

Dipartimento di Biologia Ecologia e Scienze della Terra

Corso di Laurea in Gestione dei Rischi Naturali

Polo didattico di Vibo Valentia

TESI DI LAUREA

*Censimento dei fenomeni franosi che interessano la
Tangenziale Est del Comune di Stefanaconi.*

RELATORE:

Dott. Fabio Ietto

Dott.ssa Valeria Lupiano

Valeria Lupiano

CANDIDATO:

Elbahma Nadia

Matricola:95204

Nadia Elbahma

Anno accademico 2020-2021



Al Cuore Immacolato di Maria.....

Non ti scoraggiare non ti lascerò mai. Il mio Cuore Immacolato sarà il tuo rifugio e la via che ti condurrà. E quando le difficoltà metteranno a dura prova la vostra fiducia e la vostra speranza ripeterai sempre: "Maria Madre mia"

A tutta la mia famiglia, porto sicuro della mia vita.....

Al mio Marito che ci ha creduto prima ancora che ci credessi io, sei stato e sarai per sempre il dono più importante che ho ricevuto.....

Ai miei genitori pilastro della mia esistenza.....

A mia sorella e ai miei fratelli che sono l'altra metà del mio cuore.....

Vi amo tutti immensamente

INDICE

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	4
1.1 Metodologia.....	6
CAPITOLO 2: INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	8
2.1 Caratteri Generali	8
2.2 Geologia e Tettonica	10
2.2.1 Caratteri Geologici-Evolutivi della Calabria	11
2.2.2 Assetto Geologico-Strutturale dell'Altopiano del Monte Poro.....	12
CAPITOLO 3: STABILITÀ DEI VERSANTI	16
3.1 Classificazione dei Fenomeni Franosi.....	16
3.2 Nomenclatura delle frane	19
3.2 Mappe inventario.....	21
CAPITOLO 4: CENSIMENTO DEI FENOMENI FRANOSI CHE INTERESSANO LA TANGENZIALE EST DEL COMUNE DI STEFANACONI	27
4.1 I fenomeni franosi lungo la Tangenziale Est	27
4.2 Censimento dei fenomeni franosi lungo la Tangenziale Est e analisi dei dati.....	30
4.2 Conclusioni e discussione dei risultati	45
Bibliografia.....	49

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi ha lo scopo di affrontare il censimento dei fenomeni franosi che si sono innescati sul territorio di Stefanaceni, in seguito ai lavori di costruzione della “Tangenziale Est Stefanaceni - Vibo Valentia”, che avrebbe dovuto collegare la Strada Provinciale SP15 con la strada Statale SS106 (Fig. 1).

L’area di studio copre una superficie di circa 1 Km², l’elemento litologico prevalente è di natura conglomeratica deposto in discordanza sul basamento cristallino metamorfico. L’area di minor altitudine corrisponde al settore orientale del comune, mentre la quota maggiore è raggiunta nel settore occidentale, a ridosso della città di Vibo Valentia.



Fig. 1.1: Area di studio, in giallo il tracciato della strada in costruzione

I lavori, iniziati nel 1998, collocano il tracciato stradale alla base di una ripida scarpata di faglia (Ietto et al., 2003; Ietto & Bernasconi, 2005) che raccorda la superficie terrazzata su cui è costruito l'abitato di Vibo Valentia con il pianoro su cui si trova l'abitato di Stefanaconi.

Si tratta di un'area caratterizzata da una già elevata instabilità territoriale come rappresentato dalla carta inventario dei centri abitati instabili del PAI (Piano Assetto Idrogeologico) redatta nel 2001 dall'Autorità di Bacino Calabria (Fig. 1.2). Da questa si evince che la scarpata in oggetto ricade in una zona franosa profonda (ZFP) attiva con alcune frane da scorrimento rotazionale e complesse sempre attive.

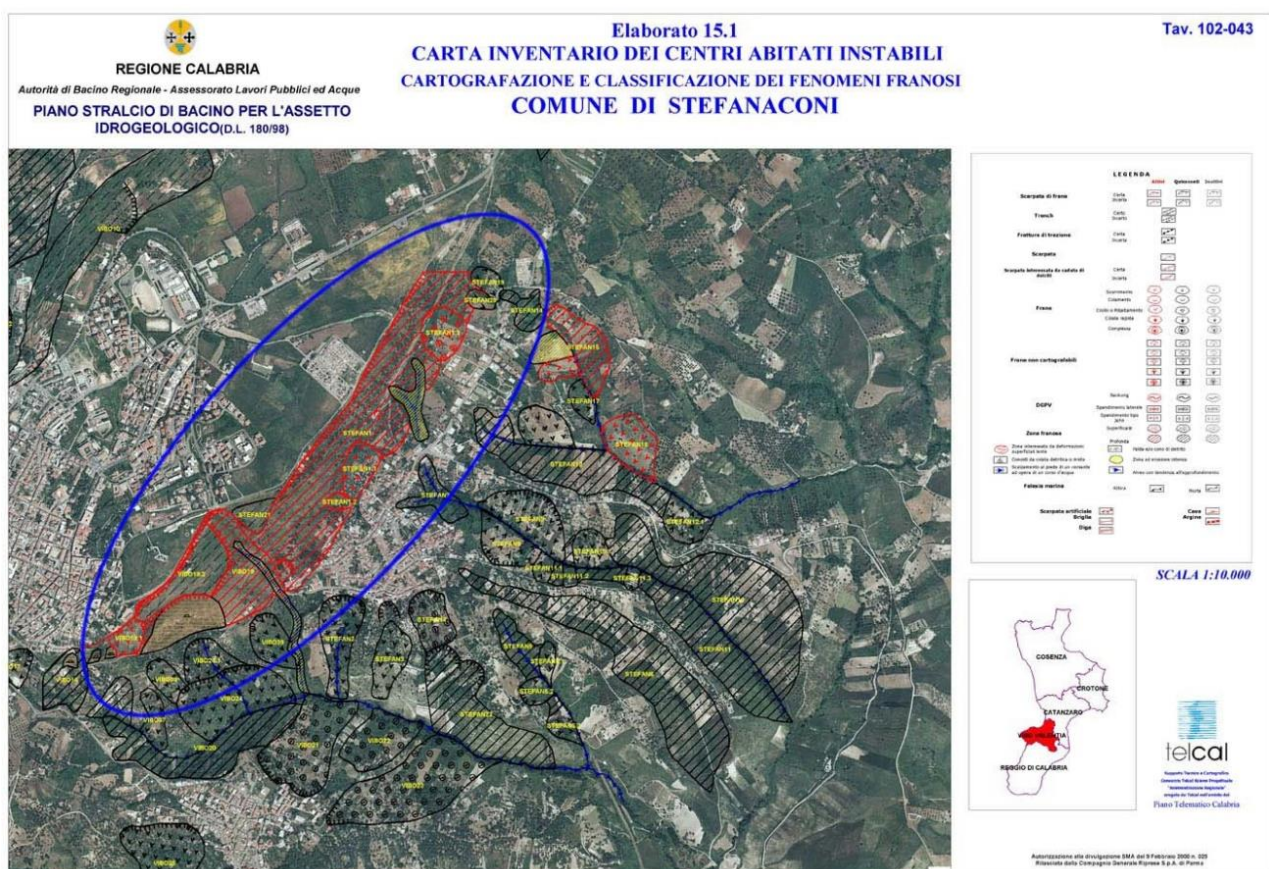


Fig. 1.2: Carta delle frane (PAI, 2001); cerchiata di blu l'area di studio

Lo sbancamento, eseguito durante i lavori di costruzione della strada, non ha fatto altro che riattivare e/o innescare una serie di frane, prevalentemente superficiali, lungo tale scarpata, determinando la definitiva interruzione dei lavori e l'aumento della condizione di rischio per l'abitato di Stefanaconi (Conforti & Ietto, 2018).

1.1 Metodologia

Lo studio si è focalizzato, preliminarmente, sulla raccolta del materiale esistente: cartografia, foto aeree, articoli scientifici, ecc., si è passati poi, al fine di acquisire nuove informazioni e controllarne altre, all'interpretazione delle foto aeree e satellitari. Non è stato possibile effettuare sopralluoghi e rilievi di campagna perché l'area risulta sottoposta a sequestro giudiziario.

Per il censimento dei fenomeni franosi sono state foto-interpretate varie levate aeree e/o satellitari di diversa scala ed età. I fenomeni franosi presenti nell'area prima della costruzione della strada (pre 1998) sono stati acquisiti e digitalizzati utilizzando dati di letteratura (Conforti & Ietto, 2019). Riguardo, invece, alle frane innescate dalla costruzione della Tangenziale Est, sono state consultate le foto aeree relative agli anni 2006 e 2012, ottenute tramite i servizi **WMS** (*Web Map Service*) del Ministero dell'Ambiente (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/>), e le immagini satellitari 2007, 2010, 2014, 2016 e 2021 utilizzando il software open source Google Earth Pro (versione 7.3.4.8248).

Per le strutture geologiche si è fatto riferimento al catalogo delle Faglie Attive e Capaci (FAC) scaricabili dal portale dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>)

La morfologia del territorio in esame è stata analizzata utilizzando il DEM (Modello Digitale di Elevazione del terreno) TINITALY/01 (Tarquini et al. 2007) scaricabile dal sito dell'INGV (<https://tinality.pi.ingv.it/>) con pixel pari a 10 m. Da questo sono state derivate la carta delle acclività (inclinazione del terreno rispetto ad un piano orizzontale), la carta delle esposizioni (orientazione del terreno rispetto ai punti cardinali) e il rilievo ombreggiato del terreno.

Le frane individuate sono state quindi sottoposte ad analisi statistica quantitativa, che ha consentito una prima valutazione della distribuzione e caratterizzazione morfometrica degli eventi. Allo scopo, poi, di verificare e studiare la coesistenza di alcune caratteristiche del terreno, tramite la funzione di sovrapposizione (*overlay*), i vari *data-layer* (frane, acclività, esposizione e geologia) sono stati incrociati tra loro.

Tutti i dati raccolti sono confluiti in un progetto GIS (Geographic Information System). Il software utilizzato per la gestione delle frane censite nell'area di studio è il QGIS (QGIS.org, 2022), rilasciato sotto la GNU (General Public License “GPL”). Si tratta di un software *open source* di facile utilizzo. L'architettura di QGIS permette l'installazione di funzionalità e pacchetti aggiuntivi (Plugins) in funzione delle più svariate e specifiche esigenze. Inoltre, consente, tramite servizi WMS,

WCS e WFS di visualizzare/scaricare dati di varia natura messi a disposizione da enti pubblici e privati.

CAPITOLO 2: INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

2.1 Caratteri Generali

Il Comune di Stefanaconi (2.372 abitanti) è situato sul versante tirrenico della Calabria centro-meridionale, nel settore nord-occidentale della Provincia di Vibo Valentia. Stefanaconi si presenta come un centro essenzialmente agricolo del Monte Poro, posto alle pendici della scarpata con cui il colle di Vibo Valentia degrada verso la Valle del fiume Mesima.

I Comuni confinanti sono: a nord e ad ovest il Comune di Vibo Valentia, ad est con quello di S. Onofrio e a sud con quelli di Francica, Gerocarne, Soriano Calabro e Vazzano (fig. 2.1).

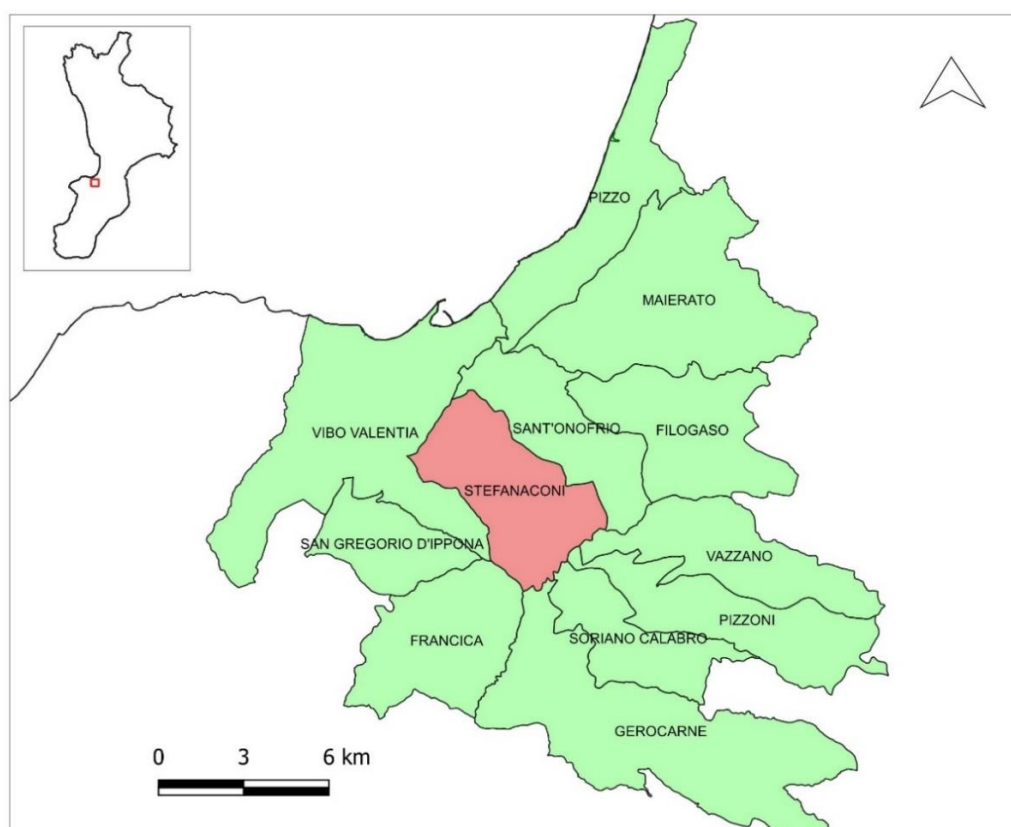


Fig. 2.1: Il Comune di Stefanaconi

La sua estensione territoriale è di 23,23 km² ed è registrato dall'IGM (Istituto Geografico Militare) nel foglio n°579 sez. III, con coordinate: 38° 40'N 16° 07'E. Presenta una quota media di 365 m s.l.m. e dista 2,6 Km dal Capoluogo (Vibo Valentia). Il colle di Vibo Valentia è caratterizzato da una superficie terrazzata che rappresenta il confine settentrionale dell'altopiano del Monte Poro.

Il versante orientale del terrazzo è interrotto da una scarpata alta 200 m orientata SW-NE, con una pendenza superiore a 40°, la scarpata si colloca in una zona di faglia attiva (Ietto & Bernasconi, 2016).

Il Comune è da inquadrarsi nell'area dell'estremità tirrenica dell'Arco Calabro Peloritano, vicino al Promontorio di Capo Vaticano (fig. 2a) che divide il Golfo di Sant'Eufemia da quello di Gioia Tauro, dove affiorano rocce gneissiche paleozoiche che appartengono al complesso della Sila (complesso Gariglione - Polia – Copanello, Borsi et al., 1977).

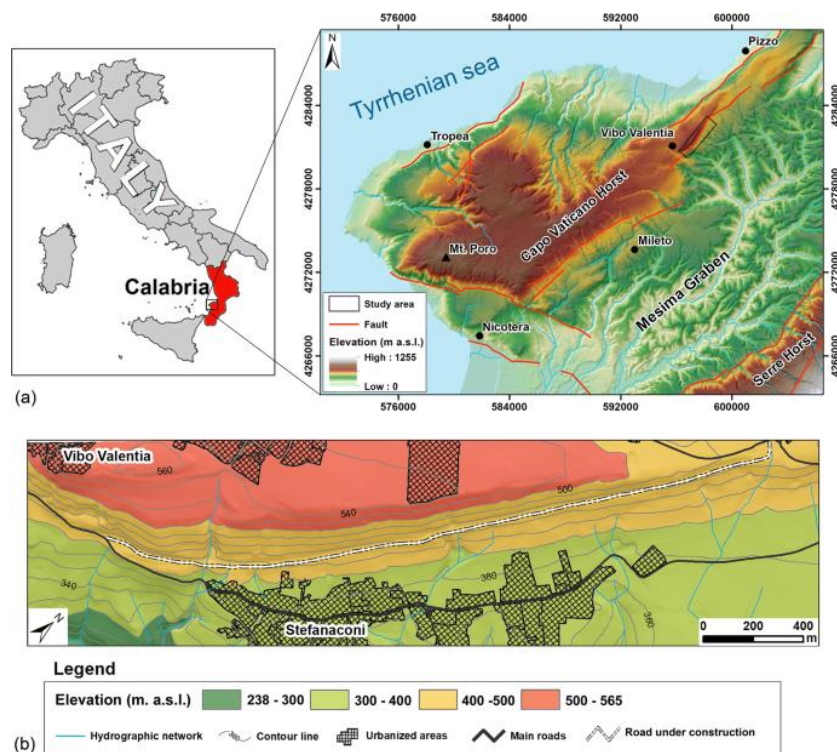


Fig. 2.2: Posizione dell'Area di Studio (da Conforti & Ietto 2018)

Il territorio è dal fiume Mesima, che ha un corso complessivo di 55 km. Il Mesima, quinto fiume della regione per portata d'acqua, è da intendersi come uno dei maggiori corsi d'acqua della Calabria centro-meridionale. Per secoli il fiume è stato navigabile, prova tangibile è la cosiddetta "Tariffa della Scafa", un'iscrizione in latino risalente al 1737, conservata presso il Museo di Medma. L'iscrizione attesta la regolamentazione del pedaggio nel '700 e la navigazione che avveniva mediante attraversato zattere dal fondo piatto, le "scafe" appunto.

Nel settore meridionale del territorio di Stefanacconi scorre anche una fitta rete di torrenti, denominati “Bacini dei fiumi Mesima e Minori” che comprende il bacino idrografico del fiume Mesima e il rio Crivello, il rio Varelli, il torrente Lavatoio e il torrente Pagliocastro.

La valle del fiume Mesima si trova a 2 km dal centro abitato un tempo coperta da uliveti e frutteti è ricca d’acqua, tanto da essere stata definita la “valle dei mulini” che, rimasti in funzione fino agli anni ‘50 del Novecento, sono tutt’ora visibili.

L’idrografia superficiale dal tipico regime torrentizio, con piene invernali e fasi di magra estive, segue un andamento NW-SE e attraversa il territorio comunale nella sua parte sud-orientale segnandone il confine. Generalmente, gli assi di drenaggio tendono ad orientarsi secondo i principali lineamenti tettonici presenti in zona.

I fattori che condizionano la circolazione idrica sotterranea sono molteplici, ma tutti riconducibili alle caratteristiche idrologiche delle rocce. La porosità, la capacità di assorbimento e la permeabilità, interessano in modo particolare l’idrologia, perché condizionano quantitativamente l’assorbimento, l’immagazzinamento ed i movimenti delle acque che possono essere utilmente captate.

Le condizioni geologiche e geomorfologiche locali hanno influenzato i paesaggi, determinando la presenza di acclività meno marcate nel settore meridionale, dove si riscontrano le aree con quote minori, e declivi con gradienti accentuati nel settore settentrionale. L’intreccio delle peculiarità geomorfologiche e tettoniche dell’area con il clima ha notevolmente condizionato il già sensibile equilibrio del territorio, in cui diffusa instabilità di versante e intensa erosione caratterizzano l’intera area di studio. I fenomeni d’instabilità sono spesso soggetti ad evoluzione, le cui aree di alimentazione tendono a raggiungere il limite dello spartiacque superficiale.

2.2 Geologia e Tettonica

Sebbene lo scopo del lavoro di tesi esuli dal comprendere l’assetto geologico e l’evoluzione geodinamica regionale, al fine di ottenere un quadro puntuale del territorio indagato, sia dal punto di vista dei rapporti giaciturali tra corpi tettonici ed unità stratigrafiche, sia per valutare l’assetto morfologico dei rilievi ed i problemi di stabilità ad essi connessi, risulta essenziale una descrizione delle vicissitudini geologiche subite da questo settore di arco nel contesto geologico regionale.

