

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 Mezzanatica - 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

03.01 - Geologia

Relazione geologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00-GE01-GEO-RE09-B.pdf			
ACNO01113	D 20	CODICE ELAB.	T00GE01GEORE09	B	-
D					
C					
B	Revisione a seguito di istruttoria ANAS	02/2024	VITIELLO	MEZZANATICA	FORMICHI
A	EMISSIONE	10/2023	VITIELLO	MEZZANATICA	FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARABIA	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

INDICE

1	Premessa.....	3
2	Normativa e documenti di riferimento	4
2.1	Normativa di riferimento.....	4
2.2	Documenti di Base.....	4
2.3	Elaborati di Progetto Definitivo.....	4
3	Inquadramento generale del tracciato	7
4	Inquadramento geologico-strutturale dell'area.....	9
5	Indagini geognostiche.....	13
5.1	Campagna di indagine geognostica 2021-2022	13
5.1.1	Piezometri - Geoconsol Srl.....	14
5.1.2	Indagini geognostiche in sito - Eurogeo Srl	14
5.1.3	Indagini geofisiche – Geofisica misure snc.....	20
5.2	Campagna di indagine geognostica integrativa 2023.....	22
5.2.1	Sismica a rifrazione in onde P e SH	22
5.2.2	Geoelettrica.....	23
5.2.3	Prove dilatometriche Marchetti.....	24
5.2.4	Prelievo acque di falda e analisi chimiche	25
5.2.5	Monitoraggio inclinometrico e piezometrico.....	26
6	Rilievo geologico delle unità stratigrafiche presenti nell'area di progetto.....	28
6.1	Unità tettonica Canétolo.....	28
6.1.1	Arenarie di Monte Senario (SEN)	28
6.1.2	Argille e Calcari di Canétolo (ACC)	29
6.2	Unità tettonica Falterona.....	30
6.2.1	Membro di Montalto (FAL3).....	30
6.3	Unità tettonica Galiga.....	33
6.3.1	Marne di Galiga (GLG).....	34
6.3.2	Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO).....	35
7	Depositi quaternari	43
7.1	Depositi alluvionali terrazzati (bn) e in evoluzione (b1).....	43
7.2	Depositi di versante, coltre eluvio-colluviale (b2).....	47
8	Assetto geomorfologico	49
8.1	Area Collinare.....	49
8.2	Pianura Alluvionale	50
9	Dinamica geomorfologica di versante.....	52
9.1	Consultazione del catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia	52
9.2	Consultazione della Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana	53
9.3	Consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale	53

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	B	2 di 123
			Data 02/2024	

9.3.1	PAI - Bacino del Fiume Arno (2005)	54
9.3.2	Progetto di Piano - PAI "Dissesti geomorfologici"	55
9.4	Analisi interferometrica di immagini radar satellitari	59
9.4.1	Generalità	59
9.4.2	Analisi dei valori di velocità dei PS nelle aree di frana segnalate dal PAI	64
9.5	Analisi fotointerpretativa stereoscopica e rilievo geomorfologico.....	79
9.5.1	Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio	79
9.5.2	Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque	79
9.5.3	Forme e depositi antropici	79
10	Assetto idrogeologico dell'area	81
11	Sismicità dell'area	86
11.1	Zonazione sismogenetica	86
11.2	Sismicità storica e classificazione sismica comunale	87
11.3	Microzonazione sismica	91
11.4	Strutture sismogenetiche	94
11.5	Faglie capaci.....	95
11.6	Azione sismica di base per il progetto	96
11.6.1	Stati limite nei confronti delle azioni sismiche.....	96
11.6.2	Periodo di riferimento per l'azione sismica	97
11.6.3	Parametri sismici.....	97
11.7	Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica	99
11.8	Suscettibilità alla liquefazione	101
12	Aspetti e problematiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche delle singole opere.....	104
12.1	Svincolo Masseto SS67 (rotatoria) (da p.k. 0+000 a p.k. 0+050).....	104
12.2	Viadotto Sieve 1, L = 408 m (da p.k. 0+050 a p.k. 0+458).....	105
12.3	Asse principale: tronco 1 (da p.k. 0+458 a p.k. 1+435.89).....	107
12.4	Svincolo Montebonello/Colognese (rotatoria) (da p.k. 1+435.89 a p.k. 1+781.46)	109
12.5	Viadotto Argomena (da p.k. 1+781.46 a p.k. 1+979.46)	110
12.6	Imbocco sud Galleria Montebonello (da p.k. 2+019.50 a p.k. 2+066)	112
12.7	Galleria naturale Montebonello (da p.k. 2+066 a p.k. 2+982)	114
12.8	Imbocco nord Galleria Montebonello (da p.k. 2+982 a p.k. 2+986.80).....	117
12.9	Viadotto Sieve 2, L = 408 m (da p.k. 2+997.85 a p.k. 3+405.85).....	119
12.10	Svincolo Scopeti (rotatoria) (da p.k. 3+405.85 a p.k. 3+474.12)	121

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 3 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA s.p.a. ENERGIA VALLEA AMBIENTE sinèrgo DIREZIONE REGIONALE D_VA D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

1 PREMESSA

La presente relazione definisce l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico del tracciato stradale di circa 3.5 km noto 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**).

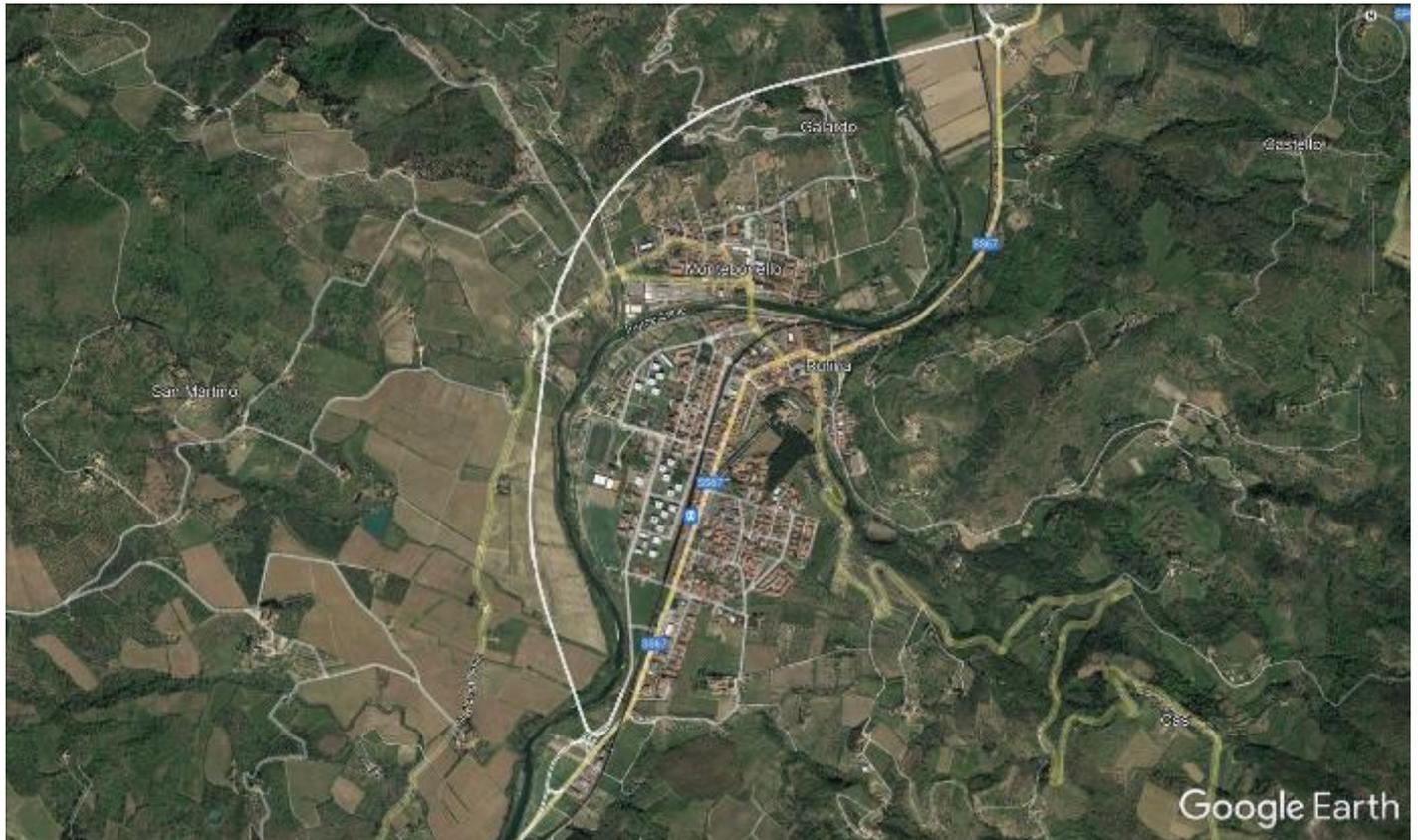


Figura 1-1 – Foto aerea (da Google Earth) con sovrapposizione schematica del tracciato di progetto (linea bianca): al centro dell'immagine gli abitati di Rufina e Montebonello separati dal Fiume Sieve

La base dati, riguardante il modello geologico di base, è stata in gran parte desunta dal Foglio n° 264 "Borgo San Lorenzo" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 del CARG, edito da ISPRA - Servizio Geologico Nazionale nel 2010.

Il modello geologico proposto per l'opera in progetto deriva principalmente dai dati raccolti nelle operazioni di rilevamento diretto sul terreno, consistente in rilievi geologici e geomeccanici di dettaglio eseguiti nelle esposizioni più significative degli ammassi rocciosi, individuate a cavallo dell'asse di progetto. I risultati di tali rilievi sono quindi stati confrontati con tutta la documentazione disponibile, riguardante la pianificazione territoriale sia a scala comunale (piani strutturali), che regionale (banca dati geologica e geomorfologica, PAI, dati interferometrici PS regionali) o statale (IFFI, dati interferometrici PS da Geoportale Nazionale).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	4 di 123
			Data 02/2024	

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito sono state eseguite in conformità alla normativa vigente, costituita da:

- Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - **Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”**
- Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”**

Tale normativa definisce i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle loro prestazioni richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e portanza. Nello specifico si fa esplicito riferimento a quanto riportato al paragrafo 6.1.2 delle N.T.C. 2018 secondo il quale *“le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese dalle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica.”*

2.2 Documenti di Base

- [1] ISPRA-SGN, Carta Geologica D'Italia CARG scala 1:50.000: Foglio 264 “Borgo San Lorenzo” (2015)
- [2] IFFI – Inventario dei fenomeni franosi – Piattaforma IdroGEO
- [3] Autorità di Bacino del Fiume Arno – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (2005);
- [4] Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Progetto di Piano - PAI “Dissesti geomorfologici” (2019);
- [5] Regione Toscana - Banca Dati Geomorfologica (2018)
- [6] Comune di Pontassieve (FI): Indagini geologico-tecniche di supporto al Piano Strutturale (2002)
- [7] SIT – Portale del Comune di Rufina - Piano Strutturale Intercomunale Unione dei Comuni Valdarno e Valdisieve (FI) – Supporto geologico (carta geolitologica, carta geomorfologica, carta della pericolosità geologica)

2.3 Elaborati di 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”

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	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	B	5 di 123
			Data 02/2024	

- **T00GE01GEORE07** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023”
- **T00GE01GEORE08** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico”
- **T00GE01GEORE10** - “Relazione di compatibilità geomorfologica”
- **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”
- **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”
- **T00GE01GEOFG04** - “Viadotto Sieve 2 - Planimetria e profilo geologico”
- **T00GE01GEOSG01** - “Sezioni geologiche trasversali”
- **T00GE01GEOSG02** - “Sezioni geologico-tecniche di dettaglio - Tav.1/2”
- **T00GE01GEOSG03** - “Sezioni geologico-tecniche di dettaglio - Tav.2/2”

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”

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EIVIA ENERGIA VALLE D'AGNONE s.r.l.	 sinèrgo s.p.a.	 VA D.VisionArchitecture
				Data 02/2024

- **T00GE03GETRE02** - "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 Argomena – 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

- **T00GE05MOGRE01** - "Relazione tecnica"
- **T00GE05MOGCPU01** - "Planimetria con ubicazione della strumentazione"

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			Data 02/2024	

3 INQUADRAMENTO GENERALE DEL TRACCIATO

Il tracciato parte, a sud, da un incrocio canalizzato (cfr. **Figura 3-1**) che verrà sostituito da una rotonda di nuova realizzazione (*Svincolo Masseto S.S.67*), per continuare, alla p.k. 0+050, con un viadotto di attraversamento del Fiume Sieve (*Viadotto Sieve 1, L = 408 m*). Il piano di imposta delle fondazioni del viadotto risulta entro coperture superficiali di origine alluvionale (bn), di spessore variabile e dalla granulometria molto eterogenea. Il substrato di tali coperture viene ascritto in letteratura all'unità tettonica Canétolo ed in particolare alle Argille e Calcari di Canetolo (ACC), costituite da argilliti variegiate fissili e argilliti marnose con intercalazioni di calcari marnosi e marne calcaree.



Figura 3-1 - Foto panoramica in direzione SW dell'incrocio canalizzato di quota 106 m s.l.m. (a sinistra immagine) e area di attraversamento del fiume Sieve (a destra immagine, zona alberata).

A partire dalla p.k. 0+458 il progetto prevede circa 1 km in rilevato fino alla nuova rotonda alla p.k. 1+494 (*Svincolo Montebonello/Colognese*), a meno di un tratto centrale in trincea di circa 200 m. Il rilevato poggia sopra i depositi alluvionali terrazzati presenti con uno spessore di alcuni metri al di sopra dei terreni dell'unità tettonica Canétolo (ACC) (cfr. **Figura 3-2**).



Figura 3-2 - Foto panoramica in direzione NW della fascia di margine tra la zona collinare nelle Argille e Calcari di Canétolo e i depositi alluvionali terrazzati (bn), dove il tracciato è previsto perlopiù in rilevato.

In corrispondenza del tratto in trincea il tracciato attraversa l'areale di un corpo franoso, costituito probabilmente da litotipi poco competenti molto alterati ed eterogenei, immersi in una matrice prevalentemente limoso-sabbiosa.

In un contesto geologico mutato, dopo la nuova rotonda di svincolo il progetto prevede nuovamente 250 m circa su rilevato e un viadotto di attraversamento del torrente Argomena (*Viadotto Argomena, L = 198 m*), (cfr. **Figura 3-3**),

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO sinèrgo DVISIONARCHITECTURE	B	8 di 123
			Data 02/2024	

prima di arrivare a ridosso delle pendici del rilievo collinare di Montebonello. Il substrato roccioso in quest'area è costituito dalle unità tettoniche toscane, sovrascorse dalle unità tettoniche subliguri viste precedentemente. Le unità litostratigrafiche toscane hanno origine torbidityca e sono costituiti da alternanze di corpi granulari separati da intervalli prevalentemente fini, dove, data la natura eteropica dei contatti stratigrafici, il valore dello spessore varia lateralmente in modo repentino.



Figura 3-3 – Foto panoramica in direzione N dell'area di attraversamento del T. Argomena (affluente destro del F. Sieve); in alto a destra le pendici del rilievo collinare di Montebonello, dove è previsto l'imbocco Sud della galleria naturale.

Il rilievo collinare di Montebonello, che verrà attraversato da una galleria (*Galleria Montebonello*, $L = 967.30$ m, di cui 916 m in galleria naturale) è costituito da marne siltose e argille mal stratificate, passanti a siltiti marnose e marne ben stratificate, ascritte in letteratura rispettivamente alle *Marne di Galiga* (GLG) e alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO).

Dopo la galleria, il tracciato prevede un nuovo viadotto per l'attraversamento del Fiume Sieve (cfr. **Figura 3-4**). Il piano di imposta delle fondazioni dell'opera (*Viadotto Sieve 2*, $L = 408$ m) risulta entro coperture superficiali di spessore variabile prevalentemente di origine alluvionale, del tutto paragonabili a quelli rinvenuti nel tratto iniziale: si tratta di terreni sciolti granulometricamente molto eterogenei, ricoperti in questo caso un substrato roccioso costituito da siltiti marnose ed elementi litoidi di composizione arenacea ascrivibili alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO).

Il tracciato della Variante di Rufina termina quindi in corrispondenza di una rotonda già esistente (*Svincolo Scopeti*).



Figura 3-4 - Foto panoramica in direzione Est della piana alluvionale del F. Sieve, che verrà attraversata da un nuovo viadotto; in secondo piano le pendici del rilievo collinare di Montebonello dove è previsto l'imbocco Nord della galleria naturale. A destra la rotonda (quota 128 m s.l.m.) dove termina la Variante di Rufina della S.S. Tosco-Romagnola N°67.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE ASSOCIATI	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 9 di 123
					Data 02/2024	

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA

Il segmento toscano dell'Appennino Settentrionale attraversato dall'asse di progetto, caratterizzato notoriamente da una vergenza generale in direzione nord-orientale, riguarda una porzione del bacino idrografico del Fiume Sieve.

Le unità tettoniche, che per definizione sono delimitate da contatti fragili (faglie e sovrascorrimenti) hanno, a scala regionale, la seguente polarità strutturale: l'unità tettonica Subligure (Canéto, SUB) sovrascorre le unità tettoniche Toscane (Galiga e Falterona, UGA) (cfr. **Figura 4-1**). La direzione generale detta anche "appenninica" è orientata circa NW-SE mentre la vergenza è nord-orientale. In riferimento allo sviluppo del tracciato di progetto descritto al punto 3, il sovrascorrimento tettonico interseca l'asse stradale poco prima dell'attraversamento del torrente Argomena: si ipotizza che la superficie sia molto inclinata, circa 65° orientata mediamente in direzione circa NW-SE con immersione a SW.

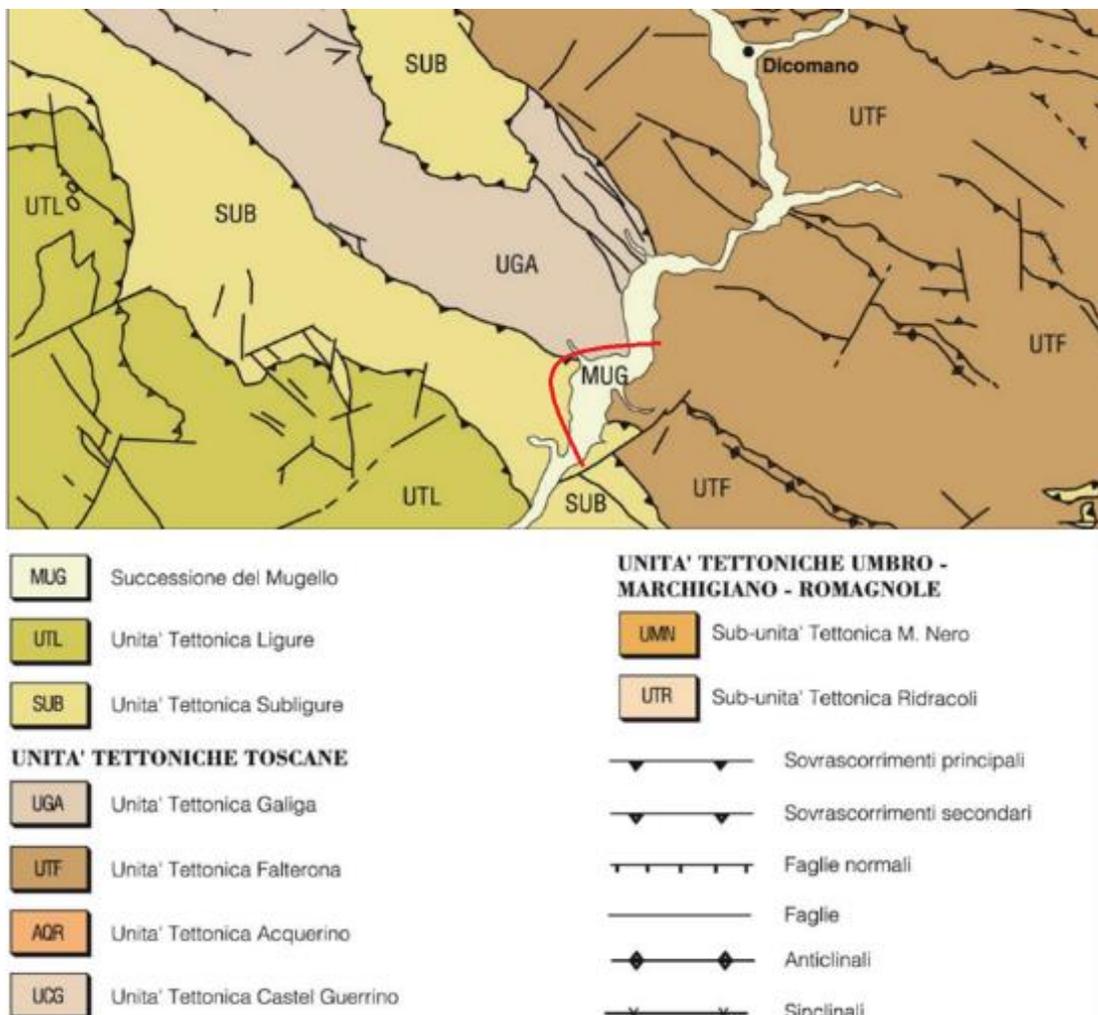
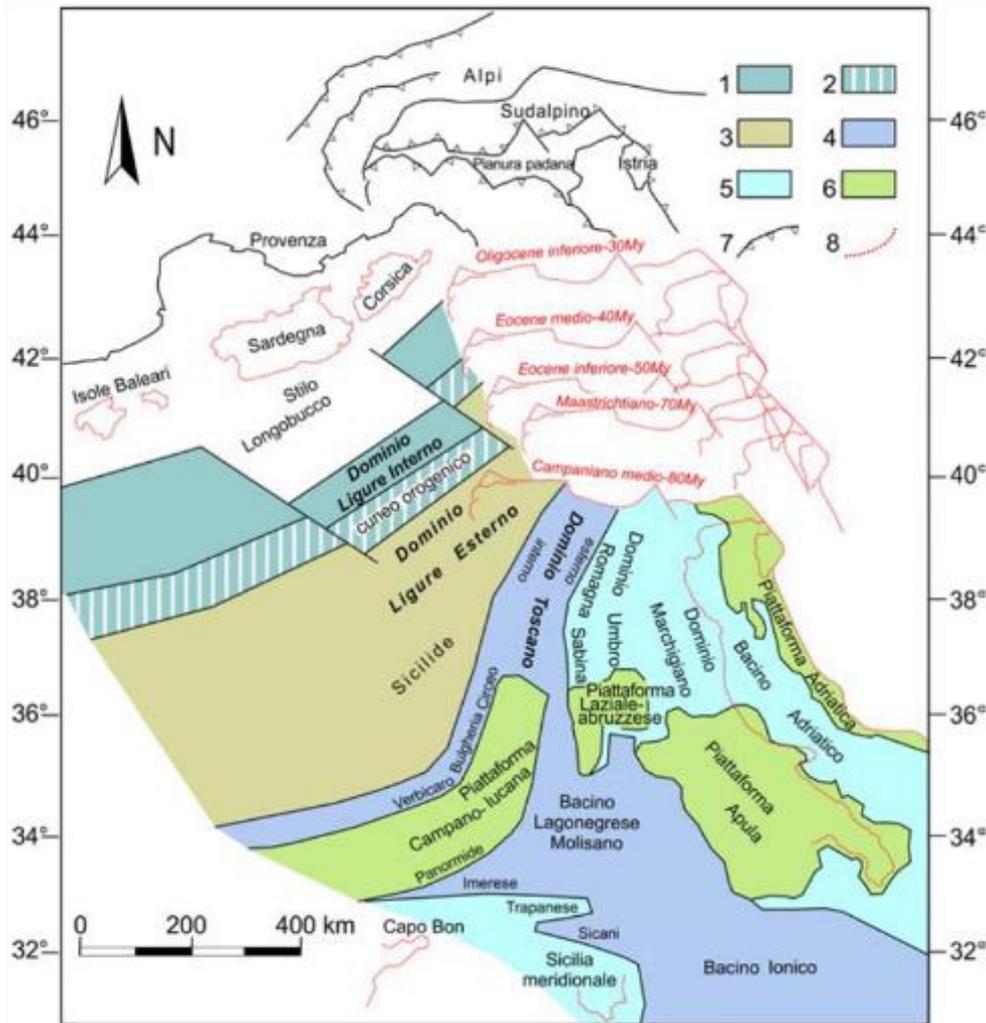


Figura 4-1 - Schema tettonico nell'area di progetto: Variante di Rufina, Lotti 2A e 2B (linea rossa) (modif. Foglio geologico 264 "Borgo San Lorenzo", 2010)

Nel Cretacico Superiore il contesto paleogeografico di riferimento (cfr. **Figura 4-2**), comprendeva notoriamente a sud il margine continentale Adria delimitato dall'oceano Tetide; nella porzione occidentale di quest'ultimo la deposizione dei sedimenti avveniva su crosta oceanica, sia nei bacini liguri esterni che nel bacino subligure. La sedimentazione è proseguita sia nel corso della fase di subduzione oceanica che in quella collisionale a seguito delle quali poi si è originata la catena appenninica s.s..



1) aree a crosta oceanica caratterizzate da risedimenti torbiditici a composizione mista carbonatico-siliciclastica. 2) cuneo orogenico eoalpino. 3) aree bacinali a crosta assottigliata o transizionale caratterizzate, nelle aree prossime al cuneo orogenico, da imponenti accumuli gravitativi con blocchi di crosta oceanica e continentale e nelle aree distali da risedimenti torbiditici a composizione mista. 4) aree bacinali con profondità prossima alla CCD, caratterizzate da risedimenti torbiditici intrabacinali. 5) aree bacinali e altofondi sottomarini al di sopra della CCD, a sedimentazione calcarea prevalentemente emipelagica. 6) aree di mare basso o emerse. 7) fronti di sovrascorrimento, anche sepolti, selezionati come elementi di riferimento attuali. 8) Elementi di riferimento che evidenziano il movimento relativo dell’Africa rispetto all’Europa tra 80 e 30 Ma e la posizione delle Baleari e del Blocco Sardo-Corso prima dell’apertura del Bacino Balearico.

Figura 4-2 - Ricostruzione palinspastica dei domini appenninici (Campaniano Superiore, 80 Ma circa) (modif. Note illustrative - Foglio geologico 249 “Massa Carrara”, 2019)

Nell'Oligocene Superiore, a testimonianza di tale raccorciamento, si produssero probabilmente già a livello crostale scaglie tettoniche e la formazione dell'*avanfossa*, che accoglieva la sedimentazione dei depositi torbiditici, in primis quelli ascritti al membro basale delle Arenarie di Falterona (cfr. **Figura 4-4**); contemporaneamente si depositarono le Marne di Galiga (GLG), litologicamente molto differenti. La spiegazione plausibile di tale differenza è che la deposizione di quest'ultime sia avvenuta in un *bacino satellite* più interno e meno profondo della adiacente *avanfossa*, il quale ha accolto anche successivi apporti sedimentari ascritti alle più recenti *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) (Aquitaniense).

Il *bacino satellite* (*piggy-back*) probabilmente era separato strutturalmente dall'*avanfossa* per mezzo di un alto morfologico, controllato in profondità dalla tettonica fragile in evoluzione (*thrust*). Il proseguire dei fenomeni porta a

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIPIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGRO sinèrgo DVISIONArchitecture	B	11 di 123
			Data 02/2024	

colmare il bacino satellite, dando così origine alla natura eteropica dei rapporti stratigrafici tra le *Marne di Galiga* (GLG) e le *Siltiti di Poggiolo Salaiolo* (PLO), nonché alla complessa relazione strutturale con il *Membro di Montalto* (FAL3) delle *Arenarie di Monte Falterona*.

La sezione geologica di **Figura 4-3** orientata in direzione SW-NE ubicata alcuni chilometri più a nord-ovest rispetto al tracciato di progetto, risulta nel complesso rappresentativa dello stile geologico-strutturale dell'area, specie nei riguardi delle opere previste in sotterraneo.

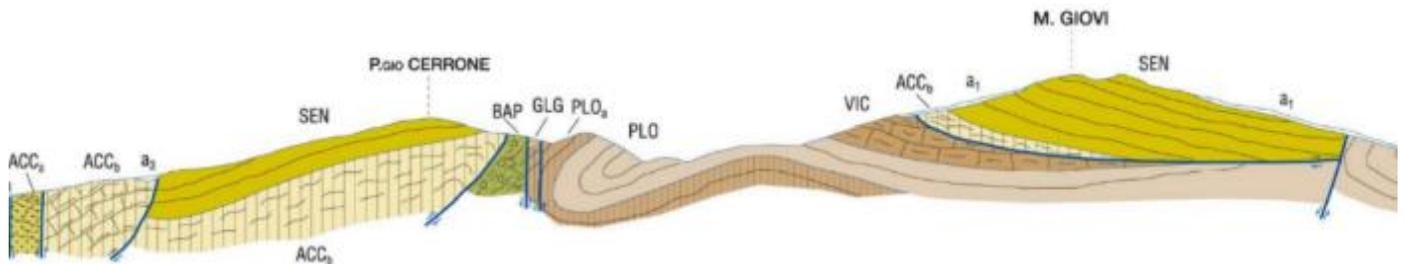


Figura 4-3 - Sezione geologica orientata in direzione SW-NE, rappresentativa dello stile strutturale dell'area tracciata in posizione più nord-occidentale rispetto al tracciato del progetto della Variante di Rufina (modif. Sezione B-B' - Foglio geologico 264 "Borgo San Lorenzo", 2010)

A partire da sud si individuano faglie verticali, a basso angolo con polarità inversa (*thrust*) che coinvolgono livelli stratigrafici plastici (*Brecce argillose poligeniche*, BAP) permettendo la sovrapposizione delle unità eoceniche (*Argille e Calcari del Canétolo*) su quelle mioceniche (*Marne di Galiga*). Queste strutture danno luogo a raddoppi di spessori e a contatti anomali di origine tettonica. Il sovrascorrimento presente nell'area di progetto, che porta a sovrascorrere l'unità tettonica Subligure sulle unità tettoniche Toscane, potrebbe essersi generato proprio in questo contesto geodinamico. Seguono strutture plicative aperte, modellate entro le unità Oligo-Mioceniche rinvenute in affioramento alla mesoscala, nei pressi del rilievo collinare di Montebonello. Altre strutture fragili subverticali ad andamento "anti-appenninico" ovvero in direzione circa NE-SW, rispetto ai precedenti sovrascorrimenti, esercitano il ruolo di svincolo cinematico nella medesima direzione.

Le unità geologiche che compongono il substrato affiorante lungo il tracciato sono descritte in base alle caratteristiche litologiche e tessiturali, nonché denominate con il rango attribuito dalla nomenclatura stratigrafica (formazioni, membri, litofacies), ma inserite a scala regionale entro unità tettoniche specifiche (unità tettonica Canétolo e unità tettoniche Galiga/Falterona) a sé stanti (cfr. **Figura 4-4**).

Esse possono essere suddivise in due gruppi: nel primo caso si tratta di sedimenti pelagici di piana bacinale con sporadici apporti torbiditici distinti in litofacies, depositi nell'Eocene, nel secondo invece si tratta di sedimenti torbiditici in s.s. che raggiungono un sistema strutturale più articolato (*bacino satellite-avanfossa*), distinti fondamentalmente in membri, depositi tra l'Oligocene superiore e il Miocene medio.

Il primo gruppo costituisce il substrato roccioso presente dalla progressiva iniziale del tracciato fino all'attraversamento del T. Argomenna, mentre il secondo gruppo nella restante parte del tracciato dove costituisce il rilievo collinare di Montebonello, attraversato con una galleria naturale.

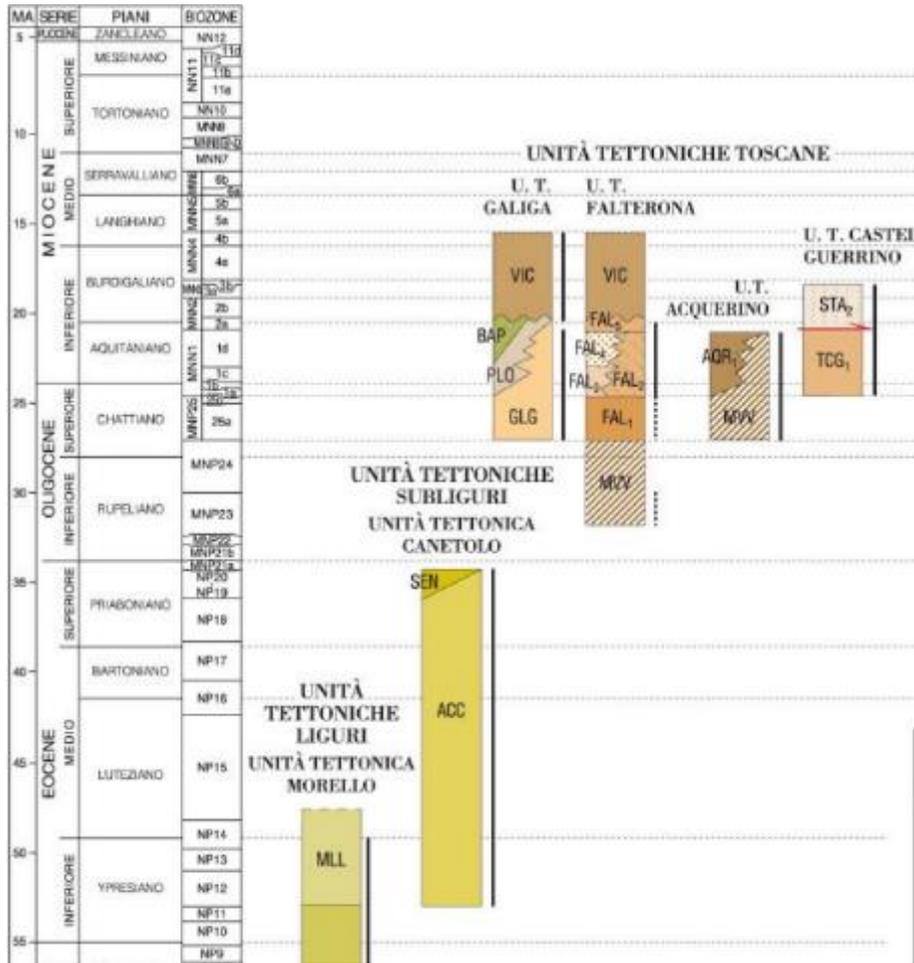


Figura 4-4 - Schema Cronostratigrafico delle unità tettoniche affioranti nell'area di progetto: Variante di Rufina, Lotti 2A e 2B (modif. - Foglio geologico 264 "Borgo San Lorenzo", 2010)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARBE  sinèrgo  VA D.VisionArchitecture	B	13 di 123
			Data 02/2024	

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Gli elementi necessari per la progettazione definitiva delle opere previste in progetto sono stati ricavati principalmente dall'interpretazione dei dati geognostici disponibili dall'esecuzione delle campagne di indagini previste per la presente fase di progetto definitivo, congiuntamente al rilievo geologico di campagna effettuato per l'area e all'esame dei dati bibliografici disponibili, tra cui risulta una campagna di indagine pregressa seppur parzialmente completa.

Nell'ambito della presente fase di progettazione, infatti, sono stati messi a disposizione gli esiti di una campagna geognostica effettuata nell'area in esame nell'anno 2003 per conto della Provincia di Firenze dal Dott. Geol. Barsanti, costituita da n.21 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S21), di profondità variabile tra 15 m e 60 m e con esecuzione di prove in foro tipo SPT. Purtroppo, per tale campagna sono disponibili esclusivamente le fotografie delle cassette catalogatrici dei sondaggi effettuati nell'area e le descrizioni delle stratigrafie sono pressoché sommarie, non ufficiali, così come i risultati delle prove SPT che si presentano incompleti e poco compatibili con quanto atteso per i terreni che costituiscono l'area in esame.

A fronte di ciò, i risultati di tale campagna non sono stati allegati agli elaborati di riferimento geognostici e sono stati considerati solo in maniera indicativa nel processo di caratterizzazione geotecnica di cui all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale".

Di seguito verranno descritte, nel dettaglio, le indagini previste per le campagne eseguite. L'ubicazione di tutte le indagini è riportata negli elaborati di progetto **T00GE01GEOPU01÷03** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche".

5.1 Campagna di indagine geognostica 2021-2022

La definizione della campagna di indagini, finalizzata alla caratterizzazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto da un punto di vista geologico, idrogeologico e soprattutto geotecnico (oltre che ambientale), è stata eseguita sulla base dell'ubicazione delle opere strutturali principali e della natura dei terreni che si prevedeva di incontrare, in base alle informazioni desunte dagli studi geologici precedenti e, per quanto possibile, dai dati disponibili di campagne di indagini pregresse.

In primo luogo, sono stati eseguiti in maniera preliminare una serie di rilievi geomeccanici su alcuni affioramenti considerati significativi a seguito dello studio del materiale bibliografico disponibile; tali rilievi hanno costituito ulteriore elemento di riferimento e integrazione per la successiva campagna di indagine geognostica, nonché un elemento di base per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi.

La campagna geognostica 2021-2022 è stata realizzata da un'associazione di imprese costituita da 3TI Progetti Italia SpA, Geoconsol Srl, Pizzi Terra Srl, Geoplanning Srl e Geofisica Misure snc, ciascuna con incarichi differenti.

Nella documentazione allegata al progetto e in particolare negli elaborati cartografici **T00GE01GEOPU01÷03** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" (3 tavv.) è riportata l'ubicazione e la tipologia delle indagini previste per ciascuna impresa.

Di seguito si descrivono nel dettaglio le indagini previste e realizzate dalle diverse imprese, mentre per ciò che concerne i risultati dei rilievi geomeccanici eseguiti si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica".

