

S.S. 67 "Tosco Romagnola"
Lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la
località S.Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di
Dicomano.

Variante di Rufina (FI) – LOTTI 2A e 2B

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI462

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo



IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:

Geol. Massimo Mezzanica – Società Pro Iter Srl
Ordine Geologi della Lombardia n. 762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Francesco Pisani

PROTOCOLLO:

DATA:



03 - GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

03.05 - Monitoraggio geotecnico dell'area di frana tra P.K. 0+925 e P.K. 1+300

Relazione tecnica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00-GE05-MOG-RE01-A.pdf			
ACNO0113	D 20	CODICE ELAB.	T00GE05MOGRE01	A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	02/2024	VITIELLO	MEZZANANICA	FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 1 di 10
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 10/2023

INDICE

1	Premessa	2
2	Normative ed elaborati di riferimento	3
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche	3
2.2	Elaborati del progetto definitivo	3
3	Sintesi dell'analisi interferometrica di immagini radar satellitari.....	5
4	Indagini eseguite e sintesi della caratterizzazione dell'area di frana	8
5	Piano di monitoraggio geotecnico dell'area di frana.....	10
5.1	Misure inclinometriche.....	10
5.2	Misure piezometriche	10

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO	
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI/VA ENERGIA VALLE D'ARNO s.r.l.	sinèrgo	D-VA D Vision Architecture	A
				Data 10/2023	

1 PREMESSA

La presente relazione descrive il monitoraggio geotecnico previsto nell'area di frana presente tra le p.k. 0+925 e 1+300 del tracciato dell'infrastruttura stradale di circa 3.5 km nota come "Variante di Rufina (Lotti 2A e 2B)", facente parte dei Lavori di adeguamento della S.S. 67 "Tosco-Romagnola" nel tratto tra la località S. Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di Dicomano, che coinvolge i territori comunali Pontassieve (fraz. Montebonello) e Rufina, in provincia di Firenze (cfr. **Figura 1-1**).

In particolare, il monitoraggio geotecnico dell'area di frana prevede l'installazione di inclinometri e piezometri integrativi rispetto a quelli già presenti, al fine di consentire misure periodiche delle deformazioni del terreno e del livello piezometrico della falda.