Di seguito verranno quindi delineate in modo sintetico le caratteristiche essenziali dell'Arco Calabro-Peloritano e i caratteri Geologico e Strutturale dell'Altopiano del Monte Poro. Più in dettaglio saranno poi descritti i terreni affioranti nell'area di studio.

2.2.1 Caratteri Geologici-Evolutivi della Calabria

Quasi tutto il territorio Calabrese appartiene al dominio geologico dell'Arco Calabro Peloritano. Esso è stato interpretato come un frammento di catena alpina sovrascorso sulla catena appenninico-maghrebide (Amodio Morelli et al., 1976). Il sistema orogenico calabro è stato originato dalla collisione continentale tra la placca europea e la placca africana. Le fasi compressive di tale collisione, una Cretaceo-Paleogenica, con subduzione di litosfera oceanica al di sotto della zolla africana (Monaco & Tortorici, 1995) e l'altra Neogenica, con subduzione di litosfera africana sotto la placca europea (Monaco & Tortorici, 1995), generano due catene ad opposta vergenza (Amodio Morelli et al., 1976) (Fig. 3): la **Catena Alpina**, Europa-vergente costituita da falde ofiolitiche e metamorfiche, e la **Catena Appenninica**, Africa-vergente, costituita da coltri sedimentarie (Amodio Morelli et al., 1976) interpretate secondo alcuni autori (Cello et al., 1989; Monaco & Tortorici, 1995) come parte del cuneo di accrezione appartenente ai domini tetidei.

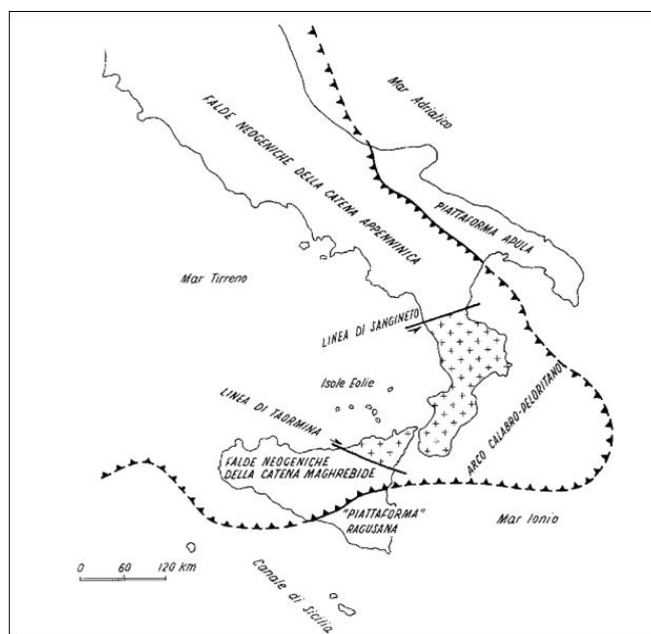


Fig. 2.3: Collocazione dell'Arco Calabro-Peloritano all'interno del Sistema Appenninico-Maghrebide (Amodio & Morelli et al., 1976).

Il settore settentrionale è costituito essenzialmente da: 1) rocce carbonatiche di età mesozoica appartenenti alla catena appenninica e affioranti all'interno di finestre tettoniche, che nel complesso prendono il nome di "Unità Appenniniche"; 2) rocce metamorfiche di basso grado derivanti dal dominio del bacino Ligure-Piemontese e comprendenti sequenze ofiolitifere, che nell'insieme costituiscono il "Complesso Liguride"; 3) rocce derivanti da un basamento cristallino-metamorfico di età ercinica, caratterizzato localmente da una copertura sedimentaria di età mesozoica, che nell'insieme prendono il nome di "Complesso Calabride" (Van Dijk et al., 2000). Mentre il settore meridionale che si sviluppa a sud dell'allineamento Capo Vaticano-Soverato fino all'allineamento tettonico di Taormina e comprende, quindi, le Serre, l'Aspromonte ed i Monti Peloritani è rappresentato essenzialmente da una serie di coltri costituite da rocce granitiche e metamorfiche, con locali coperture sedimentarie di età meso-cenozoica, che si sono accavallate sulle unità sedimentarie della catena Maghrebide Siciliana (Tortorici, 1982).

2.2.2 Assetto Geologico-Strutturale dell'Altopiano del Monte Poro

Il promontorio di Monte Poro ricade nel settore centro-meridionale dell'Arco Calabro Peloritano e rappresenta un rilievo isolato che si erge sul versante tirrenico fino ad un'altitudine di 710 m s.l.m. Il rilievo è delimitato dalla penisola di Capo Vaticano ad ovest e dalla valle del fiume Mesima ad est ed è caratterizzato da valli profondamente incise che sfociano per la quasi totalità sulla costa. Il promontorio di Capo Vaticano è una struttura ad *horst* delimitata e smembrata a gradoni da sistemi di faglie contrapposte (Tortorici et al., 2002): ad est le faglie di Tropea, Zaccanopoli e Vibo Valentia ribassano il promontorio verso la costa tirrenica mentre ad ovest il sistema di faglie di Mileto ribassa il promontorio verso la valle del Mesima (Tortorici et al., 2002).

Dal punto di vista strettamente geologico l'area di Monte Poro è composta da depositi neogenici, che consistono in sedimenti silicoclastici-carbonatici, poggianti in discordanza su un basamento cristallino (caratterizzato essenzialmente da rocce di natura granitoide e gneissica) di età ercinica, a paleotopografia spesso articolata (Rao et al., 2007). Il motivo morfologico dominante è rappresentato dai lembi residui di terrazzi morfologici di natura marina. Questi sono ubicati ad altezze varie e degradano verso la costa, raccordati tra loro da rotture di pendio.

La tettonica distensiva pliocenica genera dislocazioni tettoniche con andamento prevalente N-S che, a partire dal Pleistocene inferiore, hanno permesso il sollevamento della catena. Tale sollevamento non è stato uniforme ciò ha determinato gradienti estremamente differenziati tra i vari blocchi. Le faglie principali che li hanno delimitati sono state attive durante tutto il pliocene superiore-

calabriano e durante la fase di emersione post-pleistocenica. È proprio questo intenso e veloce sollevamento, alternato a fasi di erosione, che ha consentito la genesi dei vari ordini di terrazzi marini presenti nella zona. (Tortorici et al., 2002) ed è una delle concause nei processi di alterazione profonda e successiva fenomeni di denudazione dei versanti. Nell'area si hanno infatti frequenti fenomeni franosi di vario tipo, in prevalenza scorrimenti rotazionali e crolli, che si possono osservare soprattutto lungo gli acclivi versanti delle scarpate di faglia (Sorriso Valvo & Le Pera, 2000; Sorriso Valvo & Terranova, 2006).

L'elevato tasso di sollevamento ha prodotto sia rilievi ad alta energia erosiva che ringiovanimento continuo della rete idrografica (Ietto et al. 2015). Inoltre, nella zona di Capo Vaticano, il rapido processo di sollevamento crostale ha dato origine a una morfologia cupolare con un asse orientato in direzione WSW-ENE che ha interessato sia le rocce cristalline che le coperture sedimentarie neogeniche del Monte Poro (Ietto et al., 2015).

L'area tra Capo Vaticano e Vibo Valentia è attraversata da due principali lineamenti tettonici estensionali, entrambi orientati a NE-SW con immersione NW e immersione WNW-ESE (Ghisetti & Vezzani, 1981; Tortorici et al., 2003; Cucci & Tertulliani, 2006).



Fig. 2.4: Scorcio della faglia normale NE-SW a monte dell'abitato di Stefanaceni

Uno di questi lineamenti tettonici attraversa il comune di Stefanacani (Fig. 2.4) e ha una lunghezza di circa 15 km ed è caratterizzato da rigetti dell'ordine di 300 m.

2.2.3 Caratteri geologico-stratigrafico dell'area di studio

Di seguito delineeremo nel territorio di nostro interesse i terreni presenti in situ (CasMez, 1958), partendo dai termini più antichi a quelli più recenti (Fig. 2.5).

A rappresentare il basamento cristallino-metamorfico si rinvencono **Scisti e Gneiss** di età Paleozoico. Si tratta di un complesso composto da scisti e gneiss quarzoso-biotitici-granatiferi, a grana da fine a grossolana, costituito da metamorfiti di grado variabile dalla facies anfibolitica a quella granulitica. Presentano una elevata resistenza all'erosione e bassa permeabilità eccetto nelle zone di fratturazione e degradazione.

A seguire, in discordanza, troviamo **Calcari evaporitici (Miocene superiore)** bianco-giallastri, talora arenacei, con sottili intercalazioni di silts ed argille siltose. Questo complesso presenta una moderata resistenza all'erosione e media permeabilità.

Discordanti sui depositi precedenti si rinvencono poi **Argille siltose (Pliocene inferiore-medio)** da grigie a bruno-chiare con locali intercalazioni di sabbie grossolane. Contengono una ricca e variata microfauna con associati frammenti microfossili che comprendono forme caratteristiche del Pliocene superiore. Questi materiali sono caratterizzati da bassa permeabilità e scarsa resistenza all'erosione.

Stratigraficamente al di sopra affiorano **Sabbie (Pliocene medio)** con grana da fine a grossolana e intercalazioni i silts bruno-chiari e, localmente, di arenarie. Si presentano moderatamente costipate con una ricca e variata microfauna con presenza di frammenti fossiliferi. Presentano una scarsa resistenza all'erosione ed elevata permeabilità.

A seguire si rinvencono i **Conglomerati** di età Pleistocenica, si tratta di depositi continentali rossastri, composti da ciottoli arrotondati e subangolari immersi in una matrice sabbiosa per lo più grossolana. Frammenti fossiliferi si rinvencono a tratti nei depositi più fini. Questi depositi presentano scarsa resistenza all'erosione ed elevata permeabilità.

I Depositi Olocenici sono rappresentati da prodotti di soliflussione e dilavamento, talora misti a materiale alluvionale. Affiorano anche depositi recenti di ambiente fluviale, talora mobili talora fissati dalla vegetazione o artificialmente, costituiti da ciottoli, sabbie e limi argillosi. Sono

particolarmente diffusi in prossimità dei corsi d'acqua. Localmente si rinvencono anche Detriti di frana, costituiti da frammenti rocciosi di natura e dimensioni varie.

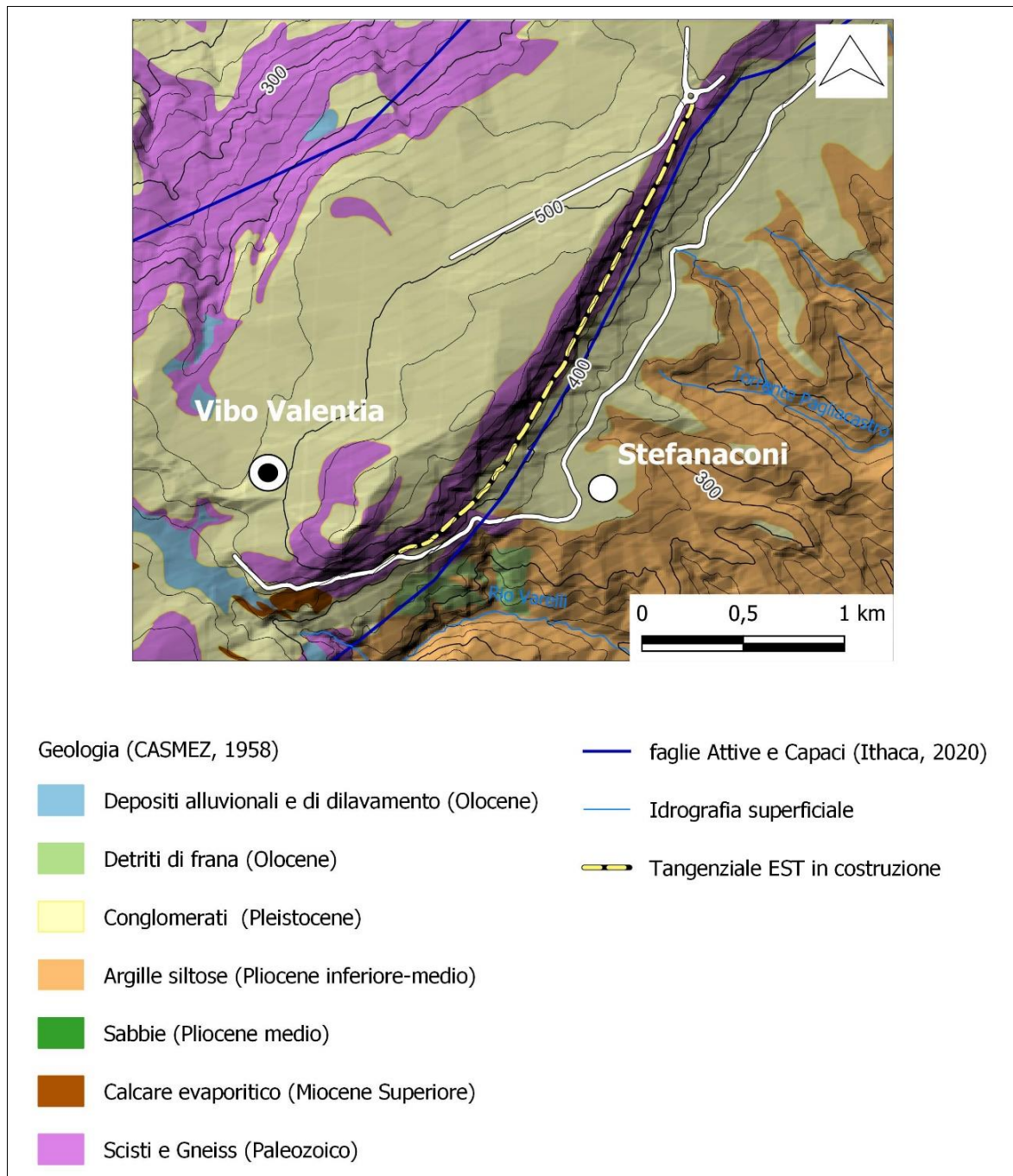


Fig. 2.5: Carta Geologica del territorio

CAPITOLO 3: STABILITÀ DEI VERSANTI

3.1 Classificazione dei Fenomeni Franosi

Con il termine frana (*landslide*) si definisce un movimento di massa di roccia, di terreno o detriti che si muovono lungo un versante, sotto l'azione della forza di gravità. Ogni frana è un evento a sé, e si può generare e sviluppare a seguito di elementi e situazioni varie. Le cause che favoriscono lo sviluppo di una frana o un movimento di massa sono molteplici ma possiamo distinguerli in due categorie:

- **Cause predisponenti** (ovvero proprie dell'ambiente naturale): legate alle caratteristiche tecniche ed idrogeologiche delle rocce, alla litologia, alla giacitura degli strati, alla natura del terreno, all'acclività dei versanti, all'andamento topografico, al clima, alle precipitazioni, alle escursioni termiche vale a dire a tutti quei fattori che rendono un versante particolarmente esposto all'insacco delle frane.
- **Cause determinanti** (scatenanti o occasionali): responsabili dell'alterazione degli equilibri, sono quelle cause che imprimono, in quel particolare momento alla massa rocciosa, già in equilibrio precario, l'input necessario alla sua mobilitazione. Possono essere dovute infiltrazioni di acqua, aumenti di pendenza, disboscamento, sollecitazioni sismiche, azioni antropiche scavi e tagli, erosione, ecc. Tutti quei fenomeni che generano, cioè, una diminuzione dell'attrito o della coesione tra le particelle o al contatto tra zona alterata e roccia integra. Possono essere, sostanzialmente, ricondotti ad un incremento delle tensioni tangenziali lungo la superficie di rottura o ad un decremento delle resistenze al taglio del materiale.

Il sistema di classificazione maggiormente utilizzato per descrivere i movimenti franosi è quello proposto da Varnes D. J. (1978) successivamente modificata da Cruden & Varnes (1996). Tale classificazione si basa, principalmente sul tipo di movimento e secondariamente sulla tipologia dei materiali coinvolti. In relazione alla tipologia di movimento si distinguono 5 classi principali: crolli, ribaltamenti, scorrimenti (a loro volta suddivisi in traslativi e rotazionali), espandimenti e colate a cui si aggiungono le frane complesse. Ognuna di queste cinque classi è poi ulteriormente suddivisa, in funzione del tipo di materiale coinvolto nel fenomeno franoso (roccia, detrito e terra) in altre 3 sottoclassi per un totale di 18 tipi.

1) CROLLI (*falls*): un crollo si realizza attraverso il distacco e la conseguente caduta di una massa di materiale da un pendio molto ripido o da una scarpata. Il materiale discende in caduta libera in modo estremamente rapido fino a che non raggiunge il versante con movimenti di rimbalzo

o rotolamento per cui sono necessarie pendenze elevate. Il distacco di materiale si realizza quando la resistenza al taglio, lungo le superfici di frattura preesistenti, non è più in grado di controbilanciare i pesi dei blocchi delimitati dalle fratture stesse. I crolli possono realizzarsi in roccia, in detrito e meno frequentemente in terreni limoso sabbiosi parzialmente cementati. Sono caratterizzati da alta velocità e scarsi segni premonitori. Le cause determinanti del fenomeno sono molteplici si ricordano: lo scalzamento al piede dei versanti operato dai corsi d'acqua, dal moto ondoso in prossimità delle coste, dall'azione erosiva del vento ma anche dalle escursioni termiche, dalle sollecitazioni sismiche e dall'azione destabilizzante delle radici.

2) RIBALTAMENTI (*topples*): questo tipo di frane si generano quando si verifica la rotazione attorno ad un punto posto al di sotto del baricentro della massa interessata, di un blocco di roccia o di detrito sotto l'azione della forza di gravità, dovute alle pressioni esercitate dai blocchi di materiale adiacenti e dalla pressione dell'acqua presente nelle fratture. Se il materiale non è frenato da un ostacolo, la frana per ribaltamento può evolvere in una frana per crollo o per scorrimento. Inoltre crollo e ribaltamento si possono riconoscere solo durante la loro fase di moto iniziale. I ribaltamenti possono realizzarsi in roccia o più raramente in detrito. Le cause predisponenti sono di tipo strutturale, l'elevata acclività dei versanti e l'intensa fratturazione dei materiali coinvolti, mentre le cause determinanti sono da ricondurre all'azione erosiva dei fiumi posti alla base dei versanti, alle escursioni termiche, crioclastismo, alle modificazioni antropiche, ai movimenti sismici ed allo scalzamento alla base.

3) SCORRIMENTI (*slides*): Il movimento comporta lo spostamento, lungo una o più superfici di discontinuità preesistenti o di neoformazione o in corrispondenza di livelli meno competenti, di masse anche notevoli di rocce o terreni sciolti. Tale fenomeno risulta ulteriormente suddiviso in scorrimenti rotazionali (*rotational slides*) e scorrimenti traslazionali (*translational slides*). Negli scorrimenti rotazionali si verifica un movimento rotatorio attorno ad un punto esterno al versante ed al di sopra del baricentro della massa, in seguito al superamento delle resistenze al taglio dei materiali. La superficie di scorrimento, generalmente poco scabrosa, si presenta curva con la concavità rivolta verso l'alto. Alla superficie di scorrimento principale spesso sono associate superfici secondarie. Possono realizzarsi in terreno, in detrito e in rocce tenere e si verificano per progressiva rottura. Spesso la zona di testata per effetto della rotazione viene a trovarsi in contropendenza, in tal caso ed in presenza di litotipi impermeabili si raccolgono le acque superficiali, che formano dei ristagni di testa di frana di varia dimensione. Qui la massa ruotata tende a mantenersi compatta, invece nella porzione anteriore più instabile, generalmente si verificano sfttamenti più vistosi che possono produrre l'innescio di frane di una tipologia franosa diversa dalle precedenti (frana di colamento). Le cause determinanti sono miste. Influenti sono le pressioni dell'acqua e le loro

oscillazioni, la presenza di sovraccarichi, l'infiltrazione che produce l'innalzamento delle superfici piezometriche nelle sollecitazioni sismiche o negli appesantimenti ulteriori del versante causa variazioni di profilo in seguito ad interventi antropici. Negli scorrimenti traslazionali il movimento si verifica per scivolamento lungo superfici di discontinuità relativamente lisce e preesistenti quali fratture, faglie, superfici di strato, superfici di contatto tra strati con diverse proprietà geotecniche, inclinate nella stessa direzione del pendio. Possono realizzarsi in roccia, in terreno e in detrito. Le cause determinanti sono le acque di infiltrazione, che producono un decremento delle resistenze al contatto tra le superfici, o le sollecitazioni sismiche che, determinando incrementi degli sforzi di taglio avviano il movimento.

