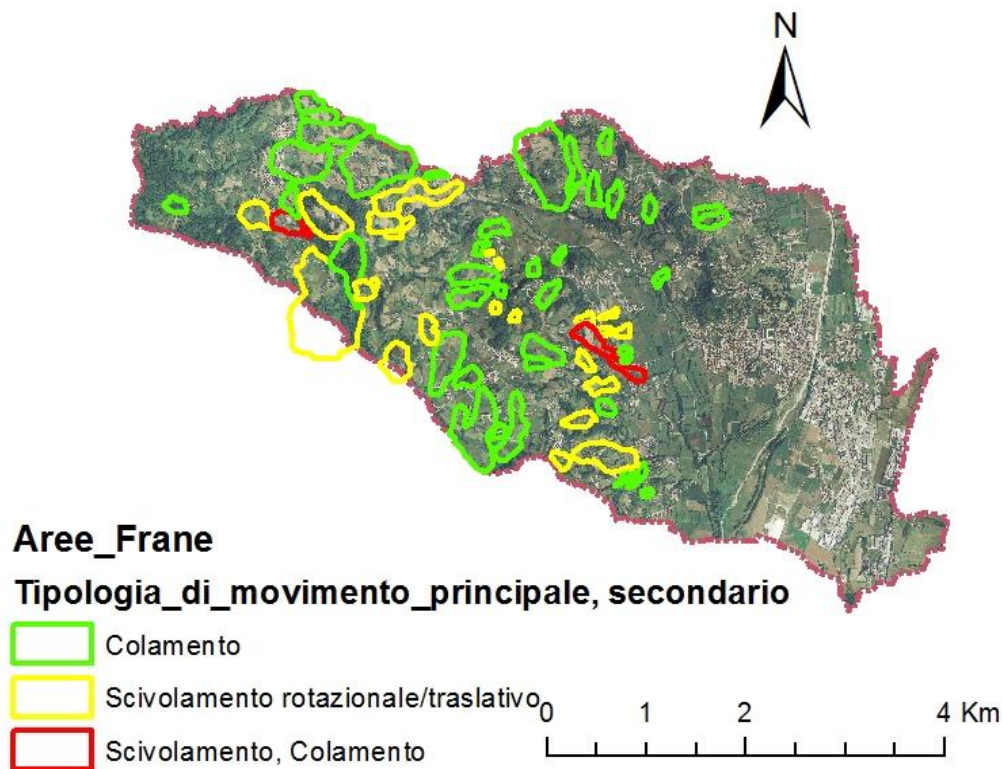


Fig. 3. 9 Ortofoto di Trissino con delimitazione delle frane

Anche in questo caso come in Fig. 3.6, le frane sono ovviamente concentrate nella parte centro-occidentale del territorio, mentre non avvengono nella parte orientale, a prevalente morfologia pianeggiante.

Le frane che si notano sono per lo più di colamento (in verde), causato dal fatto che il territorio è costituito principalmente dai depositi a granulometria fine di alterazione di rocce vulcaniche, come basalti, tufi e ialoclastiti. Questa litologia ha portato anche il terreno a subire scivolamenti (in giallo).

I movimenti si localizzano per lo più tra 250 e 400 metri s.l.m. nella parte centrale e tra 450 e 600 metri s.l.m. nella parte più a ovest. Essi hanno

prevalentemente andamento da nord verso sud, ma in misura minore si possono trovare anche frane che si sono movimentate da ovest verso est, seguendo in ogni caso la morfologia del territorio.

Inoltre anche grazie allo studio dei dati pluviometrici, è stato possibile notare che la maggior parte dei fenomeni di instabilità sono avvenuti intorno al 1997 e al 2006, giustificati proprio dal fatto che nei periodi antecedenti le piogge sono state molto intense (Cap. 4.2.3), superando la media annuale calcolata dal 1954 al 2010.

L'attività di questi dissesti è quindi moderatamente elevata e dimostra come pressoché tutto il territorio stia subendo movimenti più o meno evidenti, causati soprattutto dagli afflussi meteorici.

Nonostante questi movimenti siano attivi, è comunque raro trovare delle frane che presentano superfici completamente denudate della copertura vegetale.

Questo si nota solamente per alcuni tratti circoscritti.

In ogni caso tutto ciò denota semplicemente il fatto che la velocità dei movimenti delle frane è esigua, da lenta a moderata.

Un esempio viene dato dalla foto in Fig. 3.10, dove si può constatare che la superficie del suolo è stata profondamente modificata. Il terreno è stato movimentato in tempi molto recenti, in quanto la superficie che si vede è ancora fresca. Essa mostra, infatti, tratti in cui è denudata e tratti in cui presenta copertura vegetale. La zona di distacco è molto evidente, data proprio dalla differenza di livello fra le due parti.



Fig. 3. 10 Zona di distacco della frana di scivolamento in località Selva in rosso

Le frane individuate intersecano anche molte vie di comunicazione, sia strade principali sia vie secondarie, arrecando danni anche ingenti alla viabilità e ai parapetti presenti lungo la strada. Nonostante siano anche state eseguite opere di drenaggio che hanno contribuito a diminuire i danni, questi devono comunque essere tenuti sotto controllo.

In Fig. 3.11 e 3.12 sono riportate le foto inerenti a questi danni.



Fig. 3. 11 Danni alla strada in località Selva



Fig. 3. 12 Danni alla strada e al parapetto in località Selva

Non sono solamente le strade ciò che le frane danneggiano, ma fra gli elementi a rischio sono presenti anche abitazioni. Tuttavia le case non presentano danni strutturali così ingenti da essere evacuate, ma solamente fessurazioni o bombature presenti sui muri portanti delle costruzioni dovute proprio al movimento del terreno sottostante (Fig. 3.13).



Fig. 3. 13 Danni alle fabbricazioni in località Piana Cattiva

3.2 PERICOLOSITÀ, VULNERABILITÀ E RISCHIO DA FRANA

Il fine ultimo di questo caso in studio è la determinazione del rischio da frana per la rete viaria del comune di Trissino. Per descrivere il rischio, si è fatto uso essenzialmente della pericolosità e della vulnerabilità.

La pericolosità è la probabilità che un dato fenomeno franoso si verifichi in una certa area e in un determinato intervallo di tempo. Essa è espressa in una scala che va da 0 (probabilità nulla) a 1 (evento certo).

Per valutare la pericolosità è necessario conoscere:

- il luogo e il tempo in cui sono avvenuti i processi in passato;
- l'intensità di questi processi;
- le zone in cui potrebbero verificarsi dei processi nel futuro (pericolosità spaziale o suscettibilità);
- la frequenza di avvenimento dei fenomeni, che permette di fare previsioni sugli eventi futuri (pericolosità temporale).

La metodologia utilizzata per l'individuazione, la perimetrazione e la classificazione delle aree soggette a fenomeni franosi prevede principalmente l'individuazione delle zone che nel passato sono state interessate da instabilità (Progetto IFFI, PAT, studi a scala regionale) e la definizione delle caratteristiche geomorfologiche dei fenomeni gravitativi in base a tipologia, spessori e intensità.

La tipologia si identifica nei colamenti e negli scivolamenti che risultano verificarsi piuttosto superficialmente fra i 2m e gli 8m.

L'intensità si basa invece sulle dimensioni e la velocità, rappresentate rispettivamente dalle aree dei poligoni delle frane e dal tipo di movimento, in base a cui si può risalire alla velocità della massa di terreno che scivola verso il basso.

Inoltre, una volta rilevati gli elementi geomorfologici presenti nel sito di interesse, la perimetrazione delle aree soggette a instabilità è stata possibile

attraverso l'analisi delle foto aeree disponibili, le quali hanno permesso anche la valutazione dello stato di attività, parametro per il quale ci si è avvalsi anche dei dati interferometrici e pluviometrici.

Sulla base di questi dati storici relativi allo stato di attività, è stato possibile stimare la probabilità di accadimento dei fenomeni utilizzando il tempo di ritorno e determinare infine il livello di pericolosità. Dal prodotto fra la pericolosità spaziale (Cap. 3.2.1 e Cap. 4.1) e quella temporale (Cap. 3.2.2 e Cap. 4.2), si definisce la pericolosità totale P (Cap. 4.3) delle aree soggette a instabilità e dal prodotto fra quest'ultima e la vulnerabilità si determina il rischio specifico R_s :

$$R_T = P * V * E = R_S * E \quad [1]$$

La vulnerabilità V identifica il grado di perdita che è stato prodotto su un certo elemento o insieme di elementi che sono esposti a rischio a seguito del verificarsi di un fenomeno naturale con una certa e determinata intensità. La vulnerabilità è espressa attraverso una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale).

A seconda dei danni e delle perdite, la vulnerabilità è detta:

- sociale, quando si fa riferimento a persone, malattie, epidemie;
- strutturale, quando i danni riguardano edifici e questi hanno ovviamente effetto sulle persone;
- economica, con l'identificazione nei costi di ripristino o riparazione, manutenzione, etc.

Infine gli elementi a rischio E rappresentano quell'insieme di elementi esposti a rischio all'interno dell'area pericolosa; essi racchiudono categorie di soggetti distinte per particolari caratteristiche proprie e sono quantificati in termini relativi attraverso un valore monetario in euro o assoluti con il numero di persone o edifici. In questo studio questo fattore non è stato preso in considerazione e di conseguenza ciò che risulta non sarà il rischio totale dell'evento, bensì il rischio specifico.

Il rischio specifico rappresenta il grado di perdita che viene atteso per una singola categoria di elementi a rischio per un particolare fenomeno naturale di intensità data. Anche quest'ultimo varia tra 0 e 1.

I processi che portano alla determinazione di particolari rischi geologici possono essere di tipo geodinamico esterno, come terreni rigonfianti o collassabili, erosione, crolli e subsidenze o frane, di tipo geodinamico interno, come terremoti, tsunami, vulcanismo o di tipo meteorologico, con precipitazioni intense, inondazioni o alluvioni, uragani, trombe d'aria, etc.

I danni che questi particolari processi possono causare dipendono principalmente dalla previsione e prevenzione, ma soprattutto dal tempo di allertamento, che è fondamentale per poter far evacuare le persone da aree instabili. Anche la velocità, l'entità e l'estensione del processo giocano un ruolo importante, così come il controllo o la protezione degli elementi esposti.

Poiché in questo studio non si fa riferimento agli elementi a rischio, in quanto non si hanno dati sul valore monetario del danno causato, ci si è limitati a calcolare il rischio specifico, dato dal prodotto fra la pericolosità e la vulnerabilità delle aree che sono esposte a dissesto.

Per gestire e mitigare questo rischio, generalmente bisogna diminuire la pericolosità e la vulnerabilità.

Per quanto riguarda la pericolosità, bisogna fare in modo di intervenire sui fattori di innesco del fenomeno e sulla propagazione di questi, attraverso la costruzione di sistemazioni.

Per ridurre invece la vulnerabilità, è necessario diminuire il grado di danno attraverso interventi sugli edifici o tramite l'educazione della popolazione, in modo che quest'ultima sappia come effettivamente comportarsi in caso di verifica del dissesto.

Per determinare effettivamente in quale problema potrebbero incorrere le strade, in questo caso prese come elemento vulnerabile, quando il territorio sarà colpito da colamenti o scivolamenti, è stato calcolato il rischio specifico, attraverso

l'utilizzo del software "ESRI ArcGIS™". Questo rischio, come già specificato, è dato dal prodotto fra vulnerabilità e pericolosità totale, quest'ultima derivante dal prodotto della parte spaziale e della parte temporale.

In questo studio alle strade potenzialmente coinvolte in fenomeni di dissesto è stato assegnato un valore di vulnerabilità pari a 1, ipotizzando una loro compromissione totale. La moltiplicazione fra questo valore 1 e la carta di pericolosità crea una carta di rischio specifico, dove le strade hanno un ruolo fondamentale.

Le strade sono state classificate inizialmente fra strada principale o secondaria, carrozzabile o carreggiabile, sentiero facile o di campagna, mulattiera, presenza di ponti o marciapiedi, la cui suddivisione può rappresentare un ulteriore problema per la valutazione del rischio, in quanto se la strada è asfaltata questa sarà più problematica rispetto per esempio a un sentiero di campagna, dove invece la frana può causare danni ma in misura minore e arrecare minor disagio alla popolazione che risiede nelle vicinanze. Bisogna sempre comunque considerare caso per caso.

3.2.1 Pericolosità spaziale

La pericolosità spaziale, chiamata anche suscettibilità, dipende notevolmente dall'accuratezza e dalla precisione dei fattori di input, grazie ai quali è possibile costruire una carta che identifica i diversi livelli di pericolosità a cui la zona in studio è soggetta. Questi dati iniziali di input, che influiscono notevolmente sulla pericolosità, includono caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e tettonici, morfometrici, proprietà geomeccaniche e geotecniche.

Nello specifico in questo studio sono stati presi in considerazione fattori morfometrici e non morfometrici.

Dei primi fanno parte:

- Elevazione (DEM);
- Pendenza (SLOPE);

- Curva (CURVATURE).

I secondi comprendono:

- Litologia;

- Uso suolo;

- Distanza dai fiumi;

- Distanza dalle strade.

Il software applicato per l'area del comune di Trissino è ESRI ArcGIS™ .

GIS è l'acronimo di Geographic Information Systems ed è traducibile in Sistema Informativo Geografico o Territoriale. Esso è un sistema che serve per la gestione, l'analisi e anche la visualizzazione di informazioni, che hanno carattere geografico o spaziale. Le informazioni geografiche sono gestite grazie a insiemi di dati, chiamati dataset, che vanno a fornire dei modelli di fenomeni geografici riconducibili al territorio.

Il modello digitale del terreno (DEM) è stato ottenuto scaricando i file ASCII dal geoportale IDT Regione Veneto presente online. Questi file sono stati poi convertiti in raster “.tif” e mosaicati per ottenere un'unica immagine. La risoluzione che è stata usata è di 5 m x 5 m. Il DEM permette di interpolare la superficie dell'area in studio con dati puntuali, lineari o poligonali ed è il punto di partenza da cui derivano le altre due carte di pendenza e di curvatura.

La carta della pendenza (Slope), che deriva appunto dal DEM, risulta essere la derivata topografica prima dell'elevazione ed esprime nello specifico la variazione in gradi di questo layer.

Anche la carta della curvatura (Curvature) deriva dal layer elevazione e rappresenta la curvatura delle forme presenti nella zona. Questa esprime quindi la concavità quando i valori sono negativi, la convessità con valori positivi o le superfici piane del territorio, con valori pressoché nulli. Essa viene definita anche come derivata topografica seconda dell'elevazione.

La litologia è uno dei fattori che condizionano maggiormente le instabilità, in quanto è in grado di predisporre i versanti ai dissesti franosi. La classificazione

utilizzata in questa tesi deriva dal P.T.C.P., ovvero dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Vicenza, e di fatto è quindi provinciale.

L'uso del suolo è anch'esso uno dei parametri fondamentali per capire quanto l'uomo può rompere gli equilibri che caratterizzano i versanti. Le attività che si legano all'uso del suolo possono portare il terreno a essere più instabile in certe porzioni del territorio, anziché in altre.

La distanza dai fiumi è stata acquisita anch'essa dal geoportale IDT Regione Veneto e identifica proprio la relazione fra i fenomeni franosi e i torrenti presenti. La presenza di questi corsi d'acqua infatti è la causa principale dell'erosione dei versanti e di fatto anche dell'instabilità, con la creazione soprattutto di frane di colamento.

La distanza dalle strade rappresenta la distanza dei fenomeni franosi dalla rete viaria e testimonia quindi la distribuzione dei dissesti attorno alle principali vie di comunicazione, che sono le opere più esposte a instabilità. Anche per questo parametro i dati sono stati scaricati dal geoportale IDT Regione Veneto.

Affinché tutti i layer siano utilizzati nel migliore dei modi per definire la carta di suscettibilità è necessario in primo luogo riclassificare i dati presenti.

La vera comprensione dei fattori che hanno condizionato le 64 frane presenti a Trissino è stata raggiunta grazie principalmente a un'analisi statistica, che si basa su un approccio statistico-probabilistico, il quale evidenzia il mutare delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche dei terreni che sono stati coinvolti dall'instabilità.

Nello specifico, l'analisi statistica utilizzata è di tipo bivariato e viene chiamata "Frequency ratio". Essa permette di comprendere come i fattori morfologici, antropici e geologici siano in connessione con i vari dissesti presenti o che possono succedere in futuro. Ogni singolo fattore condizionante viene di conseguenza suddiviso in classi di valori per definire quali categorie sono più interessate dai dissesti rispetto alle altre. Il metodo "Frequency ratio" è detto

bivariato, poiché analizza coppie di dataset, confrontando il dataset delle 64 frane con il dataset di tutti i fattori predisponenti, presi singolarmente e consiste nel determinare i frequency ratio index (F.R.I. o IFrel [2]), grazie alla somma dei quali sarà possibile definire una carta di pericolosità spaziale.

$$IFrel = \frac{\frac{(celle\ in\ frana)}{(celle\ in\ frana\ totali)}}{\frac{(celle\ non\ in\ frana)}{(celle\ non\ in\ frana\ totali)}} \quad [2]$$

Si deve sottolineare il fatto che sono stati eseguiti diversi tentativi per rappresentare al meglio ogni frana analizzata.

Di fatto per l'analisi è stato considerato un Buffer di 10 metri attorno a quel punto della frana (Fig. 3.6), che identifica la maggiore elevazione al coronamento per ogni poligono (Fig. 3.9) che fa riferimento al dissesto, in maniera da identificare la zona d'innescò della frana.

Quindi un buffer è la costruzione di poligoni attorno a opportuni dati di input a distanza definita. In questo caso il dataset considerato è il layer frane e il buffer è stato definito tenendo in considerazione la distanza di 10 metri.

Altri tentativi sono stati eseguiti con un buffer a 50 metri sia per i punti che per i poligoni delle frane, con un buffer di 70 metri per i punti, quest'ultimo ritagliato dai poligoni delle frane, in modo che risultasse l'area di innescò all'interno di questo dataset poligonale, oppure non ritagliato. Per definire quale buffer potesse rappresentare nel modo migliore possibile le 64 frane osservate, è stata utilizzata la cosiddetta "Success rate curve", curva che rappresenta in un diagramma la percentuale della zona considerata franosa e la percentuale della zona che effettivamente è in frana (Chung & Fabbri, 2004).

I modelli di suscettibilità devono però essere valutati e validati sulla base dei risultati, altrimenti i modelli generati così come anche le mappe non potrebbero avere un significato scientifico. La valutazione deve ovviamente tener conto dell'adeguatezza concettuale e matematica nel caratterizzare il modello e anche dell'accuratezza nella previsione dei dati osservati. Per validare efficacemente il

modello, si può tener conto oltre che della “Success rate curve” anche della “Predictive rate curve”. Quest’ultime sono costruite come la “Success rate curve” spiegata precedentemente, ma utilizzando i dati in modo diverso.

Il layer frane, infatti, viene suddiviso in due parti: frane dell’area di training e frane dell’area di test.

Essenzialmente la “Success rate curve” fa riferimento in questo particolare caso all’area di training e fornisce delle indicazioni su quanto il modello riesce a caratterizzare e definire le frane osservate. La “Predictive rate curve” fornisce invece informazioni sul potere previsionale del modello.

Per cercare di classificare le frane secondo un criterio logico, è stata utilizzata una suddivisione temporale, prendendo come riferimento le piogge avvenute nell’anno 1960. Le frane presenti infatti prima dell’evento meteorico contribuiscono a definire la “Success rate curve”, i fenomeni non ancora presenti e che si sono innescati dopo il 1960 costituiscono invece la “Predictive rate curve”.

3.2.2 Pericolosità temporale

La pericolosità temporale si basa sull’osservazione della frequenza di avvenimento dei fenomeni franosi; si tratta, quindi, della risposta alla domanda quando un fenomeno franoso potrebbe accadere.

Per arrivare a definire questa tendenza al franamento ci si deve basare essenzialmente su tre tipologie di metodi:

- determinazione dei tempi di ritorno mediante la consultazione delle foto aeree o delle ortofoto che comprendono il territorio in esame;
- utilizzo dell’interferometria RADAR satellitare, che fornisce informazioni più precise e dettagliate rispetto alle foto aeree riguardo al movimento dei fenomeni franosi;
- afflussi meteorici.

3.2.2.1 Consultazione delle foto aeree

Il metodo essenziale per definire il diverso tempo di ritorno è dato dalla consultazione delle foto aeree. Esso è l'intervallo intercorso fra due eventi che hanno caratteristiche simili ed è definito osservando le diverse riattivazioni che sono avvenute negli anni.

Le foto aeree sono catalogate e raccolte per volo e anno dal 1978, a cui sono stati aggiunti i due voli storici del R.A.F del 1944-1945 e del G.A.I. del 1954-1955 e sono disponibili presso gli Uffici del Centro per la Cartografia, che sono localizzati per la Regione Veneto a Mestre, in provincia di Venezia.

Il sistema di ripresa aerofotografico consente alle apparecchiature presenti sull'aereo di registrare su pellicola fotosensibile le informazioni energetiche nell'intervallo della lunghezza d'onda da 0,4 a 0,9 μm , che corrisponde alle onde riflesse nel campo del visibile e dell'infrarosso vicino.

La fotografia risulta dall'esposizione alla luce di materiale fotosensibile (emulsione) steso su un supporto trasparente, chiamato film. Il limite a 0,9 μm è dovuto all'instabilità dei componenti dell'emulsione che diventano sensibili oltre questa lunghezza d'onda. Al di sotto di 0,4 μm l'atmosfera assorbe e diffonde la maggior parte dell'energia, così come anche le lenti della fotocamera.

Le foto aeree possono essere classificate sulla base dell'inclinazione dell'asse principale, asse che collega il punto principale (punto in cui la perpendicolare proiettata dal centro delle lenti interseca l'immagine, ovvero il punto centrale della foto) e il centro di prospettiva in :

- molto inclinate o alto oblique, quando l'orizzonte è visibile e la scala diminuisce dal primo piano al fondo della foto;
- poco inclinate o basso oblique, quando l'orizzonte non è visibile e la scala decresce dal primo piano al fondo della foto;
- verticali, dove la scala è uniforme per una certa altezza dal terreno e la foto ha una forma circa quadrata, che è la categoria utilizzata per questo studio.

La quota di volo in genere è superiore a 1000 m dal terreno e deve essere il più possibile stabile.

L'acquisizione dei fotogrammi viene fatta in strisciate.

Ciascuna foto verticale viene scattata usualmente su una pellicola di 24 cm, ha un formato di 23 cm x 23 cm e presenta una striscia laterale in cui vengono indicate le principali informazioni sulla ripresa, come un orologio che identifica l'ora in cui è stata scattata la foto, l'obiettivo e la distanza focale utilizzati, un contascatti che rappresenta il numero della foto scattata, una placchetta con informazioni aggiuntive, la marca fiduciaria della macchina fotografica e un altimetro, che definisce l'altezza a cui si trovava l'aereo quando la foto è stata scattata.

Per osservare al meglio questi fotogrammi, si utilizza la visione stereoscopica (Fig. 3.14), definita come la visione tridimensionale degli oggetti ottenuta grazie a una visione binoculare, ovvero da due punti prospettici diversi.

Per ottenere la stereoscopia di immagini telerilevate è necessario che le due immagini coprano la stessa aerea, anche parzialmente, e che gli assi ottici siano paralleli e giacenti sullo stesso piano.



Fig. 3. 14 Esempio di stereoscopio utilizzato

Oltre a foto aeree, sono state utilizzate anche ortofoto, foto zenitali corrette e georeferenziate, che non consentono però di ottenere la stereoscopia, in quanto

la prospettiva centrale viene eliminata con l'ortorettifica, essenziale per togliere le deformazioni occorse durante la ripresa fotografica.

I voli disponibili dal 1954 al 2010 che sono stati utilizzati per osservare i diversi cambiamenti avvenuti nell'area del comune di Trissino sono i seguenti:

- G.A.I. (Gruppo Aeronautica Italiana), che è stato un volo storico avvenuto nel 1954-1955 per opera dell'Aviazione Militare degli Stati Uniti;
- Reven 1981;
- Reven 1987;
- Reven Verona Nord 1997;
- Reven Veneto Centrale 1999;
- Reven Arzignano 2001, il quale comprende solo la parte orientale del comune;
- Reven Vicenza Sud 2010.

A questi voli va aggiunta inoltre l'ortofoto risalente agli anni 2006-2007.

La consultazione delle foto aeree è avvenuta frana per frana per i 7 voli insieme alla consultazione dell'ortofoto partendo dall'anno più recente utilizzandolo come base e via via andando a ritroso negli anni, in modo da osservare i movimenti avvenuti prima della foto osservata, per capire se ci sono stati cambiamenti di forma, variazioni di estensione, variazioni nel colore del terreno che simboleggiano l'effettiva riattivazione del dissesto.

Dall'osservazione di questi fotogrammi sono state determinate le diverse riattivazioni per ciascun fenomeno franoso, grazie alle quali è stato possibile definire il tempo di ritorno, sulla base del periodo di osservazione preso in considerazione.

Il tempo di ritorno "TR"[3] risulta essere definito matematicamente dal rapporto fra il tempo di osservazione "t" e il numero di riattivazioni "n" avvenute durante questo periodo t:

$$\mathbf{TR} = \frac{t}{n} \quad [3]$$

Per alcune frane il tempo di osservazione è ridotto rispetto a quello intercorso tra il 1954 e il 2010; ciò sta a significare che questi dissesti sono stati attivati in un

tempo successivo al 1954.

Attraverso i tempi di ritorno, è possibile calcolare anche la probabilità di occorrenza [4] di ciascuna frana durante un tempo specificato “t*”, che possiamo considerare per esempio riconducibile a un anno:

$$P\{N(t^*) \geq 1\} = 1 - e^{-\mu} \quad [4]$$

con μ che rappresenta il rapporto tra il tempo t^* e il tempo di ritorno TR. Da questa probabilità di occorrenza, ovvero la probabilità che un determinato valore di intensità venga superato in un determinato intervallo di tempo t^* , si determina il livello di pericolosità temporale che viene generato.

3.2.2.2 Interferometria RADAR satellitare

Un altro strumento utile per determinare i tempi di ritorno è costituito dall'interferometria RADAR satellitare.

Il RADAR (Radio Detection and Ranging) è un sensore attivo in grado di trasmettere un segnale di energia elettromagnetica nell'intervallo delle lunghezze d'onda delle microonde da 1 mm a 1 m. Esso registra e misura l'eco prodotta dagli oggetti che ne vengono investiti e può acquisire in qualsiasi condizione meteorologica, di giorno e di notte. Se l'energia che viene irradiata dall'antenna trasmittente non incontra ostacoli non ritorna, mentre se si imbatte in un oggetto si verifica una diffusione e una piccola parte torna verso l'antenna trasmittente. Questa radiazione viene chiamata di backscattering.

Il sistema RADAR si basa sul fatto che la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche è nota e quindi se vado a misurare il tempo tra andata e ritorno dell'onda emessa, posso calcolare anche la distanza tra antenna e bersaglio. Fra le bande che vengono utilizzate si hanno la X, la C e la L, che presentano diverse lunghezze d'onda.

Un importante ruolo viene svolto dalla rugosità e dall'inclinazione posseduta dalla superficie del bersaglio rispetto alla direzione dell'antenna.

Il segnale RADAR riesce anche a penetrare la vegetazione arrivando al suolo. Il radar, essendo inclinato, esalta molto gli aspetti morfologici, come rugosità e

pendenza delle superfici. Le superfici lisce riflettono a specchio il raggio incidente e quindi appaiono come dei corpi scuri in immagini radar, in quanto il raggio incidente coincide con quello riflettente. Le superfici che presentano invece una morfologia diversa e quindi sono dotate di maggior rugosità danno un segnale alto.

Tutte le misure di spostamento sono prese lungo la direzione di vista del satellite e sono relative a un punto di riferimento, detto PS, prelezionato e considerato stabile come bersaglio radar, e immobile rispetto al terreno. Questa rappresenta una delle principali tecniche adottate oggi nell'interferometria (tecnica Persistent Scatter; Bernardino et al., 2001). Ogni misura effettuata non può essere eseguita senza la definizione di un punto di riferimento e la misura è sempre relativa, ovvero riguarda come ogni bersaglio radar si muova rispetto al punto di riferimento, nel tempo e nello spazio.

Conoscenze a priori dell'area di interesse sono utili per affrontare un'analisi PS. Infatti, se l'area fosse caratterizzata da subsidenza, sarebbe sufficiente un'analisi definita da una singola geometria di acquisizione del satellite (ascendente oppure discendente). Nel nostro caso in studio però il movimento da misurare è su di un'area in frana, dove le difficoltà possono aumentare a causa della presenza della componente orizzontale del moto, che può essere molto significativa. In questo caso sarebbe opportuno eseguire un'analisi PS con doppia geometria di acquisizione (ascendente e discendente), per riuscire a fare una stima della componente est-ovest del moto orizzontale, che però non è stato preso in considerazione in questo studio. Ciò che risulta con questa analisi è la formazione di una serie temporale di spostamento per ogni singolo PS.

L'immagine finale mostrerà questa serie temporale e la densità delle misure, nell'intervallo di tempo analizzato. Ogni punto della serie corrisponde a una singola acquisizione satellitare e dall'insieme di questi punti è possibile ricostruire la serie storica di deformazione nel periodo analizzato.

Con la suddetta analisi, si possono identificare anche movimenti non lineari, trend stagionali, moti accelerati, ma soprattutto per un'area instabile è possibile monitorare i vari movimenti delle frane.

Il problema principale è costituito dal fatto che la risoluzione spaziale dipende dalle dimensioni dell'antenna in rapporto alla lunghezza d'onda della radiazione utilizzata. Il sistema SAR (Syntetic Aperture Radar) usa un'antenna che fisicamente è corta, ma che è in grado di produrre l'effetto di un'antenna molto più lunga, utilizzando l'effetto Doppler.

Infatti, vengono memorizzati e confrontati fra loro nel tempo i segnali di ritorno dalla superficie, mentre il sensore si sposta lungo la linea di volo. La frequenza che viene emessa è costante, al contrario della frequenza dei segnali ricevuti, che risulta essere variabile a causa del moto relativo fra antenna e bersaglio. Una volta che i dati sono stati elaborati, si può simulare un'antenna molto più lunga.

I satelliti che montavano o hanno montato a bordo sensori SAR da cui sono stati acquisiti dati di cui si è fatto uso in questo studio sono i seguenti:

- ERS (Earth Resources Satellite), che precede il lavoro svolto da ENVISAT;
- ENVISAT (ENVironmental SATellite), costruito dall'Agenzia Spaziale Europea e lanciato nel novembre del 2002, ha sostituito e ampliato le funzioni dei satelliti ERS. Esso fornisce informazioni su suolo, acqua, vegetazione e atmosfera;
- COSMOSKYMED (CONstellation of Small satellites for the Mediterranean basin Observation) è un Sistema operativo italo-francese dedicato alla gestione delle risorse marine, costiere, terrestri e al controllo dell'ambiente e delle catastrofi. Esso è centrato sul Mediterraneo;
- SENTINEL, missione dell'Agenzia Spaziale Europea, per controllare terra e oceano.

In Tab. 3.3 si riportano le caratteristiche principali dei satelliti citati, in cui si evidenziano il periodo operativo, il numero di immagini per l'area in studio, la

risoluzione spaziale e la tecnica utilizzata, che fa riferimento ai Permanent Scatterer (PS).

Satellite	ERS	ENVISAT (A)	ENVISAT (D)	COSMOSKYMED	SENTINEL-D
Periodo	13-05-1992 24-06-2000	06-12-2003 17-07-2010	10-02-2003 06-09-2010	09-05-2010 15-09-2012	23-12-2014 23-03-2016
N° di immagini	29	32	31	22	32
Risoluzione (m)	20	20	20	3	20
Tecnica	PS	PS	PS	PS	PS

Tab. 3. 3 Principali caratteristiche dei satelliti utilizzati

Il satellite ERS ha avuto un tempo operativo maggiore degli altri, mentre il maggior numero di immagini acquisite proviene dal satellite Sentinel. La risoluzione spaziale che viene utilizzata risulta essere di 20 m , mentre per Cosmoskymed ciò è molto inferiore, arrivando ai 3 m.