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	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	B	14 di 123
			Data 02/2024	

5.1.1 Piezometri - Geoconsol Srl

La campagna geognostica in oggetto, realizzata nell'anno 2021, ha previsto l'esecuzione di sondaggi a distruzione di nucleo con installazione di tubazioni piezometriche per la misura del livello di falda. In particolare, la ditta Geoconsol Srl ha realizzato n.6 verticali piezometriche spinte fino a 15 m di profondità e riportate nella seguente tabella.

Sondaggio	Prof. (m)	Metodo perforazione	Strumentazione installata
SN01-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN07-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN09-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN10-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN11-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN12-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto

Tabella 5-1 – Sondaggi a distruzione di nucleo con tubazioni piezometriche installate

5.1.2 Indagini geognostiche in sito - Eurogeo Srl

La campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione delle seguenti tipologie di indagini in sito, eseguite dalla ditta Eurogeo Srl nel periodo compreso tra la primavera e l'autunno del 2022:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- esecuzione di prove in foro (SPT, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche) e installazione nei fori di sondaggio a carotaggio di piezometri a tubo aperto oppure installazione di tubi in PVC per l'esecuzione di prospezioni sismiche in foro tipo down-hole oppure ancora installazione di tubi inclinometrici in alluminio per l'esecuzione di misure inclinometriche in corrispondenza dei corpi di frana;
- sondaggi a distruzione di nucleo con installazione di piezometri a tubo aperto;
- sondaggi verticali corti (a carotaggio continuo) con prelievo di campioni rimaneggiati e ambientali.

5.1.2.1 Sondaggi geognostici

Sono stati previsti complessivamente n.37 tra sondaggi geognostici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, di lunghezza variabile in funzione delle quote di progetto della strada e delle caratteristiche strutturali delle opere (viadotti, gallerie, rilevati, ecc.). In particolare, sono stati realizzati n.24 sondaggi a carotaggio continuo, di profondità variabili tra 15 e 100 m, n.5 sondaggi a carotaggio continuo spinti a 2 m di profondità e n.8 sondaggi eseguiti a distruzione di nucleo di profondità variabile tra 15 e 35 m (cfr. anche elaborato **T00GE01GEOPU01÷03** – “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche”).

Le perforazioni sono state eseguite tutte a carotaggio continuo, con l'utilizzo del carotiere semplice nei tratti in materiale sciolto (depositi superficiali e substrato roccioso molto alterato) e del carotiere doppio, associato a corona diamantata, nei tratti in roccia. In particolare, l'utilizzo del carotiere doppio ha consentito di misurare per ogni manovra il valore di RQD % (Deere, 1964), ottenuto dalla somma delle lunghezze delle carote lapidee di lunghezza > 10 cm rapportato alla lunghezza della manovra. Nell'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica” sono state fatte le opportune considerazioni in merito ai valori di RQD misurati in ciascun sondaggio, ai fini di identificare al meglio possibile i limiti di substrato roccioso e relativi orizzonti più alterati.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D_VA DVisionArchitecture	B	15 di 123
			Data 02/2024	

A fine perforazione, è stata prevista l'installazione di tubazioni cieche in PVC, finalizzate all'esecuzione di prospezioni sismiche tipo down-hole, oppure di piezometri a tubo aperto, oppure di tubazioni inclinometriche. Per tutti i sondaggi geognostici realizzati con tecnica distruzione di nucleo, invece, è stata installata la tubazione piezometrica per l'esecuzione di misure di livello della falda.

Nella tabella sottostante sono riepilogate le profondità dei n.37 sondaggi eseguiti e relativa strumentazione installata negli stessi a fine perforazione.

Sondaggio	Prof. (m)	Metodo perforazione	Strumentazione installata
SN01-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN01bis	25	Carotaggio continuo	-
SN02-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN02-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN03-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN03-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN04-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN05-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN06-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN06-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN06bis-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN06bis-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN07-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN08-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN09-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN10-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN11-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN11bis	25	Carotaggio continuo	-
SN12-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN13-PZ	30	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN14-PZ	85	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN15-PZ	100	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN16-PZ	40	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN16bis-PZ	70	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN17-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN17-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN18-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN18-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN19-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN19-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN20-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN20-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
PE2	2	Carotaggio continuo	-
PE3	2	Carotaggio continuo	-
PE4	2	Carotaggio continuo	-
PE8	2	Carotaggio continuo	-
PE9	2	Carotaggio continuo	-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 16 di 123
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

Tabella 5-2 - Sondaggi geognostici eseguiti: profondità e strumentazione installata

Tutti i sondaggi hanno raggiunto il substrato roccioso, costituito nel tratto iniziale del tracciato dalla formazione delle *Argille e Calcari di Canetolo (ACC)* e nel tratto centrale e finale del tracciato dalle formazioni delle *Marne di Galiga (GLG)* e dalle *Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*. In particolare, sempre con riferimento alle unità del substrato roccioso, al di sotto dei depositi superficiali:

- i sondaggi dal SN01-DH al SN08-PZ hanno attraversato rocce argillitico-marnose con livelli e inclusi calcarei ascrivibili alla formazione delle *Argille e Calcari di Canetolo (ACC)*;
- i sondaggi dal SN09-DH al SN11bis hanno attraversato marne siltoso-calcaree e siltiti marnoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle *Marne di Galiga (GLG)*;
- i sondaggi dal SN12-DH al SN20-DH hanno attraversato siltiti marnoso-calcaree e marne siltoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*.

Si deve osservare che le due unità delle *Marne di Galiga* e delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* presentano caratteristiche litologico-stratigrafiche molto simili e che, in seguito ad una sessione di esame di tutte le cassette dei sondaggi, è stato possibile distinguere le due unità in base alle caratteristiche di resistenza della roccia intatta, apparsa inferiore nelle *Marne di Galiga* rispetto alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole*.

5.1.2.2 Prove di resistenza dinamica in foro: Standard Penetration Test (SPT)

All'interno dei fori di sondaggio, durante la loro esecuzione, sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT, a profondità variabili. In particolare, sono state eseguite n° 61 prove SPT.

Nella sottostante tabella sono riassunti i risultati delle prove SPT eseguite (R = "rifiuto").

Sondaggio	SPT [-]	Profondità da p.c. [m]	N _{SPT} [colpi/30cm]
PE3	SPT1	0,5	4
	SPT2	1,0	6
	SPT3	1,5	6
	SPT4	2,0	15
SN01-DH	SPT1	3,0	12
	SPT2	6,0	32
	SPT3	9,0	76
SN02-DH	SPT1	1,5	81
	SPT2	4,5	R
	SPT3	7,5	59
SN04-PZ	SPT1	3,0	R
	SPT2	6,2	52
	SPT3	9,0	41
SN03-DH	SPT1	3,0	8
	SPT2	7,5	8
	SPT3	9,0	9
SN05-PZ	SPT1	3,0	8
	SPT2	7,5	R
	SPT3	9,0	R
SN06-IN	SPT1	1,5	9
	SPT2	3,0	11
	SPT3	9,0	R

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 17 di 123
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

SN07-IN	SPT1	1,5	28
	SPT2	7,5	15
	SPT3	9,0	22
	SPT4	12,0	R
	SPT5	15,0	R
PE8	SPT1	0,5	8
	SPT2	1,0	19
	SPT3	1,5	12
	SPT4	2,0	18
PE9	SPT1	0,5	5
	SPT2	1,0	11
	SPT3	1,5	13
	SPT4	2,0	17
SN08-PZ	SPT1	3,0	23
	SPT2	7,5	36
	SPT3	9,0	46
SN09-DH	SPT1	3,0	37
SN10-DH	SPT1	1,5	33
	SPT2	3,0	36
	SPT3	4,5	30
SN11-DH	SPT1	1,5	35
	SPT2	5,0	22
SN12-DH	SPT1	3,0	R
SN13-PZ	SPT1	3,0	18
	SPT2	7,6	17
	SPT3	9,0	R
SN17-DH	SPT1	3,0	28
	SPT2	6,0	26
	SPT3	9,0	29
SN18-DH	SPT1	1,5	36
	SPT2	4,5	39
	SPT3	7,5	38
SN19-DH	SPT1	3,0	10
	SPT2	6,0	30
	SPT3	9,0	25
SN20-DH	SPT1	3,0	15
	SPT2	8,0	R
PE4	SPT1	0,5	17
	SPT2	1,0	17
	SPT3	1,5	24
	SPT4	2,0	20

Tabella 5-3 – Prove di resistenza dinamica SPT di ciascun sondaggio

In generale i risultati delle prove penetrometriche SPT hanno consentito di verificare, per i terreni di copertura, uno stato di addensamento medio e uno stato di consistenza da medio ad elevato per i primi metri di terreno di alterazione del substrato roccioso.

5.1.2.3 Prove di permeabilità in foro

Come anticipato, la campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione, all'interno dei sondaggi eseguiti, di prove di permeabilità Lefranc per i tratti in terreno e Lugeon per i tratti in roccia. I risultati delle prove di permeabilità

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENECA ENERGIA VALORI AMBIENTE  sinèrgo  D_VA D_VisionArchitecture	B	18 di 123
			Data 02/2024	

tipo Lefranc nei tratti terrigeni e i risultati delle prove di tipo Lugeon eseguite sugli spezzoni lapidei, a diverse profondità all'interno delle verticali di indagine, hanno consentito di determinare il valore del *coefficiente di permeabilità K* dei terreni e delle rocce.

Il modello idrogeologico proposto al **punto 10** deriva dalla attribuzione del valore qualitativo del grado di permeabilità, assunto dalla letteratura tecnica, a ciascuna delle unità litostratigrafiche discriminate, unitamente a quanto rinvenuto dalle prove di permeabilità di cui sopra. A tal proposito, nell'elaborato **T00GE01GEOCI01÷03** – “Carta idrogeologica” (3 tavv.) allegata al progetto, sono stati rappresentati i range di permeabilità delle unità litostratigrafiche riconosciute.

Per i risultati delle prove Lugeon si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”, mentre per quelli relativi alle prove Lefranc si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - “Relazione geotecnica generale”.

In generale, il sottosuolo del tracciato in esame è caratterizzato nel complesso da unità geotecniche e geomeccaniche a permeabilità variabile, da **molto bassa** (*Argille e Calcari di Canetolo, ACC*) ad **alta – molto alta** (*depositi alluvionali in evoluzione, b1*) con valori che variano rispettivamente tra $1E-07 \div 1E-08$ m/s e $1E-03 \div 1E-04$ m/s.

5.1.2.4 Prove dilatometriche in foro

Nei fori di sondaggio sono state previste n. 16 prove dilatometriche in foro per la determinazione dei parametri di deformabilità degli ammassi rocciosi in condizioni di carico (modulo di deformazione) e di scarico (modulo di elasticità). Le prove sono state eseguite con tre cicli di carico/scarico con determinazione del modulo corrispondente ad ogni ciclo.

I risultati di tali prove hanno permesso di affinare la caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose che vengono attraversate dalle opere in sotterraneo nonché dalle fondazioni dei viadotti. A tal proposito, si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”.

5.1.2.5 Prelievo di campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati

Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati n.53 tra campioni rimaneggiati e indisturbati su cui eseguire prove geotecniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Geoplanning Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondo delle opere previste lungo l'infrastruttura in oggetto.

In particolare, durante la perforazione dei sondaggi geognostici sono stati previsti complessivamente n.41 campioni rimaneggiati e n.12 campioni indisturbati tipo Shelby. Sui campioni di terreno sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni geotecniche
- determinazioni del peso di volume naturale
- determinazioni del contenuto naturale d'acqua
- analisi granulometriche complete
- determinazioni dei limiti di consistenza
- determinazioni del peso specifico dei grani
- prove edometriche
- prove triassiali UU

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 19 di 123
		Data 02/2024	

- prove di taglio diretto con determinazione della resistenza di picco
- prove di taglio diretto con determinazione della resistenza residua

I risultati di tali prove sono descritti nel dettaglio nell'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale", a cui si rimanda.

5.1.2.6 Prelievo di spezzoni di carota lapidea

Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati diversi spezzoni di carota lapidea su cui eseguire prove geomeccaniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Sagedil Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose attraversate dalle opere.

In particolare, sui campioni di roccia, ricavati da spezzoni di carota lapidea, sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni del campione di roccia
- determinazioni del peso di volume naturale
- misure della velocità sonica
- prove di resistenza a compressione monoassiale e triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a compressione triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a trazione indiretta (brasiliiana)

Si specifica che, ulteriori prove di resistenza e in particolare prove di carico puntiforme (point load strength test) sono state eseguite su campioni di roccia intatta di forma irregolare prelevati dagli affioramenti in sito.

In ogni caso, tutti i risultati di tali prove e la caratterizzazione delle rocce che ne consegue vengono descritti nel dettaglio nell'elaborato di progetto **T00GE03GETRE02** - "Relazione geomeccanica", a cui si rimanda.

5.1.2.7 Analisi chimiche

Per la determinazione dello stato di qualità dei terreni e delle acque, sono stati previsti i prelievi di campioni di terreno e di acqua sotterranea, sia in corrispondenza delle verticali di sondaggio. In particolare, sono stati previsti almeno un paio di campioni ambientali per ogni verticale di indagine, localizzati in corrispondenza delle sezioni di scavo, per un totale di n. 44 campioni di terreno che sono stati sottoposti ad analisi chimiche.

Il set analitico di riferimento ha previsto l'analisi della concentrazione delle sostanze così come definito nell'*Allegato 4 al D.P.R. 13 giugno 2017, n.120 – Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n.164* e il prelievo di campioni è stato effettuato in ciascuna verticale di sondaggio in funzione delle previste profondità di scavo: per quanto riguarda lo scavo in galleria, sono stati previsti campioni medi compositi alle profondità di scavo della galleria, prevedendo almeno n.3 incrementi per ciascun campione medio composito.

In caso di rinvenimento di terreni di riporto, ai fini di una loro eventuale qualifica come *sottoprodotti*, è stato previsto il prelievo di campioni da sottoporre a test di cessione ai sensi del D.M. 5/2/98.

Sono stati previsti infine campionamenti di acque sotterranee in piezometro ai fini dell'esecuzione di analisi chimiche per la verifica alla conformità alle CSC di cui al D.Lgs. 152/06. Dato che il progetto prevede la presenza di strutture interrato potenzialmente a contatto con acque di falda, sui campioni di acque sotterranee sono state previste anche

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

analisi chimiche per la verifica dell'eventuale aggressività dell'acqua nei confronti del calcestruzzo e analisi chimiche su campioni di terreno nei confronti del calcestruzzo.

Alle stesse profondità sono state previste, infine, analisi chimiche per la classificazione delle terre e rocce da scavo come rifiuto ("omologa rifiuto").

I risultati delle analisi chimiche, effettuate dal laboratorio Agrolab Ambiente Srl, sono descritti negli elaborati di progetto **T00GE02GEORE02** - "Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo" e **T00GE02GEORE01** - "Relazione di gestione materie", mentre per i certificati delle analisi chimiche si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE01GEORE06** - "Documentazione indagini geognostiche – Certificati analisi chimiche di laboratorio".

5.1.3 Indagini geofisiche – Geofisica misure snc

Nel corso della campagna di indagini per la progettazione definitiva delle opere, la ditta "Geofisica Misure snc", si è occupata dell'esecuzione di diversi stendimenti sismici a rifrazione e alla realizzazione di prospezioni sismiche down-hole in foro di sondaggio.

5.1.3.1 Sismica a rifrazione ad onde P ed S

Lungo il tracciato di progetto sono state realizzate prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione P e di taglio S, con elaborazione tomografica, i cui stendimenti sismici sono stati ottenuti utilizzando una spaziatura intergeofonica pari a 5 m e con un numero di canali tali da raggiungere le lunghezze previste soprattutto in relazione alle opere di nuova realizzazione. Le basi geofoniche nel complesso sono pari a 13, di lunghezze variabili tra 56 m e 280 m per un totale di 1206 m di indagini.

I risultati di tali indagini, in termini di modelli delle velocità di onde P ed S sono riportati nell'elaborato **T00GE01GEORE03** – "Documentazione indagini geognostiche - Indagini geofisiche" allegato alla documentazione del presente progetto.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati in termini di onde S e si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale" per il dettaglio in merito alle sezioni interpretative della tomografia dei diversi stendimenti.

Tratto centrale

Il tratto centrale comprende gli stendimenti di sismica a rifrazione B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7. Il loro allineamento si sviluppa sull'attraversamento del T. Argomenna) nel seguente modo:

- B1 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell'area che comprende la futura realizzazione della Spalla 1, Pila 1 e Pila 2 del Viadotto Argomenna;
- B2 e B3 (57.5 m): stendimenti trasversali a B1, eseguiti in prossimità delle verticali SN09-DH e SN10-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Spalla 2 e Pila 2 del Viadotto Argomenna, rispettivamente;
- B4 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell'area che comprende la futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e l'imbocco sud della Galleria Montebonello;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	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	B	21 di 123
			Data 02/2024	

- B5, B6 e B7 (57.5 m): stendimenti trasversali a B4, eseguiti in prossimità delle verticali SN11-DH, SN12-DH e SN13-PZ, corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e degli imbocchi artificiale e naturale della galleria in loc. Montebonello, rispettivamente.

Dai modelli tomografici si riscontra la presenza di un orizzonte superficiale, variabile tra 2 m dal p.c. e 5-6 m, costituito da una bassa velocità delle onde Vs attribuibile a coltri colluviali e/o di forte alterazione che sui versanti si correla con la parte più superficiale del substrato. Lo spessore tende a crescere nel fondovalle e nei tratti di versante meno acclivi fino a 6 m circa; al di sotto di questo orizzonte si osserva un forte incremento del gradiente di velocità, indizio della presenza di un substrato che rapidamente diviene più rigido con la profondità.

Tratto orientale

L'allineamento delle basi geofoniche per la sismica a rifrazione del tratto orientale si sviluppa in direzione WSW-ENE, dalla base del versante in destra idrografica del Fiume Sieve, per poi interessare verso est la sua piana alluvionale. Gli stendimenti coinvolti sono i seguenti:

- B9 (315 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell'area che comprende la futura realizzazione della Pila 2, 3, 4, 5, 6 e della Spalla 2 del Viadotto Sieve 2;
- B8 (57.5 m): stendimento trasversale ubicato in prossimità della zona compresa tra l'imbocco nord della galleria in loc. Montebonello e l'innesto del Viadotto Sieve 2;
- B10, B11, B12 e B13 (57.5 m): stendimenti trasversali a B9, eseguiti in prossimità delle verticali SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione delle sottostrutture Pila 2, Pila 4, Pila 5 e Spalla 2 del Viadotto Sieve 2, rispettivamente.

Il contesto di indagine è nuovamente quello alluvionale. Le prospezioni di superficie mostrano che i depositi di copertura sono caratterizzati da valori delle velocità delle onde medio-basse fino a circa 5 m di profondità (valori di Vs compresi tra 180 m/s e 300 m/s). Verso il basso, fino al substrato posto tra 7 e 12 m di profondità, il valore di velocità delle onde di taglio aumenta lievemente fino a 370 m/s per poi subire un rapido aumento del valore di velocità delle onde di taglio, che in 3-4 m si porta oltre i 1000 m/s.

5.1.3.2 Prospezioni sismiche in foro tipo down-hole

Per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio, sono state eseguite n. 11 prospezioni sismiche down-hole in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate, spinte fino a 35 m ciascuna e in relazione al tipo di opera coinvolta:

- Viadotto Sieve 1: SN01-DH, SN02-DH e SN03-DH;
- Viadotto Argomenna: SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH;
- Galleria Montebonello – imbocco Sud: SN12-DH;
- Viadotto Sieve 2: SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH

Per i risultati e conseguente caratterizzazione sismica dei terreni di sottofondo delle opere si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE04GETRE01** – “Relazione sismica”, nonché all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - “Relazione geotecnica generale”.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 22 di 123
		Data 02/2024	

5.2 Campagna di indagine geognostica integrativa 2023

Nel corso dei primi mesi del 2023 è stata prevista una campagna di indagine geognostica integrativa. In particolare, è stata realizzata una campagna sostanzialmente geofisica in prossimità delle aree segnalate in potenziale dissesto lungo il tracciato (nonché un monitoraggio inclinometrico e piezometrico da eseguire in tali aree) e una campagna di tipo ambientale improntata sul prelievo delle acque sotterranee per la caratterizzazione chimica delle stesse.

L'incarico è stato affidato a Geoserving Srl e, in sintesi, il piano di indagine ha previsto:

- n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde SH;
- n.6 stendimenti di geoelettrica in modalità ERT;
- n.4 prove penetrometriche con dilatometro Marchetti;
- n.4 prelievi di acqua di falda da n°4 piezometri a tubo aperto e successive analisi chimiche ed ambientali sulle acque prelevate

oltre al monitoraggio inclinometrico e piezometrico, attraverso l'esecuzione di 12 letture di tipo manuale con cadenza mensile, della seguente strumentazione precedentemente installata:

- n.3 inclinometri;
- n. 22 piezometri a tubo aperto.

Il report complessivo di tutte le indagini svolte per la suddetta campagna è costituito dall'elaborato di progetto **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" e dall'elaborato **T00GE01GEORE08** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico".

5.2.1 Sismica a rifrazione in onde P e SH

Sono state previste n.6 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e altrettante in onde SH, con rielaborazione tomografica. Durante la campagna di indagine tali prospezioni sono state realizzate in prossimità delle aree segnalate in potenziale dissesto lungo il tracciato. L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per le indagini sismiche a rifrazione e per la tecnica tomografica sono state le seguenti:

ONDE P

- un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza dal peso di 8 Kg, battente verticalmente su piastra circolare in alluminio del diametro di 18 cm adagiata opportunamente;
- un sistema di ricezione: costituito da geofoni verticali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile e a massa sospesa (peso della massa 12.2gr) con frequenza propria di 40 Hz;
- un sistema di acquisizione dati
- un sistema di trigger: geofono infisso in adiacenza alla piastra, sensibile alle alte frequenze per un preciso innesco della registrazione.

ONDE SH

- un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza dal peso di 8 Kg battente su trave di metallica con battuta coniugata a destra e sinistra;
- un sistema di ricezione: costituito da geofoni orizzontali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile e a massa sospesa (peso della massa 12.2gr) con frequenza propria di 4.5 Hz;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 23 di 123
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

- un sistema di acquisizione dati;
- un sistema di trigger: geofono infisso in adiacenza alla trave, sensibile alle alte frequenze per un preciso innesco della registrazione.

Nella tabella sottostante vengono riassunte le denominazioni dei lineamenti sismici a rifrazione e relative lunghezze in metri.

ID linee sismiche a rifrazione	Lunghezza complessiva [m]
B14	365.0
B15	367.5
B16	240.0
B17	280.0
B18	280.0
B19	120.0

Tabella 5-4 – Stendimenti sismici a rifrazione in onde P e SH: denominazione e lunghezze complessive

La sintesi dei risultati in termini di V_s per ciascuno stendimento è riportata all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale", mentre si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" per i report ufficiali.

5.2.2 Geoelettrica

Nell'ambito della medesima campagna 2023 sono state realizzate n.6 stendimenti di tipo geoelettrici in modalità ERT.

La strumentazione necessaria per l'esecuzione di indagini ERT è formata schematicamente da:

- un sistema per l'immissione di corrente nel terreno (batteria o generatore di corrente);
- una serie di cavi di connessione multicanale;
- una serie di elettrodi utilizzati, nelle misurazioni, come elettrodi di corrente (A e B) e come elettrodi di potenziale (M e N);
- un georesistivimetro per la misura della corrente immessa e della differenza di potenziale.

La geometria delle indagini geoelettriche in modalità ERT è riassunta nella tabella che segue:

ID	Passo elettrodico [m]	Risoluzione spaziale	n° elettrodi	Lunghezza complessiva [m]
B14	5	2.5	80	395.0
B15	5	2.5	80	395.0
B16	5	2.5	48	235.0
B17	5	2.5	56	275.0
B18	5	2.5	56	275.0
B19	5	2.5	24	115.0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	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	B	24 di 123
			Data 02/2024	

Tabella 5-5 – Stendimenti geoelettrici in modalità ERT: denominazione e caratteristiche

L'elaborazione e l'inversione dei dati è stata effettuata tramite l'utilizzo di particolari software meglio specificati nell'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" a cui si rimanda per ulteriori dettagli. Una sintesi dei risultati è comunque discussa nell'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale".

5.2.3 Prove dilatometriche Marchetti

Sono state previste n.4 prove dilatometriche con dilatometro Marchetti. Le prove sono state eseguite impiegando un penetrometro cingolato, di marca Pagani statico-dinamico TG63-200, con aste a doppio principio (2P). In ogni ubicazione di prova è stata avviata la procedura di ancoraggio, necessaria ad ottenere dal terreno la reazione per spingere le aste penetrometriche e la punta di misura ed evitare che il penetrometro si potesse sollevare.

In ciascuna ubicazione di prova è stato necessario eseguire l'ancoraggio più volte, poiché la presenza di alcuni corpi rocciosi ne impediva l'esecuzione. La prova DMT 2 ha richiesto ben cinque tentativi di ancoraggio, dopo i quali è stato deciso di rinunciare alla sua esecuzione.

La prova DMT è stata eseguita secondo le procedure standard indicate nei documenti Eurocodice 7, dunque è stato utilizzato un dilatometro piatto a lama di acciaio avente dimensioni 95 x 200 x 15 mm, con il bordo inferiore affilato. Su una faccia è montata una membrana metallica circolare espandibile. La lama viene fatta avanzare nel terreno verticalmente agendo su una batteria di aste. Un cavo elettropneumatico collega la lama con la centralina in superficie. Ad intervalli regolari (generalmente ogni 20 cm) la penetrazione viene arrestata e viene immessa aria compressa, facendo dilatare la membrana contro il terreno. Ad ogni profondità vengono rilevati due valori di pressione e un terzo valore opzionale:

- P0 = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco o lift-off);
- P1 = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm;
- P2 = pressione misurata al ritorno della membrana nella sua posizione iniziale di chiusura (ottenuta usando valvola di sfiato lento dopo la lettura p1).

Di seguito si riporta una tabella di sintesi con l'ubicazione in termini di coordinate geografiche delle n.3 prove realizzate.

Prova	°N	°E
DMT1	43.824697	11.476920
DMT3	43.824888	11.476208
DMT4	43.822909	11.478516

Tabella 5-6 – ID delle prove dilatometriche DMT e ubicazione geografica delle stesse

Per i report ufficiali delle prove dilatometriche Marchetti si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" mentre per l'interpretazione degli stessi si veda l'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale".

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	25 di 123
			Data 02/2024	

5.2.4 Prelievo acque di falda e analisi chimiche

A seguito di rilievo freaticometrico, sui piezometri soggetti a campionamento ambientale ovvero:

- SN01-PZ
- SN06-PZ
- SN12-PZ
- SN16-PZ

nel mese di giugno 2023 è stata effettuata l'attività di spurgo: l'acqua presente all'interno di ciascun piezometro è stata emunta al fine di garantire le condizioni di massima rappresentatività dei campioni prelevati. Tre dei quattro piezometri si sono ricaricati nelle 24 ore successive allo spurgo. Uno, invece, l'SN12-PZ, non si è ricaricato durante il periodo della permanenza delle squadre in campo.

Il piano delle indagini ambientali ha previsto quindi il prelievo di n. 3 campioni di acque sotterranee dai fori di sondaggio SN01-PZ, SN06-PZ, SN16-PZ. I campioni, come previsto dall'Allegato 2 al Titolo V, Parte Quarta del D.Lgs 152/06, sono stati prelevati in modalità dinamiche a basso flusso subito dopo l'effettuazione dello spurgo con una portata di emungimento pari a 0,5-1 l/min al fine di ridurre i fenomeni di modificazione chimico-fisica (quali il trascinarsi dei colloidali o reazioni di ossidoriduzione) ed evitare la volatilizzazione dei composti leggeri.

Da ciascun piezometro è stato prelevato un campione costituito da diverse aliquote distribuite in diverse tipologie di contenitori in funzione della compatibilità dei materiali con gli analiti ricercati e comunque secondo le indicazioni del Laboratorio Accredia di riferimento che ha eseguito le analisi.

I parametri analitici da ricercare, ai fini della caratterizzazione della matrice ambientale acque sotterranee, sono stati i seguenti:

- Arsenico
- Cadmio
- Cobalto
- Cromo Totale
- Cromo VI
- Mercurio
- Nichel
- Piombo
- Rame
- Zinco
- Composti Organici Aromatici – BTEX
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

I risultati delle analisi chimiche, effettuate dal laboratorio O.S.I. Srl, sono descritti negli elaborati di progetto **T00GE02GEORE02** - "Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo", mentre per i certificati delle analisi chimiche si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023".

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRVA ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D-Vision Architecture	B	26 di 123
			Data 02/2024	

5.2.5 Monitoraggio inclinometrico e piezometrico

È stato previsto, nell'ambito della campagna integrativa 2023, un piano di monitoraggio inclinometrico e piezometrico attraverso l'esecuzione di n.12 letture di tipo manuale con cadenza mensile, da giugno 2023 a giugno 2024, della seguente strumentazione precedentemente installata da ANAS:

- n.3 inclinometri;
- n. 22 piezometri a tubo aperto.

5.2.5.1 Monitoraggio inclinometrico

Nel campo del monitoraggio geotecnico l'utilizzo della strumentazione inclinometrica, per la misura di movimenti nei terreni rappresenta un sistema consolidato nel tempo ed estremamente diffuso che permette di ottenere misure di elevata precisione, ad un elevato grado di affidabilità, relativamente a profondità, direzione e velocità di scorrimento di una massa di terreno instabile.

La campagna di monitoraggio sarà articolata attraverso l'esecuzione di n.12 letture inclinometriche (n.1 lettura di "zero" e n.11 letture di esercizio) effettuate per perseguire i seguenti fini:

- Individuazione di eventuali movimenti franosi;
- Profondità dei movimenti franosi;
- Velocità ed entità dei movimenti franosi;
- Direzione dei movimenti franosi.

Per l'esecuzione delle letture inclinometriche è stata utilizzata una sonda inclinometrica verticale OG 397 MEMS con sensore MEMS, con fondo scala +/-30° dotata di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione.

Il sistema di acquisizione è dotato inoltre di:

- Sonda testimone con passo 500 mm;
- Carrucola in acciaio ed INOX ed alluminio;
- Datalogger scarico su rullo con passo 500 mm.

Per la misura di "zero" è stata definita l'orientazione degli assi, per la quale la guida G1 è la direzione che più approssima la direzione di massima pendenza del versante, quindi di un probabile movimento verso valle. In seguito, è stato calcolato l'Azimut, ovvero l'angolo in senso antiorario tra la Guida G1 ed il Nord Magnetico.

Prima di ogni lettura è stata scesa una sonda testimone per il controllo dell'accessibilità del tubo inclinometrico.

Dopo aver atteso la corretta acclimatazione a fondo foro della sonda, essa è stata riportata fino alla testa del tubo ed è stata calata di nuovo per la misura con passo pari in questo caso a 1.0 m.

Per l'interpretazione delle diverse letture inclinometriche, compresa quella di "zero", si rimanda all'elaborato di progetto **T00GE03GETRE01** - "Relazione geotecnica generale".

5.2.5.2 Monitoraggio piezometrico

Il monitoraggio piezometrico ha lo scopo di intercettare gli eventuali acquiferi presenti nei terreni investigati e di individuare le oscillazioni dei livelli piezometrici nel tempo. Le letture avvengono con l'ausilio di un freatimetro costituito da un cavo montato su un rullo alloggiante il circuito di segnalazione (acustica e luminosa) e da un puntale montato

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE 01-GEO-RE 09</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>27 di 123</p> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
---	---	----------------------	---

all'estremità inferiore del cavo, che al contatto con l'acqua presente nel piezometro, chiude il circuito che a sua volta attiva il segnale sonoro e luminoso.

La sintesi di quanto emerso dai dati di monitoraggio, utile anche per la definizione del modello idrogeologico di sottosuolo, è discusso al **punto 10** della presente relazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 28 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AGOSTO	Data 02/2024	
		sinèrgo	VA DVisionArchitecture	

6 RILIEVO GEOLOGICO DELLE UNITÀ STRATIGRAFICHE PRESENTI NELL'AREA DI PROGETTO

Il rilievo geologico di campagna ha consentito di verificare le caratteristiche litologiche, stratigrafiche e tettonico-strutturali delle unità geologiche presenti nell'area di progetto, attraverso la ricerca di tutti gli affioramenti significativi, con particolare riguardo alla zona dove verrà realizzata la galleria naturale Montebonello, situata immediatamente a monte del centro abitato omonimo.

I risultati del rilievo geologico sono rappresentati nella **Carta geologica di dettaglio in scala 1:2000 (3 tavv.)** allegata al progetto, dove sono indicate tutte le unità stratigrafiche riconosciute, suddivise nelle relative unità tettoniche di appartenenza, i depositi superficiali quaternari (depositi di frana, depositi alluvionali, coltri eluvio-colluviali, depositi antropici), i contatti tra le unità geologiche, stratigrafici o tettonici, le giaciture degli strati e le tracce delle sezioni geologiche trasversali.

6.1 Unità tettonica Canétolo

L'unità tettonica Canétolo, strutturalmente interposta tra l'unità tettonica Morello fuori dall'area di competenza del progetto e l'unità tettonica Falterona, è costituita da una porzione sommitale arenacea (*Arenarie di Monte Senario*, SEN) e una porzione basale prevalentemente argillitica o marnosa (*Argille e Calcarei di Canétolo*, ACC) (cfr. **Figura 6-1**).



Figura 6-1 - Stralcio dello schema cronostatigrafico delle unità tettoniche nell'area di progetto e posizione stratigrafica delle Argille e Calcarei di Canétolo (ACC) (circolo rosso) (modif. Foglio geologico 264 "Borgo San Lorenzo", 2010).

6.1.1 Arenarie di Monte Senario (SEN)

Sono costituite da alternanze arenacee ed arenaceo-pelitiche, in strati da medi a molto spessi, dove il rapporto arenaria/pelite (A/P) è generalmente molto maggiore di uno ($>>1$). Le arenarie, di colore giallastro e composizione quarzoso-feldspatica hanno granulometria variabile, da medio-fine a grossolana fino a conglomeratica. Talora ad esse

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETREVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	B	29 di 123
			Data 02/2024	

sono intercalati strati calcareo marnosi grigi di spessore medio. Lo spessore complessivo della formazione è di circa 400 m.

6.1.2 Argille e Calcari di Canétolo (ACC)

Sono costituite da argilliti variegatae fissili e argille marnose di colore variabile, da verdi a bruno-rossastre e grigie, con intercalazioni di calcilutiti color avana in strati da sottili a spessi, da calcareniti grigio scure, marne calcaree biancastre e grigie e di calcari marnosi a frattura scheggiata. Tali depositi sono stati sottoposti ad una intensa deformazione tettonica con foliazione estremamente pervasiva specie nelle facies argillitiche. Lo spessore complessivo è di circa 200 m. Inoltre, è presente una *litofacies calcarea*, costituita da calcari e calcari marnosi fini, silicei, in strati medi, intercalati a calcareniti in strati da medi a molto spessi e sottili interstrati pelitico-marnosi, marne e marne calcaree grigio chiaro biancastre e calcari marnosi rossastri in strati sottili alternati a argilliti variegatae. Lo spessore complessivo della litofacies è di circa 150 m.



Figura 6-2 - Affioramento di Argille e Calcari del Canétolo, lungo la strada di servizio in località Bassano (q.280 m s.l.m.).



Figura 6-3 - Affioramento Argille e Calcari del Canétolo, lungo il terrazzo fluviale in destra idrografica del F. Sieve (q.107 m s.l.m.) (scala di riferimento 20 cm)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE ARDENNE	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture
			Data 02/2024	

6.2 Unità tettonica Falterona

L'unità tettonica Falterona strutturalmente interposta tra l'unità tettonica Canétolo e l'unità tettonica Galiga è costituita da facies arenaceo-pelitiche legate alla normale evoluzione sedimentaria di un sistema torbiditico, deposto in un bacino di avanfossa. A scala regionale fa parte delle unità tettoniche Toscane, sigillate dalla Formazione di Vicchio e in generale ricoperte da depositi continentali plio-quadernari della Successione del Mugello (cfr. **Figura 6-4**).

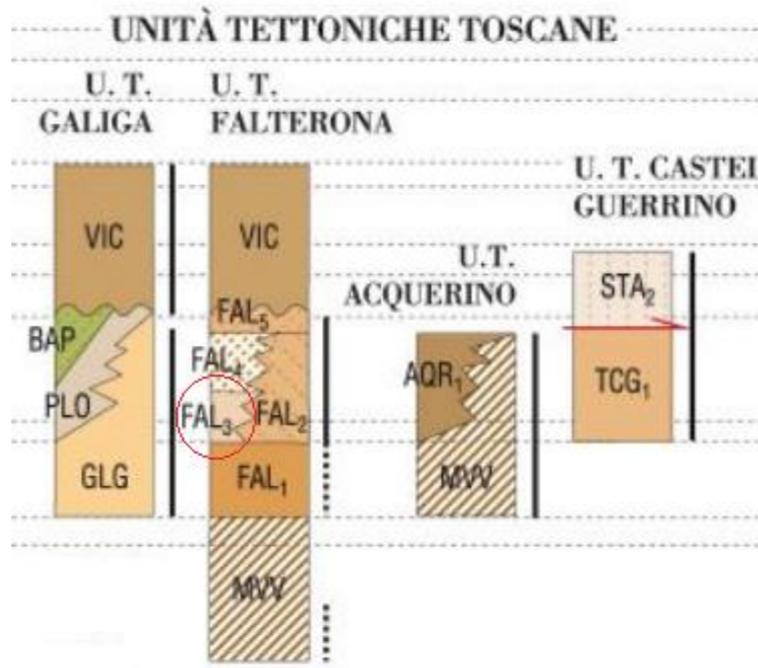


Figura 6-4 - Stralcio dello schema cronostatigrafico delle unità tettoniche nell'area di progetto e posizione stratigrafica del membro di Montalto (FAL3) (circolo rosso) (modif. Foglio geologico 264 "Borgo San Lorenzo", 2010).

