



COMUNE DI STIO

Provincia di Salerno

MESSA IN SICUREZZA DELL'ABITATO DI GORGA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO

PROGETTO ESECUTIVO

Data: Ottobre 2023		Elabor.	Verif.	Approv.
Riferimenti:		Distinta materiale n°		
Progettisti RTP: Ing. Maria Rosaria Reielli (Capogruppo) Ing. Pasquale Trotta Arch. Leopoldo Lillo Geom. Gennaro Infante Geol. Luigi Lillo	S.I.G.E.A Soc. Cooperativa Località Trone s.n.c. 84035 Stio (SA) P.Iva 05427080659	ATTIVITA' DI SUPPORTO SCIENTIFICO CUGRI-CONSORZIO INTER-UNIVERSITARIO PER LA PREVENZIONE E PREVISIONE GRANDI RISCHI UNIVERSITA' DI SALERNO Direttore Prof. Domenico Guida		
Committente: Amministrazione Comunale di Stio		Scala:	Foglio di	
Tavola: Relazione geologica e di compatibilità idrogeologica			Disegno n : 1.10	
Documenti di proprietà Comune di Stio		Diritti tutelati a termine di legge		

PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dell'indagine geologica eseguita su incarico dell'Amministrazione Comunale di Stio, a corredo del progetto “lavori di miglioramento delle caratteristiche di stabilità e di sicurezza del centro urbano di Gorga “ai sensi e per gli effetti della Normativa di Attuazione del PSAI vigente e delle NTC2018 e relativa Circolate attuativa. Gli obiettivi della progettazione geologico-geotecnica, in questo caso di area vasta, sono quindi non solo la verifica delle condizioni di sicurezza del sito e del sistema costruzione-terreno, inclusa la determinazione delle sollecitazioni nelle strutture a contatto con il terreno o con la frana e la valutazione delle prestazioni del sistema nelle condizioni d'esercizio, ma quella relativa all'incremento “indiretto” della stabilità dei pendii naturali ed alla messa in sicurezza ai fini della fruibilità della viabilità di accesso ad un borgo ad alta valenza culturale ed identitario per l'intera area cilentana. Lo stesso è stato dichiarato, insieme a Roscigno, Moio della Civitella, ecc..., “*Moving Geosite*” nella strategia del Geoparco UNESCO del Cilento.

Pertanto, la Sotto-sezione C6.3 Stabilità dei pendii naturali nelle PRESCRIZIONI GENERALI (C6.3.1) indica che, nel caso della stabilità dei pendii naturali che siano interessati da movimenti franosi, potenziali o in atto, in questo caso, non solo la cui scala di riferimento sia quella del singolo pendio, sono da prendere in considerazione almeno i seguenti fattori: i) le caratteristiche geologiche e gli assetti geologico-strutturali del sito, a partire da quelli delineati nel presente documento; ii) gli assetti geomorfologici e l'evoluzione morfologica; i) la sismicità dell'area e le evidenze di fenomeni di instabilità pregressi sismo-indotti; iii) le condizioni climatiche ed in particolare la distribuzione nel tempo degli eventi meteorici significativi; iv) gli assetti idrogeologici; vi) il regime idrico superficiale; le caratteristiche geometriche del pendio; vii) le caratteristiche tipologiche, cinematiche ed evolutive della frana avvenuta, in atto o potenziale e viii) il regime delle pressioni interstiziali e delle pressioni dell'acqua nelle

discontinuità eventualmente presenti; ix) le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e delle rocce costituenti il pendio e quelle che caratterizzano le discontinuità; x) peso proprio e azioni applicate sul pendio. In questo caso, si deve tenere conto anche dell'effetto rilevante delle azioni erosive lungo i fossi di incisione laterali al borgo antico e delle immissioni subsuperficiali a monte.

Nel caso in esame, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito, nonché la modellazione dell'assetto ed evoluzione geomorfologica è non solo propedeutica all'impostazione della progettazione geotecnica, in quanto trattasi di interventi che investono aree molto estese; e per cui gli studi geologici dovranno essere basati anche sugli esiti di specifiche indagini, anche come integrative delle analoghe indicazioni e prescrizioni che si riferiscono alla progettazione geotecnica in condizioni sismiche di cui ai §§ 3.2 e 7.11. A questo fine deve essere predisposta una serie di indagini, anche distribuite nel tempo, per identificare il modello geologico di riferimento e i modelli geotecnici necessari per le verifiche di sicurezza e per la progettazione degli interventi.

La sequenza delle indagini e la scelta della relativa strumentazione di indagine e di controllo devono conseguire da osservazioni e rilievi di carattere preliminare che permettano di definire il tipo di frana, in atto o potenziale, e il suo stato attuale. A questo fine è utile acquisire innanzitutto i dati già disponibili, qualora esistano, riguardanti l'evoluzione della frana e gli eventuali effetti sui manufatti o altre opere o aree di frequentazione esistenti.

Le indagini e gli accertamenti devono essere rivolti dapprima all'individuazione dei caratteri geometrici e cinematici della frana, con scelte calibrate in base al tipo di fenomeno e al suo stato. Devono essere, inoltre, finalizzati anche alla ricostruzione lito-stratigrafica del versante e alla caratterizzazione geotecnica dei terreni e degli ammassi rocciosi coinvolti nel fenomeno franoso. Tra le indagini assumono interesse preminente, per la

marcata influenza che tale aspetto ha spesso sulle condizioni di stabilità, quelle finalizzate alla ricostruzione del regime delle pressioni interstiziali, da perseguire alla luce dell'inquadramento idrogeologico del sito, con strumentazione adatta a misure puntuali e all'impiego nei terreni in studio ed, in questo caso, al ruolo del gelo e disgelo. La stabilità di un versante è infatti spesso controllata dal regime delle pressioni interstiziali e dalle sue variazioni nel tempo; tali variazioni non richiedono necessariamente la presenza di flussi di acqua significativi negli orizzonti profondi, ma anche solo percolazione da quelli sub-superficiali.

La MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL PENDIO NATURALE (C6.3.2) dovrà emergere dallo studio geologico e geomorfologico non solo di un pendio naturale, ma anche del Sistema versanti-canaloni collinari, finalizzato alla valutazione delle condizioni di stabilità, consistente nella definizione dell'assetto lito-strutturale, geomorfologico e idrogeologico dei sistemi di versante aperti e fluvio-denudazionali al fine di identificare i meccanismi e i cinematismi di rottura attuali o potenziali, nonché ipotizzarne le possibili cause. Con tali riferimenti viene definito l'**Ambito Geomorfologico Significativo** che dovrà corrispondere a quella porzione di territorio, identificabile cartograficamente sul terreno e delimitabile anche in profondità, nella quale sussistano assetti predisponenti ad una specifica tipologia di movimento franoso ed in cui i processi morfo-evolutivi di versante/fondovalle, in questo caso "canalone collinare" possano interferire direttamente o indirettamente con l'area d'interesse.

L'obiettivo dello studio geologico di un versante è, pertanto, quello di costruire un modello geologico finalizzato, oltre che alla illustrazione dei predetti assetti, anche alla conoscenza delle condizioni evolutive che hanno prodotto l'attuale assetto lito-strutturale, idrogeologico e geomorfologico, con connessa analisi dettagliata dello stato e tipo di attività delle eventuali instabilità presenti. La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e strutturale del versante deve integrare, in una specifica modellazione, sia rilievi di

superficie sia indagini specifiche del sottosuolo. Dato che l'evoluzione di un versante naturale, e di conseguenza anche la sua stabilità, può essere condizionata da situazioni geologiche locali non riportate nella cartografia geologica o non visibili in superficie, si richiede, quindi, una caratterizzazione geologica di estremo ed approfondimento e dettaglio, con particolare attenzione: i) alla presenza di specifici assetti che inducono condizioni di suscettibilità a movimenti franosi; ii) alla presenza e alla giacitura di intercalazioni anche sottili di litotipi a minore resistenza; iii) alla sovrapposizione stratigrafica o tettonica di litotipi con differenti caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geo-strutturali; iv) al grado di alterazione degli ammassi rocciosi; v) all'esistenza di discontinuità ad elevata persistenza ed all'eventuale materiale di riempimento. Nel caso di presenza di eventi di frana nell'area di specifico interesse, i dati scaturenti dalle attività di indagine, sia di superficie sia in profondità, dovranno condurre ad una dettagliata ricostruzione dell'evento nelle tre dimensioni attraverso specifiche planimetrie (carta della frana) e sezioni illustrative. Soprattutto quando si è in presenza di eventi attivi, profondi ed a lenta evoluzione (Sistemi Franosi), può essere necessario integrare i dati dei rilievi con misure di spostamento superficiale (analisi interferometriche) o profondo del pendio e con i dati di monitoraggio (geologico) più in generale, al fine di validare il modello geologico.

La MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL PENDIO (C6.3.3) dovrà tenere conto del modello geologico di riferimento attraverso lo sviluppo di uno studio geotecnico di un pendio finalizzato all'identificazione del suo modello geotecnico che implica: i) la definizione dei caratteri geometrici e cinematici dell'eventuale corpo di frana; ii) l'acquisizione dei dati necessari alle analisi, quali le caratteristiche meccaniche e idrauliche dei terreni o delle rocce presenti e iii) la valutazione del comportamento delle discontinuità e del regime delle pressioni interstiziali.

Ricostruito il modello geotecnico del pendio, lo studio geotecnico si completa con la valutazione delle condizioni di stabilità attuali e future, in relazione alla realizzazione di nuovi manufatti e in base anche alle possibili evoluzioni delle condizioni climatiche e ambientali, con il dimensionamento degli eventuali interventi di stabilizzazione e la programmazione del piano di monitoraggio. Tale studio è stato condotto con il supporto scientifico del CUGRI Consorzio inter Universitario per la Prevenzione dei Grandi Rischi Università di Salerno – Università di Napoli Federico II, incaricato dal comune di Stio per la *“Ricerca Applicata di carattere geomorfologico-applicativo sulle condizioni di stabilità della frazione Gorga e degli Ambiti Geomorfologici Significativi tesa alla definizione del quadro di riferimento tecnico-scientifico a supporto della fase di Fattibilità Tecnico-Economica di un Progetto di mitigazione del rischio idrogeologico dell'abitato della frazione Gorga.”*.

L'abitato di Gorga e i suoi dintorni nell'ambito del PSAI redatto dall'Autorità di Bacino Sx Sele, poi Campania Sud, allora competente per territorio, ricade in buona parte in zona a Rischio molto Elevato R4 e R3 così come la pericolosità P4 e P3 oltre a rientrare nelle Aree di Attenzione. Queste ultime definiscono *“le porzioni di territorio non sottoposte a modellazione idraulica né ricadenti nelle aree propriamente in frana, che evidenziano sotto il profilo geomorfologico una interazione dinamica gravitativa dei versanti e dinamica del reticolo drenante di versante”*.

L'intervento in studio si pone l'obiettivo, quindi, della mitigazione del rischio dell'abitato e delle aree di sottobacino e di ambito morfologico significativo. Tale obiettivo sarà ottenuto con la realizzazione di opere strutturali e non strutturali, ad integrazione di quelli esistenti, coadiuvato da un efficiente piano di monitoraggio, in modo da conseguire condizioni accettabili di sicurezza del territorio, così come previsto dalle norme di attuazione del PSAI.

Lo studio geologico è stato condotto sotto la direzione scientifica, del prof. Domenico Guida e con la collaborazione scientifica di campo e di modellazione cartografica del dott. Mario Valiante, nell'ambito dell'Assegno di Ricerca sull'applicazione della Metodologia LOOM (*Landslide Object-Oriented Modeling and Mapping*) ed in coerenza con l'aggiornamento delle Linee Guida per la Cartografia Geomorfologica, recentemente pubblicate dall'ISPRA (Campobasso, 20218).

Si ricorda che i contenuti del Piano Stralcio possono essere integrati in base a nuove conoscenze scientifiche, ovvero in base a nuove normative di riferimento tecnico-scientifiche di livello nazionale.

Lo studio di supporto scientifico si è articolato in più fasi:

- Acquisizione delle basi cartografiche ed aerofotogrammetriche disponibili più adeguate allo svolgimento delle indagini e studi programmati, tenendo conto delle attività già svolte dalla Provincia e dal comune, acquisendo la base cartografica CTR, scala 1:5.000, e la base LIDAR del Portale Cartografico Nazionale, per gli approfondimenti a scala di maggiore dettaglio;
- Predisposizione di una Base Digitale Tridimensionale (*Digital Elevation Model*) (scala 1:5.000, integrata con rilievo topografico delle aree di indagine e di studio, e sua ricomposizione con le ortofoto in scala adeguata;
- Rilevamento geologico, geomorfologico ed idrogeologico di dettaglio (1:2.000), con elaborazione delle relative carte tematiche allegate al progetto in scala 1:5000:
 - Carta Geolitologica
 - Sezioni geologiche
 - Carta Geolitologica del substrato
 - Carta geolitologica delle coperture sciolte
 - Carta Idrogeologica
 - Carta geomorfologica “ad oggetti”
 - Carta delle frane (elementi focali)
 - Carta delle frane (Livello Componenti)
 - Carta dell'antropico
 - Carta delle fasce altimetriche

- Carta delle Pendenze
- Carta della Curvatura totale
- Carta dell'Esposizione dei Versanti
- Carta della Direzione di Flusso
- Carta dell'Area Drenata
- Carta Indice Posizione Topografica Standard.

Le indagini geognostiche hanno previsto l'esecuzione di cinque sondaggi a carotaggio continuo spinti a profondità variabile dai 30 m ai 57 m, in cui sono stati prelevati campioni indisturbati, sottoposti a prove di laboratorio geotecnico; durante la perforazione sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT eseguite a più quote nei fori sondaggi. A completamento della campagna geognostica ed a supporto della predisposizione del Modello Geologico di Sottosuolo, ai sensi della normativa sopra riportata, sono state eseguite indagini geofisiche in due campagne d'indagine successive, per un complessivo di n. 6 tomografie sismiche a rifrazione. Tutte le indagini vengono riportate con le rispettive ubicazioni in apposito report allegato al progetto TAV. 1.10.16

INQUADRAMENTO TERRITORIALE E NORMATIVO

L'area di studio (Figura 1) ricade nel territorio comunale di Stio (SA) ed è riportata nel Foglio 503 Sez. I "Felitto" della Carta Topografica d'Italia dell'I.G.M. in scala 1:25.000 e nei seguenti Elementi della Carta Tecnica Numerica della Regione Campania in scala 1:5.000: **503071 – 503072**



Figura 1 - Panoramica dell'area di studio.

Il territorio in esame rientra nell'ambito del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, ovvero della Unità di Gestione Regionale Sinistra Sele (ITR153, Dir. 2007/60/CE art. 3), ex Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale Sele; già ex Autorità di Bacino Regionale Sinistra Sele, che regola gli interventi sul proprio territorio di competenza mediante i Piani stralcio di Bacino delle Unità di Gestione (Figura 4).

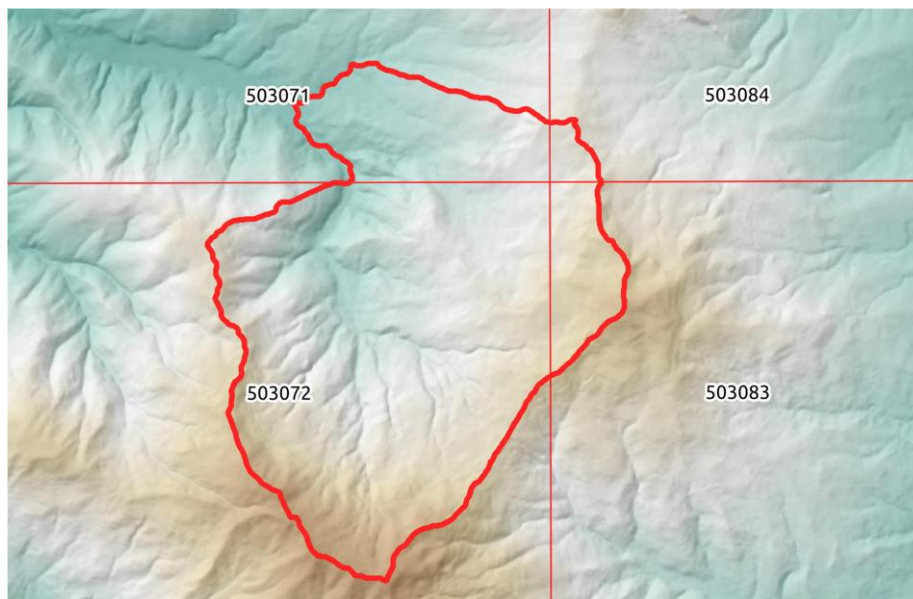


Figura 3 - Limiti amministrativi comunali nei pressi dell'area di studio

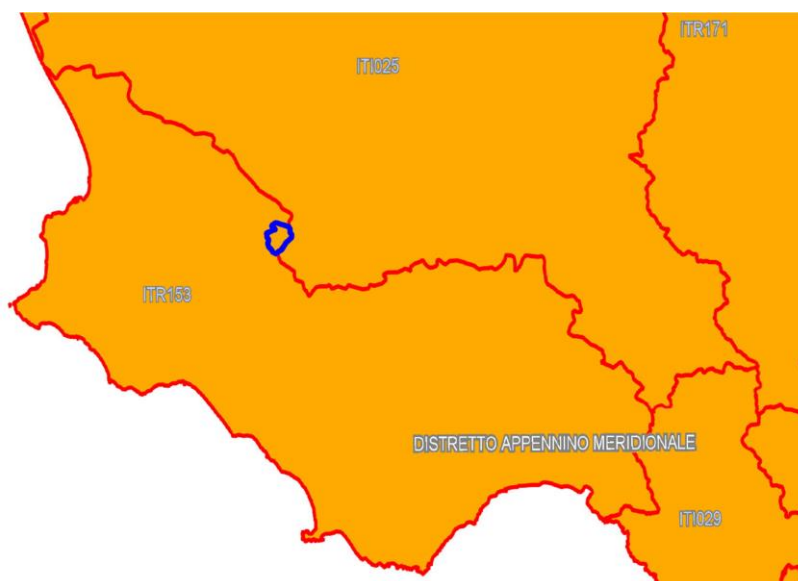


Figura 4 - L'area di studio nell'ambito delle Unità di Gestione dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Meridionale

L'area di studio, secondo la Mappa della Zonazione Sismogenetica del territorio nazionale (ZS9), elaborata dal Gruppo di Lavoro MPS, 2004 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, non ricade in zone responsabili della sismicità. Il territorio comunale di Stio, secondo la “Classificazione sismica del territorio della Regione Campania” approvata dalla Giunta Regionale della Campania, in data 07/11/2002, con DGR n.

5447, in ottemperanza all'OPCM 3274/03, e al successivo OPCM n. 3519/06, ricade in **Zona sismica 2**.

Tabella 2 - Classificazione sismica del comune di Stio

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (ag)
2	$0.15 \text{ g} < a_g \leq 0.25 \text{ g}$

Dalla Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale (Figura 5 e Figura 6) è possibile osservare che l'accelerazione orizzontale massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$) è compresa per la zona d'esame (settore delimitato in blu) nell'intervallo $0.100 \div 0.125$.