Per fare in modo che l'onda emessa venga diffusa e ritorni all'antenna trasmittente, che fa anche da ricevente, si prendono in considerazione solo alcuni punti sulla superficie, chiamati PS. Essi sono delle strutture metalliche, manufatti o rocce esposte, che hanno un profilo irregolare e quindi riescono a restituire al sensore una porzione costante nel tempo dell'energia incidente grazie alle proprie caratteristiche elettromagnetiche.

Generalmente per ciascun bersaglio radar i parametri disponibili sono:

- la posizione del bersaglio, ovvero si fa riferimento a coordinate geografiche e quota;
- gli spostamenti del bersaglio lungo la linea di vista del satellite;
- la velocità media di spostamento, che viene registrata nel periodo in cui le acquisizioni vengono eseguite.

Tramite i dati forniti dai 4 satelliti, sono stati scelti dei PS che fossero rappresentativi per ogni frana, ovvero quei PS che presentavano una maggiore

coerenza, quindi una maggiore affidabilità di informazione.

La coerenza si presenta quando l'area rilevata dal radar in passaggi successivi mantiene caratteristiche omogenee in termini di riflessione elettromagnetica, cioè l'interazione con l'impulso radar risulta essere la stessa via via che il satellite sorvola l'area in studio. In questo caso si parla di area coerente, la quale genera degli interferogrammi di buona qualità.

La coerenza che è presente in un interferogramma può avere valori da 0 a 1. Essenzialmente se questa è pari a 0, l'interferogramma risulta essere totalmente privo di coerenza, al contrario se la coerenza è 1, l'interferogramma è totalmente coerente. Questa coerenza dipende dalla topografia, dalle caratteristiche peculiari del terreno, dal tempo intercorso tra le acquisizioni. Generalmente una perdita di coerenza è indice della presenza di vegetazione, di edificazione, di erosione o deformazioni rapide, che possono portare a veloci cambiamenti della superficie.

Una volta presi in considerazione i punti precedenti, sono stati creati dei grafici a dispersione, dove si differenziano i periodi di maggiore spostamento rispetto a quelli di stasi di un determinato PS.

Dall'interferometria RADAR satellitare insieme alla consultazione delle foto aeree è stato possibile determinare dei livelli di pericolosità temporale, utili per definire la carta di pericolosità che identifica la frequenza di accadimento dei fenomeni franosi nell'area del comune di Trissino.

3.2.2.3 Afflussi meteorici

Gli afflussi meteorici rappresentano le precipitazioni che si sono verificate nell'arco degli anni sul territorio.

I dati di cui si è a disposizione derivano da pubblicazioni di dati idrologici raccolti dal Servizio Idrografico Nazionale e consultati online sul sito dell'ARPAV, acronimo di Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, la quale realizza attività di prevenzione e controllo ambientale attraverso l'uso di strutture tecniche come i pluviometri, che sono

presenti nel territorio della regione. Proprio i pluviometri, essenziali in una stazione meteorologica, sono gli strumenti utilizzati per misurare la quantità di pioggia caduta, e devono essere installati in un luogo aperto e libero da ostacoli. I dati vengono raccolti in tabelle nei cosiddetti “annali idrologici”, bollettini idrografici relativi alle osservazioni pluviometriche, idrometriche e freaticometriche. I dati sono raggruppati per bacini principali, ossia quelli con foce a mare e definiscono le osservazioni termopluviometriche giornaliere, i totali mensili e annui, le precipitazioni di forte intensità e breve durata e la consistenza del manto nevoso. Dove i dati della stazione pluviometrica di Trissino non erano disponibili, questi sono stati sostituiti con i dati inerenti alle zone molto vicine al comune, come Brogliano o Chiampo. Così facendo, l’analisi ha potuto avere continuità, senza subire gap temporali.

Congruentemente con l’analisi svolta sulle foto aeree, si è deciso di studiare un range caratterizzato da valori di altezza di precipitazione dall’anno 1954 al 2010 con un tempo di osservazione di 56 anni.

Con i dati raccolti è stato possibile costruire un istogramma rappresentante le precipitazioni annuali nel periodo di osservazione e determinare poi quali mesi sono stati i più piovosi e umidi e quali invece i meno atti a subire la caduta di queste acque meteoriche, attraverso la costruzione di un altro grafico contenente la media delle precipitazioni avvenute in un determinato mese per tutti gli anni considerati.

4. RISULTATI OTTENUTI

4.1 PERICOLOSITÀ SPAZIALE

4.1.1 Riclassificazione dei dati spaziali di input

Per fare in modo che i layer siano utilizzati nel migliore dei modi per definire la carta di pericolosità spaziale è necessario riclassificare i dati di input presenti.

La carta del modello di elevazione digitale (DEM) è stata riclassificata in 4 classi e l'intervallo fra i valori è di 150 - 200 m (Fig. 4.1).

La carta della pendenza presenta 5 classi con intervallo 10-20° (Fig. 4.2).

Gli intervalli della carta della curvatura sono definiti considerando le superfici maggiormente concave e maggiormente convesse agli estremi, mentre le tre classi centrali spaziano da -10 m a 10 m, per un massimo di 5 classi (Fig. 4.3), con la classe -1 - 1 che rappresenta le aree piatte.

La litologia provinciale è composta da 7 classi (Fig. 4.4):

- Materiali di deposito fluviale a tessitura ghiaiosa e sabbiosa (L_ALL-01);
- Copertura detritica colluviale ed eluviale (L_DET-01);
- Accumuli di frana (L_FRA-01);
- Rocce compatte massicce o a stratificazione indistinta (L_SUB-01);
- Rocce compatte stratificate (L_SUB-03);
- Rocce superficialmente alterate e con substrato compatto (L_SUB-04);
- Rocce con interposizioni tenere e strati o bancate resistenti (L_SUB-05).

L'uso del suolo (Fig. 4.5) presenta le seguenti 11 classi:

- 1. Aree urbane;
- 2. Aree industriali;
- 3. Aree estrattive;
- 4. Terreni arabili;
- 5. Coltivazioni stagionali;
- 6. Coltivazioni permanenti;
- 7. Aree boschive;
- 8. Aree a copertura erbacea;

- 9. Aree a cespugli e arbusti;
- 10. Aree a vegetazione sparsa;
- 11. Corpi idrici.

Infine, per quanto riguarda la distanza dai fiumi (Fig. 4.6) e la distanza dalle strade (Fig. 4.7), sono state adottate le suddivisioni rispettivamente in 4 e 3 classi, con intervalli di 200 - 300 m fra i valori.

Elevazione

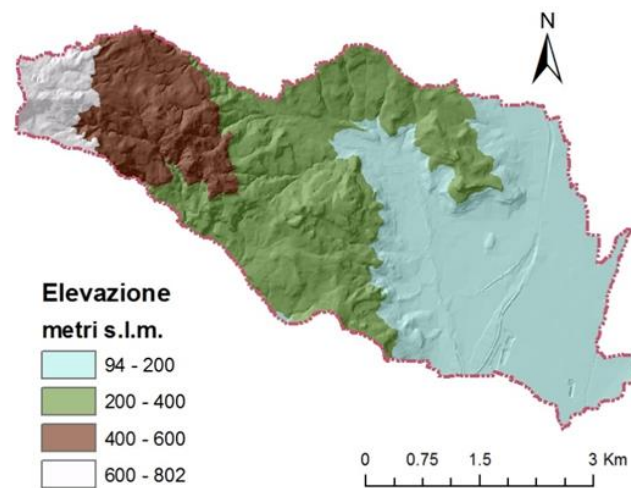


Fig. 4. 1 Layer elevazione

Pendenza

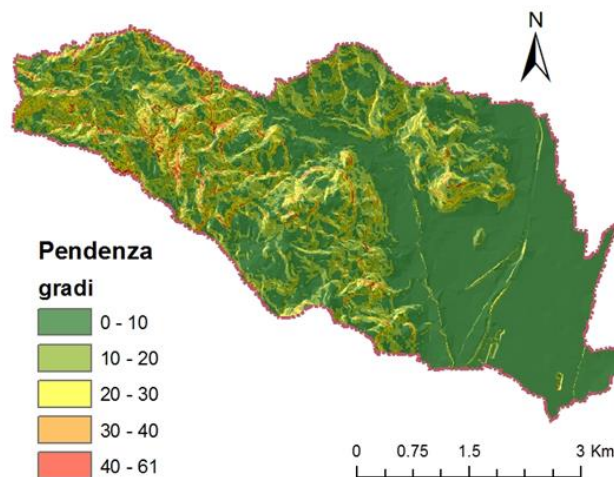


Fig. 4. 2 Layer pendenza

Curva

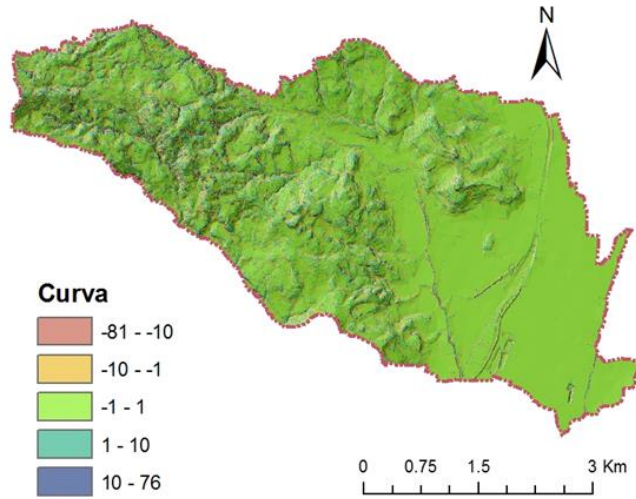


Fig. 4. 3 Layer curva

Litologia

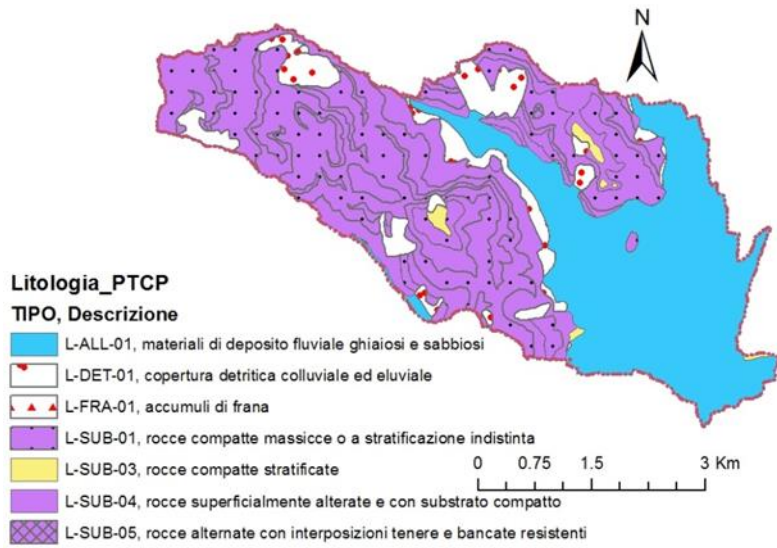


Fig. 4. 4 Layer litologia

Uso suolo

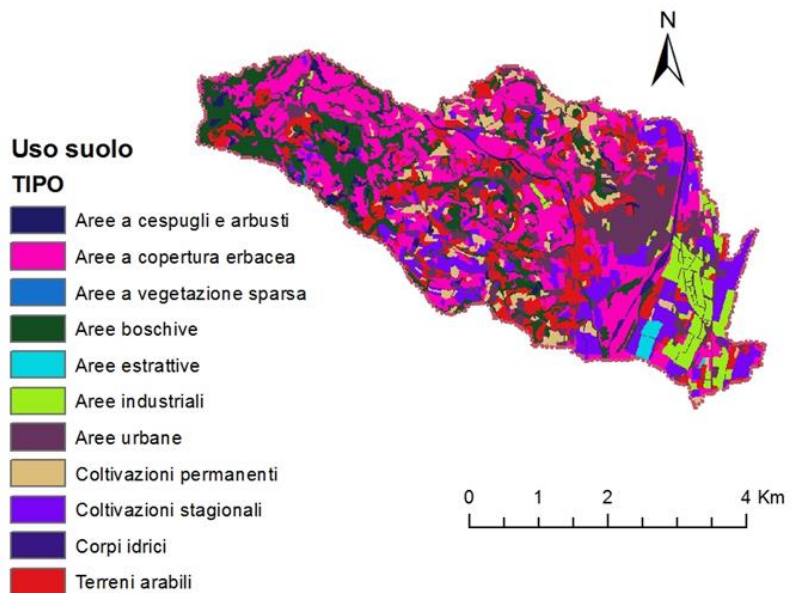


Fig. 4. 5 Layer uso suolo

Distanza dai fiumi

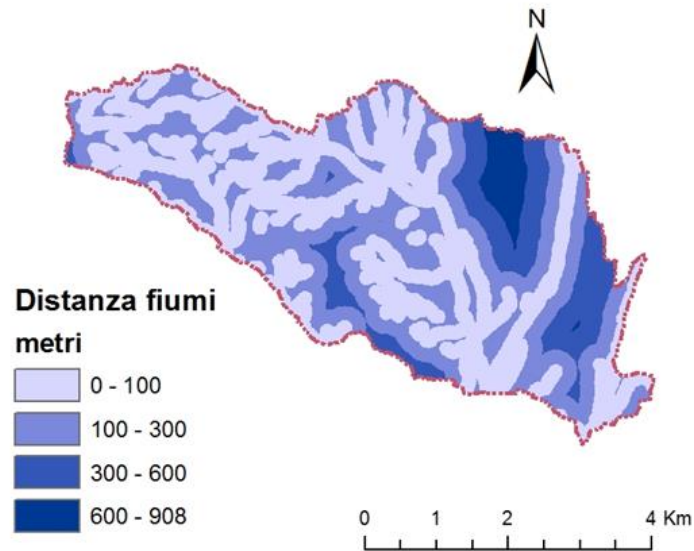


Fig. 4. 6 Layer distanza fiumi

Distanza dalle strade

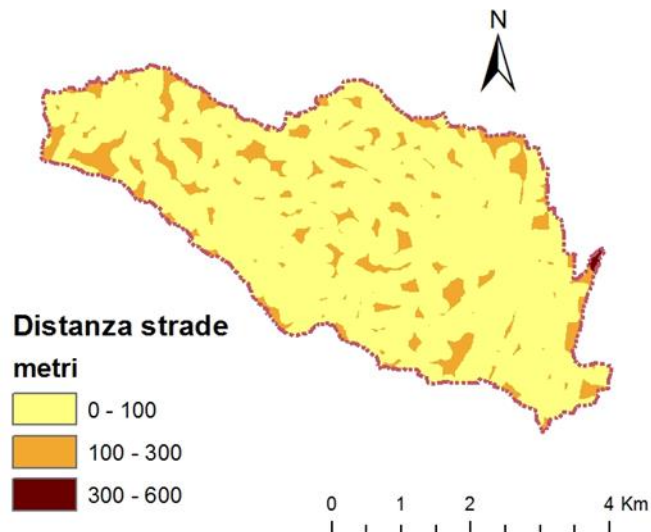


Fig. 4. 7 Layer distanza strade

4.1.2 Analisi dei dati con il modello “Frequency ratio”

L’analisi statistica “Frequency ratio” si basa su un approccio statistico-probabilistico e definisce quale fattore predisponente è maggiormente propenso a innescare un fenomeno franoso.

I fattori predisponenti considerati possono essere riferiti sia a dati numerici, così come per l’elevazione, la pendenza, la curvatura, la distanza dalle strade e la distanza dai fiumi, sia a dati che identificano una categoria, come la litologia e l’uso del suolo. Il metodo consiste nell’andare a determinare il frequency ratio index (F.R.I. o IFrel) che identifica il rapporto b/a. Ricordando che i dati di input risultano essere di tipo raster composti da pixel di 5 x 5 m che identificano le

unità fondamentali, il modello riesce a conteggiare il numero dei pixel che ricadono all'interno di ogni classe di ogni layer che si trova in frana (LDS). Il rapporto b rappresenta la percentuale dei pixel che sono in frana (LDS) in ogni classe sul totale dei pixel in frana. Allo stesso modo il modello considera anche il numero dei pixel che si trovano nel territorio non in frana (NO LDS) e da qui si ricava il rapporto a, ovvero il rapporto fra NO LDS e il totale dei pixel non in frana [2].

Di seguito si riportano le Tab. 4.1 - 4.7 inerenti a ciascun layer preso in esame, di cui è stato calcolato l'indice di Frequency ratio.

Valori	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
94.4 - 200	389213	389160	0.444041	53	0.066583	0.149948	0.078665
200 - 400	322676	322153	0.367584	523	0.657035	1.78744	0.937718
400 - 600	120929	120720	0.137744	209	0.262563	1.90616	1
600 - 802.3	44384	44373	0.050631	11	0.013819	0.272939	0.143188

Tab. 4. 1 Valori del layer elevazione

Valori	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
0-10	505718	505528	0.576819	190	0.238693	0.41381	0.172559
10-20	250931	250556	0.28589	375	0.471106	1.64785	0.687154
20-30	86963	86774	0.099011	189	0.237437	2.39808	1
30-40	26731	26698	0.030463	33	0.041457	1.3609	0.567496
40-60	6859	6850	0.007816	9	0.011307	1.44659	0.603228

Tab. 4. 2 Valori del layer pendenza

Valori	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
-81-10	11201	11189	0.012767	12	0.015075	1.18082	0.734432
-10-1	129843	129662	0.147947	181	0.227387	1.53694	0.955927
-1-1	583571	583190	0.665434	381	0.478643	0.719295	0.447378
1-10	143331	143122	0.163306	209	0.262563	1.6078	1
10-75.9	9256	9243	0.010547	13	0.016332	1.54854	0.963142

Tab. 4. 3 Valori del layer curva

TIPO	COUNT	NO_LDS	NO_L_RAT_A	LDS	LDS_RAT_B	IFREL_B_A	IFREL_NORM
L-SUB-01	301869	301416	0.343922	453	0.569095	1.654721	0.988227
L-SUB-03	7434	7434	0.008482	0	0	0	0
L-SUB-04	171880	171619	0.195821	261	0.327889	1.674433	1
L-SUB-05	834	834	0.000952	0	0	0	0
L-DET-01	84482	84400	0.096302	82	0.103015	1.069705	0.638846
L-FRA-01	639	639	0.000729	0	0	0	0
L-ALL-01	310065	310065	0.353791	0	0	0	0

Tab. 4. 4 Valori del layer litologia

Legenda	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
Aree urbane	140452	140302	0.160088	150	0.188442	1.17712	0.308039
Aree industriali	42670	42670	0.048687	0	0	0	0
Aree estrattive	5313	5313	0.006062	0	0	0	0
Terreni arabili	117911	117756	0.134362	155	0.194724	1.44924	0.37925
Coltivazioni stagionali	101834	101778	0.116131	56	0.070352	0.605797	0.15853
Coltivazioni permanenti	53803	53748	0.061328	55	0.069096	1.12666	0.294835
Aree boschive	145549	145443	0.165954	106	0.133166	0.802428	0.209987
Aree a copertura erbacea	244267	244050	0.278467	217	0.272613	0.97898	0.256188
Aree a cespugli e arbusti	16480	16423	0.018739	57	0.071608	3.82133	1
Aree a vegetazione sparsa	381	381	0.000435	0	0	0	0
Corpi idrici	8543	8543	0.009748	0	0	0	0

Tab. 4. 5 Valori del layer uso suolo

Valori	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
0-100	425726	425461	0.485463	265	0.332915	0.685767	0.420907
100-300	308608	308152	0.35161	456	0.572864	1.62926	1
300-600	114404	114329	0.130453	75	0.094221	0.722263	0.443307
600-908.7	28460	28460	0.032474	0	0	0	0

Tab. 4. 6 Valori del layer distanza fiumi

Valori	Count	no_lds	no_l_rat_a	lds	lds_rat_b	Ifrel_b_a	Ifrel_norm
0-100	764781	764033	0.87178	748	0.939699	1.07791	1
100-300	110949	110901	0.126541	48	0.060302	0.476539	0.442095
300-600	1472	1472	0.00168	0	0	0	0

Tab. 4. 7 Valori del layer distanza strade

La colonna “Count” identifica il numero delle celle o dei pixel totali per ogni classe e viene fornita automaticamente dal software utilizzato.

Le altre colonne vengono costruite usando diversi tools presenti all’interno del

software, i quali sono in grado di confrontare il dataset di frane con ogni classe di ogni layer e il risultato sarà un raster che presenterà un valore 0 e un valore 1. Il valore 0 identifica che l'evento è nullo ovvero la zona stabile e il valore 1 rappresenta l'evento certo, ossia la zona instabile. Proprio quest'ultimo valore racchiude in sé un insieme di pixel che identificano le celle che sono ritenute essere in frana. Grazie quindi a questo, è possibile costruire la colonna "LDS". Per definire poi le celle non in frana, esse risultano dalla differenza fra le celle totali e quelle in frana (COUNT - LDS). A questo punto è possibile procedere con il definire i rapporti b e a e di conseguenza l'indice di Frequency ratio per ogni classe di valori. I valori ottenuti devono essere normalizzati da 0 a 1 secondo la definizione della pericolosità, ovvero il valore più alto verrà posto pari a 1 e gli altri inferiori via via risulteranno minori di 1. Se l'indice risultante dai dati è alto fra 0.5 e 1, vuol dire che la classe di valori presenta una maggiore predisposizione al franamento, ovvero il numero dei pixel in frana risulta essere molto più alto, cioè quasi il doppio, del numero dei pixel che non sono in frana. Ciò è visibile dalle Tab. 4.1 - 4.7, dove il valore maggiore è evidenziato in rosso. I valori dei layer che sono maggiormente favorevoli a causare fenomeni franosi risultano nell'uso del suolo e nella pendenza. Ciò vuol dire che questi due fattori influenzano maggiormente i movimenti del territorio.

4.1.3 Determinazione della carta di pericolosità spaziale

La somma dei valori degli indici di Frequency ratio di tutti i layer provvederà a definire attraverso un opportuno tool presente in "ESRI ArcGIS™" la carta di suscettibilità o pericolosità spaziale, che identifica dal rosso al verde le zone aggravate da una maggiore instabilità e da una minore predisposizione al franamento (Fig. 4.8).

Si può essenzialmente dire che le zone più pericolose sono quelle che si trovano sulla sommità dei rilievi collinari e via via questa pericolosità risulta diventare

meno accentuata fino ad arrivare ai piedi dei versanti, dove le pendenze sono molto inferiori e il rischio che si verifichi un dissesto è anch'esso basso.

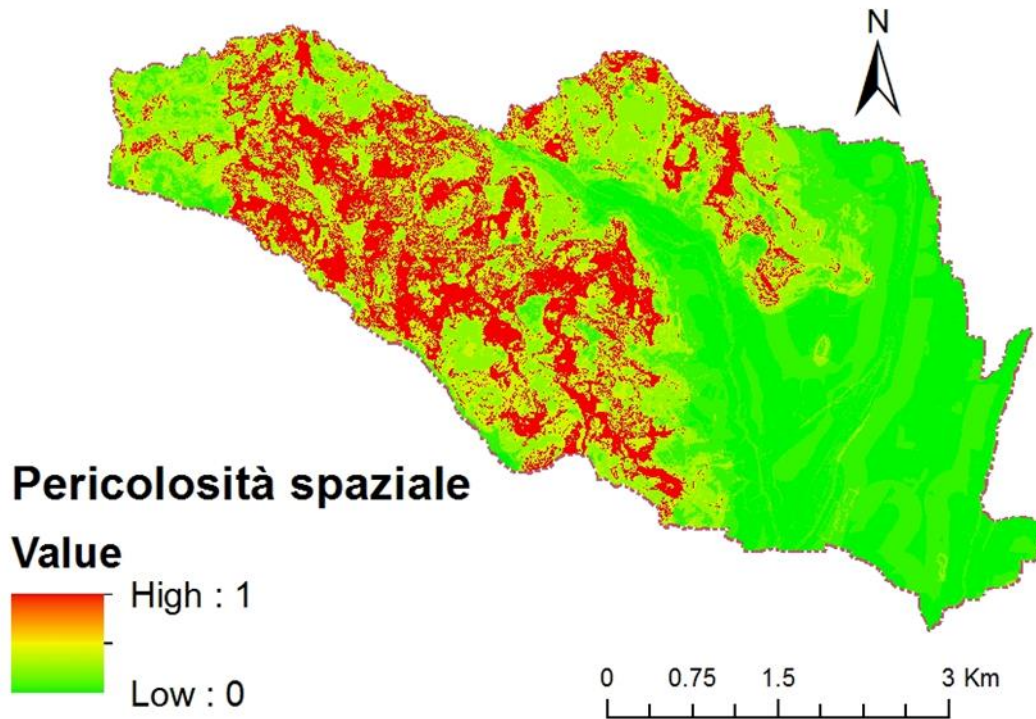


Fig. 4. 8 Carta di pericolosità spaziale

Ciò è evidenziato dagli esempi di Fig. 4.9, inserti della carta di suscettibilità, dove le zone in rosso generalmente identificano più che altro le zone di innesco delle frane presenti e questo colore si affievolisce sempre di più avvicinandosi al piede del corpo di frana, dove ovviamente la pericolosità risulta essere minore.

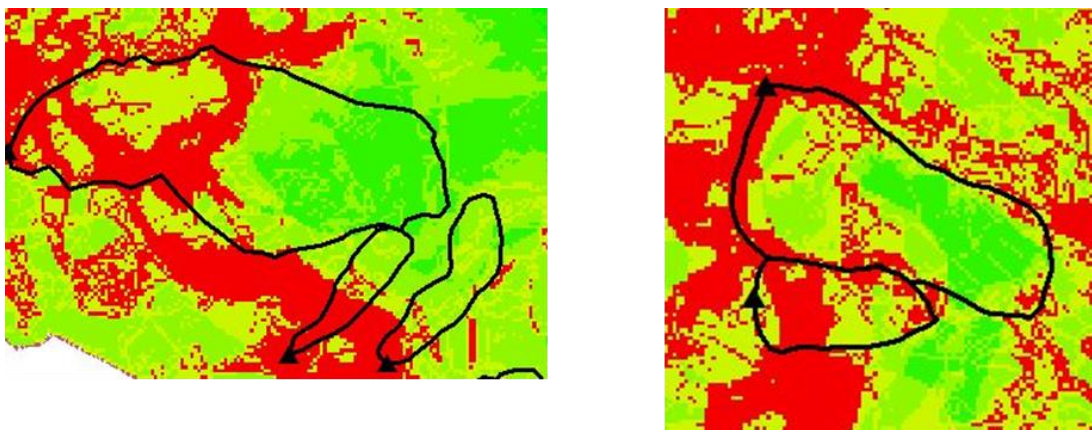


Fig. 4. 9 Esempi di suscettibilità all'interno dei poligoni delle frane, inserti della carta di pericolosità spaziale di Fig. 4.8

4.1.4 Validazione del modello:

“Success rate curve” e “Predictive rate curve”

L’analisi è stata eseguita con un buffer a 10m, che è stato scelto dopo accurati tentativi di calcolo, fra cui un buffer a 50 metri sia per i punti che per i poligoni delle frane, un buffer di 70 metri per i punti, quest’ultimo ritagliato dai poligoni delle frane, in modo che risultasse l’area di innesco all’interno di questo dataset poligonale, oppure non ritagliato.

Per definire quale buffer potesse rappresentare nel modo migliore possibile le 64 frane osservate, è stata utilizzata la cosiddetta “Success rate curve”. Essa è una curva che riesce a diagrammare attraverso un grafico cumulato la suscettibilità suddivisa in 10 classi che viene inserita in ascissa e identifica la percentuale di area considerata franosa, mentre la percentuale cumulata dell’area effettiva in frana viene collocata in ordinata.

In Fig. 4.10 sono rappresentate in un unico diagramma le varie curve di “Success rate curve” per definire effettivamente quali di queste sono più propense a rappresentare il modello. I valori sono dati in Allegato 1.

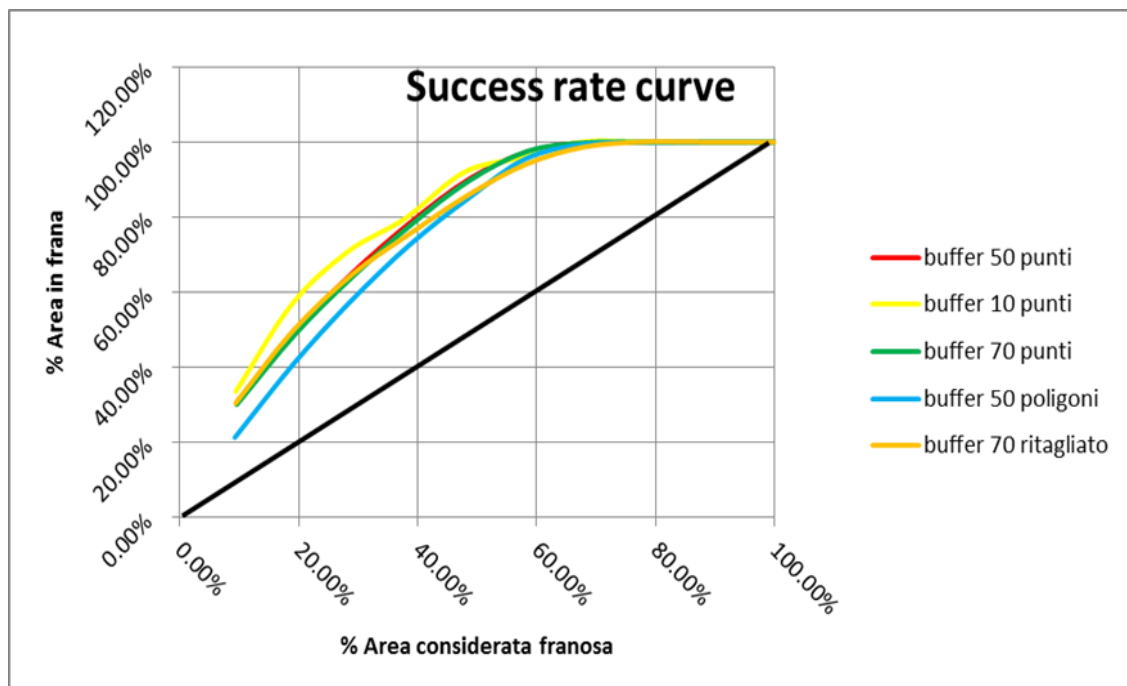


Fig. 4. 10 Success rate curves che identificano come il modello utilizzato fitta le condizioni di instabilità. Sull'asse x si mostrano le porzioni di area predetta come suscettibile. Sull'asse y sono riportate le porzioni di area affetta da fenomeni franosi

Una curva che coincide con la diagonale dallo 0% al 100% identificherà la totale casualità del dataset rappresentato, mentre più la curva si avvicina all'asse delle ordinate e quindi si allontana dalla diagonale, il risultato dell'analisi che è stata eseguita sarà migliore. Inoltre si può anche constatare che maggiore è la pendenza nel tratto iniziale e maggiore sarà la capacità del modello di identificare il dissesto.

In questo caso le curve hanno andamento molto simile, ma ciò che identifica al meglio i punti rivisitati sopra risulta essere la curva che rappresenta il modello statistico che è stato eseguito con un buffer di 10 m.

Da Fig. 4.10 si può infatti constatare che il 20% delle frane osservate si trova in pixel che identificano il 60% della zona di Trissino che presenta maggiore suscettibilità.

Se consideriamo il 40% delle frane osservate, queste rappresentano invece circa l'80% della zona in studio con maggiore pericolosità.