4) COLAMENTI (*flows*): questi processi presentano un'ampia gamma di caratteristiche e velocità variabili in funzione del tipo di terreno coinvolto. Si dividono in colamenti in roccia e in terra o in detriti e avvengono lungo superfici non visibili che si attivano durante lo scorrimento stesso. Quelli in roccia possono coinvolgere interi versanti, si determinano in seguito a movimenti plastici e differenziali in versanti stratificati con giaciture verticali o con pendenze elevate. Le velocità non sono alte ma possono aumentare in relazione ad incrementi del contenuto d'acqua, che rappresenta sempre la causa scatenante del fenomeno. I movimenti del substrato roccioso sono continui, simili a quelli di un fluido a elevata viscosità. Le colate di detrito sono caratterizzate da deformazioni plastiche, coinvolgono spessori variabili di terreno che si muove con velocità generalmente elevate, si innescano a seguito di piogge intense, e sono caratterizzati da contenuti d'acqua variabili; maggiore è il contenuto d'acqua, maggiore è la velocità della colata e minore sarà la densità del materiale. I terreni coinvolti possono essere cumuli di frane, coperture detritiche o eluviali e sedimenti argillosi, limosi ed arenacei. I colamenti lenti sono movimenti a bassa velocità, che coinvolgono terreni ad elevato contenuto argilloso e basso contenuto d'acqua, in versanti non molto ripidi. L'innescio di queste tipologie è da ricondurre alla saturazione dei terreni da parte dell'acqua, anche se non sono rari i casi di colate in terreni asciutti innescati da sollecitazioni sismiche.

5) ESPANDIMENTI LATERALI (*lateral spreads*): hanno prevalentemente componente orizzontale e si innescano quando i materiali a comportamento rigido sono sovrapposti a materiali a comportamento plastico. Lo spostamento avviene per deformazioni plastico-viscose o per liquefazione del materiale sottostante che causa la frammentazione in blocchi e la mobilitazione della roccia lapidea. Il movimento di espansione laterale si realizza mediante la formazione di fratture, di trazione, e di taglio. Il meccanismo di fratturazione è progressivo. La velocità del movimento non è elevata anche se aumenta in funzione della pendenza. Le evidenze di questo processo sul versante sono rappresentate da un corteo di blocchi sempre più scompaginati man mano che ci si sposta verso valle, cause determinanti sono da ricondurre o all'incremento delle pressioni interstiziali alla base del

litotipo a maggiore competenza nelle successioni plastiche o all'incremento del carico piezometrico nella roccia lapidea.

6) FRANE COMPLESSE (*complex*): nella quasi totalità dei casi i fenomeni franosi sono il risultato della combinazione di due o più tipi di movimenti di frane fondamentali tra i 5 descritti in precedenza, anche se generalmente uno dei fenomeni è predominante. Le associazioni più frequenti sono: scorrimento-colata, scorrimento-espansione laterale e crollo-colata.

Un'ulteriore suddivisione dei fenomeni franosi può essere fatta sulla base della profondità della superficie di scorrimento. Distinguiamo:

1. Frane Superficiali (*Shallow Landslide*), si tratta di frane che coinvolgono i primi 3-4 metri della porzione più superficiale di suolo quindi composte principalmente di materiali incoerenti o resi tali dall'effetto dell'acqua.
2. Frana Profonde (*Deep Landslides*), la cui superficie di scorrimento è ben più profonda e coinvolge masse anche considerevoli di roccia e sedimento.

Per quanto riguarda invece lo stato di attività, una frana è detta:

- **Attiva** se attualmente in movimento;
- **Quiescente** quando la frana è in uno stato di relativa quiete ma può riattivarsi se si ripropongono le cause che l'hanno originata;
- **naturalmente o artificialmente stabilizzata** se una frana attiva o quiescente è stata soggetta a processi di stabilizzazione o di origine antropica o naturali;
- **relitta**: frana inattiva che si è sviluppata in condizioni geomorfologiche o climatiche considerevolmente diverse dalle attuali.

3.2 Nomenclatura delle frane

In una frana è possibile distinguere: una zona o nicchia di distacco, dalla quale il materiale si allontana, una zona di scorrimento, nella quale il materiale mobilizzato si trova a quote inferiori rispetto a quelle dell'originaria superficie del versante, e una zona di accumulo, nella quale il materiale mobilizzato si trova a quote superiori rispetto a quelle della superficie originaria del versante. Il materiale mobilizzato rappresenta il materiale che si è mosso rispetto alla sua posizione originaria e si è deposto più a valle. Viene suddiviso in corpo principale e in piede della frana.

Nella zona di scorrimento si possono riconoscere (Fig. 3.1):

- **la corona o coronamento:** è costituita da materiale non mobilizzato, adiacente alle porzioni più elevate della scarpata principale;
- **la scarpata principale:** è la zona del versante da cui ha avuto origine il distacco del materiale;
- **la superficie di rottura:** è la superficie lungo la quale è avvenuto il movimento;

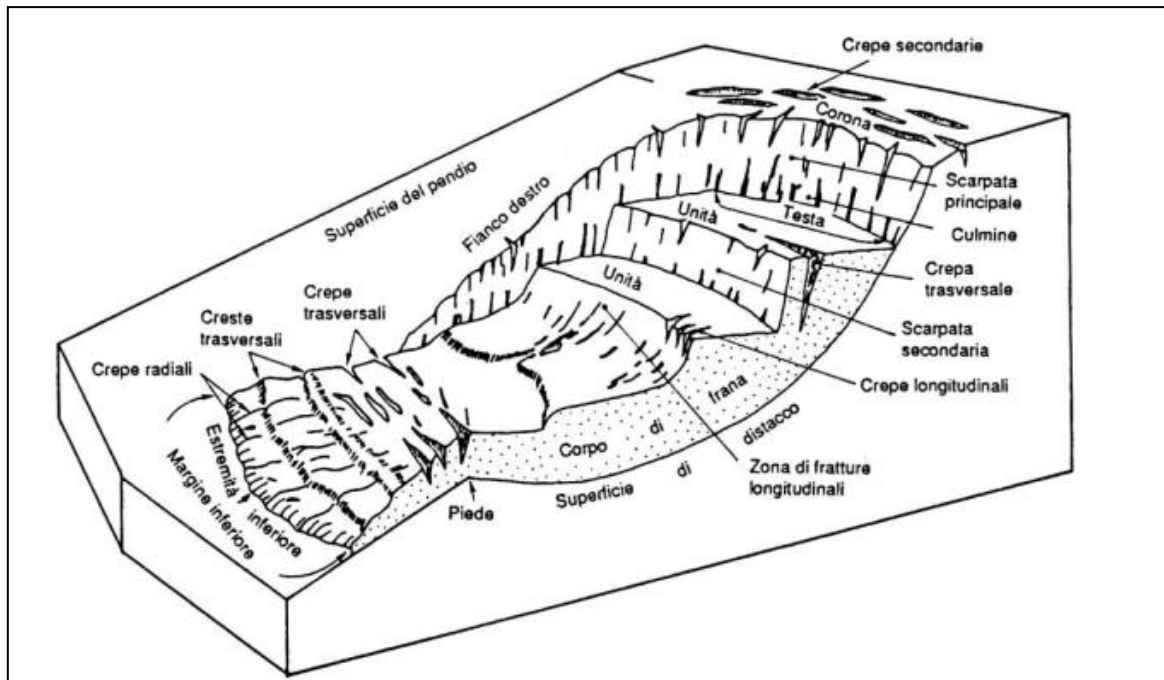


Fig. 3.1: Schema delle parti di una frana (Varnes, 1978)

- **il corpo principale:** è la porzione del corpo di frana che giace al di sopra della superficie di frattura ed è delimitata superiormente dalla scarpata principale e, inferiormente, dal piede della superficie di frattura.

Entro il corpo principale si possono distinguere:

- **la testata:** è la parte più alta della frana, al contatto con la scarpata principale;
- **le scarpate secondarie:** sono superfici ripide che interrompono la continuità del materiale franato;
- **le fratture longitudinali e/o trasversali:** sono indicative di movimenti relativi delle singole porzioni del corpo di frana.

Nella zona di accumulo si possono distinguere:

- **la superficie di separazione:** rappresenta la superficie lungo la quale si ha il contatto tra il materiale franato e quello sottostante, in posto;

- **il piede:** rappresenta la porzione del materiale dislocato che si è accumulata a valle del margine inferiore della superficie di rottura;
- **l'unghia:** margine inferiore, generalmente curvo, del materiale spostato dalla frana, situato alla maggior distanza dalla scarpata principale.

3.2 Mappe inventario

Le mappe inventario delle frane sono prodotti efficaci e comprensibili sia per gli esperti, come i geomorfologi, sia per i non esperti, inclusi i responsabili delle decisioni, i pianificatori e i responsabili della protezione civile. Le mappe inventario delle frane sono molto importanti per indagare la distribuzione, le tipologie, l'attività, la frequenza del verificarsi dei movimenti di massa in un territorio e per studiare l'evoluzione spazio-temporale dei paesaggi dominati dalle frane (Guzzetti et al., 2000; Guzzetti et al., 2012). Inoltre, un inventario delle frane costituisce una base essenziale per valutare la suscettibilità, la pericolosità e il rischio delle frane (Fell et al., 2008). L'affidabilità delle previsioni sulla distribuzione delle frane e l'efficacia delle misure di mitigazione dipendono in gran parte dalla completezza e dall'accuratezza delle banche dati disponibili sulle frane (Van Den Eackhaut & Hervàs, 2012).

Diversi studiosi hanno tentato di identificare e produrre mappe delle frane. A seconda dello scopo e delle risorse disponibili, le mappe inventario delle frane vengono compilate a diversa scala, da quella locale a quella nazionale, utilizzando una varietà di tecniche, tra cui l'interpretazione visiva di fotografie aeree stereoscopiche aiutata da indagini sul campo, le indagini ingegneristiche-geologiche dei versanti e l'esame degli archivi storici (Guzzetti, 2000). Viene spesso utilizzata una combinazione di queste tecniche. Questi metodi richiedono molto tempo e risorse, tecniche nuove ed emergenti basate su tecnologie di telerilevamento satellitari, aeree e terrestri, promettono di facilitare la produzione di mappe di frane, riducendo i tempi e le risorse necessarie per la loro compilazione.

Le mappe inventario delle frane sono preparate per diversi scopi tra i quali ci sono: l'ubicazione, l'abbondanza e il tipo di frane in una regione (Antonini et al., 1993; Cardinali et al., 2001; Antonini et al., 2002), gli effetti di eventi scatenanti di una singola frana dovuti ad un terremoto (Harp & Jibson, 1995; Harp & Jibson, 1996) ad un evento di pioggia intensa (Bucknam et al., 2001) o ad un evento di rapido scioglimento della neve (Cardinali et al., 2000), per mostrare l'abbondanza dei movimenti di massa (DeGraff, 1985; DeGraff & Canuti, 1988; Guzzetti, 2000) la determinazione delle statistiche delle aree franose e dei cedimenti dei pendii (Hovius et al., 1997; Hovius et al., 2000; Guzzetti et al.,

2002; Brardinoni et al., 2003; Guthrie & Evans, 2004a; Guthrie & Evans, 2004b; Malamud et al., 2004) e fornire informazioni rilevanti per costruire modelli di pericolosità delle frane (Soeters & Van Westen, 1996; Guzzetti et al., 1999; Chung & Fabbri, 1999; Chung & Fabbri 2003; Chung & Fabbri., 2005) e del rischio (Guzzetti et al., 2005; Guzzetti et al., 2006a; Guzzetti et al., 2006b).

Una mappa dell'inventario delle frane registra la posizione, la data e i tipi di movimenti di massa che hanno lasciato tracce riconoscibili in un'area (Pašek, 1975; Hansen, 1984a e 1984b; McCalpin, 1984; Wieczorek, 1984; Guzzetti., 2000). La selezione di una tecnica specifica, per la creazione di una mappa inventario dipende dallo scopo dell'inventario, dall'estensione dell'area di studio, dalla scala delle mappe di base, dalla risoluzione e dalle caratteristiche delle immagini disponibili (esempio: fotografie aeree, immagini satellitari, dati di elevazione LIDAR "Light Detection and Ranging"), dalle competenze e dall'esperienza degli studiosi e dalle risorse disponibili per completare l'opera (Guzzetti, 2000; Van Westen et al., 2006). Solitamente una singola mappa viene utilizzata per ritrarre tutti i diversi tipi di frane in un'area, ma è possibile preparare una serie di mappe, ogni mappa mostra un diverso tipo di informazione (Cardinali et al., 1990). I progressi nella tecnologia del sistema d'informazione geografica (GIS) hanno risolto il problema di mostrare più informazioni sulle frane nella stessa mappa.

Per preparare una mappa delle frane, è necessaria una legenda. La legenda deve raggiungere gli obiettivi del progetto, deve essere in grado di rappresentare le caratteristiche geomorfologiche rilevanti e deve essere compatibile con la tecnica utilizzata per acquisire le informazioni. Sfortunatamente, non esistono standard per la legenda di una mappa dell'inventario delle frane. Idealmente, la legenda dovrebbe essere preparata e concordata prima dell'inizio della mappatura delle frane. In pratica, la legenda viene spesso cambiata e raffinata durante il corso della mappatura delle frane. Le classi vengono aggiunte, eliminate, divise o unite per conformarsi alle impostazioni geomorfologiche locali, al tipo, all'abbondanza e al modello di frane, all'esperienza e alle preferenze dell'interprete e ai nuovi risultati.

In un inventario, i tipi di frane sono solitamente definiti secondo la classificazione di Varnes (1978) e Cruden & Varnes (1996), o una versione semplificata di queste classifiche di frane. Le frane sono classificate come profonde o poco profonde, a seconda del tipo di movimento e del volume stimato della frana. Dobbiamo ricordare che qualsiasi schema di classificazione delle frane adottato per la mappatura delle frane soffre di semplificazioni, richiede deduzioni geomorfologiche ed è soggettivo. Per limitare gli inconvenienti inerenti a qualsiasi classificazione, la categorizzazione e le mappe delle frane risultanti devono essere verificate sulla base di informazioni esterne sui tipi di frane e sui processi disponibili per l'area studiata (Guzzetti et al., 2005).

In base al tipo di mappatura, le mappe dell'inventario delle frane possono essere classificate come archivi o inventari geomorfologici (Guzzetti, 2000; Malamud et al., 2004). Un inventario d'archivio mostra informazioni sulle frane ottenute dalla letteratura o da altre fonti d'archivio (Taylor & Brabb, 1986; Reichenbach et al., 1998; Salvati et al., 2003; Salvati et al., 2009). Gli inventari geomorfologici possono essere ulteriormente classificati come inventari storici, eventi stagionali o multi-temporali. Un evento storico geomorfologico mostra gli effetti cumulativi di molti eventi franosi in un periodo di decine, centinaia o migliaia di anni (Brabb & Pampeyan, 1972; Antonini et al., 1993; Cardinali et al., 2001; Galli et al., 2008). In un inventario eventi la data delle frane corrisponde alla data (o al periodo) dell'evento di attivazione. Sfruttando più serie di immagini aeree o satellitari di date diverse, è possibile preparare inventari multi-temporali e stagionali (Guzzetti et al., 2004; Guzzetti et al., 2005; Galli et al., 2008; Fiorucci et al., 2011). Un inventario stagionale mostra movimenti franosi innescati da singoli o da più eventi durante una singola stagione, o alcune stagioni (Fiorucci et al., 2011), mentre gli inventari multi-temporali mostrano movimenti franosi innescati da più eventi su periodi più lunghi da anni a decenni (Galli et al., 2008). Nelle mappe inventario stagionali e multi-temporali la data o i periodi delle frane sono attribuiti in base alla data o ai periodi dell'innescio e alla data delle immagini o delle indagini sul campo effettuate per compilare gli inventari.

La qualità di un inventario delle frane dipende dalla sua accuratezza e dal tipo e dalla certezza delle informazioni mostrate nella mappa. Definire l'accuratezza di un inventario delle frane non è semplice e gli standard non esistono (Galli et al., 2008). L'accuratezza di un inventario dipende dalla completezza della mappa e dalla correttezza geografica e tematica delle informazioni visualizzate sulla mappa, dipende inoltre da più fattori tra cui: la scala, la data e la qualità delle fotografie aeree, o le caratteristiche delle immagini satellitari (ad esempio, distanza di campionamento a terra (GSD), risoluzione radiometrica, data, copertura nuvolosa), il tipo, la scala e la qualità della mappa di base utilizzata per mostrare le informazioni sulla frana, gli strumenti utilizzati per interpretare e analizzare le immagini, compresi gli stereoscopi e i dispositivi di visualizzazione 3D del computer, le abilità e l'esperienza degli interpreti (Carrara et al., 1992).

Le mappe inventario delle frane sono prodotte utilizzando metodi convenzionali e consolidati e nuove tecniche innovative. I metodi convenzionali includono: la mappatura geomorfologica sul campo (Brunsden, 1985) e l'interpretazione visiva delle fotografie aeree stereoscopiche (Rib & Liang, 1978; Brunsden, 1993; Turner et al., 1996). La mappa delle frane sul campo fa parte della mappatura geomorfologica standard (Brunsden, 1985), ma presenta dei limiti, perché le dimensioni della frana spesso sono troppo grandi per essere vista completamente sul campo,

o il punto di vista dello sperimentatore, è spesso inadeguato a vedere tutte le parti di una frana perché le vecchie frane sono spesso parzialmente o totalmente coperte da foreste, o sono state parzialmente smantellate da altre frane, o hanno subito processi di erosione e azioni umane, comprese le pratiche agricole e forestali. Nel campo, non è semplice identificare il confine di una frana la capacità di seguire con precisione un confine di frana nel campo è limitata dalla ridotta visibilità del cedimento della pendenza e dal fatto che il confine della frana è spesso indistinto o sfocato (Santangelo et al., 2010). Pertanto, è preferibile avere una prospettiva di visione lontana della frana e potrà così risultare una mappatura delle frane più accurata e completa. Quasi vent'anni dopo, e nonostante una significativa innovazione tecnologica, in molti casi l'interpretazione delle fotografie aeree rimane il metodo più comune per riconoscere le frane e preparare le mappe delle frane. Un geomorfologo addestrato può facilmente riconoscere e mappare le frane sulle fotografie aeree. Il riconoscimento delle frane attraverso l'analisi visiva di fotografie aeree stereoscopiche è una tecnica empirica e incerta che richiede esperienza, formazione, una metodologia sistematica e criteri d'interpretazione ben definiti (Speight, 1977; Rib & Liang, 1978; Van Zuidam, 1985; Antonini et al., 2002). Gli standard non esistono e l'interprete rileva e classifica le forme morfologiche delle frane in base all'esperienza e all'analisi di un insieme di caratteristiche che possono essere identificate sulle immagini. Questi includono forma, dimensione, colore fotografico, tono, topografia del sito, impostazione ecc. A causa della grande variabilità dei fenomeni di frana (Cruden & Varnes, 1996), non tutte le frane sono chiaramente e facilmente riconoscibili sul campo, dalle fotografie aeree o dalle immagini satellitari. Quando si utilizzano fotografie aeree, l'accuratezza di un inventario dipende anche dal tipo, dalla qualità e dalle caratteristiche degli stereoscopi utilizzati per completare l'inventario. Gli studiosi delle frane raramente considerano questo problema. In generale, migliori stereoscopi si traducono in inventari di qualità superiore.