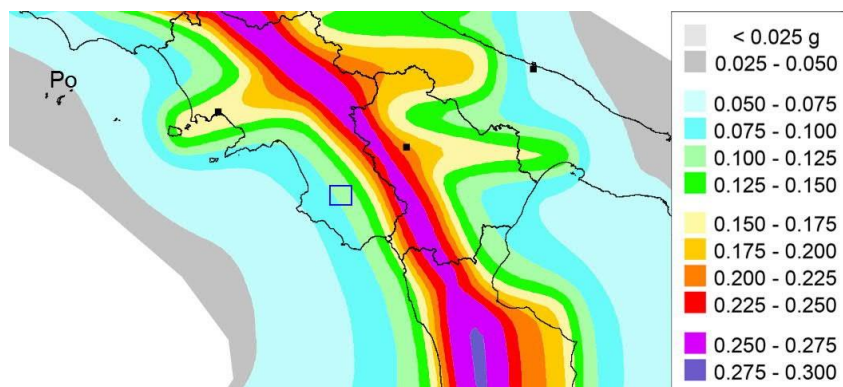


Figura 5 - Stralcio della Carta dei Valori di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale.

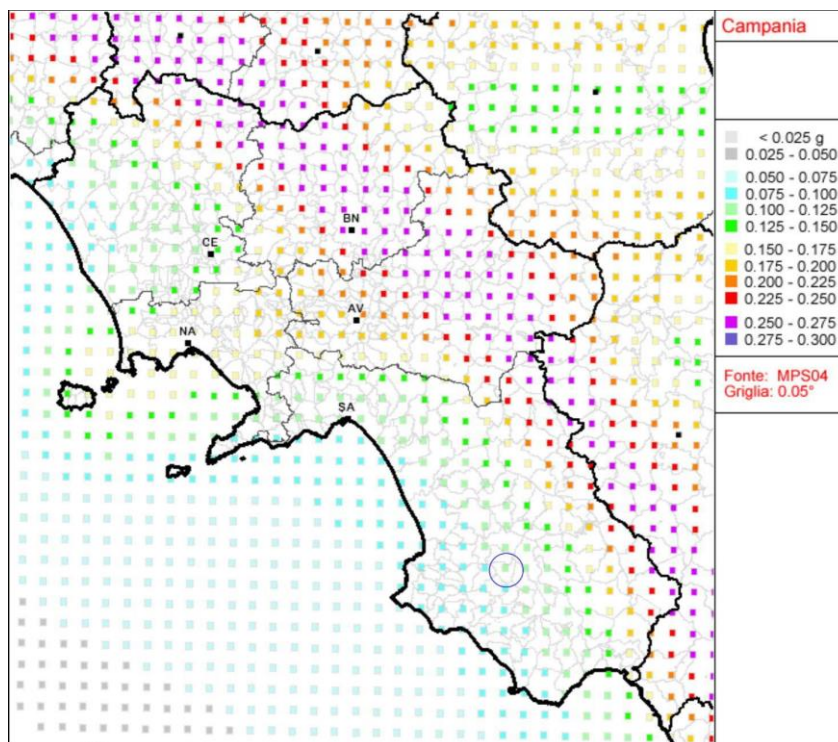
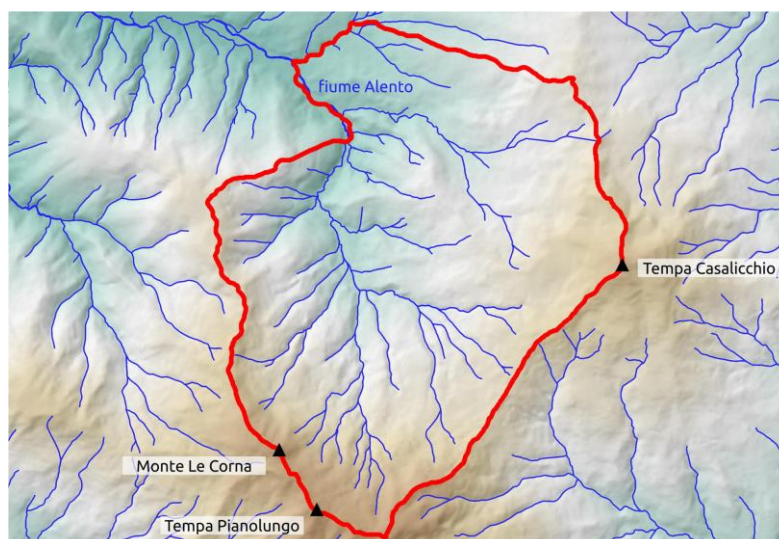


Figura 6 - Carta dei Valori di Pericolosità Sismica, dettaglio Regione Campania.

OROGRAFIA E IDROGRAFIA

L'area di studio, ampia circa $5,7 \text{ km}^2$, è delimitata a Nord, dalla valle del fiume Alento, a Sud, Sud-Ovest dalla dorsale Monte Le Corna (894,6 m s.l.m.) – Tempa Pianolungo (914,1 m s.l.m.), e ad Est dal rilievo di Tempa Casalicchio (818,3 m s.l.m.); quest'ultimo definisce anche lo spartiacque tra i bacini idrografici dei fiumi Alento e Calore Salernitano (Figura 7). La configurazione orografica ed idrografica riflette l'assetto geologico-strutturale dei terreni del substrato ed è il risultato delle fasi morfo-evolutive



responsabili del modellamento dell'area. Il reticolo idrografico, che ricalca i principali lineamenti strutturali che attraversano l'area, è costituito dal primo tratto del fiume Alento che si sviluppa in quest'area in direzione circa Nord-Sud, e dai fossi e valloni tributari, a carattere per lo più torrentizio, che alimentano questo primo tratto. Questo primo tratto del fiume Alento presenta alvei a fondo mobile in sedimenti sciolti, con sponde in depositi alluvionali terrazzati e barre concresciute variamente sovrapposte. L'andamento del reticolo di ordine gerarchico minore è contraddistinto da un pattern condizionato oltre che dall'assetto strutturale anche dal grado di erodibilità e permeabilità dei terreni affioranti. Tali aste presentano infatti sezioni di deflusso generalmente a "V" e tendenza all'erosione sia verticale che laterale.

Figura 7 - Idrografia e orografia dell'area di studio

INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il territorio comunale di Stio, dal punto di vista geologico, si sviluppa su un'area alquanto complessa in quanto in essa vengono a contatto, in un rapporto tettonico, termini ascrivibili alle unità terrigene dell' Appennino meridionale. Questo settore di territorio, così come l'intera area cilentana, è caratterizzata da un motivo strutturale dominante, rappresentato dalla sovapposizione dei terreni ascrivibili alle varie coltri di ricoprimento che compongono l' Appennino, sui sedimenti della "piattaforma carbonatica campano lucana" avvenuta nel miocene.

E' ormai generalmente accertato che l'Appennino sia una catena a falde di ricoprimento, derivata in gran parte dalla deformazione dell' articolato bordo settentrionale del continente africano. Infatti " l'Appennino centro - meridionale" è una catena che si è realizzata in più fasi di compressione con vergenza nell'insieme Adriatica.

La deformazione delle zone esterne appenniniche si è spostata nel tempo e nello spazio dall'inizio del miocene sino almeno al pliocene medio, coinvolgendo, prima le zone attualmente prospicienti in Mar Tirreno e poi via via fasce più esterne fino all' avampaese adriatico, che è rimasto pressoché deformato. Infatti la zona che nell' ambito dell'Appennino Meridionale ha raggiunto per prima un sostanziale equilibrio è quella più interna (Cilento, Monti Picentini, Penisola Sorrentina). In questa fascia le grossi fasi surrettive si esauriscono nel corso del quaternario medio, determinandone la gran parte dell'assetto morfo strutturale.

L' attuale assetto morfologico del territorio comunale di Stio quindi, è conseguenza delle fasi tettoniche plio -pleistoceniche, a cui è da collegare il complesso sistema di faglie che hanno contribuito alla formazione di horst - carbonatici quali il blocco del M. Cervati prevalentemente monoclinale e bassi strutturali (Valle del Calore e dell' Alento) in cui prevalgono termini tenigeni. Le formazioni terrigene affioranti nel territorio di Stio ancora oggi

costituiscono oggetto di studio nella loro collocazione paleogeografica ed nel loro assetto stratigrafico nel contesto geologico dell'intera catena appenninica.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

Sulla base dei dati scientifici ufficiali (Progetto CARG), in questo settore dell'area cilentana è possibile distinguere, , terreni riferibili a diverse unità paleogeografiche e tettoniche:

- Depositi di avanfossa (Unità tettonica Alburno-Cervati-Pollino)
- Formazione del Bifurto [BIF] (*Langhiano*)
- Unità tettoniche “interne” – Unità tettonica Castelnuovo Cilento o “*terreni ad affinità sicilide*”
- Marne e Calcareniti del torrente Trenico [TNC] (*Chattiano – Burdigaliano*)
- Arenarie di Pianelli [PNL] (*Burdigaliano inf.*)
- Unità tettoniche “interne” – Unità tettonica Liguride
- Formazione del Saraceno [SCE] (*Rupeliano – Aquitaniano*)
- Arenarie di Cannicchio [CNN] (*Burdigaliano*)
- Depositi della successione epi-suturale (Gruppo del Cilento)
- Arenarie di Pollica [PLL] (*Langhiano*)
- Formazione di San Mauro [MAU] (*Langhiano – Tortonian*
inf.)

L'area in esame può essere suddivisa in due blocchi principali separati da un motivo tettonico di tipo transtensivo. Nel blocco di letto ritroviamo le formazioni dell'unità tettonica Castelnuovo Cilento sovrascorse sulla Formazione del Bifurto, mentre sul blocco di tetto si ritrovano i terreni dell'unità tettonica Liguride sui quali poggiano in discordanza le formazioni del Gruppo del Cilento.

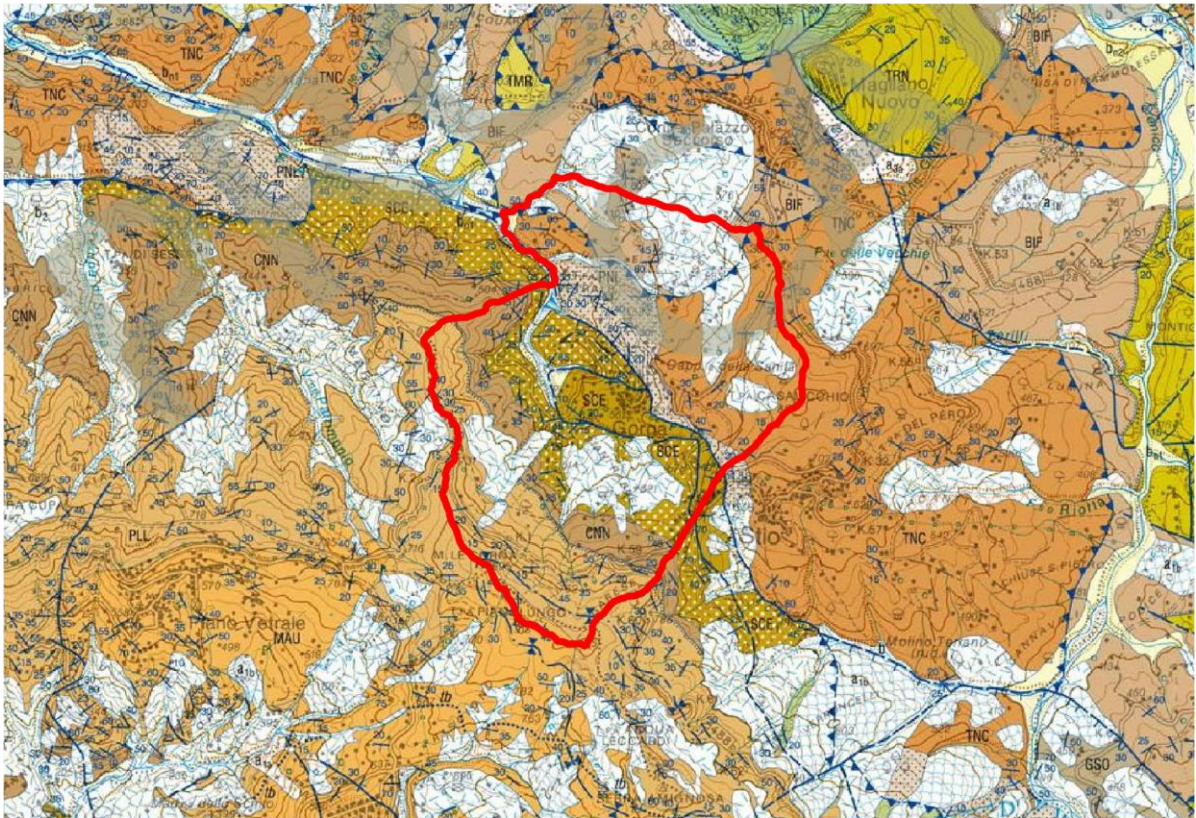


Figura 8 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Progetto CARG, Foglio 503 Vallo della Lucania

La successione stratigrafica che costituisce il substrato dell'area di indagine è rappresentata dalle seguenti formazioni geologiche, caratterizzate da distintivi caratteri litologici (Elab. 06 – Carta Geologica, Elab. 07 - Carta Geolitologica del substrato):

- **Formazione del Bifurto** – prevalenti argille color tabacco, talora policrome, ed argille siltose in livelli spessi e molto spessi con intercalazioni di torbiditi medie e spesse marnose e marnoso-calcaree grigie chiare con base talora costituita da areniti carbonatiche, grigie, grossolane, livelli di bio-calciruditi (brecciole) e arenarie silicoclastiche.
- **Marne e Calcareniti del Torrente Trenico** – torbiditi marnoso-calcaree e marnoso arenacee, in strati da medi a molto spessi, tabulari; marne grigie chiare in livelli spessi e argilliti sottilmente laminate, da grigio chiare a scure, raramente rossastre nella parte inferiore; areniti frequentemente carbonatiche, grigie, da medie a fini; rapporto A/P (arenaria/pelite) variabile

da poco maggiore a molto minore di 1.

- **Arenarie di Pianelli** – torbiditi arenaceo-pelitiche, sottili e medie tipo TBT, raramente spesse, generalmente tabulari; arenarie ricche in quarzo e miche, grigie, da medie a fini; peliti siltose di colore variabile da grigio a verde nocciola, raramente rossastro; A/P variabile da maggiore a molto minore di 1.

- **Formazione del Saraceno** – torbiditi arenaceo-pelitiche e calcareo-marnose in strati generalmente da medi a spessi, talora sottili o molto spessi, costituiti da arenarie e areniti carbonatiche grigie, da medie a fini, talora grossolane, talora con liste e noduli di selce scura e argilliti foliate, generalmente grigio-azzurre e grigio-verdi, talora nerastre, raramente rossastre; A/P generalmente maggiore di 1, talora minore di 1, Frequenti vene di calcite e quarzo.

- **Arenarie di Cannicchio** – torbiditi sottili e medie, tipo TBT, arenaceo-pelitiche, A/P generalmente uguale a 1, con arenarie fini, litiche ed arcose, e peliti siltose grigio-verdastre.

- **Arenarie di Pollica** – torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da medie a fini, a volte grossolane, litiche e d arcose e subordinate peliti siltose grigio-verdastre in strati da sottili a spessi, talora lenticolari; A/P generalmente maggiore di 1. Frequenti intervalli di conglomerati poligenici, con matrice prevalentemente arenacea, in livelli spessi o molto spessi.

- **Formazione di San Mauro** – torbiditi arenaceo-pelitiche e calcarenitico-marnose, con frequenti intervalli conglomeratici; strati generalmente da sottili a molto spessi, talora plurimetrici, fino a decametrici, con geometria generalmente tabulare, talora lenticolare; A/P generalmente maggiore di 1; areniti da medie a fini, talora grossolane, prevalentemente arcose e litiche; peliti per lo più marnose, grigie e grigio-verdastre, talora grigio chiare; conglomerati poligenici con elementi da centimetrici a decimetrici, in matrice arenacea.

RILEVAMENTO GEOLOGICO DELLE COLTRI DI COPERTURE

Il rilevamento geologico è stato effettuato, in considerazione delle finalità del presente studio, distinguendo le litologie del substrato dai terreni di copertura, riportandoli in una specifica cartografia (cfr. Elab. 08 - Carta Geolitologica delle Coperture Sciolte). Tali depositi costituiscono i sedimenti più superficiali di natura residuale, colluviale, detritica o alluvionale che ricoprono il substrato geologico.

Nell'area di studio prevalgono depositi di copertura quaternari di genesi legata a processi gravitativi di massa. È diffusamente presente, infatti, una coltre di depositi clastici caotici con spessori anche decametrici.

Si descrivono di seguito le tipologie dei depositi rilevati:

Coperture di versante: Depositi di frana - Depositi clastici caotici costituiti da frammenti lapidei eterometrici, comprendenti talora anche pacchi di strati, inglobati in una matrice più o meno prevalente di natura argilloso - limosa.

Coperture alluvionali: Depositi alluvionali attuali - depositi sciolti a granulometria da media a grossolana, costituiti prevalentemente da ghiaie, ciottoli e blocchi in scarsa matrice sabbiosa.

Depositi alluvionali terrazzati - depositi addensati a granulometria da media a grossolana, costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli eterogenei, generalmente ben arrotondati, in matrice sabbiosa con intercalazioni di lenti sabbioso - limose e limo - argillose. A luoghi presentano coperture eluvio-colluviali pedogenizzate.

Depositi di conoide detritico-alluvionale - depositi stratoidi eterometrici costituiti da alternanze di lenti e strati di ghiaie con ciottoli e blocchi a elementi da subangolari ad arrotondati, da sciolti a addensati.

Tra i depositi di copertura sono stati inoltre riportati anche le porzioni di pseudo-substrato mobilizzato per gravità ad opera di deformazioni e/o scorrimenti profondi. In questi depositi sono ancora riconoscibili la stratificazione originaria e altre strutture caratteristiche delle formazioni da cui essi provengono.

IDROGEOLOGIA ED ACQUE SUPERFICIALI

Il territorio comunale di Stio, si sviluppa a cavallo dello spartiacque del Fiume Calore e del Fiume Alento.

L'abitato di Stio rientra nel bacino idrografico del Calore Salernitano mentre l'abitato di Gorga in quello del F. Alento. Quest'ultimo trova origine sulle pendici occidentali di M.te Coma con un ampio ventaglio di testate le cui aste drenanti si uniscono danno origine al F. Alento a valle dell'abitato di Gorga.

Tutte le incisioni torrentizie presenti nel territorio comunale si sviluppano nei materiali terrigeni. Il loro reticolo drenante è stato decisamente condizionato dai fenomeni franosi e si presenta come una fitta rete costituita da incisioni alquanto ravvicinate la cui morfologia è classica di alvei in forte approfondimento verticale. La portata di tali incisioni, è a carattere torrenziale, ossia nulla o quasi nulla nei periodi di scarsa piovosità, elevata nel periodo di massima che gli conferisce, grazie al notevole trasporto solido, un elevato potere erosivo. Nei termini argillosi che affiorano estesamente nel territorio comunale, data la loro bassa o quasi nulla permeabilità, la circolazione idrica sotterranea è alquanto limitata e di difficile individuazione. Su tali materiali infatti, non è possibile ipotizzare alcun modello basato su situazioni strutturali e su tipi di permeabilità sicuramente definibili.