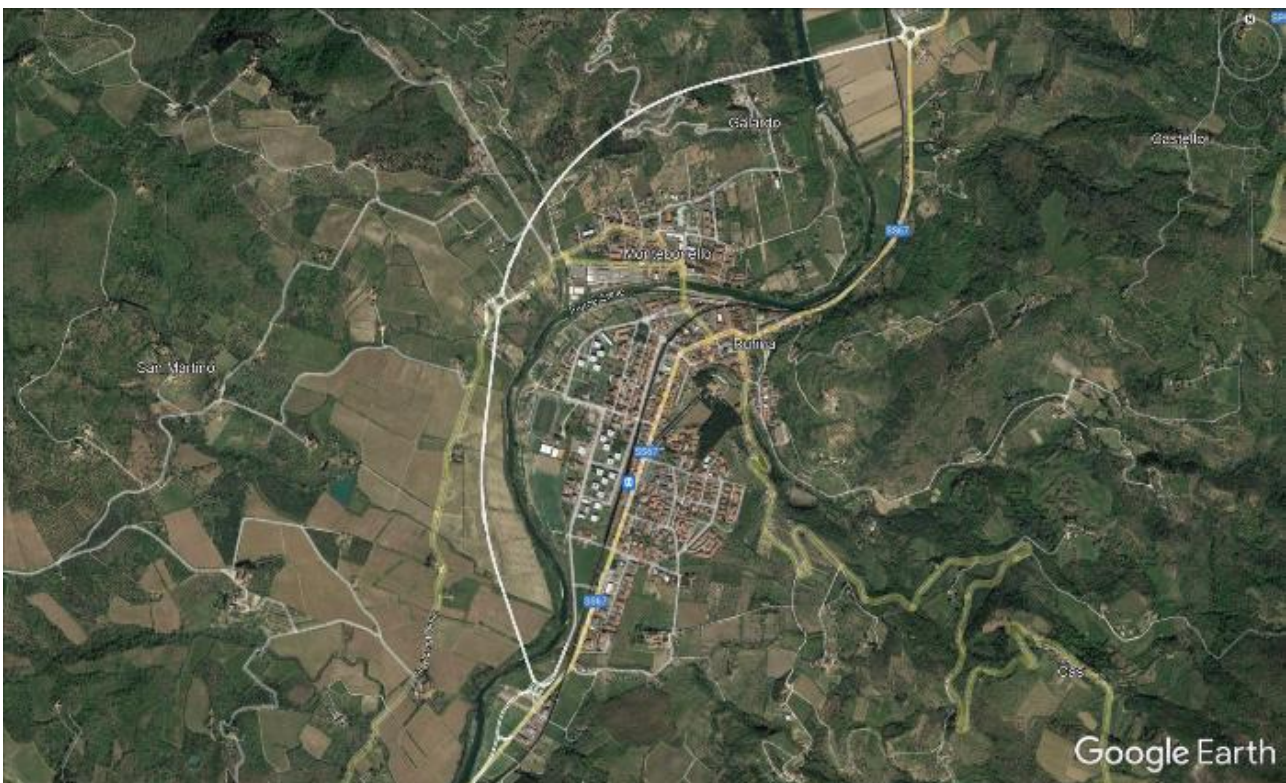


Figura 1-1 – Foto aerea (da Google Earth) con sovrapposizione schematica del tracciato di progetto (linea bianca): al centro dell'immagine gli abitati di Rufina e Montebonello separati dal Fiume Sieve

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. A	FOGLIO 3 di 10
		Data 10/2023	

2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale”, n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

2.2 Elaborati del progetto definitivo

Geologia

- **T00GE01GEORE01** - “Documentazione indagini geognostiche – Monografie dei punti di indagine”
- **T00GE01GEORE02** - “Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito”
- **T00GE01GEORE03** - “Documentazione indagini geognostiche – Indagini geofisiche”
- **T00GE01GEORE04** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geotecniche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE05** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geomeccaniche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE06** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati analisi chimiche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE07** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023”
- **T00GE01GEORE08** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico”
- **T00GE01GEOPU01** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOPU02** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOPU03** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 3/3”
- **T00GE01GEORE08** - “Relazione geologica”
- **T00GE01GEOCG01** - “Carta geologica generale”
- **T00GE01GEOCG02** - “Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOCG03** - “Carta geologica di dettaglio - Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOCG04** - “Carta geologica di dettaglio - Tav. 3/3”
- **T00GE01GEOCG05** - “Carta geomorfologica - Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOCG06** - “Carta geomorfologica – Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOCG07** - “Carta geomorfologica – Tav. 3/3”
- **T00GE01GEOCI01** - “Carta idrogeologica – Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOCI02** - “Carta idrogeologica – Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOCI03** - “Carta idrogeologica – Tav. 3/3”
- **T00GE01GEOFG01** - “Profilo geologico asse principale”
- **T00GE01GEOFG02** - “Viadotto Sieve 1 - Planimetria e profilo geologico”
- **T00GE01GEOFG03** - “Viadotto Argomena - Planimetria e profilo geologico”

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	A	4 di 10
			Data 10/2023	

- **T00GE01GEOFG04** - “Viadotto Sieve 2 - Planimetria e profilo geologico”
- **T00GE01GEOSG01** - “Sezioni geologiche trasversali”
- **T00GE01GEOSG02** - “Sezioni geologico-tecniche di dettaglio”

Gestione materie

- **T00GE02GEORE01** - “Relazione di gestione materie”
- **T00GE02GEORE02** - “Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo”
- **T00GE02GEOCD01** - “Planimetria ubicativa dei siti di cava e deposito”