Oltre ai metodi standard, i geomorfologi stanno utilizzando nuovi metodi e tecnologie per aiutare a rilevare e mappare le frane su vaste aree, che possono essere raggruppati in tre categorie principali: (1) analisi della morfologia della superficie, sfruttando principalmente modelli di elevazione digitale ad altissima risoluzione (DEM), (2) interpretazione e analisi di immagini satellitari, comprese le immagini radar ad apertura pancromatica, multispettrale e sintetica (SAR) e (3) l'uso di nuovi strumenti per facilitare la mappatura dei campi.

1. La recente disponibilità di DEM (Modello Digitale di Elevazione del Terreno) ad altissima risoluzione ottenuti da profilo laser aerotrasportati e sensori LIDAR ha fornito ai geomorfologi opportunità senza precedenti di rilevare e mappare frane e relativi processi superficiali. Airbone LIDAR (Light Detection and Ranging) è una consolidata tecnica di telerilevamento utilizzata

per ottenere rappresentazioni digitali della superficie topografica per aree che vanno da pochi ettari a migliaia di chilometri quadrati (Shan & Toth, 2009). La tecnica utilizza un sensore laser montato su un aereo o un elicottero per misurare la distanza dallo strumento e più punti sulla superficie topografica (è possibile misurare più di 100 punti per metro quadrato a seconda delle caratteristiche del sensore, dell'altezza e della velocità del volo e della geometria del terreno), (Razak et al., 2011). La posizione geografica dello strumento aerotrasportato viene ricostruita con precisione utilizzando il GPS (Global Positioning System) e le informazioni di navigazione del volo, per ottenere rappresentazioni digitali della superficie topografica con minuziosa precisione. In un'area boschiva, il LIDAR può penetrare nel sottobosco, fornendo descrizioni quantitative della superficie topografica con dettagli ineguagliabili (Slatton et al., 2007). Questa capacità si rivela particolarmente importante per rilevare e mappare le frane nelle aree boschive (Haugerud et al., 2003; Schulz, 2007; Van Den Eeckhaut et al., 2007; Booth et al., 2009; Razak et al., 2011), con un vantaggio competitivo rispetto ad altri metodi basati sull'interpretazione visiva e l'analisi di immagini ottiche aeree o satellitari che non penetrano nel sottobosco.

2. L'uso della tecnologia satellitare per riconoscere e mappare le frane risale agli anni '70, quando le immagini ottiche catturate dai sensori satellitari divennero disponibili. I primi studiosi hanno utilizzato immagini Landsat e SPOT per il rilevamento delle frane (Gagnon, 1975; McDonald & Grubbs, 1975; Sauchyn & Trench, 1978; Stephens et al., 1988; Scanvic & Girault, 1989; Scanvic et al., 1990; Vargas, 1992). Nell'ultimo decennio, l'uso dei dati e delle tecnologie satellitari per le indagini sulle frane è aumentato in modo significativo, principalmente a causa della maggiore disponibilità di sensori ad alta risoluzione (HR) e ad altissima risoluzione, nonché dei miglioramenti nell'hardware e nel software per l'elaborazione, la visualizzazione e l'analisi delle immagini satellitari. Gli investigatori utilizzano immagini catturate da sensori satellitari passivi (ottici) e attivi (radar). Le immagini catturate dai sensori Radar ad apertura sintetica (SAR) vengono utilizzate principalmente per rilevare e monitorare la deformazione della superficie topografica prodotta da frane a lento movimento (Ferretti et al., 2000; Berardino et al., 2002; Mora et al., 2003; Cascini et al., 2009; Guzzetti et al., 2009; Cascini et al., 2010). Tuttavia, esistono esempi dell'uso di dati SAR per il rilevamento e la mappature di frane singole, grandi e ripide. I geomorfologi sfruttano le immagini scattate dai sensori radar ad apertura sintetica (SAR) principalmente per misurare le deformazioni superficiali, e per costruire serie temporali di deformazioni superficiali, in singoli punti (Canuti et al., 2004; Cascini et al., 2009; Guzzetti et al., 2009). Allo scopo, utilizzano l'interferometria radar ad apertura sintetica differenziale (DINSAR), una tecnica di telerilevamento a microonde in grado di rilevare gli spostamenti superficiali su grandi aree, con precisione dal centimetro al millimetro (Gabriel et al., 1989).

3. Negli ultimi decenni, sono emerse diverse tecnologie per aiutare i geomorfologi nella mappatura delle frane sul campo. Probabilmente, la tecnologia più preziosa è il GPS satellitare, che ha rivoluzionato il modo in cui viene condotto il lavoro geomorfologico sul campo. Il GPS consente la rapida localizzazione delle caratteristiche sulla superficie topografica con semplicità senza precedenti, e con precisione che spesso supera le esigenze di mappatura delle frane (Malamud et al., 2004; Fiorucci et al., 2011). Oltre al GPS, la disponibilità di fotocamere digitali a basso costo, affidabili e di alta qualità ha ampiamente semplificato la documentazione delle frane sul campo. Le nuove fotocamere digitali offrono funzionalità GPS integrate che consentono l'immediata posizione geografica delle fotografie. I misuratori di distanza laser possono essere utilizzati per misurare distanze fino a diverse centinaia di metri sul campo. Le bussole digitali sostituiscono le bussole tradizionali. Tablet PC, incluse le versioni robuste specifiche per il lavoro sul campo, i computer palmari e altri dispositivi portatili stanno facilitando l'acquisizione di informazioni e l'uso dei dati sul campo. I miglioramenti nella tecnologia GIS facilitano anche la mappatura delle frane. Il moderno software GIS (incluso il software open source) può elaborare le informazioni geografiche acquisite dal GPS e da altri dispositivi sul campo, può localizzare e archiviare le immagini scattate dalle fotocamere digitali e può fornire una ricchezza di informazioni geografiche e tematiche utili per il riconoscimento e la mappatura delle frane.

Per molteplici motivi, il numero d'interpreti d'immagini sta diminuendo rapidamente. Gli istituti di istruzione e ricerca non stanno insegnando a sufficienza questa abilità fondamentale, ed è difficile ottenere un'adeguata formazione nel rilevamento e nella mappatura delle frane attraverso l'interpretazione visiva delle immagini (principalmente fotografia aerea stereoscopica). Si tratta di un serio ostacolo alla produzione sistematica di mappe di frane di alta qualità, che ostacola la nostra capacità di convalidare pienamente i nuovi metodi per la mappatura delle frane.

Nonostante la loro importanza, le mappe delle frane rimangono sorprendentemente rare (Brabb & Harrod, 1989; Nadim et al., 2006). Si pensa che ciò sia dovuto principalmente alle difficoltà e alle incertezze inerenti alla preparazione degli inventari delle frane. Perché nonostante sono utili, in quanto riescono a far vedere nel tempo l'avvenuta l'evoluzione di una frana, il loro limite sta nel fatto che vengono preparate da diversi studiosi, con differenti competenze ed esperienze e possono portare a diversi risultati, quindi ad un'interpretazione soggettiva e non oggettiva. C'è comunque una chiara necessità di nuove mappe inventario delle frane, tra cui mappe geomorfologiche, d'eventi, stagionali e multi-temporali e l'uso di metodi di mappatura nuovi ed emergenti, basati principalmente su tecnologie di telerilevamento satellitare, aereo e terrestre, possono facilitarne notevolmente la produzione e l'aggiornamento.

CAPITOLO 4: CENSIMENTO DEI FENOMENI FRANOSI CHE INTERESSANO LA TANGENZIALE EST DEL COMUNE DI STEFANACONI

4.1 I fenomeni franosi lungo la Tangenziale Est

La Tangenziale Est di Vibo Valentia, si colloca come una delle eterne opere incompiute della provincia di Vibo Valentia. Essa avrebbe dovuto collegare lo svincolo autostradale di Sant’Onofrio con la zona sud della città per bypassare il traffico del centro abitato, ma nonostante i circa 7 milioni di euro spesi non è mai entrata in funzione.

La prima progettazione risale al 1985, l’avvio della realizzazione della strada risale invece al 1998. I lavori si bloccarono quando lungo il costone che rasenta la strada, in seguito alle opere di sbancamento, si innescarono una serie di frane che minacciarono più volte le auto in transito lungo la costruendo tangenziale. Una prima volta il crollo di un grosso masso evitò di poco danni a un’auto e passeggeri; in un’altra occasione una frana investe un’automobile ferendo, non gravemente, alcuni degli occupanti. Quest’ultima fatalità ha portato alla chiusura totale dell’arteria stradale e al sequestro dei cantieri, tutt’ora in corso.

Come già detto il tracciato stradale è situato alla base di una ripida scarpata di faglia (Ietto et al., 2003; Ietto & Bernasconi, 2005) che raccorda la superficie terrazzata su cui è costruito l’abitato di Vibo Valentia con il pianoro su cui si trova l’abitato di Stefanaconi.

L’area, per le caratteristiche geologiche dei terreni e per la presenza di una faglia attiva (ITHACA, 2020) era già sede di fenomeni franosi (Conforti & Ietto, 2018). La cartografia PAI (2001) evidenzia che la scarpata in oggetto ricade in una zona franosa profonda (ZFP) attiva con alcune frane da scorrimento rotazionale e complesse sempre attive. Alcuni movimenti franosi lambiscono il centro abitato di Stefanaconi, ubicato poco a sud del costone di faglia.

I lavori di sbancamento, eseguiti per la costruzione della strada, hanno riattivato e/o innescato una serie di frane, prevalentemente superficiali, lungo tale scarpata (Conforti & Ietto, 2018) e a ridosso della strada. In Fig. 4.1 sono riportate alcuni esempi di frane che si sono sviluppate lungo la strada in conseguenza agli interventi di sbancamento per la sua realizzazione.

In seguito all’innescarsi di tali fenomeni, in alcuni tratti, sono stati eseguiti interventi di consolidamento e messa in sicurezza della strada: paratie, muri di sostegno, reti metalliche (Fig. 4.2).

I tratti non interessati dagli interventi hanno continuato a dare problemi di instabilità e portato poi all'attuale chiusura definitiva della strada.

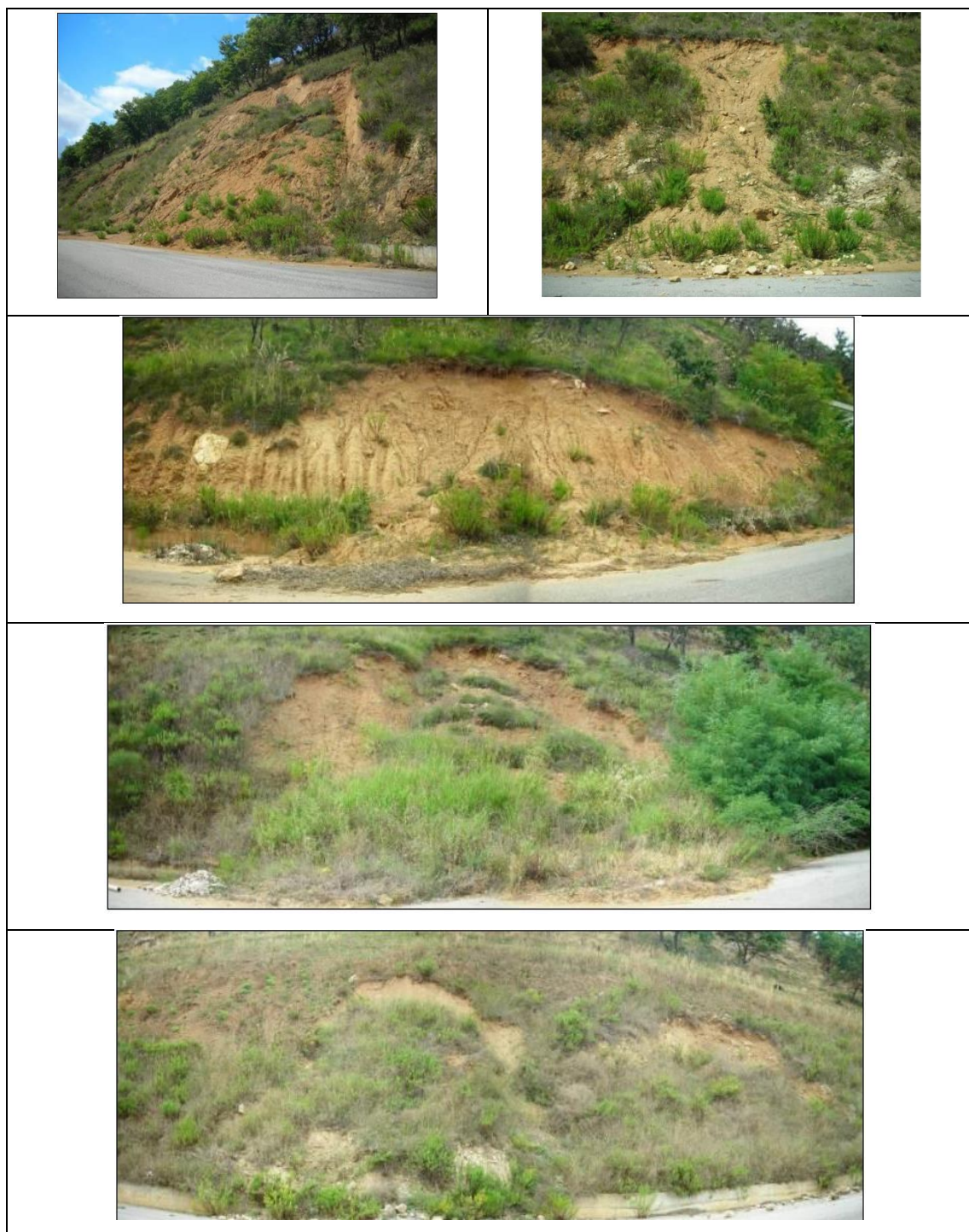


Fig. 4.1: Esempi di frane superficiali lungo la Tangenziale Est attivate in conseguenza dei lavori di costruzione



Fig. 4.2: interventi di messa in sicurezza

Attualmente pare siano stati stanziati ulteriori 8 milioni di euro per la messa in sicurezza del costone che sovrasta la Tangenziale Est, il progetto di consolidamento, prevede l'installazione nel terreno di pali di fondazione lunghi 12 metri a sostegno di un muro di contenimento che si svilupperà lungo il terrapieno. Inoltre, è prevista la stabilizzazione e la protezione delle scarpate contro l'erosione attraverso l'installazione di particolari reti in polipropilene, nonché il rivestimento delle porzioni di roccia affioranti con gabbie metalliche. Ulteriori interventi prevedono l'utilizzo di pannelli isolanti, barriere di sicurezza e piantumazione di alberi e arbusti autoctoni.

4.2 Censimento dei fenomeni franosi lungo la Tangenziale Est e analisi dei dati

Per poter effettuare il censimento dei fenomeni franosi presenti nell'area di studio è stata avviata l'analisi foto-interpretativa, evidenziando la distribuzione spaziale e temporale dell'evoluzione delle frane, avvenute pre e post costruzione stradale. In particolare sono state prodotte delle Mappe Inventario delle frane, prima della strada (pre evento) consultando il censimento inserito nella pubblicazione Conforti & Ietto 2018, mentre (post-evento) per le frane avvenute dopo la costruzione della strada sono state consultate le foto aeree per gli anni 2006 e 2012, i servizi **WMS** (*Web Map Service*) del Ministero dell'Ambiente (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/>), e per gli anni 2007, 2010, 2014, 2016 e 2021 le immagini satellitari utilizzando il software open source Google Earth Pro (versione 7.3.4.8248). Ogni frana è stata poi classificata secondo lo schema proposto da Cruden & Varnes (1996).

Nello specifico, dai dati studiati e analizzati, consultando il censimento inserito nella pubblicazione Conforti & Ietto, 2018 e dall'analisi degli elaborati PAI Calabria è stato possibile produrre, con l'ausilio di un sistema software Quantum Gis, attraverso la digitalizzazione delle frane presenti, la “**Carta inventario delle frane pre costruzione**” (Fig. 4.3), da cui si evince un totale di 24 frane presenti sul territorio. In questa carta inventario i fenomeni franosi sono stati catalogati con diversi colori in funzione del tipo di movimento. L'analisi mostra (Tab. 4.1) che le frane presenti occupano un'estensione pari a 549040,895 m². I movimenti di frana osservati comprendono le seguenti tipologie (Tab. 4.2): n° 8 frane complesse profonde, n° 1 frana complessa superficiale, n° 1 crollo profondo, n° 10 scorrimenti rotazionali profondi e 4 scorrimenti rotazionali superficiali. Complessivamente risulta che l'area in dissesto è coperta per il 49,09% da frane complesse profonde, per 1,53% da frane complesse superficiali, per il 41,43% da scorrimenti rotazionali profondi, per il 5,41% da scorrimenti rotazionali superficiali e per il 2,54% da crolli profondi.

Riguardo invece i fenomeni franosi, che si sono innescati post-costruzione della strada della Tangenziale Est, sono state consultate, analizzate e foto-interpretate per gli anni 2006 e 2012 le foto aeree ottenute tramite i servizi **WMS** (*Web Map service*) del Ministero dell'Ambiente (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/>), mentre per gli anni 2007, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2021 le immagini satellitari, utilizzando il software open source Google Earth Pro (versione 7.3.4.8248) per ogni annata di foto analizzata è stata prodotta la relativa “**Carta inventario delle frane post costruzione**” catalogando le frane in funzione del tipo di movimento.