Le acque di ruscellamento, quindi, non potendo penetrare nel sottosuolo scorrono lungo i versanti alterando la roccia in posto e generando spesso fenomeni di intensa erosione.

La ricostruzione dell'assetto litologico-stratigrafico e strutturale ha consentito di definire le caratteristiche idrogeologiche dell'area.

I depositi affioranti sono stati raggruppati nei seguenti complessi idrogeologici sulla base della loro posizione geometrica, strutturale,

stratigrafica e delle loro caratteristiche (tipo e grado) di permeabilità:

- **Complesso ghiaioso-sabbioso** - Costituito da ghiaie, ciottoli e blocchi, con matrice sabbiosa, da poco addensate a sciolte. Permeabilità da media ad alta per porosità.

- **Complesso detritico** - Costituito da depositi clastici caotici, sovrapposti ai terreni del substrato, costituiti da frammenti lapidei eterometrici della stessa natura del substrato, comprendenti talora anche pacchi di strati, inglobati in una matrice più o meno prevalente di natura argilloso – limosa (depositi di frana). Permeabilità medio-alta per porosità.

- **Complesso arenaceo-marnoso** – costituito dalle formazioni flyschoidi a carattere prevalentemente arenaceo-marnoso. Permeabilità per porosità e fratturazione da media a molto alta.

- **Complesso arenaceo-pelitico** – costituito dalle formazioni torbiditiche a carattere prevalentemente arenaceo-pelitico. Permeabilità per porosità e fratturazione da medio- bassa a media.

- **Complesso argilloso caotico** – costituito dalla Formazione del Bifurto. Permeabilità per fratturazione bassa.

- **Complesso calcareo-marnoso-siltoso** – costituito dalle formazioni flyschoidi a carattere arenaceo-pelitico e calcareo-marnoso. Permeabilità per fratturazione da bassa a molto bassa.

- **Complesso marnoso-argilloso** – costituito dalle formazioni torbiditiche a carattere marnoso-argilloso. Permeabilità per fratturazione da medio-bassa a media.

Le sorgenti minori rinvenute in questi terreni sono da attribuire spesso a limitati accumuli idrici localizzati nei depositi superficiali di copertura ed emergenti per differenza di permeabilità con il substrato, oppure, alla presenza, nell'ambito del complesso Argilloso - marnoso - arenaceo, di livelli arenacei a maggiore permeabilità relativa.

L'insieme delle sorgenti presenti nell'area di interesse contribuiscono alla nascita e alla prima alimentazione del fiume Alento, il maggiore corso d'acqua dell'area cilentan, ad oggi anche di notevole rilevanza socioeconomica dovuta all'invaso artificiale presente lungo il suo corso (non presente nell'area di studio).

GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico, la zona in studio può essere raggruppato in un unico dominio ben delineabile, che con l' area di affioramento dei terreni flyschiodi delle varie unità terrigene.

In questi terreni mancano o sono molto rari le forme a controllo strutturale e questo, non perchè mancano situazioni geologiche idonee, bensì le litologie affioranti sono poco conservative rispetto alle forme endogene (tipo i versanti di faglia) e pertanto vengono velocemente cancellate dai processi erosionali.

Le linee di drenaggio superficiale, quindi, raramente rimarcano i lineamenti tettonici presenti nella massa rocciosa, il loro andamento spesso risente di antiche situazioni morfologiche riconducibili talvolta alla fisiografia grossomodo tabulare modellata da cicli erosionali precedenti.

Le pendenze in questo dominio sono molto variabili ed i pendii hanno profili trasversali composti con diverse concavo, convessità. La morfodinamica in atto è potenziale ed è dominata dall' erosione lenta per ruscellamento disordinato e diffuso.sulle zone piane o con pendenze medio basse, dove agiscono spesso fenomeni di creep lento della coltre eluviale allentata.

Nelle zone di impluvio, prevale l'erosione lineare che innesca in alcuni casi frane di richiamo sui fianchi vallivi e nelle zone di testata. Tale fenomenologia si rinviene nel ventaglio di testata del fiume Alento dove lungo i versanti incisi dalle varie aste torrentizie sono interessate da diffusi fenomeni franosi.

In questo dominio quindi si può cogliere una dimensione Morfoevolutiva legata a diffusi e generalizzati movimenti erosivi lineari e/o areali, pertanto il fenomeno frana è da considerare quale l'agente morfogenetico di primaria importanza.

Ne sono testimonianza le varie vecchie frane accertate e i diversi dissesti attivi presenti sull'intero territorio.

La franosità antica che ha coinvolto spesso vaste aree di versante ed in alcuni casi interi versanti, è stata innescata e controllata prevalentemente da tre fattori, come neotettonica, variazioni climatiche, condizioni litotecniche.

Infatti, il sollevamento della zona a seguito degli eventi neotettonici e le oscillazioni eustatiche, hanno determinato l'approfondimento degli alvei (F. Alento e F. Calore) con inneschi di movimenti di massa lungo i versanti di neo formazione costituiti da materiali a prevalente componente argillosa fortemente tettonizzata.

Spesso le frane attive, oggi presenti nel territorio, risultano retaggio della morfogenesi passata, come il caso del dissesto che coinvolge l'abitato di Gorga. lungo l'intero versante occidentale di Tempa Casalicchio che degrada verso il fondovalle dell'Alento, si rinvengono tre fenomeni gravitativi profondi di grandi proporzioni con fenomenologia e cinematismo complesso. Non si esclude che trattasi di un unico e grosso fenomeno in parte quiescente, la cui corona è posta a c.a. 700 m di quota, dove nell'ambito del corpo centrale principale si sono innescati e/o riattivati dissesti minori. La maturità del fenomeno e le evidenze geomorfologiche accertate nell'area fanno ritenere che possa trattarsi di tre distinti fenomeni gravitativi profondi di tipo colamento lento. Due fenomeni gravitativi interessano il centro abitato di Gorga, il più esteso coinvolge la zona occidentale del paese, la corona di distacco ben distinguibile nell'ambito del versante, appare oggi modellata con chiari segni di maturità, ed è posta a valle della strada provinciale Stio Gorga a monte dell'abitato ad una quota di ca.600 m il

fenomeno si estende poi lungo l'intero versante sino a raggiungere il fondo valle dell'F. Alento. Il secondo dissesto si sviluppa nella zona orientale dell'abitato, la cui corona, anch' essa con segni di maturità morfologica, si individua a valle della chiesa ed anche in tal caso il fenomeno si estende sino al fondovalle. Sul lato esterno il cumulo è inciso da una asta torrentizia Vallone Fescali la cui azione erosiva al piede genera continui dissesti sui bordi del cumulo con sensibili arretramenti del ciglio superiore della scarpata. Entrambi i fenomeni pur se molto lenti, come accertato con il monitoraggio, da 1 a 2 cm anno) lungo i bordi e nella parte centrale subiscono locali riattivazioni come avvenne nel 1954 quando si ebbe un crollo di un' abitazione. Attualmente alcuni fabbricati presentano lesioni nelle strutture portanti in elevazione nella zona a valle della piazza Camino Valio, e nella zona compresa fra via Firenze e Piazza IV Novembre, inoltre lungo via Firenze in prossimità del sito che nel ' 54 fu interessato dal crollo, è presente una lesione lungo la strada più volte riparata e tuttora riaperta, il cui effetto si è manifestato anche nelle strutture di un fabbricato posto immediatamente più a valle.

La carta geomorfologica è stata redatta seguendo un approccio “ad oggetti”, ovvero classificando le forme del rilievo ed i relativi depositi con una mappatura a copertura completa basata su una classificazione gerarchica e orientata agli oggetti (“object-oriented”) similmente a quanto è stato fatto per le frane (§ par. 8), omettendo la rappresentazione simbolica, ritenuta ridondante e non significativa per le finalità dell'elaborato.

Le forme del rilievo sono state derivate utilizzando una classificazione basata su elaborazioni geomorfometriche (“grid-based”) sfruttando principalmente l'Indice di Posizione Topografica (TPI, Topographic Position Index) (§ par. 11.6). I valori di TPI sono stati classificati in base ai valori di deviazione standard e le forme del rilievo derivano da una suddivisione gerarchica progressiva che parte dalla definizione delle Unità Topografiche di Base (Campobasso et al. 2018), a partire da quest'ultime vengono derivate le

Posizioni di Versante ed infine le Forme del Rilievo (Tabella 3).

Tabella 3 - Classificazione gerarchica delle forme del rilievo

Sommità	Crinale	Scarpata
		Crinale
		Cima, cresta, pinnacolo
		Ripiano sommitale
Versante sommitale		Scarpata
		Spalla, crinale secondario, sella
Versante	Versante intermedio	Scarpata
		Versante
	Ripiano intermedio	Ripiano intermedio
	Piede di versante	Scarpata erosive
Piede di versante		
Piana alluvionale		
Fondovalle	Fondovalle	Scarpata erosive
		Valle, vallecola, canale
		Piana alluvionale
		Scarpata erosive
		Fondovalle, canale inciso, forra

I contorni delle forme deposizionali sono derivati dalla Carta delle Coperture (cfr. Elab. 08 - Carta Geolitologica delle Coperture Sciolte) e dalla Carta delle Frane (cfr. Elab. 11 – Carta delle Frane (livello focale)). Viene inoltre riportata l'evoluzione temporale dell'alveo del fiume Alento, derivato dall'analisi di foto aeree a sufficiente risoluzione.

In particolare, viene riportato lo stato dell'alveo negli anni 1998, 2004, 2012, 2018).

Tale dinamica evolutiva di alveo denuncia l'influenza della notevole quantità di materiale grossolano proveniente dai fenomeni franosi attivi di sponda, che vengono presi in carico da correnti ad alta concentrazione (flussi iperconcentrati), derivati anche da processi di "dam break".

ELABORATI GEOMORFOMETRICI

In questa sezione vengono descritti gli elaborati prodotti a partire dall'analisi del modello digitale del terreno (DTM) (cfr. Elab. 05 – Modello Digitale del Terreno (DTM)).

1 - Pendenza

Nella carta delle pendenze vengono riportati i gradienti derivati dalle differenze di quota cella per cella con le 8 celle circostanti. Il valore di pendenza riportato può essere espresso sia in gradi che in valori percentuali.

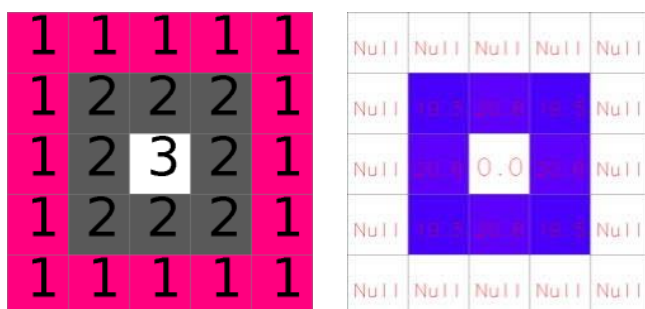


Figura 10 - DTM di esempio e corrispondenti valori di pendenza (estratto dal manuale di Grass GIS)

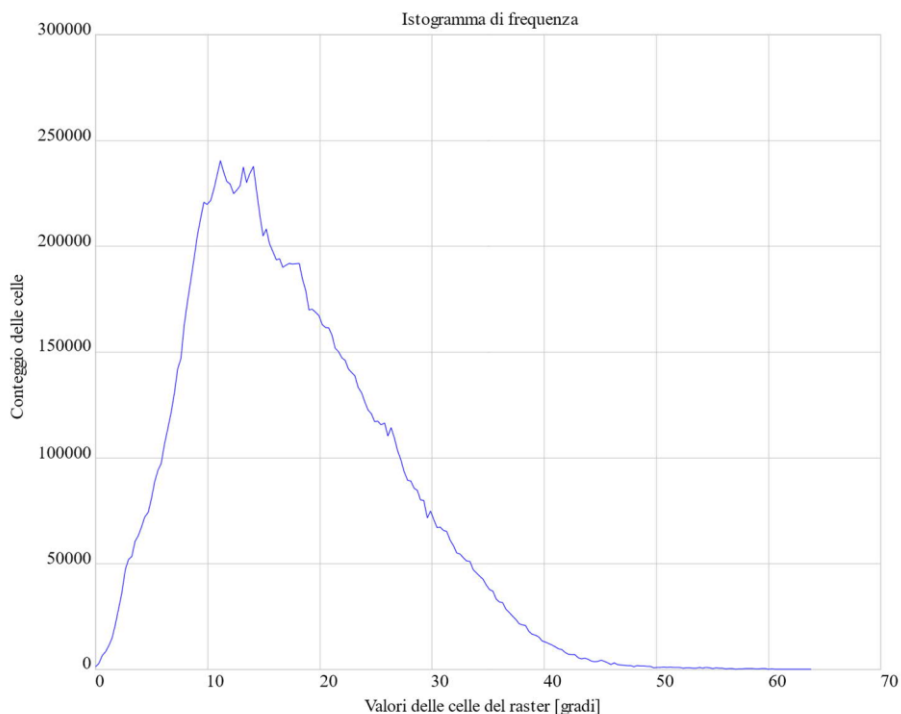
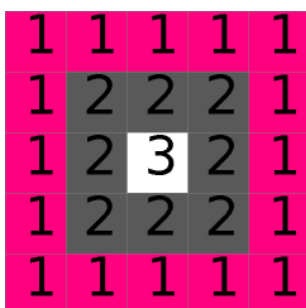


Figura 11 - Frequenza dei valori di pendenza per l'area in esame

2 - Curvature

La curvatura del terreno viene calcolata secondo due direzioni principali: parallelamente alla massima pendenza (curvatura di profilo) e perpendicolarmente ad essa (curvatura tangenziale). La curvatura totale risulta, invece, da una combinazione delle precedenti. La curvatura si esprime in metri⁻¹, ovvero, un valore di curvatura pari a 0,05 corrisponde ad un raggio di curvatura pari a 20m. valori positivi della curvatura indicano convessità del terreno mentre valori negativi esprimono concavità (Figura 12).



Null	Null	Null	Null	Null
Null	0.0	0.1	0.0	Null
Null	0.1	0.0	0.1	Null
Null	0.0	0.1	0.0	Null
Null	Null	Null	Null	Null
Null	Null	Null	Null	Null
Null	0.3	0.1	0.3	Null
Null	0.1	0.0	0.1	Null
Null	0.3	0.1	0.3	Null
Null	Null	Null	Null	Null

Figura 12 - DTM di esempio e corrispondenti valori, rispettivamente, di curvatura di profilo e tangenziale (estratto dal manuale

di Grass GIS)

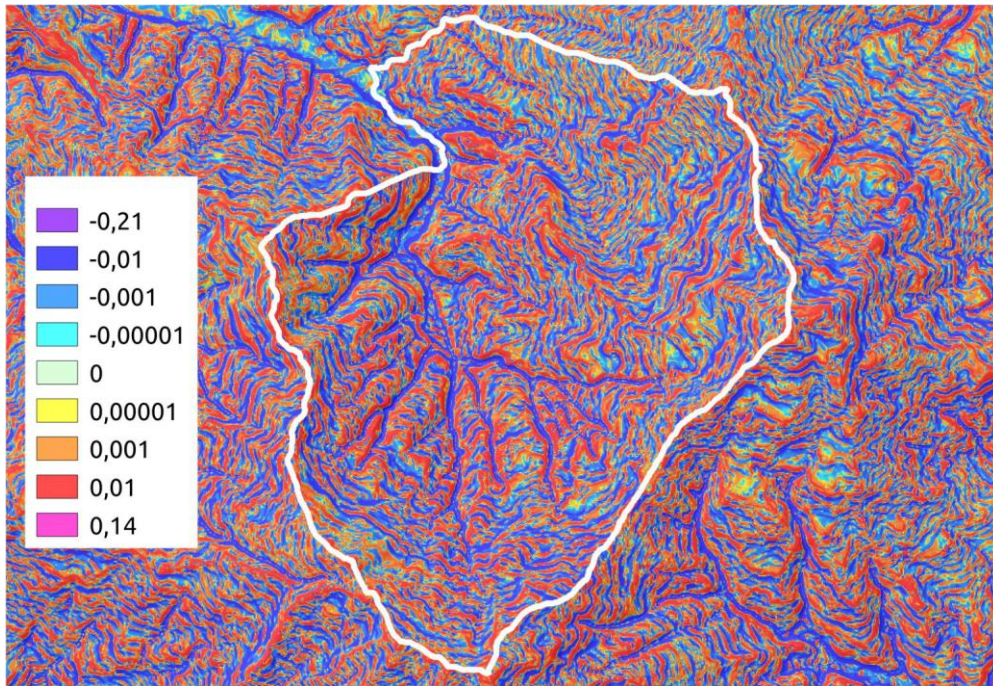


Figura 13 - Valori della curvatura di profilo per l'area in esame

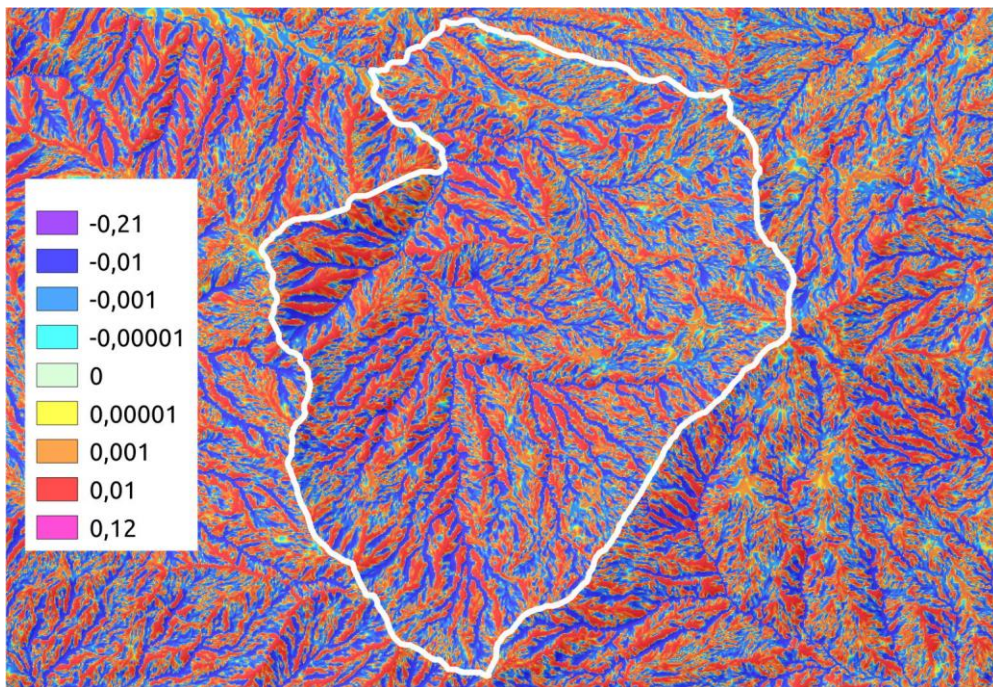


Figura 14 - Valori della curvatura planimetrica per l'area in esame

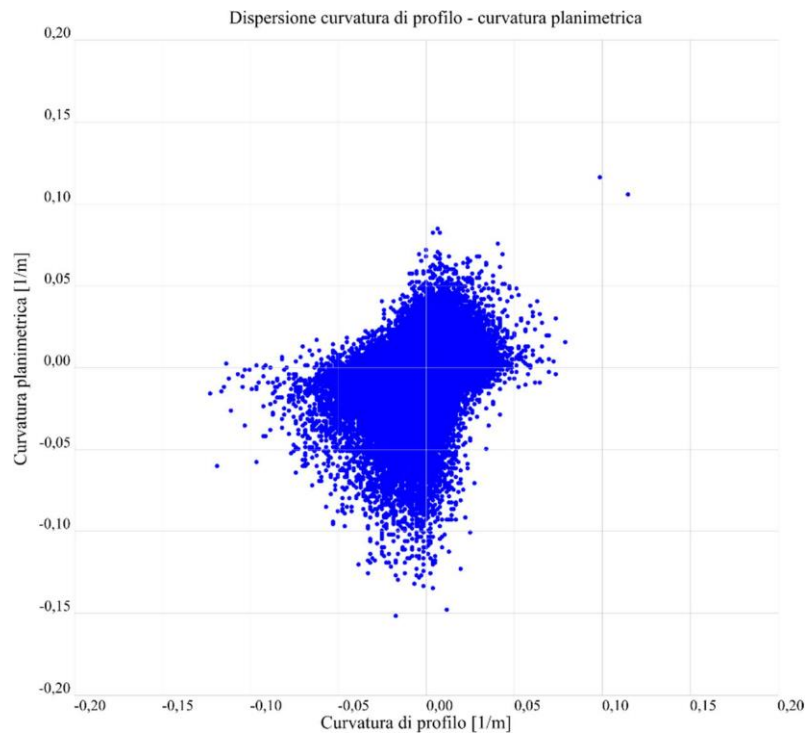
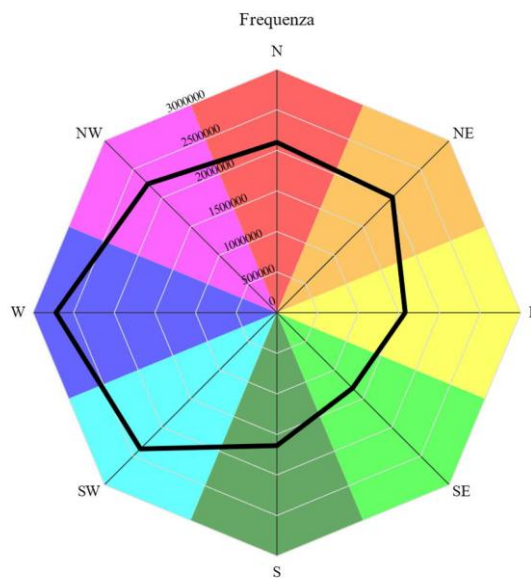