In questo caso si tratta delle *Arenarie del Monte Falterona* suddivise in membri in base al rapporto arenite/pelite (A/P) e allo spessore medio degli strati.

6.2.1 Membro di Montalto (FAL3)

Lungo il tracciato di progetto affiora il *membro di Montalto* (FAL3) costituito da alternanze di arenarie, marne e siltiti, in rapporto arenite/pelite (A/P) generalmente compreso tra 1/4 e 2, in strati da molto sottili a molto spessi, talora in banchi in affioramenti decametrici. Nella parte alta del membro prevalgono le peliti con rari strati arenacei. Lo spessore massimo dell'unità è di almeno 800 m.

Nell'area di progetto il *membro di Montalto* affiora lungo il Fosso della Fornace affluente destro del T. Argomenna (cfr. **Figura 6-5** e **Figura 6-6**): qui le litologie affioranti sono per la maggior parte pelitiche, sulle quali s'impostano morfologie calanchive incipienti, spesso tettonizzate o in strati verticali, in connessione con il sovrascorrimento regionale tra le unità tettoniche Subliguri e Toscane (cfr. **Figura 4-1**). In questa zona, i contatti stratigrafici con le Marne di Galiga, affioranti immediatamente ad est nell'alveo attuale del T. Argomenna, risultano mascherati dai depositi superficiali. Il rilievo geomeccanico speditivo eseguito sull'affioramento in oggetto (cfr. RG7 sped) ha permesso di verificare che si tratta di siltiti marnose fittamente laminate con frattura scheggiata, grigio scuro, grigio rossastre in alterazione, con presenza di una diffusa fratturazione con spaziatura centimetrica.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D Vision Architecture	B	31 di 123
			Data 02/2024	



Figura 6-5 - Affioramento del Membro di Montalto (FAL3) in uno spaccato naturale lungo il Fosso della Fornace, affluente sinistro T. Argomenna (q. 175 m s.l.m.).



Figura 6-6 - Particolare dell'affioramento rappresentato nella figura precedente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETREZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	sinèrgo s.p.a.	D_VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024



Figura 6-7 – Affioramento del Membro di Montalto (FAL3) in uno spaccato naturale lungo il Fosso della Fornace, affluente sinistro T. Argomena (q.133 m s.l.m.)



Figura 6-8 - Affioramento del Membro di Montalto (FAL3) in uno spaccato naturale lungo il Fosso della Fornace, affluente sinistro T. Argomena (q.128 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TIRRENIA s.p.a. sinèrgo DIREZIONE REGIONALE ENERGIA VA D.VisionArchitecture	B	33 di 123
			Data 02/2024	



Figura 6-9 - Particolare dell'affioramento rappresentato nella figura precedente

6.3 Unità tettonica Galiga

L'unità tettonica Galiga è costituita da facies arenaceo-pelittiche legate ad un bacino satellite separato da quello di avanfossa s.s., nel quale le *Marne di Galiga* (GLG), costituite da litologie prevalentemente marnose, sono in contatto stratigrafico di tipo eteropico con un corpo siltoso-arenaceo ascrivito alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO). Entrambi i termini sono associati a *Brecce argillose poligeniche* (BAP) originate da colata sottomarina ma non presenti nell'area di progetto.

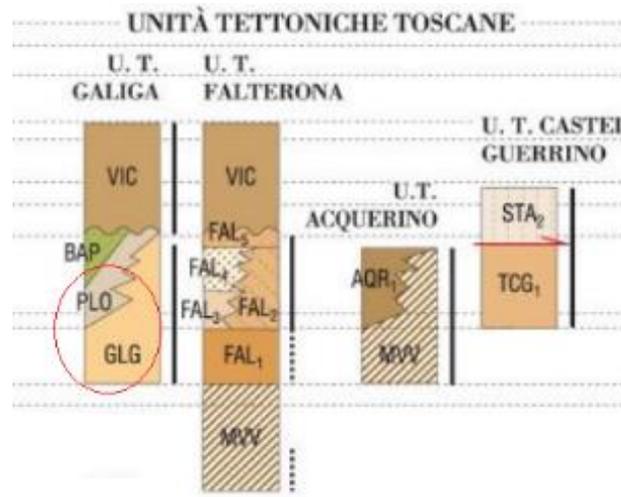


Figura 6-10 - Stralcio dello schema cronostatigrafico delle unità tettoniche nell'area di progetto indicante la posizione stratigrafica delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) e *Marne di Galiga* (GLG) (circolo rosso) (modif. Foglio geologico N° 264 Borgo San Lorenzo, 2010).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETEVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture
			B	34 di 123
			Data 02/2024	

6.3.1 Marne di Galiga (GLG)

Sono costituite da marne siltose e argillose poco stratificate, in strati da spessi a sottili, di colore grigio, alle quali si intercalano strati arenitici di colore marrone, da sottili e molto sottili e rare calcareniti biancastre, in strati da sottili a medi. Lo spessore complessivo è compreso tra 200 m e 300 m. Il contatto inferiore è con il Membro di Montalto (FAL3).

Nell'area di progetto le Marne di Galiga affiorano lungo l'alveo del T. Argomenna, laddove questo risulta del tutto privo di depositi alluvionali in evoluzione (b1).



Figura 6-11 - Affioramento di Marne di Galiga (GLG), lungo l'alveo naturale del T. Argomenna appena a valle della soglia idraulica (q.120 m s.l.m.)



Figura 6-12 - Affioramento delle Marne di Galiga (GLG) lungo l'alveo naturale del T. Argomenna (q.119 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 35 di 123
		Data 02/2024	

6.3.2 Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)

Sono costituite da alternanze di siltiti marnose e marne, in rapporto arenite/pelite (A/P) generalmente compreso tra 1/3 e 1/6, in strati da sottili a medi, con locale presenza di areniti fini ed emipelagiti. In particolare, sono state osservate alternanze di prevalenti siltiti fini marnose laminate, in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico, con subordinate siltiti, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con rapporto A/P variabile tra 0,44 e 0.74 (cfr. *rilievi geomeccanici RG1, RG2, RG4 e RG5*).

Localmente l'unità si presenta con una *litofacies marnosa*, costituita da marne siltose laminate, in livelli da decimetrici a metrici, con sporadici strati siltitici di spessore centimetrico (cfr. *RG6 sped*).

E' stata osservata in affioramento anche una *litofacies arenacea*, nella quale l'alternanza è costituita di arenarie e marne in rapporto compreso generalmente tra 1/3 e 1, con stratificazione da molto sottile a molto spessa e raramente in banchi. Infine, sono presenti livelli con selce nera a liste e globulare. In particolare, (cfr. *rilievo geomeccanico RG3*) sono state osservate siltiti a laminazione da parallela ad ondulata con diffusa selce scura in liste, di colore grigio nocciola, giallastro in alterazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, e sottili interstrati di siltiti fini marnose laminate.

Le *Siltiti di Poggiolo Salaiole* affiorano lungo le scarpate antropiche nei tratti scavati in trincea della strada comunale che collega l'abitato di Montebonello alla località La Croce (292 m s.l.m.). Esse erano già oggetto di coltivazione nella cava non più attiva ubicata a q.158 m s.l.m. lungo la medesima strada (cfr. *Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.*). Affiorano anche nell'impluvio posto a ovest della località Ginestreto, e fino alla confluenza con il T. Argomenna, nei pressi della soglia idraulica che funge da attraversamento carrabile. Qui a quota 150 m s.l.m. è presente una sorgente perenne.

Lo spessore complessivo delle Siltiti di Poggiolo Salaiole supera i 400 m.

Il contatto stratigrafico inferiore con le Marne di Galiga (GLG) è di tipo eteropico, definito in letteratura *sfumato/rapido*. Lungo il tracciato di progetto oltre alla complessità di quest'ultimo si aggiunge il contatto stratigrafico con il membro di Montalto (FAL3) definito in letteratura *latero-verticale* (cfr. **Figura 6-10**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	B	36 di 123
			Data 02/2024	



Figura 6-13 – Affioramento della litofacies marnosa delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato naturale lungo l'impiuvio secondario a ovest della località Ginestreto, poco a monte della confluenza con il T. Argomenna (q.150 m s.l.m.)



Figura 6-14 – Contatto stratigrafico tra la litofacies marnosa e la litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato antropico lungo la strada che dall'abitato di Montebonello conduce alla località La Croce (q.197 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGNONE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024



Figura 6-15 - Affioramento della litofacies marnosa delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO) in uno spaccato antropico lungo la strada che dall'abitato di Montebonello conduce alla località La Croce (q. 199 m s.l.m.)



Figura 6-16 - Particolare dell'affioramento rappresentato nella figura precedente

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE 01-GEO-RE 09</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI</p> <p> EITVIA s.r.l. <small>ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE</small></p> <p> sinèrgo <small>ENERGIA</small></p> <p> D_VA <small>DVisionArchitecture</small></p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>38 di 123</p> <hr/> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
---	---	-----------------------------	---



Figura 6-17 - Affioramento di Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato naturale sul sentiero lungo il versante esposto a est, prospiciente la piana alluvionale del F. Sieve (q. 160 m s.l.m.)



Figura 6-18 - Affioramento di Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato naturale sul sentiero lungo il versante esposto a est, prospiciente la piana alluvionale del F. Sieve (q. 140 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AGRI s.r.l.	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
			B 39 di 123	
			Data 02/2024	



Figura 6-19 – Affioramento della litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato antropico lungo la strada che dall'abitato di Montebonello conduce alla località La Croce (q.140 m s.l.m.)



Figura 6-20 – Affioramento della litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato antropico sul promontorio di località Torre (q.219 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	B	40 di 123
			Data 02/2024	



Figura 6-21 – Affioramento della litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiolo (PLO), in uno spaccato antropico lungo il sentiero che si diparte dal promontorio di località Torre (q.210 m s.l.m.)



Figura 6-22 - Affioramento della litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiolo (PLO), in uno spaccato antropico lungo la strada che dall'abitato di Montebonello conduce alla località La Croce (q.200 m s.l.m.). In basso nella foto il contatto stratigrafico con la litofacies marnosa.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLEVA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024



Figura 6-23 - Affioramento di Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato antropico lungo la strada secondaria sul bordo terrazzo fluviale in sinistra idrografica del T. Argomenna (q.121 m s.l.m.)



Figura 6-24 - Affioramento della litofacies arenacea delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), in uno spaccato antropico lungo la strada di servizio, nei pressi del T. Argomenna in sinistra idrografica (q.135 m s.l.m.)



Figura 6-25 - Affioramento di Siltiti di Poggiolo Salaiole, (PLO), in uno spaccato naturale sul versante esposto a sud-ovest, nei pressi dell'imbocco sud della galleria naturale (q.150 m s.l.m.)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 42 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETREVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo DIREZIONE REGIONALE DIREZIONE REGIONALE DIREZIONE REGIONALE	VA D_VisionArchitecture	Data 02/2024	



Figura 6-26 - Particolare dell'affioramento rappresentato nella figura precedente.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

7 DEPOSITI QUATERNARI

I depositi superficiali presenti lungo l'asse di progetto sono riconducibili a depositi alluvionali e a depositi di versante, comprendendo quest'ultimi anche corpi di frana.

Nel primo caso sono distinti depositi relativi alle morfologie terrazzate e maggiormente stabili (deposito alluvionale terrazzato, bn), da quelli soggetti attualmente a modifiche repentine (deposito alluvionale in evoluzione, b1).

Nel secondo caso sono relativi alle morfologie ondulate, inclinate verso valle ricoprenti variamente i versanti (depositi eluvio-colluviali, b2) oppure riconducibili ad accumuli di frana s.s..

I depositi superficiali presenti lungo l'asse di progetto spesso risultano obliterati da successive attività antropiche. La loro distribuzione areale è rappresentata sia nella **Carta Geologica di dettaglio** che nella **Carta Geomorfologica**, entrambe in **scala 1:2000 (3 tavv.)**, allegate al progetto.

7.1 Depositi alluvionali terrazzati (bn) e in evoluzione (b1)

Si trovano per lo più nel fondovalle o comunque a quote poco distanti dall'asse della valle attuale. Sono corpi di scarsa estensione laterale e spessore massimo intorno ad una decina di metri.

In corrispondenza del Viadotto Sieve 1 in progetto, nella campagna geognostica del 2021-2022 sono stati effettuati i sondaggi SN01-DH, SN01bis, SN02-DH e SN04-PZ (cfr. ubicazione in **Figura 7-1**). Le stratigrafie di tali sondaggi hanno permesso di verificare uno spessore massimo di 8÷9 m di depositi alluvionali recenti del Fiume Sieve, costituiti da ghiaie medio-grossolane con sabbie limose debolmente argillose, talora inglobanti trovanti calcarei.

In corrispondenza del Viadotto Sieve 2 in progetto, sono stati effettuati i sondaggi SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH (cfr. ubicazione in **Figura 7-2**), che hanno permesso di verificare uno spessore massimo di 9÷10 m di depositi alluvionali recenti del Fiume Sieve, costituiti da ghiaie e ciottoli in abbondante matrice da sabbioso-limosa debolmente argillosa, con lenti di limi sabbiosi.

I caratteri litologici e sedimentologici dell'unità testimoniano un ambiente alluvionale continentale (cfr. **Figura 7-3** e **Figura 7-4**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 44 di 123
	Data 02/2024			

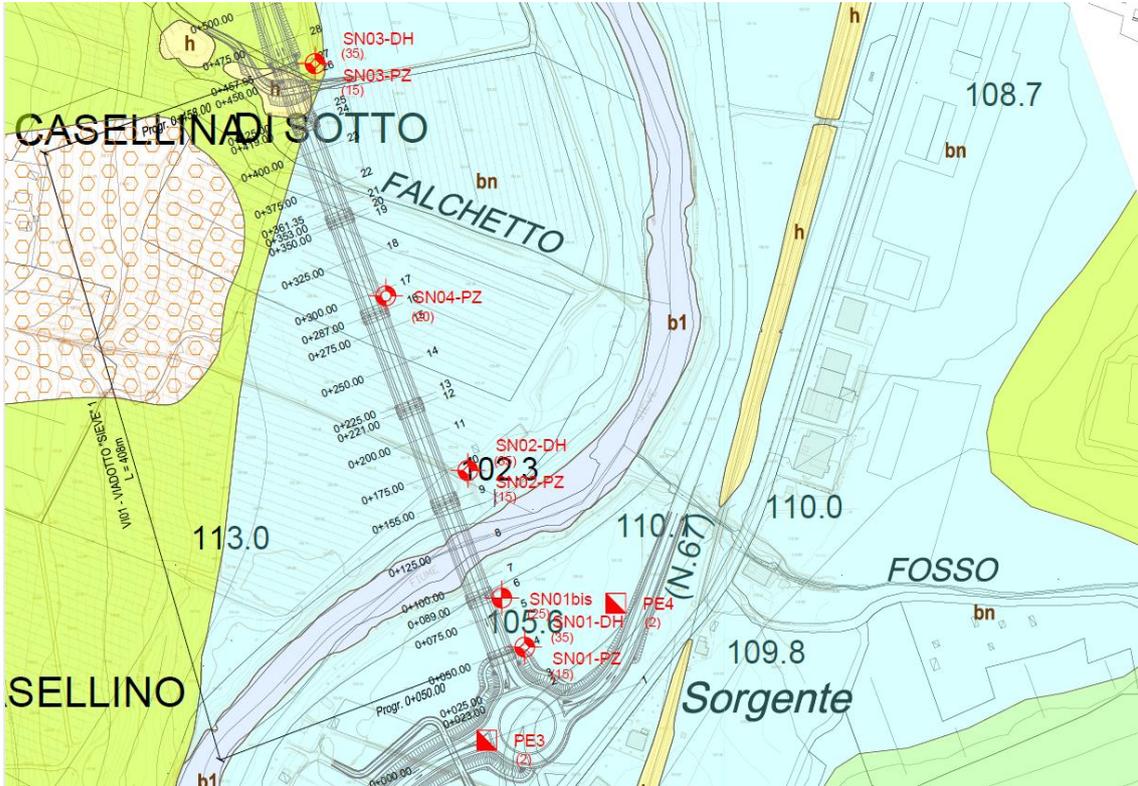


Figura 7-1 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Sieve 1 con ubicazione dei sondaggi SN01-DH, SN01bis, SN02-DH e SN04-PZ.

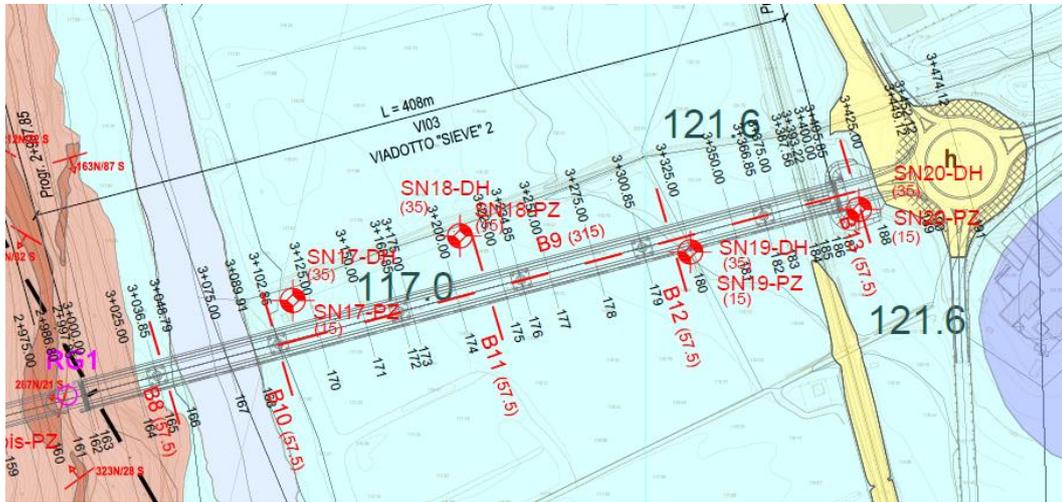


Figura 7-2 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Sieve 2 con ubicazione dei sondaggi SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETREVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGRO sinèrgo DVISIONARCHITECTURE	B	45 di 123
			Data 02/2024	



Figura 7-3 - Depositi alluvionali terrazzati (bn) colonizzati dalla vegetazione (quota 109 m s.l.m.), nei pressi della confluenza tra il torrente a carattere temporaneo in loc. "I Granai" e il F. Sieve.



Figura 7-4 - Panoramica in direzione Nord lungo l'alveo attuale del F. Sieve con in primo piano i depositi alluvionali in evoluzione (b1), costituiti da ciottoli calcarei e arenacei con \varnothing medio pari a 15 cm; in secondo piano le pendici orientali del rilievo collinare a Montebonello e la traversa idraulica (quota 116 s.l.m.).



Figura 7-5 - Panoramica in direzione Ovest in destra idrografica del F. Sieve (quota 123 m s.l.m.), in primo piano la scarpata (altezza circa 3 m) dei depositi alluvionali terrazzati (bn) presenti senza soluzione di continuità fino alla traversa idraulica.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo VA D'VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 46 di 123
			Data 02/2024	

In corrispondenza del Viadotto Argomenna in progetto, le indagini del 2021-2022, costituite dai sondaggi SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH (cfr. ubicazione in **Figura 7-6**), hanno permesso di verificare uno spessore massimo di circa 8 m di depositi alluvionali recenti, costituiti da ghiaie sabbiose debolmente limose con ciottoli e trovanti.

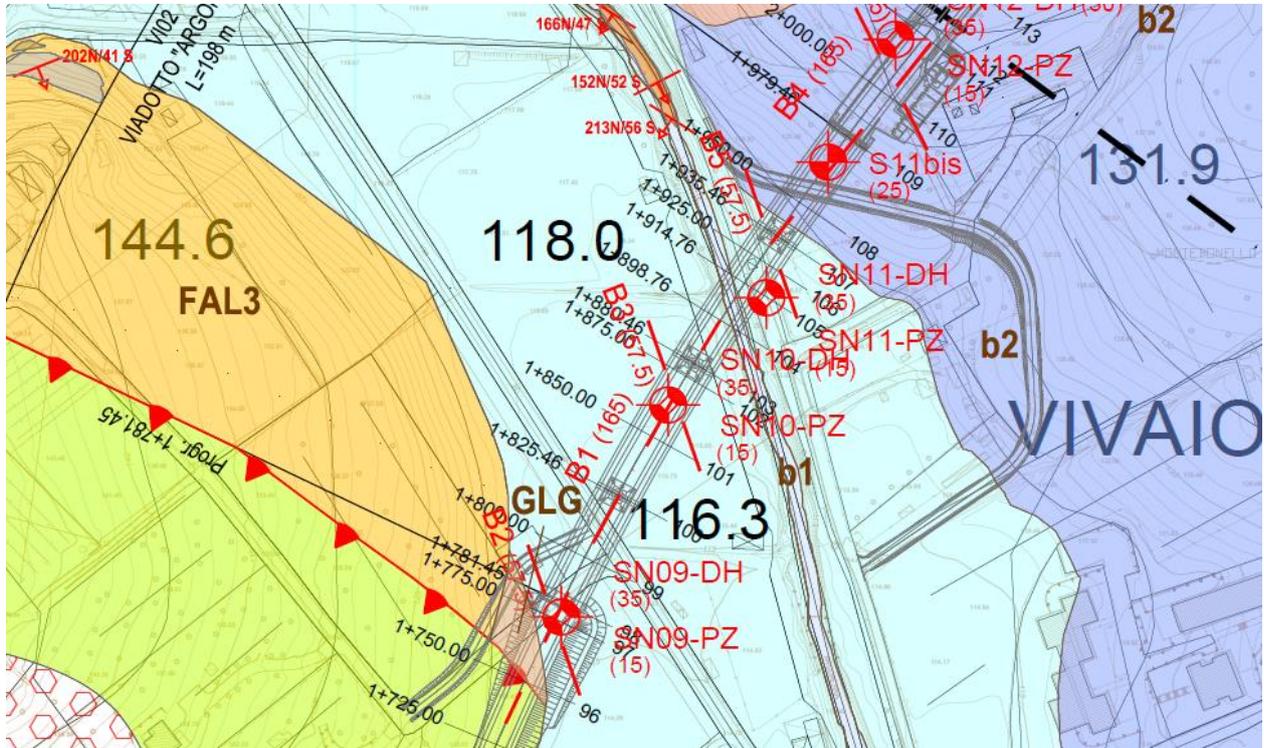


Figura 7-6 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Argomenna con ubicazione dei sondaggi SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH

Nell'area invece a morfologia blandamente ondulata, ubicata in destra idrografica del F. Sieve, caratterizzata dalla commistione di depositi di frana e di versante (cfr. **Figura 7-8**), che si raccorda con le morfologie terrazzate presenti fino alla confluenza del T. Argomenna, il sondaggio SN08-PZ (cfr. ubicazione in **Figura 7-7**) ha rinvenuto, fino ad una profondità di circa 8 m, ghiaie con sabbie e ciottoli in matrice limosa debolmente argillosa. Al di sotto di questa profondità sono state rinvenute argilliti marnose molto compatte di colore grigio.

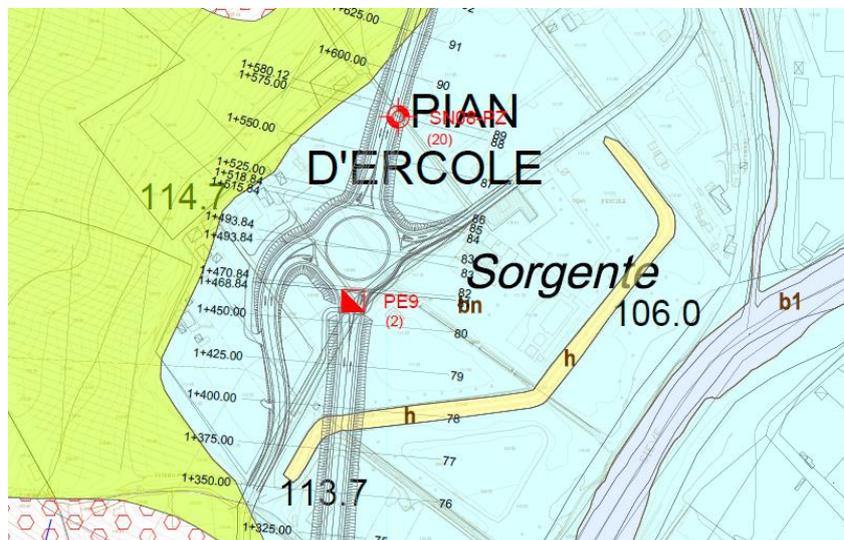


Figura 7-7 – Carta geologica di dettaglio dell'area in destra idrografica del F. Sieve con ubicazione del sondaggio SN08-PZ

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE sinèrgo VA D\VisionArchitecture	B	47 di 123
			Data 02/2024	



Figura 7-8 - Morfologia collinare nella zona di raccordo (quota 109 m s.l.m.) tra il corpo frana e i depositi terrazzati (bn) presenti alla destra idrografica del F. Sieve.

7.2 Depositi di versante, coltre eluvio-colluviale (b2)

I depositi di versante (b2) costituiscono la fascia compresa tra la sinistra idrografica del T. Argomenna (quota 135 m s.l.m.) e la destra idrografica del F. Sieve (quota 115 m s.l.m.). nella campagna geognostica del 2021-2022 lungo l'asse stradale in progetto sono stati eseguiti i sondaggi SN11bis, SN12-DH e SN13-PZ, che hanno permesso di verificare uno spessore della coltre eluvio-colluviale (b2) compreso tra circa 2 m e circa 9 m. Tale deposito risulta costituito da depositi detritici di tipo grossolano, con numerosi elementi litici decimetrici prevalentemente marnosi e sporadicamente arenacei in abbondante matrice limo-argillosa.

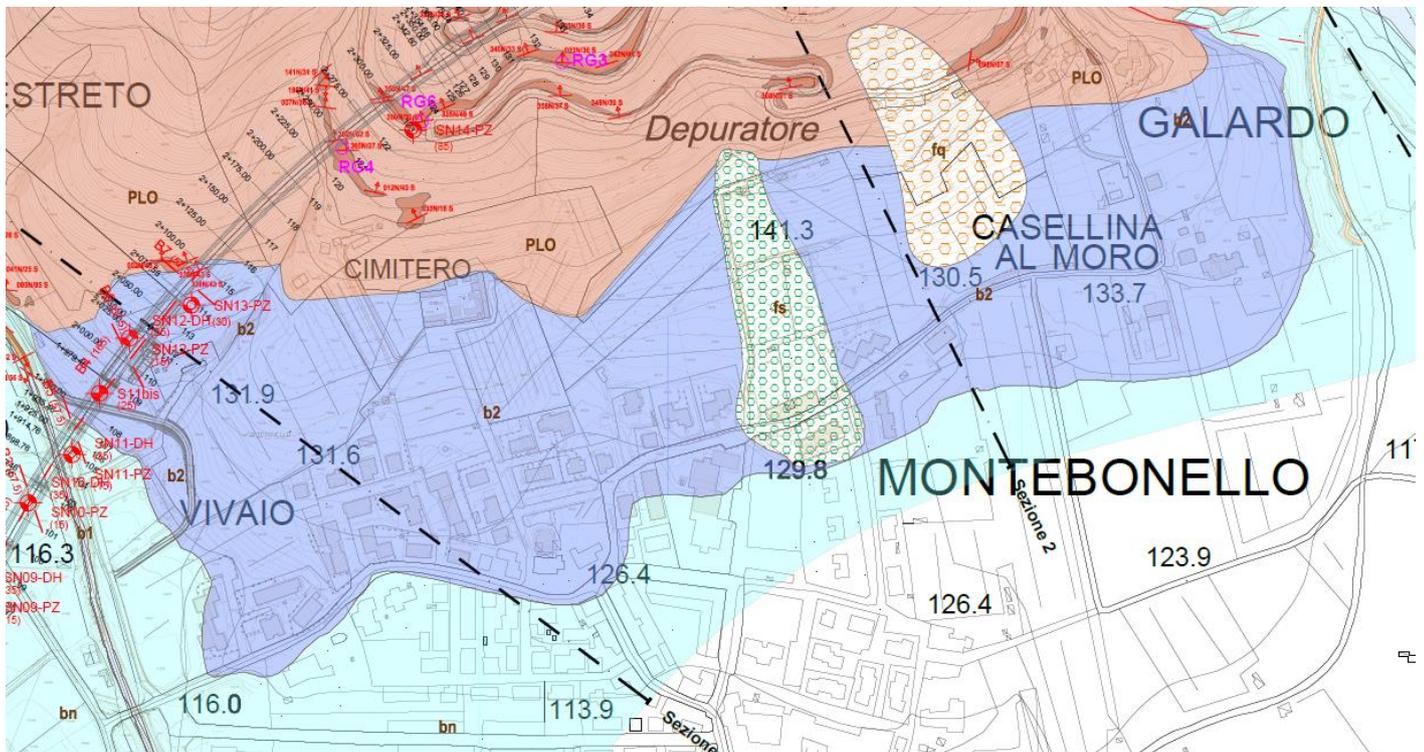


Figura 7-9 – Carta geologica di dettaglio dell'area di Montebonello con ubicazione dei sondaggi SN11bis, SN12-DH e SN13-PZ

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l. MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE E AMBIENTE  sinèrgo  D_VA DVisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 48 di 123 Data 02/2024
--	--	----------------------	--

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo ENERGIA	VA D.VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 49 di 123
					Data 02/2024	

8 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

I caratteri geomorfologici del territorio attraversato derivano dalla diversa competenza reologica dei litotipi affioranti associata al suo assetto geologico-strutturale; a questi fattori si sovrappone l'azione degli agenti morfogenetici.

Da questo punto di vista è di particolare rilevanza la presenza del Fiume Sieve, affluente principale del fiume Arno, che più a Nord dell'area di progetto colma con i suoi depositi la vallata intermontana del Mugello, una depressione di origine continentale nella quale si è deposta una successione fluvio-lacustre conosciuta in letteratura come Sintema del Mugello (alloformazioni).

Nel tratto che attraversa l'area di progetto sono invece presenti solo depositi alluvionali, depositi eluvio-colluviali e depositi di frana, distinti adottando in genere un criterio genetico (unità ubiquitarie).

Il territorio in esame sulla base dei suoi caratteri geomorfologici può essere suddiviso in due porzioni: area collinare e pianure alluvionali.

8.1 Area Collinare

L'elemento principale è il rilievo collinare sviluppato per alcuni chilometri in direzione NW-SE nel quale la propaggine sud-orientale troncata dalla piana alluvionale del Fiume Sieve raggiunge in località Poggio Lupaio quota 557 m s.l.m.

Nei pressi dell'abitato di Montebonello il rilievo collinare ha versanti con caratteri morfologici molto differenti.

Il versante più a Sud, impostato nelle unità subliguri di natura argilloso-calcareo, è caratterizzato da pendenze molto blande e tende a raccordarsi con i terrazzi fluviali stabili e di vario ordine, originatisi prevalentemente per la interazione tra il Fiume Sieve e le dinamiche del torrente Argomena, suo affluente destro (cfr. **Figura 8-1**).

Il versante più a Nord, impostato nelle unità toscane di natura siltitico-marnosa, è caratterizzato invece da pareti scoscese a tratti rupestri, che si raccordano con l'alveo attuale del fiume Sieve (cfr. **Figura 8-2**). Tale rilievo risulta in generale poco antropizzato, se si escludono alcuni gruppi di abitazioni isolate collegati dalla strada comunale. I versanti risultano altresì ricoperti da folta vegetazione boschiva e in subordine da appezzamenti di uliveti. Lo sviluppo del progetto prevede di attraversare tale fascia collinare in sotterraneo con la galleria naturale Montebonello.



Figura 8-1 - Panoramica in direzione nord del rilievo collinare a Montebonello e la piana alluvionale del T. Argomena.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 50 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo D_VA DVisionArchitecture	
			Data 02/2024	



Figura 8-2 - Panoramica in direzione sud del rilievo collinare a Montebonello e la piana alluvionale del fiume Sieve.

8.2 Pianura Alluvionale

La pianura alluvionale, originatasi principalmente attraverso le dinamiche fluviali del fiume Sieve (cfr. **Figura 8-3**) ed in subordine da quelle dei torrenti Argomena e Rufina, confluenti rispettivamente in destra (a circa q. 106 m s.l.m.) e in sinistra idrografica (a circa q. 117 m s.l.m.) dello stesso. La pianura alluvionale risulta occupata per la gran parte dagli insediamenti abitativi di Montebonello e Rufina oltre che da due importanti infrastrutture di trasporto lineari: la sede ferroviaria della Firenze-Pontassieve, che si sviluppa a tratti su opere in rilevato, e la sede stradale della S.S. Tosco-Romagnola N°67, oggetto del presente progetto di variante. Si segnala inoltre la presenza del canale irriguo in destra idrografica del Fiume Sieve, che origina dalla traversa idraulica di q. 116 m s.l.m., e di numerose strade di servizio di servitù agli insediamenti agricoli.



Figura 8-3 - Panoramica in direzione sud della piana alluvionale del F. Sieve attraversata dal tracciato in progetto e dei rilievi collinari circostanti gli abitati di Montebonello e Rufina (a sinistra nella foto)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETREVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo DVISIONARCHITECTURE	B	51 di 123
			Data 02/2024	



Figura 8-4 - Panoramica in direzione sud dell'alveo attuale del F. Sieve; in primo piano i depositi alluvionali in evoluzione (b1), caratterizzati da litologie prevalentemente calcaree e arenacee con un diametro medio di circa 20÷25 cm.



Figura 8-5 - Panoramica in direzione sud dei depositi alluvionali terrazzati (bn) in destra idrografica del F. Sieve (quota 122 m s.l.m.); in primo piano una porzione della superficie del terrazzo fluviale inclinato di pochi gradi verso l'alveo attuale. Tali depositi piuttosto continui sono ubicati nei pressi della traversa idraulica di quota 116 s.l.m.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 52 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA s.p.a. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	Data 02/2024	
		sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	

9 DINAMICA GEOMORFOLOGICA DI VERSANTE

Lo studio della dinamica geomorfologica di versante, ovvero dei dissesti di natura gravitativa che potrebbero essere interferiti dal tracciato dell'infrastruttura stradale in progetto, è stato condotto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

- consultazione del Catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia
- consultazione della Banca Dati Geomorfologica della Regione Toscana
- consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Bacino del Fiume Arno
- consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Progetto PAI "Dissesti geomorfologici"
- analisi interferometrica da immagini radar satellitari (satelliti ERS, ENVISAT e Sentinel-1)
- analisi fotointerpretativa stereoscopica di immagini aeree relative al volo eseguito per la realizzazione della base aerofotogrammetrica di progetto dell'infrastruttura;
- rilevamento geomorfologico di campagna

9.1 Consultazione del catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia

Dal 1997 il catalogo IFFI ha l'obiettivo di censire, secondo una metodologia standardizzata, i fenomeni franosi verificatisi sul territorio nazionale. L'Istituto superiore per la ricerca e l'ambiente (ISPRA) dal 2005 pubblica online la base dati, sul sito della *piattaforma IdroGEO* (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>).

Le Regioni e le Province Autonome svolgono la funzione di raccolta dei dati storici, di archivio, di individuazione e mappatura delle aree in frana nonché la validazione dei dati. Dal 2008 inoltre trasmettono ad ISPRA eventuali aggiornamenti in loro possesso. Il catalogo IFFI è risultato così uno strumento conoscitivo di base per la valutazione della pericolosità da frana nei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI).

Nell'area di progetto il catalogo IFFI (cfr. **Figura 9-1**) individua una sola frana direttamente interferente con il tracciato tra la p.k. 0+925 e la p.k. 1+300 circa. Tale frana, ubicata in destra idrografica del fiume Sieve, viene classificata come *scivolamento rotazionale/traslativo*, con *stato di attività n.d. (non determinato)*.

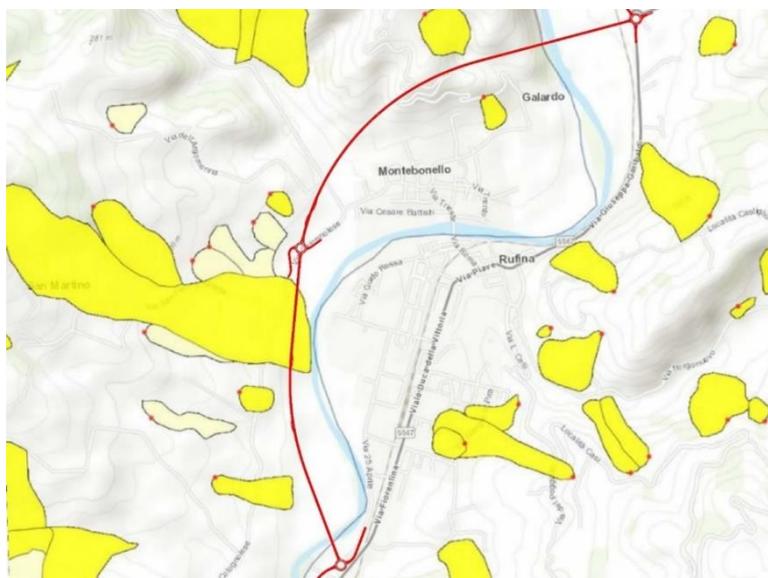


Figura 9-1 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi nel catalogo IFFI (da sito web ISPRA piattaforma IdroGEO)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	B	53 di 123
			Data 02/2024	

9.2 Consultazione della Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana

La Regione Toscana dispone di uno strumento webgis, il geoportale “GEOscopio”, che consente di visualizzare ed interrogare i dati geografici della Regione Toscana.

Ala pagina <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geomorfologia.html> è possibile consultare la *Banca Dati geomorfologica*, dove sono rappresentate forme di dissesto come *Frane* e *Orli di scarpata*.