Geotecnica

- **T00GE03GETRE01** - “Relazione geotecnica generale”
- **T00GE03GETRE01** - “Relazione geomeccanica”
- **T00GE03GETFG01** - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 1/4”
- **T00GE03GETFG02** - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 2/4”
- **T00GE03GEOFG03** - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 3/4”
- **T00GE03GEOFG04** - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 4/4”
- **T00GE03GEOFG05** - “Viadotto Sieve 1 – Profilo geotecnico”
- **T00GE03GEOFG06** - “Viadotto Argomenna – Profilo geotecnico”
- **T00GE03GEOFG07** - “Viadotto Sieve 2 – Profilo geotecnico”
- **T00GE03GEOFG08** - “Galleria Montebonello – Profilo geologico-geomeccanico”

Sismica

- **T00GE04GETRE01** - “Relazione sismica”
- **T00GE04GETCS01** - “Planimetria con classificazione sismica del territorio”

Monitoraggio geotecnico dell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300

- **T00GE05MOGPU01** - “Planimetria con ubicazione della strumentazione”

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA VA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	A	5 di 10
			Data 10/2023	

3 SINTESI DELL'ANALISI INTERFEROMETRICA DI IMMAGINI RADAR SATELLITARI

Nella cartografia del PAI è indicata la presenza di una *frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3)* e *pericolosità geomorfologica molto elevata (P4)*, interferente direttamente con il tracciato tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa, dove non sono previste opere d'arte particolari ma solo una sezione di rilevato/trincea. Nell'area il substrato della frana è riferibile alle *Argille e Calcari di Canétole (ACC)*.

L'analisi dei valori di velocità dei PS presenti in corrispondenza del piede della frana, dove sono presenti alcuni edifici, mostra che sono presenti sia alcuni PS che indicano una sostanziale stabilità (velocità comprese tra -1.9÷2 mm/anno registrate con Envisat ascendente e Sentinel sia ascendente che discendente), sia un unico PS che indica una velocità compresa tra -4.9 e -2 mm/anno (Envisat ascendente).

Considerando che il versante in esame è esposto ad Est e che quindi la traiettoria in grado di meglio descrivere l'eventuale movimento è quella ascendente, il dato di velocità relativo al satellite Envisat ascendente deve essere considerato con particolare attenzione.