Figura 15 - Dispersione dei valori di curvatura di profilo e planimetrica per l'area in esame



/

Figura 18 - Frequenza dei valori di esposizione per l'area in esame

3 - Direzione di flusso

La direzione di flusso esprime la direzione, o le direzioni, verso la quale un ipotetico flusso superficiale scorrerebbe. Il modello più semplice per definire la direzione di flusso è il modello “D8” o a “flusso singolo” (*Single Flow Direction – SFD*), dove la direzione di flusso viene assegnata in base alla

direzione di massima pendenza. Essendo la realtà ben più complessa, ai fini del presente lavoro è stato utilizzato il modello di “flusso multiplo” (*Multiple Flow Direction – MFD*), il quale distribuisce il flusso a tutte le celle vicine con elevazione inferiore alla cella di riferimento utilizzando come peso il valore di pendenza. Il valore della direzione di flusso è rappresentato da numeri interi con valori compresi tra 1 e 255 secondo lo schema riportato in (Figura 19), in particolare nel modello D8 solo 8 valori sono possibili. Nel modello a flusso multiplo, il valore di cella indica la somma dei flussi verso le 8 celle vicine. Per interpretare tale valore è necessario convertire il numero decimale in una stringa binaria, la quale sarà composta da 8 cifre. Queste 8 cifre corrisponderanno, da destra verso sinistra, alle 8 celle vicine partendo da quella ad Est ed in senso orario (Figura 20). Alcuni valori di esempio sono:

- 0 = 00000000, flusso verso nessuna cella vicina (cella di depressione)
- 5 = 00000101, flusso verso Est e verso sud (punto di sella)
- 30 = 00011110, flusso verso Sud-Est, Sud, Sud-Ovest e Ovest (Versante convesso esposto a Sud-Sud-Ovest)
- 255 = 11111111, flusso verso tutte le 8 celle vicine (cella di picco o vetta)

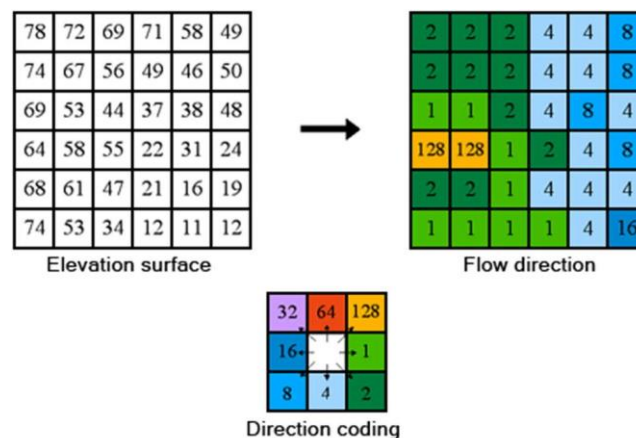


Figura 19 - DTM di esempio e direzioni di flusso secondo il modello D8 (estratto dal manuale ArcGIS)

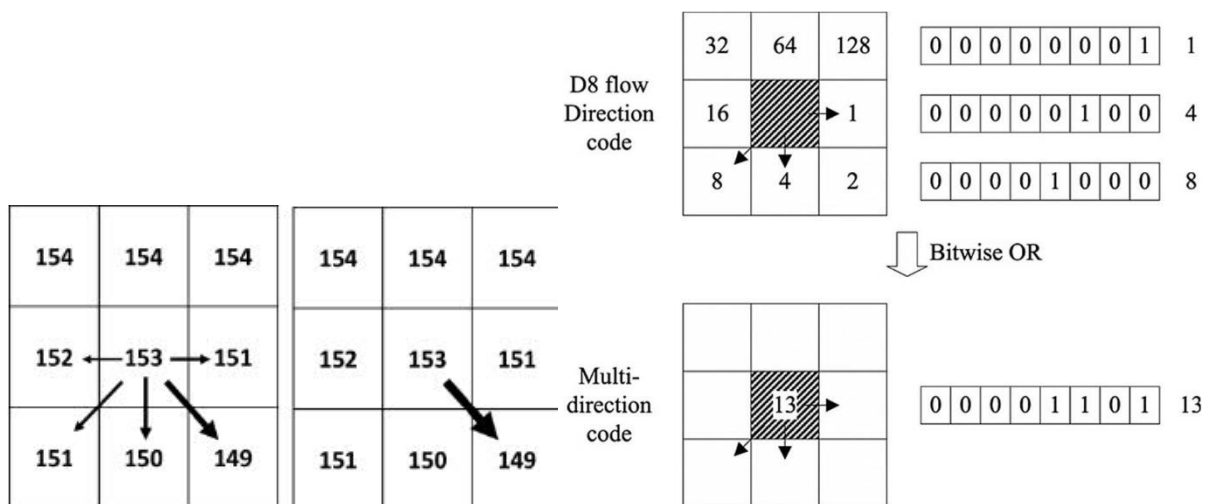


Figura 20 - A sinistra SFD e MFD a confronto, a destra interpretazione dei valori di direzione di flusso (in alto SFD, in basso MFD) (modificato da (Zhengqing et al. 2015))

a. Area drenata

A seguito del calcolo della direzione di flusso, l'area drenata esprime il valore cumulato delle celle che contribuiscono al flusso entrante nella cella di riferimento. Tale valore, correlato alla risoluzione spaziale del DTM di partenza, restituisce il valore dell'area drenante a monte del punto di riferimento.

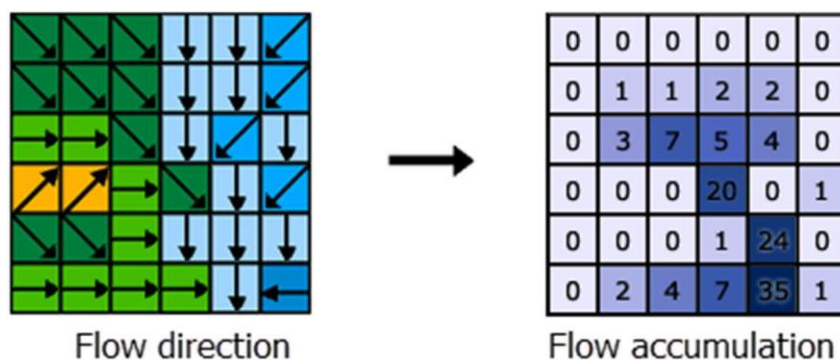


Figura 21 - A sinistra l'esempio di direzione di flusso mostrato in Figura 19, a destra i corrispondenti valori di area drenata

espressi in celle.

b. Indice di Posizione Topografica

L'Indice di Posizione Topografica (*Topographic Position Index* - TPI) è stato utilizzato per la definizione delle forme del rilievo (§ par. 7). Questo indice è stato definito da Weiss, 2001 come la differenza di elevazione tra un punto e la media di un suo intorno arbitrario, di dimensione e forma definite dall'utente:

$$TPI = z_0 - z_{media}$$

Ai fini di questo lavoro, è stata scelta una geometria di intorno circolare con raggio variabile. Solitamente, la scelta della dimensione dell'intorno è soggettiva e dipende dalle finalità dello studio (Tagil and Jenness 2008). Per ovviare a questa soggettività nella scelta delle dimensioni dell'intorno, sono stati utilizzati diversi raggi secondo una sequenza esponenziale di 2^n celle dtm, da 2^0 a 2^{10} . Successivamente, la sequenza di output è stata mediate sia utilizzando i dataset di output diretto sia utilizzando i dataset standardizzati secondo la formula:

$$TPI_{std} = \left(\frac{TPI - media}{deviazione\ standard} \right) * 100$$

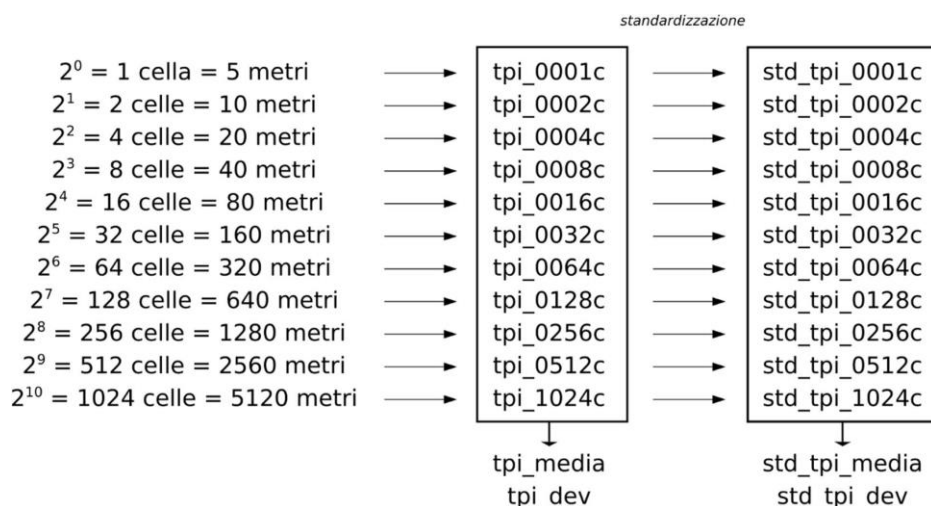


Figura 22 - Esempio di workflow TPI con un dtm di risoluzione pari a 5 m

In questa equazione, media e deviazione standard si riferiscono alle statistiche del singolo dataset che viene standardizzato di volta in volta. Il risultato di questa operazione consiste in due stack di 11 raster dataset ognuno, il primo contenente gli output diretti del calcolo TPI ai diversi raggi, il secondo

contenente le rispettive versioni standardizzate. Alla fine, entrambi gli stack sono stati aggregati calcolandone la media (Figura 22).

ANALISI INTERFEROMETRICHE

Per l'analisi del cinematismo dei movimenti osservati, sono stati impiegati i dati di monitoraggio interferometrico da satellite disponibili dal Portale Cartografico Nazionale (Progetto PST – Piano Straordinario di Telerilevamento). Per l'area in esame sono di seguito riportati i dataset disponibili, suddivisi in base alla missione satellitare che li ha prodotti e alla geometria orbitale di acquisizione:

-
- ERS ascendente (*pst_ers_t358_f801_cl002_camerota*) – monitoraggio dal 08/09/1992 al 24/11/2000 (Figura 24)
- ERS discendente (*pst_ers_t494_f2799_cl001_capaccio*) – monitoraggio dal 10/07/1992 al 04/12/2000 (Figura 25)
- ENVISAT ascendente (*PST2009_ENVISAT_T358_F801_CL001_SALERNO*) - monitoraggio dal 29/11/2002 al 30/07/2012 (Figura 26)
- COSMO-SkyMED ascendente (*PST2013_CSK_F_79_ValloDellaLucania_A_CL001_Vallo - DellaLucania*) – monitoraggio dal 30/05/2011 al 19/3/2014 (Figura 27)
- COSMO-SkyMED discendente (*PST2013_CSK_F_80_ValloDellaLucania_D_CL001_Vallo - DellaLucania*) – monitoraggio dal 23/10/2011 al 31/12/2013 (Figura 28)

Il dato acquisito deriva dall'elaborazione delle immagini radar rilevate dai satelliti precedentemente elencati. Tale elaborazione è stata effettuata con la

tecnica degli Scatterori Permanenti (*Permanent Scatterers* – PS), dove ad ogni punto con riflettività e coerenza superiore ad una certa soglia preimpostata viene associato un valore di velocità. È importante precisare che i dati vengono forniti dal Geoportale Nazionale già elaborati, ovvero vengono forniti direttamente i punti PS con i valori di velocità già attribuiti, e che le velocità non fanno riferimento alla velocità reale di spostamento del punto indicato, ma ne riportano una frazione che corrisponde alla componente del vettore spostamento reale parallelo alla linea di vista (*Line Of Sight* – LOS) del sensore che la rileva (Figura 23).

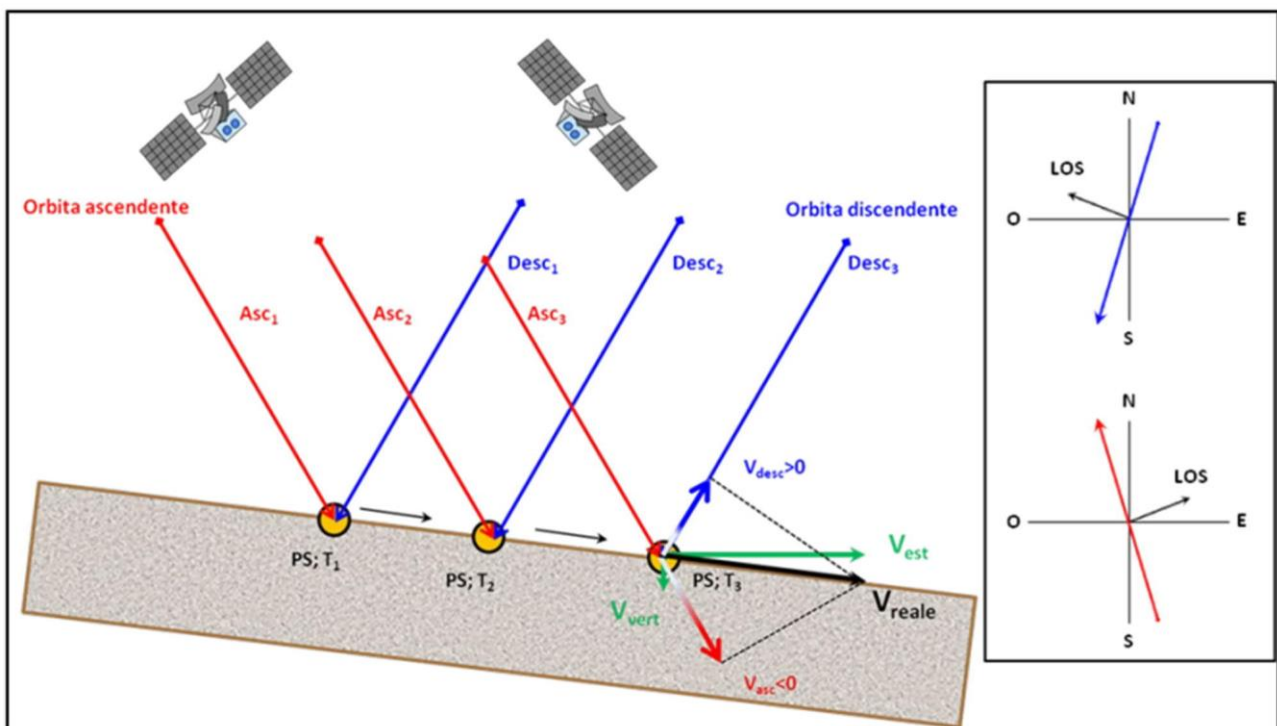


Figura 23 - Configurazione schematica dell'acquisizione radar e della tecnica PS

Velocità LOS [mm/anno]

- <-10.0
- -10.0 --5.0
- -5.0 --3.0
- -3.0 --1.5
- -1.5 - 1.5
- 1.5 - 3.0
- 3.0 - 5.0
- 5.0 - 10.0
- >10.0

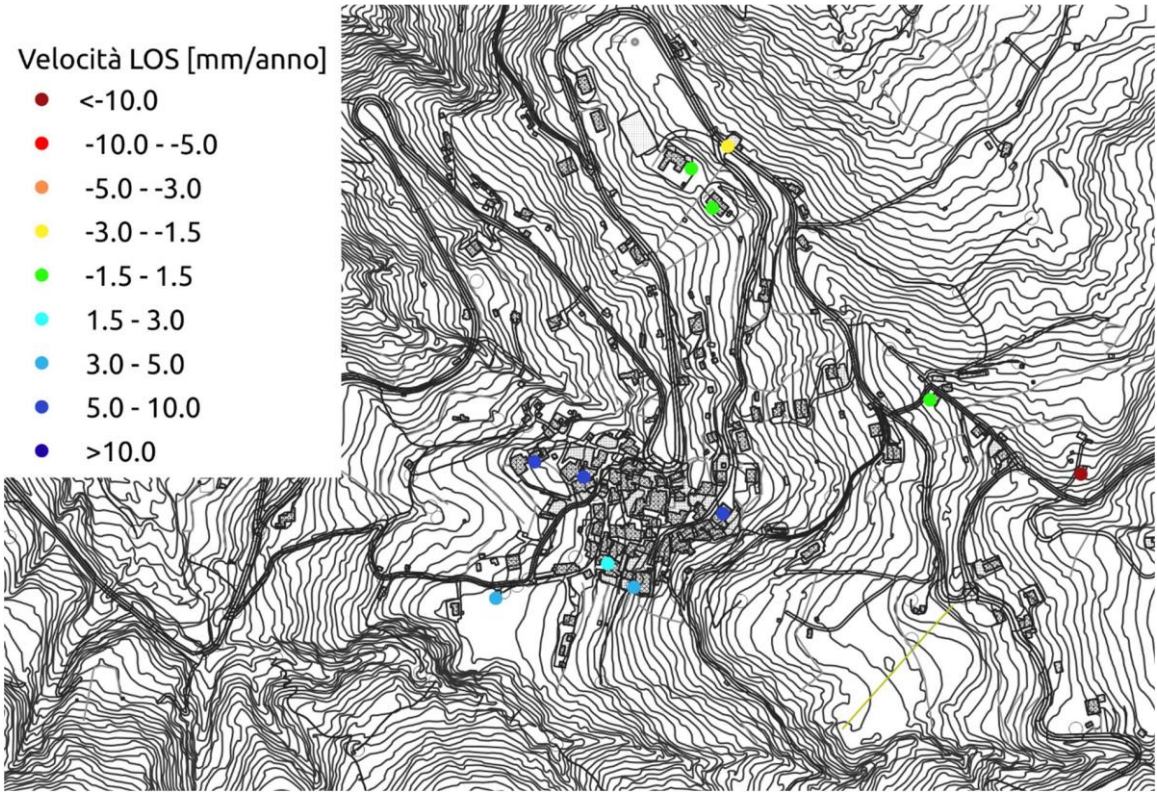


Figura 24 - Dataset ERS ascendente

Velocità LOS [mm/anno]