Questi valori ci suggeriscono che l'analisi che è stata effettuata rappresenta statisticamente una soluzione moderatamente accettabile con un buffer di 10 m. Inoltre, per validare in modo efficace il modello eseguito si tiene conto, oltre che della Success rate curve anche della Predictive rate curve, utilizzando un nuovo campione di dati. Il layer frane viene infatti suddiviso fra frane dell'area di training e frane dell'area di test, che rappresentano l'80% e il 20% delle frane totali, identificate in questo caso rispettivamente nella "Success rate curve" e nella "Predictive rate curve".

Questa suddivisione è stata effettuata secondo un criterio logico temporale basato sugli afflussi meteorici.

Come si può notare da Fig. 4.24 (si rimanda al capitolo 4.2.3), escludendo la precipitazione avvenuta nel 2010 di cui non si hanno indicazioni di riattivazioni di frane in un tempo successivo, se non qualche segnalazione, il maggiore evento piovoso degli ultimi 60 anni è avvenuto nel 1960, con un'altezza annuale pari a 1822 mm.

Si può quindi considerare di eseguire una suddivisione con le frane che già erano presenti prima di questa intensa precipitazione che definiscono l'area di training e con le frane che si sono formate dopo questa fatidica data, che possono essere state innescate da questo evento di pioggia o da quelli successivi, che definiscono invece l'area di test.

La "Predictive rate curve" dovrebbe in genere risultare al di sotto della "Success rate curve" perché presenta la peculiarità di essere costruita a partire da un dataset di frane di numero minore (circa il 20% del totale) rispetto al dataset di frane utilizzato per la definizione della "Success rate curve".

Di seguito in Fig. 4.11 è presente il diagramma che definisce questo concetto. Il metodo utilizzato prevede anche in questo caso un buffer di 10 m, che risulta essere il migliore fra quelli tentati.

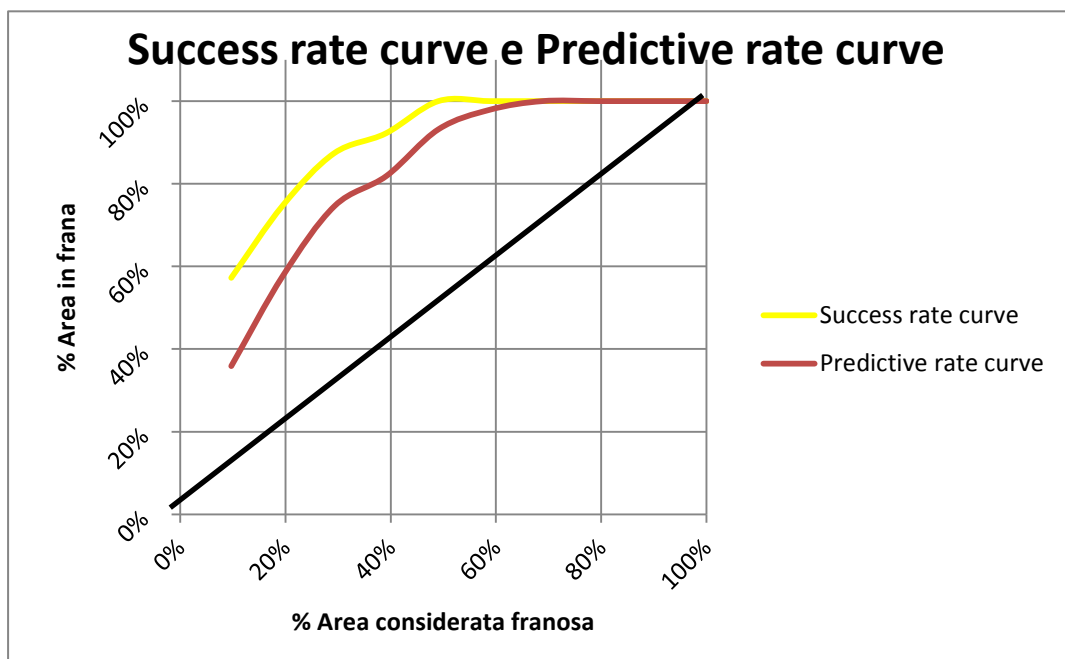


Fig. 4.11 Success rate curve e Predictive rate curve per la validazione del modello di Frequency ratio. In asse x è riportata l'area considerata franosa e nell'asse y si ritrova l'area che effettivamente è in frana

Come si nota da Fig. 4.11, la "Predictive rate curve" si avvicina maggiormente alla diagonale rispetto alla "Success rate curve" come era stato supposto e ciò dimostra che il modello ha un buon potere previsionale, in quanto per esempio il

20% dell'area considerata franosa corrisponde al 59% dell'area che effettivamente è affetta da frane.

La "Success rate curve" mostra una maggiore propensione a rappresentare il modello con questo metodo di suddivisione fra area di training e di test, piuttosto che con il considerare il totale layer di frane.

Si ha infatti che il 20% dell'area considerata franosa corrisponde a circa il 75% dell'area che effettivamente è in frana e questo identifica che l'analisi statistica ha portato a una soluzione alquanto accettabile.

Più significativo sembra essere anche il fatto che il 40% delle aree considerate in frana si identificano con circa il 92% delle aree che sono realmente in frana.

I valori infatti della curva si avvicinano maggiormente all'asse delle ordinate e tendono verso l'alto, presupponendo che l'analisi sia soddisfacente.

4.2 PERICOLOSITÀ TEMPORALE

4.2.1 Analisi delle foto aeree

La visione delle foto aeree in stereoscopia è stata eseguita per ogni singola frana dall'anno 2010 al 1954, per osservare i vari cambiamenti avvenuti nel terreno, che possono far ipotizzare a una nuova riattivazione del fenomeno franoso.

Tutto ciò che è stato osservato ha portato a definire una tabella (Tab. 4.8), che evidenzia in quali anni le frane hanno subito riattivazione o sono state generate.

Generalmente le varie riattivazioni coincidono con la variazione degli afflussi meteorici che superano le medie annuali, come è visibile anche da Fig. 4.24.

Sono stati osservati in definitiva 8 anni per le foto aeree (2010, 2006, 2001, 1999, 1997, 1987, 1981, 1954), in cui le frane hanno subito vari movimenti e riattivazioni, sia lievi sia più consistenti.

	VOLO	VOLO	VOLO	VOLO	VOLO	VOLO	VOLO	VOLO
ID FRANE	1954	1981	1987	1997	1999	2001	2006	2010
da16041501	R	I	R	R	I	NO	R	I
da16041502	I	I	R	R	I	NO	R	R
da16041503	R	R	I	R	I	NO	I	R
da16041504	R	R	I	R	I	NO	R	R
da16041505	R	I	R	R	I	NO	I	R
da16041506	R	R	I	R	I	NO	R	R
da16041507	R	R	I	R	I	NO	I	I
da16041508	I	R	R	R	I	NO	R	R
da16041509	R	R	R	R	I	NO	R	R
da16041510	I	R	R	I	R	NO	I	I
da16041511	I	R	I	R	I	NO	R	I
da16041512	I	R	I	I	R	NO	R	I
da16041513	I	R	I	I	R	NO	R	I
da16041514	R	I	I	R	I	NO	R	I
da16041515	R	I	I	R	I	NO	R	I
da16041516	R	R	I	R	I	NO	R	R
da16041517	I	I	I	R	I	NO	R	I
da16041518	R	I	I	R	I	I	I	R
da16041519	R	R	I	R	I	I	I	I
da16041520	I	R	R	I	I	I	R	I
da16041521	R	R	I	R	I	I	R	I
da16041522	NF	NF	NF	NF	NF	R	I	I

...continua...

ID FRANE	VOLO 1954	VOLO 1981	VOLO 1987	VOLO 1997	VOLO 1999	VOLO 2001	VOLO 2006	VOLO 2010
da16041523	R	I	R	R	I	I	R	I
da16041524	R	R	R	I	R	I	R	R
da16041525	R	R	R	I	I	I	R	I
da16041526	R	R	R	R	I	I	R	I
da16041527	NF	R	I	R	I	R	R	R
da16041528	R	R	R	R	I	I	I	I
da16041529	R	I	I	I	R	I	I	I
da16041530	R	I	I	R	R	I	R	I
da16041531	I	I	I	R	R	I	I	R
da16041532	I	R	I	I	I	R	I	I
da16041533	NF	R	I	R	I	I	I	I
da16041534	I	R	R	R	I	I	R	I
da16041535	R	I	R	R	I	I	R	R
da16041536	NF	R	I	I	R	I	I	R
da16041537	R	I	R	I	R	I	R	I
da16041538	R	I	R	I	I	I	I	I
da16041539	NF	NF	R	R	I	I	I	I
da16041540	NF	NF	R	I	R	I	R	I
da16041541	I	I	R	R	I	I	I	I
da16041542	I	R	I	I	I	I	I	I
da16041543	NF	R	R	I	I	NO	R	I
da16041544	NF	R	I	R	I	I	I	R
da16041545	I	R	I	I	I	I	R	I
da16041546	R	I	R	I	I	I	I	I
da16041547	I	I	I	R	I	I	I	I
da16041548	NF	R	R	I	R	I	I	I
da16041549	I	I	R	R	I	I	R	I
da16041550	I	R	R	R	I	I	R	I
da16041551	I	I	R	I	I	R	I	I
da16041552	I	I	R	I	R	I	R	I
da16041553	R	I	R	R	I	R	I	I
da16041554	R	R	I	I	I	R	I	I
da16041555	I	I	R	R	I	I	R	I
da16041556	NF	NF	NF	R	I	R	R	I
da16041557	NF	R	I	R	I	I	R	I
da16041558	NF	R	I	R	I	I	R	I
da16041559	I	R	R	I	R	I	R	I
da16041560	R	I	I	R	I	NO	I	I
da16041561	I	R	I	R	I	NO	R	I
da16041562	R	I	R	I	I	I	I	I
da16041563	R	I	R	I	R	R	I	I
da16041564	NF	R	R	I	I	I	I	I

Tab. 4. 8 Movimenti delle 64 frane presenti nel territorio di Trissino (R=riattivazione, I= frana inattiva nell'anno considerato, NO= l'aereo non ha sorvolato la zona con riferimento al volo Arzignano 2001, NF= la frana non è presente, non è stata attivata)

Si può inoltre notare, con l'ausilio di Fig. 4.12, che le maggiori riattivazioni, in numero di 39 su 64, si sono avute nell'anno 1997, in concomitanza con l'evento di pioggia che ha superato la media di 1288 mm avvenuto nel 1996.

Questo è dovuto essenzialmente al fatto che in quell'anno il terreno è stato più propenso a subire movimento, poiché probabilmente la precipitazione avvenuta è stata caratterizzata da una maggiore intensità, che ha consentito al terreno di imbevare acqua in misura diversa per i diversi tipi di terreno che sono caratterizzati da differente permeabilità, causa principale che ha portato a scivolamenti e colamenti.

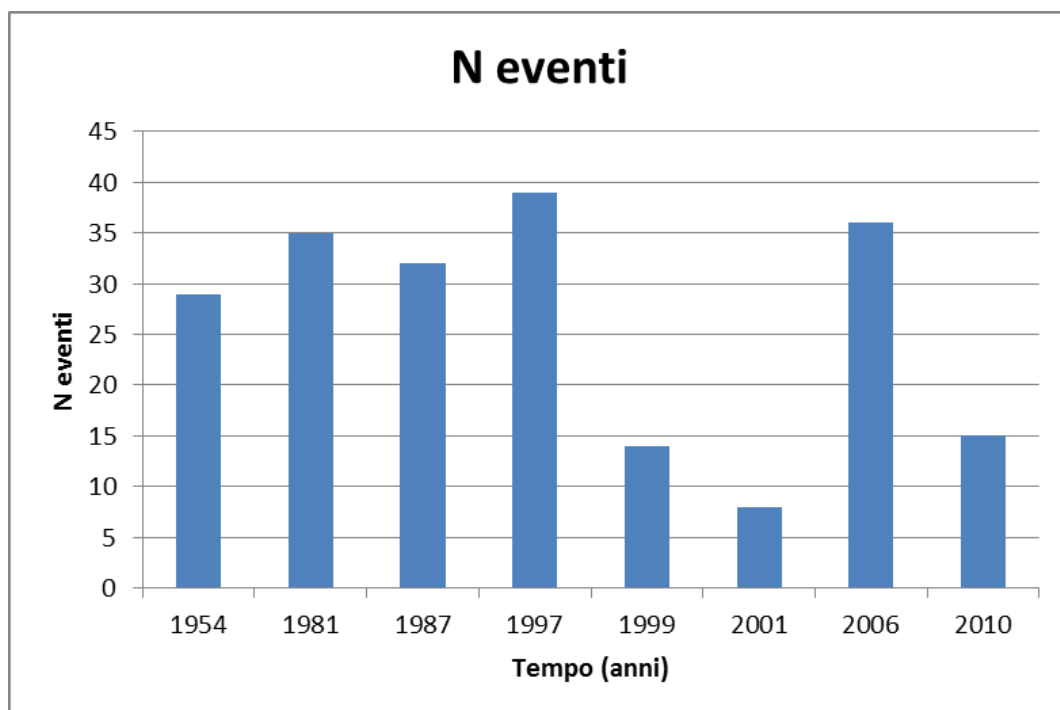


Fig. 4. 12 Istogramma rappresentante il numero di fenomeni franosi avvenuti negli anni considerati. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata il numero degli eventi di riattivazione

In Fig. 4.13 si può notare che solamente 3 frane sono state caratterizzate da una sola riattivazione e solo 2 da 6 riattivazioni. Per la maggior parte comunque il movimento osservato è avvenuto per tre o quattro volte nel periodo considerato.

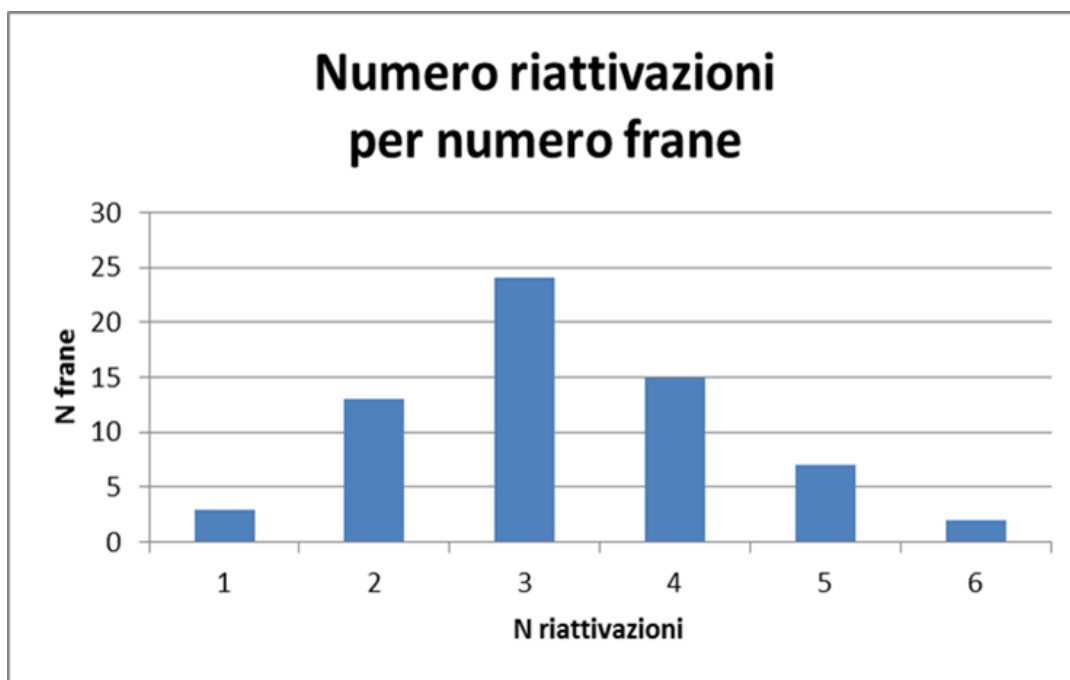


Fig. 4. 13 Numero delle frane che hanno subito da 1 a 6 riattivazioni

Le diverse riattivazioni hanno portato a definire per ciascuna frana un determinato tempo di ritorno, sulla base del periodo di osservazione preso in considerazione, da cui si può determinare anche la probabilità di occorrenza annuale ponendo t^* uguale a 1 in Eq. [4] (Tab. 4.9).

ID FRANE	t osservazione	Riattivazioni	TR medio	% Probabilità occorrenza
da16041501	56	4	14	6.89372203
da16041502	56	4	14	6.89372203
da16041503	56	4	14	6.89372203
da16041504	56	5	11.2	8.541577354
da16041505	56	4	14	6.89372203
da16041506	56	5	11.2	8.541577354
da16041507	56	3	18.7	5.216176415
da16041508	56	5	11.2	8.541577354
da16041509	56	6	9.3	10.16026787
da16041510	56	3	18.7	5.216176415
da16041511	56	3	18.7	5.216176415
da16041512	56	3	18.7	5.216176415
da16041513	56	3	18.7	5.216176415
da16041514	56	3	18.7	5.216176415
da16041515	56	3	18.7	5.216176415
da16041516	56	5	11.2	8.541577354

...continua...

ID FRANE	t osservazione	Riattivazioni	TR medio	% Probabilità occorrenza
da16041517	56	2	28	3.508405563
da16041518	56	3	18.7	5.216176415
da16041519	56	3	18.7	5.216176415
da16041520	56	3	18.7	5.216176415
da16041521	56	4	14	6.89372203
da16041522	9	1	9	10.51606832
da16041523	56	4	14	6.89372203
da16041524	56	6	9.3	10.16026787
da16041525	56	4	14	6.89372203
da16041526	56	5	11.2	8.541577354
da16041527	29	5	5.8	15.83691599
da16041528	56	4	14	6.89372203
da16041529	56	2	28	3.508405563
da16041530	56	4	14	6.89372203
da16041531	56	3	18.7	5.216176415
da16041532	56	2	28	3.508405563
da16041533	29	2	14.5	6.664113569
da16041534	56	4	14	6.89372203
da16041535	56	5	11.2	8.541577354
da16041536	29	3	9.7	9.827733764
da16041537	56	4	14	6.89372203
da16041538	56	2	28	3.508405563
da16041539	23	2	11.5	8.328304797
da16041540	23	3	7.7	12.22862667
da16041541	56	2	28	3.508405563
da16041542	56	1	56	1.76986489
da16041543	29	3	9.7	9.827733764
da16041544	29	3	9.7	9.827733764
da16041545	56	2	28	3.508405563
da16041546	56	2	28	3.508405563
da16041547	56	1	56	1.76986489
da16041548	29	3	9.7	9.827733764
da16041549	56	3	18.7	5.216176415
da16041550	56	4	14	6.89372203
da16041551	56	2	28	3.508405563
da16041552	56	3	18.7	5.216176415
da16041553	56	4	14	6.89372203
da16041554	56	3	18.7	5.216176415
da16041555	56	3	18.7	5.216176415
da16041556	13	3	4.3	20.60773422
da16041557	29	3	9.7	9.827733764

...continua...

ID FRANE	t osservazione	Riattivazioni	TR medio	% Probabilità occorrenza
da16041558	29	3	9.7	9.827733764
da16041559	56	4	14	6.89372203
da16041560	56	2	28	3.508405563
da16041561	56	3	18.7	5.216176415
da16041562	56	2	28	3.508405563
da16041563	56	4	14	6.89372203
da16041564	29	2	14.5	6.664113569

Tab. 4. 9 Tempi di ritorno medi in anni e probabilità di occorrenza annuali calcolati per ciascuna frana, sulla base del tempo di osservazione t e del numero di riattivazioni n

Se il valore finale della probabilità di occorrenza è elevato per bassi tempi di ritorno, significa che la pericolosità di innesco è elevata, in quanto la frana può riattivarsi in breve periodo con un'elevata probabilità.

Questi calcoli sono comunque riconducibili alla statistica, quindi fanno riferimento puramente a delle supposizioni, che non danno la certezza assoluta sul fatto che una frana possa riattivarsi o meno.

Il tempo di osservazione è normalmente di 56 anni e questo è inferiore quando le frane hanno avuto una vita minore rispetto a questo periodo.

Per fare in modo di catalogare i vari valori, i diversi tempi di ritorno sono stati suddivisi in cinque classi principali (Fig. 4.14):

- $TR < 5$ anni, di cui fa parte un'unica frana con valore di 4.3, risultato ottenuto per il basso tempo di osservazione del dissesto di 13 anni e con numero di riattivazioni pari a 3;
- $5 \text{ anni} < TR < 10 \text{ anni}$;
- $10 \text{ anni} < TR < 15 \text{ anni}$, che risulta essere la classe che fa riferimento a più frane;
- $15 \text{ anni} < TR < 25 \text{ anni}$;
- $TR > 25 \text{ anni}$, il cui valore di TR per alcune frane arriva anche fino a 56 anni quando il movimento ha coinvolto questa porzione di area solo una volta nel determinato tempo di osservazione.

Tempi di ritorno

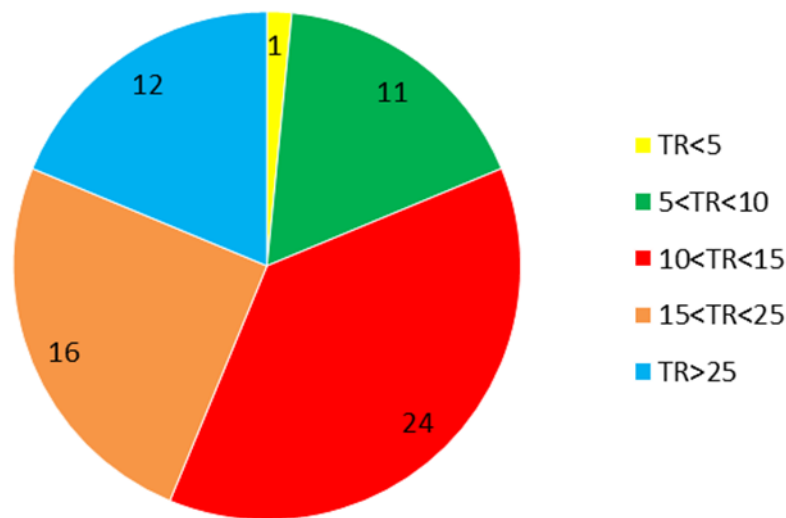


Fig. 4. 14 Grafico a torta con la classificazione dei tempi di ritorno e il numero delle frane appartenenti a ciascuna classe

Per ciascun range di valori dei tempi di ritorno si fa riferimento a una specifica probabilità di occorrenza annuale, che è tanto minore quanto maggiore è il tempo di ritorno di ogni movimento gravitativo.

Sulla base quindi dei valori dei tempi di ritorno, la probabilità di occorrenza annuale P è stata così classificata:

- $P > 18\%$ per tempi di ritorno inferiore a 5 anni;
- $9,5\% < P < 18\%$ per TR compresi fra 5 e 10 anni;
- $6,4\% < P < 9,5\%$ per $10 < TR < 15$;
- $3,9\% < P < 6,4\%$ per TR fra 15 e 25 anni;
- $P < 3,9\%$ per tempi di ritorno superiori a 25 anni.

Perciò essenzialmente si può prendere in considerazione una zona a pericolosità elevata quando i tempi di ritorno sono inferiori a 5 anni e la probabilità che si verifichi un movimento del terreno che possa portare a causare danni è maggiore del 18%. Viceversa, si avrà una zona a pericolosità molto bassa quando i tempi di ritorno sono superiori a 25 anni e la probabilità annuale che si verifichi un dissesto risulta essere inferiore a circa il 4%.

Le due variabili mostrano affinità secondo una linea di tendenza che evidenzia una regressione potenziale, come è visibile in Fig. 4.15, dove la pericolosità temporale è direttamente proporzionale alla probabilità di occorrenza e inversamente proporzionale ai tempi di ritorno.

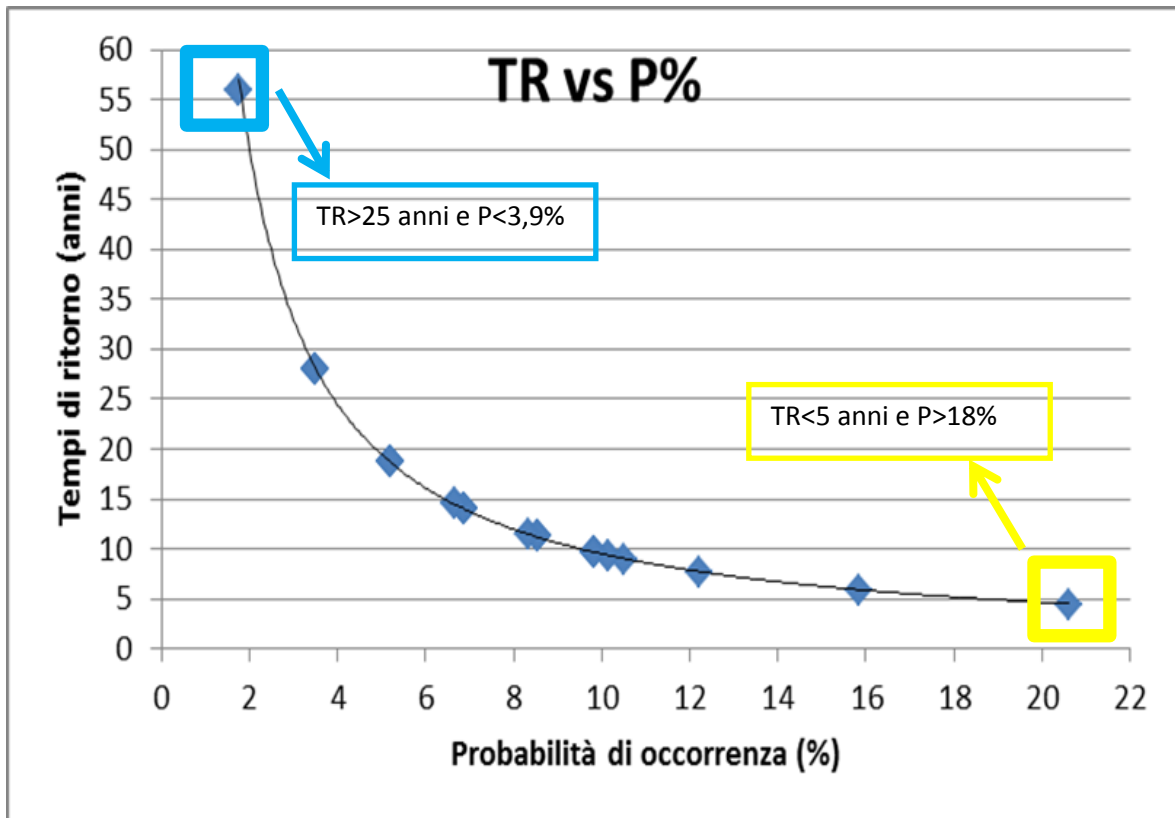


Fig. 4. 15 Tempi di ritorno e probabilità di occorrenza associate con esempi di valori

Il primo valore a sinistra di Fig. 4.15 identifica una P pari a circa 1,8% e un TR di 56 anni, quindi questo porta a definire che la frana che occupa una determinata porzione del territorio sarà caratterizzata da una pericolosità molto bassa.

Al contrario, l'ultimo valore a destra identificherà una frana che presenta una pericolosità elevata e quindi che sarà più propensa al movimento, con una P di circa il 21% e un tempo di ritorno pari a 4 anni.

In Fig. 4.16 si riporta l'ortofoto inerente alle frane catalogate per i diversi tempi di ritorno.

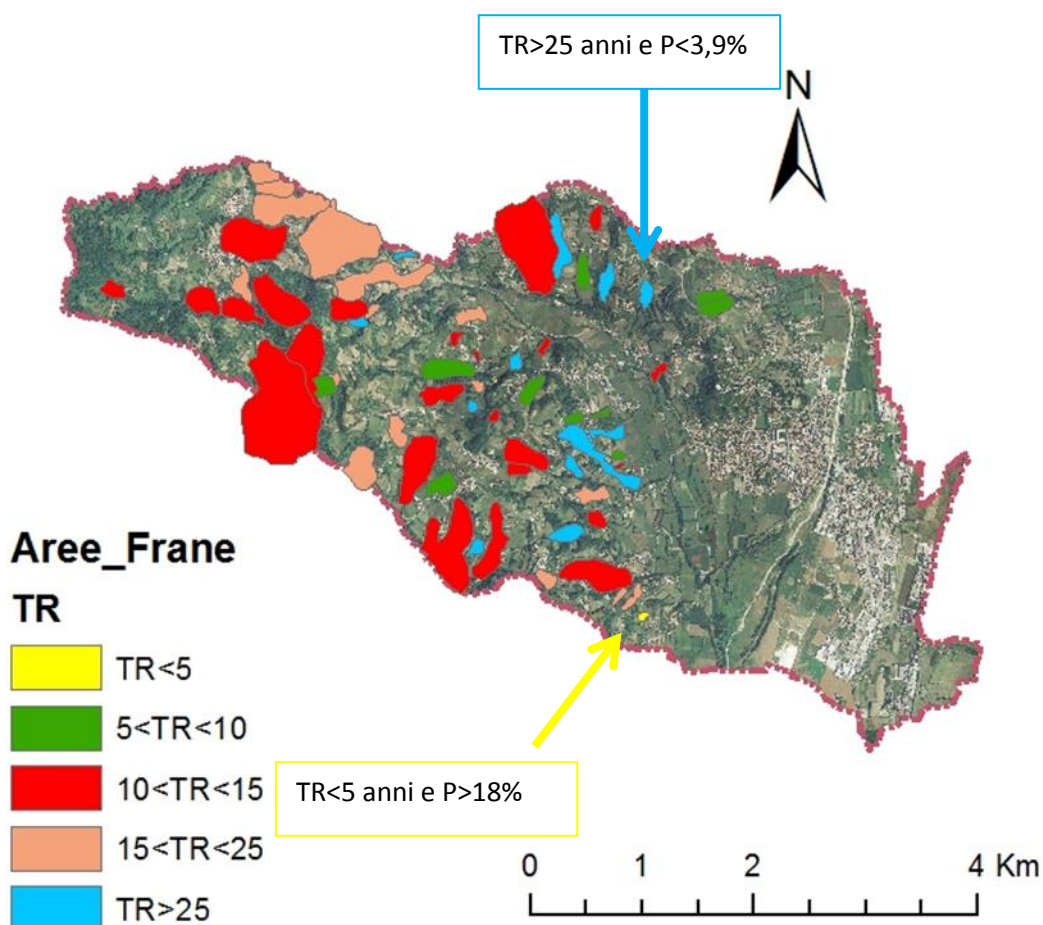


Fig. 4. 16 Ortofoto con la suddivisione delle frane per TR medi, in associazione a Fig. 4.15 con due esempi

Fino ad ora lo studio è stato basato su una probabilità di occorrenza annuale. Generalmente il tempo specificato t^* può anche essere sostituito, per osservare effettivamente quale sia la probabilità [4] che un dissesto si verifichi per esempio fra 5 anni, fra 10 anni, fra 20 anni, fra 30 anni, fra 50 anni.

In Tab. 4.10 si riporta la tabella con le eventuali probabilità di occorrenza.

ID FRANE	Probabilità di occorrenza				
	$t^*=5$	$t^*=10$	$t^*=20$	$t^*=30$	$t^*=50$
da16041501	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041502	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041503	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041504	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837

...continua...

ID FRANE	Probabilità di occorrenza				
	t*=5	t*=10	t*=20	t*=30	t*=50
da16041505	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041506	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837
da16041507	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041508	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837
da16041509	41.47488957	65.74811449	88.26808339	95.98159735	99.52856435
da16041510	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041511	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041512	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041513	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041514	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041515	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041516	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837
da16041517	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041518	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041519	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041520	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041521	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041522	42.62465793	67.08070122	89.16319768	96.43260067	99.61340799
da16041523	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041524	41.47488957	65.74811449	88.26808339	95.98159735	99.52856435
da16041525	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041526	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837
da16041527	57.77125204	82.16732845	96.81995826	99.4329136	99.98196642
da16041528	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041529	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041530	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041531	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041532	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041533	29.1657529	49.82509438	74.82478846	87.36836137	96.81995826
da16041534	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041535	36.00905336	59.05158748	83.23227512	93.13388285	98.84870837
da16041536	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041537	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041538	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041539	35.25946079	58.08662583	82.43269066	92.6369479	98.70650986
da16041540	47.90878727	72.86505556	92.6369479	98.0020399	99.85288916
da16041541	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041542	8.541577354	16.35356927	30.03274626	41.47488957	59.05158748
da16041543	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041544	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041545	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041546	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041547	8.541577354	16.35356927	30.03274626	41.47488957	59.05158748
da16041548	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041549	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041550	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041551	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512

...continua...