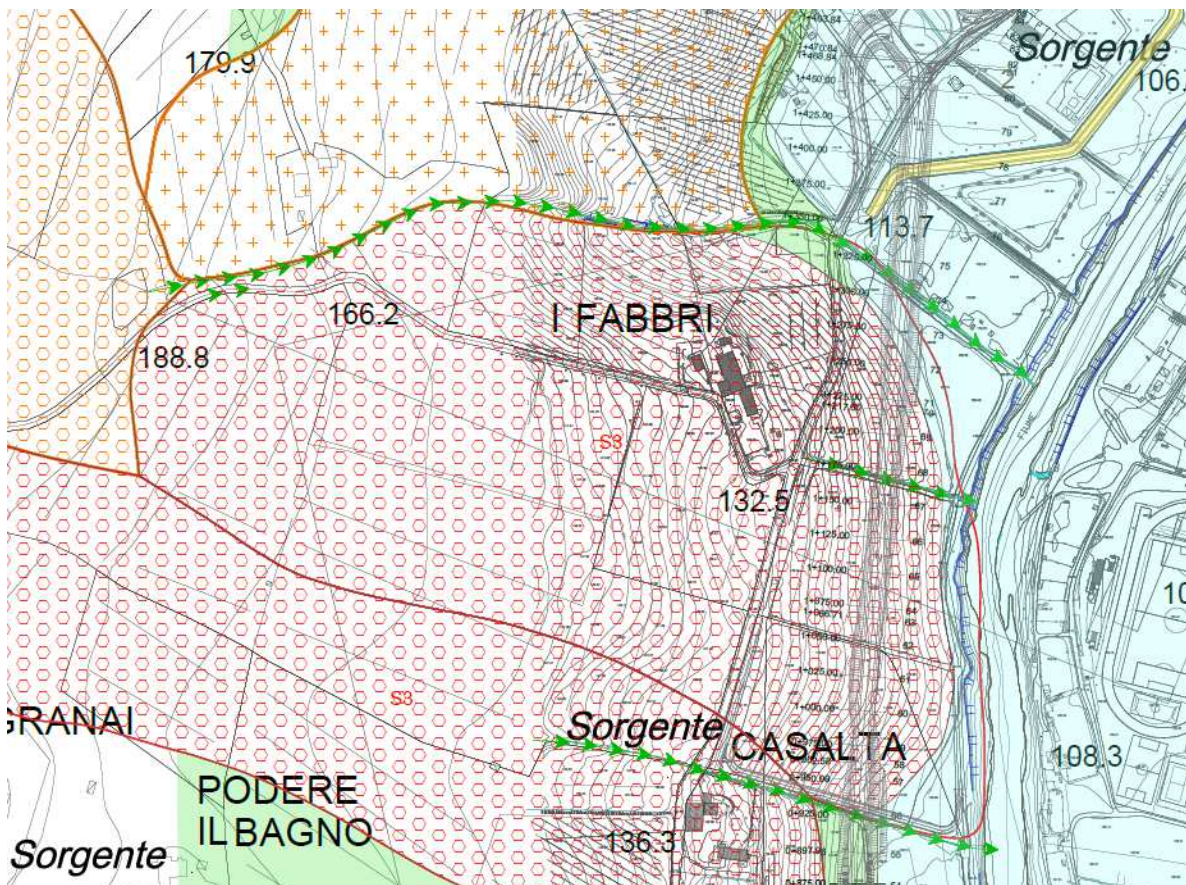


Figura 3-1 – Frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4), ubicata tra le progressive p.k. 0+925 e 1+300 circa

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. A	FOGLIO 6 di 10
			Data 10/2023	