- <-10.0
- -10.0 --5.0
- -5.0 --3.0
- -3.0 --1.5
- -1.5 - 1.5
- 1.5 - 3.0
- 3.0 - 5.0
- 5.0 - 10.0
- >10.0

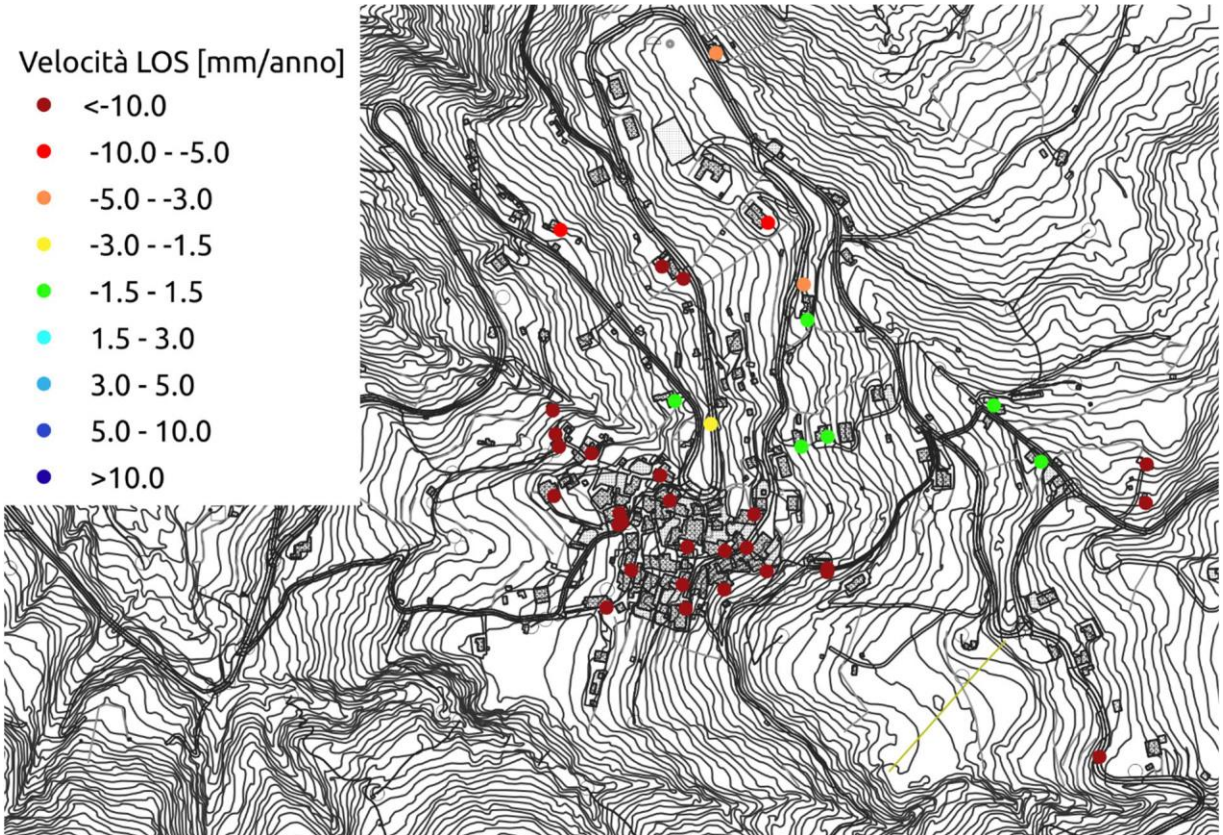


Figura 25 - Dataset ERS discendente

Velocità LOS [mm/anno]

- <-10.0
- -10.0 --5.0
- -5.0 --3.0
- -3.0 --1.5
- -1.5 - 1.5
- 1.5 - 3.0
- 3.0 - 5.0
- 5.0 - 10.0
- >10.0

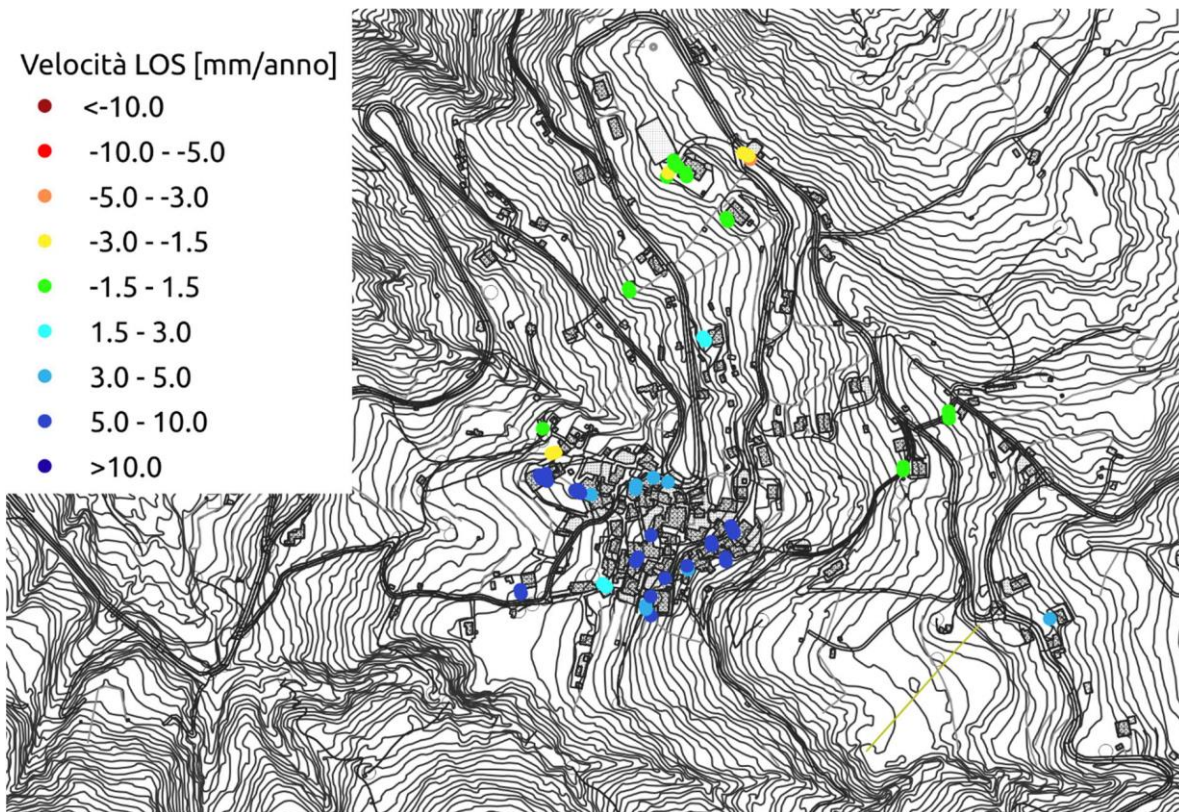


Figura 26 - Dataset ENVISAT ascendente

Velocità LOS [mm/anno]

- <-10.0
- -10.0 --5.0
- -5.0 --3.0
- -3.0 --1.5
- -1.5 - 1.5
- 1.5 - 3.0
- 3.0 - 5.0
- 5.0 - 10.0
- >10.0

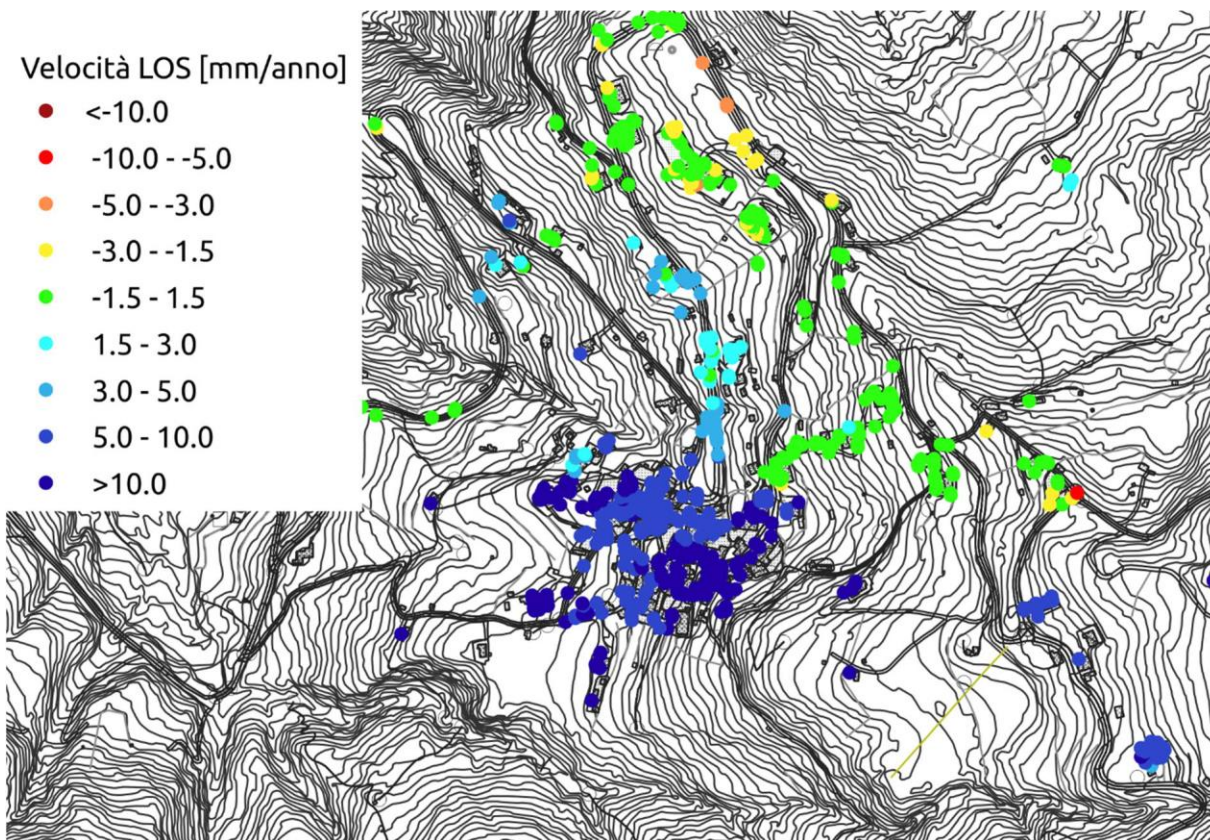


Figura 27 - Dataset COSMO-SkyMED ascendente

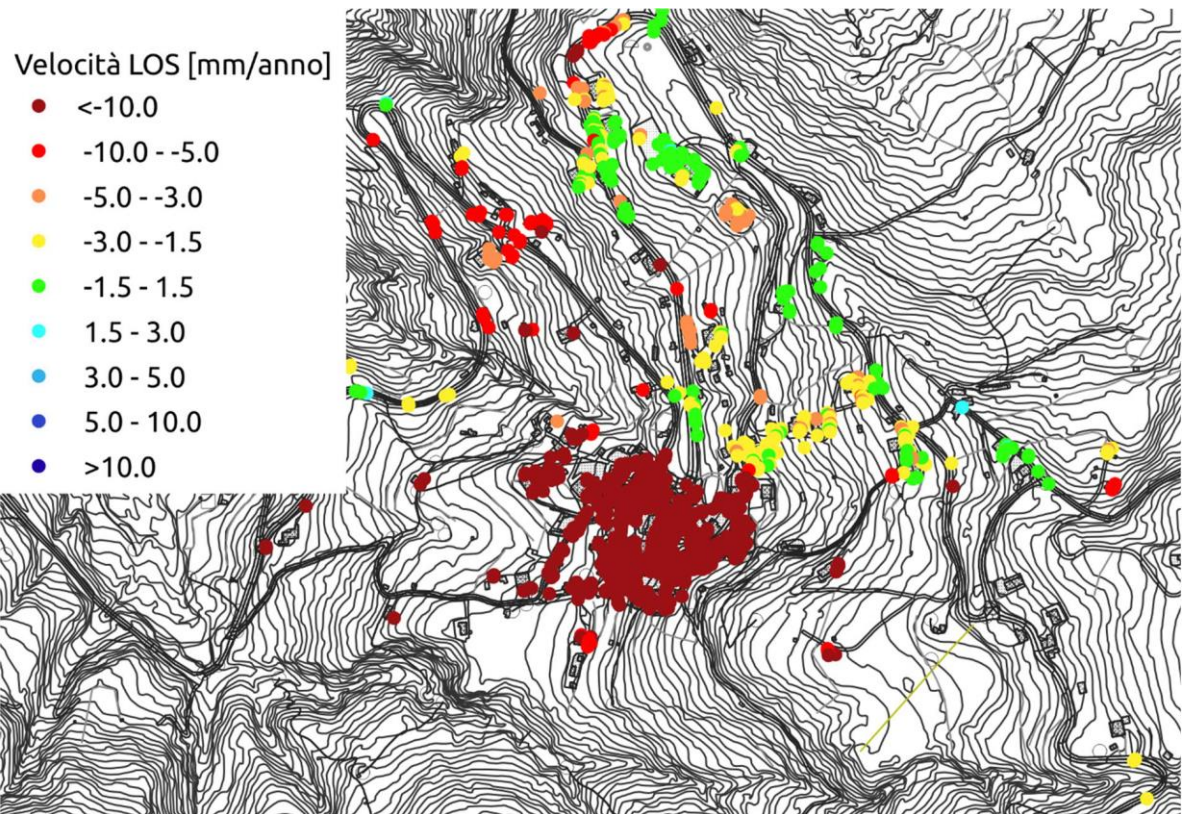


Figura 28 - Dataset COSMO-SkyMED discendente

Come si può notare dalle figure precedenti, i dataset più recenti (COSMO-SkyMED) hanno una risoluzione maggiore rispetto ai precedenti, pertanto, sono stati utilizzati per la definizione delle componenti verticale e orizzontale Est-Ovest del movimento. A tale fine, dal dataset originario, già contenente soltanto i PS a coerenza superiore al 70%, sono stati filtrati solo i PS con coerenza superiore al 90%.

I PS risultanti sono successivamente stati mediati su una griglia regolare con maglia 10 m, in modo tale da avere punti corrispondenti in entrambe le geometrie di acquisizione. A questo punto sono state derivate le componenti di velocità verticale ed orizzontale E-O combinando i valori di velocità ascendente e discendente, utilizzando i parametri geometrici per le diverse LOS (Figura 29):

$$v_z = v_{asc} * \cos \gamma_{asc} + v_{disc} * \cos \gamma_{disc}$$

$$v_{h\ asc} = v_{asc} * \sin \gamma_{asc} ; v_{h\ disc} = v_{disc} * \sin \gamma_{disc}$$

$$v_E = -v_{h\ asc} * \cos \alpha_{asc} + v_{h\ disc} * \cos \alpha_{disc}$$

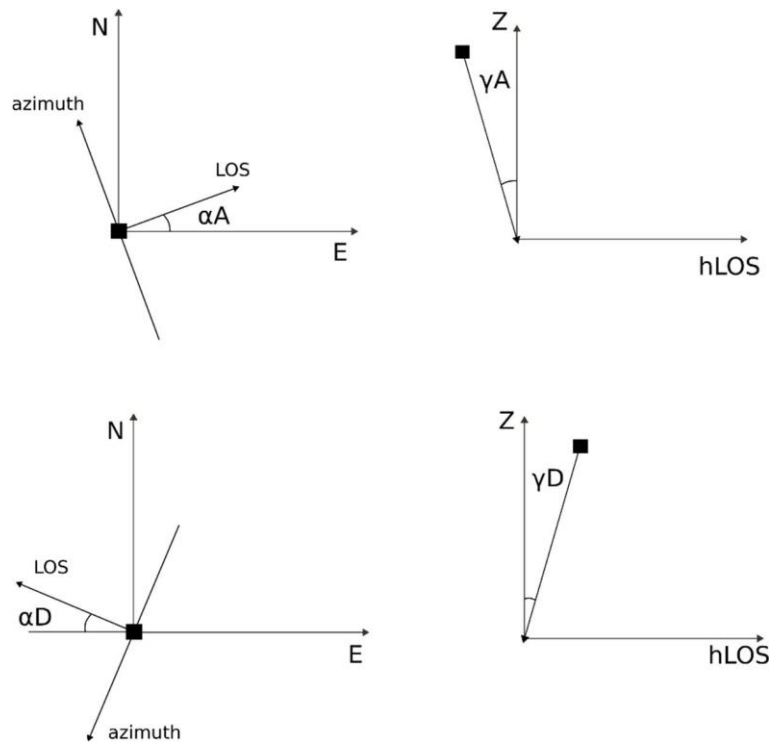


Figura 29 - Geometrie di acquisizione, in alto orbita ascendente, in basso orbita discendente

I risultati della scomposizione sono riportati nelle figure successive.