Dall’immagine delle *Frane* presenti nell’area di interesse (cfr. **Figura 9-2**) è possibile osservare che la perimetrazione risulta identica a quella riportata nel catalogo IFFI.

Dalla legenda, che indica la tipologia di frana e il suo stato di attività, è possibile verificare che la frana interferita dal tracciato tra la p.k. 0+925 e la p.k. 1+300 viene classificata come *frana di scorrimento (velocità indeterminata)*, con *stato di attività indeterminata*.

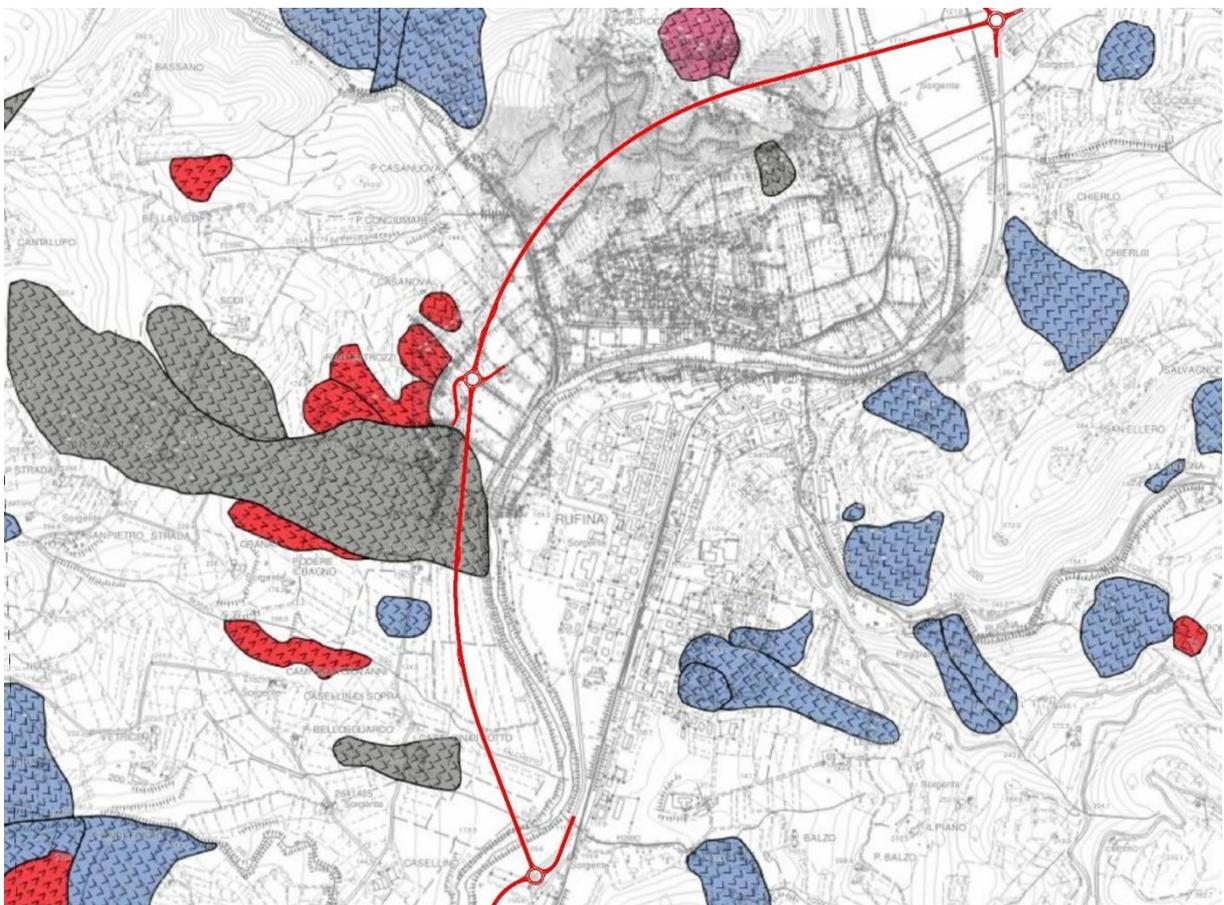


Figura 9-2 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi nella Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana (da sito web GEOscopio della Regione Toscana)

9.3 Consultazione del PAI dell’Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale

L’Autorità di Bacino di riferimento per l’area in esame è l’*Autorità di Bacino Distrettuale dell’ Appennino Settentrionale*. Alla pagina https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=3112 è possibile consultare il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), che prevede una suddivisione del distretto idrografico nei seguenti bacini:

- Bacino del Fiume Arno
- Bacino del Fiume Serchio

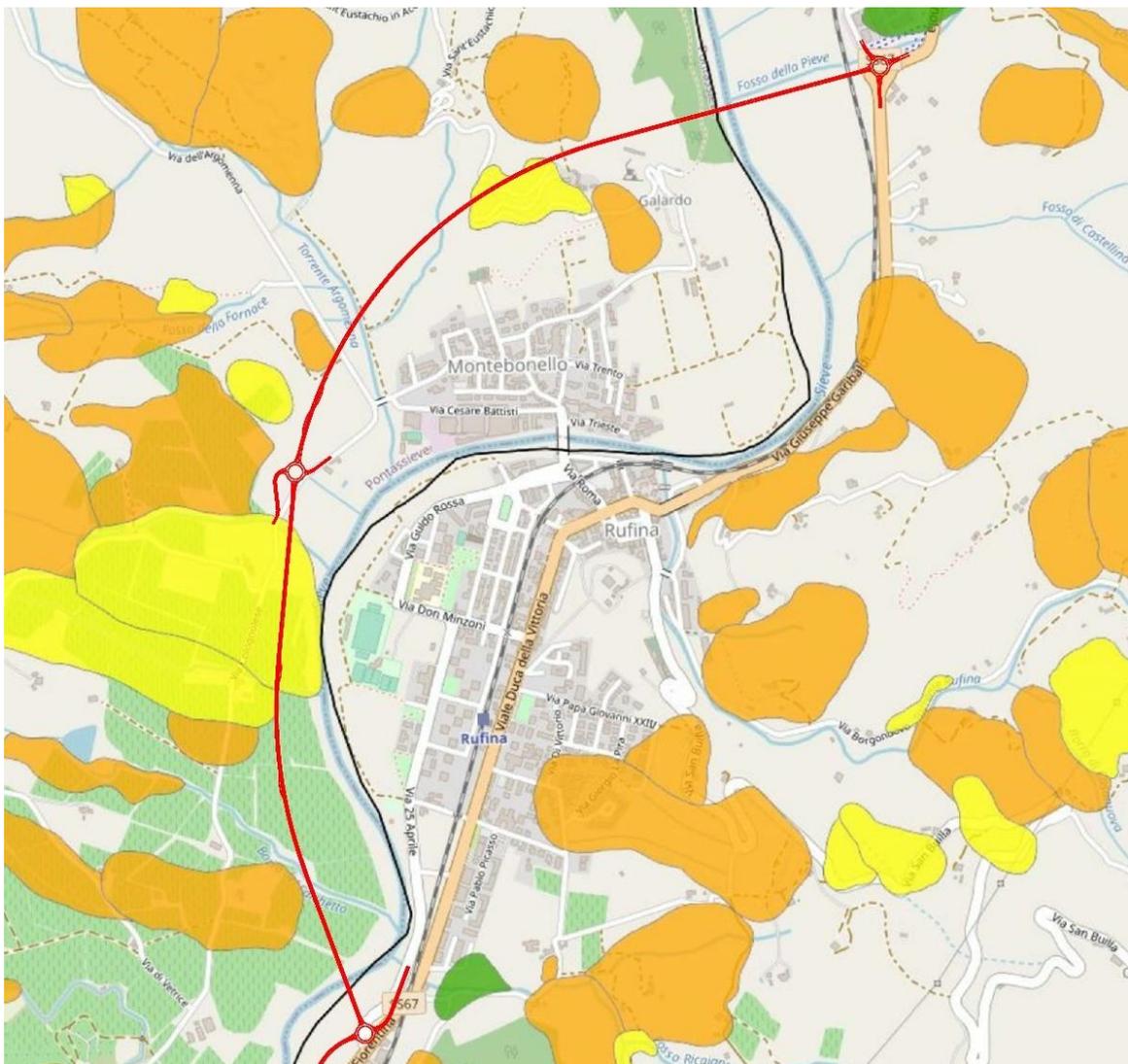
CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

- Bacino del Fiume Magra
- Bacini regionali liguri
- Bacini regionali toscani

9.3.1 PAI - Bacino del Fiume Arno (2005)

Il bacino di riferimento per l'area è il *Bacino del Fiume Arno*, il cui PAI vigente è consultabile alla pagina https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=3487. Tale PAI è entrato in vigore con la pubblicazione del D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3/10/2005), mentre le norme di attuazione e gli allegati sono stati pubblicati sulla G.U. n. 248 del 24.10.2005. Alla pagina:

<https://geodataserver.appenninosettentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=72f02517284e4c5ba2f8a5310eff44e1>, è disponibile la cartografia della *pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana* (cfr. **Figura 9-3**).



CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 55 di 123
		Data 02/2024	

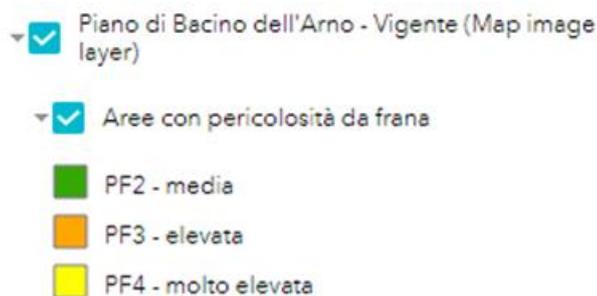


Figura 9-3 - Rappresentazione cartografica della “pericolosità da processi geomorfologici di versante a da frana” presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – PAI Bacino del Fiume Arno).

Dall'esame della cartografia è stato possibile verificare con il tracciato interferisce con le seguenti aree di frana:

- una frana a pericolosità molto elevata PF4 tra le p.k. 0+925 e 1+300, in corrispondenza di un tratto in rilevato/trincea;
- una frana a pericolosità elevata PF3 alla p.k. 1+770, in corrispondenza della Spalla 1 del Viadotto Argomena;
- una frana a pericolosità molto elevata PF4, tra le p.k. 2+342 e 2+560, dove il tracciato è tuttavia in galleria naturale con una copertura di circa 85 m.

9.3.2 Progetto di Piano - PAI “Dissesti geomorfologici”

La recente riforma nazionale delle Autorità di Bacino Distrettuali porta con sé l'esigenza di revisione di tale piano (PAI), strumento di pianificazione sia regionale in questo caso del territorio toscano che a scala di distretto, per la gestione dei dissesti di natura geomorfologica.

Il “Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica” relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e degli ex bacini regionali della Toscana, altrimenti detto *Progetto di Piano - PAI “dissesti geomorfologici”*, è stato adottato con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n.20 del 20 dicembre 2019 e nella Gazzetta Ufficiale n. 9 del 13.01.2020 è stato pubblicato il comunicato dell'adozione.

La consultazione del Progetto di Piano – PAI “Dissesti geomorfologici” è consultabile alla pagina https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=5734, mentre alla pagina:

<https://geodataserver.appenninosettentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=14ca15f41e8e4396a1b27d788db98f60>, è possibile consultare la cartografia della *pericolosità da dissesti di natura geomorfologica* relativamente all'area di progetto (cfr. **Figura 9-4**).

Nell'ambito della revisione dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) le classi di pericolosità sono state ridefinite nel seguente modo:

- *Aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi* di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici (*P4 - molto elevata*).
- *Aree potenzialmente instabili* suddivise in due sottoclassi (*P3 – elevata*):
 - aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti (*P3a*);

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	sinèrgo	VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

- aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo, e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevole che determinano elevata propensione al dissesto (*P3b*).
- *Aree stabilizzate*, aree stabili interessate tuttavia da litologie e condizioni strutturali e geomorfologiche che possono dar luogo a modifica della loro condizione di stabilità (*P2 – media*)
- *Aree stabili* con condizioni litologiche, strutturali e geomorfologiche aventi caratteri per lo più favorevoli alla stabilità (*P1 – moderata*).

La consultazione della cartografia consente di verificare la corrispondenza, nell'area in esame, delle aree a pericolosità già evidenziate nella cartografia del Piano di bacino del Fiume Arno, dove le aree PF2 corrispondono alle aree P2, le aree PF3 corrispondono alle aree P3a, le aree PF4 corrispondono alle aree P4. Pertanto, le interferenze del tracciato con le aree di pericolosità rimangono le medesime già evidenziate in precedenza.

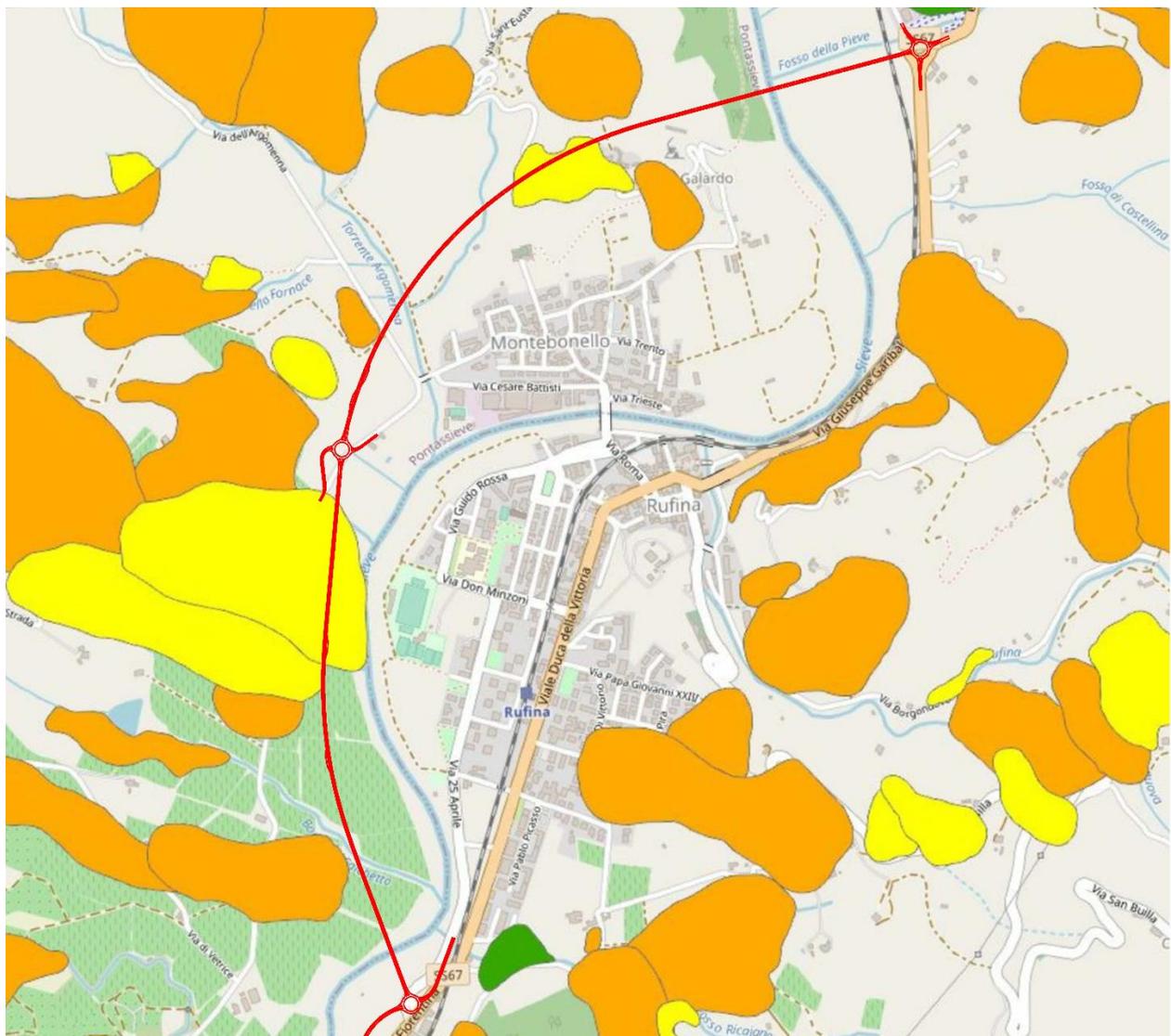


Figura 9-4 - Rappresentazione cartografica delle aree di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – Progetto PAI “Dissesti geomorfologici”)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA s.p.a. ENERGIA VALLE ABBADIA sinèrgo D.V. s.p.a. VA D.VisionArchitecture	B	57 di 123
			Data 02/2024	

<https://geodataserver.appenninoseptentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=14ca15f41e8e4396a1b27d788db98f60>, relativa alla Banca Dati geomorfologica del Progetto di Piano - PAI "dissesti geomorfologici" (cfr. **Figura 9-5** e **Figura 9-6**), è possibile verificare tipologia e grado di attività dei fenomeni franosi già indicati nella cartografia della pericolosità. In particolare, le aree a pericolosità elevata e molto elevata precedentemente indicate come interferenti con il tracciato, corrispondono alle seguenti tipologie di frane:

- area a pericolosità P4 tra le p.k. 0+925 e 1+300 (rilevato/trincea): scivolamento/colata lenta, attiva (S3), che continua a monte come scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2);
- area a pericolosità P3a alla p.k. 1+770 (Spalla 1 del Viadotto Argomena): area potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2);
- area a pericolosità P4 tra le p.k. 2+342 e 2+560 (galleria naturale Montebonello): area a franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3).

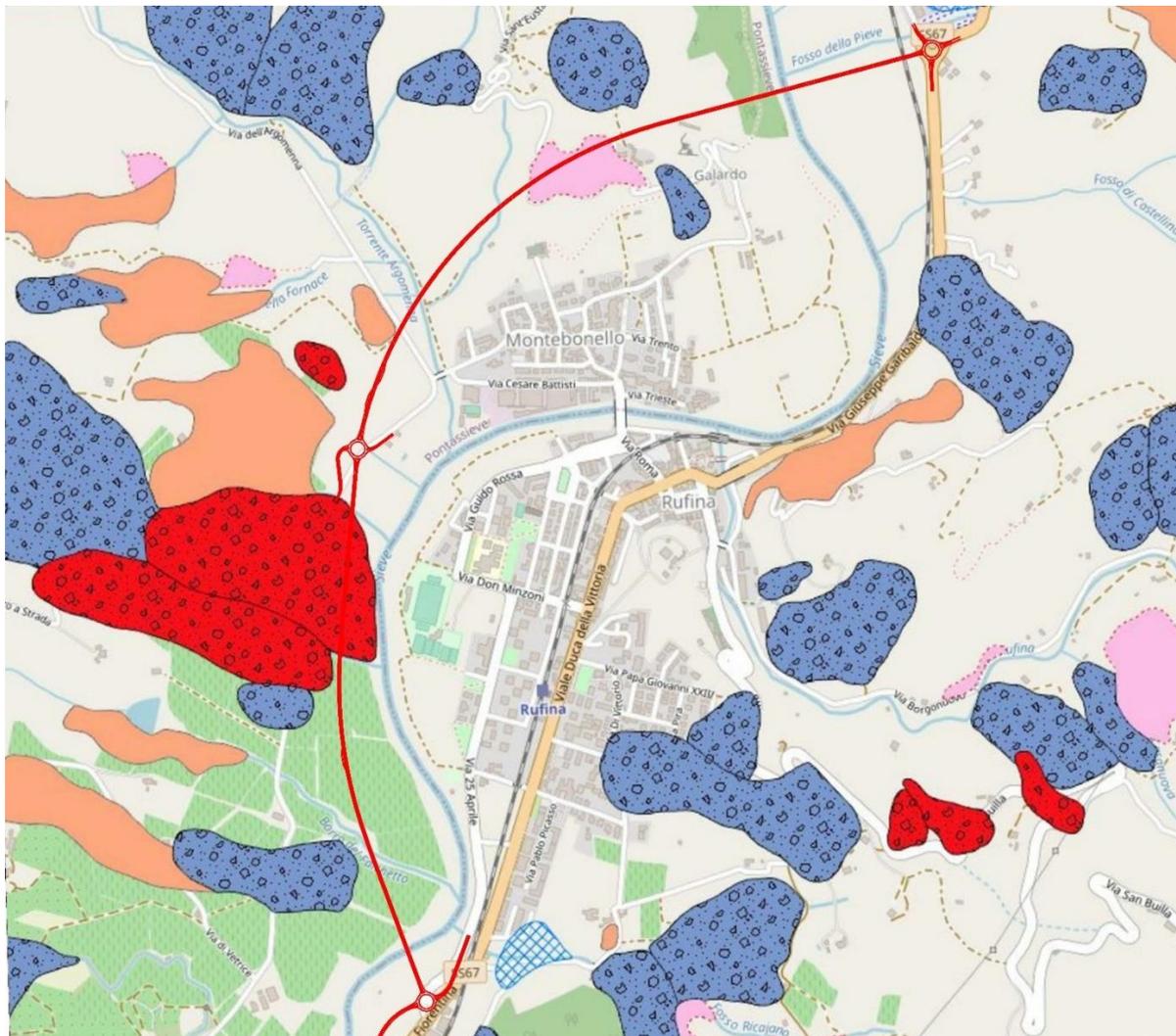


Figura 9-5 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Progetto PAI "Dissesti geomorfologici": Banca Dati geomorfologica)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 58 di 123
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITRIVA S.p.A. ENERGIA VALLE D'AGOSTO  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	Data 02/2024	

- Progetto di PAI "Dissesti Geomorfologici" - Banca dati geomorfologica
 - Banca dati geomorfologica
 -  S3 - Frane di scivolamento e colata lenta - attive
 -  S2 - Frane di scivolamento e colata lenta - inattive potenzialmente instabili
 -  S1 - Frane di scivolamento e colata lenta - inattive stabilizzate
 -  C3 - Frane di crollo - attive
 -  C2 - Frane di crollo - inattive potenzialmente instabili
 -  C1 - Frane di crollo - inattive stabilizzate
 -  R3 - Frane di colata rapida - attive
 -  R2 - Frane di colata rapida - inattive potenzialmente instabili
 -  R1 - Frane di colata rapida - inattive stabilizzate
 -  FD3 - Franosità diffusa e franosità superficiale attiva
 -  FD2 - Aree potenzialmente instabile per deformazioni superficiali
 -  DGPV - Deformazione gravitativa profonda di versante
 -  DM3 - Depressioni morfologiche attive
 -  DM2 - Depressioni morfologiche potenzialmente instabili
 -  CON2 - Conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggette a debris flow
 -  CON1 - Conoidi miste detritico-alluvionali
 -  DOL3 - Dolina attiva
 -  DOL2 - Dolina inattiva
 -  ES - Erosione spondale attiva
 -  FDF - Fascia di dinamica fluviale legata ai processi di erosione attiva
 -  ND

Figura 9-6 – Legenda dei fenomeni franosi presenti nel Banca Dati geomorfologica (da sito web dell’Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – Progetto PAI “Dissesti geomorfologici”)

Altri fenomeni franosi indicati come *scivolamento/colata lenta, attiva (S3)*, *scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2)* e *area potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2)* sono presenti a monte del tracciato, non interferenti con il tracciato dell’infrastruttura in progetto.

Si segnalano infine, in prossimità delle rotatorie di inizio e fine tracciato ma non interferenti con il progetto, due *conoidi miste detritico-alluvionale (CON1)*, in parte occupate da insediamenti antropici.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			Data 02/2024	

9.4 Analisi interferometrica di immagini radar satellitari

9.4.1 Generalità

Facendo riferimento all'Appendice 3 (*Linee guida per l'utilizzo dei dati di deformazione (PS) derivati da analisi multi-interferometrica di immagini radar satellitari*) della Relazione di Piano del Progetto di Piano PAI "Dissesti geomorfologici", di seguito si riporta un estratto con alcune informazioni di carattere generale relative all'analisi interferometrica di immagini radar satellitari e al suo utilizzo nello studio dei dissesti gravitativi di versante.

I sistemi radar satellitari sono sensori di tipo attivo, ossia inviano un segnale che viene riflesso dalla superficie terrestre e ricevuto dal sensore. Rispetto ai più noti sistemi ottici operano con continuità, potendo acquisire dati in presenza di copertura nuvolosa, sia di giorno che di notte. I satelliti radar permettono di misurare spostamenti superficiali del terreno con livelli di precisione millimetrica, grazie alle tecniche di elaborazione dei dati acquisiti, dette interferometriche (*PSInsar* e *SqueeSAR*). Essi rappresentano quindi strumenti efficaci per il monitoraggio da remoto dei fenomeni di deformazione della superficie terrestre misurati in corrispondenza dei *PS* (*permanent scatterers*), ovvero bersagli radar naturali già esistenti sul territorio, contraddistinti da un elevato potere riflettente nei confronti della radiazione elettromagnetica emessa dal satellite e caratterizzati dall'aver una risposta al segnale radar particolarmente stabile durante tutto il periodo di analisi (edifici, rocce esposte, strutture e infrastrutture di vario tipo, ecc.).

I satelliti con a bordo sistemi di acquisizione radar percorrono orbite eliosincrone lievemente inclinate rispetto ai meridiani (cfr. **Figura 9-7**), illuminando, da una quota di circa 800 km, una striscia di terreno larga circa 100 km (satelliti ERS-ENVISAT).

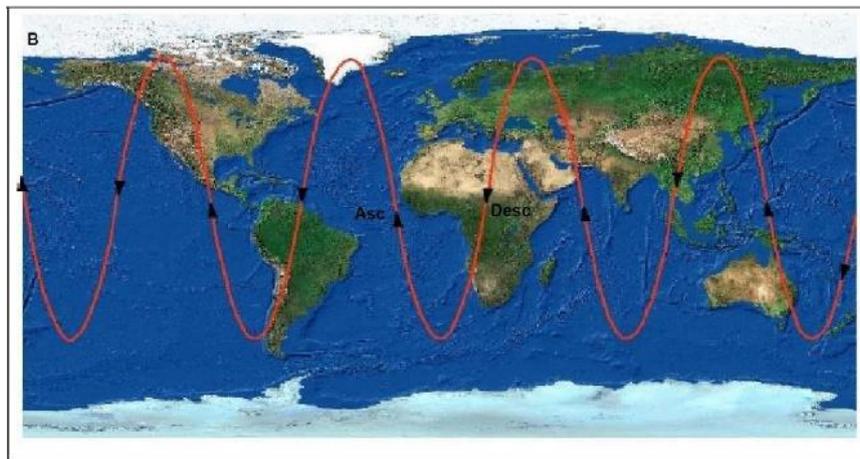


Figura 9-7 – Andamento planimetrico delle orbite eliosincrone dei satelliti SAR

La direzione della congiungente sensore bersaglio (LOS) risulta perpendicolare alla direzione dell'orbita (azimut) ed è generalmente inclinata di un determinato angolo rispetto alla verticale, detto off-nadir, che nel caso dei satelliti ERS ed ENVISAT risulta essere di circa 23° (cfr. **Figura 9-8**), mentre nel caso del satellite SENTINEL-1 è di circa 38°.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 60 di 123
	Data 02/2024		

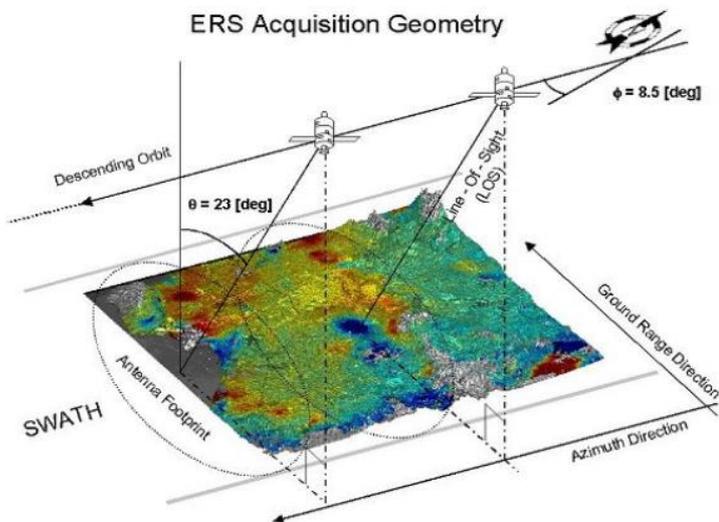


Figura 9-8 – Geometria di acquisizione del satellite ERS in orbita discendente

La stessa orbita viene ripercorsa dopo un determinato intervallo di tempo, detto *tempo di rivisitazione*, consentendo così di acquisire dati relativi alla stessa scena al suolo in tempi differenti. Dalla combinazione della rotazione terrestre con le orbite eliosincrone dei satelliti risulta che la stessa area della superficie terrestre viene illuminata dalla radiazione radar sia durante un passaggio del satellite da nord verso sud, denominata orbita *discendente*, sia durante un passaggio del satellite da sud verso nord, denominata orbita *ascendente*. La possibilità di acquisire dati sulla stessa scena nelle due geometrie è molto importante perché permette di analizzare uno stesso fenomeno da due diversi punti di osservazione, permettendo di superare alcuni inconvenienti legati ad orientazione e geometria del versante.

Infatti, il sensore radar si trova collocato sulla destra rispetto al senso di marcia del satellite e questo fa sì che in geometria ascendente la scena sia osservata da ovest verso est, mentre in geometria discendente sia osservata da est verso ovest.

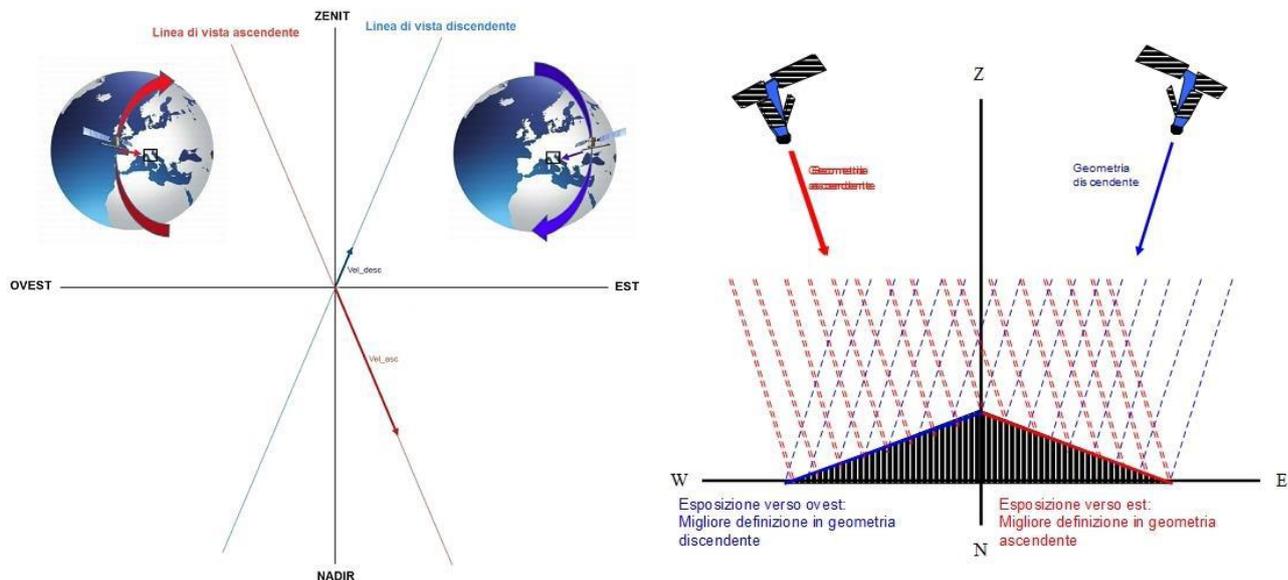


Figura 9-9 – Schematizzazione delle due geometrie di acquisizioni dei satelliti con strumentazione SAR

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA 		MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 61 di 123
				Data 02/2024	

Inoltre, I sistemi radar satellitari, tendono infatti a risolvere meglio situazioni dove il versante viene osservato con bassa inclinazione rispetto alla linea di vista del satellite e per tale motivo i versanti esposti ad est vengano generalmente risolti meglio in geometria ascendente, mentre quelli esposti ad ovest in geometria discendente, pertanto avere le immagini acquisite in entrambe le geometrie permette di migliorare notevolmente la risoluzione geometrica del fenomeno che vogliamo esaminare.

Un limite delle tecniche di elaborazione dell'informazione interferometrica è dovuto alla particolare geometria di acquisizione delle immagini: dato che gli spostamenti vengono registrati lungo la linea di vista del satellite (*LOS*) che risulta essere orientata circa in direzione EO, tale geometria di acquisizione non comporta particolari problemi nell'analisi di movimenti prevalentemente verticali come fenomeni di subsidenza del terreno, mentre nello studio dei dissesti franosi, dove la componente orizzontale può assumere un carattere predominante, più la direzione del movimento si discosta dalla direzione EO più viene sottostimata la velocità di spostamento, fino ad arrivare alla situazione estrema di un movimento orizzontale con direzione NS che non viene assolutamente rilevato dal satellite.

L'altro limite della tecnica interferometrica è invece dovuto al fatto che se la differenza di cammino ottico tra due successive acquisizioni risulta essere maggiore o uguale alla lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica utilizzata, o ad un suo multiplo, nel generale l'interferogramma si perde il contributo intero della fase e lo spostamento viene sottostimato. Questo fenomeno, denominato "equivocazione di fase", fa sì che tra due successive acquisizioni sia possibile esaminare in modo soddisfacente solamente movimenti relativamente lenti che, considerate le lunghezze d'onda generalmente utilizzate, risultano caratterizzati da velocità medie di spostamento in direzione LOS minori di 5-6 cm/anno e spostamenti relativi tra due acquisizioni minori di 1 cm (per ERS ed ENVISAT). Nel caso di fenomeni franosi risultano quindi monitorabili in modo efficace fenomeni di scivolamento e colamento lento, mentre fenomeni di crollo-ribaltamento o colate rapide non possono essere esaminati in maniera soddisfacente. Viste le basse velocità di movimento risultano inoltre ben rilevabili fenomeni di subsidenza e segni precursori di sprofondamenti catastrofici tipo sinkholes.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha inserito nel "Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale" (PST-A) anche l'elaborazione interferometrica delle immagini radar acquisite su tutta Italia dai satelliti ERS1 e ERS2 nel periodo 1992-2000 e dal satellite ENVISAT nel periodo 2003-2010, oltre all'elaborazione di alcune immagini acquisite dal sistema satellitare COSMO Sky-Med nel periodo 2011-2014. I dataset puntuali dei singoli PS, riportanti sia velocità medie che serie storiche degli spostamenti, possono essere infine richiesti in formato vettoriale tramite il Geoportale Nazionale.

Nel caso della velocità media, il limite di sensibilità della tecnica interferometrica è stimabile in circa +/- 2 mm/anno, per cui i PS che presentano valori di velocità compresi in tale intervallo possono essere considerati stabili, ovvero non adeguatamente risolvibili con tale tecnica di analisi.

La velocità media dei PS corrisponde al coefficiente angolare della retta di regressione lineare degli spostamenti registrati alle diverse date di acquisizione su tutto il periodo di analisi.

La stima della velocità media di una certa area può essere effettuata sia in modalità ascendente (osservando la scena da ovest verso est), sia in modalità discendente (osservando la scena da est verso ovest). I vettori velocità e spostamento relativo assegnati ai singoli PS nelle due geometrie sono orientati lungo la rispettiva linea di vista del satellite e possono trovarsi in condizione di allontanamento o avvicinamento rispetto ad esso. Quando si avvicinano, al

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 62 di 123
					Data 02/2024	

modulo viene convenzionalmente assegnato segno positivo, mentre se si allontanano il segno è negativo. L'esame congiunto delle due set di valori di velocità per una stessa area ci permette quindi di capire subito se la componente prevalente del movimento è verticale o orizzontale. Nel primo caso, infatti, registreremo due set di valori di velocità media molto simili tra loro, sia come modulo che come verso, mentre nel caso di moto orizzontale i vettori avranno valore assoluto del modulo molto simile ma segno opposto.

La seguente figura (cfr. **Figura 9-10**) mostra un esempio di area di frana con velocità di segno opposto nelle orbite ascendente e discendente che indicano, movimento della frana verso Est (in un versante esposto a Est dove il satellite ascendente indica allontanamento, ovvero valori negativi di velocità, lungo la LOS, mentre il satellite discendente indica avvicinamento, ovvero valori positivi, lungo la LOS).