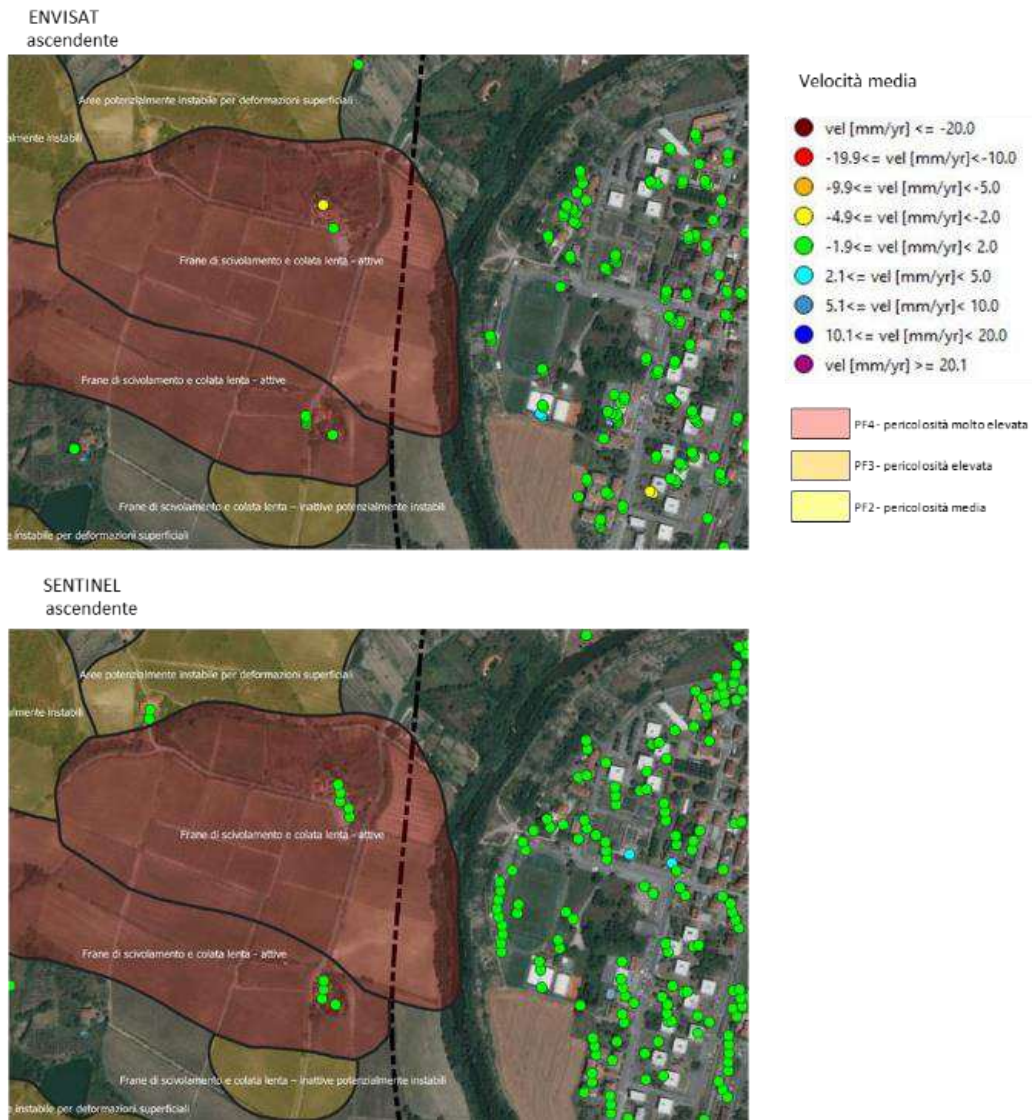


Figura 3-2 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) - traiettoria ascendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI ETIEM ENERGIEN VALLE AOSTE	sinèrgo s.p.a.	VA DVisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 7 di 10
							Data 10/2023