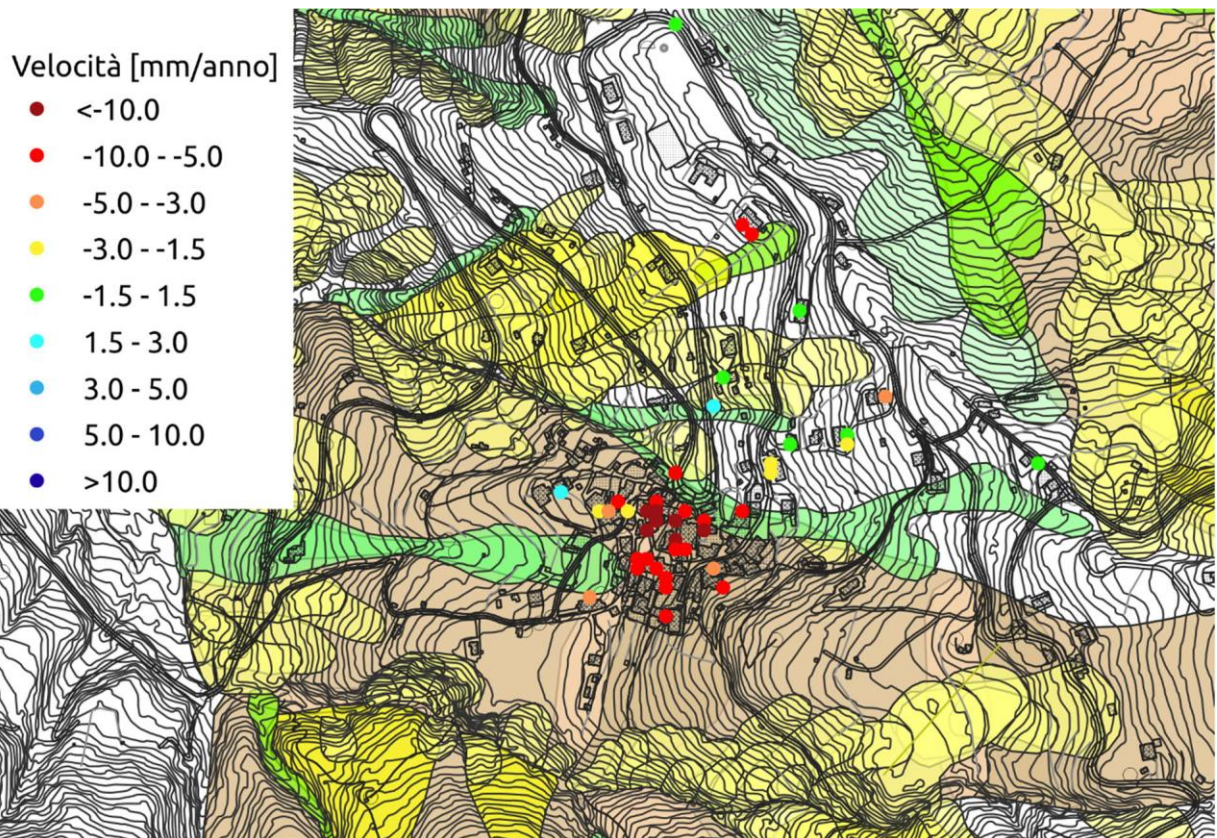


Figura 30 - Componente verticale dei movimenti, i valori negativi indicano abbassamento, i valori positivi indicano sollevamento(per la legenda delle frane fare riferimento all'Elab. 11)

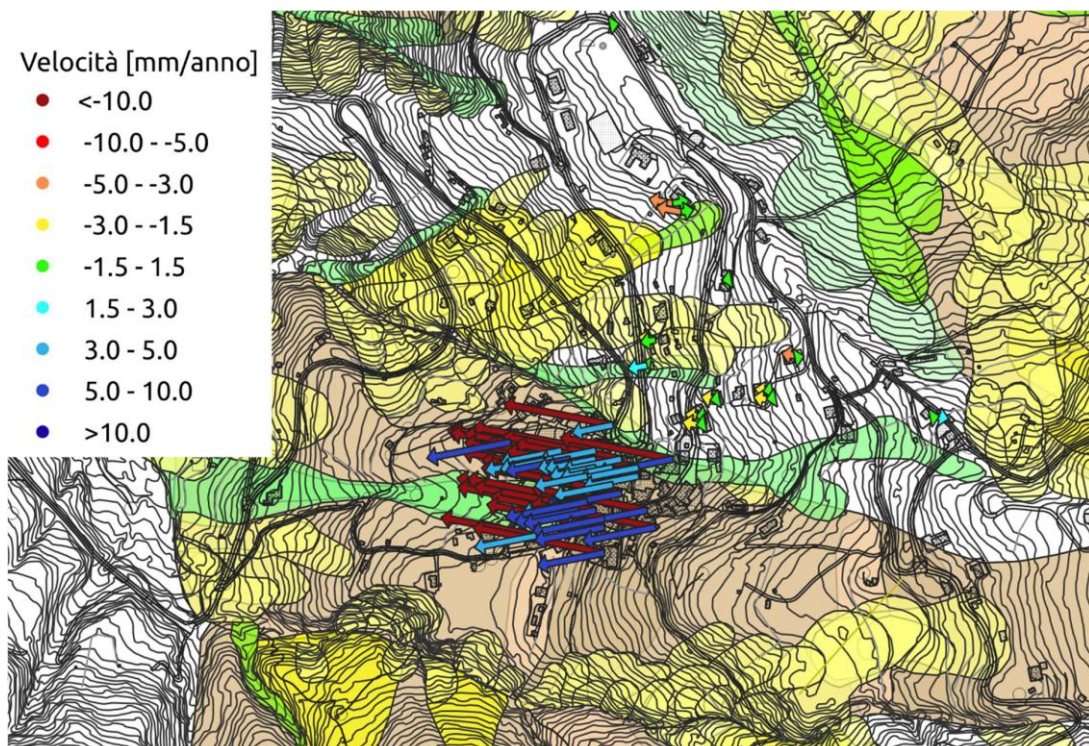


Figura 31 - Componente orizzontali dei movimenti in entrambe le geometrie di acquisizione, i valori negativi indicano allontanamento dal satellite, i valori positivi indicano avvicinamento al satellite (per la legenda delle frane fare riferimento all'Elab. 11)

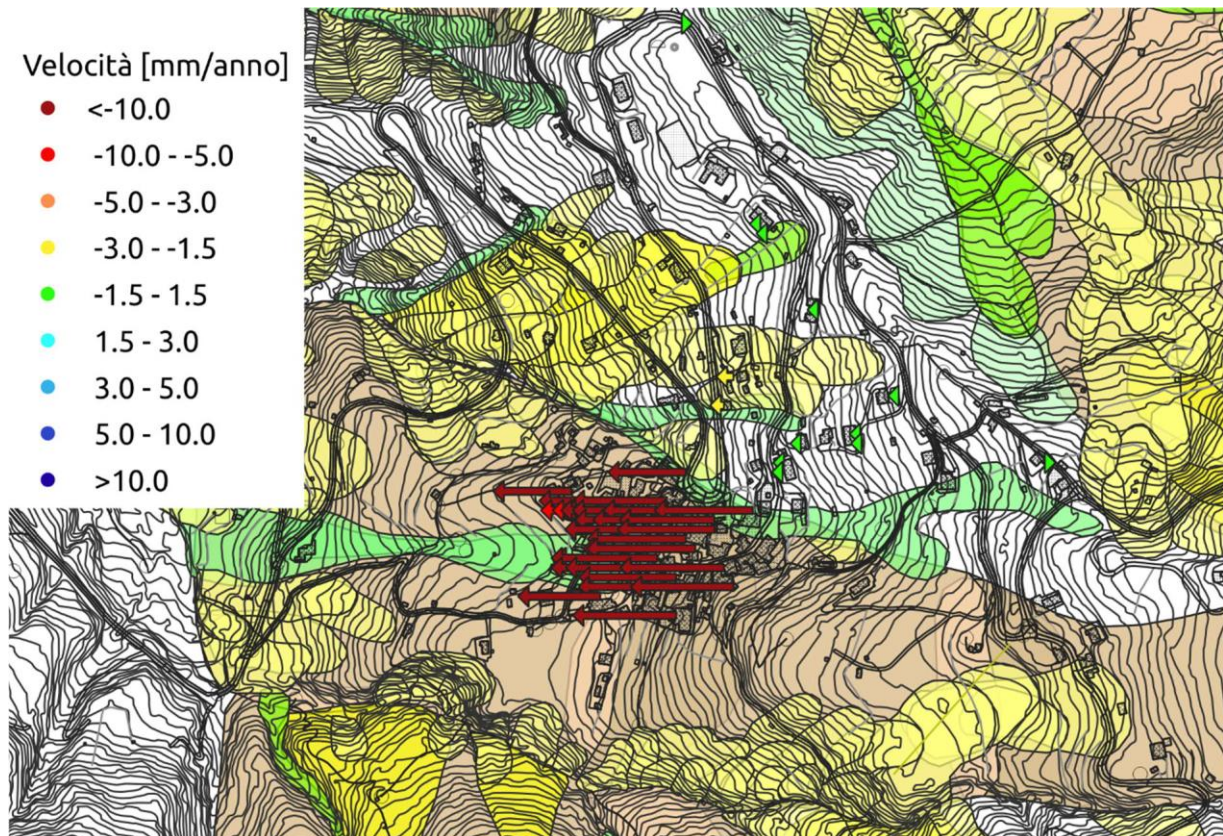


Figura 32 - Componente orizzontale Est-Ovest dei movimenti, i valori negativo indicano spostamento verso Est, i valori positivi indicano spostamento verso Ovest (per la legenda delle frane fare riferimento all'Elab. 11)

ANALISI DI STABILITA'

Prima di procedere alle analisi di stabilità, le formazioni geologiche incontrate sono state suddivise in unità litotecniche. Per tale operazione è stato fatto riferimento alla classificazione delle formazioni strutturalmente complesse (ESU, 1977).

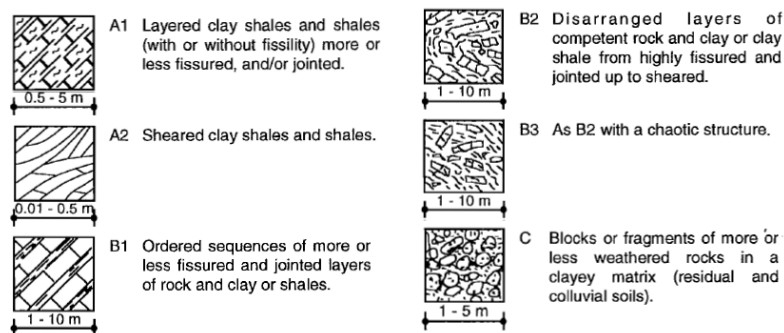


Fig. 1 Classificazione delle formazioni strutturalmente complesse (D'ELIA et alii, 1998)

Le unità litotecniche che sono state definite, dal basso verso l'alto, sono:

- Formazione del Saraceno stratificato; classe B1 (SCE_B1);
- Arenarie di Pianelli stratificate; classe B1 (PNL_B1);

- Marne e Calcareniti del Torrente Trenico stratificate; classe B1 (TNC_B1);
- Formazione del Bifurto a struttura contorta; classe B2 (BIF_B2);
- Formazione del Saraceno deformata per gravità; classe B2 (SCE_B2);
- Arenarie di Pianelli deformate per gravità; classe B2 (PNL_B2);
- Marne e Calcareniti del Torrente Trenico deformate per gravità; classe B2 (TNC_B2).

Per la definizione dei parametri geomeccanici, piuttosto che utilizzare i dati forniti dalle analisi di laboratorio, ritenuto come dato puntuale trattandosi di un solo campione analizzato, si è preferito utilizzare un approccio che tenga conto della complessità delle unità descritte alla scala dell'ammasso. A tal fine è stato applicato il metodo di Hoek-Brown (HOEK & BROWN, 1997) con le successive modifiche proposte da MARINOS & HOEK, 2001, che prevedono l'attribuzione ad ogni unità che viene considerata di tre parametri che vengono definiti attraverso osservazioni sul campo:

- La resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa (σ_{ci});
- Una costante che descrive le caratteristiche attritive della componente minerale (m_i);
- Il Geological Strength Index (GSI).

In particolare, i parametri m_i e σ_{ci} sono da attribuire sia alla parte arenacea/competente che alla parte pelitica/marnosa di ogni formazione per poi essere ponderati in base alla classe di flysch assegnata (MARINOS & HOEK, 2001). A partire da questi dati è possibile ricavare i parametri di resistenza meccanica attraverso l'implementazione di un foglio di calcolo. Partendo dal principio generalizzato di Hoek-Brown:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dove:

$$m_b = m_i * e^{\left(\frac{GSI-100}{28}\right)}$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9}\right)}; a = 0,5 \quad \text{per } GSI > 25$$

$$s = 0; a = 0,65 * \frac{GSI}{200} \quad \text{per } GSI \leq 25$$

Definiti tali parametri si prosegue "simulando" una serie di prove triassiali assegnando una serie di valori di σ'_3 :

$$e^{-10} < \sigma'_3 < \frac{1}{4} \sigma_{ci}$$

In particolare, si definiscono almeno sette valori nell'intervallo sopra citato per successivi incrementi di $\sigma_{ci}/28$. Applicando il principio generalizzato è possibile ricavare i corrispondenti valori a rottura di $\sigma'1$; una volta ricavate le coppie di valori $\sigma'3 - \sigma'1$ è possibile costruire l'involuppo di Mohr nel piano τ - σ dal quale ricavare i parametri di resistenza ϕ' e c' . Al fine delle analisi di stabilità e data l'eccessiva tettonizzazione dei materiali considerati e l'esistenza di piani di scivolamento preesistenti è stata operata una riduzione dei valori di coesione pari al 20% dei valori calcolati invece del 75% come consigliato dagli autori (HOEK & BROWN, 1997).

I valori ricavati sono riportati nella Tabella 1.

materiale	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	GSI class	GSI value	σ_{ci} [MPa]	m_i	ϕ' [°]	c' [kPa]	c'_{res} [kPa]
SCE_B1	19,17	20,81	C	35	32,5	6,2	23,61	684,9	136,98
PNL_B1	19,17	20,81	C	35	32,5	6,2	23,61	684,8	136,98
TNC_B1	19,17	20,81	C	35	32,5	6,2	23,61	684,8	136,98
SCE_B2	19,17	20,81	F	20	22,5	3,6	15,30	205,1	41,01
PNL_B2	19,17	20,81	F	20	22,5	3,6	15,30	205,1	41,01
TNC_B2	19,17	20,81	F	20	22,5	3,6	15,30	205,1	41,01
BIF_B2	11,8	16,03	G	20	10	2	11,89	70,1	14,03

Tabella 1 Parametri geomeccanici ricavati per le unità litotecniche in esame

I parametri relativi alle coperture quaternarie non sono stati calcolati sia per la loro eterogeneità, sia la loro esiguità alla scala di ammasso.

Stabilita la caratterizzazione geomeccanica, l'analisi di stabilità è stata condotta tramite l'utilizzo del software SAAP2010 (Slope Stability Analysis Program, release 5.0.2, <https://www.ssap.eu/index.html>, BORSELLI, 2020). Per la modellazione sono state considerati i due casi limite di versante completamente saturo e versante completamente asciutto. I modelli del versante, i risultati in termini di Fattore di Sicurezza locale e superfici a minor FS sono riportati nell'Allegato 1.

I risultati delle analisi vengono riportati nella Tabella 2.

Modello	FS minimo	Intervallo 10 FS minori	Differenza % 10 FS min.
Versante asciutto	2,74	2,74 - 2,77	1,12
Versante saturo	1,56	1,56 - 1,57	0,69

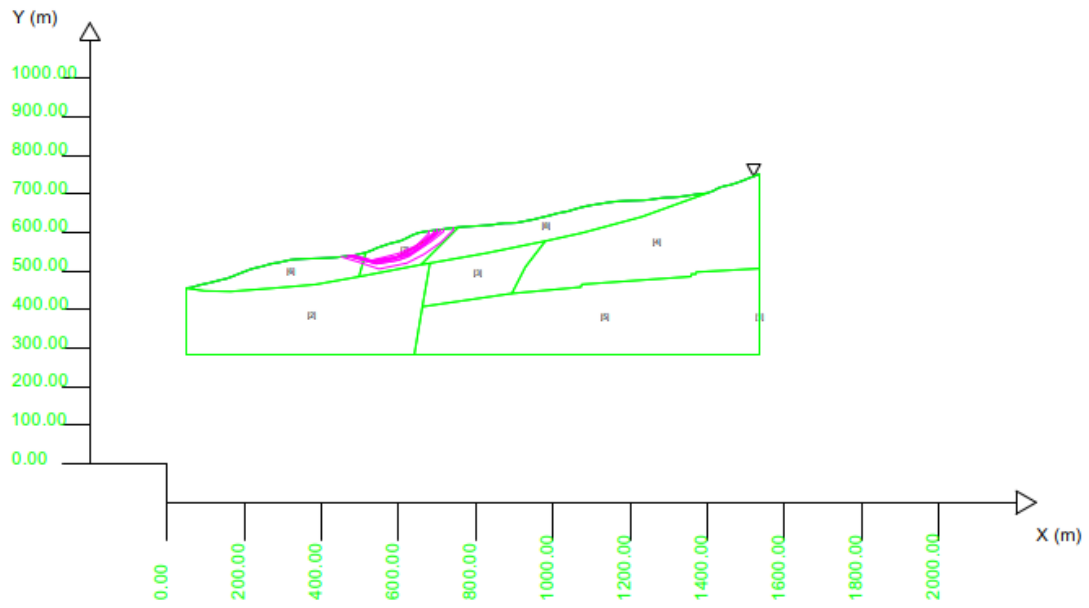


Figura 1 - Modello del versante in condizioni saturate con le 10 superfici a FS minimo.

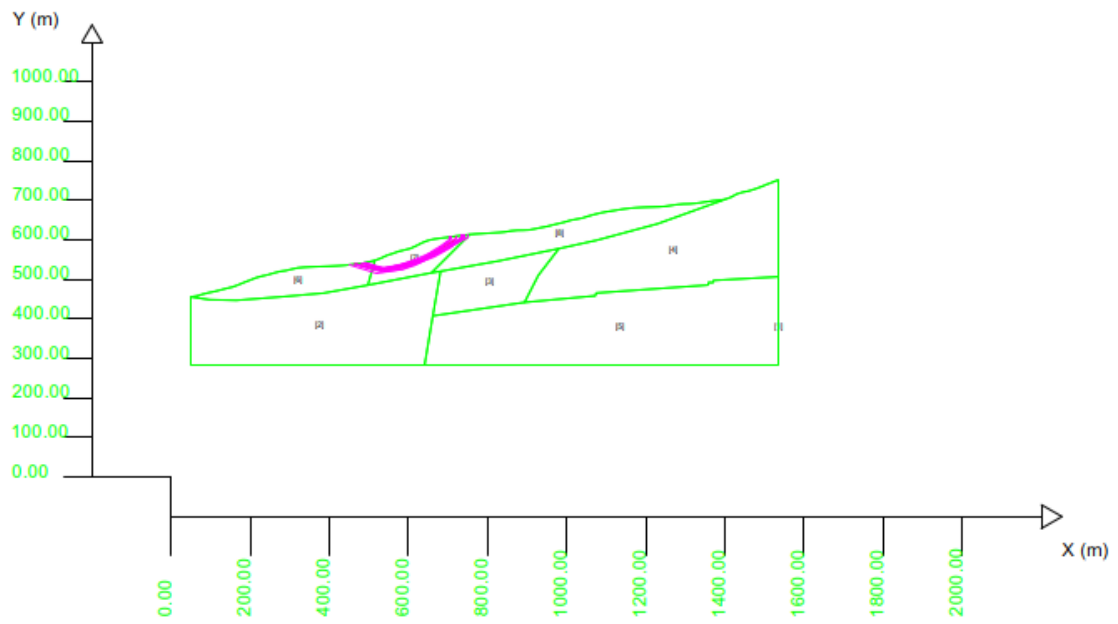


Figura 2 - modello del versante asciutto con le 10 superfici a FS minimo.