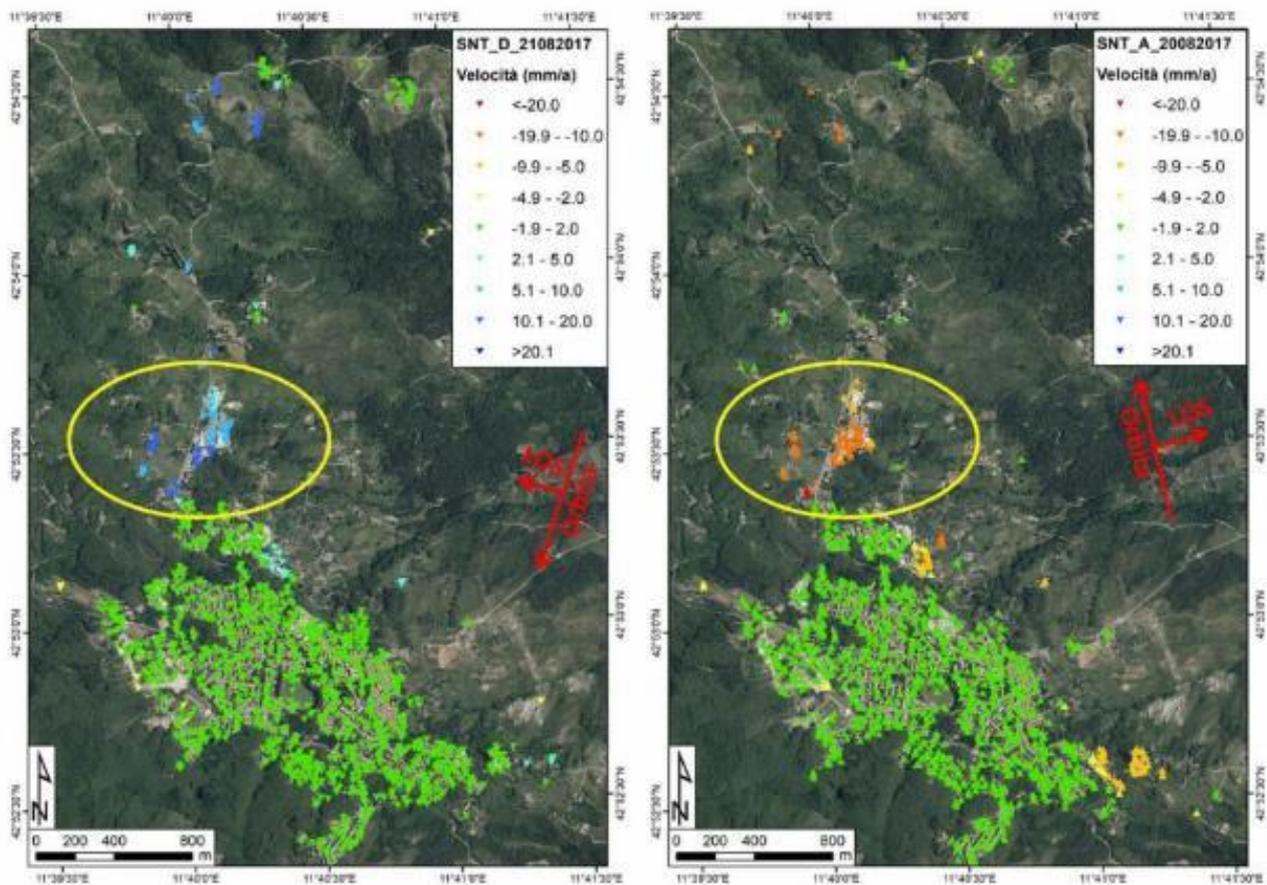


Figura 9-10 – Esempio di velocità dei PS con segno opposto nelle orbite ascendente e discendente (versante esposto a Est)

Dagli anni '90 ad oggi si sono succedute diverse generazioni di satelliti differenti per caratteristiche di geometria di volo e cadenza temporale di tempo di rivisitazione, per tale motivo generalmente i dati acquisiti con diversi sensori satellitari non possono essere integrati tra loro a causa delle diverse caratteristiche di acquisizione (polarizzazione, banda utilizzata, orientamento della LOS). Possono comunque essere effettuati dei confronti qualitativi tra i trend di deformazione registrati da differenti satelliti su una stessa area, in modo da ottenere indicazioni di massima sullo stato di attività di un fenomeno in periodi temporali diversi.

A titolo di esempio si riporta un confronto tra i valori assoluti di velocità media annua registrati dal satellite ERS nel periodo 1992-2000 con quelli registrati dai satelliti RADARSAT-1 nel periodo 2003-2006, ENVISAT nel periodo 2003-2010 e SENTINEL-1 a partire dal 2014. Tale confronto ha permesso di costruire una matrice di attività dove è possibile discriminare tra lo *stato inattivo stabilizzato*, se risultano velocità inferiori ai 2 mm/anno per tutti i satelliti considerati, e lo *stato attivo*, dove invece almeno uno dei satelliti considerati mostra evidenti segni di movimento. In particolare, lo stato attivo può a sua volta essere ulteriormente suddiviso in “*continuo*”, se tutti i satelliti registrano velocità superiori ai 2 mm/anno, “*sospeso*”, dove soltanto i dati ERS mostrano velocità superiori ai 2 mm/anno e “*riattivato*”, dove invece i dati ERS risultano stabili ma uno o più degli altri satelliti individuano aree con velocità superiori ai 2 mm/anno.

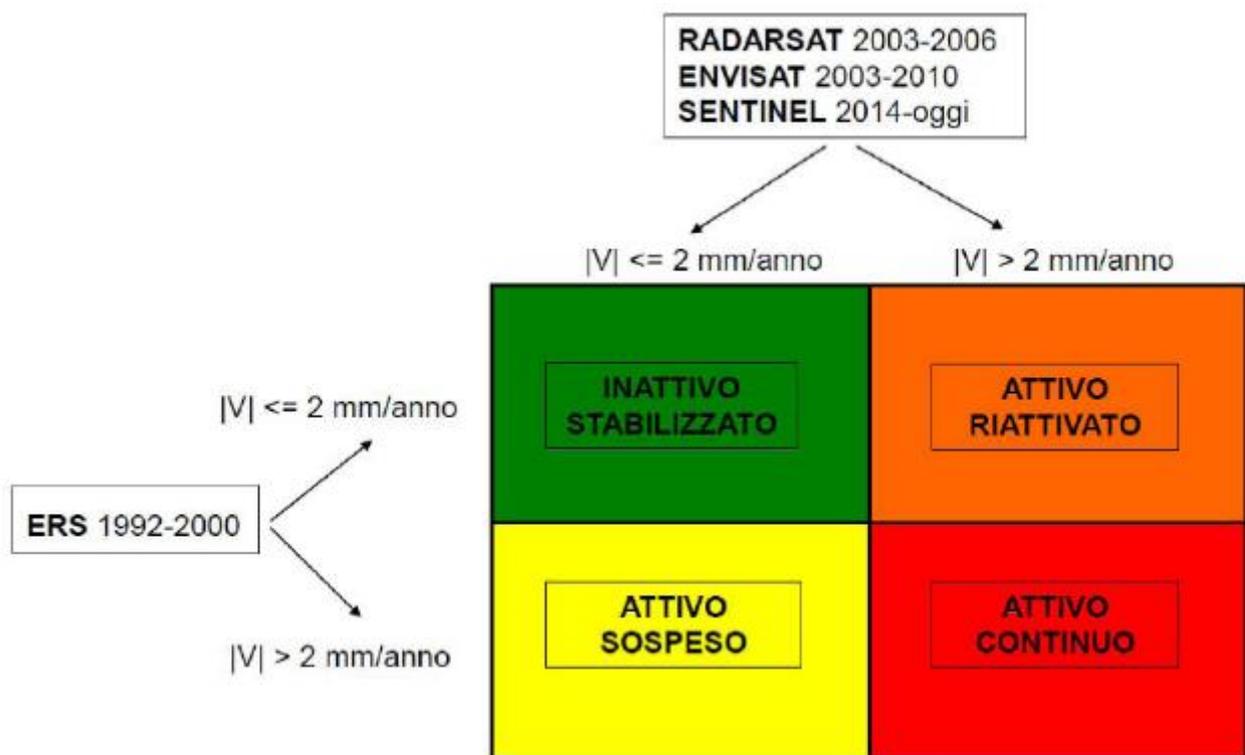


Figura 9-11 – Matrice dello stato di attività ottenuta dal confronto tra velocità dei PS registrate in diversi periodi temporali (da: Progetto di Piano PAI “Dissesti geomorfologici” – Relazione di Piano - Appendice 3: Linee guida per l’utilizzo dei dati di deformazione (PS) derivati da analisi multi-interferometrica di immagini radar satellitari)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
				Data 02/2024

9.4.2 Analisi dei valori di velocità dei PS nelle aree di frana segnalate dal PAI

9.4.2.1 Tratto tra le p.k. 0+250 e 0+450):

Per quanto riguarda *frana di scivolamento e colata lenta inattiva potenzialmente instabile (S2), a pericolosità geomorfologica elevata (P3a)*, ubicata a monte del tracciato tra le progressive tra p.k. 0+250 e p.k. 0+450 circa (**Figura 9-12**), sia nella zona del suo coronamento, dove sono presenti alcuni edifici, sia nel corpo della frana, i dati dei PS (permanent scatterers) dei satelliti Envisat e Sentinel, sia in modalità ascendente che discendente, indicano condizioni stabili (valori di velocità compresi tra -1.9 e 2 mm/anno) (cfr. **Figura 9-13** e **Figura 9-14**).

A valle della frana, in corrispondenza della Spalla 2 del Viadotto Sieve 1, i dati di PS del satellite Sentinel ascendente indicano velocità comprese tra -4.9÷-2 mm/anno (allontanamento lungo la LOS) (cfr. **Figura 9-13**), registrati su un recente accumulo detritico di natura antropica, in un'area dove il substrato è ascrivibile alle *Argille e Calcari di Canétolo (ACC)*. Trattandosi di un accumulo di origine antropica, si suppone che le velocità registrate si riferiscano ad un suo possibile assestamento.

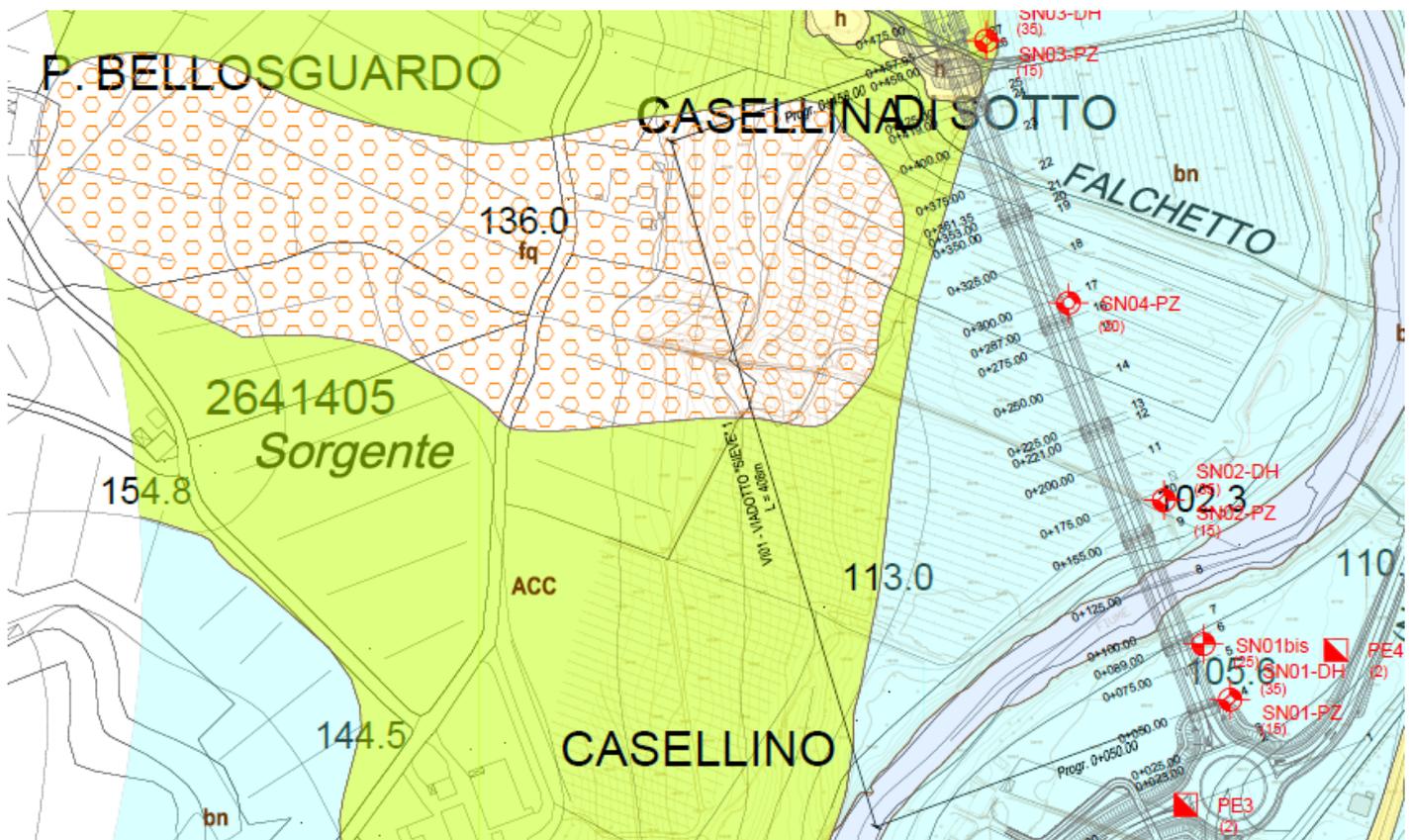


Figura 9-12 – Frana di scivolamento e colata lenta inattiva potenzialmente instabile (S2) e pericolosità geomorfologica elevata (P3a), a monte del tracciato tra le progressive tra p.k. 0+250 e p.k. 0+450 circa

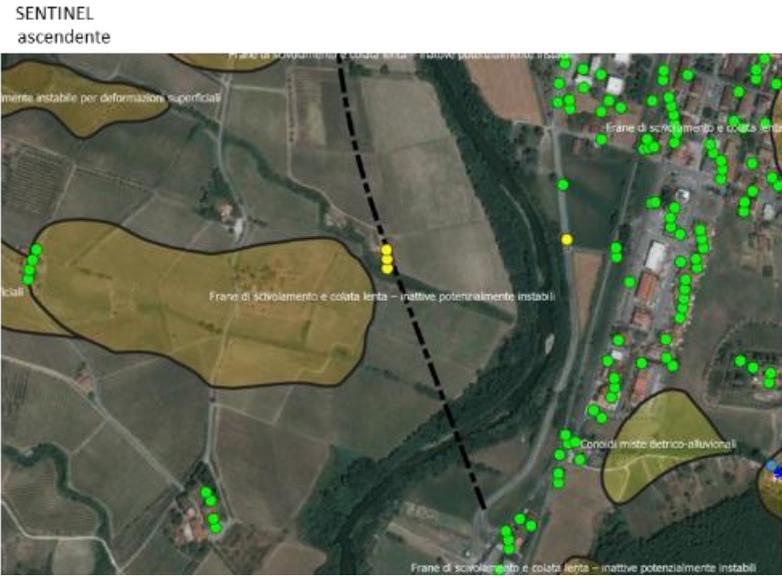


Figura 9-13 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta inattiva potenzialmente instabile (S2) e pericolosità geomorfologica elevata (P3a) - traiettoria ascendente

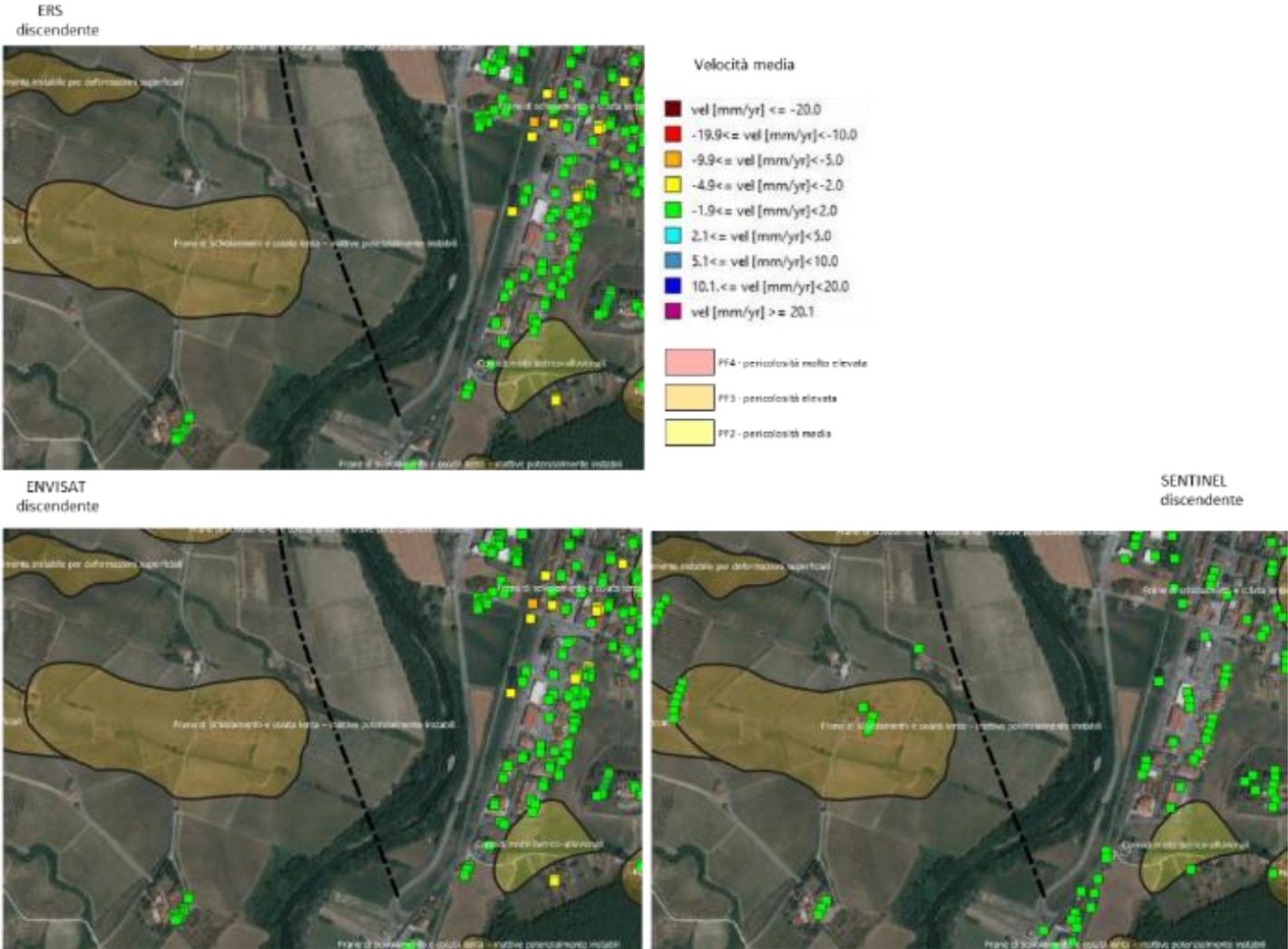


Figura 9-14 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta inattiva potenzialmente instabile (S2) e pericolosità geomorfologica elevata (PF3) - traiettoria discendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA VA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	B	67 di 123
			Data 02/2024	

9.4.2.2 Tratto tra le p.k. 0+925 e 1+300:

In questa zona è segnalata dal PAI 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 Canétolo (ACC)*.

In corrispondenza del piede della frana, dove sono presenti alcuni edifici, 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 satellite Envisat ascendente deve essere considerato con particolare attenzione.

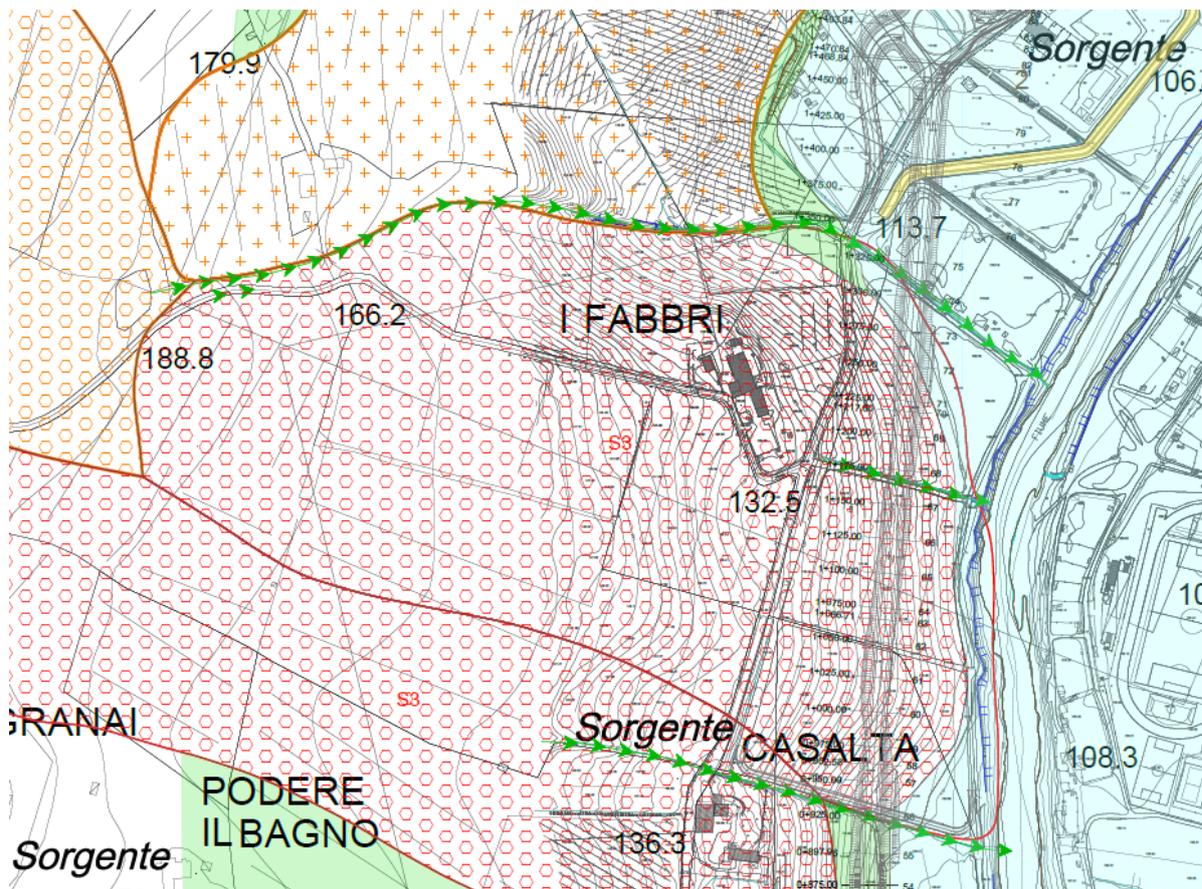
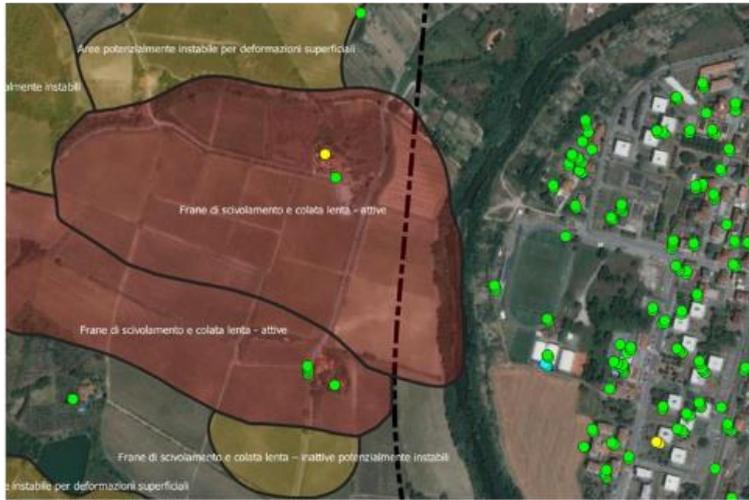


Figura 9-15 – Frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4), ubicata tra le progressive p.k. 0+925 e 1+300 circa

ENVISAT
ascendente



Velocità media



SENTINEL
ascendente

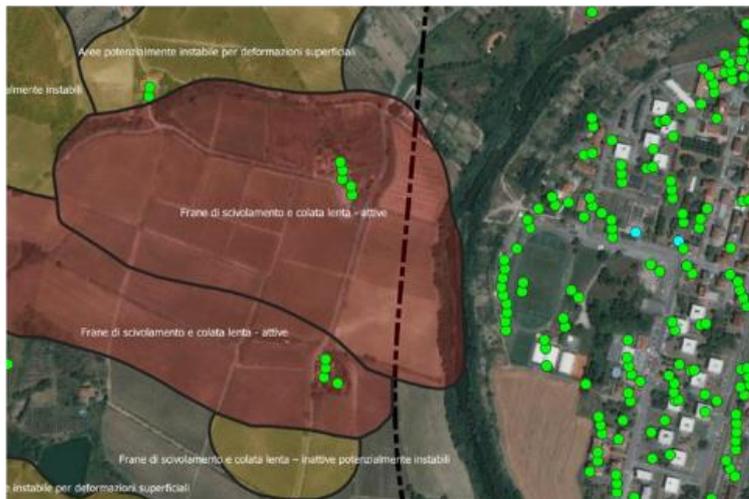


Figura 9-16 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) - traiettoria ascendente

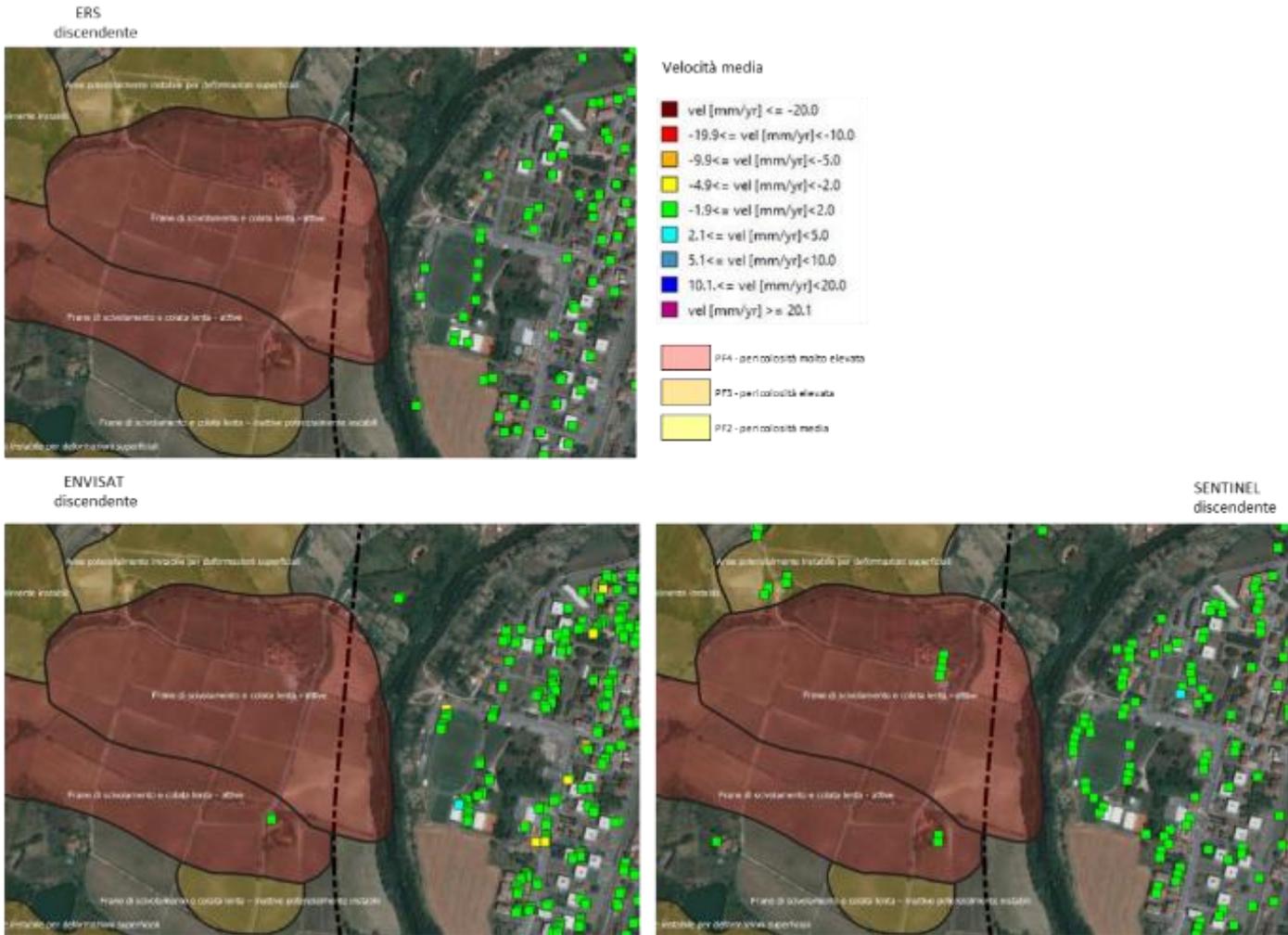


Figura 9-17 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell’areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (PF4) - traiettoria discendente

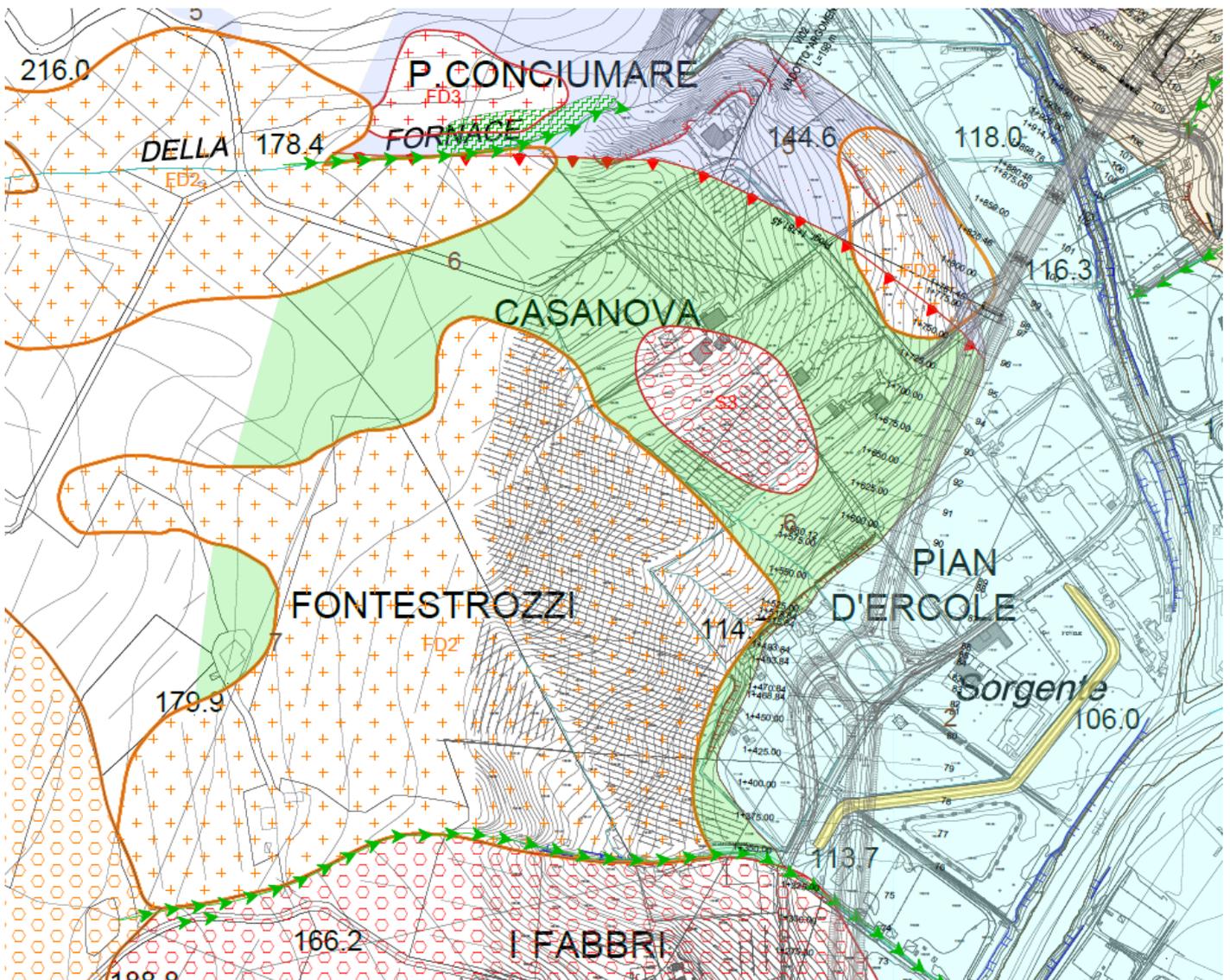
CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA ENERGIA VALLE D'AOSTA	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
				Data 02/2024

9.4.2.3 Tratto tra le p.k. 1+300 e 1+800:

In questo tratto vengono segnalate una *frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) a pericolosità molto elevata (P4)*, ubicata a monte del tracciato tra le p.k. 1+500 e 1+700 circa, e un'area *potenzialmente instabile per franosità superficiale (FD2) a pericolosità elevata (P3a)*, interferente con il tracciato tra le p.k. 1+770 e 1+800 circa.

Per quanto riguarda la *frana di scivolamento e colata lenta attiva*, peraltro non interferente con il tracciato, i PS mostrano velocità sempre comprese tra -1.9 e 2 mm/anno (ERS discendente, Envisat e Sentinel ascendente e discendente), indicando una situazione di sostanziale stabilità. La frana è ubicata in un'area dove substrato è riferibile alla litofacies argillitico-marnosa delle *Argille e Calcari di Canétole (ACC)*.

Non sono invece disponibili dati di PS nell'area *potenzialmente instabile per franosità superficiale*. In ogni caso si deve segnalare che la Spalla del Viadotto, alla p.k. 1+781.45, non risulta direttamente interessata dall'area di franosità superficiale perché già ubicata sulla morfologia pianeggiante dei *depositi alluvionali terrazzati (bn)*.



CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 71 di 123
			Data 02/2024	

Figura 9-18 – Frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) a pericolosità molto elevata (P4), a monte del tracciato tra le p.k. 1+500 e 1+700 circa, e area potenzialmente instabile per franosità superficiale (FD2) a pericolosità elevata (P3a), tra le p.k. 1+770 e 1+800 circa

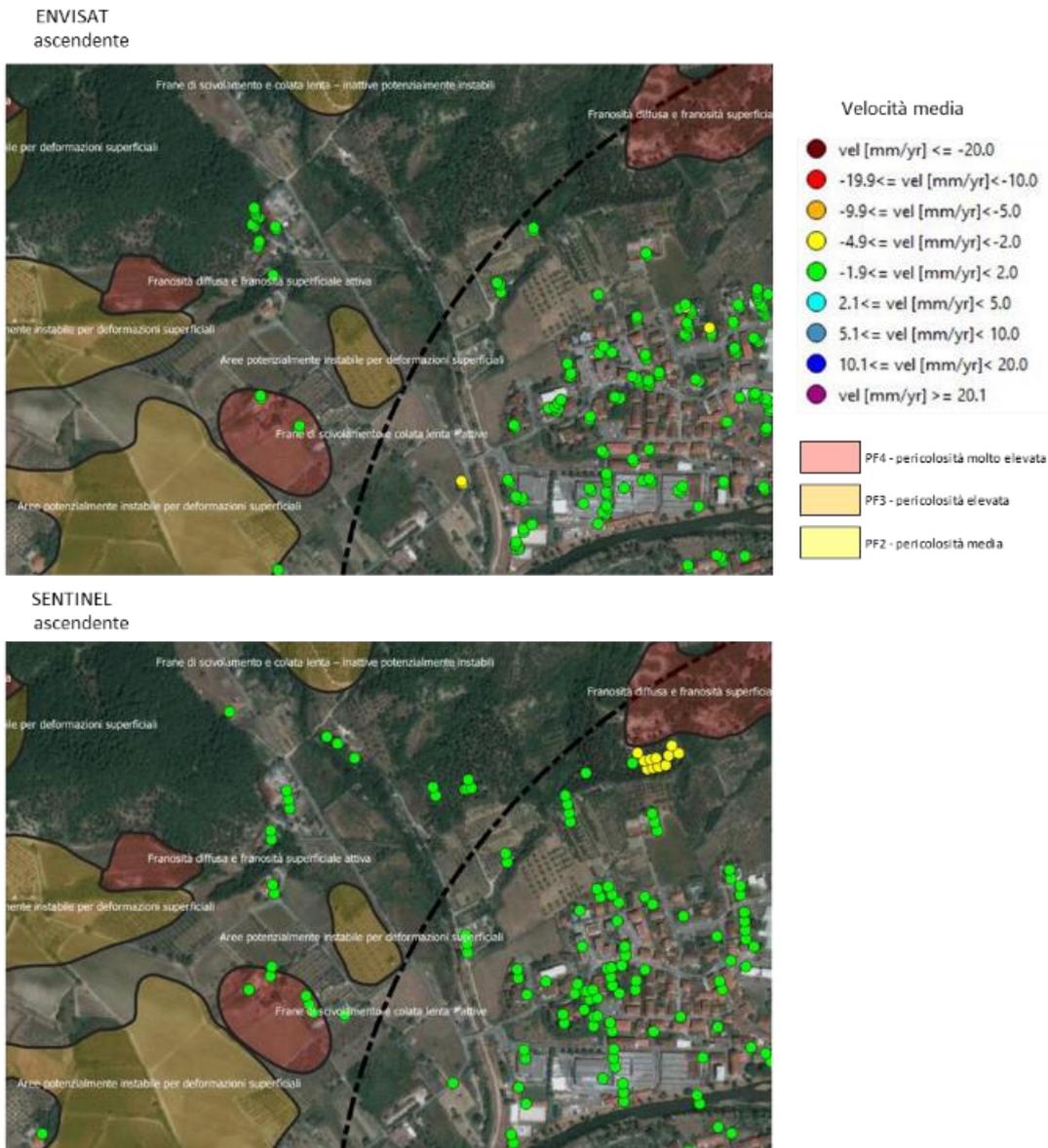


Figura 9-19 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della area potenzialmente instabile per franosità superficiale (FD2) e pericolosità geomorfologica elevata (P3a) e della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) - traiettoria ascendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.		MANDANTI ETIPIA ENERGIA VALLE D'AGOSTO	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 72 di 123
							Data 02/2024

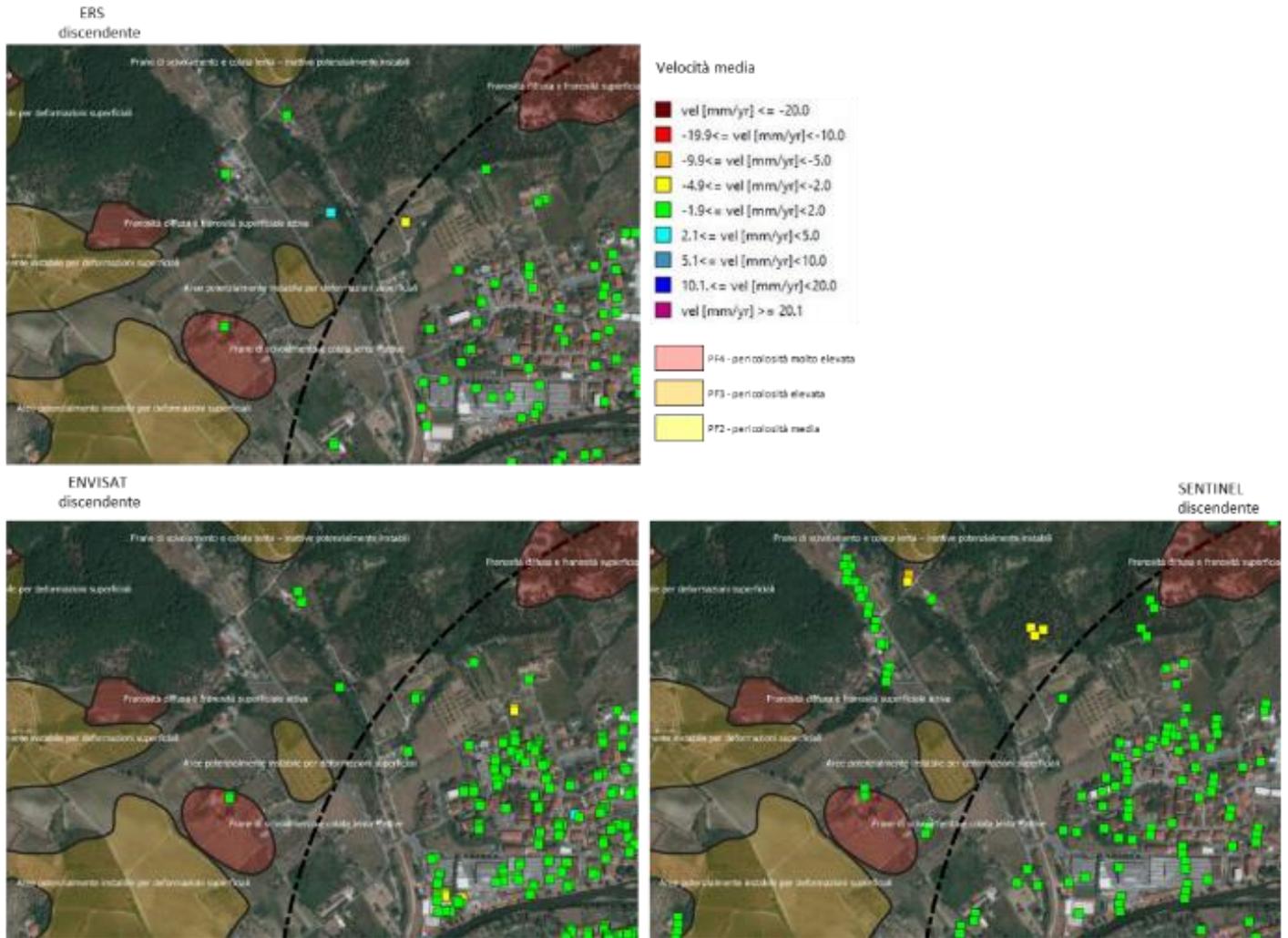


Figura 9-20 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della area potenzialmente instabile per franosità superficiale (FD2) e pericolosità geomorfologica elevata (P3a) e della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) - traiettoria discendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA VA ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	B	73 di 123
			Data 02/2024	

9.4.2.4 Tratto tra le p.k. 2+300 e 2+600 circa:

Premesso che in questo tratto lo sviluppo del progetto è completamente in sotterraneo (galleria naturale di Montebonello), si segnala la presenza di un'area a *franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3)*, ubicata tra le p.k. 2+300 e 2+600 circa, corrispondente all'area che inviluppa i tornanti della strada comunale che sale da Montebonello alla località La Croce, dove in ogni caso la galleria presenta una copertura di oltre 80 m e dove il substrato roccioso è costituito dalla successione *Marne di Galiga (GLG) - Siltiti di Poggiolo Salaiole - Litofacies arenacea (PLOa) - Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*. In quest'area i valori di velocità dei PS disponibili (Sentinel discendente) non indicano una particolare attività, rimando compresi tra -1.9 e 2 mm/anno (area stabile). Si assiste invece ad un aumento della velocità dei punti con valori compresi tra -4.9 e -2 mm/anno (Sentinel ascendente) poco al di fuori dell'areale (a SO), a monte del cimitero di Montebonello.