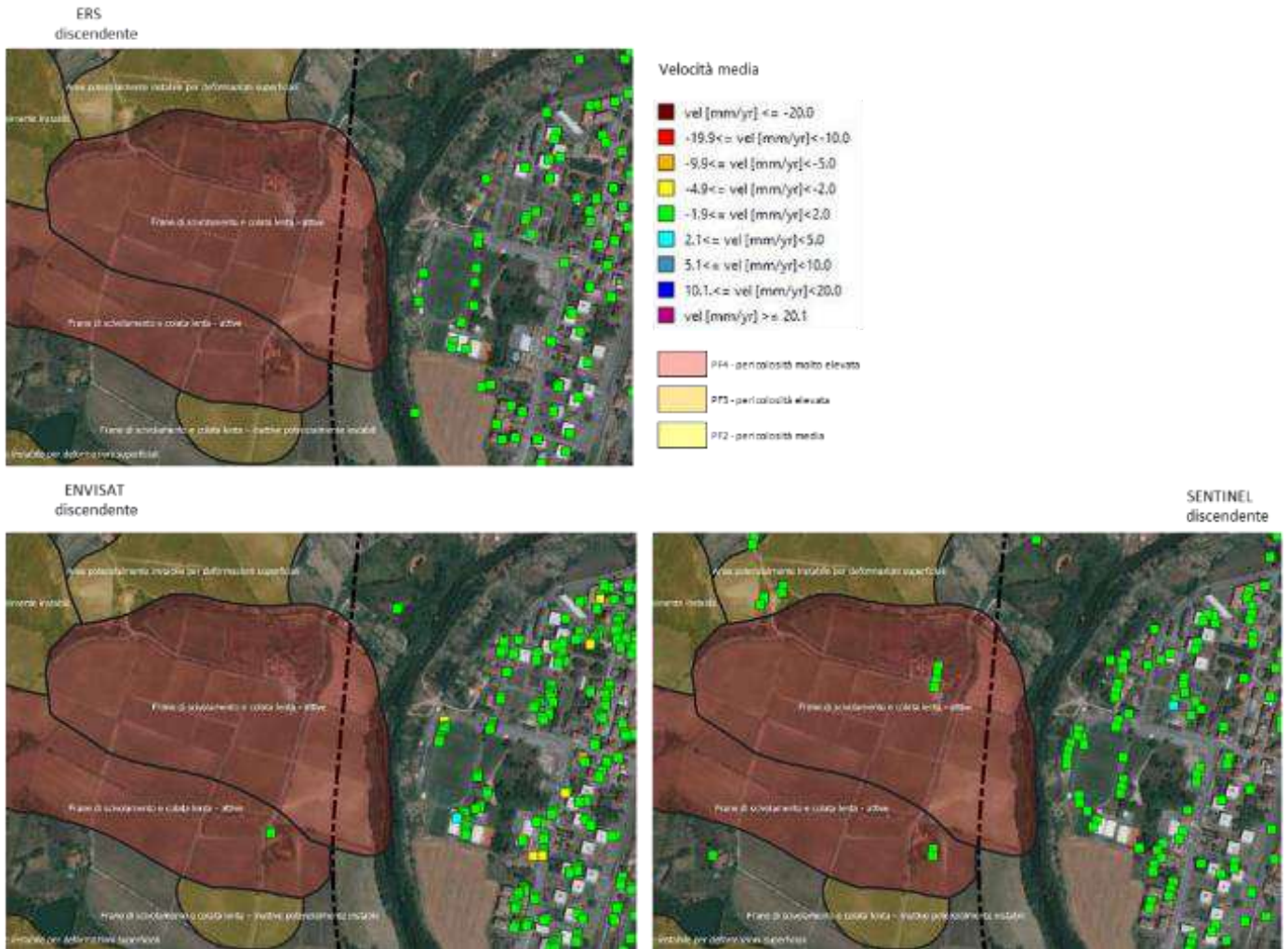


Figura 3-3 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell’areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (PF4) - traiettoria discendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	A	8 di 10
			Data 10/2023	

4 INDAGINI ESEGUITE E SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI FRANA

Nell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa nella campagna di indagini geognostiche del 2021-2022 è stata prevista l'esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo da 30 m, tutti strumentati con tubo inclinometrico (SN06-IN, SN06bis-IN e SN07-IN). Nel corso della perforazione dei sondaggi sono state previste prove SPT e prove di permeabilità Lefranc ed è stato previsto il prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio

I risultati delle indagini in sito eseguite nel 2021-2022 sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE02** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito", mentre i risultati delle prove geotecniche di laboratorio sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE04** - "Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geotecniche di laboratorio"

Nel corso del 2023 nell'area di frana sono state previste indagini integrative costituite da:

- n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e in onde SH;
- n.6 stendimenti di geoelettrica in modalità ERT;
- n.3 prove con dilatometro piatto Marchetti (DMT1, DMT3, DMT4);
- misure inclinometriche manuali a cadenza mensile per un anno su n.3 inclinometri (SN06-IN, SN06bis-IN, SN07-IN); la lettura di zero è stata eseguita nel giugno 2023, ad oggi sono disponibili le misure di luglio e agosto 2023;
- misure piezometriche manuali a cadenza mensile per un anno su n. 3 piezometri (SN06-PZ, SN06bis-PZ, SN07-PZ).

I risultati delle indagini integrative eseguite nell'area di frana sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" e nell'elaborato **T00GE01GEORE08** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico".