ID FRANE	Probabilità di occorrenza				
	t*=5	t*=10	t*=20	t*=30	t*=50
da16041552	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041553	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041554	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041555	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041556	68.45787254	90.05094195	99.01016244	99.90152049	99.99902521
da16041557	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041558	40.38371311	64.45898338	87.36836137	95.51058722	99.4329136
da16041559	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041560	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041561	23.49829386	41.47488957	65.74811449	79.95404618	93.13388285
da16041562	16.35356927	30.03274626	51.04583404	65.74811449	83.23227512
da16041563	30.03274626	51.04583404	76.03489636	88.26808339	97.18843403
da16041564	29.1657529	49.82509438	74.82478846	87.36836137	96.81995826

Tab. 4. 10 Probabilità di occorrenza per t*=5,10,20,30,50 anni

Si può notare in Tab. 4.10 che più il tempo specificato t* risulta essere elevato, da 5 fino a 50 anni, più la probabilità che si verifichi una frana aumenta. Questo si verifica in conseguenza del fatto che è più probabile che una frana si verifichi fra 50 anni piuttosto che fra 1 anno. Può verificarsi però un afflusso meteorico intenso e la frana, il cui TR era stato supposto per esempio di 50 anni, può riattivarsi in un periodo molto più breve. Prendendo come riferimento la frana numero 63, essa ha un TR medio intorno a 14. La probabilità che si attivi fra un anno è di circa il 7%, del 30% fra 5 anni, del 51% fra 10 anni, del 76% fra 20 anni, del 88% fra 30 anni e del 97% fra 50 anni. Quindi più gli anni passano e più la pericolosità temporale aumenta, così come il rischio.

4.2.2 Analisi interferometrica

Sono stati creati dei grafici a dispersione che identificano i periodi in cui il movimento del PS è stato molto significativo rispetto a periodi in cui si è verificata una situazione di stasi.

In Fig. 4.17 si può notare il movimento di un PS che si ritrova all'interno del poligono di frana numero 6, che identifica i vari movimenti che si sono succeduti nel tempo per quanto riguarda tale frana.

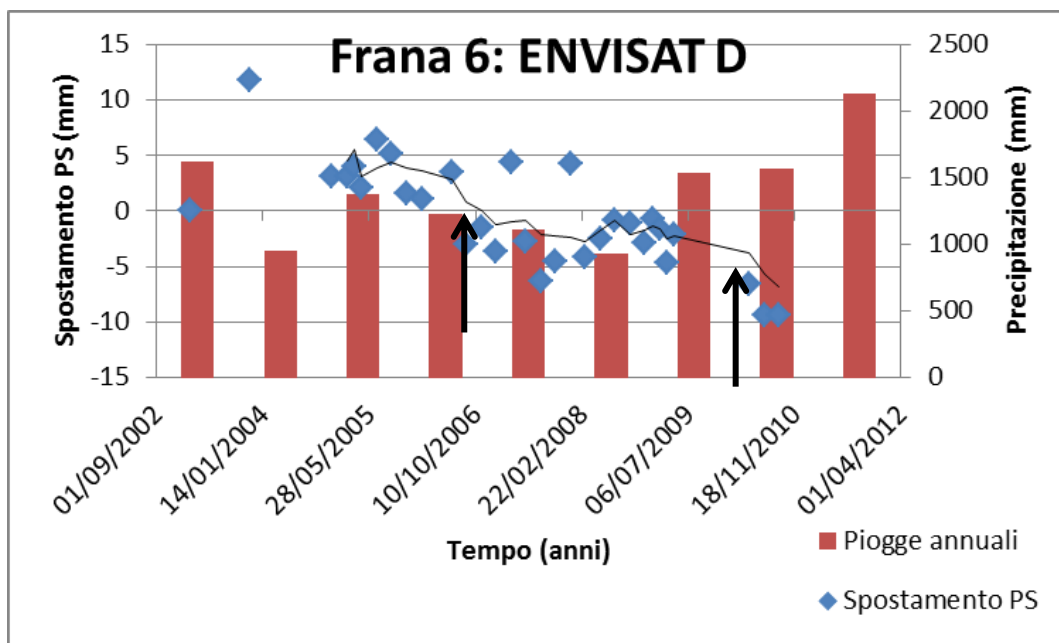


Fig. 4. 17 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite Envisat discendente, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm

Il movimento del PS, presente all'interno della zona di delimitazione della frana numero 6, ha una coerenza pari a 0,92. Facendo riferimento al satellite Envisat discendente, il PS ha un andamento che va da febbraio 2003 a novembre 2010. Esso presenta sostanzialmente due movimenti principali, ovvero nel 2005-2006 e intorno al 2009-2010, con un piccolo periodo di stasi intorno al 2008, visibili nel grafico grazie anche alla linea di tendenza di media mobile con periodo di 4. Il grafico a dispersione che racchiude il movimento del PS è stato combinato con un istogramma che evidenzia le precipitazioni annuali che sono avvenute dall'anno 2002 al 2010.

Come si può osservare, il movimento discendente maggiore del PS del 2005-2006 coincide con la diminuzione delle precipitazioni che sono avvenute negli stessi anni. Ciò è riferito al fatto che il movimento dei fenomeni franosi si attua nel momento in cui la pioggia caduta risulta essere molto elevata e si insidia nel terreno, provocando infiltrazione e ruscellamento, che generano una diminuzione della stabilità.

Stessa situazione viene riferita al grafico di Fig. 4.18, che esprime lo spostamento di un PS che fa però riferimento al satellite ERS per la stessa frana, il quale presenta un tempo di acquisizione compreso fra il 1992 e il 2000.

Anche in questo caso gli afflussi meteorici hanno causato lo spostamento del terreno.

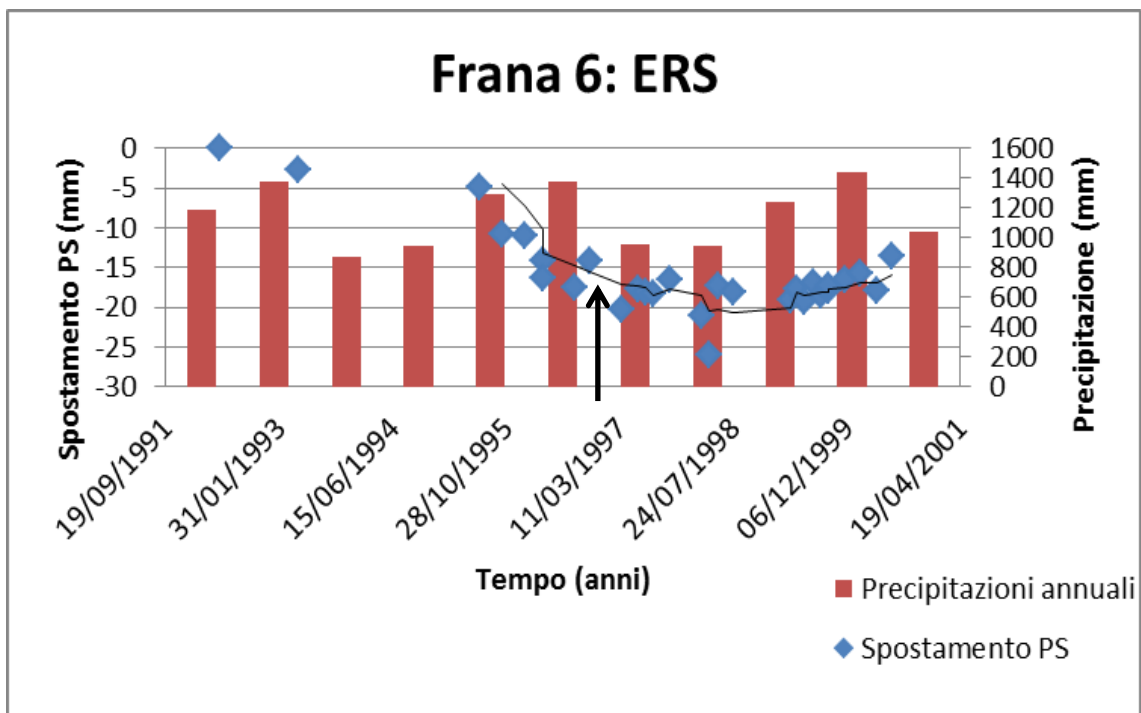


Fig. 4. 18 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite ERS, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm

La diminuzione della pioggia coincide con un breve periodo di stasi del movimento, avvenuto intorno al 1998-1999. Viceversa l'aumento dell'afflusso meteorico ha portato il territorio a subire un sostanziale cambiamento intorno al 1996-1997.

Dai due grafici precedenti (Fig. 4.17 e Fig. 4.18) si può ricavare di conseguenza il tempo di ritorno, cioè la frequenza con cui una frana si movimentata.

Si osservano infatti riattivazioni nel 1997 dal grafico 4.18 e nel 2006 e 2010 nel grafico 4.17.

Questi dati combaciano con i tempi di ritorno ricavati con la consultazione delle foto aeree, dove si possono osservare le tre riattivazioni appena citate, che sommate a quelle del 1981 e del 1954 danno un TR per la frana compreso fra 10 e 15 anni, con una probabilità di occorrenza annuale moderata, compresa tra 6,4% e 9,5%.

La suddetta frana è stata causa anche di danni successivi all'anno 2010. Questa affermazione parte da una segnalazione effettuata il 18 maggio del 2011 in località Munari, all'unghia del corpo in frana, dove una strada di campagna (Fig. 4.19) è stata investita. Tutto ciò viene confermato dai movimenti dei PS (Fig. 4.20) evidenziati dai dati ricavati dai satelliti che hanno sorvolato la zona in un periodo successivo all'anno 2010.



Fig. 4. 19 Danni alla strada di campagna in località Munari

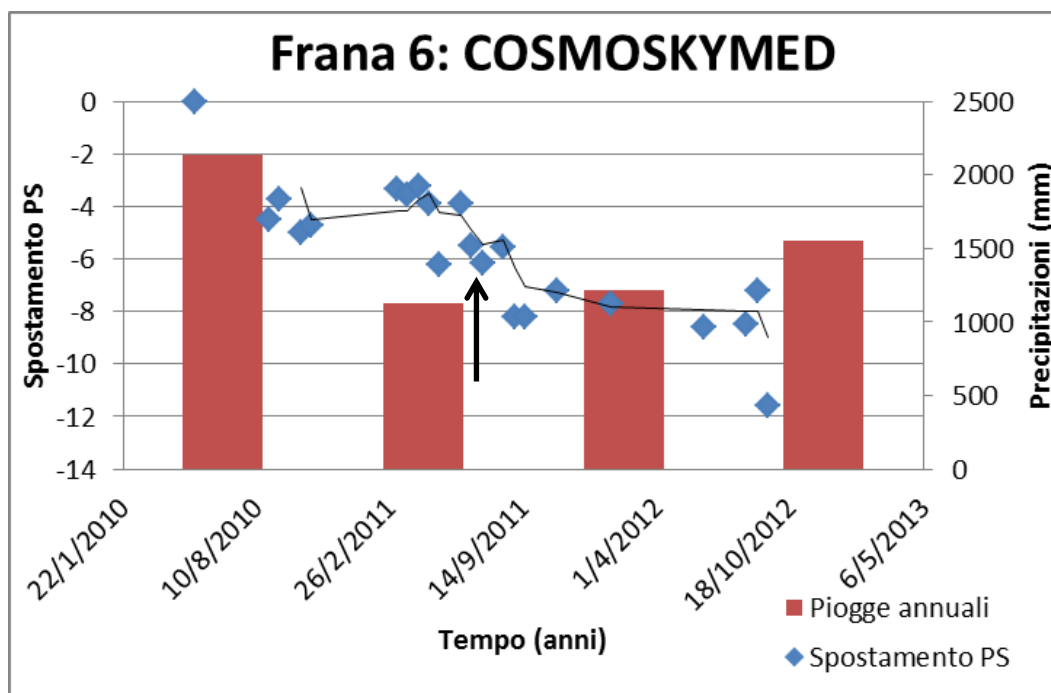


Fig. 4. 20 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite Cosmoskymed, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm

La freccia di Fig. 4.20 identifica il movimento avvenuto nell'anno 2011, in merito all'intensa precipitazione del 2010, la più alta degli ultimi 60 anni con 2135 mm di pioggia caduta in un anno, e dà prova della segnalazione.

In seguito all'enorme quantità di pioggia caduta, si nota un maggiore movimento del punto. Di conseguenza si può affermare che generalmente a forti afflussi meteorici corrispondono movimenti più accentuati delle zone instabili.

Un altro esempio per la determinazione del tempo di ritorno viene dato dalla frana numero 27. Essa è stata generata dopo la seconda più intensa precipitazione degli ultimi 60 anni, avvenuta nel 1960.

Il grafico di Fig. 4.21 evidenzia che, nel periodo considerato da dicembre 2003 a luglio 2010 per quanto riguarda il satellite Envisat ascendente, si sono avute due riattivazioni principali, identificate dalle frecce, che risalgono agli anni 2006 e 2009-2010.

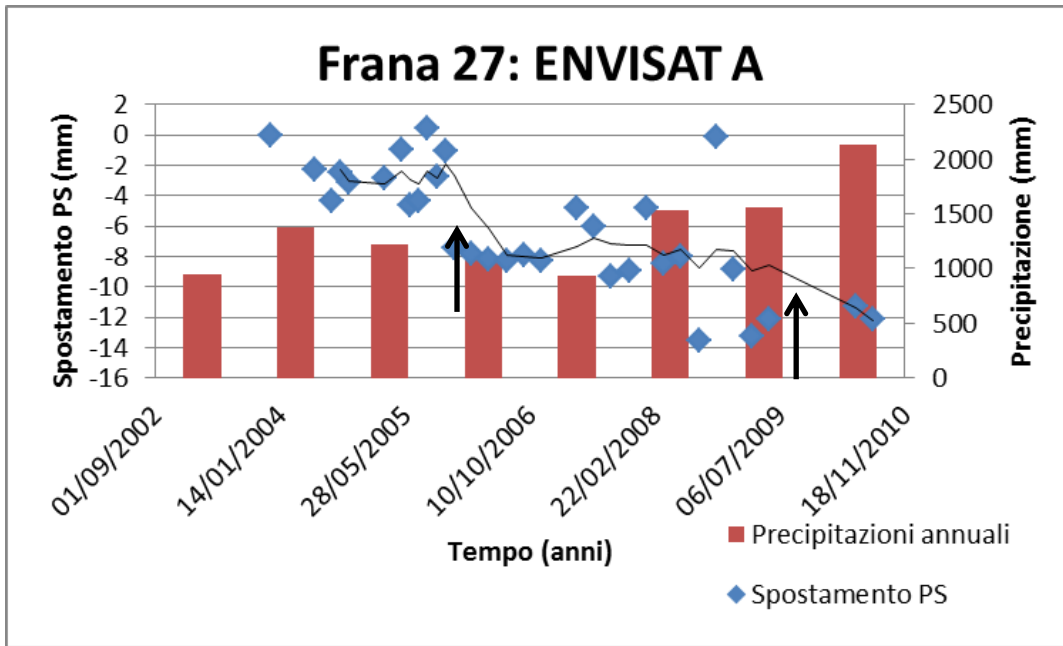


Fig. 4. 21 Spostamento PS per frana numero 27 per il satellite Envisat ascendente, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm

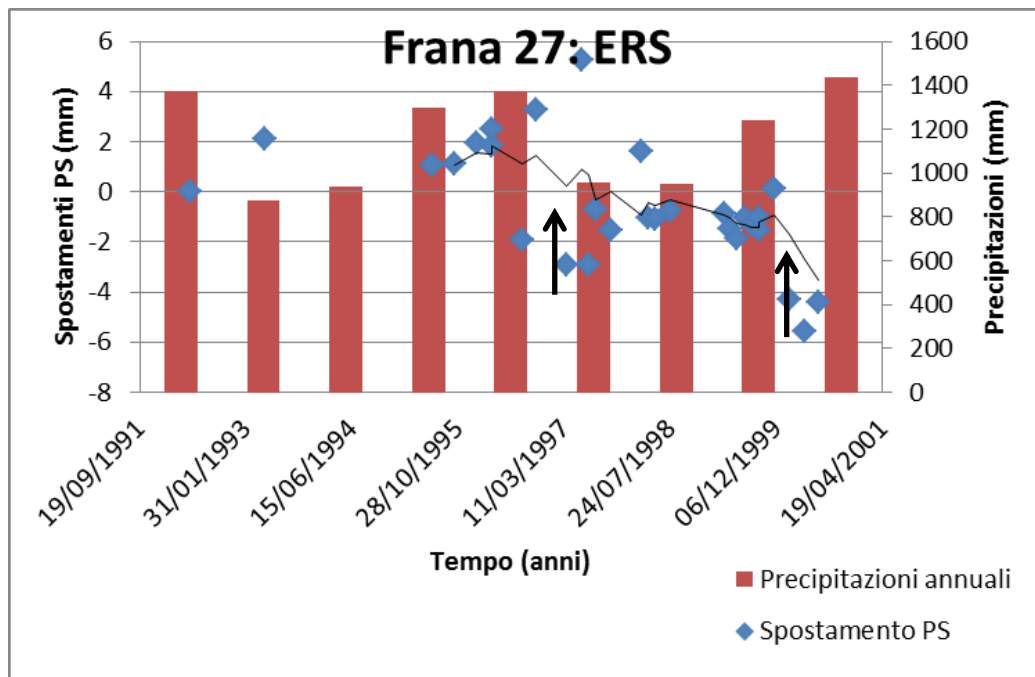


Fig. 4. 22 Spostamento PS per frana numero 27 per il satellite ERS, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm

Il satellite Envisat è stato lanciato in orbita successivamente all'ERS (Fig. 4.22). Quest'ultimo definisce il movimento dei PS in un tempo antecedente al 2002, più specificatamente da maggio 1992 a giugno 2000.

Si nota che gli spostamenti più accentuati sono avvenuti intorno al 1996-1997 e verso gli anni 2000-2001 e seguono l'andamento della pioggia caduta nello stesso arco di tempo.

Anche in questo caso le riattivazioni che si osservano dai grafici di Fig. 4.21 e Fig. 4.22 combaciano con quelle inerenti alla consultazione delle foto aeree. Quindi ricapitolando gli spostamenti si sono avuti nel 1997, nel 2001, nel 2006 e nel 2010, che sommati all'evento del 1981 identificano 5 riattivazioni.

Osservando le foto che provengono dal volo G.A.I. del 1954, la frana non era presente. Si può quindi arrivare alla conclusione che questa frana ha avuto la sua prima attivazione tra il 1954 e il 1981, probabilmente dopo il 1960 in seguito alla precipitazione intensa. L'anno di attivazione non può dirsi con esattezza, dal momento che i voli a disposizione sono quelli citati in precedenza e i dati interferometrici radar non consentono di tornare così indietro negli anni. Quindi il tempo di osservazione t in questo caso non sarà più di 56 anni, come per la maggior parte delle frane presenti nel territorio dell'area in studio, ma di 29 anni. Conoscendo quindi questo t e il numero delle riattivazioni (5), è possibile determinare un tempo di ritorno fra 5 e 10 anni, che equivale a una probabilità di occorrenza annuale compresa fra 9,5% e 18%, che identifica una pericolosità moderatamente alta.

I satelliti Cosmoskymed e Sentinel invece fanno riferimento a periodi di tempo rispettivamente compresi fra maggio 2010 e settembre 2012 per l'uno e fra dicembre 2014 e marzo 2016 per l'altro.

Non abbiamo però dati che derivano dalla consultazione delle foto aeree successive al 2010, né tanto meno segnalazioni, ad eccezione di frana 6 e frana 51, che consentano di capire che c'è stato un movimento.

Il periodo in studio considerato arriva infatti al 2010.

Si è preferito prendere in considerazione in generale sostanzialmente i dati derivati dai satelliti ERS e ENVISAT ascendente o discendente, che coprono un periodo che va dal 1992 al 2010.

Una breve parentesi va aperta per la segnalazione che è stata inserita il 28 luglio 2014 in Provincia di Vicenza, ma il cui evento è stato generato alla fine del gennaio dello stesso anno. A fine gennaio 2014 il territorio di Trissino è stato colpito da eccezionali precipitazioni piovose che hanno portato questa frana a riattivarsi. Essa ha provocato il crollo di un tratto di strada e isolato un edificio, dove risiedevano 2 famiglie. La strada colpita dal franamento era privata, lunga circa 250 metri e collegava un'abitazione alla strada principale pubblica di via Gobbi.

L'abitazione a quel tempo dopo il dissesto era raggiungibile solo a piedi, per mezzo di sentieri in mezzo ai campi e per nessun mezzo di soccorso.

Essendo stata la situazione preoccupante, è stato chiesto aiuto all'Ente preposto alla Difesa del Suolo. In Fig. 4.23 si mostrano delle foto inerenti al franamento.



Fig. 4. 23 Dissesto segnalato in via Gobbi

Questa segnalazione fa riferimento alla frana numero 51.

Di questa non si hanno dati relativi ai satelliti, né dati sugli afflussi meteorici,

ma si conosce il TR che deriva dalle foto aeree, ovvero superiore a 25 anni. Questo denota una probabilità di occorrenza annuale molto bassa e proporzionalmente un livello di pericolosità anch'esso molto basso. Il tutto può comunque essere ribaltato da un evento meteorico intenso e improvviso. I dati che fanno riferimento alle altre frane presenti nel territorio del comune di Trissino sono visibili in Allegato 2.

4.2.3 Analisi degli afflussi meteorici

Per le piogge i dati che sono stati raccolti presentano un tempo di osservazione di 56 anni, dall'anno 1954 al 2010.

Dall'istogramma di Fig. 4.24 è possibile vedere che generalmente le piogge registrate dai pluviometri non presentano una variazione regolare se si adotta un confronto annuale, bensì con il progredire degli anni si sono avuti picchi di pioggia elevati o diminuzione dell'afflusso meteorico.

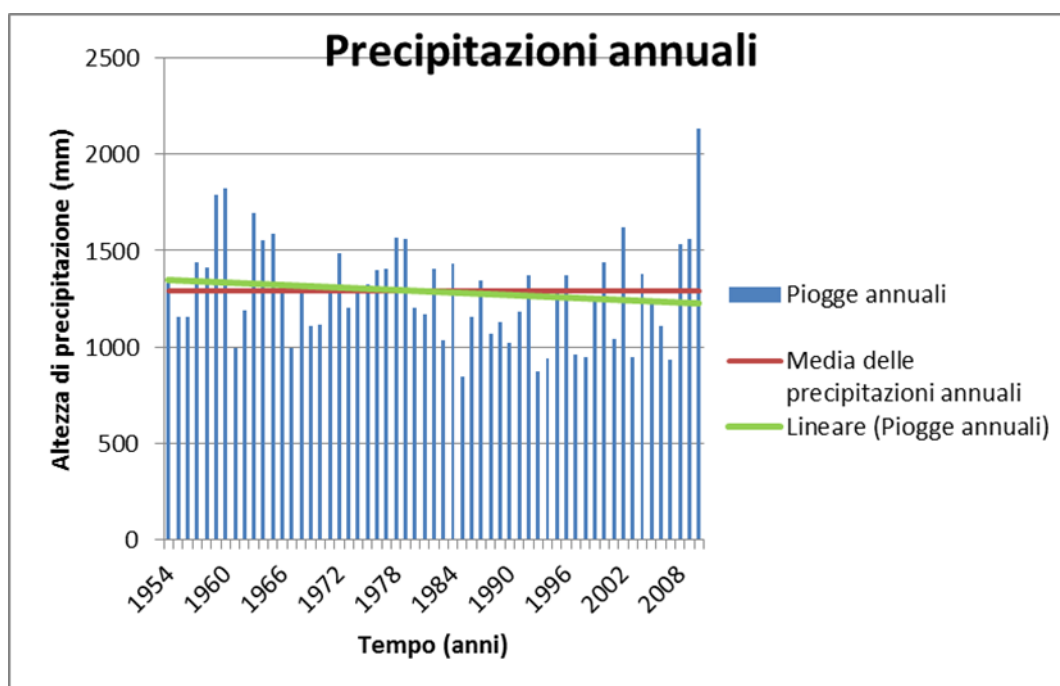


Fig. 4. 24 Precipitazioni annuali 1954-2010

Escludendo il 2010, l'anno in cui la precipitazione è stata la più abbondante è il 1960 con circa 1820 mm, anno che è stato anche utilizzato come punto chiave

per la suddivisione delle frane tra area di training e area di test nel definire la “Success rate curve” e la “Predictive rate curve” nel capitolo 4.1.4.

In questi anni la caduta di pioggia ha presentato un trend leggermente decrescente (Fig. 4.24 - linea verde), il che testimonia che prima del 2010 le piogge hanno subito un lieve calo di intensità e durata.

Si può anche percepire che i mm di pioggia caduta risultano essere in vari casi ben al di sopra della media annuale, che è intorno a 1289 mm.

É possibile osservare poi quali mesi sono più piovosi e umidi e quali invece i meno atti a subire la caduta di queste acque meteoriche attraverso la Fig. 4.25.

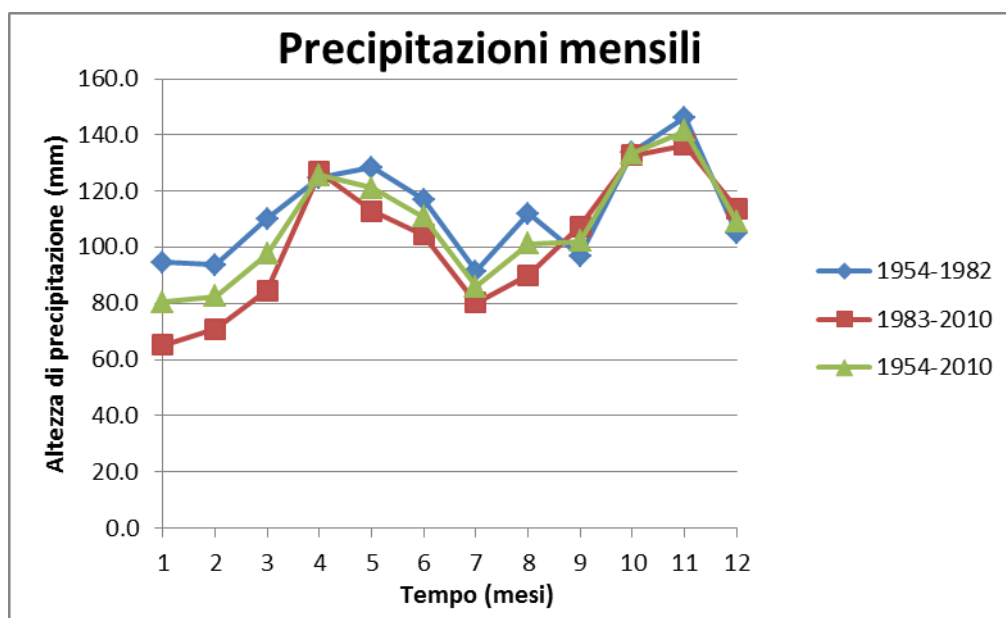


Fig. 4. 25 Precipitazioni medie mensili per periodi 1954-1982, 1983-2010, 1954-2010. In ascissa sono riportati i mesi dell'anno da 1 a 12, in ordinata l'altezza di precipitazione

Questo grafico (Fig. 4.25) presenta tre curve, classificate per periodi dal 1954 al 1982 e dal 1983 al 2010, mentre la terza curva riporta la media fra entrambe le precedenti.

Come si nota, l'andamento negli anni non è molto diverso, anzi essenzialmente simile per alcuni mesi.

L'altezza di precipitazione considerata in questo caso sarebbe la media delle precipitazioni avvenute in un determinato mese per tutti gli anni considerati. Per esempio se si considera il mese di gennaio, la pioggia caduta che è visibile nel

grafico sarebbe la media di tutte le precipitazioni che sono avvenute nei mesi di gennaio dal 1954 all'anno 2010.

Si osserva essenzialmente che i mesi più piovosi risultano essere aprile, maggio con circa 125 mm e ottobre, novembre con circa 140 mm, facendo riferimento di fatto alle stagioni più piovose, rispettivamente primavera e autunno. Nelle altre due stagioni, inverno e estate, le precipitazioni vanno a subire invece un brusco calo, considerando gennaio, febbraio e luglio con circa 70 mm.

Si può a questo punto affermare che un aumento dell'acqua meteorica comporta un aumento dell'infiltrazione nel territorio. Quando il terreno risulta essere completamente saturo d'acqua, ma l'altezza di precipitazione aumenta, da infiltrazione si passa a ruscellamento superficiale. Entrambi i fenomeni possono creare condizioni di instabilità nei versanti dell'area di Trissino.

4.2.4 Determinazione della carta di pericolosità temporale

Sulla base quindi della consultazione delle foto aeree e sullo studio dell'andamento dei PS dell'interferometria RADAR satellitare, si possono determinare anche in questo caso dei livelli di pericolosità.

Osservando i tempi di ritorno medi e le probabilità di occorrenza, alle 5 categorie visibili in Fig. 4.14 viene assegnato un indice che fa riferimento alla diversa pericolosità.

Alla classe che identifica infatti una maggiore pericolosità con tempo di ritorno minore e probabilità di occorrenza maggiore verrà assegnato il valore 1, in segno del fatto che l'evento essendo il più pericoloso è anche quello che presuppone una maggiore certezza che si verifichi un danno.

Via via le altre quattro categorie saranno contrassegnate da valori sempre minori che si avvicinano a 0 all'aumentare del tempo di ritorno e al diminuire della probabilità di occorrenza annuale, identificando una pericolosità decrescente, da molto alta a molto bassa (Tab. 4.11). Il valore 0 identificherà inoltre l'area

comunale che non è interessata da fenomeni franosi e di fatto presuppone una pericolosità nulla.

La carta di pericolosità temporale (Fig. 4.26) riporta in modo continuo dal rosso al verde le zone aggravate rispettivamente da un'alta pericolosità e da una bassa pericolosità al dissesto.