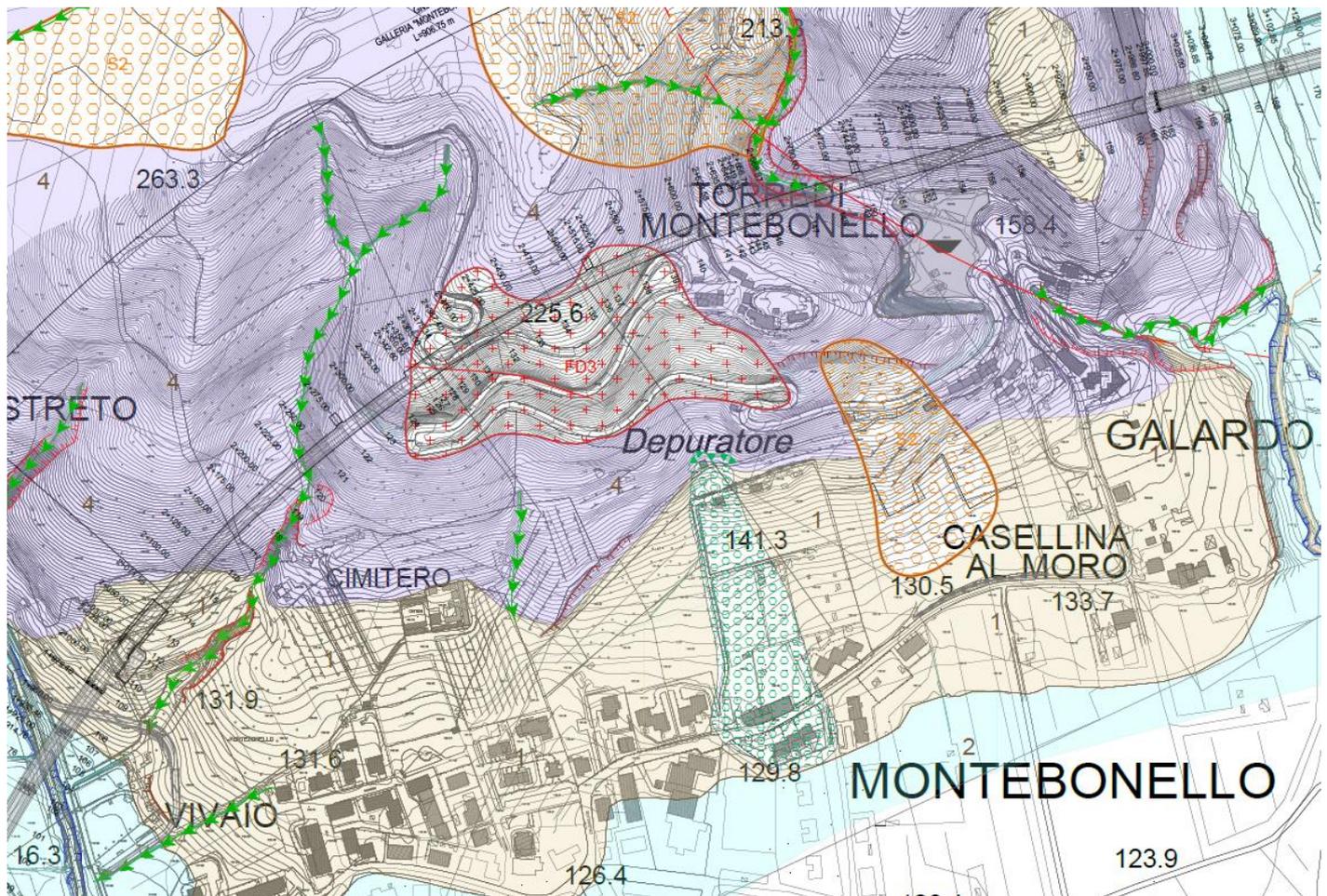


Figura 9-21 – Area a *franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3)* a pericolosità geomorfologica molto elevata (P4)

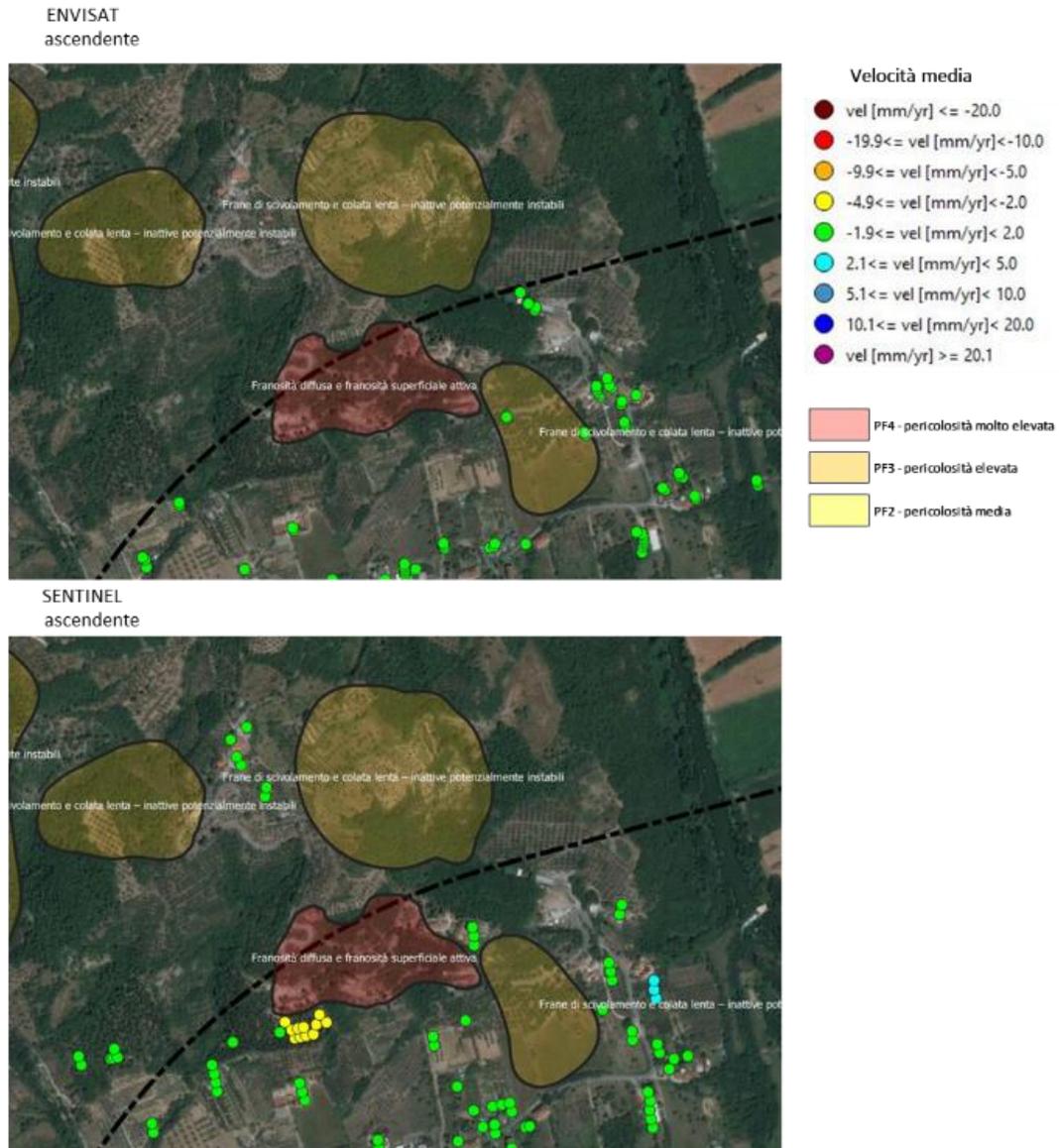


Figura 9-22 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'area a fransità diffusa e fransità superficiale attiva (FD3) a pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) – traiettoria ascendente



Figura 9-23 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'area a franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3) a pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) – traiettoria discendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AGOSTO	sinèrgo	D_VA DVisionArchitecture
				Data
				02/2024

9.4.2.5 Rotatoria di Svincolo in loc. Scopeti (fine tracciato)

Il tratto coincide con lo sviluppo finale del tracciato di progetto, coincidente con la rotatoria stradale già in esercizio. A nord della rotatoria, non interferente con il tracciato in progetto, è presente un'area indicata dal PAI come *conoide mista detritico-alluvionale* (CON1), a *pericolosità media* (P2), occupata attualmente perlopiù da insediamenti industriali. Nell'area della conoide la quasi totalità dei numerosissimi PS presenti mostrano valori di velocità rimangono perlopiù compresi nell'intervallo tra -1.9 e 2 mm/anno (Envisat e Sentinel ascendente e discendente), indicando una sostanziale stabilità dell'area. Si registrano tuttavia anche alcuni (pochi) valori dei PS con valori compresi tra -2 e -4.9 mm/anno.

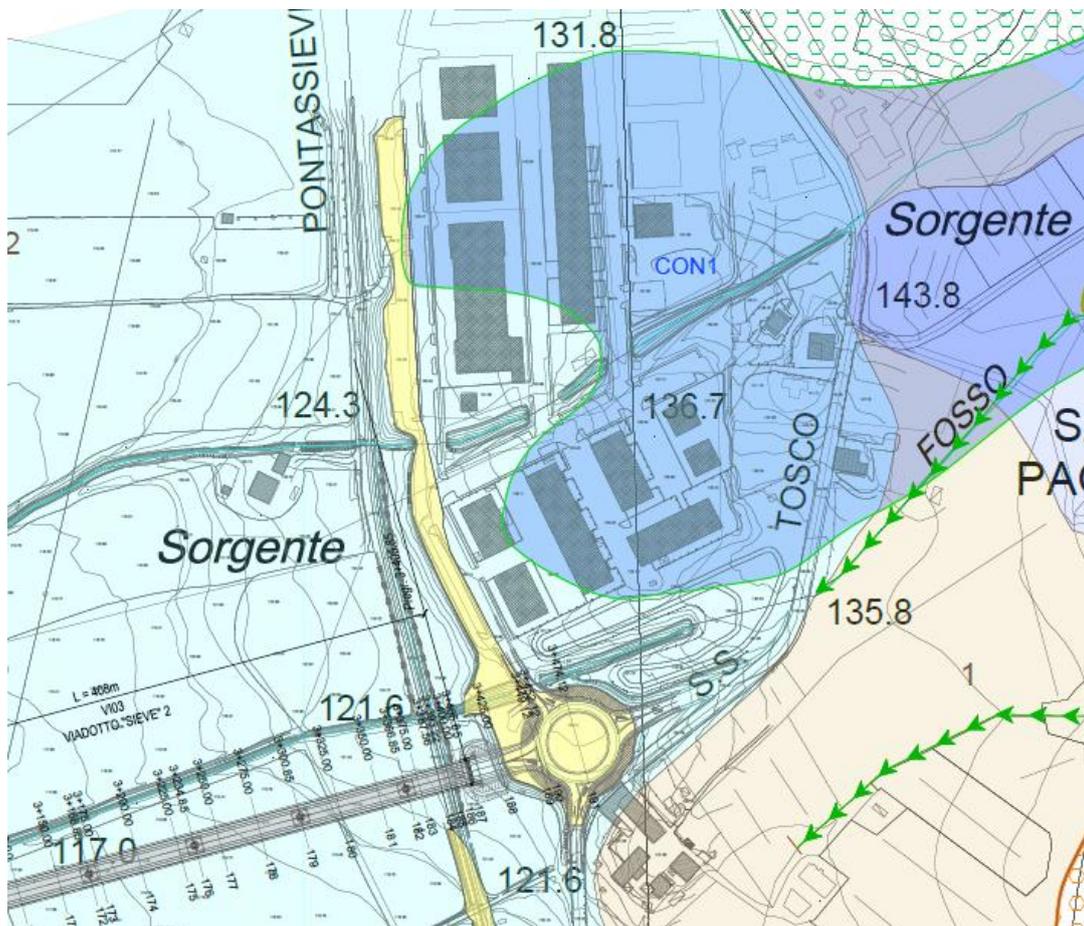
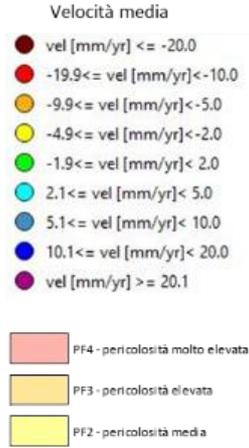


Figura 9-24 – Conoide mista detritico alluvionale (CON1) a pericolosità geomorfologica media (P2) a nord della rotatoria di Svincolo in loc. Scopeti

ENVISAT
ascendente



SENTINEL
ascendente



Figura 9-25 – Distribuzione dei punti PS (permanent scatterers) e i valori di velocità raggiunta nell'areale delle Conoidi miste detritico alluvionale (CON1). Pericolosità geomorfologica media (PF2) (da Ministero Ambiente e Tutela Territorio e Mare/ Regione Toscana)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI VIVA ENERGIA VALLETTA AMBIENTE	sinèrgo	VA D VisionArchitecture
				Data 02/2024

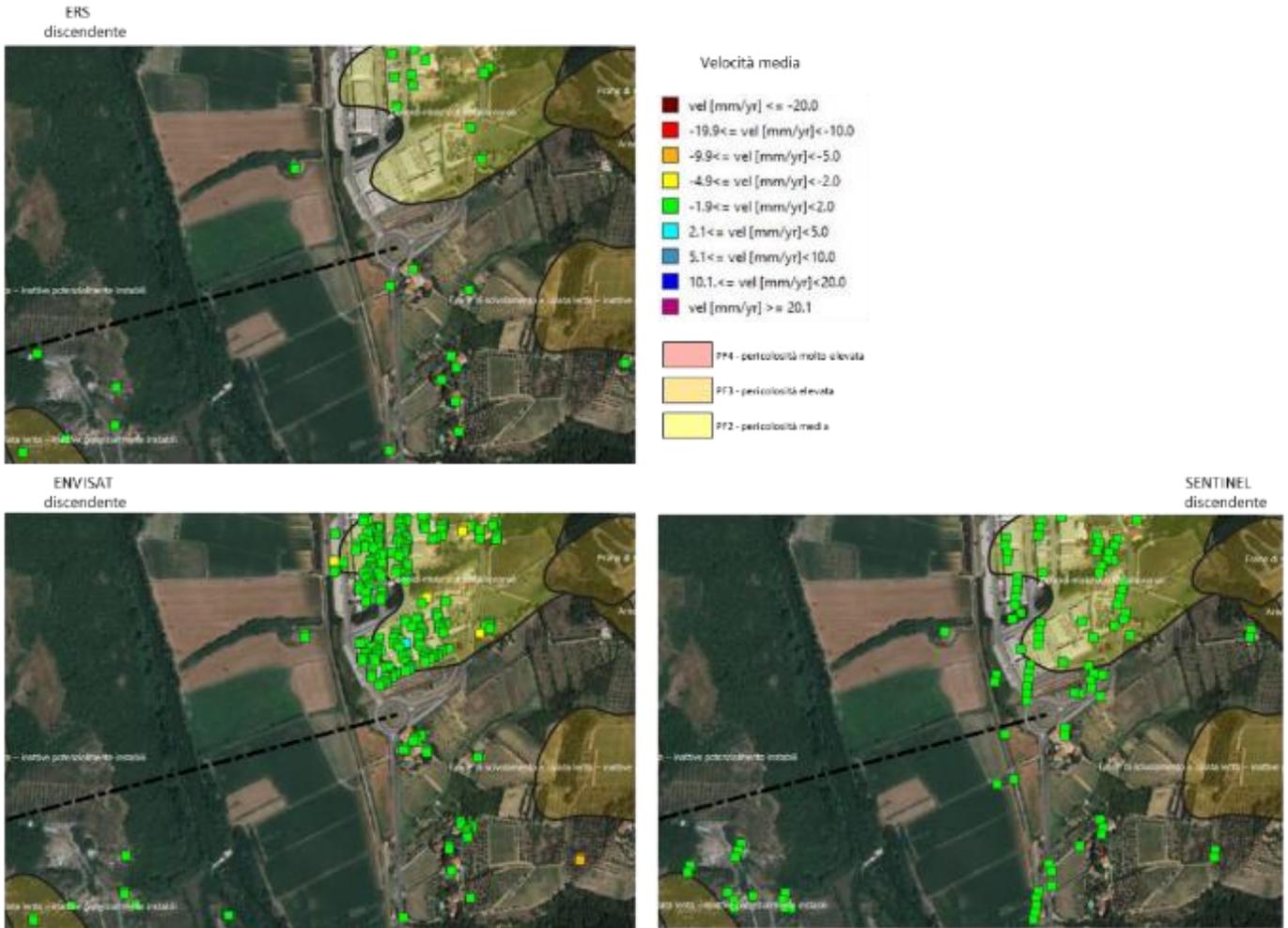


Figura 9-26 – Distribuzione dei punti PS (permanent scatterers) e i valori di velocità raggiunta nell'areale delle Conoidi miste detritico alluvionale (CON1). Pericolosità geomorfologica media (PF2) (da Ministero Ambiente e Tutela Territorio e Mare/ Regione Toscana)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA 	MANDANTI   	B	79 di 123
			Data 02/2024	

9.5 Analisi fotointerpretativa stereoscopica e rilievo geomorfologico

Una volta esaminata tutta la documentazione di cui ai punti precedenti (IFFI, Banca Dati geomorfologica, PAI Bacino del Fiume Arno, Progetto di Piano PAI . Dissesti geomorfologici, Dati interferometrici Geoportale Nazionale e Regione Toscana), è stata eseguita un'analisi fotointerpretativa stereoscopica delle immagini aeree relative al volo eseguito per la realizzazione della base aerofotogrammetrica di progetto dell'infrastruttura, seguita da un rilievo geomorfologico di campagna, eseguito in contemporanea con il rilievo geologico delle unità affioranti di cui al capitolo 5 della presente relazione.

Tale attività ha consentito di verificare morfologia e stato di attività dei dissesti indicati nella cartografia degli Enti e di riconoscere tutte le altre forme legate sia all'azione della gravità, sia legate allo scorrimento delle acque superficiali, sia legate a processi di natura antropica. La cartografia di tali forme e processi è rappresentata nella **Carta geomorfologica in scala 1:2000 (3 tavv.)** allegata al progetto.

9.5.1 Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio

Tra le forme e depositi dovuti all'azione della gravità sono state rappresentate tutte le frane indicate dal PAI a cui è stata aggiunta una frana relitta presente a monte dell'abitato di Montebonello, bene individuabile dalla fotointerpretazione stereoscopica.

Per tutti i dissesti è stata mantenuta la distinzione, indicata dal *Progetto di Piano PAI "Dissesti geomorfologici"*, in *frane di scivolamento e colata lenta e franosità diffusa e superficiale*, suddivise in *attive, inattive potenzialmente instabili e inattive stabilizzate*. Per tali dissesti è stata indicata anche la loro classificazione in base alla pericolosità assegnata dal PAI (*PF4/ P4 - molto elevata, PF3/P3a - elevata, PF2/P2 - media*).

Dalla fotointerpretazione e dai controlli di campo sono invece stati riconosciuti numerosi *orli di scarpata in erosione*, tendenzialmente *attivi*, e *orli di scarpata/rotture di pendio, inattivi*.

9.5.2 Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque

Le forme più comuni legate allo scorrimento delle acque sono senz'altro gli *orli di scarpata di erosione fluviale o torrentizia*, le forme di *erosione lineare ed alvei in approfondimento*, entrambi riconosciuti dalla fotointerpretazione e poi verificati in sito.

E' stata riconosciuta anche un'area *calanchiva* in corrispondenza del Fosso della Fornace, tributario destro del T. Argomena, impostata su un affioramento molto tettonizzato del *Membro di Montalto (FAL3)* delle *Arenarie del Monte Falterona* (Unità tettonica Falterona), al contatto con il sovrascorrimento delle unità subliguri delle Argille di Canétole (ACC).

Infine, sono state cartografiate le due *conoidi miste detritico-alluvionali* indicate dal PAI, ubicate rispettivamente in prossimità dell'inizio e della fine del tracciato di progetto della variante.

9.5.3 Forme e depositi antropici

Sono stati cartografati i principali *depositi antropici*, costituiti dai rilevati stradali o ferroviari, dai rilevati d'argine e dai terrapieni in corrispondenza di aree edificate.

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE 01-GEO-RE 09</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI</p> <p> EITZIA s.r.l. <small>ENERGIA VALLE D'AOSTA</small></p> <p> sinèrgo <small>ENERGIA</small></p> <p> VA <small>DVisionArchitecture</small></p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>80 di 123</p> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
---	--	-----------------------------	---

Tra le principali forme riconosciute sono stati indicati gli *orli di scarpata di origine antropica*, presenti in corrispondenza di *aree di cava dismesse* (a monte di Montebonello), di sezioni stradali e ferroviarie in trincea, di sezioni di scavo a monte di zone edificate.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 81 di 123
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

10 ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Il modello idrogeologico proposto si basa sull'attribuzione del grado di permeabilità a ciascuna delle unità dei depositi di copertura e delle unità litostratigrafiche individuate (cfr. **Figura 10-1**). Esso è correlato principalmente alle caratteristiche granulometriche o alla natura litologica delle unità geologiche. Si distingue infatti una permeabilità primaria per porosità da una secondaria per fratturazione, ottenendo rispettivamente unità idrogeologiche dei depositi quaternari da quelle degli ammassi rocciosi, che in questo caso hanno origine prevalentemente torbiditica.

Sulla base delle caratteristiche granulometriche dei depositi di copertura e delle caratteristiche litologiche delle unità di substrato, sono state definite le seguenti unità idrogeologiche, alle quali è stato attribuito il seguente grado di permeabilità.

Inoltre, in base ai risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei depositi di copertura e delle prove di permeabilità Lugeon eseguite nelle unità di substrato nel corso della campagna di indagini 2021-2022 sono stati definiti i range dei coefficienti di permeabilità caratteristici di ogni unità.

	Unità' Idrogeologiche	Unità' Geologiche	Grado di permeabilità, k [m/s]			
			Molto Alto - Alto	Medio	Basso	Molto Basso
			1E-03 ÷ 1E-04	1E-05 ÷ 1E-06	1E-06 ÷ 1E-07	1E-07 ÷ 1E-08
Permeabilità primaria per porosità	Unità' Idrogeologica 1 - UI1	Depositi alluvionali in evoluzione (b1)				
	Unità' Idrogeologica 2 - UI2	Depositi alluvionali terrazzati (bn), rilevati antropici (h)				
	Unità' Idrogeologica 3 - UI3	Depositi di versante, coltre eluvio-colluviale (b2)				
Permeabilità secondaria per fratturazione	Unità' Idrogeologica 4 - UI4	Arenarie di M. Senario (SEN), Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), Marne di Galiga (GLG), Arenarie di M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3)				
	Unità' Idrogeologica 5 - UI5	Argille e calcari del Canetolo (ACC)				

Figura 10-1 – Unità idrogeologiche dell'area di progetto

La ricostruzione del modello idrogeologico del tracciato dell'infrastruttura in progetto è stata eseguita non solo in base alle informazioni derivanti dai rilievi e dalle indagini eseguite ma anche dalla documentazione reperita presso gli Enti, con particolare riferimento alla *Carta Idrogeologica e di Vulnerabilità degli Acquiferi* allegata allo studio geologico-tecnico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione di Comuni del Valdarno e Valdisieve (Pontassieve, Londa, Pelago, Rufina e San Godenzo), che riporta una ricostruzione, anche se parziale, delle curve isofreatiche nei depositi alluvionali della Sieve, ripresa nella **Carta idrogeologica in scala 1:2000 (3 tavv.)** allegata al progetto.

Nella campagna di indagini 2021-2022 sono stati realizzati n. 22 piezometri distribuiti lungo tutto il tracciato che hanno consentito la ricostruzione del livello piezometrico da utilizzare per la progettazione dell'opera nei seguenti contesti:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	sinèrgo	VA D\VisionArchitecture
			B	82 di 123
			Data 02/2024	

- nei *depositi alluvionali* presenti nel tratto iniziale (Viadotto Sieve 1), nel tratto intermedio (Viadotto Argomenna) e nel tratto finale (Viadotto Sieve 2) del tracciato;
- nelle *unità di substrato siltitico marnose* attraversate in galleria (Galleria Montebonello);
- nelle *unità argillitiche e nei depositi frana* presenti in destra Sieve.

Le misure piezometriche sono state eseguite inizialmente, da maggio a novembre 2022, in modo non sistematico, ovvero man mano che venivano completate le installazioni dei piezometri; a partire da giugno 2023 è iniziata invece una campagna di misure sistematiche a cadenza mensile che si protrarrà per un anno (12 misure): ad oggi risultano disponibili le letture dei mesi di giugno (15/06/2023), luglio (25/07/2023) e agosto (31/08/2023).

Nella **Tabella 10-1** sono state riportate tutte le misure finora disponibili, a partire da maggio 2022.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati delle misure, con riferimento alla lettura di giugno 2023, il cui livello piezometrico è risultato più alto rispetto alle letture di luglio e agosto 2023. Il livello piezometrico relativo alla sola misura di giugno 2023 è stato quindi rappresentato nel **Profilo geologico asse principale – Scala 1:2000** e più in dettaglio nel **Profilo geotecnico asse principale – Scala 1:1000/200** (4 tavv). Nella **Figura 10-2** invece è stato riportato in modo schematico (la scala delle distanze non è reale perché i piezometri non sono posti a interasse costante) il livello relativo alle tre misure disponibili.

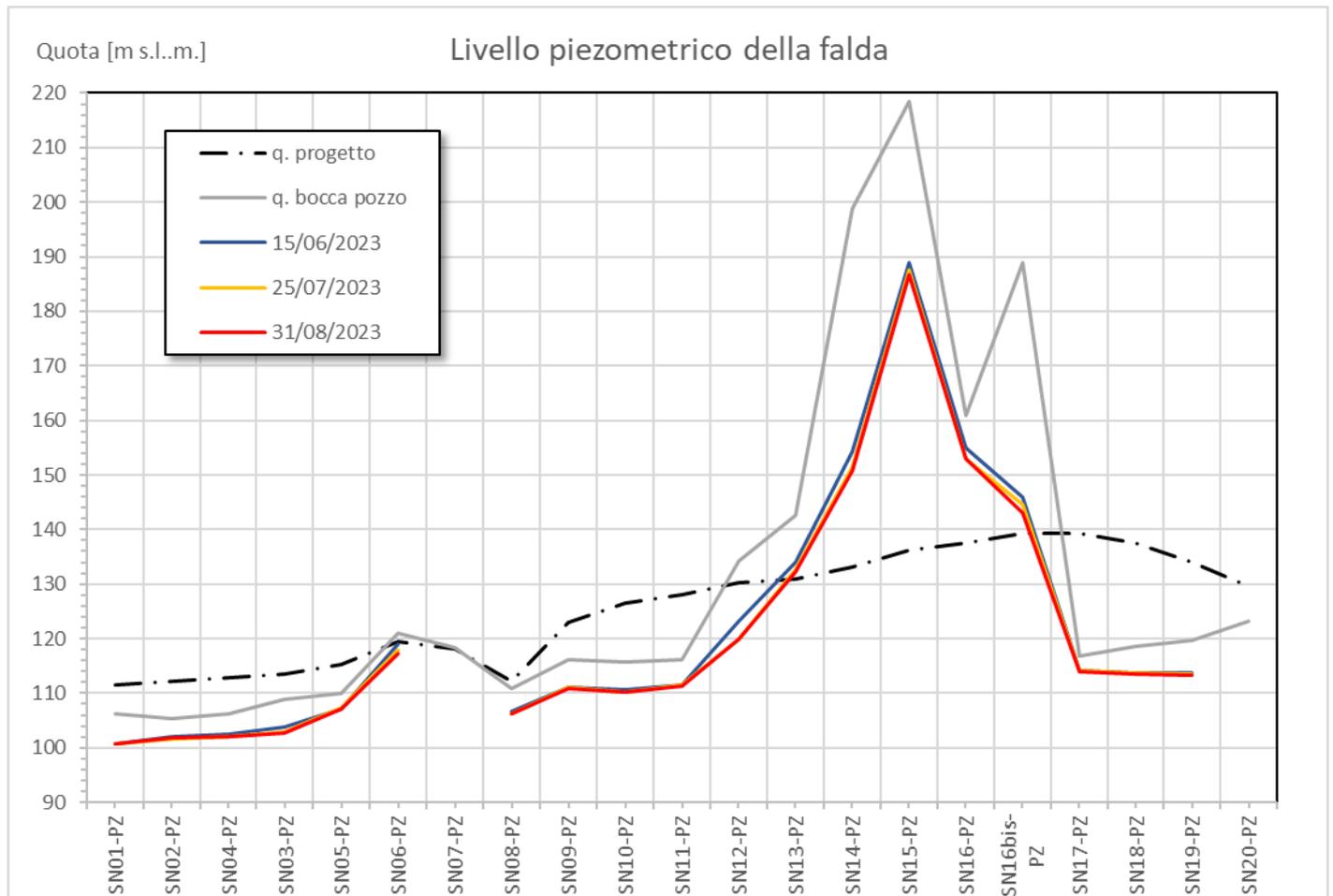


Figura 10-2 – Profilo schematico del livello piezometrico della falda lungo il tracciato

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 09	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

In sintesi, il modello idrogeologico proposto prevede che la maggior parte delle opere fondazionali e in particolare quelle dei viadotti (Viadotto Sieve 1, Viadotto Argomena e Viadotto Sieve 2) intersechino in superficie l'unità idrogeologica UI2, caratterizzata da una permeabilità media e uno spessore massimo di 8÷10 m.

I valori di soggiacenza misurati nel corso della recente campagna di indagini nei piezometri installati in corrispondenza dei viadotti in progetto (misure di giugno 2023), sono risultati pari a:

- Viadotto Sieve 1: 3÷5 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 101÷102 m s.l.m.;
- Viadotto Argomena: 4÷5 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 111 m s.l.m.;
- Viadotto Sieve 2: 3÷6 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 114 m s.l.m.

In profondità, al di sotto dell'unità idrogeologica superficiale, sono presenti le seguenti unità idrogeologiche di substrato (permeabilità per fratturazione):

- in corrispondenza del Viadotto Sieve 1, l'unità idrogeologica UI5, costituita dalle *Argille e Calcari del Canétolo* (ACC) e caratterizzata da una permeabilità molto bassa;
- in corrispondenza del Viadotto Argomena, l'unità idrogeologica UI4, costituita dalle *Marne di Galiga* (GLG) e dalle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO), a permeabilità bassa;
- in corrispondenza del Viadotto Sieve 2, l'unità idrogeologica UI4, costituita dalle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO), caratterizzata da una permeabilità bassa.

Per quanto riguarda la galleria Montebonello, gli ammassi rocciosi attraversati dalla sezione di scavo in sotterraneo (galleria naturale) intersecano ammassi rocciosi caratterizzati da una permeabilità secondaria per fratturazione, appartenenti all'unità idrogeologica UI4 (*Siltiti di Poggiolo Salaiole*, PLO), caratterizzati da una permeabilità bassa.

Nel tratto in galleria sono stati installati n.5 piezometri a tubo aperto con un tratto fenestrato da 15 m posto a cavallo della quota della galleria, tratto risultato sempre in corrispondenza dell'ammasso roccioso costituito dall'unità delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO). Il livello piezometrico della falda è risultato avere una soggiacenza minima di 6 m (circa quota 155 m s.l.m.) nel piezometro SN16-PZ ubicato nell'impluvio appena a nord della ex cava, a cui corrisponde il tratto con la minima copertura (circa 10 m) in galleria, e un massimo piezometrico nel piezometro SN-15 (soggiacenza di 29.6 m) con una quota di 188.9 m s.l.m.

Si segnala infine la presenza di due sorgenti naturali di contatto per permeabilità, rinvenute rispettivamente a quota 225 m s.l.m. in località La Croce (cfr. **Figura 10-3**) e quota 140 m s.l.m. in località Via dell'Argomena (cfr. **Figura 10-4**), entrambe piuttosto distanti dall'asse di scavo della galleria (a 180 m e a 400 m rispettivamente). I valori di portata misurati nella stagione estiva sono risultati 3 l/min (S1) nel primo caso e 0,25 l/min (S2) nel secondo.

La distribuzione delle unità idrogeologiche nell'area di progetto e l'ubicazione di tutti punti d'acqua riconosciuti è riportata nella **Carta idrogeologica in scala 1:2000 (3 tavv.)** allegata al progetto.