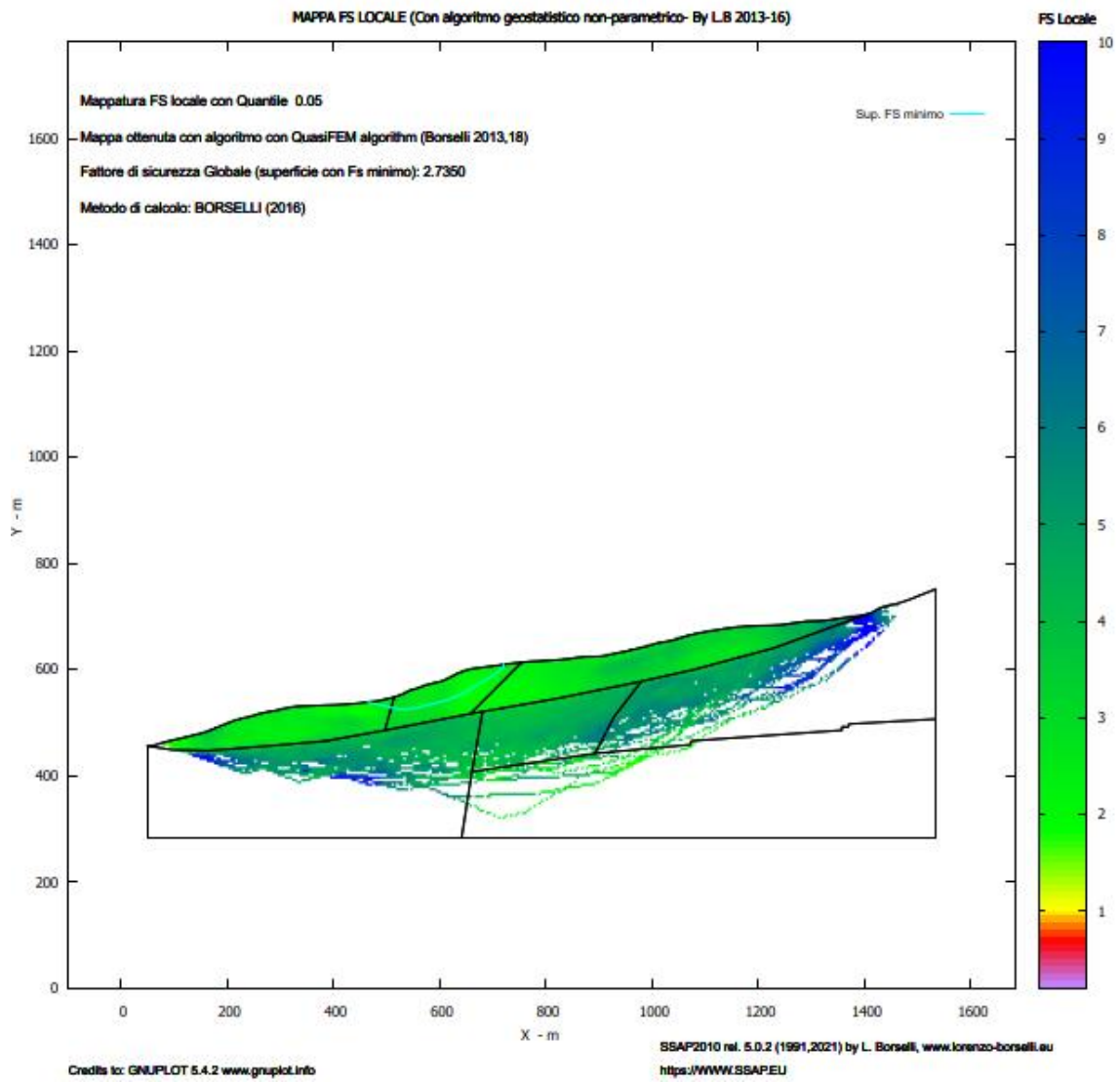


Figura 3 - FS locale in condizioni di versante asciutto.

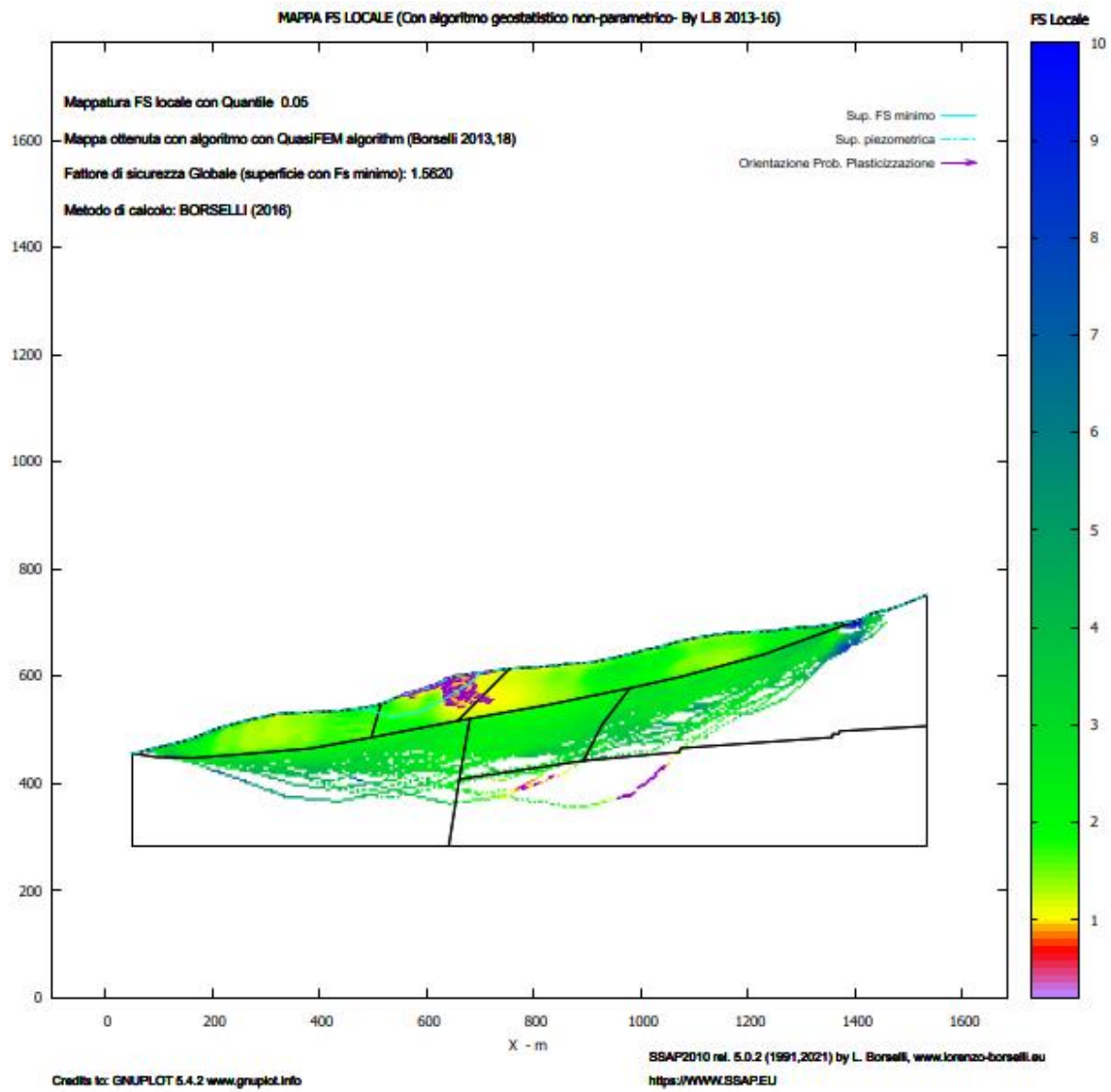


Figura 4 - FS locale in condizioni di versante saturo.

COMPATIBILITA' IDROGEOLOGICA

Gli interventi previsti hanno come scopo la mitigazione ed l'attenuazione del rischio di sottobacino e di ambito morfologico significativo quale si inserisce l'abitato di Gorga interessato da un movimento franoso profondo con evoluzione a lungo termine, con sovrapposte zone di deformazione superficiale, i cui margini sono riattivati da fenomeni erosivi di scalzamento e verticali.

Si deduce che il Modello Geologico di Riferimento risulta oltremodo complesso e certamente la sua definizione non può essere esaustiva con indagini usuali , ma solo con un monitoraggio a medio termine.

L'abitato di Gorga rientra esclusivamente entro i limiti morfologici del bacino idrografico dell'Alento. Quest'ultimo trova origine sulle pendici occidentali di M.te Corna con un ampio ventaglio di testate le cui aste drenanti si uniscono a valle dell'abitato danno origine al F. Alento.

L'abitato ed i suoi dintorni nell'ambito del PSAI redatto dall'Autorità di Bacino Sx Sele allora competente per territorio, ricade nelle aree a Rischio da frana molto Elevato R4 ed elevato R3 così come in quella della pericolosità da frana che risulta variare da P3 elevata a P4 molto elevata. Esso rientra nelle aree di Attenzione (area di versante), le quali rappresentano porzioni di territorio non sottoposte a modellazione idraulica ne ricadenti nelle aree propriamente in frana che evidenziano sotto il profilo geomorfologico una interazione dinamica gravitativa dei versanti e dinamica del reticolo drenante di versante e di fondovalle.

L'abitato di Gorga infatti risulta interessato da un antico movimento franoso che coinvolge il tratto di versante compreso fra la località Tempa ed il sottostante Fiume Alento.

Tale fenomeno franoso con cinematismo e tipologia complessa allo stato originale, evoluta successivamente ad un movimento di tipo colamento lento,

interessa gran parte dell'abitato). Trattasi di un antico fenomeno gravitativo allo stato quiescente nella zona di testata e nella parte centrale del corpo di frana.

Chiari segni di movimenti in atto si registrano nella zona centrale dell'abitato compresa fra Via Monsignor Stromillo e piazza IV novembre dove sui fabbricati si evidenziano quadri fessurativi in evoluzione e con un incremento sensibile negli ultimi due anni.

Alcuni fabbricati ristrutturati nell'ultimo decennio ripresentano segni di dissesto nelle strutture sia orizzontali che verticali, la pavimentazione stradale realizzate in pietra negli anni 90-92 presenta numerose lesioni di trazione anche di quattro cinque centimetri.

Lungo Via Firenze tale lesione lo scorso anno è stata riparta mediante la rimozione e sostituzione delle pietre, attualmente la lesione si è ripresentata con maggiore ampiezza ed interessando in parte un fabbricato. Immediatamente a monte di quest'area nel 1954 a seguito degli eventi atmosferici che colpirono la regione, si ebbe il crollo di un edificio a seguito di una riattivazione del fenomeno franoso.

I fenomeni franosi che interessano l'abitato e zone limitrofe, sono dissecati e/o limitati sui bordi da incisioni naturali in forte approfondimento verticale con chiari fenomeni di scalzamento alla base con successivo richiamo delle sponde.

Gli interventi di bonifica e di sistemazione idraulica realizzati dal genio Civile di Salerno negli anni 60 – 70 lungo il Vallone che attraversa l'abitato (torrente Gorga) allo stato attuale risultano fortemente danneggiati e pertanto del tutto inefficaci, mentre nel Torrente Fescali gli interventi di bonifica effettuati nel 2018- 2019 vanno integrati in quanto l'inadeguatezza dei fondi non consentirono il completamento degli interventi di bonifica.

Il progetto si pone l'obiettivo quindi della mitigazione del rischio sia con l'aumento della soglia di rischio accettabile, sia con la mitigazione della pericolosità.

Il primo obiettivo verrà ottenuto prevedendo un piano di monitoraggio differenziale da satellite con utilizzo della tecnica interferometrica, il secondo intervenendo sulle cause della franosità, mediante opere di bonifica e di sistemazione idrogeologica, reingegnerizzando sistemi e tecniche tradizionali di sistemazione idrauliche che contribuiscono al mantenimento del paesaggio identitario rurale alla rete ecologica in modo da conseguire condizioni accettabili di sicurezza del territorio, così come previsto dalle norme del PSAI.

L'intervento in esame completa ed integra le opere di mitigazione già presenti sul territorio; essi interesseranno tutto il reticolo idrografico presente nell'abitato e dintorni (torrente Mango, Gorga, Orte, Fescali e fiume Alento) e le due aree poste a monte e a valle dell'abitato caratterizzato da un deflusso idrico sub-superficiale.

Pertanto, è necessario intervenire nell'area con opere indirizzate alla salvaguardia del territorio, all'incolumità delle persone, proponendo per tale area degli interventi che limitano l'attuale livello di rischio migliorando l'equilibrio degli stessi e, quindi, della sicurezza del territorio prevedendo opere di difesa idrogeologica idrauliche e opere di ripristino e miglioramento delle reti scolanti.

In nessun caso le opere previste sono causa di appesantimento lungo il versante in frana, esse tendono tutte alla riduzione della pericolosità ed alla riduzione della vulnerabilità dell'edificato e della viabilità di accesso.

In ogni caso vengono migliorate le attuali condizioni di stabilità dell'area risultando di gran lunga migliorative rispetto alla pericolosità potenziale attuale in cui versano le aree in studio.

Gli interventi progettati infatti, non interferiscono negativamente con le condizioni di franosità dell'area e non aggravano lo stato di rischio attuale, ma tendono complessivamente ad abbassarlo in quanto contribuiscono al contrasto dei fenomeni erosivi ed alla sicurezza del territorio in accordo con le norme di attuazione del Piano Stralcio.

Gli interventi, previsti, inoltre, risultano di basso impatto ambientale e sono tali da favorire la ricostruzione dei processi e degli equilibri naturali, nonché la ricostruzione della vegetazione spontanea ed autoctona.

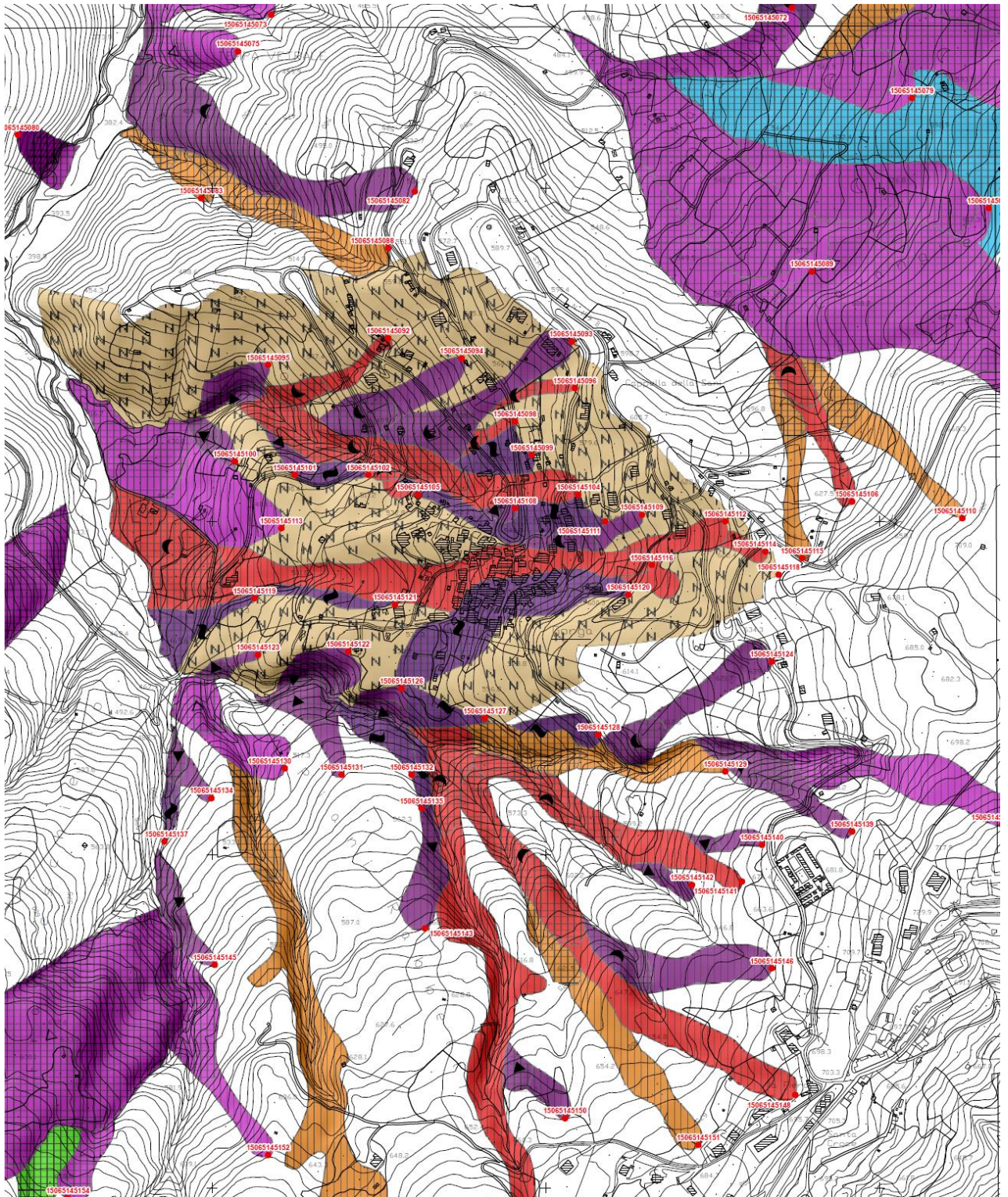
Le opere a farsi risultano essere migliorative rispetto alla attuali condizioni di sicurezza in cui versano attualmente le aree.

Sulla base delle considerazioni su esposte, si ritiene pienamente verificata la compatibilità idrogeologica degli interventi da effettuare, in quanto del tutto compatibili con i vari vincoli esistenti sul territorio, perché sono volti al miglioramento della situazione idrogeologica dell'area interessata ed alla salvaguardia delle infrastrutture e delle opere d'arte esistenti.

In conclusione si può affermare che **gli interventi previsti non alterano il preesistente equilibrio naturale, confermando appieno la loro compatibilità idrogeologica.**

Di seguito vengono riportate le cartografie di piano citate.