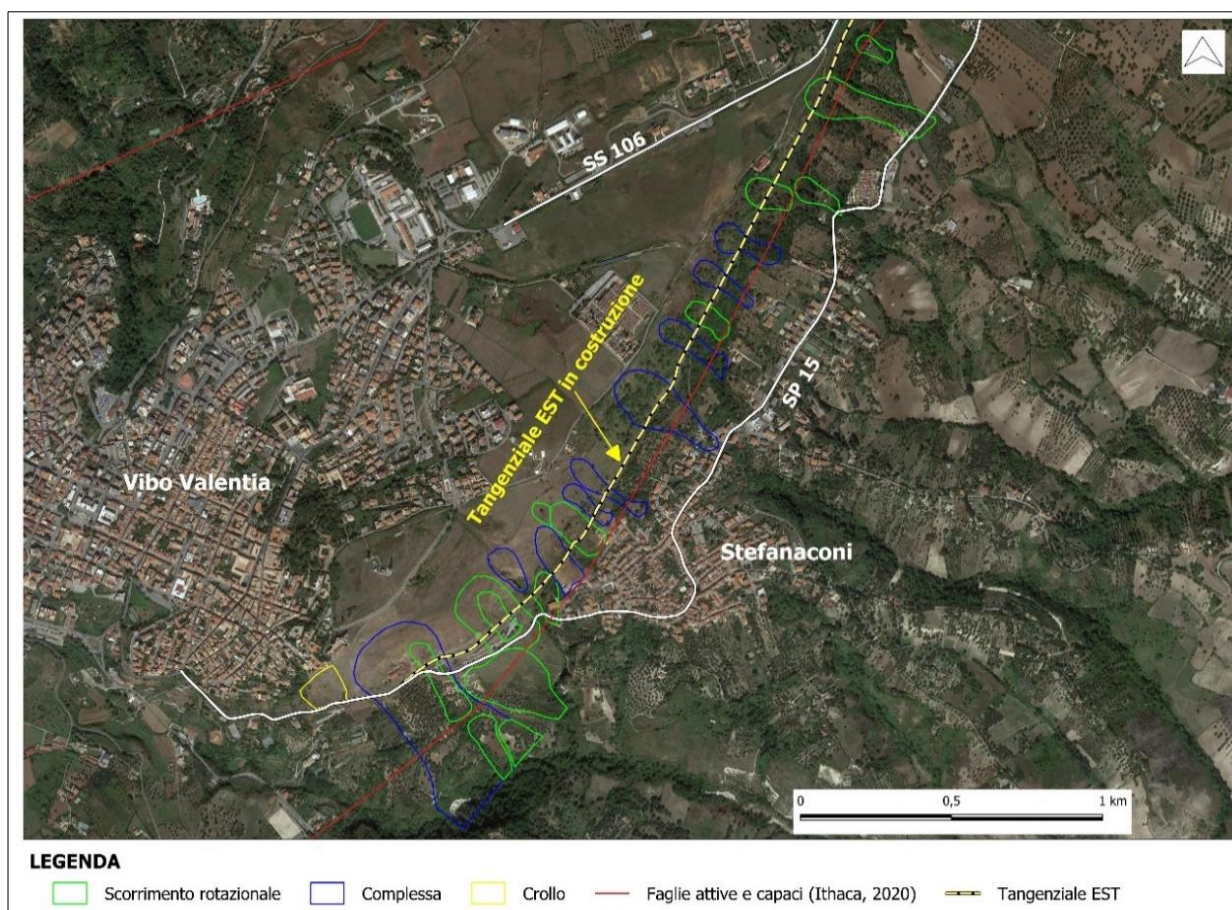


Fig. 4.3: Carta inventario frane pre costruzione (da Conforti & Ietto, 2018)

Tab. 4.1 – Tipologia di movimento e relativa area per le frane pre costruzione

id	Tipologia di movimento		area m ²	id	Tipologia di movimento		area m ²
2	Complessa	Profondo	143262,627	5	Scorrimento	Profondo	11319,825
9	Complessa	Profondo	11029,768	6	Scorrimento	Profondo	47545,311
11	Complessa	Profondo	18040,182	7	Scorrimento	Superficiale	11727,635
14	Complessa	Superficiale	8380,163	8	Scorrimento	Profondo	45277,037
15	Complessa	Profondo	12803,135	10	Scorrimento	Profondo	10129,447
16	Complessa	Profondo	42992,163	12	Scorrimento	Superficiale	3294,917
17	Complessa	Profondo	15492,503	13	Scorrimento	Profondo	18478,906
19	Complessa	Profondo	11365,575	18	Scorrimento	Profondo	9750,765
20	Complessa	Profondo	14530,283	21	Scorrimento	Profondo	12469,392
1	Crollo	Profondo	13945,736	22	Scorrimento	Superficiale	9023,068
3	Scorrimento	Profondo	18726,994	23	Scorrimento	Profondo	39000,704
4	Scorrimento	Profondo	14784,572	24	Scorrimento	Superficiale	5670,187
							tot 549040,895

Tab. 4.2 – area in frana pre costruzione per tipologia di movimento

Tipologia di movimento		n°	area m ²	area%
Complessa	Profondo	8	269516,236	49,08855
Complessa	Superficiale	1	8380,163	1,526328
Crollo	Profondo	1	13945,736	2,540018
Scorrimento	Profondo	10	227482,953	41,43279
Scorrimento	Superficiale	4	29715,807	5,412
tot			549040,895	100

I fenomeni di instabilità riconosciuti dall'esame dell'ortofotopiano del 2006, ha consentito di mettere a punto la “**Carta inventario delle frane post costruzione – 2006**” (Fig. 4.4). Sono state censite un totale di 7 frane per un'estensione pari a 19046,65 m² (Tab. 4.3), i movimenti franosi comprendono le seguenti tipologie: 6 scorrimenti rotazionali superficiali e 1 scorrimento rotazionale profondo. Risulta complessivamente che l'area in dissesto nell'anno 2006 era caratterizzata per il 36,21% da scorrimenti rotazionali superficiali, mentre per il 63,79% da scorrimenti rotazionali profondi.

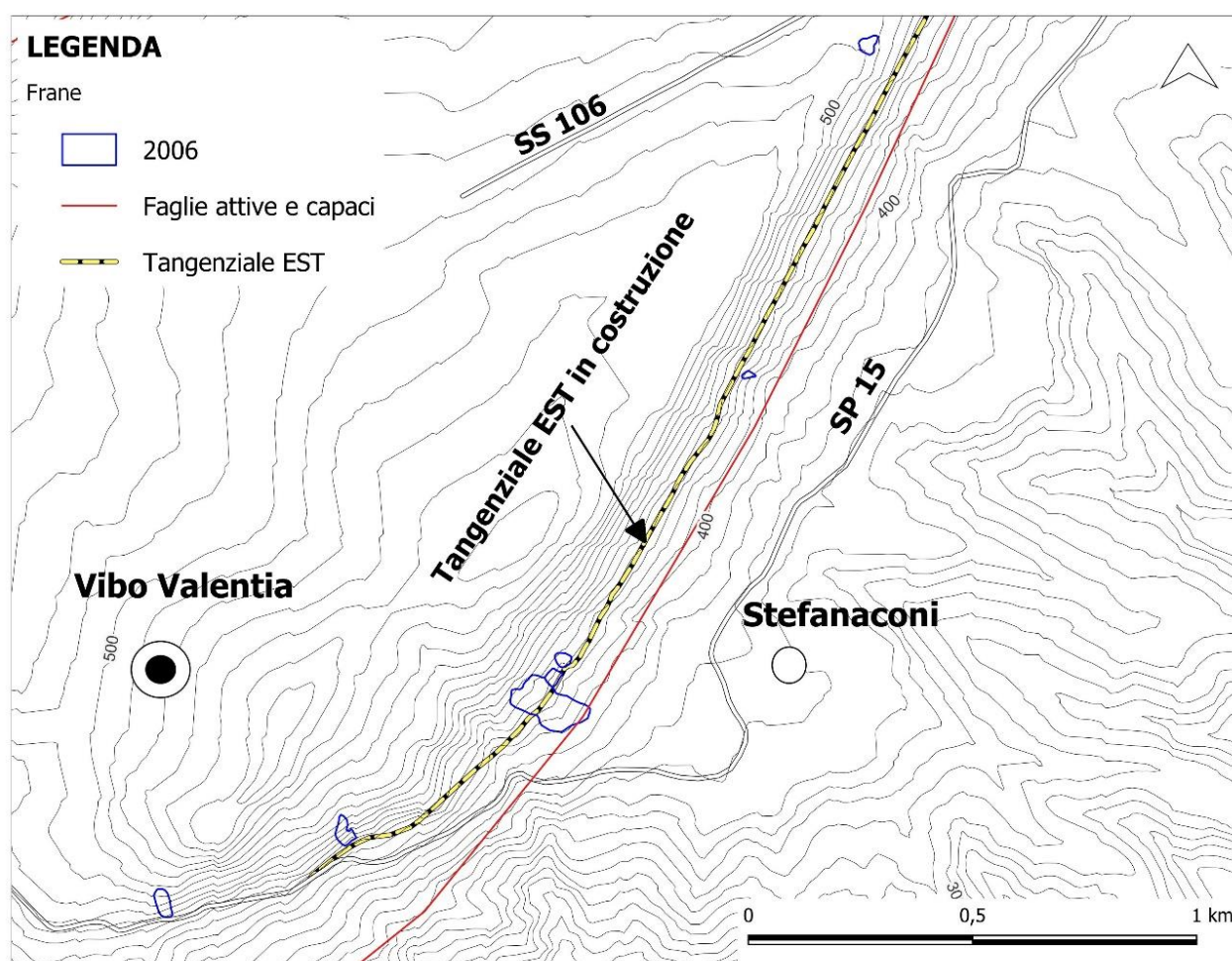


Fig. 4.4: Carta inventario frane post costruzione - 2006

Tab. 4.3 – totale aree in frana post costruzione 2006

id	Tipologia di movimento		area m ²	area %
1	Scorrimento	Superficiale	1779,18	9,34
2	Scorrimento	Superficiale	1746,84	9,17
3	Scorrimento	Superficiale	321,94	1,69
4	Scorrimento	Superficiale	1200,45	6,30
5	Scorrimento	Profondo	12149,13	63,79
6	Scorrimento	Superficiale	947,01	4,97
7	Scorrimento	Superficiale	902,10	4,74
tot			19046,65	100

Dall'analisi delle foto 2007 è stata derivata la “**Carta inventario delle frane post costruzione - 2007**” (Fig. 4.5), da cui risultano un totale di 10 frane di tipo scorrimento rotazionale superficiale che occupano un'estensione pari a 8285,12 m² (Tab. 4.4).

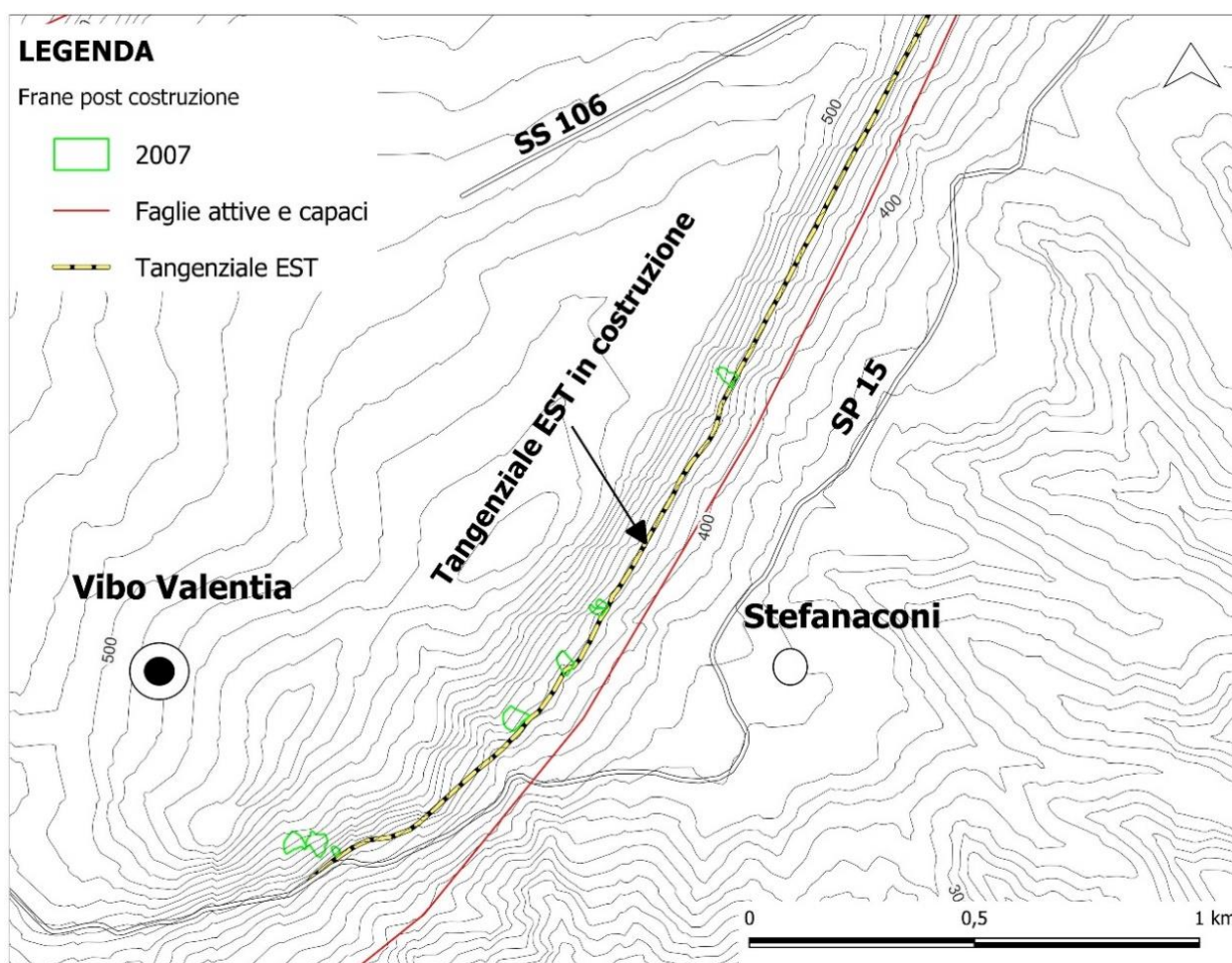


Fig. 4.5: Carta inventario frane post costruzione - 2007

Tab.4.4 – totale aree in frana post costruzione 2007

id	Tipologia di movimento		area m ²	area %
1	Scorrimento	Superficiale	1475,10	17,80
2	Scorrimento	Superficiale	1679,31	20,27
3	Scorrimento	Superficiale	249,87	3,02
4	Scorrimento	Superficiale	1911,60	23,07
7	Scorrimento	Superficiale	1225,37	14,79
8	Scorrimento	Superficiale	412,08	4,97
9	Scorrimento	Superficiale	338,95	4,09
10	Scorrimento	Superficiale	992,85	11,98
tot			8285,12	100

Dall'analisi delle foto storiche di Google Earth è stata derivata la “**Carta inventario delle frane post costruzione - 2010**” (Fig. 4.6). Sono state mappate 13 frane con un'estensione totale pari a 18300,36 m² (Tab. 4.5). I movimenti franosi comprendono le seguenti tipologie: 11 scorrimenti rotazionali superficiali (41,79%), 1 frana complessa superficiale (8,63%) e 1 frana complessa profonda (44.65%).

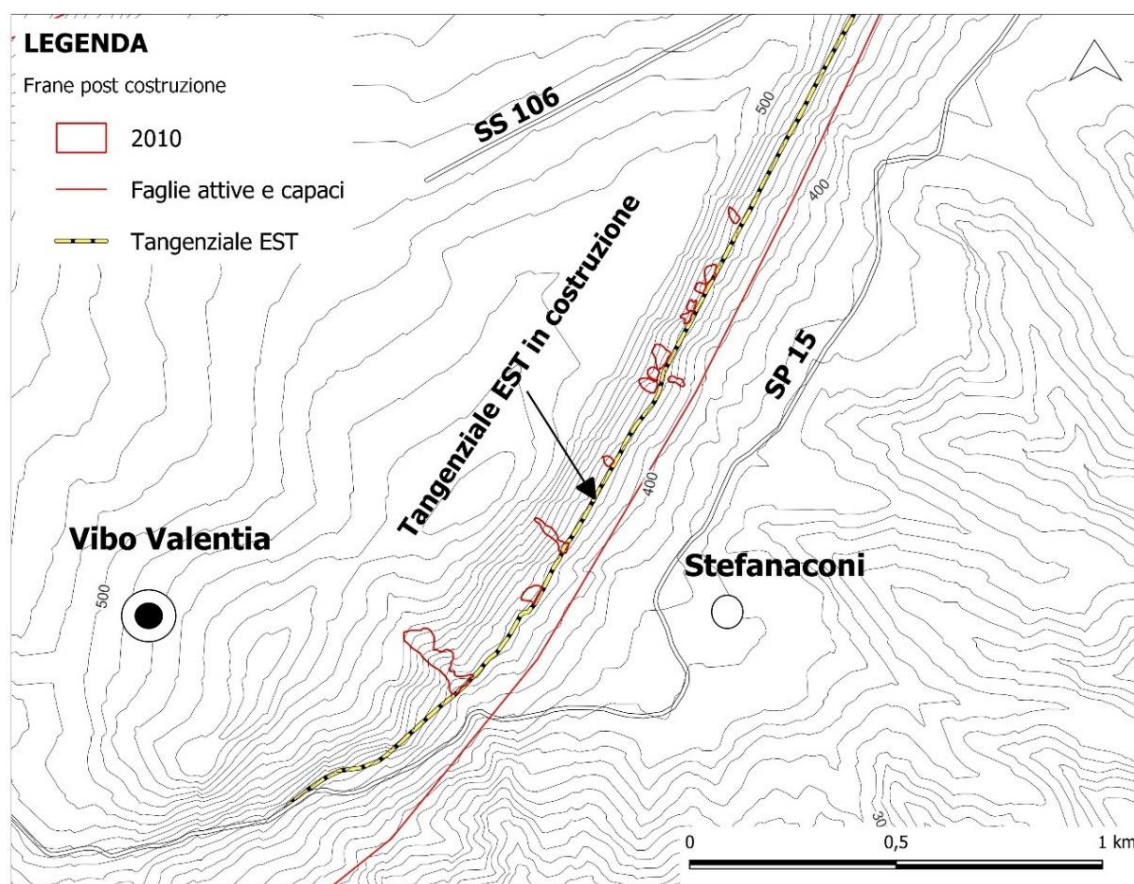


Fig. 4.6: Carta inventario frane post costruzione - 2010

Tab.4.5 – totale frane post costruzione 2010

id	Tipologia di movimento		area m ²	area %
1	Complessa	Profonda	8171,14	44,65
3	Complessa	Superficiale	1579,28	8,63
2	Scorrimento	Superficiale	1339,12	7,32
4	Scorrimento	Superficiale	437,17	2,39
5	Scorrimento	Superficiale	1101,69	6,02
6	Scorrimento	Superficiale	625,24	3,42
7	Scorrimento	Superficiale	516,57	2,82
8	Scorrimento	Superficiale	1613,68	8,82
9	Scorrimento	Superficiale	481,63	2,63
10	Scorrimento	Superficiale	425,75	2,33
11	Scorrimento	Superficiale	492,47	2,69
12	Scorrimento	Superficiale	903,39	4,94
13	Scorrimento	Superficiale	613,24	3,35
tot			18300,36	100,00

Dall'analisi della la “**Carta inventario delle frane post costruzione - 2012**” (Fig. 4.7), risultano un totale di 44 frane. Occupano un'estensione totale pari a 27020,06 m² (Tab. 4.6).

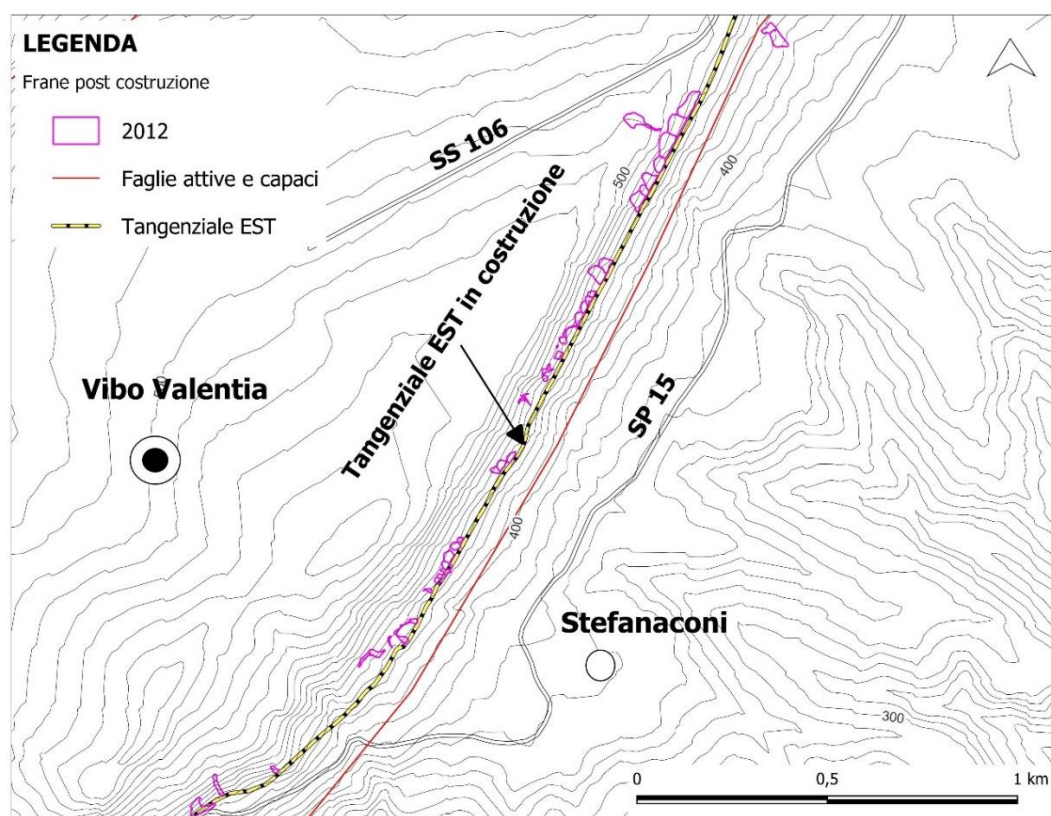


Fig. 4.7: Carta inventario frane post costruzione - 2012

I movimenti franosi comprendono le seguenti tipologie: 43 scorrimenti rotazionali superficiali, 1 frana complessa superficiale. Complessivamente risulta che l'area in dissesto per l'anno 2012 è caratterizzata da scorrimenti rotazionali superficiali per il 94,05% e per il 5,93% da frane complesse superficiali. Dalle annotazioni riportate nella tabella, riscontriamo che alcuni scorrimenti rotazionali superficiali (id = 4, 5, 6 e 21) sono movimenti retrogressivi della scarpata di alcune frane del 2007 (rispettivamente id = 5, 6, 7, e 10) e altre (id = 7, 20, 22, 23, 25 e 27) del 2010 (rispettivamente id = 2, 8, 9, 10, 11, 12). L'analisi geomorfologica suggerisce che queste frane rappresentano una riattivazione delle frane precedentemente mappate.