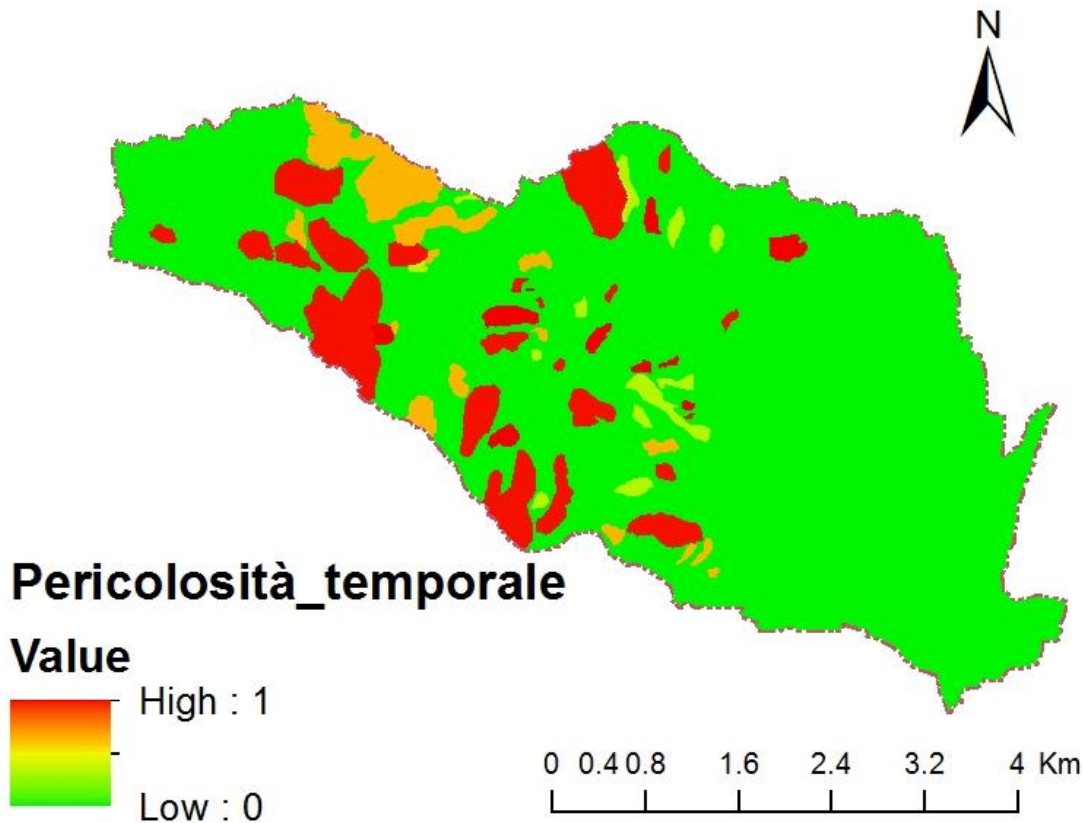


Fig. 4. 26 Carta della pericolosità temporale

Dove le frane sono localizzate, si ha una pericolosità associata a una frequenza di accadimento molto alta. Ciò si differenzia invece dal resto dell'area del comune in studio, dove la pericolosità che un fenomeno gravitativo si verifichi è molto bassa o addirittura nulla. Questa pericolosità temporale identificata con un valore 0 rappresenta una probabilità nulla che una frana venga innescata e incide notevolmente sulla determinazione della carta di pericolosità totale.

4.3 PERICOLOSITÀ TOTALE

Il prodotto fra gli indici inerenti alla pericolosità spaziale e alla pericolosità temporale andrà a costituire i valori di pericolosità totale dell'evento, essenziale per costituire la carta di rischio.

In Tab. 4.11 si riportano i valori riferiti agli indici risultanti dall'analisi eseguita nel comune.

Pericolosità	Pericolosità spaziale	Pericolosità spaziale normalizzata	TR (anni)	Pericolosità temporale	Pericolosità totale
Molto alta	3.06	1	<5	1	1
Alta	1.16	0.38	5,10	0.80	0.30
Moderata	0.74	0.24	10,15	0.60	0.14
Bassa	0.13	0.04	15,25	0.40	0.02
Molto bassa	0	0	>25	0.20	0

Tab. 4. 11 Valori degli indici riferiti alla pericolosità spaziale, temporale e totale

I valori della pericolosità spaziale sono stati normalizzati a 1 secondo la definizione, i valori della pericolosità temporale fanno riferimento ai tempi di ritorno e infine i valori della pericolosità totale sono dati dal prodotto fra i valori precedenti. Come si può notare, gli indici riferiti alla suscettibilità e alla pericolosità totale sono molto simili e le carte risultanti hanno anch'esse colorazione simile mantenendo una distribuzione continua dei dati.

La carta di pericolosità totale (Fig. 4.27) evidenzia che le zone soggette a maggiore pericolosità si localizzano nella parte centro-occidentale del comune in studio dove sono presenti le frane, mentre gli indici che presentano bassi valori corrispondono alle zone dove non si evidenziano dissesti.

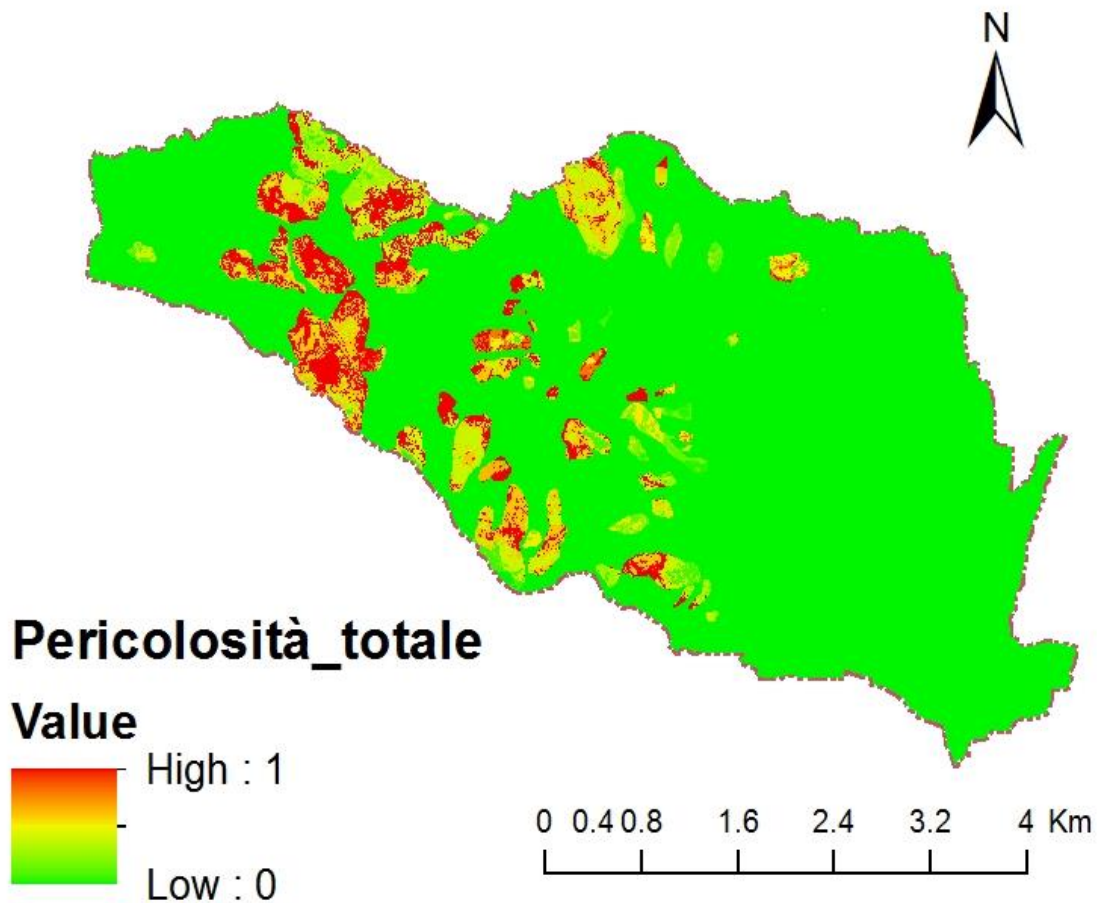


Fig. 4. 27 Carta della pericolosità totale

Dalla suddetta carta si potrà determinare il rischio a cui le strade presenti sono soggette, in riferimento alle diverse colorazioni che evidenziano diverse classi di pericolosità. Le strade che saranno localizzate nella zona rossa saranno più a rischio rispetto a quelle presenti in una zona verde.

4.4. VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA FRANA PER LA RETE VIARIA

Per valutare il rischio da frana per la rete viaria nell'area in studio del comune di Trissino è necessario partire dalla carta di pericolosità totale, che dipende sia dai fattori predisponenti, sia dalla frequenza di accadimento dei fenomeni franosi che si riattivano nell'area.

Poiché in questo studio il principale elemento a rischio è costituito dalle strade, esse sono state descritte con una vulnerabilità pari a 1, ipotizzando una compromissione totale dell'infrastruttura colpita da fenomeni di instabilità.

Dal prodotto fra questo valore appena citato e i valori di pericolosità totale, si potrà determinare la carta di rischio specifico.

Tale rischio non è da dirsi totale, in quanto la quantificazione del valore monetario degli elementi a rischio non è data.

In Fig. 4.28 e Fig. 4.29 si riportano degli esempi inerenti alla carta di rischio specifico (Fig. 4.30) sovrapposta a quella di pericolosità totale (Fig. 4.27), per far notare che ogni pixel della strada fa riferimento a un pixel della carta di pericolosità.

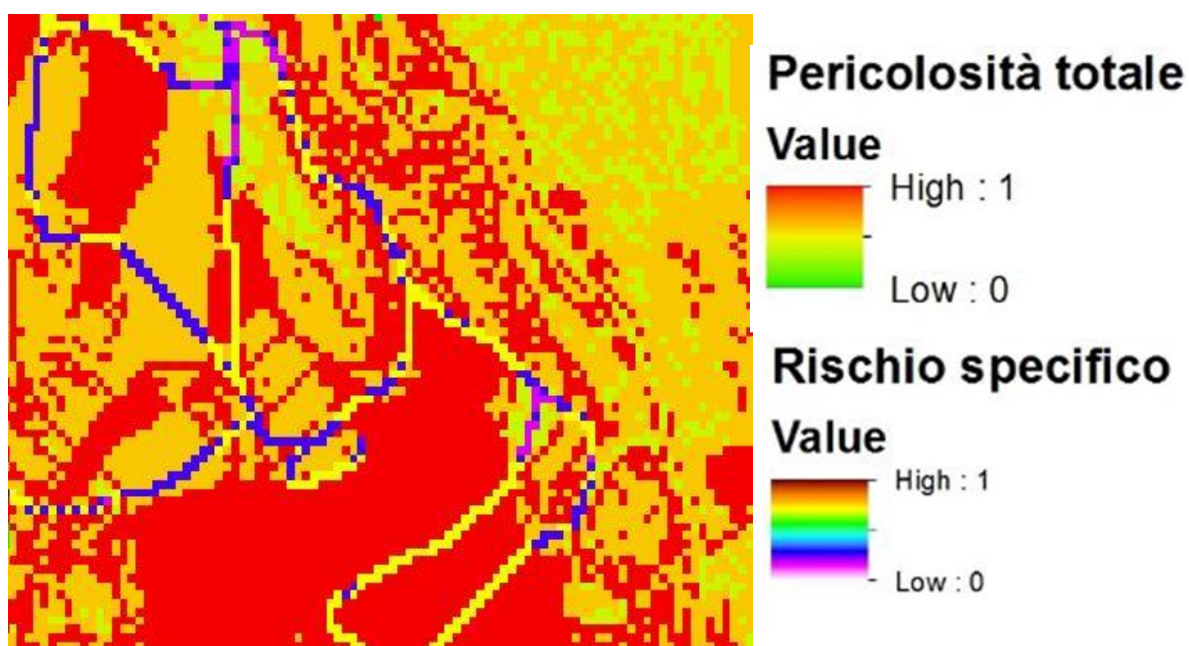


Fig. 4. 28 Esempio 1 che evidenzia i pixel della carta di rischio specifico sovrapposto alla carta di pericolosità totale

Osservando la Fig. 4.28, se un pixel rappresentante la strada si trova in un pixel rosso della carta di pericolosità, ciò vuol dire che il pixel di questa strada si trova in un'area in cui la pericolosità è molto alta e sarà più soggetto a subire un danno quando il dissesto si verificherà. I pixel della strada combaciano infatti con i pixel della carta in secondo piano.

I pixel marroni identificano che la strada è soggetta a un elevato rischio specifico, trovandosi in una zona a pericolosità molto alta. Allo stesso modo si avrà un rischio basso quando la strada si troverà nell'area verde della carta di pericolosità.

Ovviamente i pixel di una singola strada non potranno mai trovarsi in un'unica zona ma la rete viaria, poiché si snoda anche per lunghe distanze, potrà avere dei tratti in cui il rischio è praticamente nullo e tratti in cui invece il rischio è molto elevato e può venir distrutta da un momento all'altro provocando ingenti danni (Fig. 4.29).

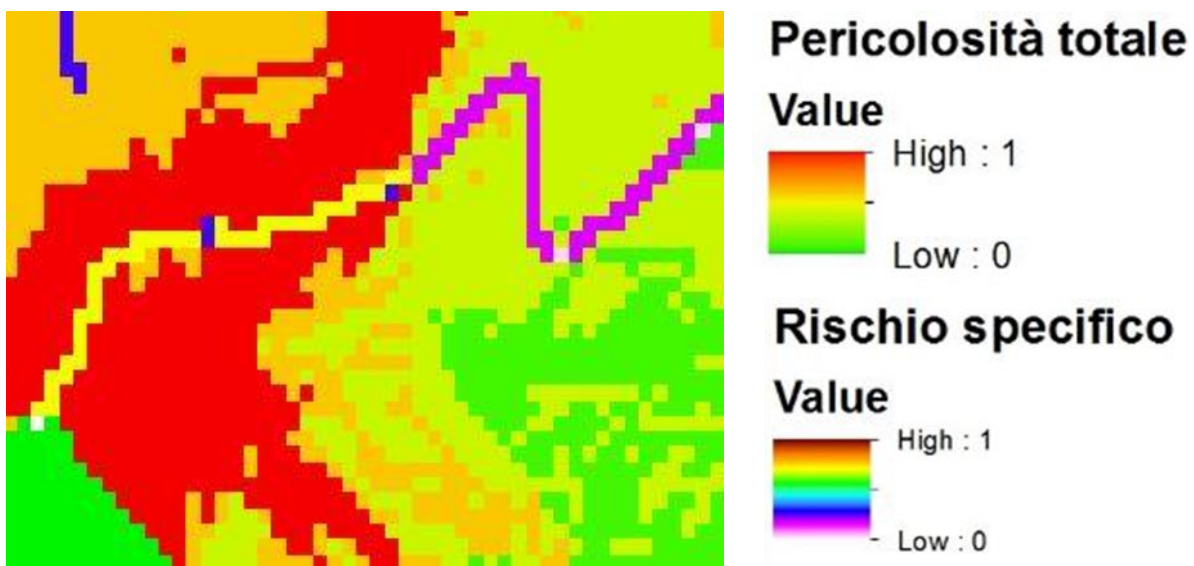


Fig. 4. 29 Esempio 2 che evidenzia i pixel della carta di rischio specifico sommata alla carta di pericolosità totale

La valutazione del rischio da frana per la rete viaria del comune di Trissino dà quindi un'idea su quanto le strade presenti sono soggette a subire danni in seguito a eventuali franamenti che possono colpire il territorio del comune.

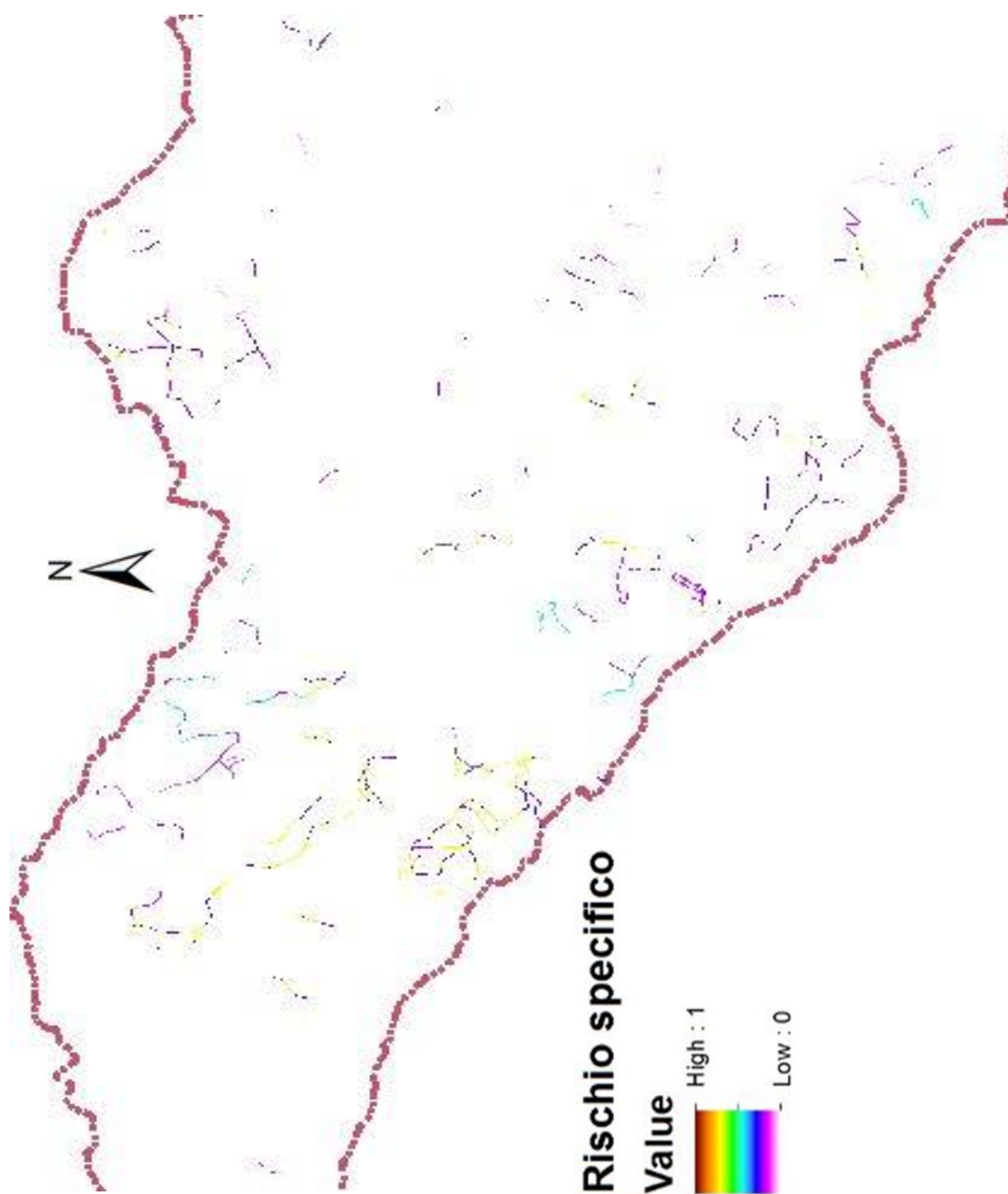


Fig. 4. 30 Carta di rischio specifico associata alle strade corrispondenti solo alle zone in frana

La carta definitiva del rischio da frana (Fig. 4.30) per la rete viaria dell'area in studio del comune di Trissino identifica le strade a diversi livelli di rischio a cui sono soggette. Esse presentano un rischio maggiore se localizzate in zone che presentano un'elevata probabilità che si riattivi una frana, poiché possono venir distrutte e arrecare danni ingenti alla viabilità e alla popolazione.

5. CONCLUSIONI

Lo studio eseguito ha permesso di comprendere efficacemente i fenomeni franosi che si sono generati nell'area del comune di Trissino, in seguito alle numerose e intense precipitazioni avvenute tra l'anno 1954 e l'anno 2010, che hanno causato numerosi disagi a gran parte della popolazione del comune, in seguito ai danni alla rete viaria.

Lo scopo del lavoro è stato quello di capire come le frane potessero essere previste su base sia spaziale sia temporale, in modo tale da riuscire a intervenire accuratamente e preventivamente con sistemazioni che riuscirebbero a diminuire la pericolosità. Il modello previsionale è stato eseguito a larga scala ed è stato svolto su tutto il territorio.

La previsione spaziale è stata realizzata tramite un'analisi statistica bivariata, chiamata "Frequency Ratio", che ha dimostrato come scivolamenti roto-traslazionali e colamenti possono essere causati da diversi fattori predisponenti come litologia, elevazione, pendenza, curvatura, uso suolo, distanza dai fiumi e dalle strade, che determinano aree a pericolosità più elevata e quindi più propense a causare pericolo per la popolazione che ci risiede e aree in cui la pericolosità è molto bassa e quindi con minor possibilità che si verifichi una frana. Per verificare che effettivamente questo modello identifica nel modo migliore possibile le frane presenti, è stato effettuato un test temporale.

Per la pericolosità temporale, sono stati presi in considerazione, oltre agli afflussi meteorici, anche la consultazione delle foto aeree e l'interferometria SAR satellitare, che hanno portato a definire la frequenza di accadimento dei fenomeni franosi.

Sono stati osservati anche gli aspetti che riguardano la vulnerabilità, considerando le strade con un valore 1 per identificare che, poiché esse sono state ritagliate con i poligoni delle aree franose, nel caso si verificasse un movimento gravitativo, la perdita sarebbe totale perché effettivamente la strada si ritrova delimitata tutta all'interno della frana.

Attraverso quindi pericolosità e vulnerabilità, si è arrivati a determinare il rischio da frana per la rete viaria del comune di Trissino. Esso dimostra come le strade sono a rischio sulla base della categoria di pericolosità che attraversano. Cercare di intervenire in maniera strutturale sui fenomeni franosi, quindi, è una scelta obbligata se si vogliono contenere i possibili danni economici, scelta che implica un'approfondita conoscenza dei fenomeni stessi e una costante manutenzione delle opere che si vanno a realizzare.

6. BIBLIOGRAFIA

- Amadesi E. Manuale di fotointerpretazione con elementi di fotogrammetria. Pitagora, Bologna, 192 pp. ISBN: 8837105932
- Barbieri G., De Zanche V., Medizza F. & Sedeo R. (1982) Considerazioni sul vulcanismo terziario del Veneto occidentale e del Trentino meridionale. *Rend. Soc. Geol. It.*: 267-270
- Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E., 2002. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40 (11), 2375-2383. doi: 10.1109/TGRS.2002.803792
- Bosellini A. (2004) The western passive margin of Adria and its carbonate platforms. Special Volume of the Italian Geological Society for the IGC 32 Florence-2004: 79-92.
- Chung C.F., Fabbri A.G. (2003) Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards*, 30 (3), 451-472.
- Cruden D. M., Varnes D. J. (1996) Landslide types and processes. *Landslides: Investigation and mitigation - Chapter 3*, 247, 36-75.
- Floris M., Iafelice M., Squarzoni C., Zorzi L., De Agostini A., Genevois R. (2011) Using online databases for landslide susceptibility assessment: an example from the Veneto Region (northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1915-1925.
- Floris M., D'Alpaos A., De Agostini A., Tessari G., Stevan G., Genevois R. (2011) Variation in the occurrence of rainfall events triggering landslides. *Proceedings of the Second World Landslide Forum*.
- Iadanza C., Trigila A. (2012) The national landslide inventory, landslide events, impacts and mitigation measures in Italy. In: E. Eberhardt, Froese C., Turner A.K., Leroueil S. (eds) *Landslides and Engineered Slopes. Protecting Society through Improved Understanding*. Vol. 1, pp. 273-278.

- Lee S., Min K. (2001) Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Springer-Verlag.
- Romeo R. W., Floris M., Veneri F. (2006) Area-scale landslide hazard and risk assessment. *Environmental Geology*, 51, DOI 10.1007/s00254-006-0294-1.
- Salbego G., Floris M., Busnardo E., Toaldo M., Genevois R. (2015) Detailed and large-scale cost/benefit analyses of landslide prevention vs. post-event actions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, 2461-2472.
- Van Asch T., Corominas J., Greiving S., Malet J. P., Sterlacchini S. (2014) *Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance*. Springer Science+Business Media Dordrecht, DOI 10.1007/978-94-007-6769-0.
- Archivio IFFI.
http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/IFFI__Inventario_dei_fenomeni_franosi_in_Italia
- Arpa (Agenzia Regionale per la protezione dell'Ambiente)
<http://www.arpa.veneto.it/>. Precipitazioni Trissino dal 1954 al 2010
- Dati di altimetria e cartografia
<http://www.idt.regione.veneto.it>
- Dati di interferometria RADAR satellitare
<http://www.minambiente.it>
<http://www.treuropa.com>
- PAT (Piano Assetto Territoriale)
<http://www.comune.trissino.vi.it/web/trissino/area-istituzionale/>
[/amministrazione-trasparente](http://www.comune.trissino.vi.it/web/trissino/area-istituzionale/)

ALLEGATI

Allegato 1

Tabelle rappresentanti i valori della % di area considerata franosa e della % di area in frana per i buffer utilizzati per la costruzione delle Success rate curve

BUFFER 50 PUNTI	
% Area considerata franosa	% Area in frana
0.096816668	0.30862
0.194114415	0.49665
0.292115541	0.6535
0.389580868	0.78783
0.487936534	0.90264
0.585522701	0.97409
0.684729946	0.99899
0.783855111	0.99934
0.882115017	1
1	1

BUFFER 10 PUNTI	
%Area considerata franosa	% Area in frana
0.09433717	0.33543
0.1887359	0.56784
0.28315971	0.70854
0.37921942	0.79648
0.47833889	0.9196
0.57405659	0.95854
0.6766656	1
0.7945996	1
0.89959462	1
1	1

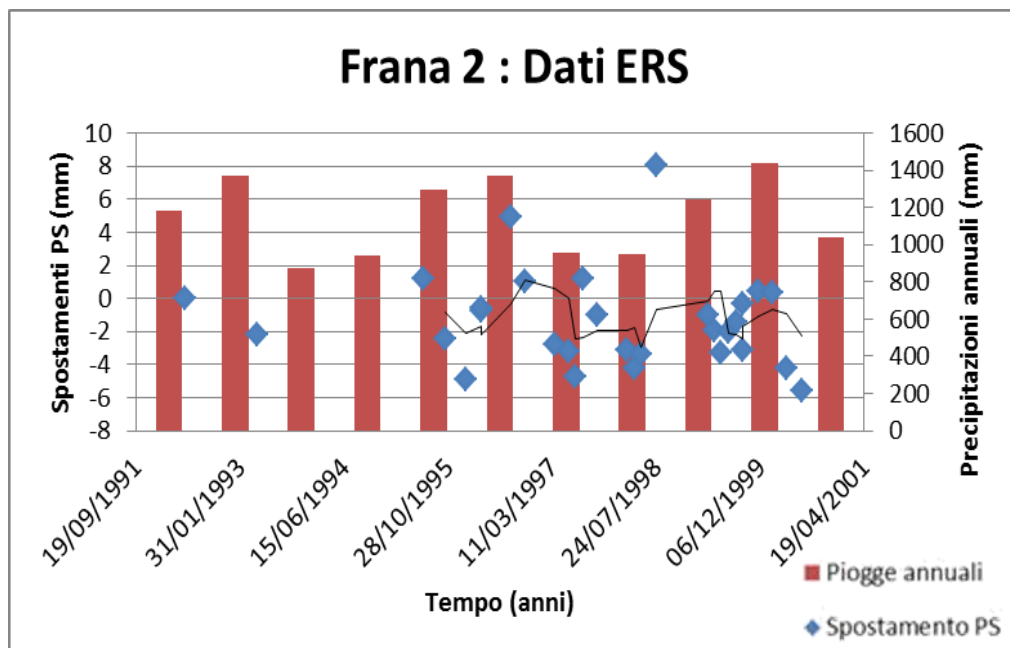
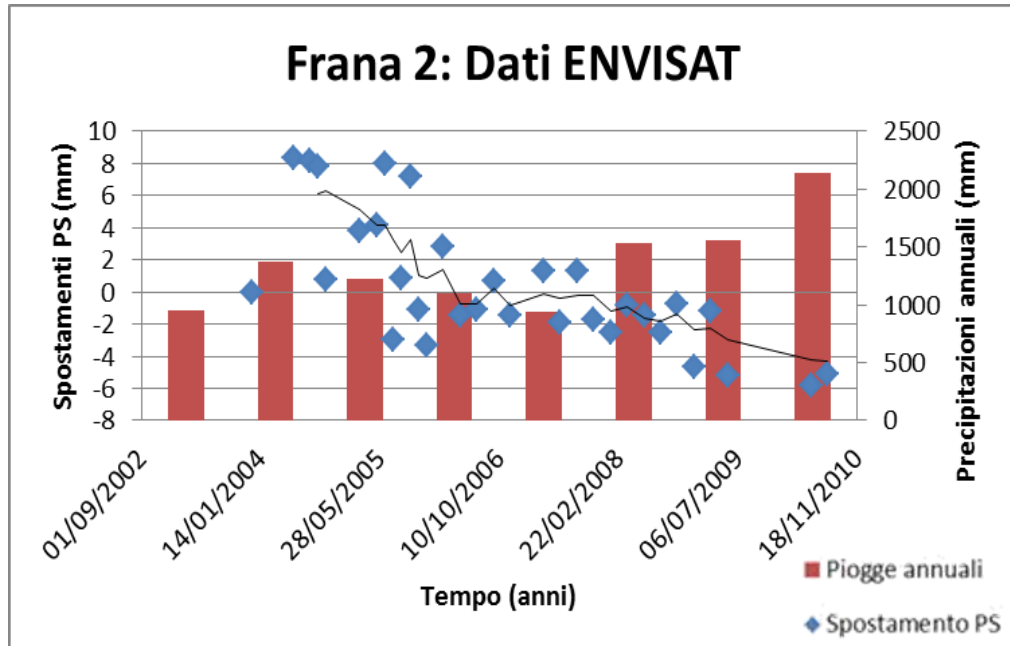
BUFFER 70 PUNTI	
% Area considerata franosa	% Area in frana
0.095935449	0.3002
0.194270595	0.48792
0.291407602	0.64227
0.388597049	0.77902
0.486648335	0.89669
0.584316582	0.97521
0.681848029	0.99812
0.78444905	0.99886
0.884637834	1
1	1

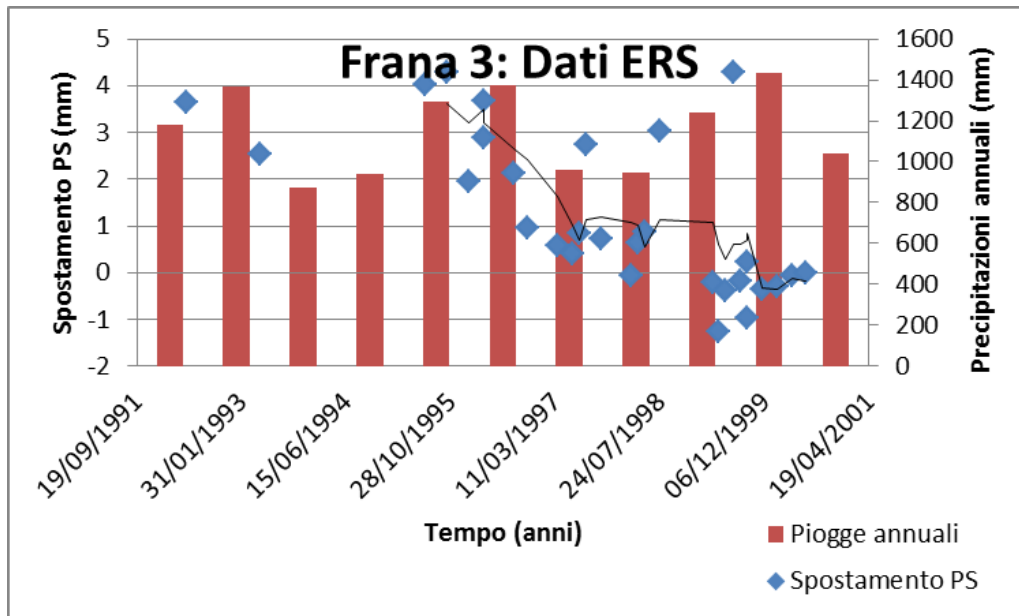
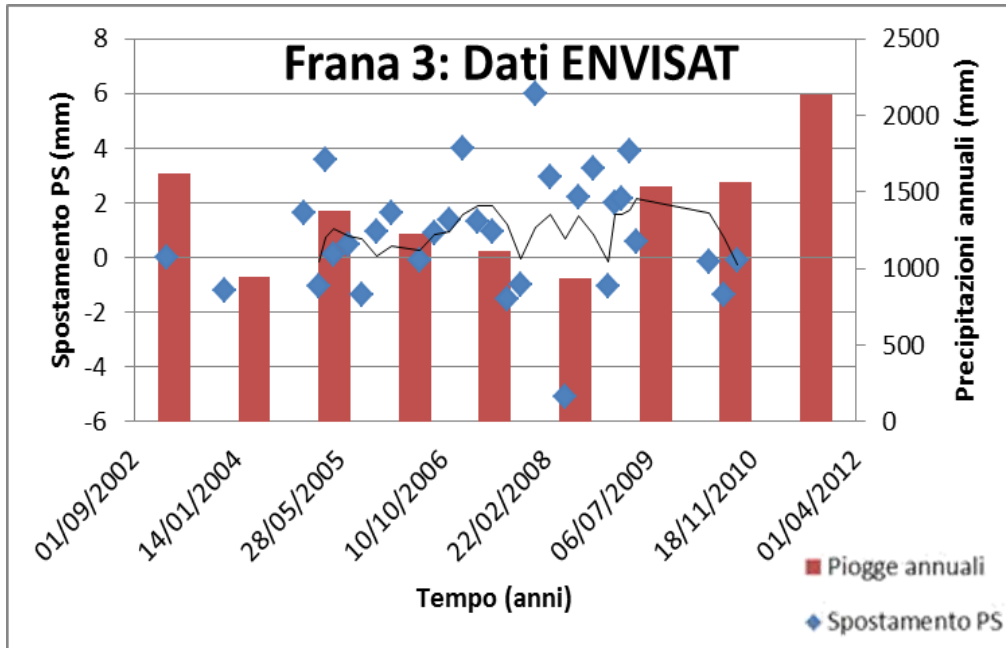
BUFFER 50 POLIGONI	
%Area considerata franosa	% Area in frana
0.092745015	0.21256
0.189792405	0.40579
0.284786648	0.57132
0.386331354	0.72564
0.484342047	0.84893
0.581142056	0.95504
0.679142489	0.99363
0.795425164	0.99881
0.899151837	0.9996
1	1