Dagli esiti di tutte le indagini eseguite nell'area di frana e sopra descritte emerge un quadro riassumibile nei seguenti punti principali:

- le stratigrafie dei n. 3 sondaggi eseguiti nell'area, insieme con gli esiti delle prove SPT, hanno mostrato uno spessore di terreno che, nella sua porzione più superficiale fino a 10÷15 m di profondità, potrebbe essere potenzialmente riconducibile a depositi gravitativi di versante (frana attiva o quiescente);
- le indagini sismiche a rifrazione con misura delle V_P e delle V_S hanno consentito di individuare la presenza di tre sismostrati principali, il più superficiale ($V_P < 1200\div1500$ m/s, $V_S < 300\div400$ m/s), con uno spessore di 4÷8 m, potenzialmente assimilabile alla porzione attiva della frana, l'intermedio ($V_P < 1900\div2200$ m/s, $V_S < 500\div600$ m/s), con uno spessore di 8÷10 m circa, potenzialmente assimilabile alla porzione quiescente della frana, e quello più profondo ($V_P \geq 1900\div2200$ m/s, $V_S \geq 500\div600$ m/s), presente da profondità medie di 15÷20 m, assimilabile al substrato argillitico delle Argille e Calcari di Canetolo, da alterato a poco alterato;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	A	9 di 10
			Data 10/2023	

- le indagini di tomografia elettrica ERT non sono risultate, nello specifico, particolarmente diagnostiche nell'individuazione di una potenziale superficie di scorrimento;
- gli esiti delle n. 4 prove con dilatometro piatto Marchetti eseguite, a causa della lunghezza estremamente ridotta delle prove e della mancanza del tratto inferiore sovraconsolidato, non hanno consentito di individuare con sicurezza la presenza di una eventuale superficie di scivolamento (attiva o quiescente);
- il monitoraggio eseguito sui n. 3 piezometri installati nell'area ha mostrato valori di soggiacenza del livello piezometrico della falda superficiale variabili tra 0.5 e 4 m circa da p.c.;
- il monitoraggio eseguito sui n. 3 inclinometri installati nell'area per due di essi non ha mostrato nessun indizio di una eventuale superficie di scivolamento attiva, mentre su uno di essi sembrerebbe possibile individuare una potenziale superficie di scivolamento attiva a circa 8 m di profondità;
- le prove di taglio diretto eseguite in laboratorio sui campioni della porzione più superficiale dei depositi di frana (profondità < 7 m), hanno fornito valori di resistenza a taglio di picco pari a $c'_p = 7$ kPa, $\varphi'_p = 26 \div 34^\circ$ e valori di resistenza a taglio residui pari a $c'_r = 0$ kPa, $\varphi'_r = 25 \div 28^\circ$;
- i valori ottenibili da una back-analysis del fenomeno franoso eseguita sulla base delle seguenti condizioni:
 - estensione monte-valle della frana attiva di oltre 600 m (come da cartografia PAI);
 - versante in frana caratterizzato da una pendenza media della superficie topografica di circa $7 \div 8^\circ$;
 - superficie di scivolamento a profondità media pari a 8 m (cfr. inclinometro SN06bis-IN) almeno nel tratto più a valle della stessa, ipotizzata grosso modo parallela al pendio vista l'estensione della frana;
 - condizioni piezometriche variabili tra pendio saturo e pendio asciutto (ovvero livello piezometrico ipotizzato al di sotto della superficie di scorrimento);

hanno fornito un valore dell'angolo di attrito residuo pari a circa 13.5° in condizioni di pendio saturo, un valore pari a circa 10.5° nelle condizioni corrispondenti a quelle misurate nella recente campagna di monitoraggio piezometrico e un valore pari a 7° in condizioni di pendio asciutto; tali valori possono essere considerati rappresentativi unicamente della resistenza residua presente in corrispondenza della superficie di scorrimento della frana, dato che risultano molto inferiori ai valori residui ottenuti da prove di taglio diretto su campioni indisturbati prelevati nel corpo della frana a profondità inferiori a 7 m.