È stata, infine, prodotta, un'unica **“Carta inventario delle frane post costruzione - 2014/2016/2021”** (Fig. 4.8). Dall'analisi della carta risultano un totale di 2 frane per l'anno 2014 che occupano un'estensione pari a 2613,96 m² (Tab. 4.7) e presentano entrambe cinematismi di tipo scorrimento rotazionale con ridotti spessori. In particolare, la frana del 2014 più estesa è risultata essere quella indicata con id n° 2 (Tab. 4.7) che copre un'area del 92,42%.

Per l'anno 2016 sono state invece censite un totale di 7 frane che vanno ad occupare un'estensione areale pari a 1788,89 m² (Tab. 4.8). I cinematismi dei movimenti franosi riconosciuti sono esclusivamente di tipo: scorrimenti rotazionali superficiali. Tra questi, il fenomeno di dissesto che presenta la maggiore estensione areale è risultato essere quello indicato con id n° 1 che copre un'area del 56,91% (Tab. 4.8).

Infine, dallo studio eseguito sono risultate 9 frane presenti nel 2021 che occupano un'estensione pari a 2138,46 m² (Tab. 4.9). Tali movimenti presentano tutti un cinematismo di tipo 9 scorrimento rotazionale superficiale. Tra questi, la maggiore estensione superficiale è rappresentata dalle frane indicate id 2, 7 e 9 che ricoprono rispettivamente un'area del 34,27%, 17,77% e 14,04% (Tab. 4.9).

Tab.4.6 – totale frane post costruzione 2012

id	Tipologia di movimento		annotazioni	area m ²	area %
1	Scorrimento	Superficiale		1415,18	5,24
2	Scorrimento	Superficiale		528,45	1,96
3	Scorrimento	Superficiale		211,42	0,78
4	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 5 del 2007	307,34	1,14
5	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 6 del 2007	473,20	1,75
6	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 7 del 2007	427,13	1,58
7	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 2 del 2010	143,84	0,53
8	Scorrimento	Superficiale		203,59	0,75
9	Scorrimento	Superficiale		130,39	0,48
10	Scorrimento	Superficiale		227,68	0,84
11	Scorrimento	Superficiale		203,48	0,75
12	Scorrimento	Superficiale		234,50	0,87
13	Scorrimento	Superficiale		427,13	1,58
14	Scorrimento	Superficiale		623,98	2,31
15	Scorrimento	Superficiale		411,05	1,52
16	Scorrimento	Superficiale		154,77	0,57
17	Scorrimento	Superficiale		292,95	1,08
18	Scorrimento	Superficiale		471,11	1,74
19	Scorrimento	Superficiale		371,10	1,37
20	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 8 del 2010	136,70	0,51
21	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 10 del 2007	69,69	0,26
22	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 9 del 2010	350,62	1,30
23	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 10 del 2010	124,83	0,46
24	Scorrimento	Superficiale		293,36	1,09
25	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 11 del 2010	16,95	0,06
26	Scorrimento	Superficiale		293,45	1,09
27	Scorrimento	Superficiale	movimento retrogressivo della frana 12 del 2010	168,88	0,62
28	Scorrimento	Superficiale		452,44	1,67
29	Scorrimento	Superficiale		411,19	1,52
30	Scorrimento	Superficiale		283,17	1,05
31	Scorrimento	Superficiale		247,37	0,92
32	Scorrimento	Superficiale		1342,49	4,97
33	Scorrimento	Superficiale		857,67	3,17
34	Scorrimento	Superficiale		1210,46	4,48
35	Scorrimento	Superficiale		490,76	1,82
36	Scorrimento	Superficiale		1045,65	3,87
37	Scorrimento	Superficiale		940,47	3,48
38	Scorrimento	Superficiale		2023,92	7,49
39	Complessa	Superficiale		1603,19	5,93
40	Scorrimento	Superficiale		1961,72	7,26
41	Scorrimento	Superficiale		2043,13	7,56
42	Scorrimento	Superficiale		1305,53	4,83
43	Scorrimento	Superficiale		603,59	2,23
44	Scorrimento	Superficiale		1484,54	5,49
tot				27020,06	100

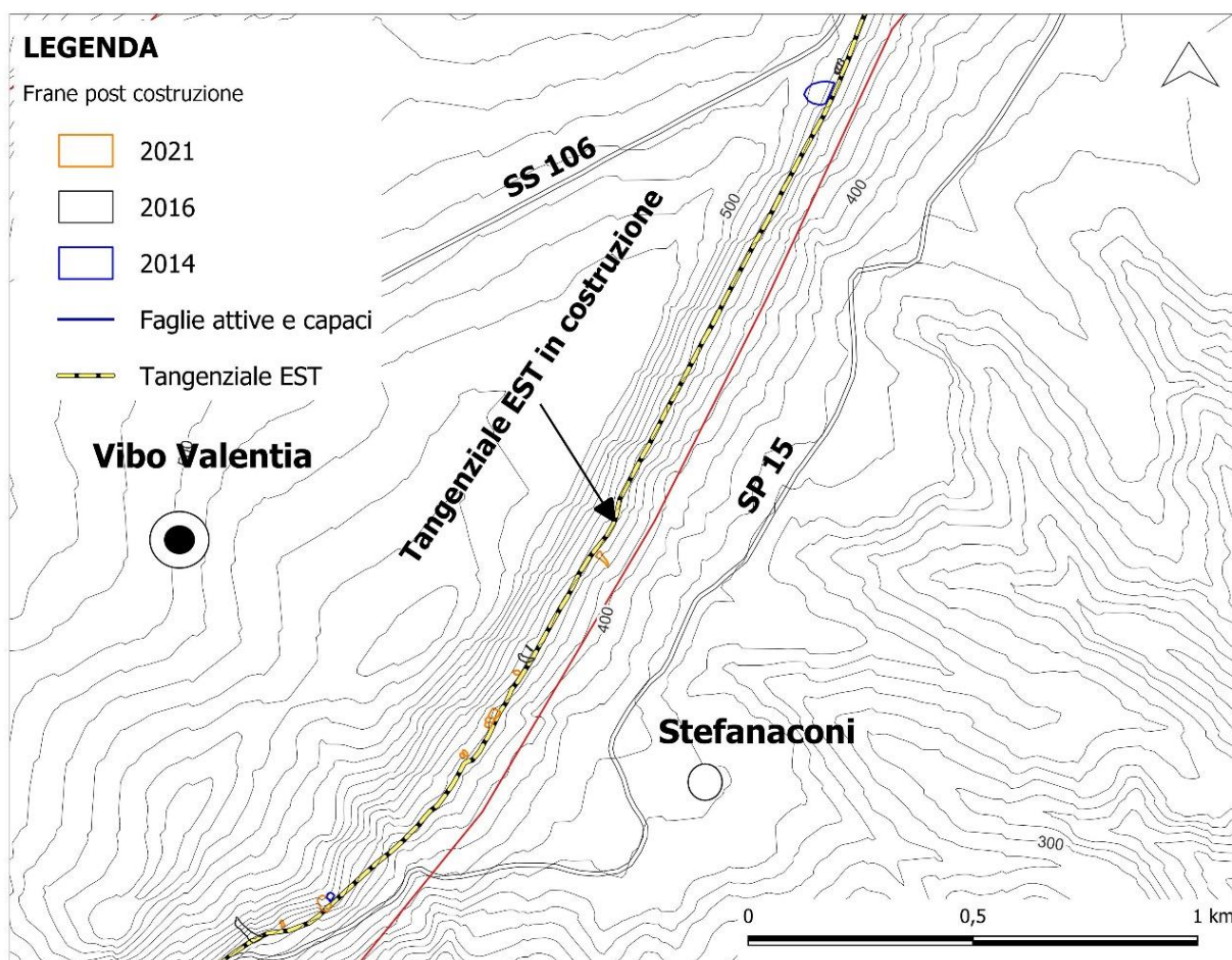


Fig. 4.8: Carta inventario frane post costruzione - 2014/2016/2021

Tab. 4.7 – totale frane post costruzione 2014

id	Tipologia di movimento		area m ²	area %
1	Scorrimento	Superficiale	198,17	7,58
2	Scorrimento	Superficiale	2415,79	92,42
tot			2613,96	100

Tab. 4.8 – totale frane post costruzione 2016

id	Tipologia di movimento		area m ²	area %
1	Scorrimento	Superficiale	1018,08	56,91
2	Scorrimento	Superficiale	335,24	18,74
3	Scorrimento	Superficiale	35,33	1,98
4	Scorrimento	Superficiale	30,06	1,68
5	Scorrimento	Superficiale	91,37	5,11
6	Scorrimento	Superficiale	133,51	7,46
7	Scorrimento	Superficiale	145,29	8,12
tot			1788,89	100

Tab. 4.9 – totale frane post costruzione 2021

id	Tipologia di movimento		area m²	area %
1	Scorrimento	Superficiale	84,06	3,93
2	Scorrimento	Superficiale	732,85	34,27
3	Scorrimento	Superficiale	70,93	3,32
4	Scorrimento	Superficiale	91,07	4,26
5	Scorrimento	Superficiale	159,78	7,47
6	Scorrimento	Superficiale	200,89	9,39
7	Scorrimento	Superficiale	379,93	17,77
8	Scorrimento	Superficiale	118,61	5,55
9	Scorrimento	Superficiale	300,34	14,04
tot			2138,46	100

In (Tab. 4.10) sono stati riassunti i dati delle aree in frana post costruzione della strada per anno di attivazione. I risultati raggiunti sono stati rappresentati anche attraverso un diagramma a torta (Fig. 4.9) per una loro migliore rappresentazione. Quindi, dall'analisi dei dati risulta che:

1. nel 2006 si sono verificate 7 frane che hanno occupato un'estensione di 19046,65 m² (24,1%),
2. nel 2007 si sono verificate 10 frane che hanno occupato un'estensione di 8285,12 m² (10,5%),
3. nel 2010 si sono verificate 3 frane che hanno occupato un'estensione di 18300,35 m² (23,1%),
4. nel 2012 si sono verificate 44 frane che hanno occupato un'estensione di 27020,06 m² (34,1%),
5. nel 2014 si sono verificate 2 frane che hanno occupato un'estensione di 2613,95 m² (3,3%),
6. nel 2016 si sono verificate 7 frane che hanno occupato un'estensione di 1788,88 m² (2,3%),
7. nel 2021 si sono verificate 9 frane che hanno occupato un'estensione di 2138,46 m² (2,7%).

Complessivamente, si riscontrano negli anni analizzati, un totale di 92 frane con un'estensione di 79193,494 m².

Tab. 4.10 – totali aree in frane post costruzione per anno

anno	n°	area m²	area %
2006	7	19046,654	24,051
2007	10	8285,119	10,462
2010	13	18300,355	23,108
2012	44	27020,064	34,119
2014	2	2613,955	3,301
2016	7	1788,885	2,259
2021	9	2138,462	2,700
tot	92	79193,494	100

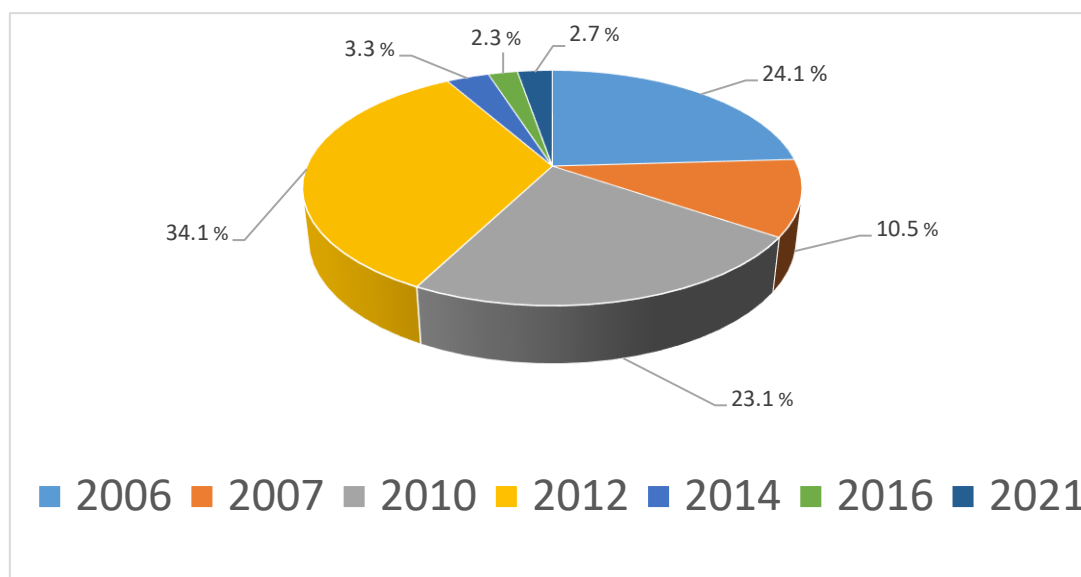


Fig. 4.9: percentuali aree in frane post-costruzione suddivise per anno di attivazione

La morfologia del territorio è stata analizzata utilizzando il DEM (Modello Digitale di Elevazione del Terreno) TINITALT/01. Da esso sono state derivate la carta delle Acclività e delle Esposizioni, allo scopo di studiare le caratteristiche morfometriche delle frane. I vari *data-layer* (frane, geologia, esposizione e acclività) sono stati incrociati tra loro. Nello specifico in ambito geologico si è analizzato un incrocio tra le frane pre e post costruzione della strada.

L'analisi mostra (Tab. 4.11) che prima della costruzione della strada la geologia delle aree in frana è rappresentata (Fig. 4.10) per il 13% da detriti di frana (Olocene), per il 26,3% da conglomerati (Pleistocene), per lo 0,3% da sabbie (Pliocene medio), per l'11,4% da argille siltose e per il 49% da scisti e gneiss (Paleozoico) mentre dopo la costruzione della strada risulta che l'area in dissesto è coperta interamente (Fig. 4.11) per il 70,9% da scisti e gneiss (Paleozoico) e per il 29,1% da conglomerati (Pleistocene).

Tab. 4.11 – incrocio frane pre e post geologia

Geologia	area (m ²) pre costruzione	area (%) pre costruzione	area (m ²) post costruzione	area (%) post costruzione
Detriti di frana (Olocene)	71309,28	13,0	-	-
Conglomerati (Pleistocene)	144151,68	26,3	23032,08	29,1
Sabbie (Pliocene medio)	1854,17	0,3	-	-
Argille siltose (Pliocene inferiore-medio)	62689,10	11,4	-	-
Scisti e Gneiss (Paleozoico)	269036,66	49,0	56161,42	70,9
tot	549040,90	100	79193,49	100

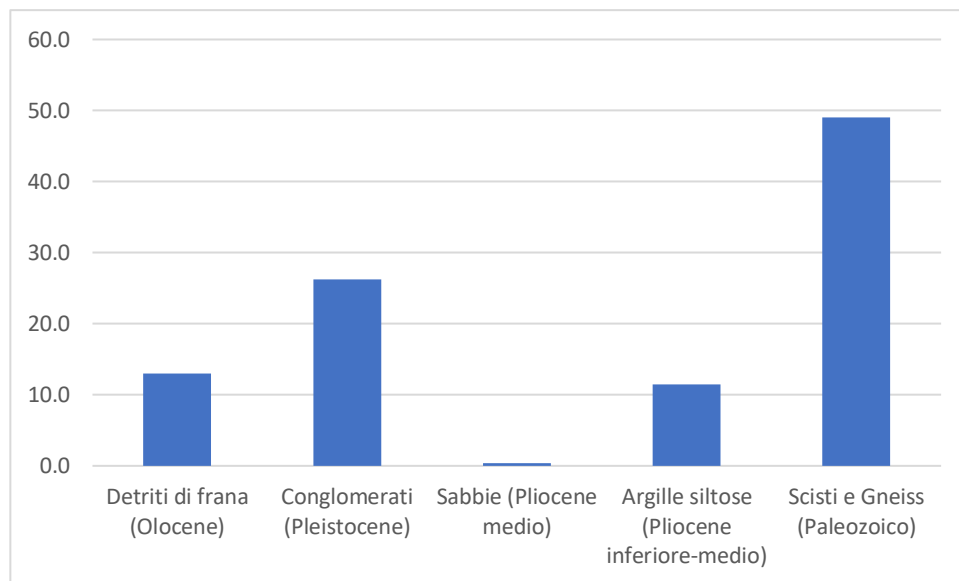


Fig. 4.10: incrocio frane pre costruzione geologia

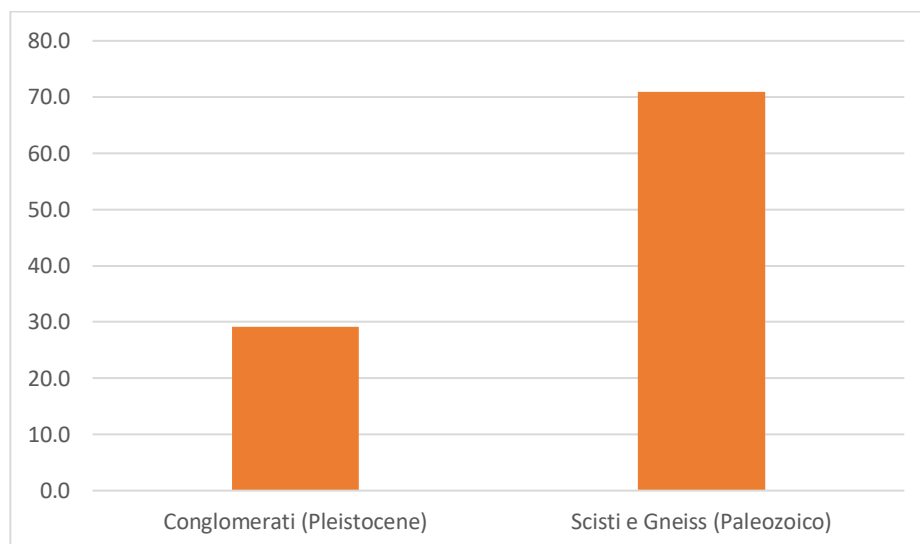


Fig. 4.11: incrocio frane post costruzione geologia

Si è passati poi, all'analisi dell'esposizione (orientazione della superficie topografica rispetto ai punti cardinali). L'esposizione è considerata un fattore fisiografico importante per i processi di degrado del territorio in quanto va ad influenzare il microclima attraverso l'angolo e la durata d'incidenza dei raggi solari sulla superficie del suolo. In generale, l'esposizione risulta una caratteristica importante per uno studio volto alla determinazione delle caratteristiche locali di un dato territorio. In ambiente mediterraneo, le aree con esposizione dei versanti a sud e ad est sono raggiunte da una quantità di energia solare incidente maggiore e di conseguenza risultano più calde e presentano valori di evapotraspirazione maggiori. Ne deriva che queste hanno una minore capacità di trattenere l'acqua rispetto ai versanti esposti a nord e ad ovest. Nei versanti a sud ed ad est il

recupero della vegetazione è pertanto più lento e i tassi di erosione sono più elevati rispetto ai versanti esposti a nord e ad ovest. Generalmente un'esposizione a nord implica un maggiore grado di copertura vegetale ma si riscontra una maggiore incidenza dei fenomeni franosi, mentre nell'esposizione a sud prevalgono i fenomeni erosivi.

L'incrocio dei layer frane e esposizione (Tab 4.12, Fig. 4.12 e Fig. 4.13) ha dato i seguenti risultati: il 67% e il 63% delle aree in frana, rispettivamente pre costruzione e post costruzione, risulta avere un'esposizione a sud-est, e non vi sono aree in frana con esposizione a ovest.