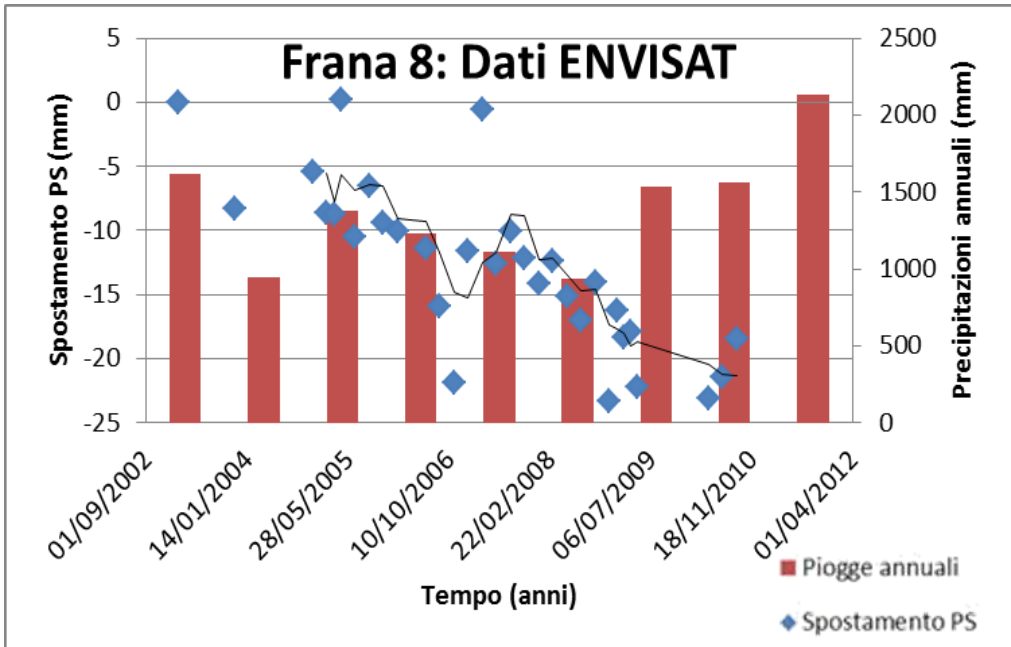
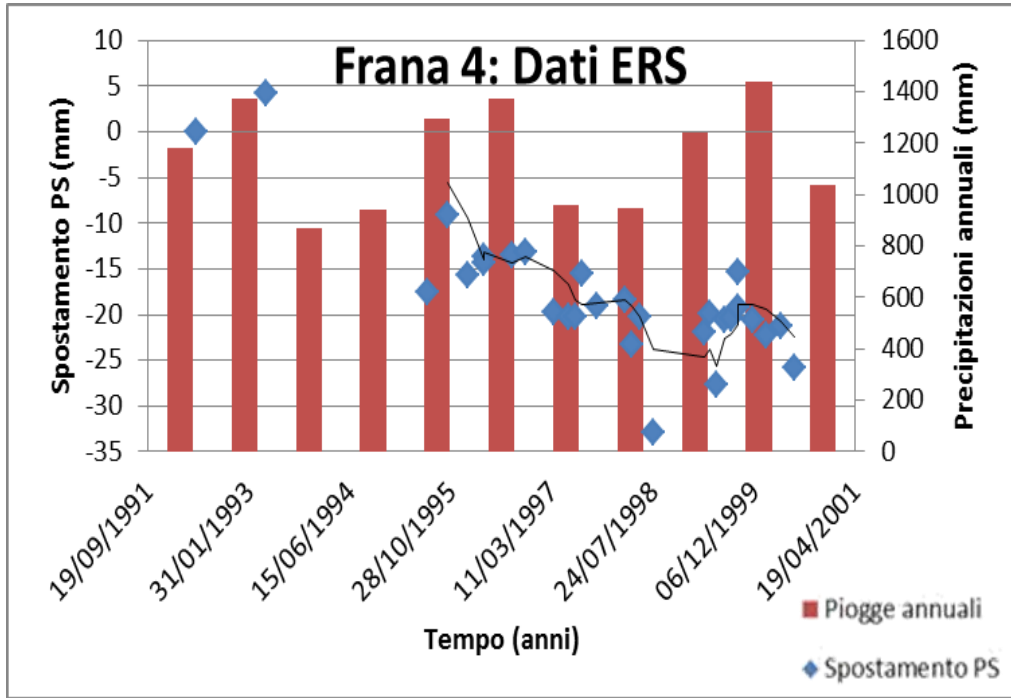
BUFFER 70 RITAGLIO	
% Area considerata franosa	% Area in frana
0.093967811	0.30372
0.18948602	0.49552
0.289862904	0.64689
0.386923531	0.75569
0.485126437	0.85901
0.582183645	0.94059
0.679289872	0.98664
0.780258415	1
0.886237252	1
1	1

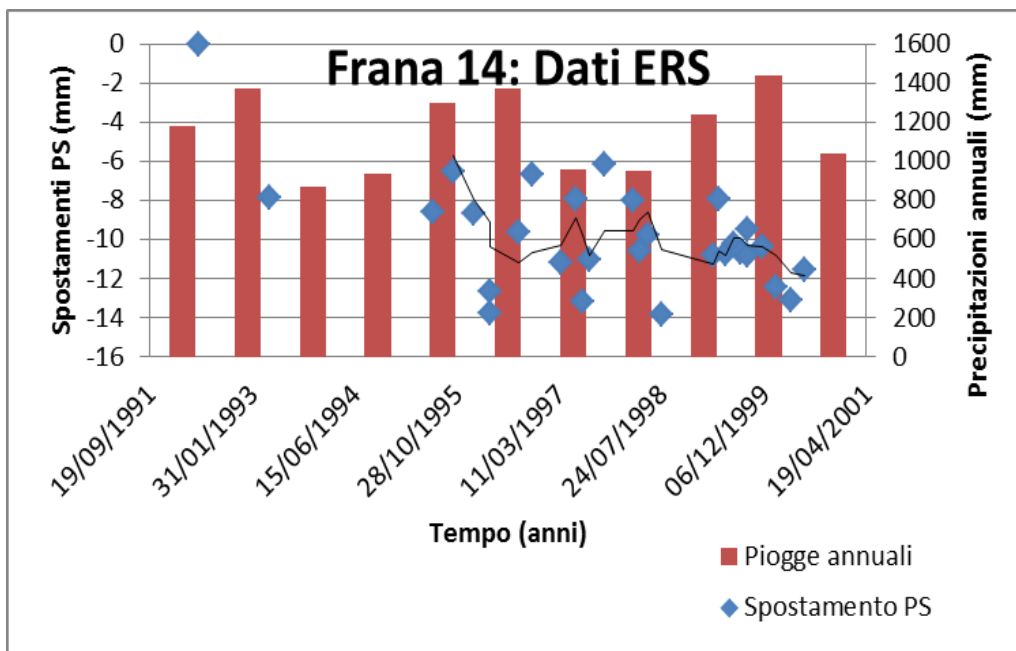
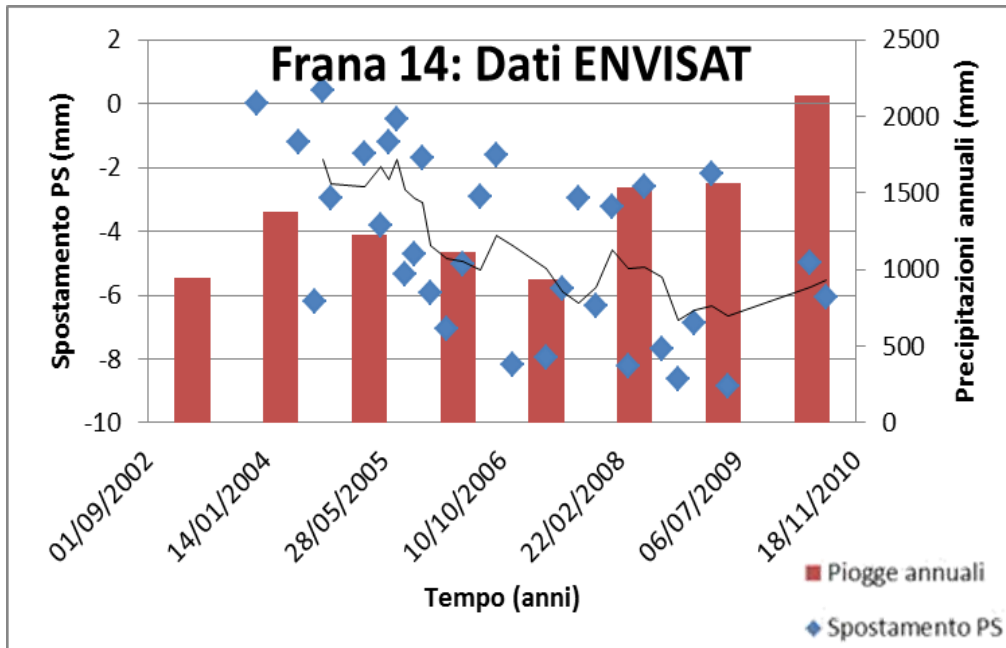
Allegato 2

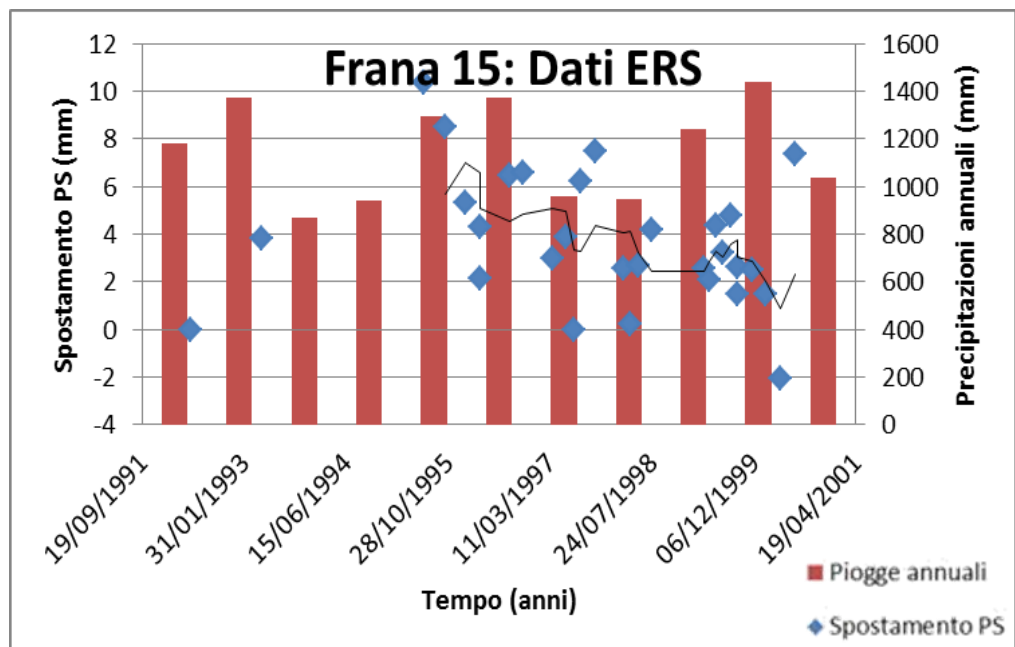
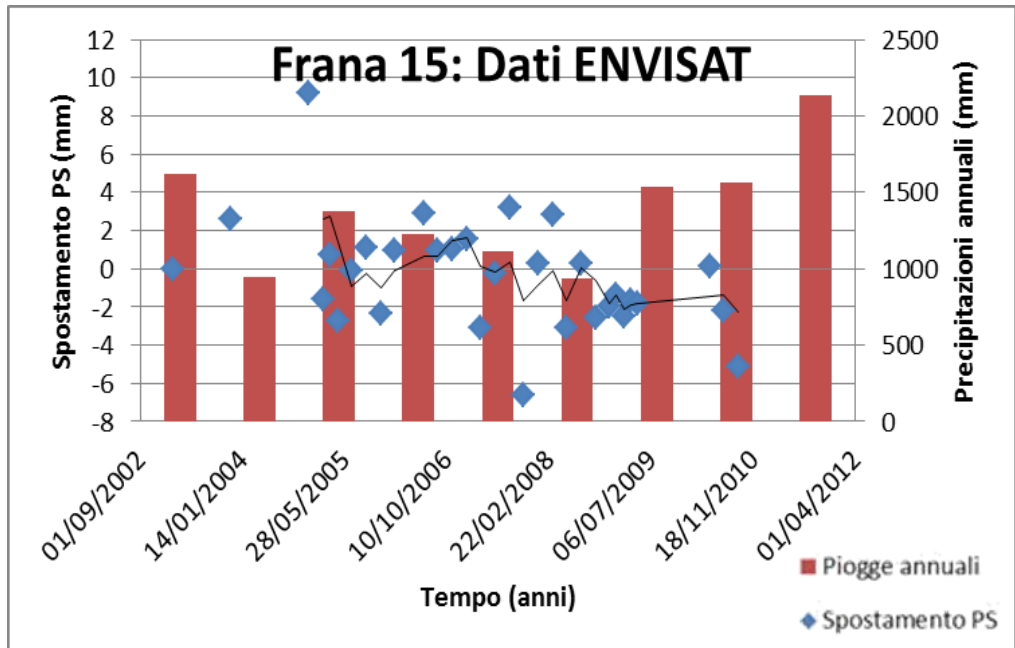
Grafici a dispersione relativi allo spostamento dei PS per le frane presenti nel territorio. Il movimento dei PS per ciascuna frana viene descritto o dal satellite ENVISAT o dal satellite ERS o da entrambi.

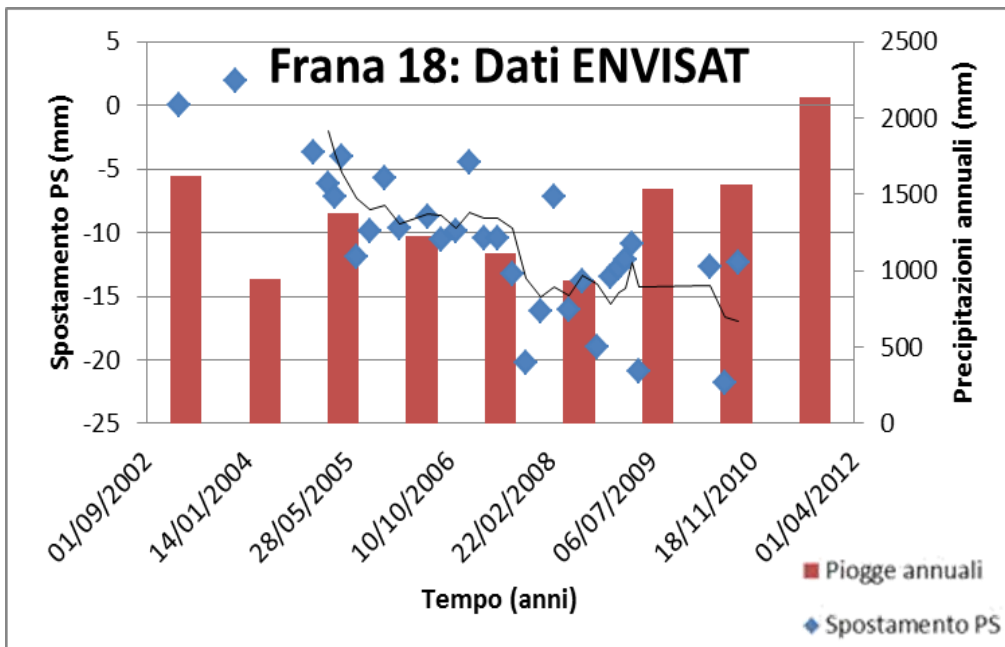
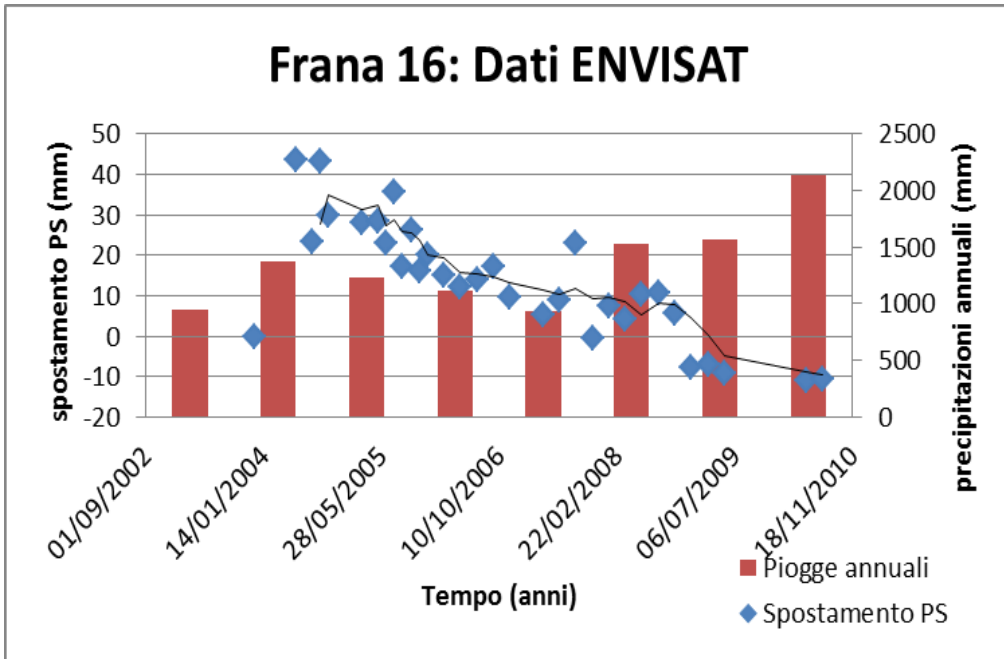


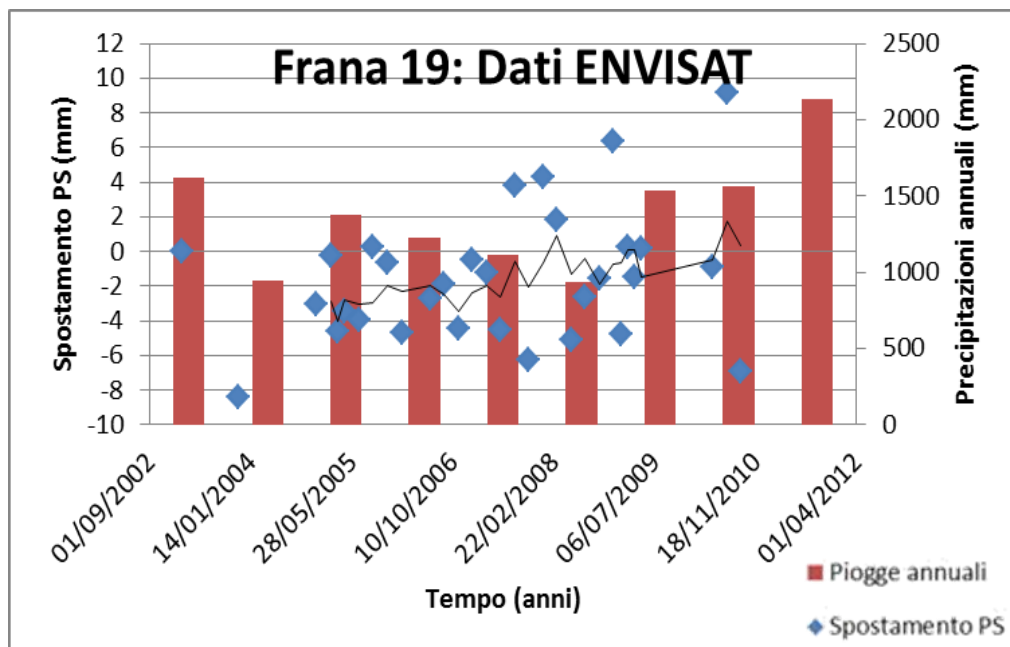
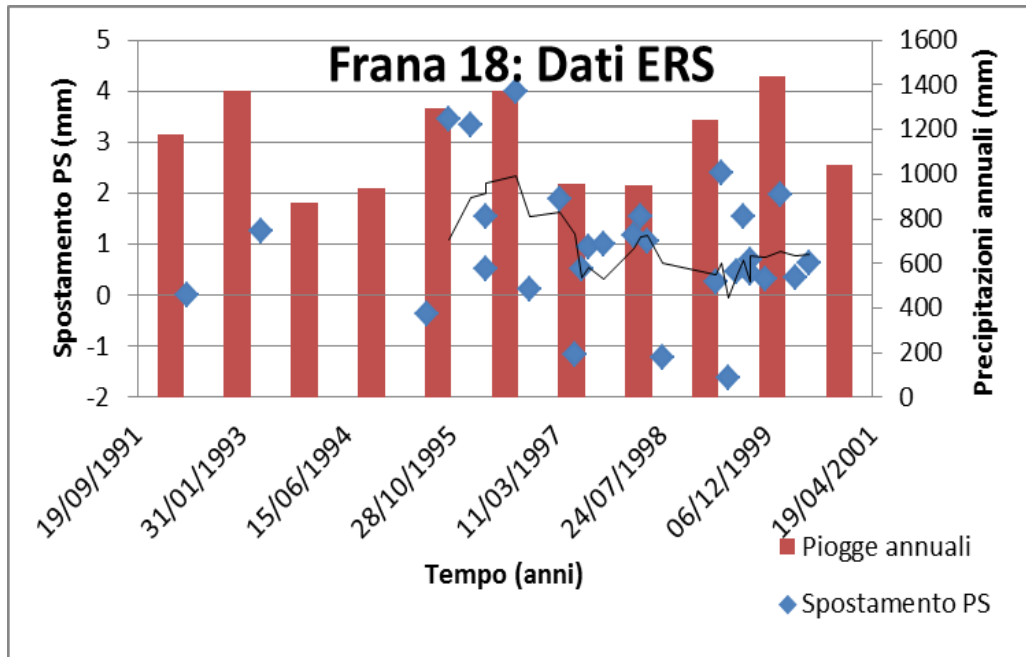


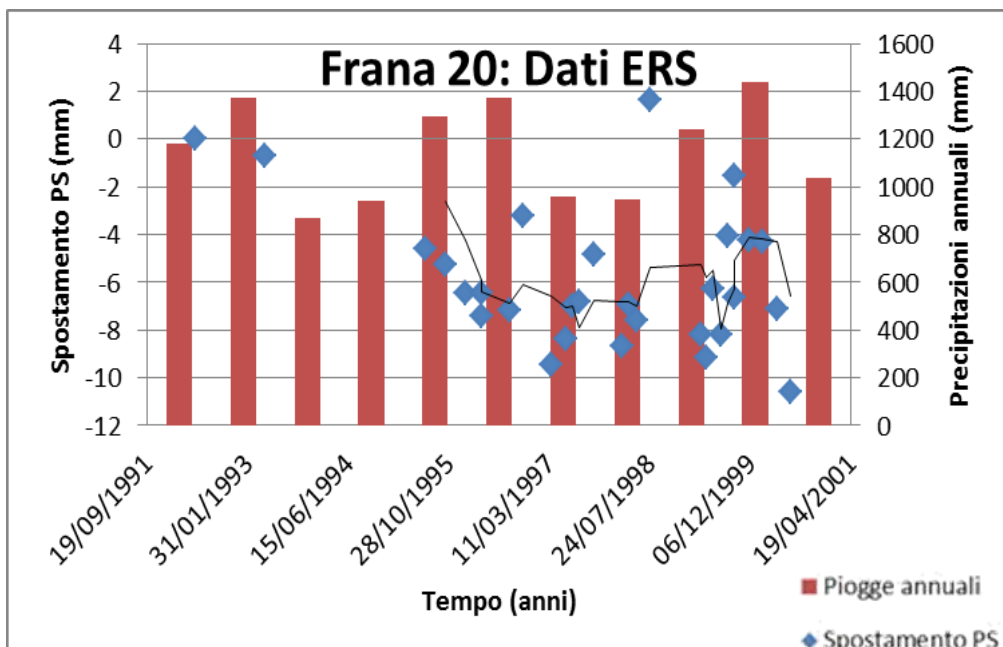
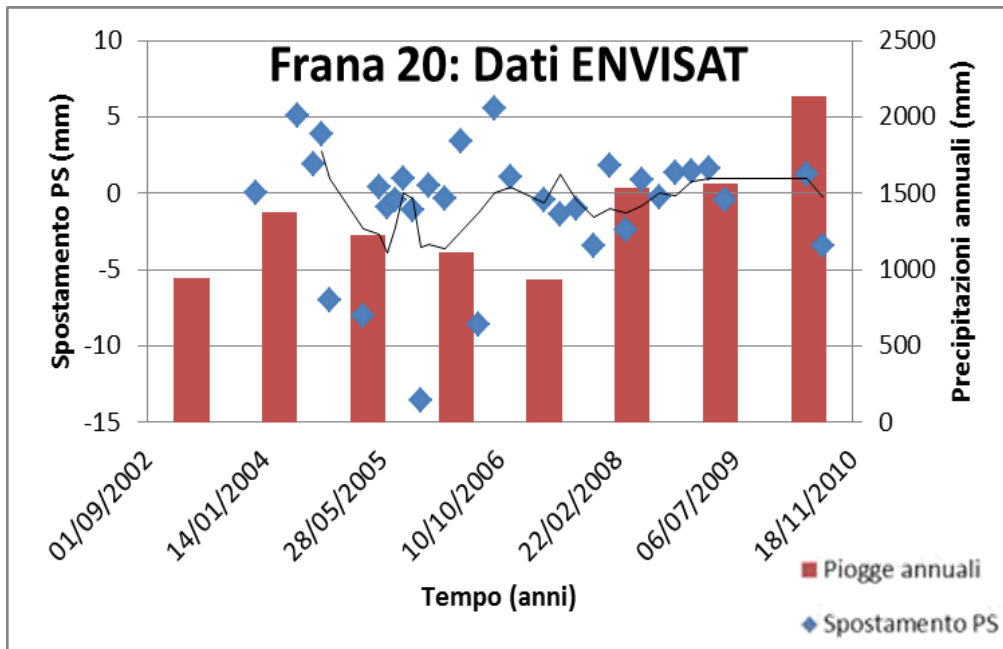


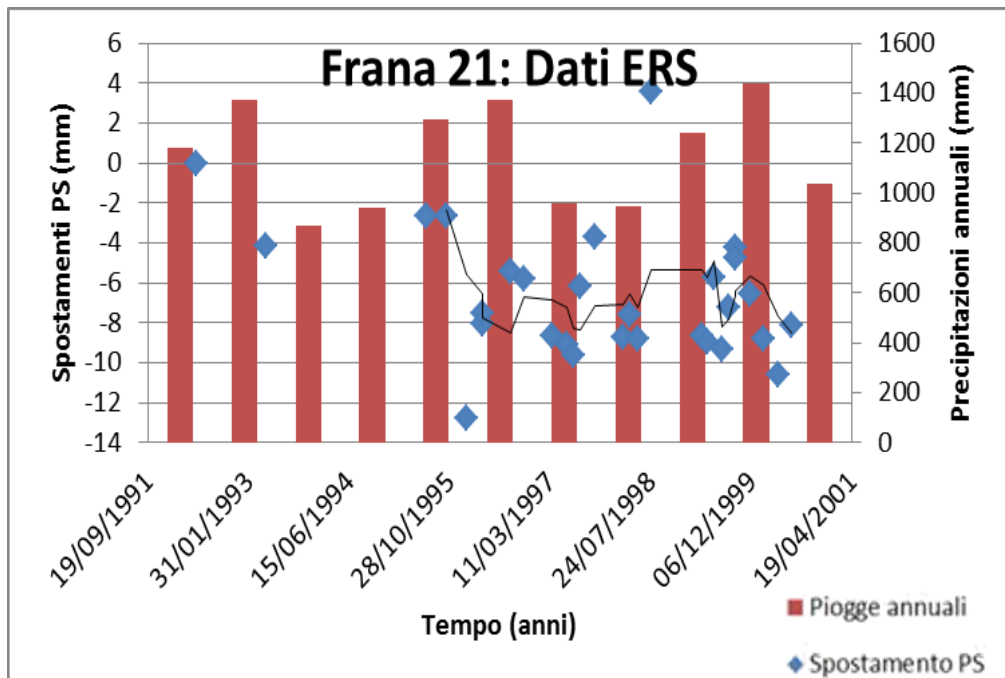
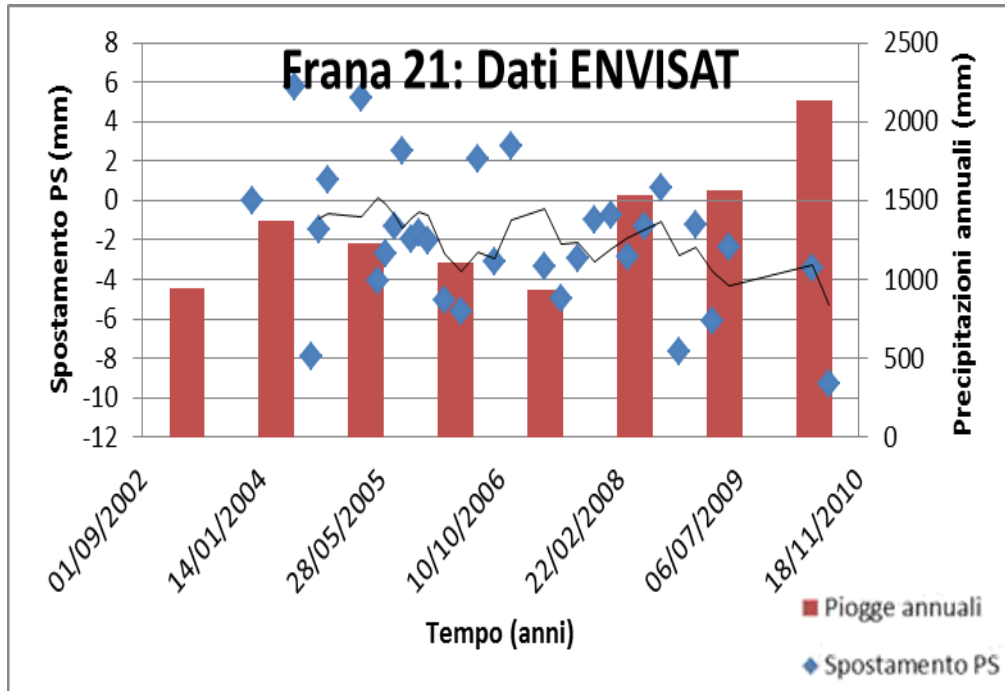