Stante l'attuale indeterminatezza sulla reale attività della frana, sulla sua profondità e sulla sua effettiva estensione, è stata predisposta una rete di monitoraggio geotecnico dell'area di frana a cavallo della sede stradale, prevedendo la realizzazione di inclinometri e piezometri con misure manuali da eseguire a cadenza almeno trimestrale per almeno 3 anni a partire dalla fine (giugno 2024) del periodo di monitoraggio di un anno con misure a cadenza mensile già previsto e attualmente in corso di esecuzione, in modo da tenere sotto controllo l'eventuale tendenza evolutiva della frana, anche in relazione a periodi di precipitazioni intense e prolungate nel tempo

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 05-MOG-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	A	10 di 10
			Data 10/2023	

5 PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO DELL'AREA DI FRANA

Il piano di monitoraggio geotecnico proposto consiste nella realizzazione di n. 3 coppie di inclinometri (L = 30 m) e piezometri a tubo aperto (L = 15 m) allineati lungo due sezioni di monitoraggio trasversali all'asse del tracciato, da sottoporre a misure con cadenza trimestrale per almeno 3 anni a partire dalla fine (giugno 2024) del periodo di monitoraggio di un anno con misure a cadenza mensile già previsto e attualmente in corso di esecuzione.

L'ubicazione degli strumenti è mostrata nell'elaborato di progetto **T00GE05MOGPU01A** – “Planimetria con ubicazione della strumentazione – Scala 1:2000”.

5.1 Misure inclinometriche

E' stata prevista l'installazione di n° 3 tubi inclinometrici da 30 m (IN01, IN02, IN03), da alloggiare all'interno di altrettanti fori eseguiti con perforazione a distruzione di nucleo e protetti da apposito chiusino.

In particolare, sono stati previsti tubi inclinometrici in alluminio a 4 guide che avranno le seguenti caratteristiche:

Diametro interno	76 mm
Diametro esterno	86 mm
Spessore tubo	2.0 mm \pm 5%
Spiralatura	< 0.3°/m
Lunghezza spezzone tubo	3 m
Peso	1.4 Kg/m
Materiale	Lega di Alluminio 6060

I tubi inclinometrici dovranno essere provvisti di appositi manicotti di giunzione dei diversi spezzoni di tubo.

Al termine dell'installazione, dopo almeno 15-20 gg., dovrà essere eseguito il collaudo della tubazione con sonda testimone e, possibilmente, sonda spiralometrica e verrà eseguita la lettura di zero con la sonda inclinometrica da utilizzare per tutte le successive misure.

Sono state previste almeno 12 misure inclinometriche successive alla prima, a cadenza trimestrale (n°1 misura ogni 3 mesi per 3 anni), da eseguire con sonda inclinometrica con sensori servoaccelerometrici o MEMS, di sensibilità almeno 1/25.000 sena.

Le misure dovranno sempre essere eseguite su 4 guide con passo 0.5 m.

5.2 Misure piezometriche

E' stata prevista l'installazione di n° 3 piezometri a tubo aperto da 2" di profondità pari a 15 m (PZ01, PZ01, PZ03), da alloggiare all'interno di fori eseguiti con perforazione a distruzione di nucleo e protetti da apposito chiusino.

I piezometri a tubo aperto dovranno avere un tratto cieco da 2 m a partire da p.c. fino a - 3 m e un tratto fenestrato da 12 m a partire da - 3 m da p.c. fino a fondo foro.

Sono state previste almeno 12 misure piezometriche, a cadenza trimestrale (n°1 misura ogni 3 mesi per 3 anni), da eseguire con apposito freatimetro centimetrato, successive alla prima, che dovrà avvenire una volta terminate le operazioni di spurgo del piezometro.