Tab. 4.12 - incrocio frane esposizione pre e post

esposizione	area (m²) pre costruzione	area (%) pre costruzione	area (m²) post costruzione	area (%) post costruzione
N	5054	0,92	1387	1,75
NE	7234	1,32	396	0,50
E	77005	14,03	17639	22,27
SE	367875	67,00	49861	62,96
S	83746	15,25	9811	12,39
SO	7334	1,34	0	0,00
O	0	0,00	0	0,00
NO	793	0,14	99	0,13
tot	549040,895	100	79193,494	100

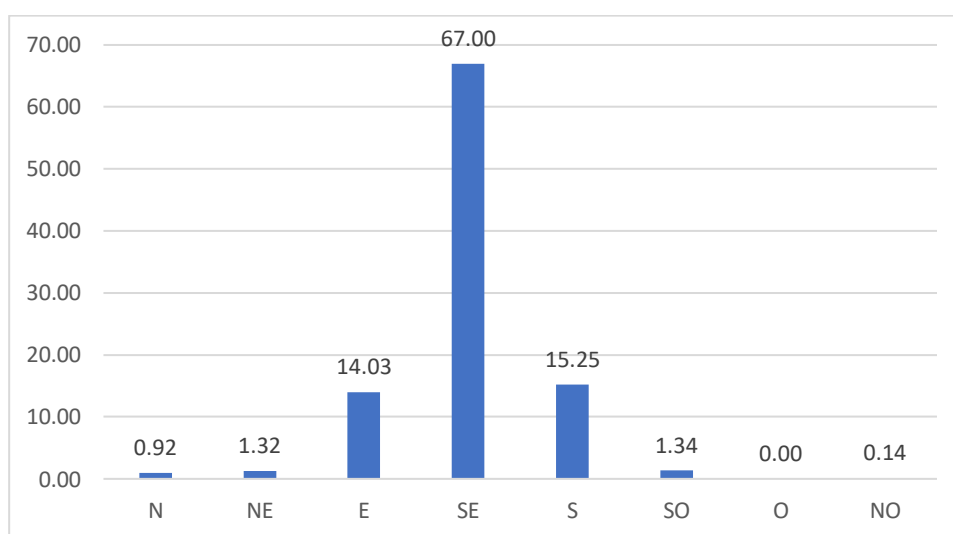


Fig. 4.12: incrocio frane pre costruzione esposizione

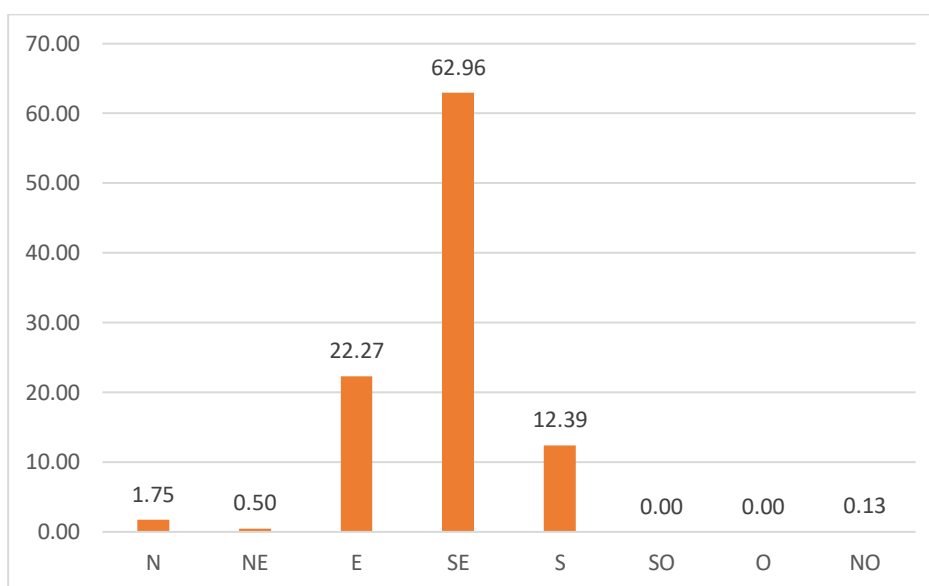


Fig. 4.13: incrocio frane post costruzione esposizione

Infine si è analizzate l'acclività o pendenza (inclinazione del terreno rispetto ai punti cardinali). La pendenza è data dal rapporto tra la differenza di quota e la distanza tra due punti sulla superficie del DEM. Il fattore "acclività" rappresenta un elemento che condiziona in maniera determinante la stabilità dei versanti, perché guida l'azione della forza di gravità e di conseguenza anche la capacità erosiva delle acque di scorrimento superficiali. L'acclività dà indicazioni generali sull'energia del rilievo. È noto che su versanti acclivi si registra una maggiore incidenza di fenomeni erosivi, perché all'aumentare dell'acclività aumenta la velocità delle acque superficiali e quindi la loro capacità erosiva in quanto maggiori sono le sollecitazioni indotte dalla forza di gravità. Per acclività medie e medio-alte si registrano in generale maggiori incidenza dei fenomeni franosi.

Tab. 4.13 - incrocio frane pendenza dei versanti pre e post

Pendenza (°)	area (m ²) pre costruzione	area (%) pre costruzione	area (m ²) post costruzione	area (%) post costruzione
0 <= 10	16549	3,01	1982	2,50
10 <= 20	127153	23,16	10307	13,01
20 <= 30	240628,895	43,83	37476	47,32
30 <= 40	136664	24,89	24374	30,78
>40	28046	5,11	5054	6,38
tot	549041	100	79193	100

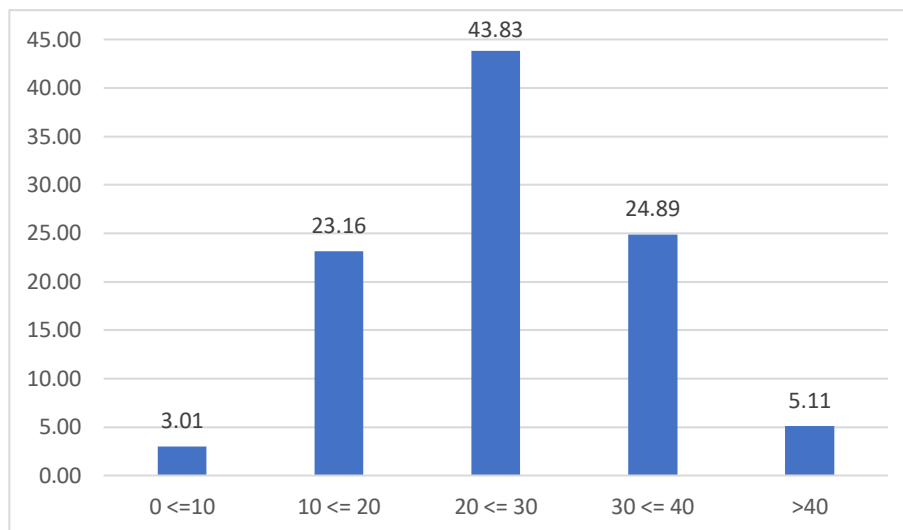


Fig. 4.14: incrocio frane pre costruzione pendenza

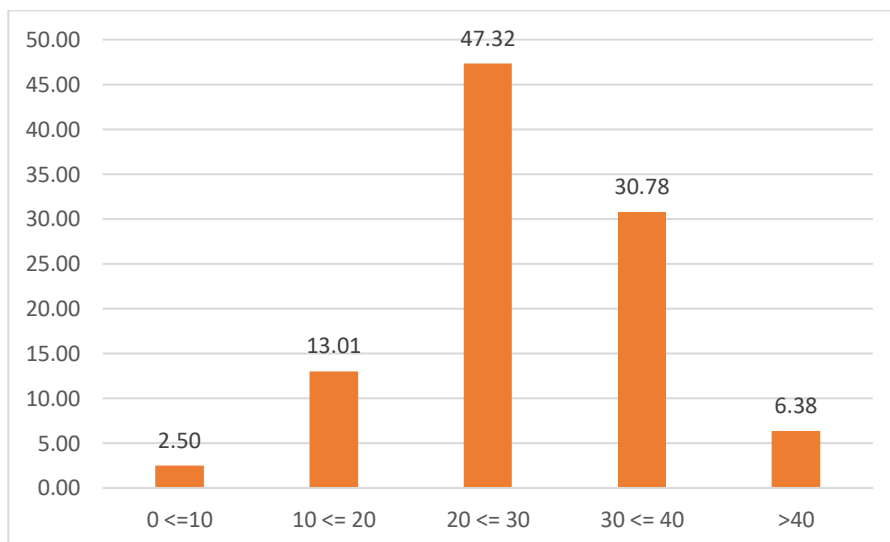


Fig. 4.15: incrocio frane post costruzione pendenza

Dall'analisi dei dati risultanti dall'incrocio delle frane con la carta delle acclività si evince (Tab. 4.13, Fig. 4.14 e Fig. 4.15) che, relativamente alle frane pre costruzione strada, circa il 44% ricade nella classe di pendenza 20°-30°, il 25% e il 23% rispettivamente nelle classi 10°-20 e 30°-40°.

Per quanto riguarda le frane post costruzione strada risulta che il 47% rientra nella classe di pendenza 20°-30° e circa il 31% nella classe 30°-40°.

4.2 Conclusioni e discussione dei risultati

Il lavoro di tesi ha affrontato il censimento dei fenomeni franosi che si sono innescati sul territorio comunale di Stefanaceni in provincia di Vibo Valentia, in seguito ai lavori di costruzione della “Tangenziale Est Stefanaceni - Vibo Valentia”, che avrebbe dovuto collegare la Strada Provinciale SP15 con la strada Statale SS106.

Lo studio effettuato ha portato alla realizzazione della “**Carta inventario pre costruzione**”, e a 7 “**Carte inventario post costruzione**” relative ai 7 anni di cui si possedeva documentazione aerofotografica (2006, 2007, 2010, 2012, 2014, 2016 e 2021). A queste si aggiunge la “**Carta inventario dei fenomeni franosi lungo la Tangenziale Est Stefanaceni - Vibo Valentia**” (Fig. 4.16), che riporta sia le frane pre che quelle post costruzione strada dando un quadro generale della franosità cui è soggetto il territorio di studio.

Dall’analisi dei dati, osserviamo che i fenomeni d’instabilità pre costruzione della strada sono 24 e coprono l’87,4% dell’area in frana (Tab. 4.14, Fig. 4.17). Si tratta per lo più di frane complesse profonde e scorrimenti rotazionali profondi. Le frane post costruzione mappate sono 92 prevalentemente scorrimenti rotazionali superficiali o poco profondi.

L’area investigata copre circa 1 km². Le frane individuate, incamerate in un sistema GIS sono state sottoposte ad analisi statistica quantitativa, che ha consentito una prima valutazione della distribuzione e caratterizzazione degli eventi. Allo scopo, poi, di verificare e studiare la coesistenza di alcune caratteristiche del terreno, tramite la funzione di *overlay* del software GIS, i vari *data-layer* di frane, acclività, esposizione e geologia sono stati incrociati tra loro. Ciò ha consentito di dettagliare le caratteristiche morfometriche delle aree in frana. I risultati raggiunti hanno consentito quindi un approfondimento delle conoscenze dei fenomeni d’instabilità e della loro connessione con i lavori di costruzione della nuova tangenziale Est di Vibo Valentia.

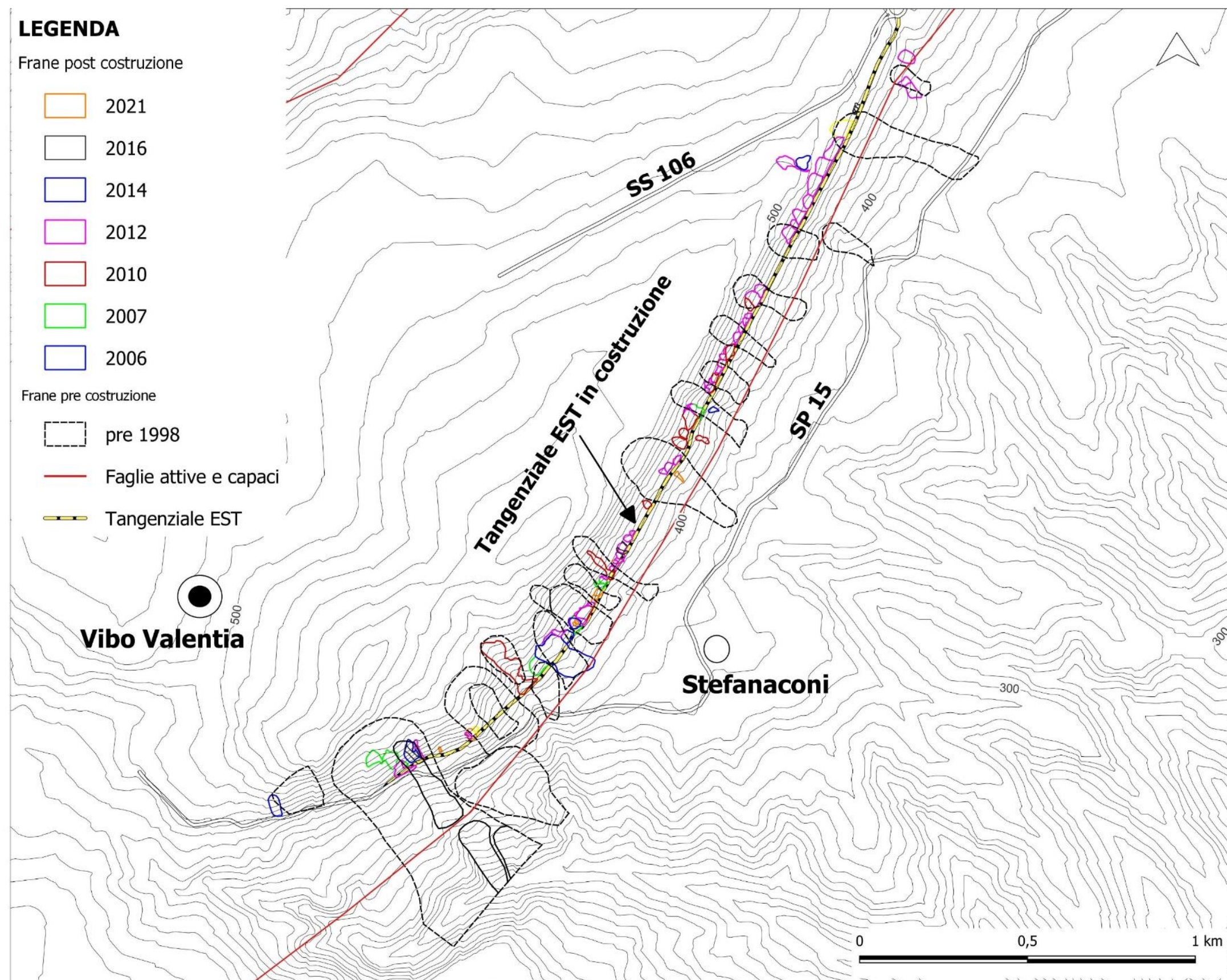


Fig. 4.16: Mappa inventario dei fenomeni franosi pre e post costruzione Tangenziale Est Stefanaconi - Vibo Valentia

Tab. 4.14 – totali aree in frana pre e post costruzione Tangenziale Est

anno	area m ²	area %
pre-costruzione Tangenziale EST	549040,895	87,4
post-costruzione Tangenziale EST	79193,494	12,6
tot	628234,389	100

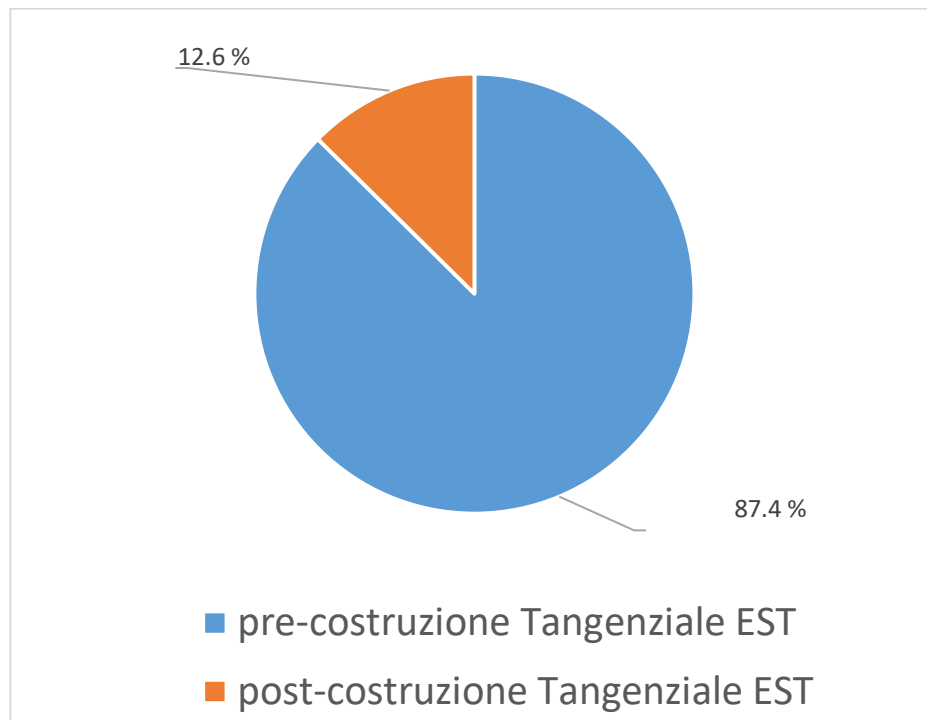


Fig. 4.17: Totali aree in frane pre e post costruzione tangenziale est a confronto

Complessivamente, il censimento ha messo in evidenza che 628234,389 m² (Tab. 4.14) di territorio sono in dissesto, delle quali 87,4% (549040,895 m²) sono aree in frana pre costruzione, (fig. 4.17), mentre il restante 12,6% (79193,494 m²) sono aree in frana post-costruzione.

Un ulteriore quadro sulla caratterizzazione delle frane può essere ricavato dall'indice di franosità, che esprime l'incidenza della franosità su un territorio come rapporto tra le aree instabili e quelle stabili. Tale indice, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale investigata espressa in percentuale, è dato da:

$$I_f = A_f / A_t \cdot 100$$

dove I_f è l'indice di franosità, A_f l'area in frana e A_t l'area investigata.

Considerando gli eventi franosi presenti nell'area di studio prima della costruzione della Tangenziale EST l'indice di franosità I_f è pari a circa il 52 % (Tab. 4.15), mentre per le sole frane post costruzione $I_f=7,5\%$. L'indice di franosità totale (frane pre + frane post) è pari a 59,46 %. Quindi, di fatto, le opere di sbancamento effettuate per la costruzione della strada hanno incrementato l'indice di franosità dell'area di ben oltre 7 punti percentuale.

L'analisi comparativa avvenuta tra pre e post costruzione stradale, ha permesso di capire l'evoluzione delle frane e i cambiamenti topografici che si sono verificati nell'area di studio. Notevoli modifiche morfologiche hanno avuto luogo lungo il pendio interessato dai fenomeni d'instabilità e il confronto pre e post costruzione della tangenziale est ha mostrato chiaramente che molte frane si sono innescate a causa dei lavori di sbancamento per la realizzazione della strada.

Tab. 4.15 - Indice di franosità dell'area di studio

	area (m²)	I_f (%)
Pre costruzione	549040,90	51,96
Post costruzione	79193,49	7,50
totale	628234,39	59,46
area investigata	1056602,034	

È evidente, infatti, che i lavori stradali hanno avuto un grande impatto sullo scenario geomorfologico in termini di processi d'instabilità in un'area già caratterizzata da precarie condizioni geologiche e geomorfologiche. Pertanto, il marcato cambiamento topografico causato dalla costruzione della strada, insieme agli altri processi d'erosione degli ammassi rocciosi, può essere considerato come il più importante fattore predisponente delle frane nell'area di studio.