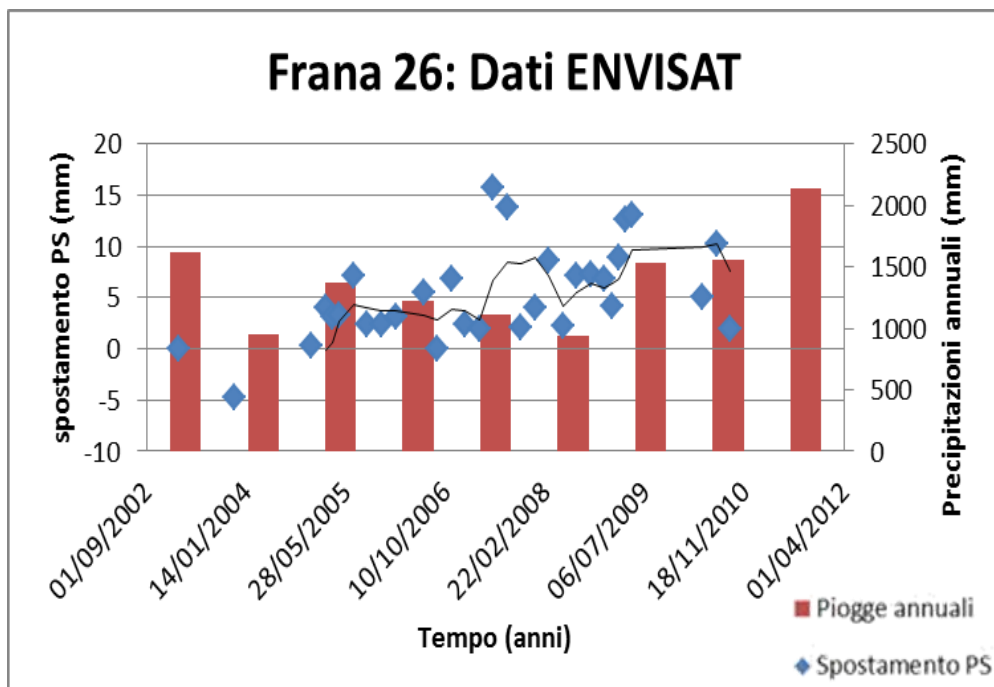
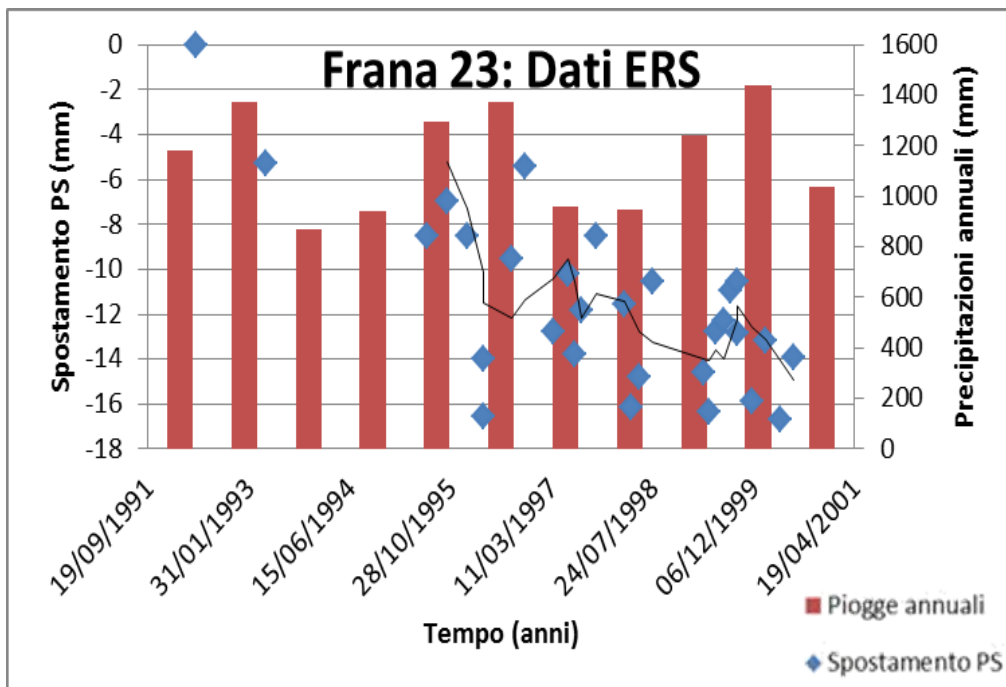


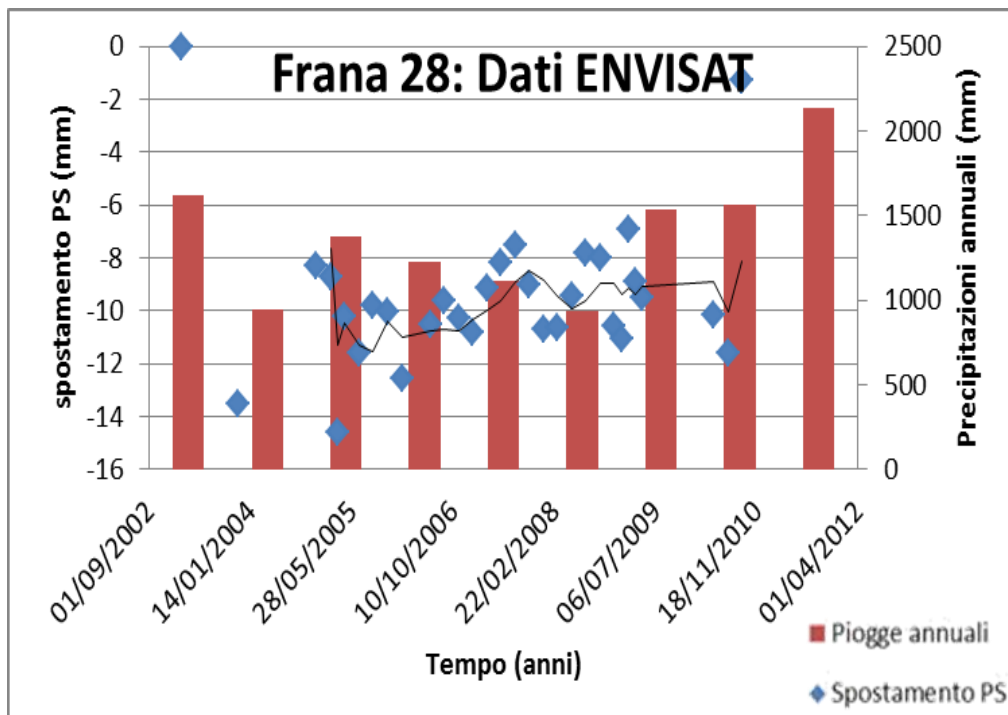
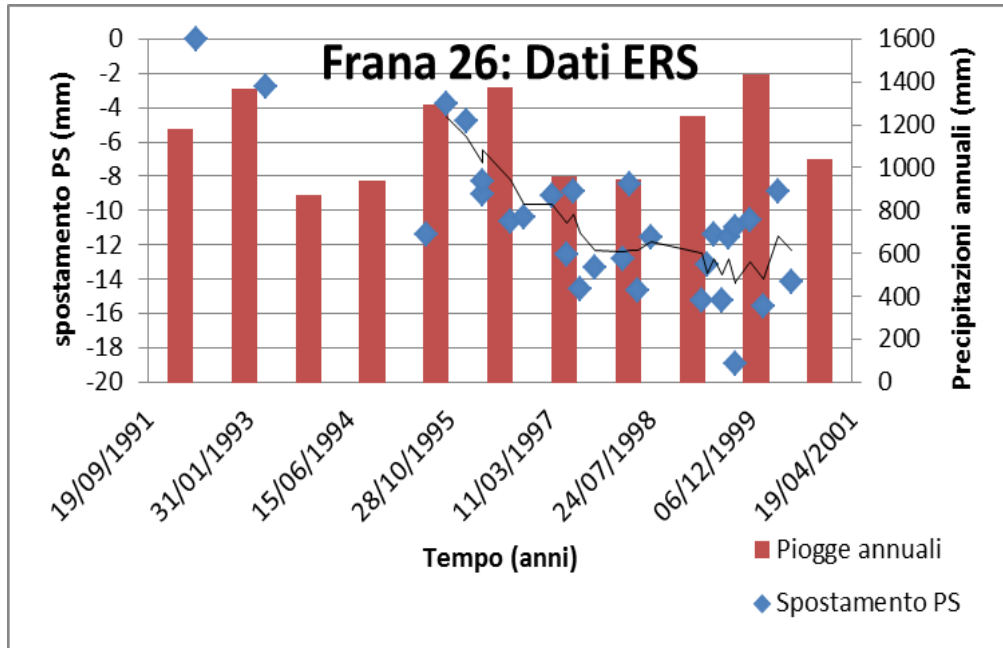


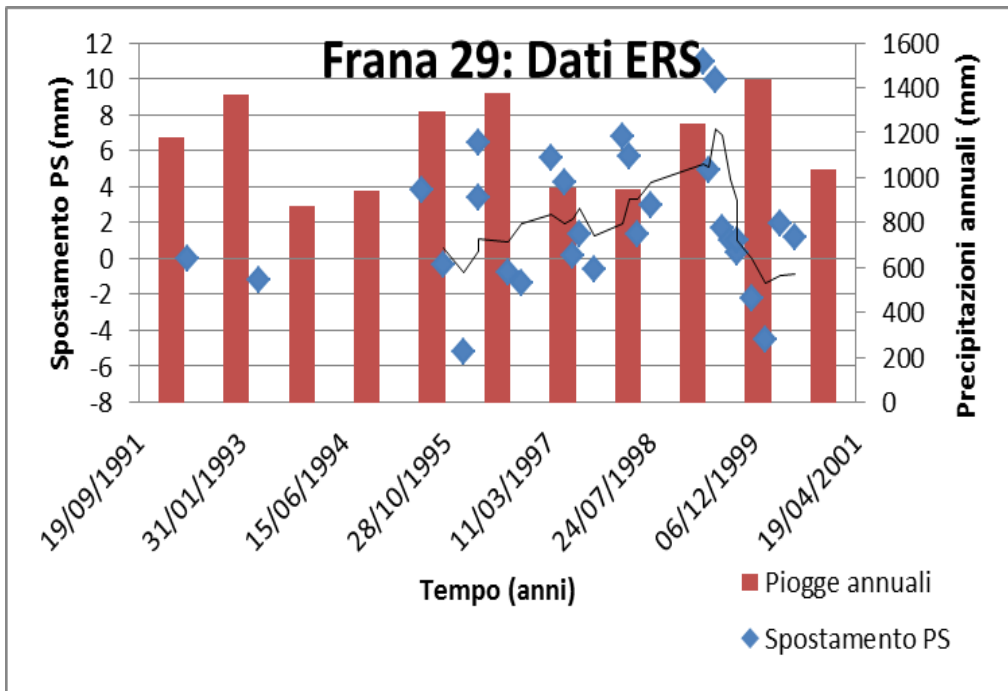
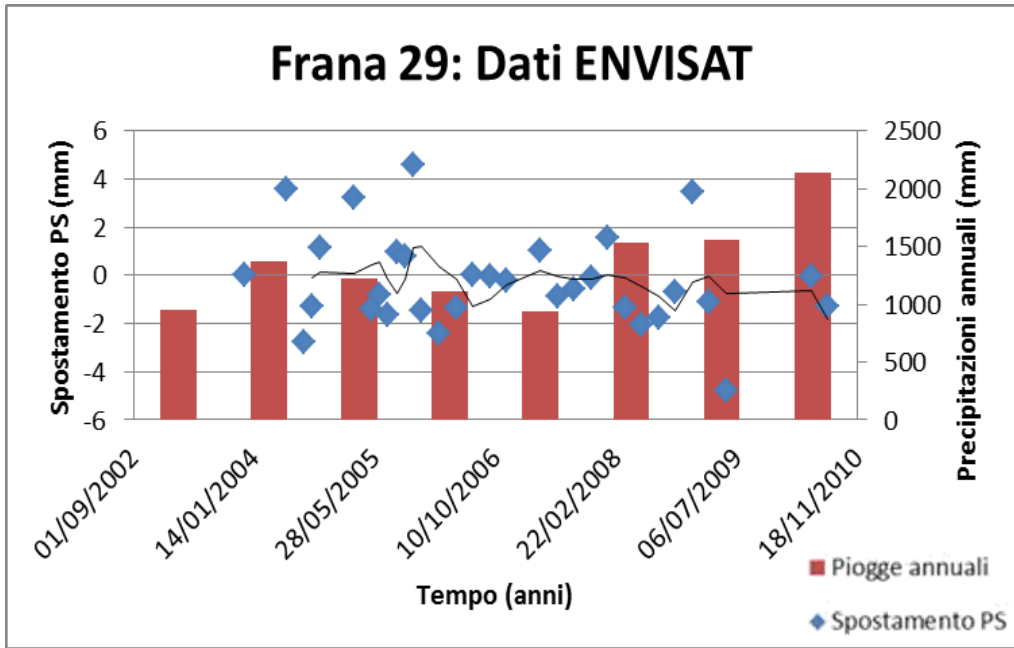


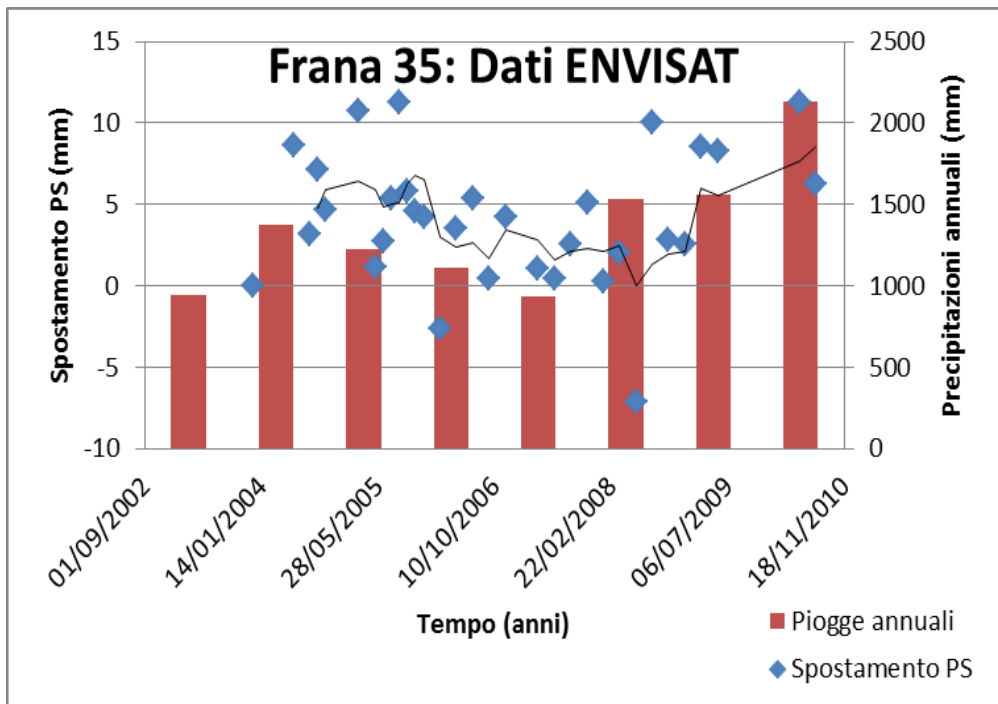
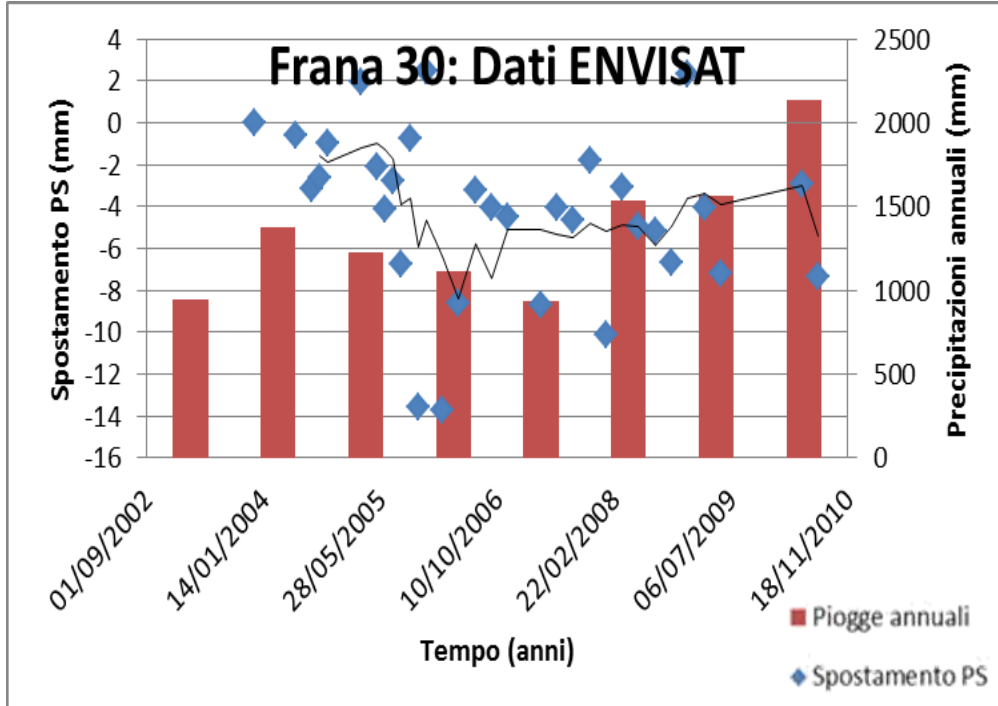


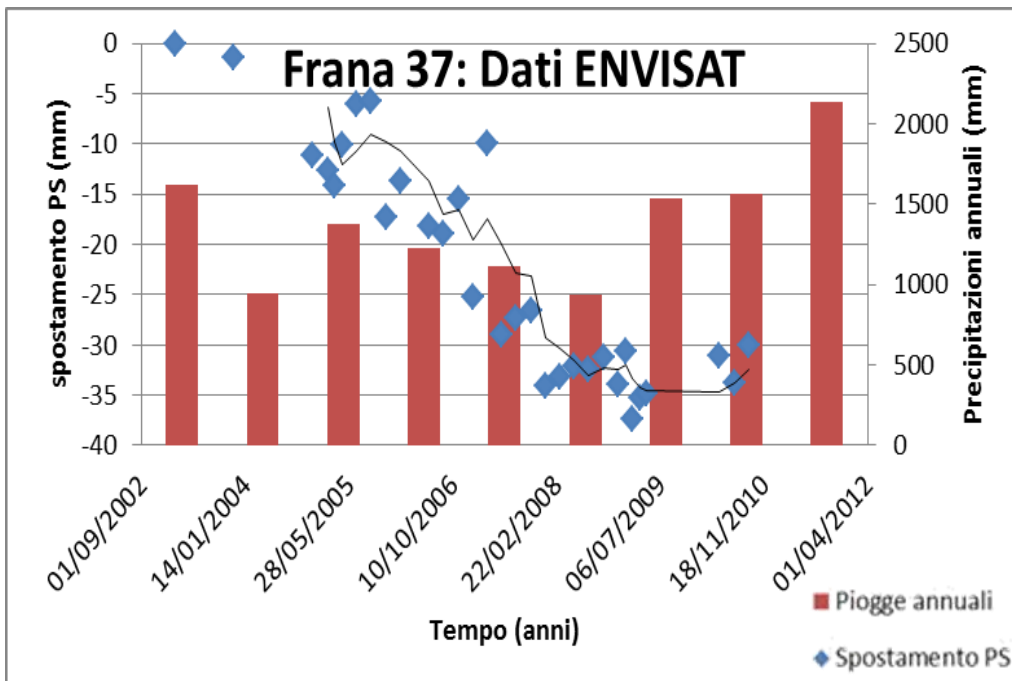
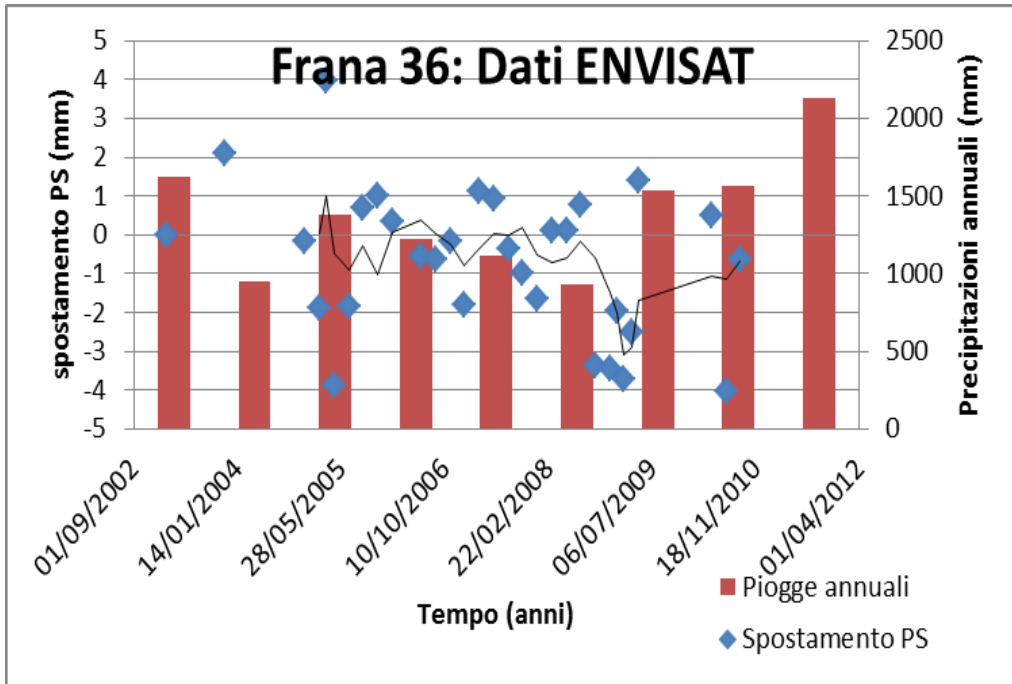


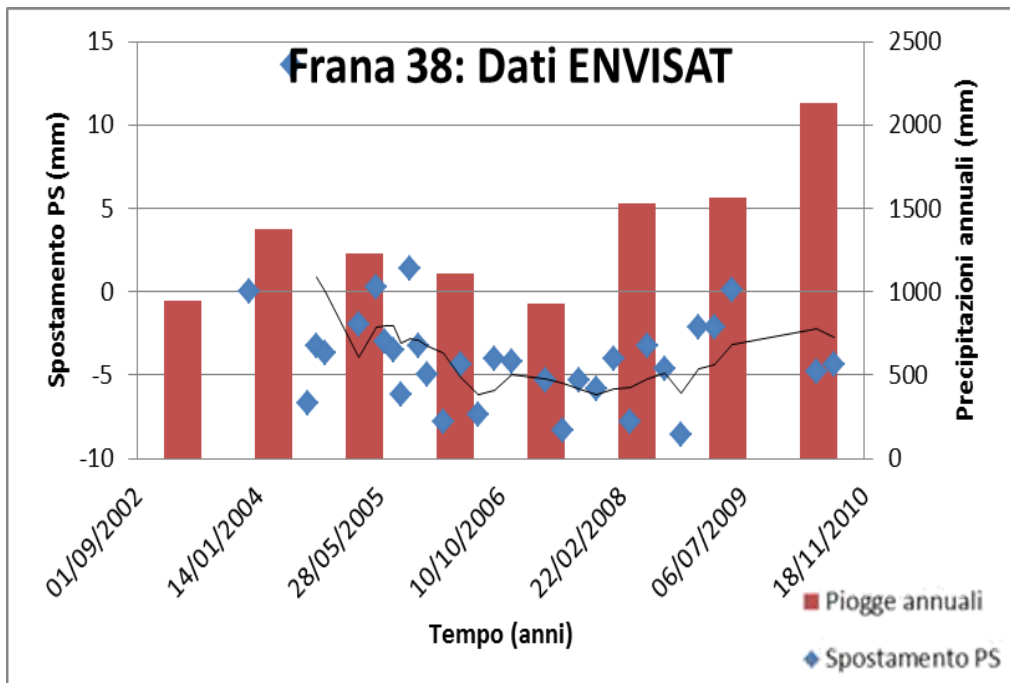
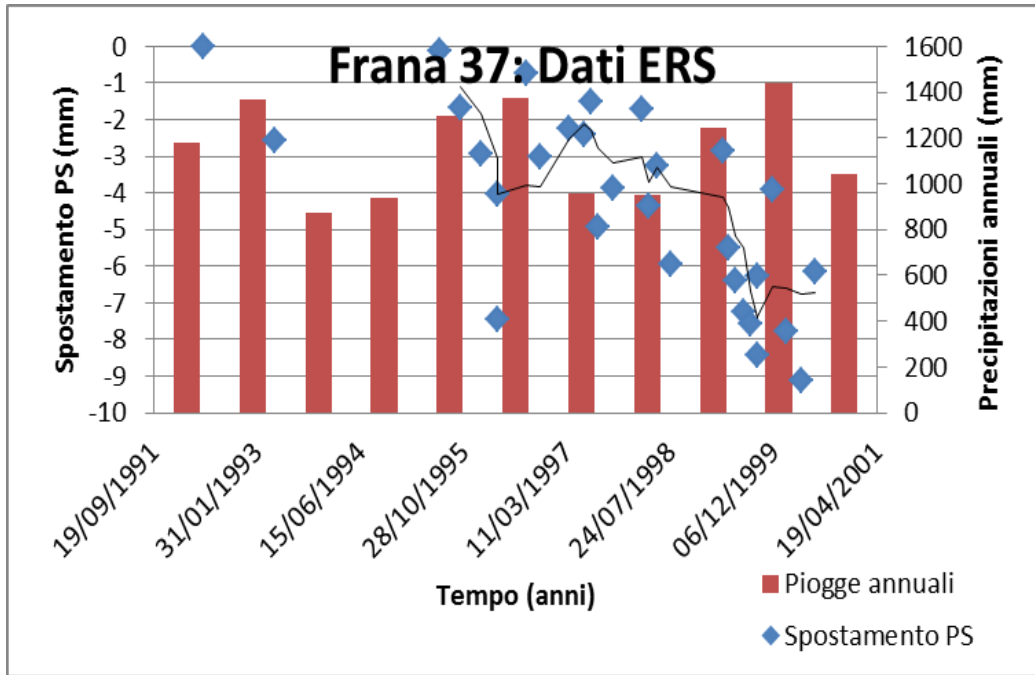


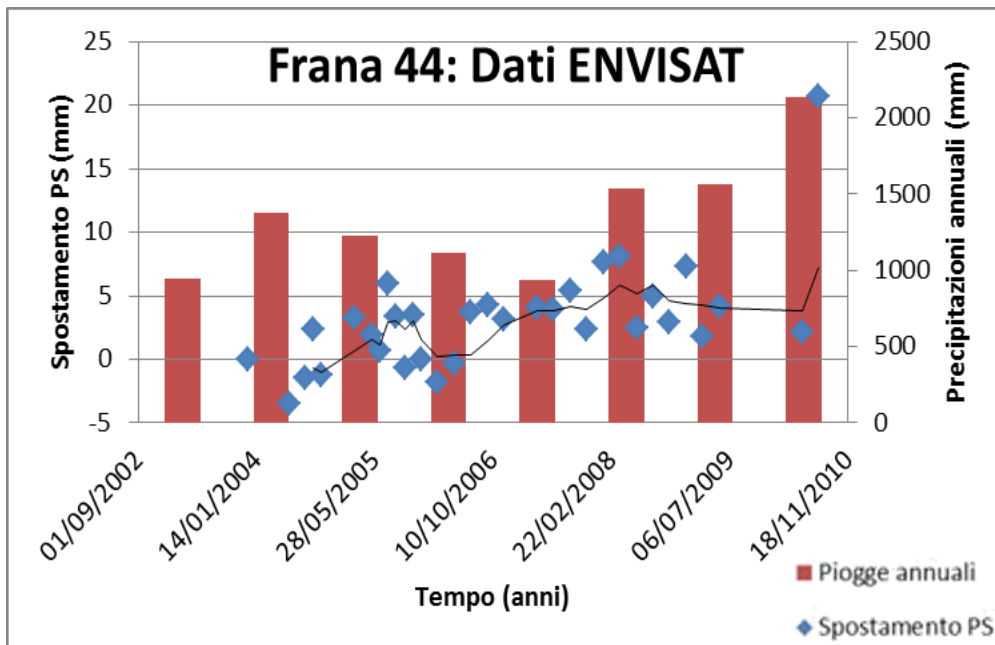
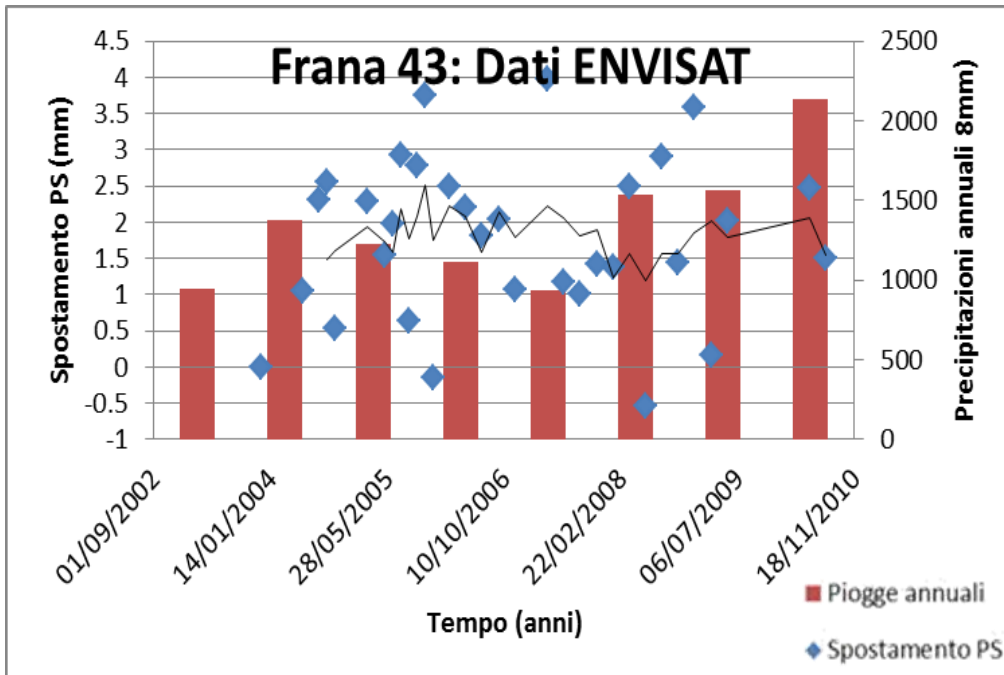