Variante di Rufina

Misure del livello piezometrico della falda

Sondaggi	Quota bocca pozzo	prof. da bocca pozzo [m]																		
		10/05/2022	16/05/2022	25/05/2022	06/06/2022	08/06/2022	22/06/2022	14/07/2022	15/07/2022	31/08/2022	02/06/2022	16/09/2022	28/09/2022	11/10/2022	26/10/2022	21/11/2022	25/11/2022	15/06/2023	25/07/2023	31/08/2023
SN01-PZ	106,179			4,93			5,30											5,45	5,38	5,40
SN02-PZ	105,421														3,75			3,40	3,72	3,70
SN04-PZ	106,116														4,07			3,75	4,10	4,00
SN03-PZ	108,761																4,10	4,86	5,95	6,00
SN05-PZ	110,024																2,50	2,82	2,79	2,96
SN06-PZ	121,066															3,10		2,15	3,25	3,76
SN06bis-PZ	145,111																	0,57	0,80	1,00
SN07-PZ	118,368																	-	-	-
SN08-PZ	110,928						4,66	4,95										4,25	4,80	4,77
SN09-PZ	116,063			4,70			9,77	8,30										4,90	5,00	5,10
SN10-PZ	115,766	5,17				5,08	5,14	5,10										5,05	5,65	5,50
SN11-PZ	116,068		4,90	4,60			4,94	4,94										4,48	4,60	4,80
SN12-PZ	134,333			12,00			12,04	12,52										11,05	14,35	14,37
SN13-PZ	142,574				8,80		9,27	9,97										8,68	9,85	10,35
SN14-PZ	198,802											31,10						44,50	47,30	48,10
SN15-PZ	218,525										26,47							29,63	31,00	31,75
SN16-PZ	160,898							7,10										6,00	8,00	7,97
SN16bis-PZ	188,861								46,00									42,85	44,30	45,80
SN17-PZ	116,895												2,83					2,80	2,83	2,97
SN18-PZ	118,56												4,88					4,75	4,90	5,00
SN19-PZ	119,761													6,25				6,10	6,37	6,40
SN20-PZ	123,137							4,50										-	-	-

Sondaggi	Quota bocca pozzo	quota [m]																		
		10/05/2022	16/05/2022	25/05/2022	06/06/2022	08/06/2022	22/06/2022	14/07/2022	15/07/2022	31/08/2022	02/06/2022	16/09/2022	28/09/2022	11/10/2022	26/10/2022	21/11/2022	25/11/2022	15/06/2023	25/07/2023	31/08/2023
SN01-PZ	106,179			101,25			100,88											100,73	100,80	100,78
SN02-PZ	105,421														101,67			102,02	101,70	101,72
SN04-PZ	106,116														102,05			102,37	102,02	102,12
SN03-PZ	108,761																104,66	103,90	102,81	102,76
SN05-PZ	110,024																107,52	107,20	107,23	107,06
SN06-PZ	121,066															117,97		118,92	117,82	117,31
SN06bis-PZ	145,111																	144,54	144,31	144,11
SN07-PZ	118,368																	-	-	-
SN08-PZ	110,928						106,27	105,98										106,68	106,13	106,16
SN09-PZ	116,063			111,36			106,29	107,76										111,16	111,06	110,96
SN10-PZ	115,766	110,60				110,69	110,63	110,67										110,72	110,12	110,27
SN11-PZ	116,068		111,17	111,47			111,13	111,13										111,59	111,47	111,27
SN12-PZ	134,333			122,33			122,29	121,81										123,28	119,98	119,96
SN13-PZ	142,574				133,77		133,30	132,60										133,89	132,72	132,22
SN14-PZ	198,802											167,70						154,30	151,50	150,70
SN15-PZ	218,525										192,06							188,90	187,53	186,78
SN16-PZ	160,898							153,80										154,90	152,90	152,93
SN16bis-PZ	188,861								142,86									146,01	144,56	143,06
SN17-PZ	116,895												114,07					114,10	114,07	113,93
SN18-PZ	118,56												113,68					113,81	113,66	113,56
SN19-PZ	119,761													113,51				113,66	113,39	113,36
SN20-PZ	123,137							118,64										-	-	-

Tabella 10-1 - Misure del livello piezometrico della falda

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 85 di 123
							Data 31/03/2022

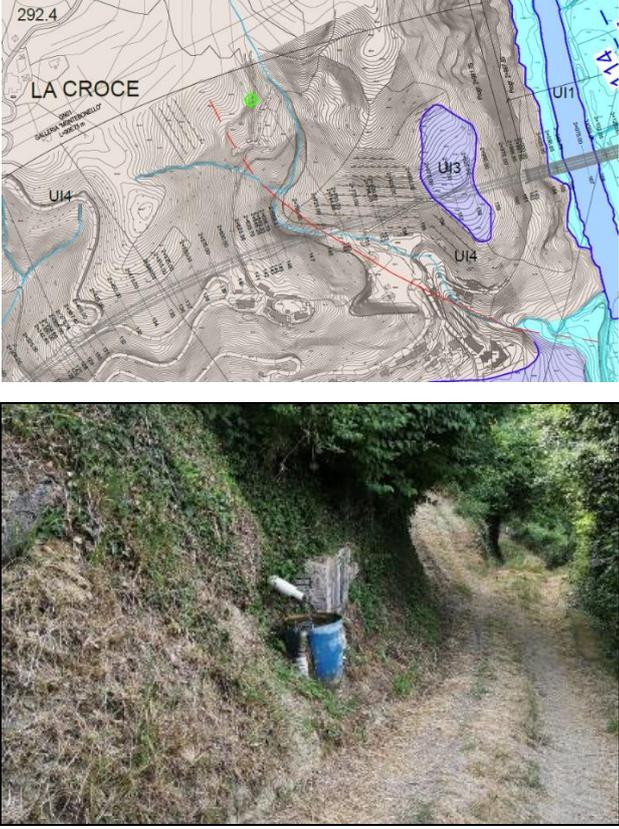


Figura 10-3 – Carta Idrogeologica e posizione della sorgente S1 (circolo verde)



Figura 10-4 – Carta Idrogeologica e posizione della sorgente S2 (circolo rosso)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORIA AMBIENTE	 sinèrgo	A
			Data 31/03/2022	

11 SISMICITÀ DELL'AREA

11.1 Zonazione sismogenetica

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Come è possibile verificare dalla **Figura 11-1**, la zona in esame, facente parte del complesso dell'Appennino settentrionale e centrale, risulta all'interno della **zona 915**, nella fascia tirrenica, caratterizzata da eventi di magnitudo moderata.

La fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise veniva indicata come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale e corrisponde ad un settore interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche (cfr. anche **punto 11.3**). In tale fascia, rientra anche la zona 915. Tale zona, rispetto alle successive 919 e 923, pur avendo al suo interno le aree della Garfagnana, Lunigiana e del Mugello, appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiore. Analogamente, la zona 916, subito adiacente alla 915 e che coincide con il settore di distensione tirrenica definito dal modello sismotettonico di Meletti et al. (2000), è anch'essa zona caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo elevati.

In sostanza, l'intero settore tirrenico è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Pancastagnaio 1919).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE D'ARNO	sinèrgo	A 87 di 123
			Data 31/03/2022	

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

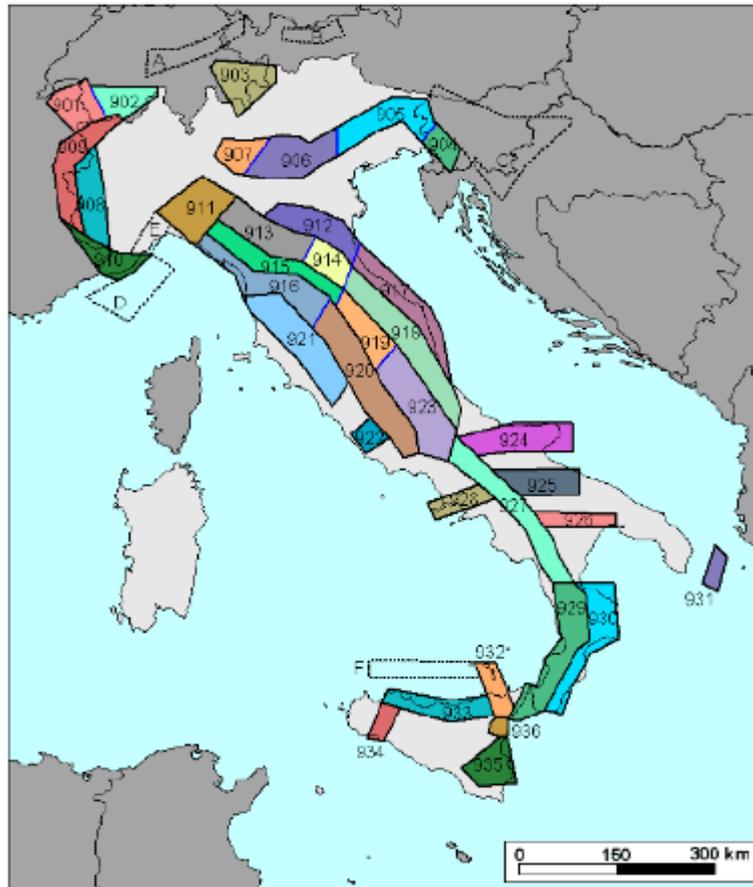


Figura 11-1 - Carta Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

11.2 Sismicità storica e classificazione sismica comunale

Il Database Macrosismico Italiano *DBMI15 v.3.0* è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti.

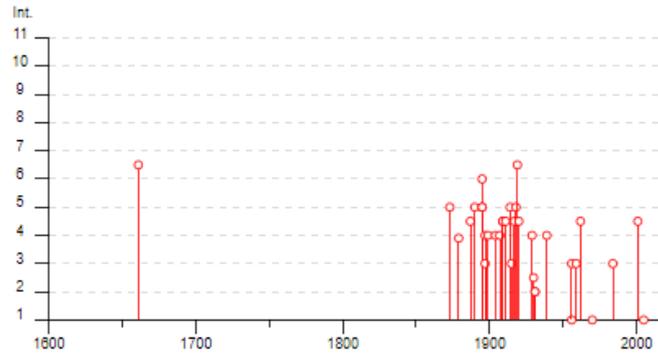
In particolare, la **Figura 11-2** mostra la storia sismica del Comune di Pontassieve dal 1600 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 6-7.

La **Figura 11-3** mostra la storia sismica del Comune di Rufina dal 1600 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 7-8.

La **Figura 11-4** mostra invece l'epicentro dell'ultimo terremoto registrato, di magnitudo $M_w = 6.38$ compreso nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani *CPTI15 v.3.0*, ubicato nella Toscana centrale e che è stato risentito nei comuni prossimi al tracciato e in particolare il Comune di Rufina.

Pontassieve

PlaceID IT_45471
 Coordinate (lat, lon) 43.775, 11.441
 Comune (ISTAT 2015) Pontassieve
 Provincia Firenze
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 35

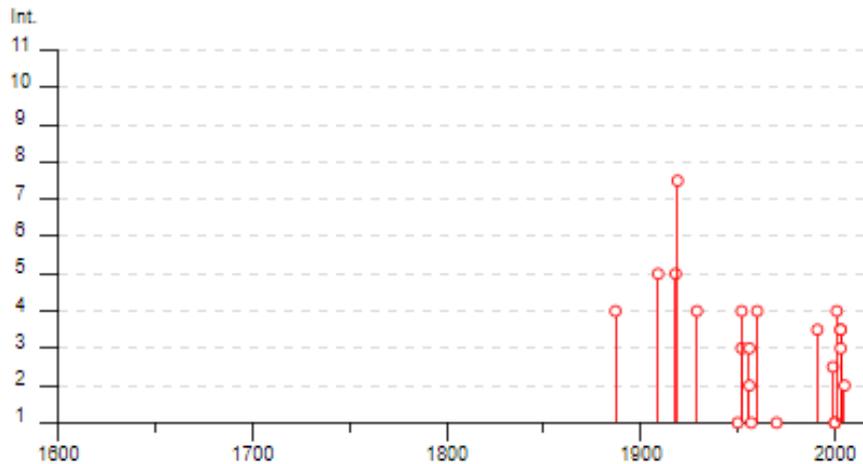


Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1661	03	22	12	30		Appennino forlivese	79	9	6.05
5	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85
F	1879	04	27	04	06		Appennino tosco-emiliano	20	7	5.03
4-5	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47
5	1890	02	15	02	35	0	Valdelsa	12	5	4.52
6	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
5	1895	06	06	00	35	0	Fiorentino	29	5-6	4.55
5	1895	10	25	00	24	5	Chianti	36	5-6	4.51
4	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
3	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
4	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
4	1907	12	20	10	29	1	Chianti	35	6	4.44
4-5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4-5	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
4-5	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
3	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
4-5	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
5	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
6-7	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4-5	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96
2-3	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
2	1931	09	05	01	25	5	Mugello	28	6	4.88
2	1931	12	15	03	23		Mugello	35	6	4.62
4	1939	02	11	11	17		Mugello	31	7	5.01
NF	1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99
3	1959	03	24	10	24		Fiorentino	28	7	4.85
4-5	1962	09	16	14	49	4	Chianti	19	6	4.54
NF	1970	02	09	07	39		Appennino forlivese	30	5-6	4.50
3	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
4-5	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Figura 11-2 – DBMI15: catalogo storico dei sismi in Comune di Pontassieve

Rufina

PlaceID IT_45605
 Coordinate (lat, lon) 43.822, 11.485
 Comune (ISTAT 2015) Rufina
 Provincia Firenze
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 22



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
7-8	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96
NF	1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69
3	1952	07	04	20	35	1	Appennino forlivese	64	7	4.94
4	1952	12	02	06	13	2	Appennino forlivese	53	5	4.42
3	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99
2	1956	06	03	01	45	5	Appennino forlivese	62	6	4.51
NF	1957	04	30	06	05	0	Alta Valtiberina	57	5	4.23
4	1960	10	29	00	08	3	Mugello	69	7	4.91
NF	1970	02	09	07	39		Appennino forlivese	30	5-6	4.50
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
2-3	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
4	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
3-4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese	63	5-6	4.50
3-4	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
3	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
2	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Figura 11-3 – DBMI15: catalogo storico dei sismi in Comune di Rufina

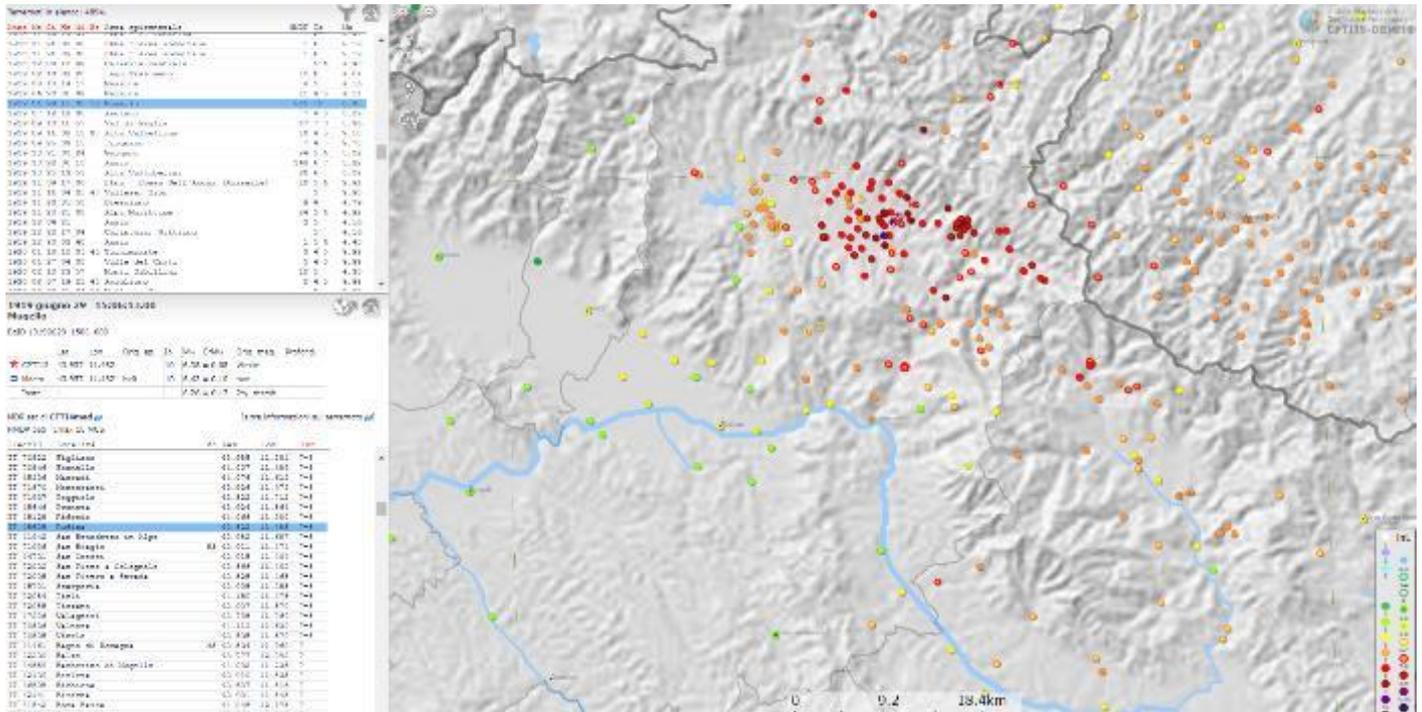


Figura 11-4 – CPTI15: dati relativi al terremoto in loc. Mugello del Giugno 1919

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Toscana 2014 (cfr. Allegato 1 alla D.G.R. Toscana n. 421 del 26-05-2014 in attuazione dell'Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008) il Comune di Pontassieve risulta classificato in **Zona 3** mentre il Comune di Rufina risulta classificato in **Zona 2** (cfr. **Figura 11-5**).



Figura 11-5 – Regione Toscana - Stralcio della mappa di classificazione sismica comunale con evidenziati i comuni di Pontassieve e Rufina

Da quanto sopra riportato è ragionevolmente possibile classificare il sito in esame come avente **sismicità media**.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EIVVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'ARNO  sinergo s.p.a.	 VA DDivisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 91 di 123
				Data 31/03/2022	

11.3 Microzonazione sismica

È stata consultata la cartografia delle MOPS dei comuni di Pontassieve e Rufina (FI), messa a disposizione dal Piano Strutturale Intercomunale (PSI) dell'unione dei Comuni Valdarno e Valdisieve.

Da tali cartografie, riportate come stralci nelle figure sottostanti, è stato possibile identificare le microzone omogenee che caratterizzano la quasi totalità del tracciato, ad eccezione del tratto che va dal Viadotto Sieve 1 all'imbocco sud della Galleria Montebonello, ricadenti in aree del comune di Pontassieve non analizzate in prospettiva sismica e dunque non associate ad alcuna microzona omogenea. I terreni coinvolti dalla realizzazione del tracciato vengono assimilati a diverse zone stabili suscettibili di amplificazione locale, mediante classificazione del territorio a "Microzone Z", corrispondenti ad aree con affioramento di determinati litotipi eventualmente coperti alla sommità da terreni di copertura.

Nella **Figura 11-6** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione iniziale del tracciato, fino all'innesto con il Viadotto Sieve 1. In particolare, la rotatoria dello svincolo Masseto interessa la microzona Z5 (2005), corrispondente ad affioramento di substrato con alternanza di litotipi stratificati a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limosi variabili tra 3 e 10 m. Il tratto successivo non è stato analizzato in prospettiva sismica ma in un intorno abbastanza contenuto della zona viene rinvenuta la microzona Z10 (2010), corrispondente ad affioramento di substrato lapideo stratificato a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limoso variabili tra 3 e 10 m.

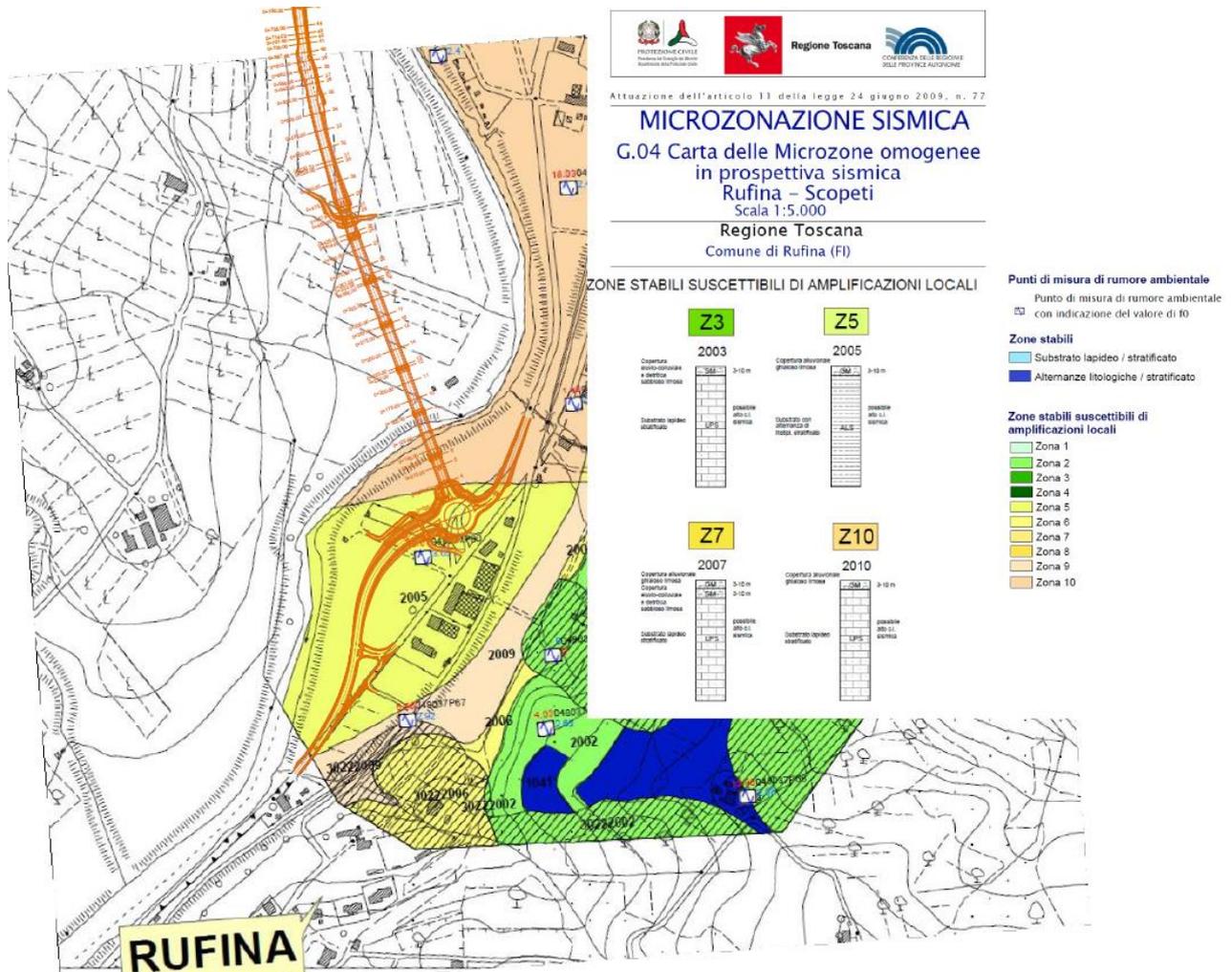


Figura 11-6 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Rufina) – inizio tracciato

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA ENERGIA VALLE ABBADIA sinèrgo D_VA D Vision Architecture	REV. A	FOGLIO 92 di 123
			Data 31/03/2022	

Nella **Figura 11-7** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione corrispondente alla futura realizzazione della Galleria Montebonello. In particolare, le microzone omogenee presenti lungo l'impronta di sviluppo dell'opera si alternano tra la Z18 (2018) caratterizzata da substrato lapideo stratificato con alternanza di litotipi ricoperti da depositi pleistocenici ghiaioso-limosi (5-20 m), la Z13 (2013) che identifica substrato stratificato con alternanza di litotipi ricoperto da spessori di alterazione dello stesso (3-10 m) a loro volta ricoperti da depositi alluvionali e detritici con spessori variabili tra 5 e 15 m, la Z4 (2004) che identifica substrato stratificato con alternanza di litotipi ricoperto da spessori di alterazione dello stesso (3-10 m), la Z1 (2001) caratterizzata da substrato lapideo stratificato con $i > 15^\circ$ e la Z10 (2010), quest'ultima solo parzialmente, che identifica substrato lapideo stratificato ricoperto da spessori variabili tra 5 e 15 m di depositi alluvionali ed eluvio-colluviali.

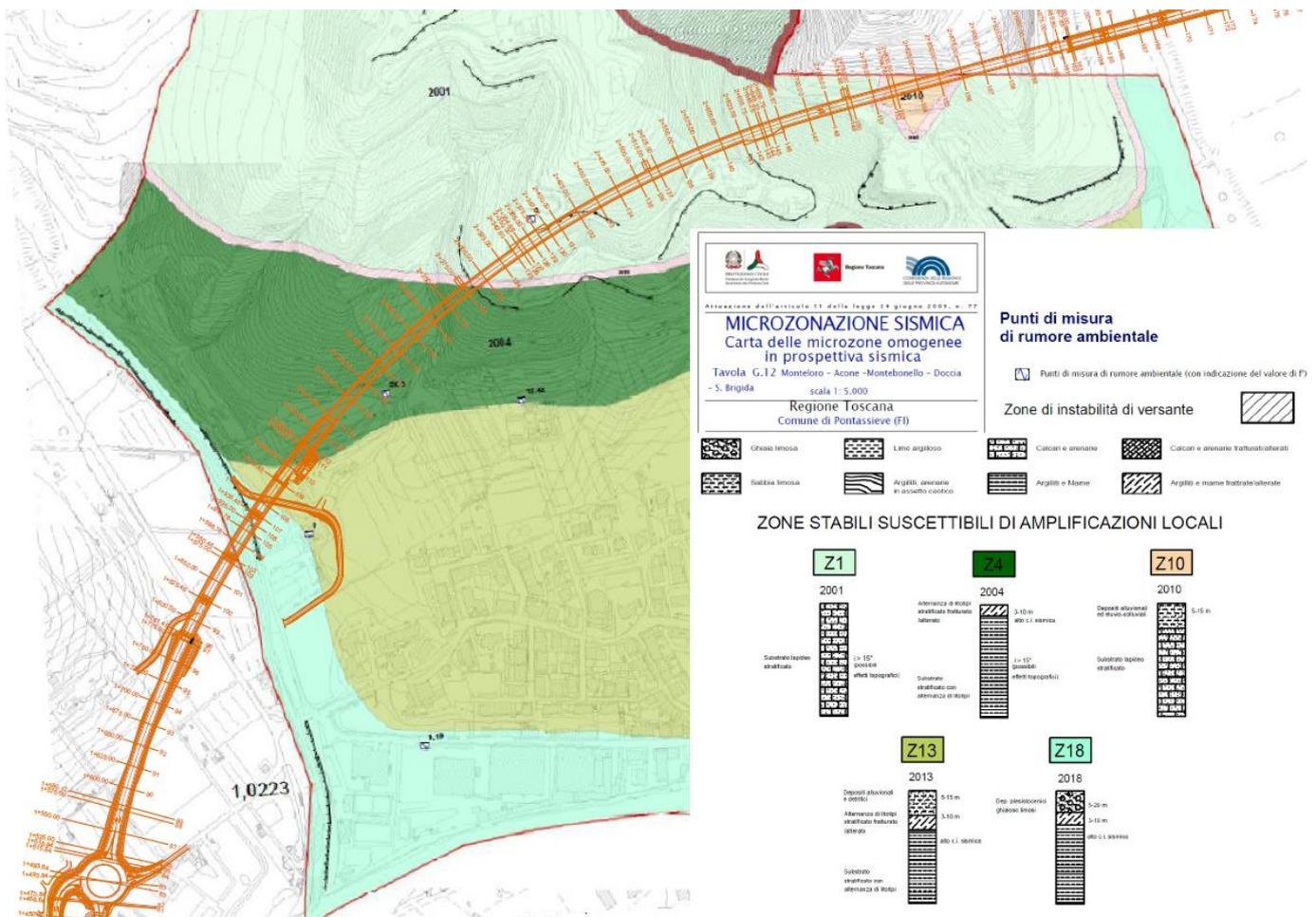


Figura 11-7 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Pontassieve) – Galleria Montebonello

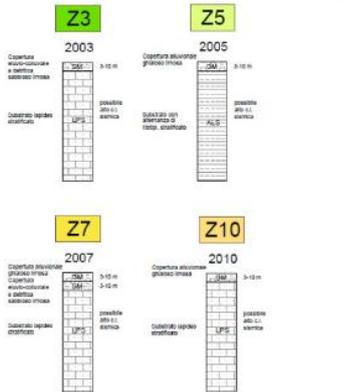
Infine, nella **Figura 11-8** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione di tracciato che va dalla futura realizzazione del Viadotto Sieve 2 alla rotatoria Scopeti di fine tracciato. In particolare, le microzone omogenee presenti lungo l'impronta di sviluppo dell'opera sono in sequenza la Z10 (2010), corrispondente ad affioramento di substrato lapideo stratificato a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limoso variabili tra 3 e 10 m, la Z7 (2007) che identifica substrato lapideo stratificato con coperture alluvionali ghiaioso-limose o eluvio-colluviali e detritico sabbioso-limose per spessori variabili tra 3 e 10 m, la zona Z3 (2003) che identifica substrato stratificato coperto da spessori di terreni eluvio-colluviali e detritico sabbioso-limosi per spessori variabili tra 3 e 10 m.



Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA
 G.04 Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica
 Rufina – Scopeti
 Scala 1:5.000
 Regione Toscana
 Comune di Rufina (FI)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Punti di misura di rumore ambientale

Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f_0

- Zone stabili**
- Substrato lapideo / stratificato
 - Alternanze litologiche / stratificato

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5
- Zona 6
- Zona 7
- Zona 8
- Zona 9
- Zona 10

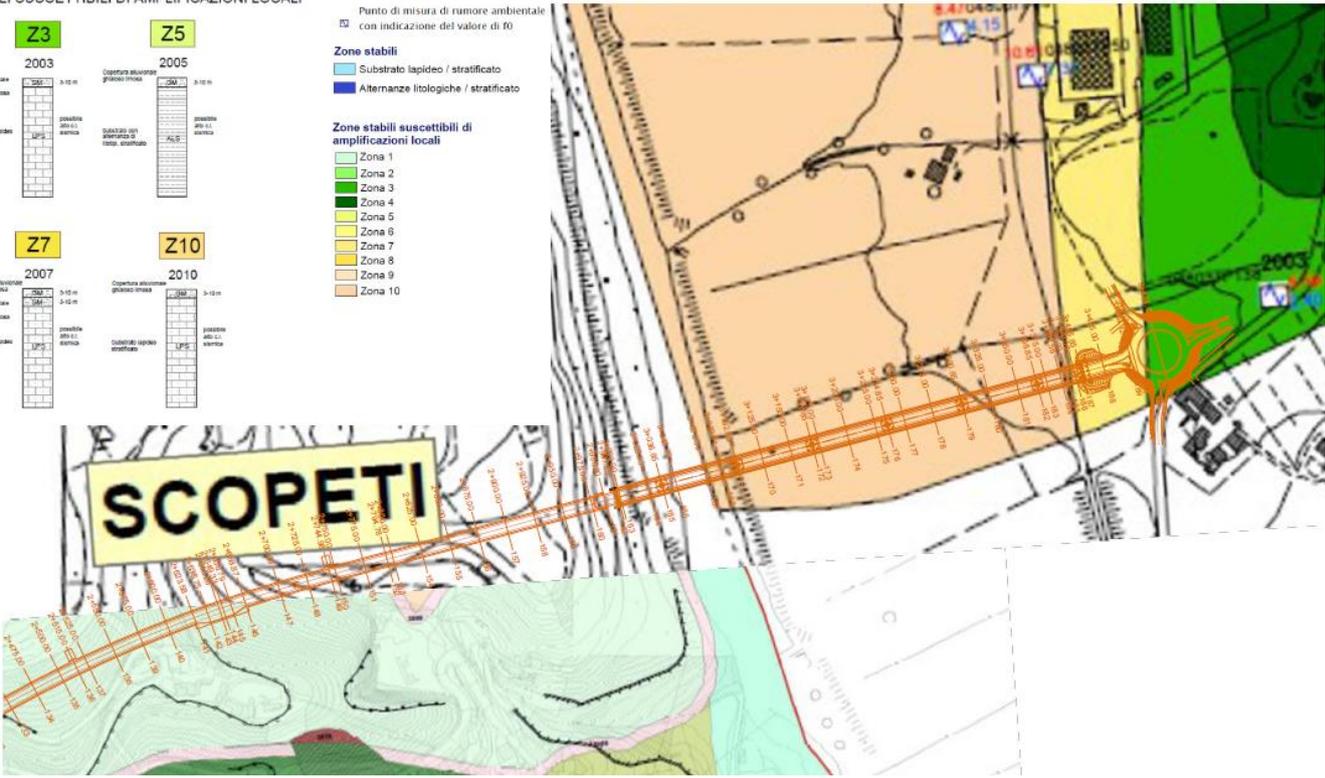


Figura 11-8 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Rufina, fraz. Scopeti) – Viadotto Sieve 2 e fine tracciato

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENEA ENERGIA VALORI AMBIENTE	sinèrgo	A
			Data 31/03/2022	

11.4 Strutture sismogenetiche

Facendo infine riferimento allo studio pubblicato dall'INGV (*Database of Individual Seismogenic Sources – versione 3.2.1*, pubblicata in Luglio 2016 e disponibile al seguente collegamento web: <http://diss.rm.ingv.it/diss/index.php/component/chronofoms5/?chronoform=DISS321>), è possibile verificare che sono presenti diverse strutture sismogenetiche, tra cui si riportano le più significative (cfr. **Figura 11-9** e **Figura 11-10**).

La prima struttura, classificata secondo DISS3 come *ITSD002* è corrispondente al sistema di subduzione dell'Arco Nord-Appenninico, che attraversa sostanzialmente tutta la regione lungo l'appennino in direzione NW-SE e che comprende il sistema sismogenetico *ITCS037 "Mugello Città di Castello-Leonessa"*, caratterizzato da magnitudo massime fino a 6.9. Il sistema *ITSD002*, ubicato a circa 5 km dall'intervento (cfr. **Figura 11-9**, zona identificata da segnaposto rosso), è in grado di produrre complessivamente sismi di magnitudo fino a 8.1 Richter e con profondità della superficie variabile tra 12 e 20 km. La seconda struttura, classificata da DISS3 come *ITDS015 Prato-Fiesole Fault System*, ha direzione NW-SE ed è ubicata ad ovest dell'intervento attraversando i comuni di Prato e Firenze. Tale struttura è identificata come "debated seismogenic sources", per cui non risultano ad oggi disponibili dettagli numerici a riguardo.

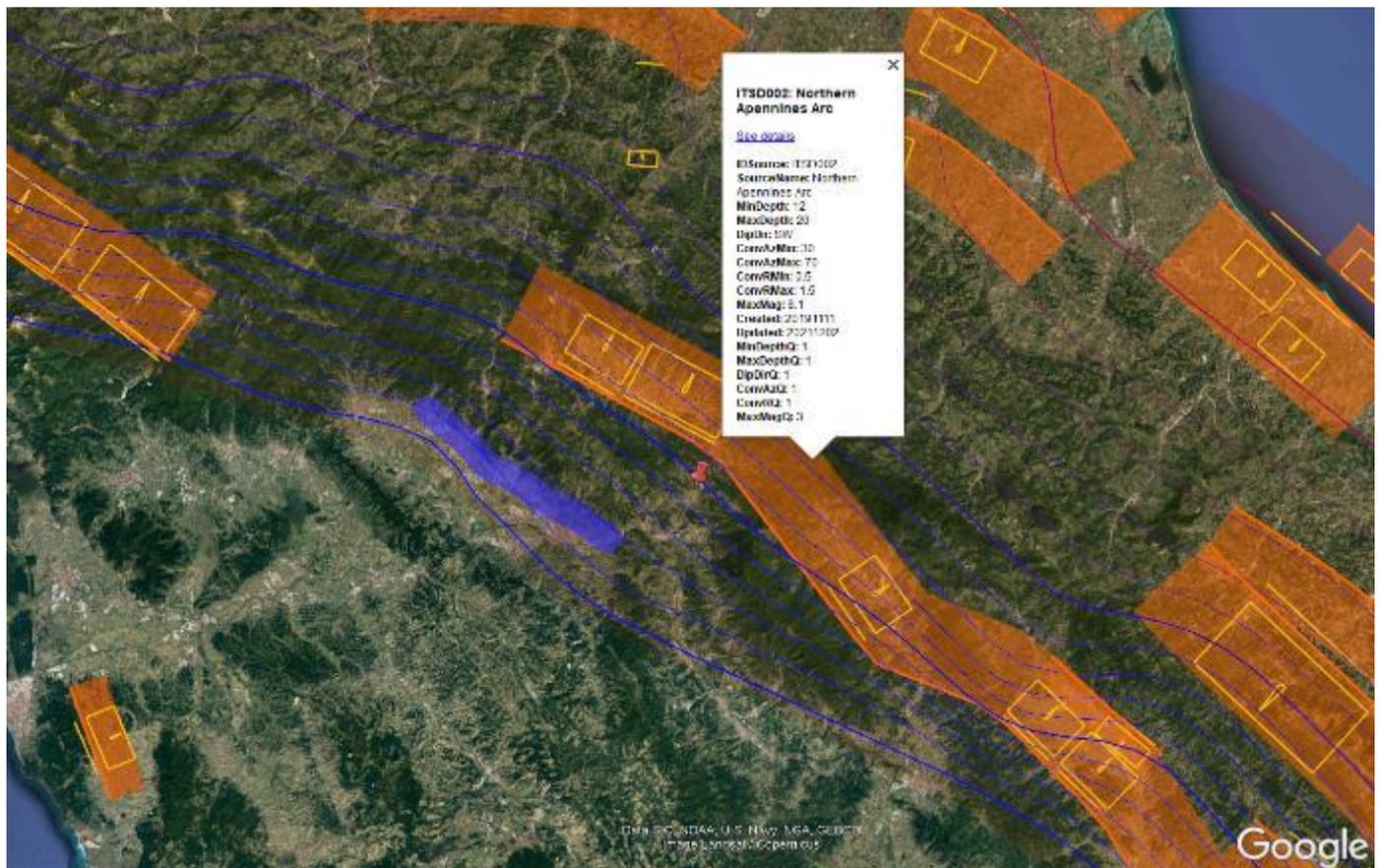


Figura 11-9 - INGV – DISS 3.2.1 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: dettaglio ITSD002 (il segnaposto rosso identifica il sito in esame)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo DVISIONArchitecture	A	95 di 123
			Data 31/03/2022	



Figura 11-10 - INGV – DISS 3.2.1 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: dettaglio ITDS015 (il segnaposto rosso identifica il sito in esame)

11.5 Faglie capaci

La consultazione del database “Ithaca – Catalogo delle faglie capaci”, possibile al link di collegamento <http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html> ha consentito di verificare che non ci sono faglie capaci interferenti con l’area attraversata dalle diverse proposte di tracciato (cfr. **Figura 11-11**) e che la struttura più vicina, corrispondente alla faglia normale del *Valdarno System*, è ubicata a più di 5 km dall’area di intervento.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIVA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 31/03/2022



Figura 11-11 – ITHACA – Stralcio catalogo faglie capaci: nel cerchio verde la zona interessata dall'infrastruttura

11.6 Azione sismica di base per il progetto

11.6.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	A	97 di 123
			Data 31/03/2022	

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		PVR0: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

11.6.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $C_U = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

11.6.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F^0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	 sinèrgo	A
			Data 31/03/2022	

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F_0 e T^*_c per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici a_g agli SLV, ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls", disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp/>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e dei punti più significativi in corrispondenza delle principali opere d'arte maggiori.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	A	99 di 123
			Data 31/03/2022	

Comune	Zona sismica	Opera	ag [SLV; TR=949]
Rufina	2 [ag=0.216]	<i>Inizio tracciato</i>	0,207
Pontassieve	3 [ag=0.183]	<i>Viadotto 1 - Spalla Nord</i>	0,208
		<i>Rotatoria</i>	0,210
		<i>Viadotto 2 - Spalla Nord</i>	0,220
		<i>Galleria - Imbocco Sud</i>	0,220
		<i>Galleria</i>	0,222
		<i>Galleria - Imbocco Nord</i>	0,223
Rufina	2 [ag=0.216]	<i>Viadotto 3 - Spalla Nord</i>	0,224
		<i>Fine tracciato</i>	0,224

I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento $V_R=100$ anni.