Bibliografia

- Amodio Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F. & Zuppetta A. (1976). L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide.
- Antonini G., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P. & Sorrentino A. (1993). Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della regione marche ed aree limitrofe. CNR, Gruppo nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, pubblicazione n.580, 2 fogli, scala 1:100.000.
- Antonini G., Ardizzone F., Cardinali M., Galli M., Guzzetti F. & Reichenbach P. (2002). Inventario dei depositi superficiali e delle frane dell'area colpita dai terremoti Umbria_Marche del 1997. Bollettino della Società Geologica Italiana, 121(2) (2002), pp.843 – 853.
- 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, 40(11), 2375-2383.
- Booth A. M., Roering, J. J. & Perron, J. T. (2009). Automated landslide mapping using spectral analysis and high-resolution topographic data: Puget Sound lowlands, Washington, and Portland Hills, Oregon. *Geomorphology*, 109(3-4), 132-147.
- Borsi S., Hieke Merlin O., Lorenzoni S., Paglionico A. & Zanettin Lorenzoni E. (1977). Stilo unit and “dioritic-kinzigitic” unit in Le Serre (Calabria Italy). Geological, petrological, geochronological.
- Brabb E. E. & Harrod B. (Eds.). (1989). Landslides: extent and economic significance (p. 385). Rotterdam: AA Balkema.
- Brabb E. E. & Pampeyan E. H. (1972). Preliminary map of landslide deposits in San Mateo County, California (No. 344). US Geological Survey.
- Brardinoni F., Slaymaker O., & Hassan M. A. (2003). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*, 54(3-4), 179-196.
- Brunsden D. (1985, April). Landslide types, mechanisms, recognition, identification. In landslides in the South Wales coalfield, edited by: Morgan, CS, Proceedings Symposium, April (pp. 1-3).
- Brunsden D. (1993). Mass movement; the research frontier and beyond: a geomorphological approach. *Geomorphology*, 7(1-3), 85-128.
- Bucknam R. C., Coe J. A., Chavarría M. M., Godt J. W., Tarr A. C., Bradley L. A. & Johnson M. L. (2001). Landslides triggered by Hurricane Mitch in Guatemala—inventory and discussion. US Geological Survey Open File Report, 1.

- Canuti P., Casagli N., Ermini L., Fanti R. & Farina P. (2004). Landslide activity as a geoindicator in Italy: significance and new perspectives from remote sensing. *Environmental Geology*, 45(7), 907-919.
- Cardinali M., Guzzetti F. & Brabb, E. E. (1990). Preliminary maps showing landslide deposits and related features in New Mexico (No. 90-293). US Geological Survey.
- Cardinali M., Ardizzone F., Galli M., Guzzetti, F. & Reichenbach, P. (2000, October). Landslides triggered by rapid snow melting: the December 1996–January 1997 event in Central Italy. In *Proceedings 1st Plinius Conference on Mediterranean Storms* (pp. 439-448). Bios: Cosenza.
- Cardinali M., Antonini G., Reichenbach P. & Guzzetti, F. (2001). Photo-geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Publication, (2154).
- Carrara A., Cardinali M., & Guzzetti F. (1992). Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC journal*, (2), 172-183.
- Casmez (1958). Carta Geologica della Calabria, (in scala 1:25.000) F. 241 III SE “Vibo Valentia”.
- Cascini L., Fornaro G. & Peduto D. (2009). Analysis at medium scale of low-resolution DInSAR data in slow-moving landslide-affected areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 598-611.
- Cascini L., Fornaro G. & Peduto D. (2010). Advanced low-and full-resolution DInSAR map generation for slow-moving landslide analysis at different scales. *Engineering Geology*, 112(1-4), 29-42.
- Cello G., Tortorici L., Martini N., & Paltrinieri, W. (1989). Structural styles in the frontal zones of the southern Apennines, Italy: an example from the Molise district. *Tectonics*, 8(4), 753-768.
- Chung C. J. F. & Fabbri A. G. (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 65(12), 1389-1399.
- Chung C. J. F. & Fabbri A. G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), 451-472.
- Chung C. F. & Fabbri A. G. (2005). Systematic procedures of landslide hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models. *Landslide hazard and risk*, 139-174.
- Conforti M. & Ietto F. (2018). An integrated approach to investigate slope instability affecting infrastructures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1-21.
- Cruden D. M. & Varnes D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes. *Transportation research board special report*, (247).

- Cucci L. & Tertulliani A. (2006). I terrazzi marini nell'area di Capo Vaticano (Arco Calabro): solo un record di sollevamento regionale o anche di deformazione cosismica? *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 19(1), 89-101.
- DeGRAFF J. V. (1985). Using isopleth maps of landslide deposits as a tool in timber sale planning. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 22(4), 445-453.
- DeGraff J. V. & Canuti P. (1988). Using isopleth mapping to evaluate landslide activity in relation to agricultural practices. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 38(1), 61-71.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E. & Savage W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering geology*, 102(3-4), 99-111.
- Ferretti A., Prati C. & Rocca F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 38(5), 2202-2212.
- Fiorucci F., Cardinali M., Carlà R., Rossi M., Mondini A. C., Santurri L. & Guzzetti F. (2011). Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. *Geomorphology*, 129(1-2), 59-70.
- Gabriel A. K., Goldstein R. M. & Zebker H. A. (1989). Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B7), 9183-9191.
- Galli M., Ardizzone F., Cardinali M., Guzzetti F. & Reichenbach P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94(3-4), 268-289.
- Gagnon H. (1975). Remote sensing of landslide hazards on quick clays of eastern Canada. *Proceeding 10th International Symposium Remote Sensing of Environment*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan II, pp. 803-810.
- Ghisetti F. & Vezzani L. (1981). Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian arc (Southern Italy). *Journal of structural geology*, 3(4), 371-381.
- Guthrie R. H. & Evans S. G. (2004a). Analysis of landslide frequencies and characteristics in a natural system, coastal British Columbia. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 29(11), 1321-1339.
- Guthrie R. H. & Evans S. G. (2004b). Magnitude and frequency of landslides triggered by a storm event, Loughborough Inlet, British Columbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(3), 475-483.
- Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M. & Reichenbach P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216.

- Guzzetti F. (2000). Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, 58(2), 89-107.
- Guzzetti F., Malamud B. D., Turcotte D. L. & Reichenbach P. (2002). Power-law correlations of landslide areas in central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3-4), 169-183.
- Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., Cipolla, F. Sebastiani C., Galli M. & Salvati P. (2004). Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology*, 73(3-4), 229-245.
- Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M. & Ardizzone F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. *Geomorphology*, 72(1-4), 272-299.
- Guzzetti F., Reichenbach P., Ardizzone F., Cardinali M., & Galli M. (2006a). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1-2), 166-184.
- Guzzetti F., Galli M., Reichenbach P., Ardizzone F. & Cardinali M. J. N. H. (2006b). Landslide hazard assessment in the Collazzone area, Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(1), 115-131.
- Guzzetti F., Manunta M., Ardizzone F., Pepe A., Cardinali M., Zeni G. & Lanari R. (2009). Analysis of ground deformation detected using the SBAS-DInSAR technique in Umbria, Central Italy. *Pure and applied geophysics*, 166(8), 1425-1459.
- Guzzetti F., Mondini A. C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M. & Chang K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1-2), 42-66.
- Hansen A. (1984a). Engineering geomorphology: application of an evolutionary model from Hong Kong. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 51 pp. 39 – 50
- Hansen A. (1984b). Landslide hazard analysis. In *slope instability*, 523-602, Brunsen, Prior (eds), Willey and Sons, New York.
- Harp E.L., Jibson R.W. (1995). Inventory of landslides triggered by the 1994 Northridge, California earthquake: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-213, 17 p., 2 pl. scale 1:50,000 and 1:100,000, available at: <https://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0213/>.
- Harp E. L., & Jibson, R. W. (1996). Landslides triggered by the 1994 Northridge California earthquake. *Bulletin of the Seismological society of America*, 86(1B), S319-S332.
- Haugerud R. A., Harding D. J., Johnson S. Y., Harless J. L., Weaver C. S. & Sherrod B. L. (2003). High-resolution lidar topography of the Puget Lowland, Washington. *Gsa Today*, 13(6), 4-10.
- Hovius N., Stark C. P. & Allen, P. A. (1997). Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. *Geology*, 25(3), 231-234.

- Hovius N., Stark C. P., Hao-Tsu C. & Jiun-Chuan L. (2000). Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: Central Range, Taiwan. *The Journal of Geology*, 108(1), 73-89.
- Ietto A, Altomare C., Donato F., Federico M., Ietto F. & Teti F. (2003). The Miocene cliff at the NW edge of the Mesima sedimentary basin (Calabria Southern Italy). *Geogr Fis Dinam Quater*, 26, 143-145.
- Ietto F. & Bernasconi M.P. (2005). The cliff bordering the northwestern margin of the Mesima basin (Southern Calabria) is of Pleistocene age. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 28(2), 205-210.
- Ietto F., Perri F. & Fortunato, G. (2015). Lateral spreading phenomena and weathering processes from the Tropea area (Calabria, southern Italy). *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4595-4608.
- Ietto F & Bernasconi M.P. (2016). Evidences of Fossil Landslide from the Lower Pleistocene on the Northwestern Margin of the Mesima Basin (Southern Calabria, Italy). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*.
- Malamud B. D., Turcotte D. L., Guzzetti F. & Reichenbach P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6), 687-711.
- McCalpin J. (1984, April). Preliminary age classification of landslides for inventory mapping. In *Proceedings 21st annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium*, pp. 5-6.
- McDonald H.C., Grubbs R.C. (1975). Landsat imagery analysis: an aid for predicting landslide prone areas for highway construction. *Proceeding NASA Earth Resource Symposium*, vol. 1b, pp. 769-778. NASA, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C.
- Monaco C., Tortorici L. (1995): Tettonica estensionale quaternaria nell'Arco Calabro e in Sicilia orientale. *Studi Geol. Camerti* (vol. spec.), 2, 351-362.
- Mora P., Baldi P., Casula G., Fabris M., Ghirotti M., Mazzini E. & Pesci A. (2003). Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca'di Malta landslide (northern Apennines, Italy). *Engineering geology*, 68(1-2), 103-121.
- Nadim F., Kjekstad O., Peduzzi P., Herold C. & Jaedicke, C. (2006). Global landslide and avalanche hotspots. *Landslides*, 3(2), 159-173.
- Pašek J. (1975). Landslides inventory. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 12(1), 73-74.

- Rao A., Gramigna P. & Neri, C. (2007). Aspetti sedimentologici e biostratigrafici della sezione Neogenica di Piscopio nell'area di M. te Poro, Vibo Valentia (Calabria). *Geologica Romana*, 40, 147-161.
- Razak K. A., Straatsma M. W., Van Westen C. J., Malet J. P., & De Jong S. M. (2011). Airborne laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126(1-2), 186-200.
- Reichenbach P., Guzzetti F. & Cardinali M. (1998). Mappa dei siti storicamente interessati da frane alluvionali in Italia, 2° edizione. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubblicazione n. 1786, scala 1: 1.200.000.
- Rib H. T., & Liang T. (1978). Recognition and identification. Transportation Research Board Special Report, (176).
- Salvati P., Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M. & Stark, C. P. (2003). Carta delle frane e delle inondazioni che hanno prodotto danni alla popolazione. Pubblicazione CNR GNDICI, (2822).
- Salvati P., Balducci V., Bianchi C., Guzzetti, F. & Tonelli, G. (2009). A WebGIS for the dissemination of information on historical landslides and floods in Umbria, Italy. *Geoinformatica*, 13(3), 305-322.
- Santangelo M., Cardinali M., Rossi M., Mondini A. C. & Guzzetti F. (2010). Remote landslide mapping using a laser rangefinder binocular and GPS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(12), 2539-2546.
- Sauchyn D. J., & Trench N. R. (1978). Landsat applied to landslide mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(6), 735-741.
- Scanvic J. Y., & Girault F. (1989). Imagerie SPOT-1 et inventaire des mouvements de terrain: l'exemple de La Paz (Bolivie). *Photo interprétation (Paris)*, 28(2), 1-10.
- Scanvic J. Y., Rouzeau O. & Colleau A. (1990). SPOT, outil d'aménagement exemple de réalisation par télédétection et analyse multicritère d'une cartographie des zones sensibles aux mouvements de terrain le site de La Paz—Bolivie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France. BRGM Serv. Géol. Nat. Dépt. Téléd. Orléans Cedex, France.
- Schulz W. H. (2007). Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89(1-2), 67-87.
- Shan J. & Toth C.K. (2009) a cura di Topographic laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, CRC Press, Taylor and Francis Group, p. 590.
- Slatton K. C., Carter W. E., Shrestha R. L. & Dietrich, W. (2007). Airborne laser swath mapping: achieving the resolution and accuracy required for geosurficial research. *Geophysical Research Letters*, 34(23).
- Soeters R. & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. *Landslides: investigation and mitigation*, 247, 129-177.

- Sorriso-Valvo M. & Le Pera E.(2000). Weathering and morphogenesis in a Mediterranean climate, Calabria, Italy. *Geomorphology*, 34(3-4), 251-270.
- Sorriso-Valvo M. & Terranova O. (2006). The Calabrian fiumara streams. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 143, 109-125.
- Speight J. G. (1977). Landform pattern description from aerial photographs. *Photogrammetria*, 32(5), 161-182.
- Stephens P. R., Trotter C.M. & DE R. (1988). Using SPOT satellite data to map landslides. In Asian Conference on Remote Sensing, 9 th, Bangkok, Thailandia.
- Taylor F. A. & Brabb E. E. (1986). Map showing the status of landslide inventory and susceptibility mapping in California. US Department of the Interior, Geological Survey.
- Tarquini S., I. Isola M. Favalli , F. Mazzarini, M. Bisson, M.T. Pareschi, E. Boschi (2007). TINITALY/01: a new Triangular Irregular Network of Italy, *Annals of Geophysics*, 50, 407-425.
- Tortorici L. (1982)- "Lineamenti geologico strutturali dell'arco Calabro-Peloritano". *Rend. Soc. di Miner. Petrol.*, 38 (3), p. 927-940.
- Tortorici G., Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Tansi C., De Guidi G. & Catalano S. (2002). Quaternary Normal Faulting and Marine Terracing in the area of Capo Vaticano and S. Eufemia Plain (Sou Thern Calabria).
- Tortorici G., Bianca M., De Guidi G., Monaco C. & Tortorici, L. (2003). Fault activity and marine terracing in the Capo Vaticano area (southern Calabria) during the Middle-Late Quaternary. *Quaternary International*, 101, 269-278.
- Turner A. K., Schuster E., Kockelman W. K. & Schuster, R. L. (1996). Special report 247. TRB National Research.
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen J., Verstraeten G., Vanacker V., Nyssen J., Moeyersons J. & Vandekerckhove, L. (2007). Use of LIDAR derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 754-769.
- Van Den Eeckhaut M. & Hervás J. (2012). State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*, 139, 545-558.
- Van Dijk J. P., Bello M., Brancaloni G. P., Cantarella G., Costa V., Frixia, A. & Zerilli A. (2000). A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy). *Tectonophysics*, 324(4), 267-320.
- Van Westen C. J., Van Asch, T. W. & Soeters R. (2006). Landslide hazard and risk zonation. Why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering geology and the Environment*, 65(2), 167-184.
- Varnes D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.

- Vargas G.C. (1992). Methodologie pour l'establissement de cartes de sensibilité aux mouvement de terrain fonde sur l'utilisation d'un couple stereographique SPOT XS/TM. Applicazione nella regione di Paz del Rio (Colombia), Proc. Ler Simposio Internazionale sobre Sensores remotos y Sistemas de INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) para el estudio de Riesgos Naturales, Bogotà, colombia, pp. 201 – 220.
- Van Zuidam R. A. (1985). Aereal photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Netherlands.
- Wieczorek G. F. (1984). Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 21(3), 337-342.

Ringraziamenti

Sono giunta anch'io finalmente al giorno tanto atteso, ancora non mi capacito di aver raggiunto questo traguardo, questo soprattutto lo devo all'aiuto di Gesù e all'intercessione della Madonna e dei miei santi protettori (Santa Rita, San Giuseppe, Santa Teresa del Gesù Bambino, San Giuseppe da Copertino, San Nicola e Sant'Antonio). Inizio con l'esprimere la mia più profonda gratitudine, stima e riconoscenza in particolar modo alla Dottoressa Valeria Lupiano, persona validissima di straordinario bagaglio culturale eccellente docente, la ringrazio per avermi guidata pazientemente lungo il percorso per questo lavoro di grande interesse, sempre presente, attenta e vicina alla mia persona che mi ha sostenuta e incoraggiata dispensandomi suggerimenti e consigli nessuna mia parola potrebbe esprimere ad un modo per poter esprimere la mia più profonda gratitudine.

La mia riconoscenza e stima vanno al Dottore Fabio Fetto, eccelso docente che mi ha elargito preziosi consigli per il completamento della stesura della tesi di Laurea.

Ringrazio con profonda riconoscenza il Sindaco di Stefanacconi e Presidente della Provincia di Vibo Valentia, il Dottore Salvatore Solano che si è messo a disposizione per il reperimento del materiale di sopralluogo riguardante la documentazione relativa alla Tangenziale Est.

Un grazie particolare va a mio marito Cesare Zerbi, per averci creduto prima ancora che ci credessi io, per avermi incoraggiata a ricominciare e ad affrontare ogni difficoltà senza mai lasciarmi sola incitandomi sempre a rialzarmi senza mai arrendermi.

Un profondo e immenso ringraziamento va ai miei genitori, che sono il pilastro della mia esistenza, grazie a mio padre Francesco Elbahma che mi ha insegnato ad affrontare tutte le sfide della vita senza avere paura trasmettendomi la tenacia e la forza, grazie a mia madre Nazzena Procopio che rappresenta il mio "tutto" senza la quale non avrei mai potuto farcela, che mi è costantemente vicina sacrificandosi e proteggendo il mio cammino.

Un ringraziamento va a mia sorella Leila Elbahma, instancabile sostegno capace di ascoltarci e di capirci, la mia spalla, la mia complice, lei che non mi ha mai abbandonata e nei momenti di sconforto è rimasta sempre al mio fianco.

Un grazie alla mia amica-sorella Teresa Staropoli, persona per me speciale che mi ha sempre sostenuta, sempre presente sono grata per la tua amicizia: sei davvero meravigliosa.

Un ringraziamento sentito va a Desy Fortuna per me "figlia e nipote" che ho visto crescere, per le molte dritte, i consigli, confronti e aiuti dispensati lungo il percorso del lavoro.

Esprimo il mio "grazie di cuore" a tutti i componenti della mia famiglia, particolarmente ai miei due fratelli Davide e Nazzeno Elbahma che sono l'altra metà del mio cuore insieme a mia sorella Leila, ai miei cognati che rappresentano i miei nuovi fratelli e sorelle acquisiti ed a tutti i miei magnifici nipoti, a mia suocera sempre gentile ed affettuosa nei modi e che mi ha accolta come una figlia è un onore per me essere tua nuora.

Infine ma non per ultima nel mio cuore, perché è difficile dimenticare qualcuno che si è tanto amato ringrazio mia zia Elisabetta Procopio che sento sempre accanto, grazie zia per i valori che mi hai trasmesso ti arrivi il mio immenso amore, ti mando un bacio al cielo.

E anche se non ti ho conosciuto, ma ho sentito tanto parlare di te, so che saresti stato un suocero fantastico ringrazio anche te caro suocero Salvatore Gerbi, perché so che ci proteggi e ci guardi da lassù.

*Per concludere un grazie va anche a me stessa.....penso che la vita molte volte, sia un duro percorso in salita e anche se dovremmo affrontare momenti difficili in cui rimarremo fermi perché la fatica si farà sentire, non dobbiamo mollare, non ci dobbiamo scoraggiare e con forza dobbiamo continuare a salire..... **Siate Tenaci, lottate sempre, credeteci fino in fondo.....non fermatevi mai.....** questo è il motto che ho adottato nella mia vita.*

Spero di non aver dimenticato nessuno, se l'ho fatto chiedo perdono anticipatamente.....

Vi amo tutti immensamente.....