CARTA DELLE FRANE (Fonte ex AdB Campania Sud)



LEGENDA

Tipo di Movimento	Applicabile ai poligoni Frana						Applicabile ai centroidi Frana		
	Retini			Colore (AutoCAD index color)			Simbolo		
	ZD	Zona ZT	ZA	A (R)	Q	IN (S,SA,SN,RE)	A (R)	Q	IN (S,SA,SN,RE)
ACD Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi (non definibili singolarmente)				95	95	95			
AFD Aree soggette a franosità diffusa (non definibili singolarmente)				91	98	91			
CLD Colata di detrito				105	102	111			
CLF Colata di fango				99	102	29			
CLR Colata rapida di terra				95	90	66			
CLT Colata lenta				91	90	41			
CLT_CLD Colata lenta_colata di detrito				91	90	41			
CLT_CLR Colata lenta_colata rapida di terra				91	90	41			
CRL Crollo				99	102	36			
CRL_CLD Crollo_Colata di detrito				99	102	29			
CRL_CLF_CLD Crollo_Colata di fango_Colata di detrito				99	102	29			
CRL_SCR Crollo Scorrimento rotazionale				99	102	36			
CRP Creep				100	100	101			
DGP Deformazioni gravitative profonde di versante				41	41	40			
ESP Espansione				70	111	50			
SCR Scorrimento rotazionale				106	101	104			
SCR_CLD Scorrimento rotazionale_Colata di detrito				106	101	104			
SCR_CLR Scorrimento rotazionale_Colata rapida di terra				106	101	104			
SCR_CLT Scorrimento rotazionale_Colata lenta				106	101	104			
SCR_CRL Scorrimento rotazionale_Crollo				106	101	104			
SCT Scioglimento traslativo				100	100	121			
SCT_CLT Scioglimento traslativo_Colata lenta				100	100	121			

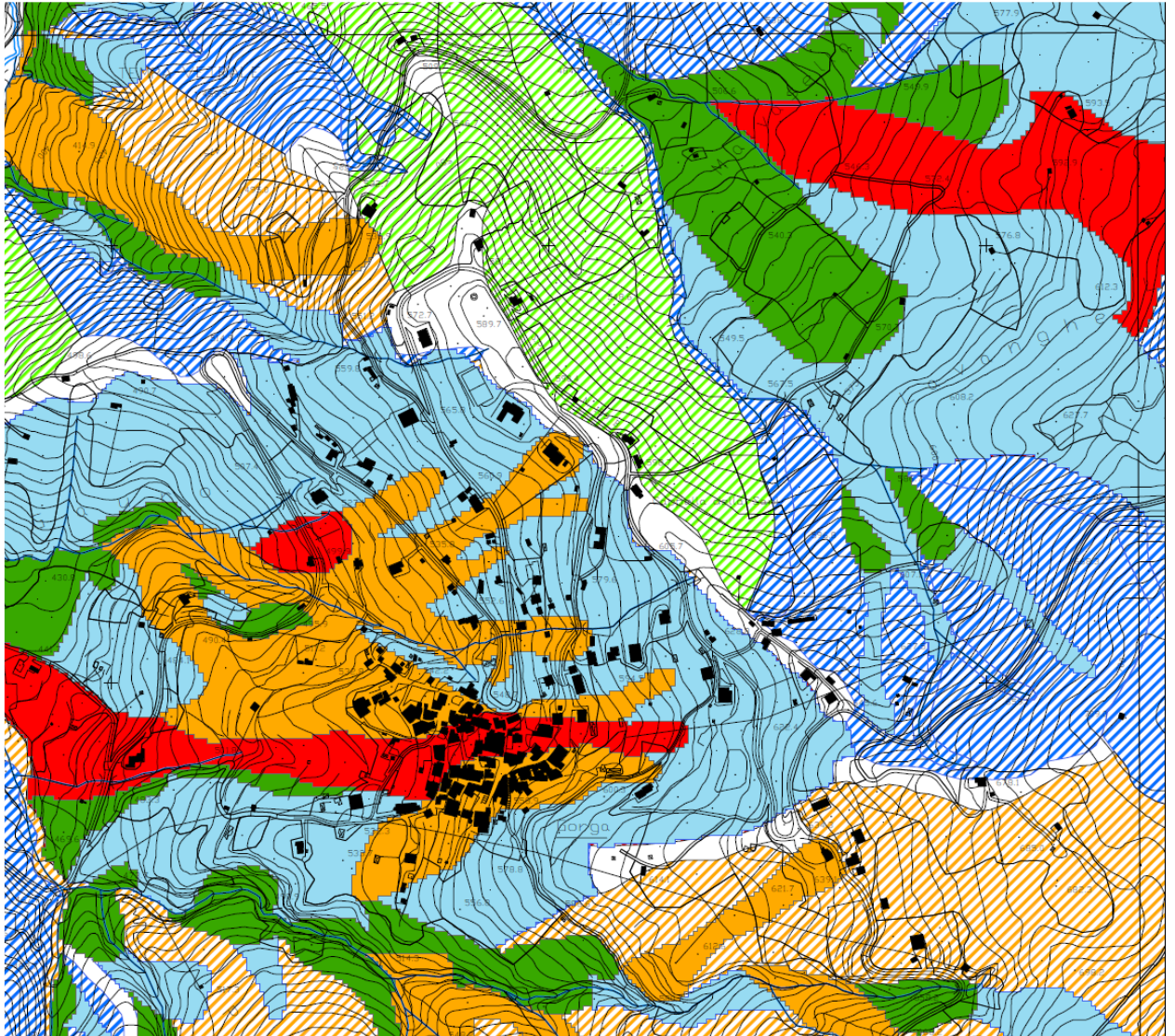
4463500

4463000

4462500

4462000





CARTA DELLA PERICOLOSITA'



LEGENDA




Pericolosità da Frana

Classe

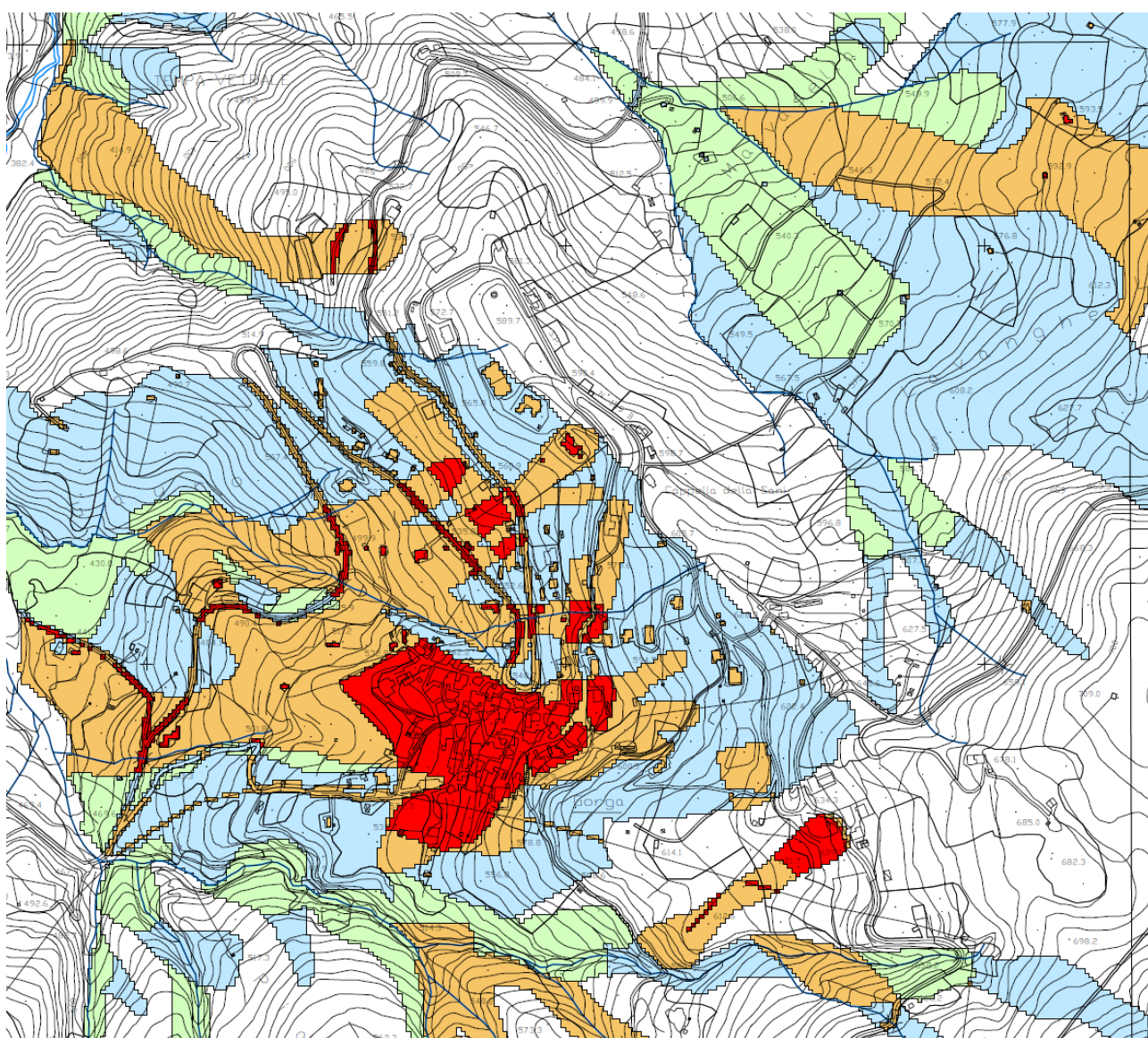
	P1 - Moderata
	P2 - Media
	P3 - Elevata
	P4 - Molto Elevata

Pericolosità d'Ambito

Classe di Pericolosità d'Ambito





	Pa1 - Modetata
	Pa2 - Media
	Pa3 - Elevata
	Pa4 - Molto Elevata

CARTA DEL RISCHIO DA FRANA

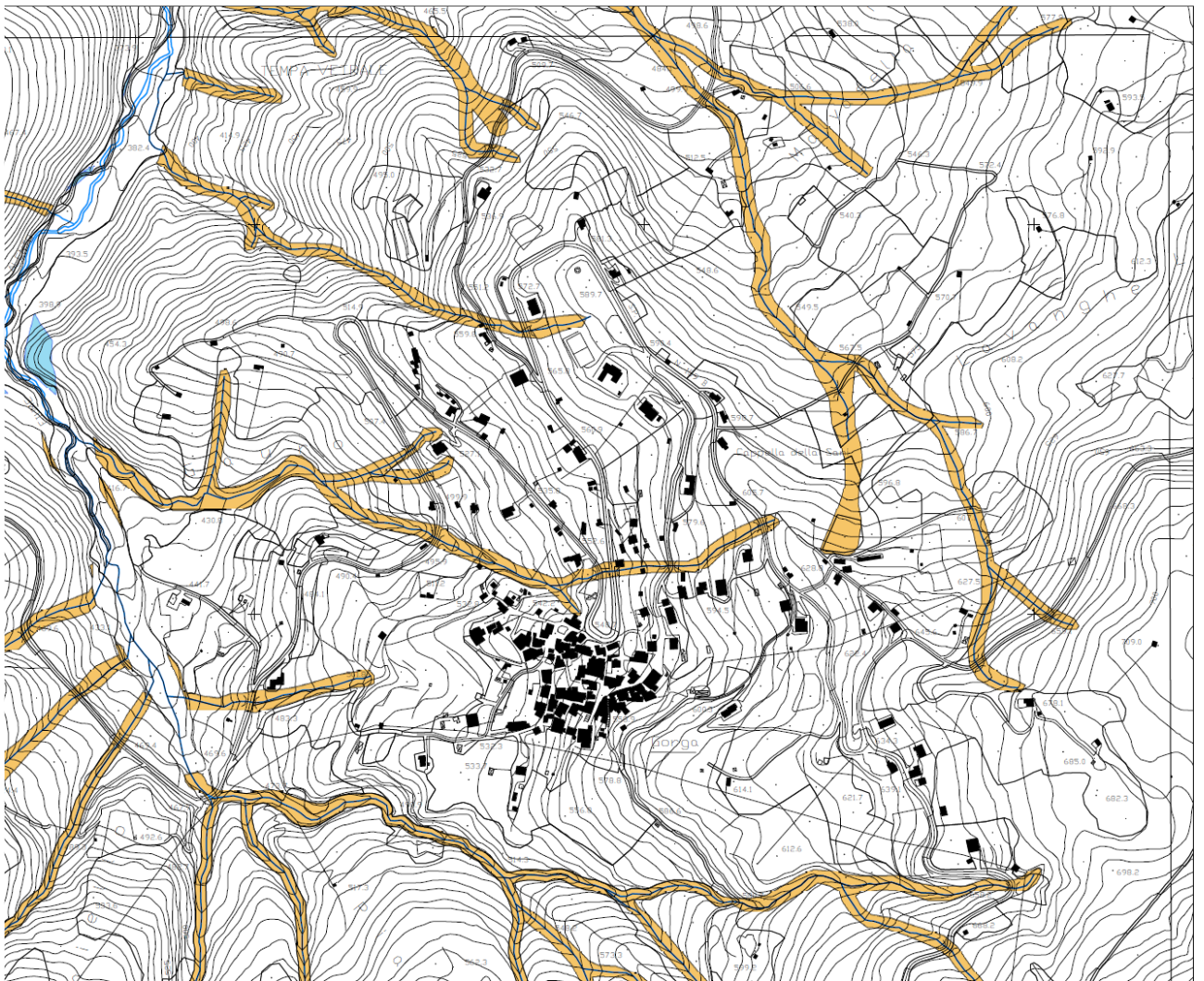


RISCHIO DA FRANA

Classe

- | | |
|---|--------------------|
|  | R1 - Moderato |
|  | R2 - Medio |
|  | R3 - Elevato |
|  | R4 - Molto Elevato |

CARTA AREE DI ATTENZIONE



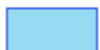
LEGENDA

Aree di Attenzione

TIPOLOGIA



AREE DI CONOIDE

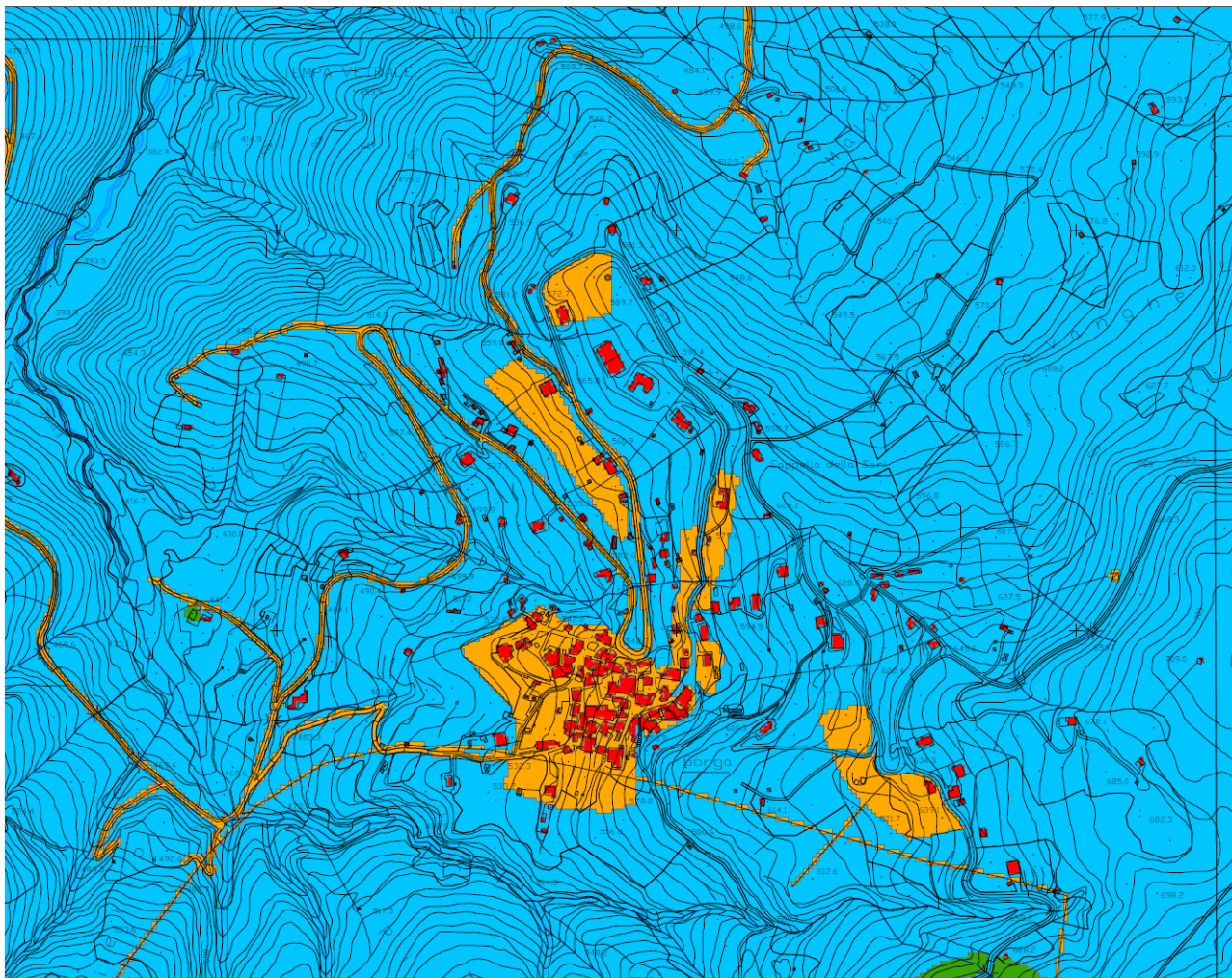


AREE DI FONDOVALLE



AREE DI VERSANTE

CARTA DELLA VULNERABILITA' FINALE



LEGENDA

VULNERABILITA' FINALE



D1 - MODERATO



D2 - MEDIO



D3 - ELEVATO



D4 - MOLTO ELEVATO

CONCLUSIONI

A seguito delle indagini e dei rilievi effettuati, è stato possibile ricostruire il quadro di franosità e quindi di pericolosità da frana dell'area in esame.

Tali indagini hanno confermato quanto previsto nel PSAI, ossia che l'abitato di Gorga ricade in area a Rischio molto Elevata R4 e Elevata R3 e Pericolosità molto elevata P4 e pericolosità elevata P3.

La situazione attuale risulta abbastanza complessa, ma può essere distinta in due macro-categorie: movimenti superficiali, che includono scorrimenti e flussi-colate, e movimenti profondi, ovvero le deformazioni profonde di versante lungo pregressi piani o fasce di scorrimento.

Dai risultati delle indagini geognostiche e sismiche, nonché dall'analisi dei dati di monitoraggio interferometrico risulta che i movimenti che interessano l'abitato di Gorga risultano profondi ed hanno una velocità media di spostamento compresa tra i 10 e i 30 mm/anno, per cui possono essere classificati come "molto lenti" (Hunggr et al. 2014).

Situazione questa che ha indirizzato il progetto di salvaguardia verso interventi finalizzati ad attenuare e o a ridurre la pericolosità intervenendo sulle cause della franosità mediante opere di bonifica e sistemazione idrogeologica sull'intero versante su cui si colloca l'abitato di Gorga reingegnerizzando sistemi e tecniche tradizionali di sistemazione idrauliche che contribuiscono anche al mantenimento del paesaggio identitario rurale alla rete ecologica con le quali si ottengono condizioni accettabili di sicurezza del territorio così come previsto dalle norme del PSAI.

La verifica di stabilità del pendio eseguita in condizioni drenate ha fornito un valore del coefficiente di sicure F_s pari a 1.5 da ritenersi in tali condizioni sufficientemente accettabile in riferimento al movimento per scorrimento profondo.

Infine viene previsto un piano di monitoraggio differenziale da satellite con utilizzo della tecnica interferometrica, anche al fine di programmare interventi di manutenzione mirati.

L'intervento in esame completa ed integra le opere di mitigazione già realizzati in precedenza sul territorio; essi interesseranno tutto il reticolo idrografico presente nell'abitato e dintorni (torrente Mango, Gorga, Orte, Fescali e fiume Alento) e le due aree poste a monte e a valle dell'abitato caratterizzato da un deflusso idrico subsuperficiale.

E' infine da sottolineare che il sistema di interventi previsto risulta non solo di importanza locale, anche in termini di Protezione Civile (percorribilità di Vie di Fuga ed Accesso alle Strutture Ospedaliere, ma anche come collegamento viario strategico a livello comprensoriale tra il Cilento costiero e quello interno.

Inoltre, gli interventi in progetto contribuiscono a evitare a breve e medio termine il collasso generalizzato di grandi volumi di versante che, per la loro complessità e vastità, potrebbero mettere in serio pericolo l'Invaso di Piano della Rocca, opera strategica di livello regionale.

Dr geol. Luigi Lillo