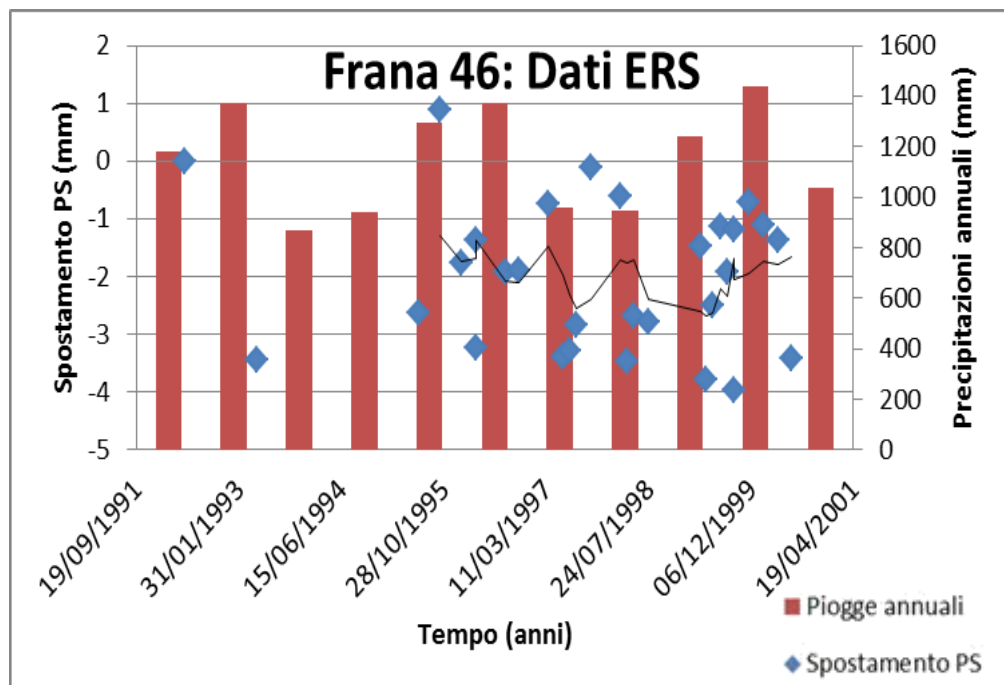
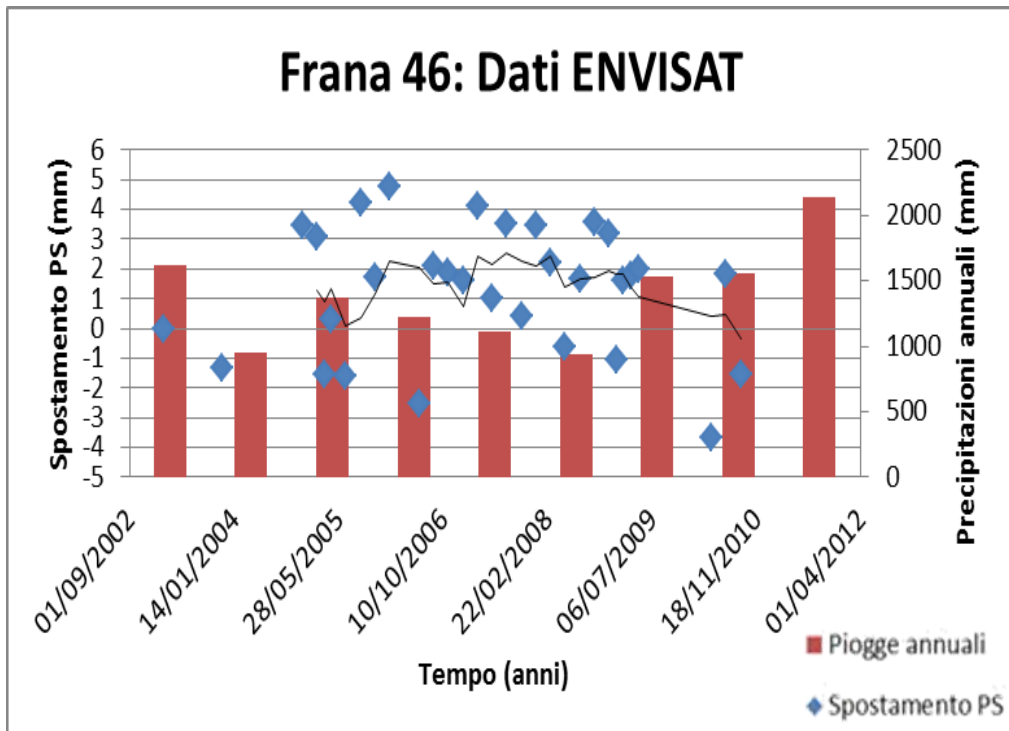


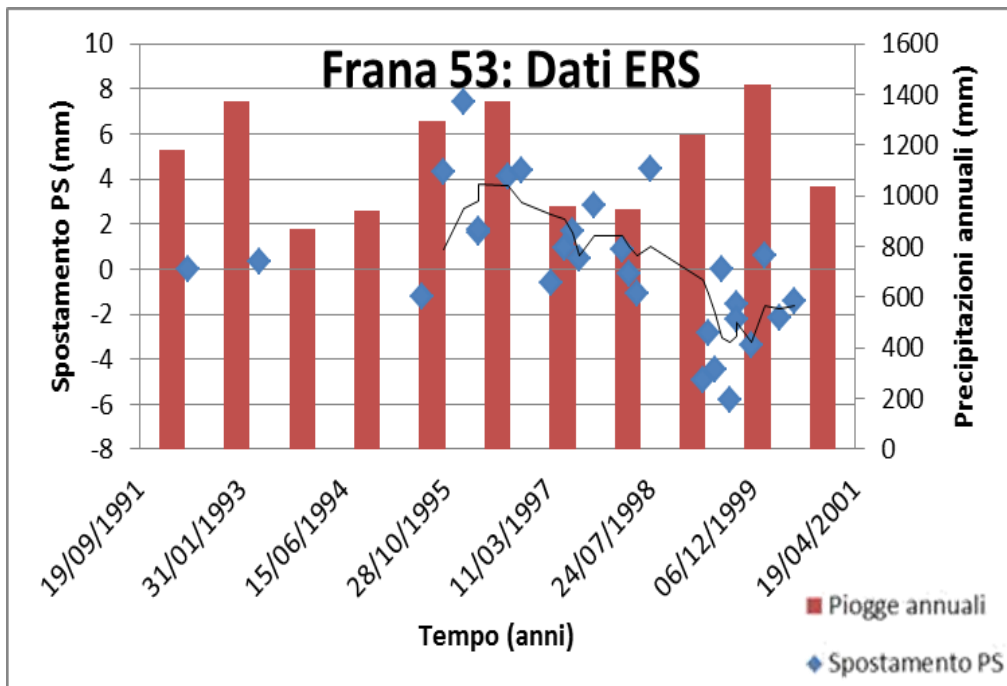
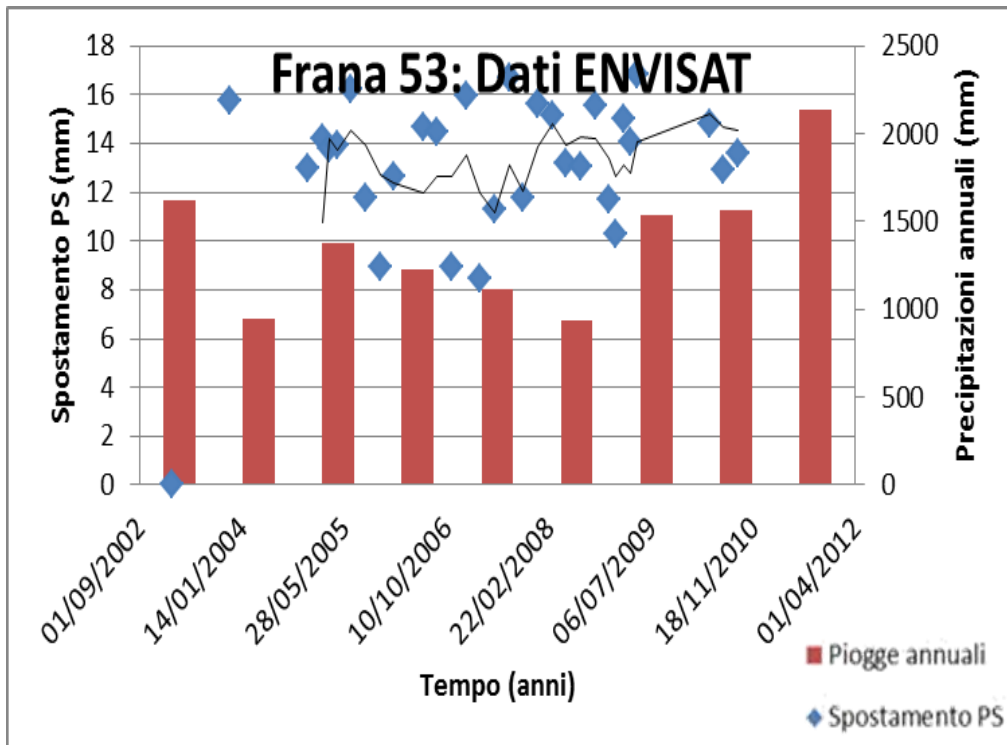


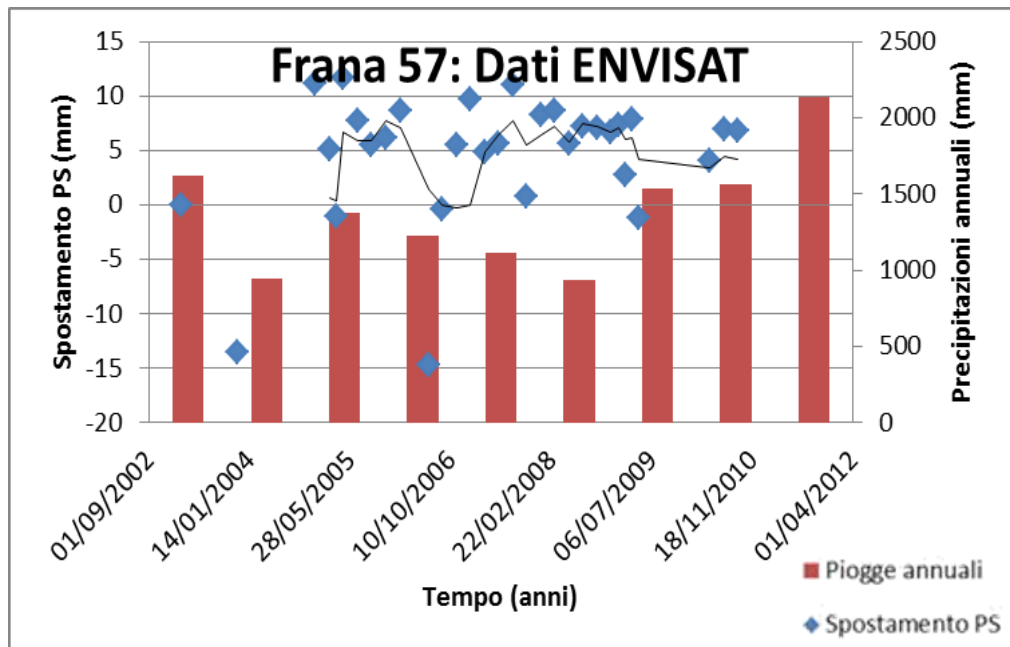
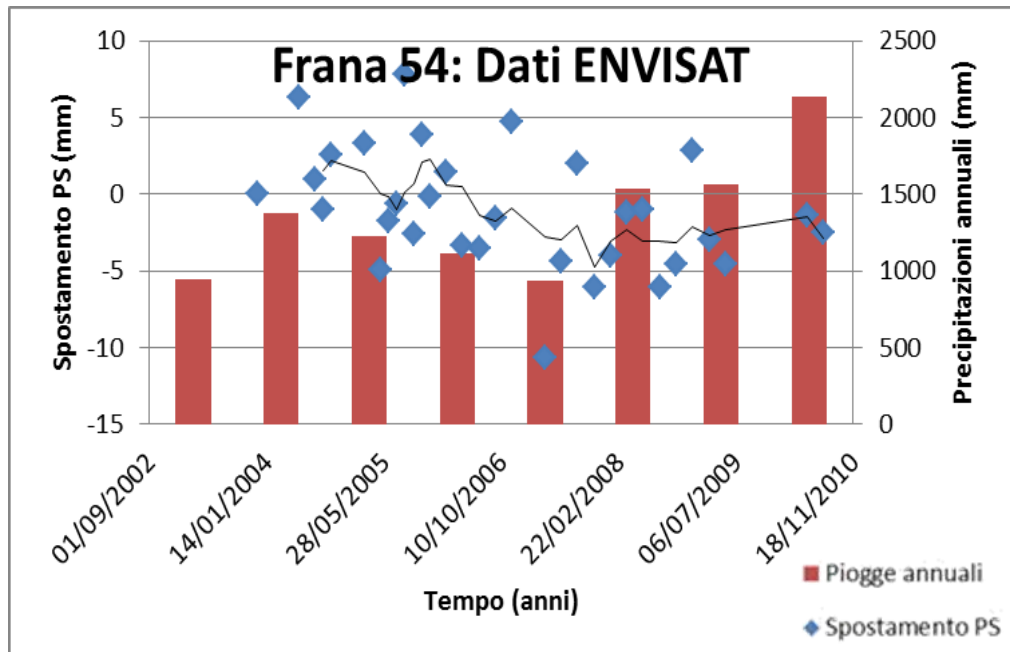


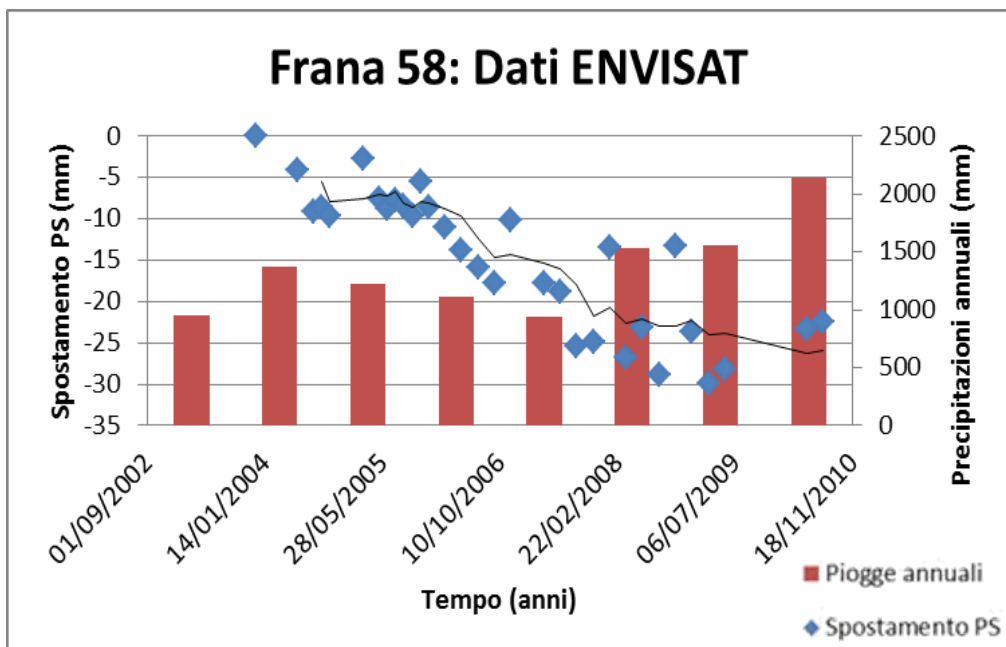
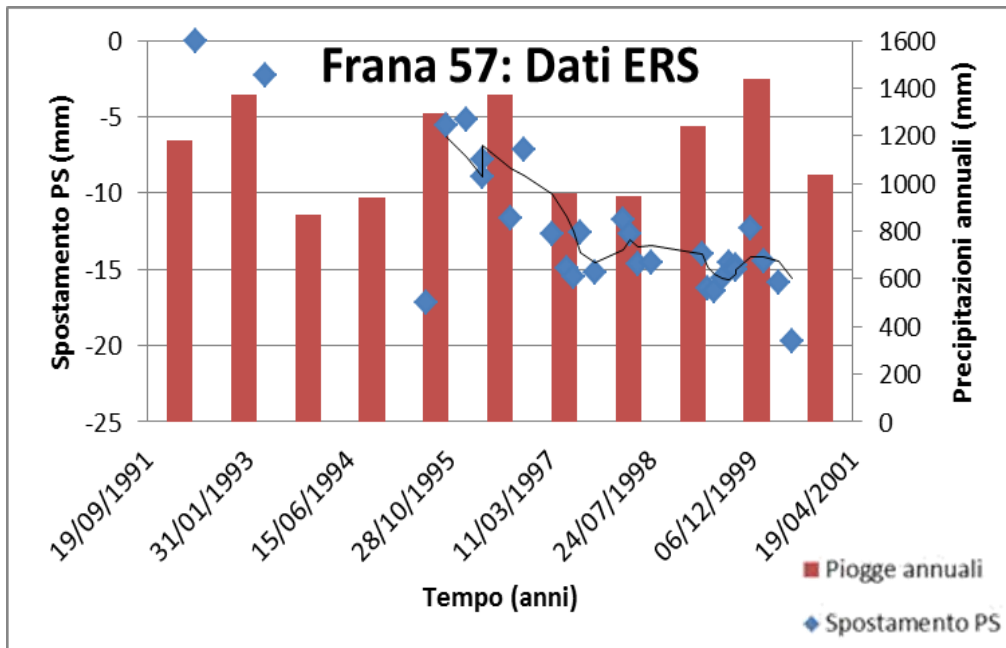


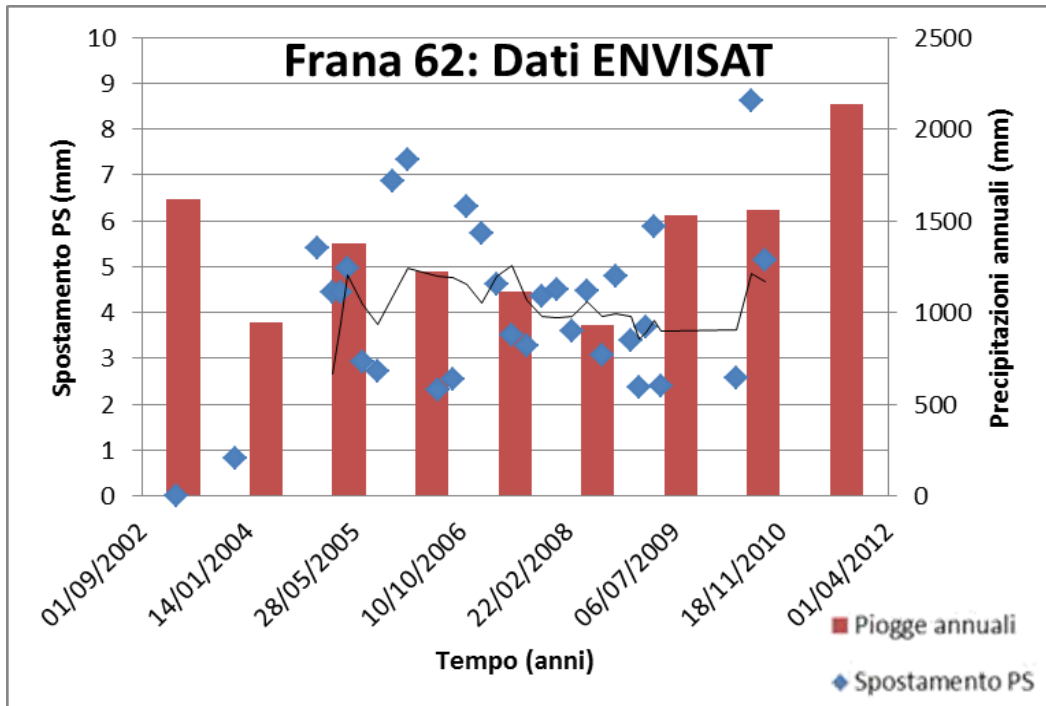
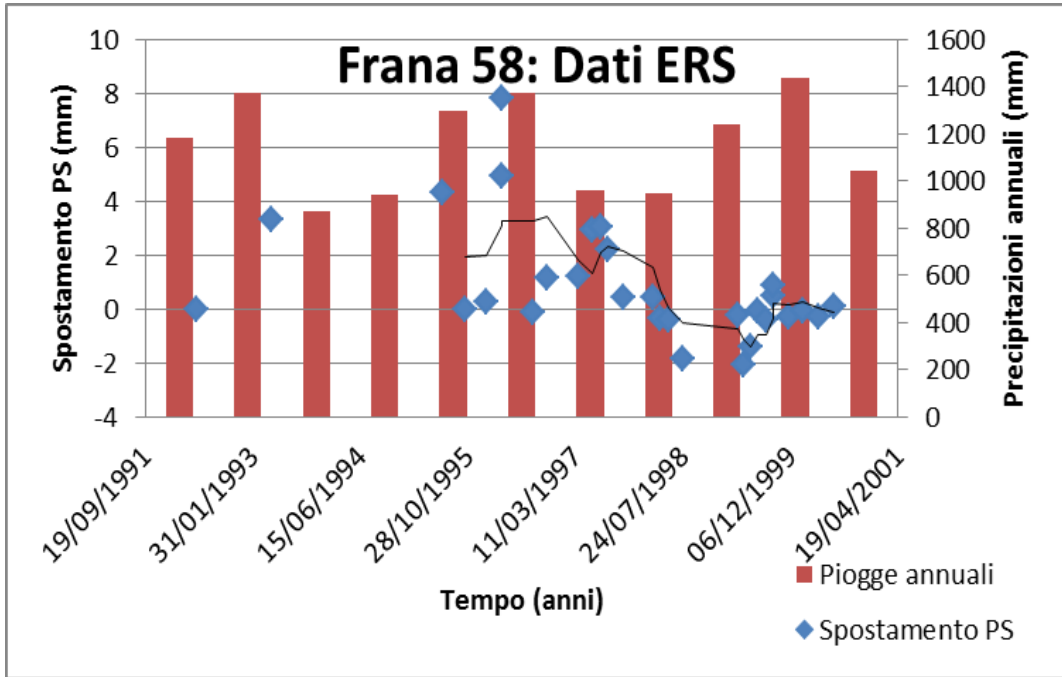


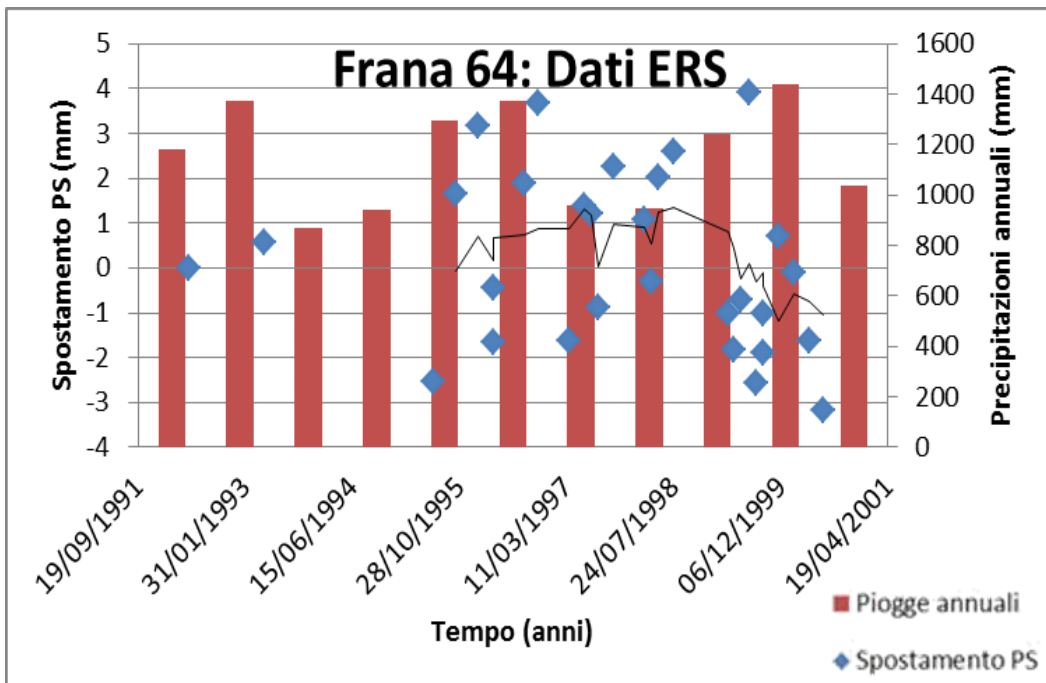
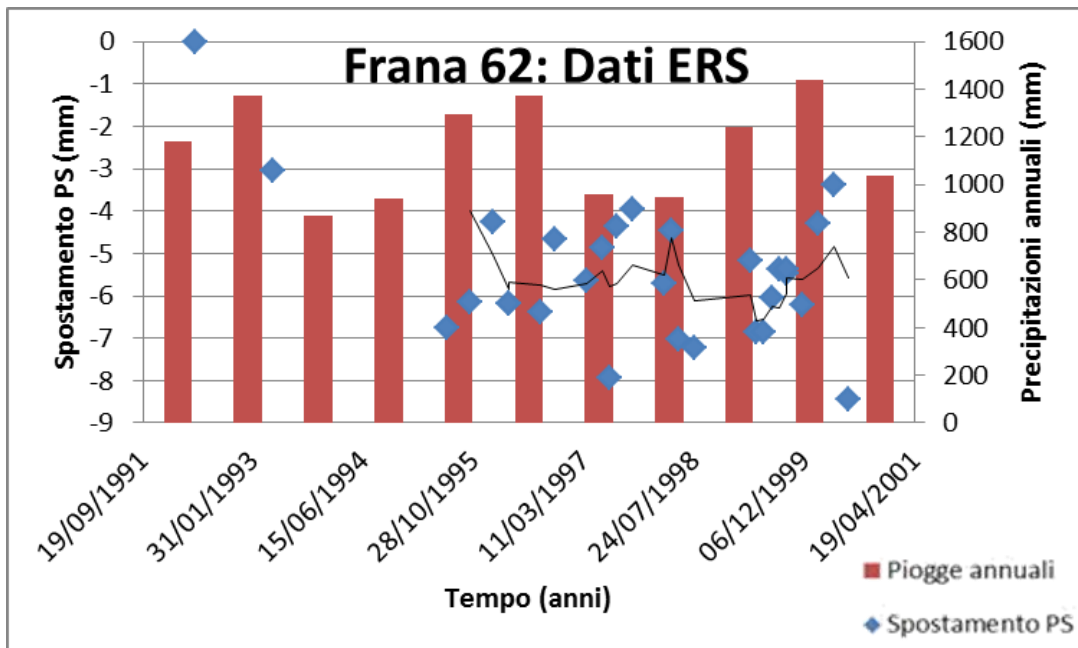












INDICE DELLE FIGURE

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E MORFOLOGICO

Fig. 2. 1 Localizzazione di Trissino in Italia, in provincia di Vicenza.....	7
Fig. 2. 2 Ortofoto comprendente Trissino e i relativi comuni confinanti	7
Fig. 2. 3 Schema tettonico dei Monti Lessini	10
Fig. 2. 4 Colonnina stratigrafica dei Monti Lessini	11
Fig. 2. 5 Lave subacquee	12
Fig. 2. 6 Deposito di calcari nummulitici	12
Fig. 2. 7 Calcareniti di Castelgomberto	12
Fig. 2. 8 Carta idrogeologica del PAT	14

3.METODOLOGIE DI INDAGINE

Fig. 3. 1 Caratteri distintivi della frana.....	15
Fig. 3. 2 Caratteri distintivi della frana.....	16
Fig. 3. 3 Modello di una frana di scivolamento traslazionale	17
Fig. 3. 4 Modello di una frana di scivolamento rotazionale	17
Fig. 3. 5 Modello di una frana di colamento	18
Fig. 3. 6 Ortofoto del comune di Trissino con l'ubicazione dei movimenti franosi	19
Fig. 3. 7 Carta Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI) del comune di Trissino	20
Fig. 3. 8 Carta Piano di Assetto Territoriale (PAT) del comune di Trissino.....	21
Fig. 3. 9 Ortofoto di Trissino con delimitazione delle frane	22
Fig. 3. 10 Zona di distacco della frana di scivolamento in località Selva in rosso.....	23
Fig. 3. 11 Danni alla strada in località Selva	24
Fig. 3. 12 Danni alla strada e al parapetto in località Selva	24
Fig. 3. 13 Danni alle fabbricazioni in località Piana Cattiva.....	25
Fig. 3. 14 Esempio di stereoscopia utilizzato.....	35

4. RISULTATI OTTENUTI

Fig. 4. 1 Layer elevazione	44
Fig. 4. 2 Layer pendenza	44
Fig. 4. 3 Layer curva.....	45
Fig. 4. 4 Layer litologia	45
Fig. 4. 5 Layer uso suolo	45
Fig. 4. 6 Layer distanza fiumi.....	46
Fig. 4. 7 Layer distanza strade.....	46
Fig. 4. 8 Carta di pericolosità spaziale.....	50
Fig. 4. 9 Esempi di suscettibilità all'interno dei poligoni delle frane, inserti della carta di pericolosità spaziale di Fig. 4.8	50
Fig. 4. 10 Success rate curves che identificano come il modello utilizzato fitta le condizioni di instabilità. Sull'asse x si mostrano le porzioni di area predetta come suscettibile. Sull'asse y sono riportate le porzioni di area affetta da fenomeni franosi.....	51

Fig. 4. 11 Success rate curve e Predictive rate curve per la validazione del modello di Frequency ratio. In asse x è riportata l'area considerata franosa e nell'asse y si ritrova l'area che effettivamente è in frana	53
Fig. 4. 12 Istogramma rappresentante il numero di fenomeni franosi avvenuti negli anni considerati. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata il numero degli eventi di riattivazione.....	57
Fig. 4. 13 Numero delle frane che hanno subito da 1 a 6 riattivazioni	58
Fig. 4. 14 Grafico a torta con la classificazione dei tempi di ritorno e il numero delle frane appartenenti a ciascuna classe.....	61
Fig. 4. 15 Tempi di ritorno e probabilità di occorrenza associate con esempi di valori	62
Fig. 4. 16 Ortofoto con la suddivisione delle frane per TR medi, in associazione a Fig. 4.15 con due esempi.....	63
Fig. 4. 17 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite Envisat discendente, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm	66
Fig. 4. 18 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite ERS, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm	67
Fig. 4. 19 Danni alla strada di campagna in località Munari	68
Fig. 4. 20 Spostamento PS per frana numero 6 per il satellite Cosmoskymed, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm	69
Fig. 4. 21 Spostamento PS per frana numero 27 per il satellite Envisat ascendente, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm	70
Fig. 4. 22 Spostamento PS per frana numero 27 per il satellite ERS, confrontato con le precipitazioni annuali. In ascissa si riporta il tempo in anni, in ordinata l'altezza di precipitazione e lo spostamento PS in mm	70
Fig. 4. 23 Dissesto segnalato in via Gobbi.....	72
Fig. 4. 24 Precipitazioni annuali 1954-2010	73
Fig. 4. 25 Precipitazioni medie mensili per periodi 1954-1982, 1983-2010, 1954-2010. In ascissa sono riportati i mesi dell'anno da 1 a 12, in ordinata l'altezza di precipitazione	74
Fig. 4. 26 Carta della pericolosità temporale	76
Fig. 4. 27 Carta della pericolosità totale	78
Fig. 4. 28 Esempio 1 che evidenzia i pixel della carta di rischio specifico sovrapposto alla carta di pericolosità totale	79
Fig. 4. 29 Esempio 2 che evidenzia i pixel della carta di rischio specifico sommata alla carta di pericolosità totale	80
Fig. 4. 30 Carta di rischio specifico associata alle strade corrispondenti solo alle zone in frana	81

INDICE DELLE TABELLE

3.METODOLOGIE DI INDAGINE

Tab. 3. 1 Classificazione delle frane per tipo di movimento (Cruden, 1978)	16
Tab. 3. 2 Attività della frana (Cruden & Varnes, 1994)	18
Tab. 3. 3 Principali caratteristiche dei satelliti utilizzati	40

4.RISULTATI OTTENUTI

Tab. 4. 1 Valori del layer elevazione	47
Tab. 4. 2 Valori del layer pendenza	47
Tab. 4. 3 Valori del layer curva	47
Tab. 4. 4 Valori del layer litologia.....	48
Tab. 4. 5 Valori del layer uso suolo.....	48
Tab. 4. 6 Valori del layer distanza fiumi	48
Tab. 4. 7 Valori del layer distanza strade	48
Tab. 4. 8 Movimenti delle 64 frane presenti nel territorio di Trissino (R=riattivazione, I=frana inattiva nell'anno considerato, NO= l'aereo non ha sorvolato la zona con riferimento al volo Arzignano 2001, NF=la frana non è presente, non è stata attivata.....	55
Tab. 4. 9 Tempi di ritorno medi e probabilità di occorrenza annuali calcolati per ciascuna frana, sulla base del tempo di osservazione t e del numero di riattivazioni n	58
Tab. 4. 10 Probabilità di occorrenza per t*=5,10,20,30,50 anni	63
Tab. 4. 11 Valori degli indici riferiti alla pericolosità spaziale, temporale e totale	77