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi a fine tracciato, che forniscono, per l'area in esame, i valori di a_g più elevati. In particolare, si riportano di seguito i valori dei parametri sismici a_g , F_0 e $T^*_{c(s)}$ ricavati mediante il programma "Spettri NTC ver.1.0.3.xls" da utilizzare in fase progettuale:

Fine tracciato (11.498576- 43.837345)

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0	$T^*_{c(s)}$
SLO	60	0,079	2,461	0,272
SLD	101	0,098	2,441	0,278
SLV	949	0,224	2,377	0,303
SLC	1950	0,280	2,409	0,314

11.7 Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro & Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in *magnitudo* e *distanza (M-R)*, che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M .

Il processo di disaggregazione in $M-R$ fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, per effettuare tale analisi viene messo a disposizione il sito "<http://esse1-gis.mi.ingv.it>", dell'INGV, dove è possibile eseguire l'analisi di disaggregazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 31/03/2022

In particolare, all'interno del sito, è possibile compilare il "modello di pericolosità sismica MPS04-S1", dove dovranno essere riportati il comune oggetto d'indagine o le coordinate, la probabilità di accadimento di un sisma in 50 anni (indicando il valore più vicino al tempo di ritorno prossimo a quello di progetto) e il percentile, che corrisponde a "50" ai sensi delle NTC 2018. In questo modo è possibile avviare il software e ottenere i valori di magnitudo-distanza $M-R$ con relativa probabilità di accadimento.

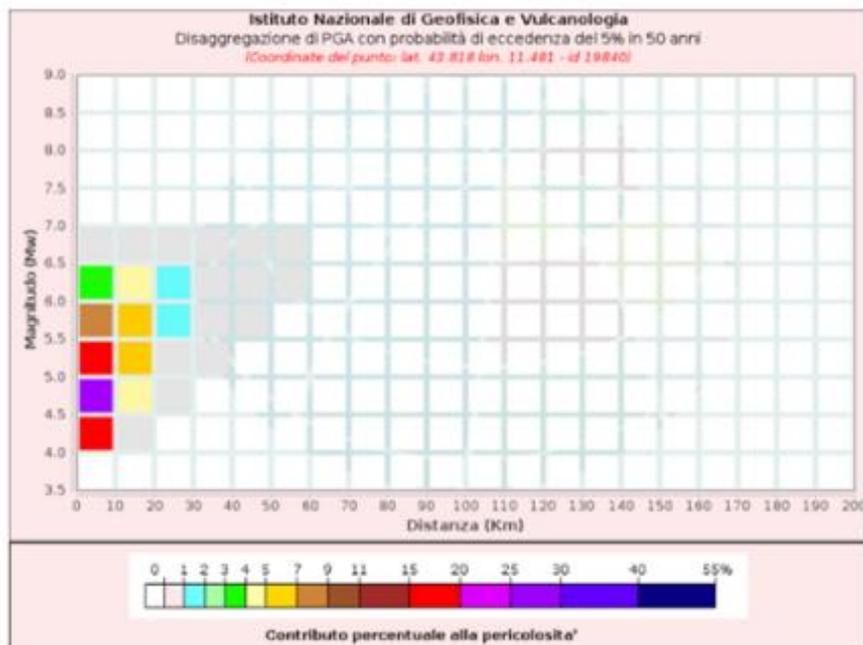
Nel caso dell'infrastruttura in oggetto, sono stati inputati i seguenti dati:

- Coordinate di fine tracciato: Lon. 11.498576; Lat. 43.837345;
- Valore vita di riferimento $V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni
- Valore tempo di ritorno prossimo a quello di progetto (ovvero $T_r = 949$): $T_r = 975$, corrispondente alla probabilità di accadimento del 5% in 50 anni

I dati di disaggregazione sismica risultanti, nel caso in oggetto, sono i seguenti (cfr. **Figura 11-12**):

- Magnitudo (M) compresa tra 4.5 e 5.5 Mw
- Distanza (R) compresa tra 0 e 10 km

da cui è stata ricavata la coppia magnitudo-distanza (M-R) con maggior probabilità di accadimento, corrispondente ai valori medi di magnitudo 5.1 Mw e distanza 7.8 km.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.818 lon. 11.481 - id 19840)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	16.0000	29.8000	17.6000	7.8000	3.8100	0.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.7730	4.1600	6.0800	5.2800	4.0000	0.6080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0004	0.4190	1.1800	1.2500	0.2410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.1670	0.2350	0.0596	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0347	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.11	7.77	1,28

Figura 11-12 – Risultati dell'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

11.8 Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche, in terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni sismiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

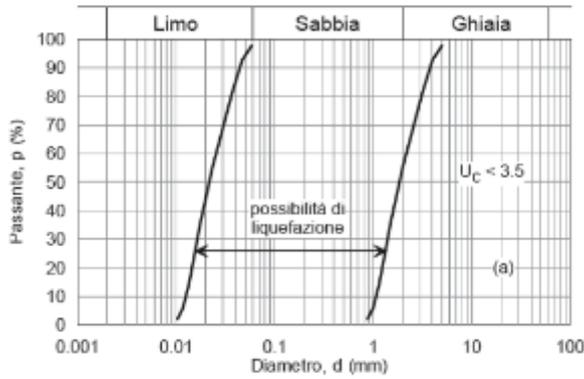
Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere dunque stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

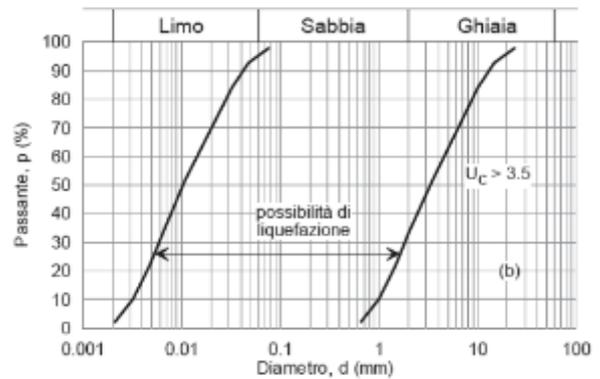
- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			A	102 di 123
			Data 31/03/2022	

- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



a)



b)

Dato il valore di accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, pari a 0.224 g, a prescindere dalle diverse conformazioni topografiche e categorie di sottosuolo (variabili tra A, B ed E), l'accelerazione massima risulta sicuramente superiore a 0.1 g.

La profondità della falda misurata nei diversi piezometri installati nei fori di sondaggio è risultata variabile tra 2-3 m e 7-8 m nelle unità terrigene, quindi inferiore a 15 m dal p.c.

Durante la perforazione dei sondaggi eseguiti nella recente campagna di indagini geognostiche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati dei terreni. Sui campioni indisturbati e rimaneggiati dei due sondaggi sono state eseguite analisi granulometriche complete (setacciatura e sedimentazione).

Di seguito viene riportato un grafico contenente le curve granulometriche dei terreni messe a confronto con i limiti di figura b) di cui sopra, validi per terreni con coefficiente di uniformità > 3.5 , com'è nel caso in esame.

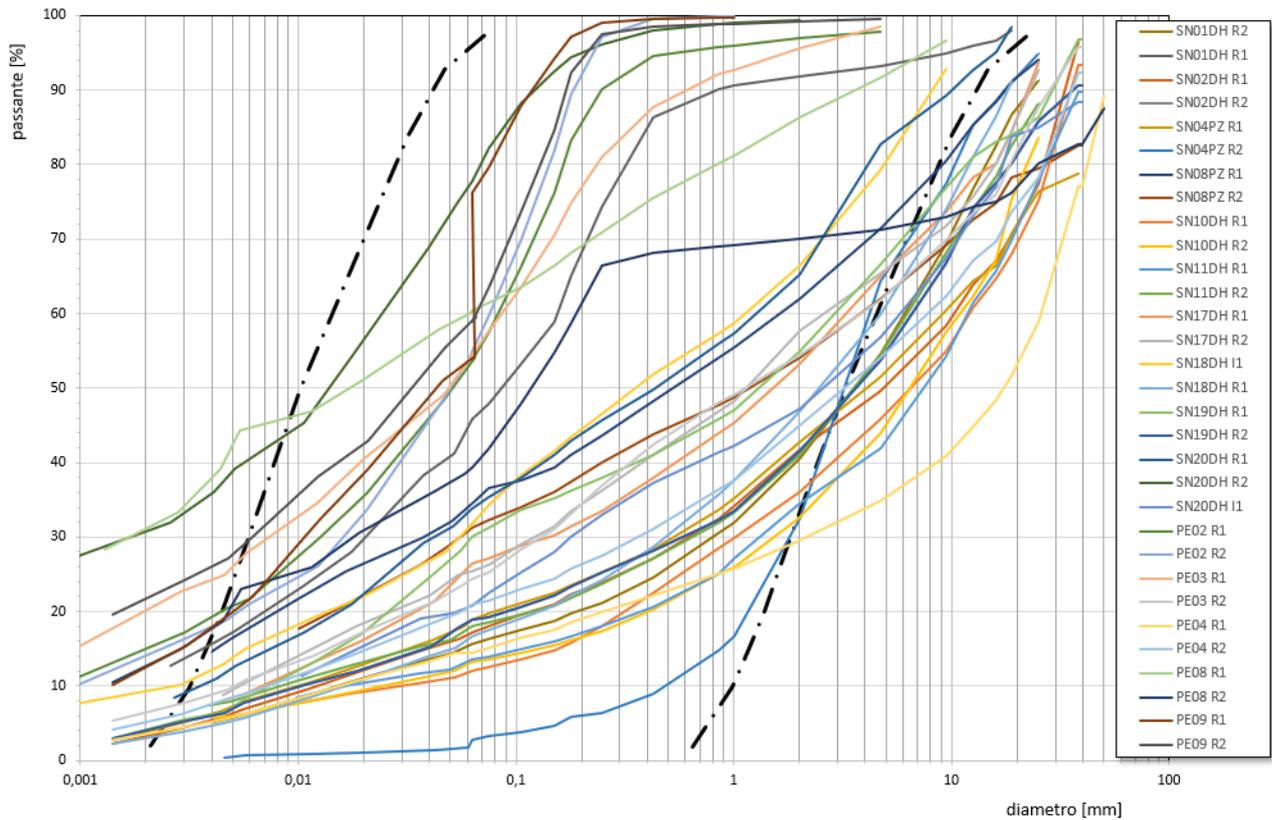


Figura 11-13 – Suscettibilità alla liquefazione: distribuzione granulometrica dei terreni

In particolare, è possibile verificare che la totalità dei campioni risulta avere una percentuale di materiale fine esterna al limite sinistro del fuso di riferimento, mediamente variabile tra 2% e 40%. I campioni con la più bassa percentuale di fine, in ogni caso, sono comunque rappresentativi degli orizzonti più prossimi al piano campagna e sostanzialmente oggetto di preventiva bonifica. Altresì, tutti i campioni con una bassa percentuale di materiale fine denotano di contro una discreta quantità di materiale esterno al limite di destra del fuso di riferimento e che lo rende, comunque, non suscettibile alla liquefazione.

Il valore di N_{SPT} nei sondaggi in cui sono stati rinvenuti i campioni con bassa percentuale di materiale fine, appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati, è risultato variabile tra 4 e rifiuto; con valori medi di circa 28.

Si può quindi affermare che, sulla base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE ASSOCIATI	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 104 di 123
					Data 31/03/2022	

12 ASPETTI E PROBLEMATICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DELLE SINGOLE OPERE

Di seguito, zona per zona, si descrive il modello geologico di riferimento per il progetto dell'infrastruttura 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. Tale modello è rappresentato perlopiù graficamente nel **Profilo geologico dell'asse principale in scala 1:2000**, nelle **Sezioni geologiche trasversali in scala 1:2000**, nella **Carta geologica di dettaglio in scala 1:2000 (3 tavv.)** e nella **Carta geomorfologica in scala 1:2000 (3 tavv.)**.

12.1 Svincolo Masseto SS67 (rotatoria) (da p.k. 0+000 a p.k. 0+050)

L'opera di svincolo sulla SS67 è composta da una rotatoria stradale in sostituzione dell'attuale incrocio canalizzato. Essa è ubicata a quota 106 m s.l.m. circa in sinistra idrografica del fiume Sieve. Il piano di imposta dei rilevati coincide con l'unità dei *depositi alluvionali terrazzati* (bn) (cfr. **Figura 12-1**) il cui spessore massimo, desumibile in base agli esiti delle indagini del 2021-2022, è compreso tra 8 e 9 m. Il valore di soggiacenza del livello piezometrico della falda, misurato nel vicino piezometro SN01-PZ nel corso della recente campagna di indagini (misura del 15/06/2023), è risultato pari a 5.45 m circa da bocca pozzo, corrispondente ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 100.7 m s.l.m.

Dal punto di vista della dinamica geomorfologica, non sono da segnalare dissesti direttamente interferenti con l'area dello svincolo.

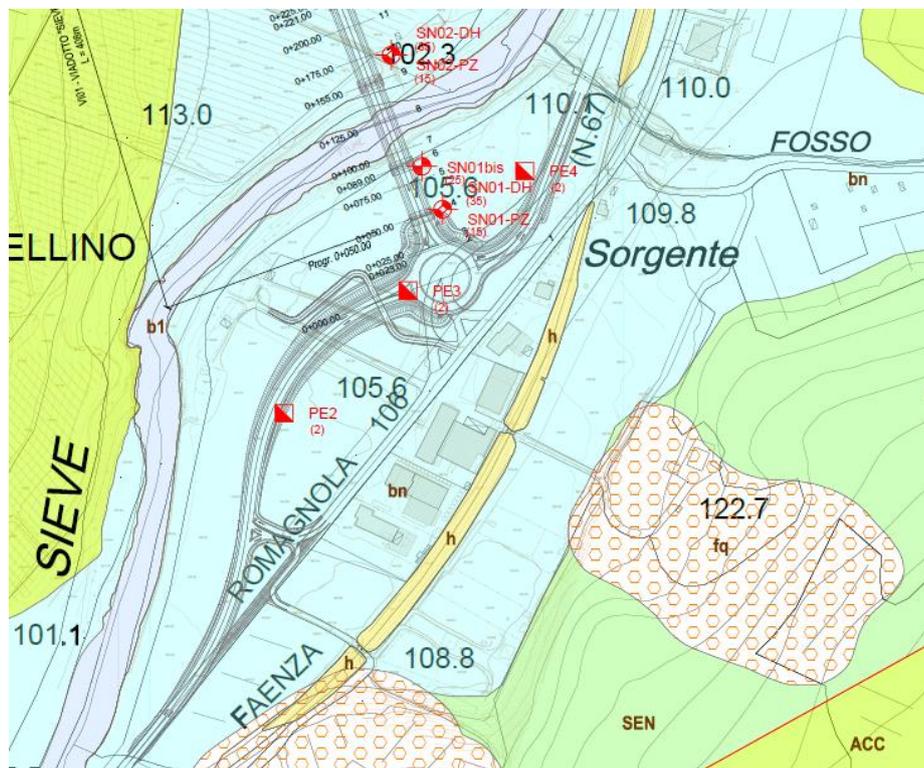


Figura 12-1 – Carta geologica di dettaglio dell'area della nuova rotatoria dello Svincolo Masseto S.S.67

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo VA D'VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 105 di 123
			Data 31/03/2022	

12.2 Viadotto Sieve 1, L = 408 m (da p.k. 0+050 a p.k. 0+458)

Il viadotto è un'opera di lunghezza pari a 408 m, costituita da 5 campate centrali di 66 m e due campate di riva di 39 m.

Le sottostrutture del viadotto sono costituite da 2 spalle e 6 pile, delle quali sia la Pila 1 (p.k. 0+089) che la Pila 2 (p.k. 0+155) sono ubicate in coincidenza degli orli di scarpate di erosione fluviale generate dalla dinamica recente del fiume Sieve, con un'altezza delle scarpate pari a circa 3÷4 m rispetto all'alveo attuale (cfr. **Figura 12-2**).

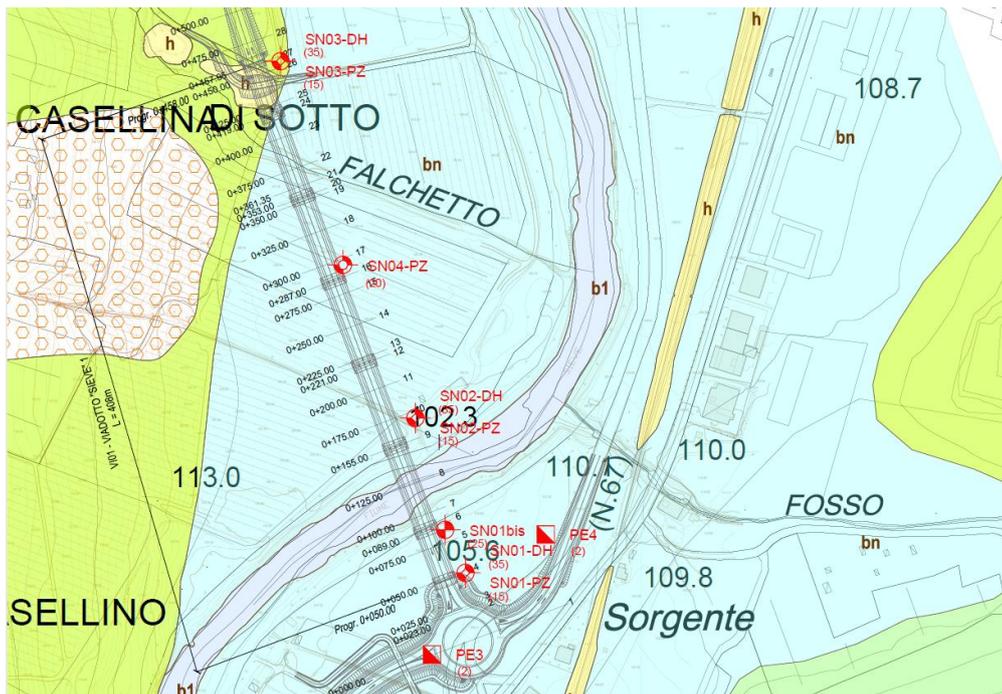


Figura 12-2 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Sieve 1

Dato che le sottostrutture del viadotto, dalla Spalla 1 alla Pila 5, sono interessate dalla piena con $Tr = 200$ anni, per tali opere sono previste opportune opere di protezione dei plinti di fondazione, costituite da scogliere di massi ciclopici ordinate e non cementati.

Il piano di imposta delle spalle e dei plinti di fondazione coincide con l'unità dei *depositi alluvionali terrazzati* (bn), il cui spessore massimo è pari a circa 8÷9 m, ricoprente il substrato roccioso appartenente all'unità delle *Argille e Calcari di Canétolo* (ACC) (cfr. **Figura 12-3**).

I valori di soggiacenza misurati nel corso della recente campagna di indagini (misura del 15/06/2023), sono risultati variabili tra 3.4 e 5.5 m circa da bocca pozzo, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda variabile tra 100.7 e 102.4 m s.l.m.

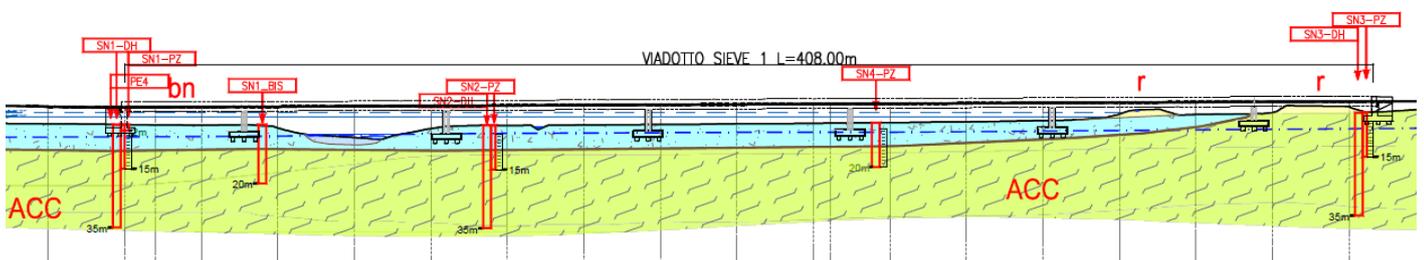


Figura 12-3 – Profilo geologico del Viadotto Sieve 1

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture
				Data 31/03/2022

Pertanto, per la realizzazione delle spalle e dei plinti di fondazione del viadotto dovranno essere realizzate opportune opere provvisorie per consentire lo scavo delle opere di fondazione in condizioni asciutte, costituite nella fattispecie da paratie di pali secanti diam. 1000 mm, a causa dell'impossibilità di utilizzare palancole metalliche per la frequente presenza di trovanti calcarei, che non ne consentirebbe un'agevole infissione fino alle profondità necessarie.

Le fondazioni delle spalle e dei plinti dovranno essere previste su pali trivellati di grande diametro di lunghezza adeguata a trasferire i carichi di progetto sul substrato roccioso.

L'opera in viadotto, superato l'alveo del fiume Sieve, attraversa altri due tributari minori il cui tratto terminale, per entrambi, appare rettificato probabilmente per esigenze agricole. L'origine del primo tributario (senza denominazione) è molto probabilmente legata alla messa in posto del fenomeno franoso presente a monte. Il secondo tributario, denominato Borro del Falchetto, sottende invece un bacino idrografico importante, la cui linea spartiacque raggiunge quote oltre 400 m s.l.m.; tale bacino risulta sbarrato per scopi irrigui a quota 169 m s.l.m. da una traversa idraulica che genera un invaso di circa 6000 mq. Infine, in corrispondenza della Spalla 2 del viadotto (p.k. 0+458), in sinistra idrografica del tributario sono presenti due modesti rilevati, che consistono in accumuli detritici di origine antropica costituiti da blocchi con diametro medio pari a qualche decimetro.

L'analisi della dinamica geomorfologica annovera la presenza, immediatamente ad Ovest del tracciato, di una frana di scivolamento/colata (S2), inattiva ma potenzialmente instabile, che tuttavia non coinvolge l'infrastruttura in progetto (cfr. **Figura 12-4**).

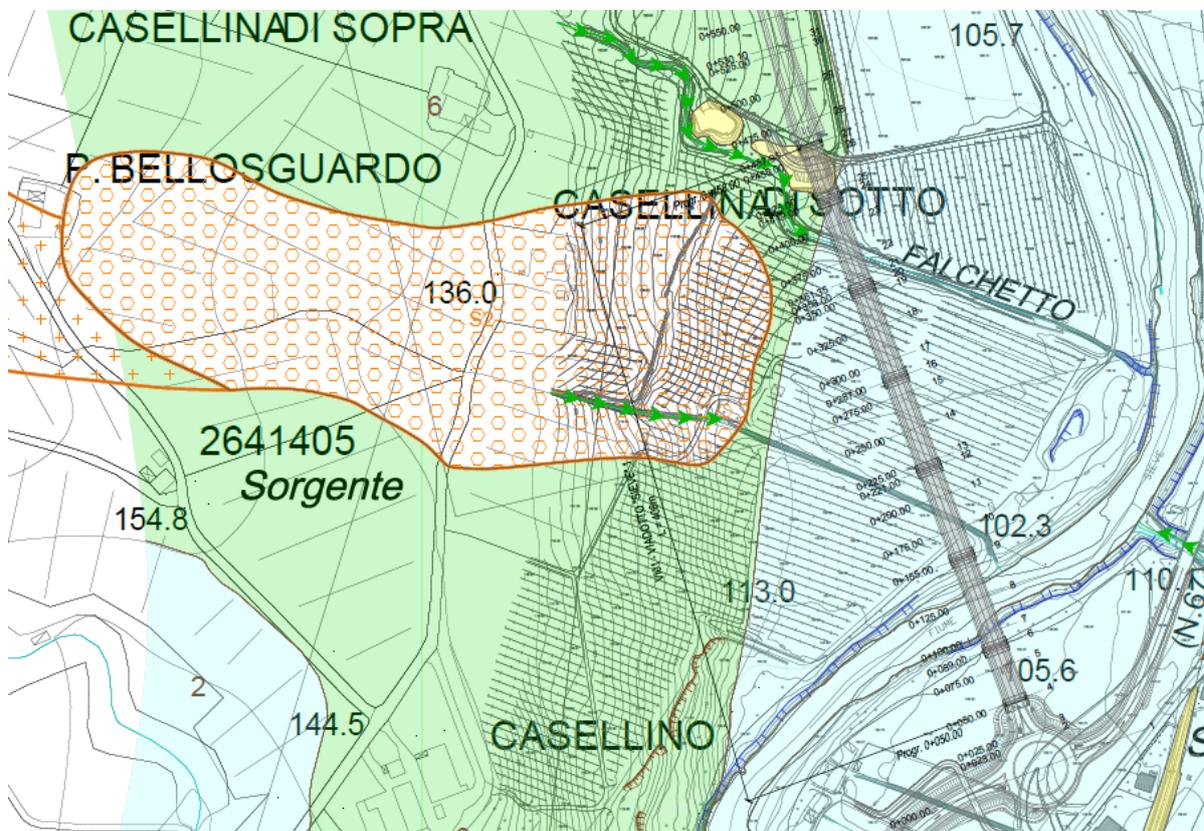


Figura 12-4 – Carta geomorfologica dell'area del Viadotto Sieve 1

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 107 di 123
					Data 31/03/2022	

12.3 Asse principale: tronco 1 (da p.k. 0+458 a p.k. 1+435.89)

Il tracciato del tronco 1 dell'asse principale, compreso tra la Spalla 2 del Viadotto Sieve 1 e la rotatoria di Svincolo Montebonello/Colognolese, ha un andamento generale *traversopoggio* seguendo il raccordo tra il versante e l'area terrazzata in destra idraulica del Fiume Sieve, attraversa un'area in frana tra le p.k. 0+925 e 1+200 circa. Il piano di imposta dell'opera in questo tratto è costituito dalle *Argille e Calcari di Canétolo (ACC)* (cfr. **Figura 12-5**).

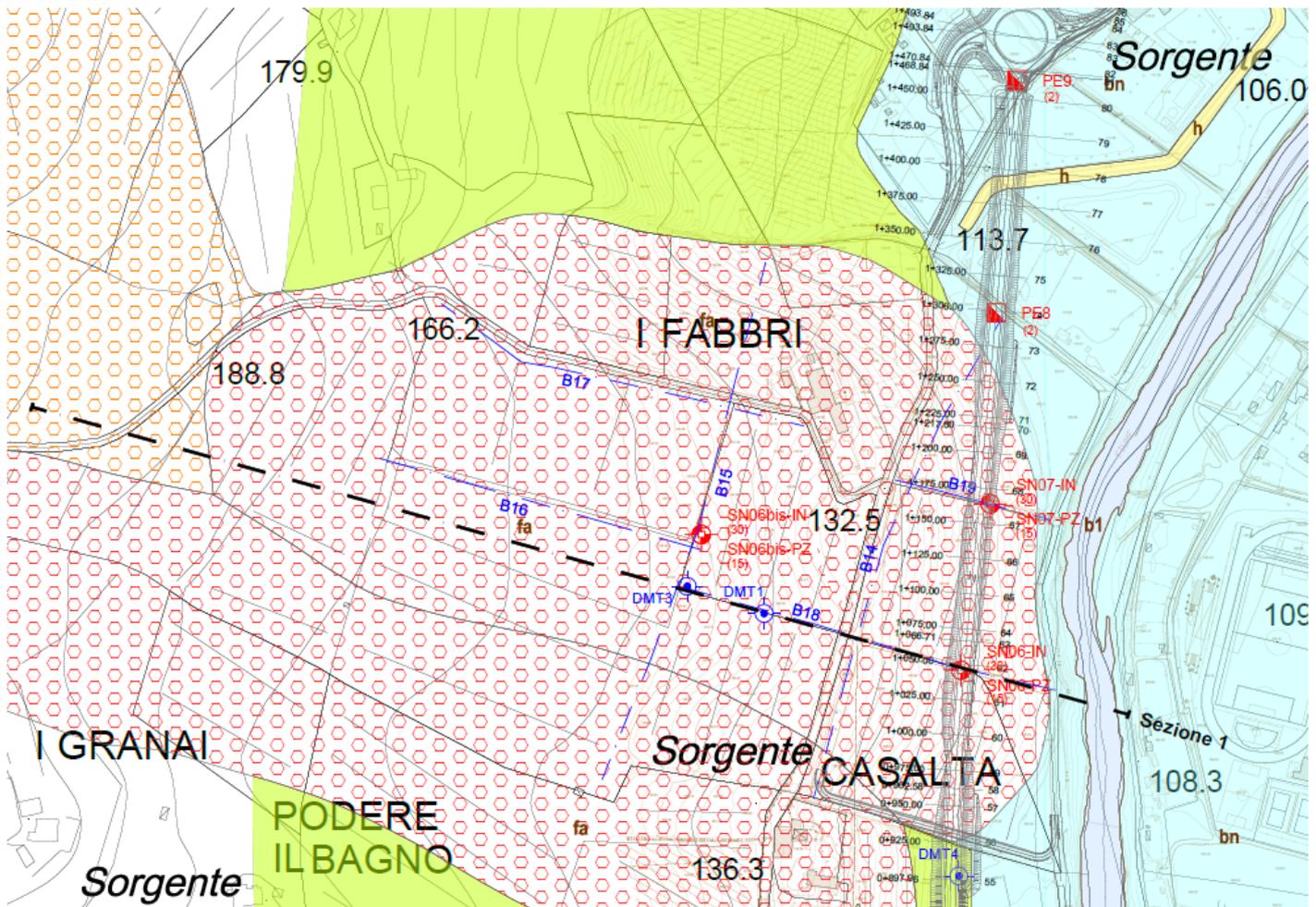


Figura 12-5 – Carta geologica di dettaglio dell'area del tronco 1 dell'asse principale

L'area di frana attraversata trasversalmente in corrispondenza del piede lungo tutto il suo sviluppo risulta classificata dal PAI come *frana di scivolamento e colata attiva (S3)*, a *pericolosità molto elevata (P4)*. L'areale di frana risulta delimitato a Nord e a Sud da due tributari minori del Sieve, entrambi con la tendenza ad approfondire il proprio alveo (cfr. **Figura 12-6**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA VA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	A	108 di 123
			Data 31/03/2022	

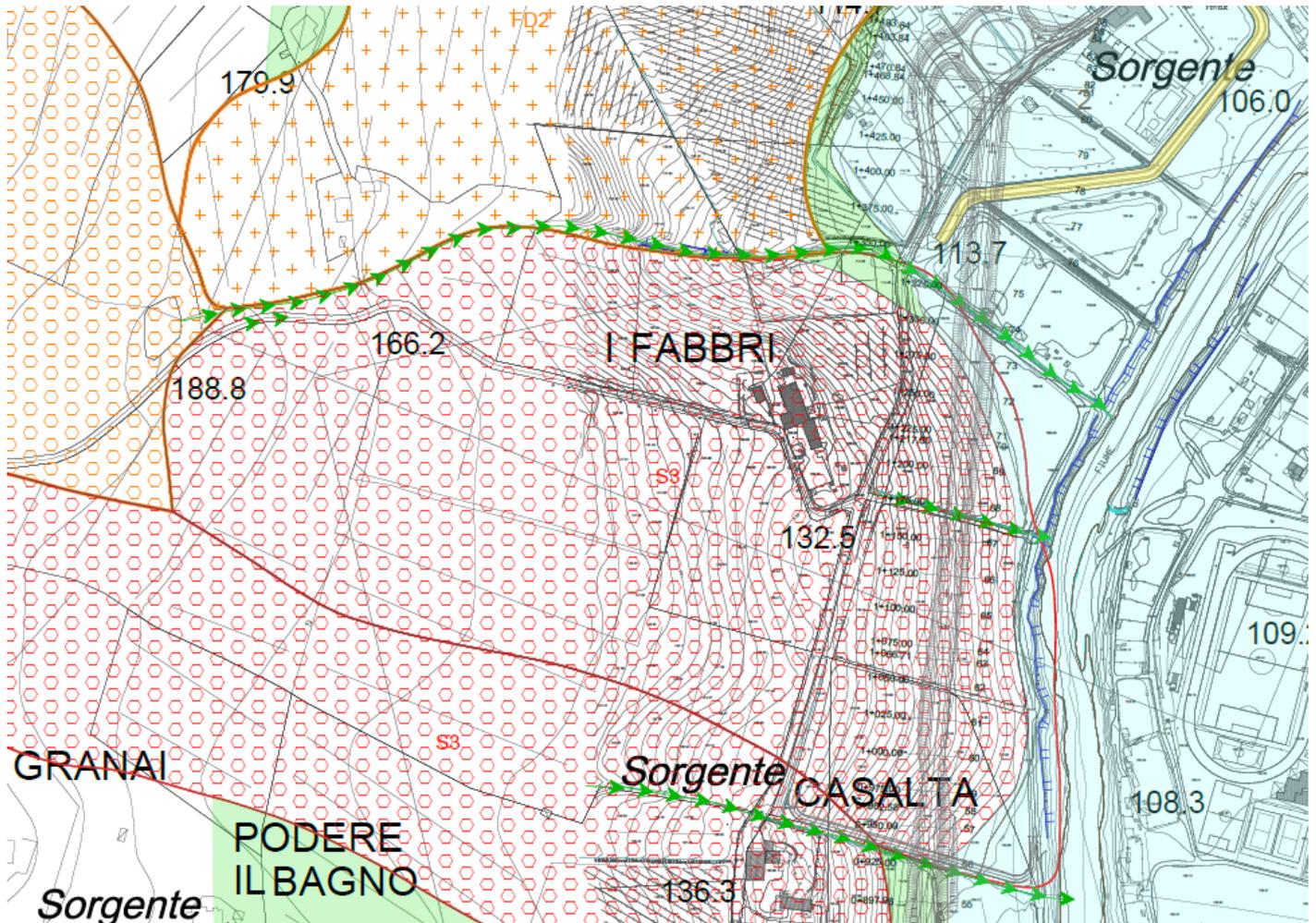


Figura 12-6 – Carta geomorfologica dell'area del tronco 1 dell'asse principale

Sono stati ricercati in campo eventuali indizi a sostegno della eventuale attività della frana, trovando alcuni, peraltro leggeri, segni di deformazione del nastro di asfalto di via Colognese e dei muretti di controripa oppure la presenza di morfologie minori (dossi e avvallamenti della superficie) riconducibili a fenomeni superficiali, la cui attività tuttavia tende ad essere continuamente obliterata dall'attività agricola.

Al punto **9.4.2.2** della presente relazione sono stati esaminati i dati interferometrici disponibili, rappresentati da alcuni PS che indicano una sostanziale stabilità (velocità comprese tra -1.9 e 2 mm/anno registrate con Envisat ascendente e Sentinel sia ascendente che discendente) e da 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, seppur unico tra i tanti dati che indicano stabilità, deve essere considerato con attenzione.

Pertanto, la sezione di progetto del tracciato che attraversa la frana è stata studiata in modo da interferire nel modo più leggero possibile, studiando la livelletta in modo da evitare una trincea profonda e mantenere questo tratto perlopiù in rilevato basso con un piccolo tratto in trincea con una profondità di scavo molto contenuta, in modo da garantire le necessarie condizioni di stabilità delle scarpate.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE ARDENNE	A	109 di 123
			Data 31/03/2022	

12.4 Svincolo Montebonello/Colognese (rotatoria) (da p.k. 1+435.89 a p.k. 1+781.46)

La nuova rotatoria stradale di svincolo Montebonello/Colognese è ubicata in corrispondenza dell'attuale via Colognese, strada comunale della frazione Montebonello, a circa quota 111 m s.l.m. alla destra idrografica della confluenza tra il torrente Argomena e il fiume Sieve. Il piano di imposta della rotatoria è nei *depositi alluvionali terrazzati* (bn), il cui spessore, sulla base della recente campagna di indagini (2021-2022), è pari a circa 7÷8 m. Si tratta quindi di un'area pianeggiante originatasi principalmente dalla interazione della dinamica fluviale occorsa nel tempo tra le due importanti aste fluviali. Inoltre, sono presenti nell'area anche un fosso di scolo del versante e una serie di canalizzazioni agricole che assicurano il drenaggio fino al fiume Sieve (cfr. **Figura 12-7**).

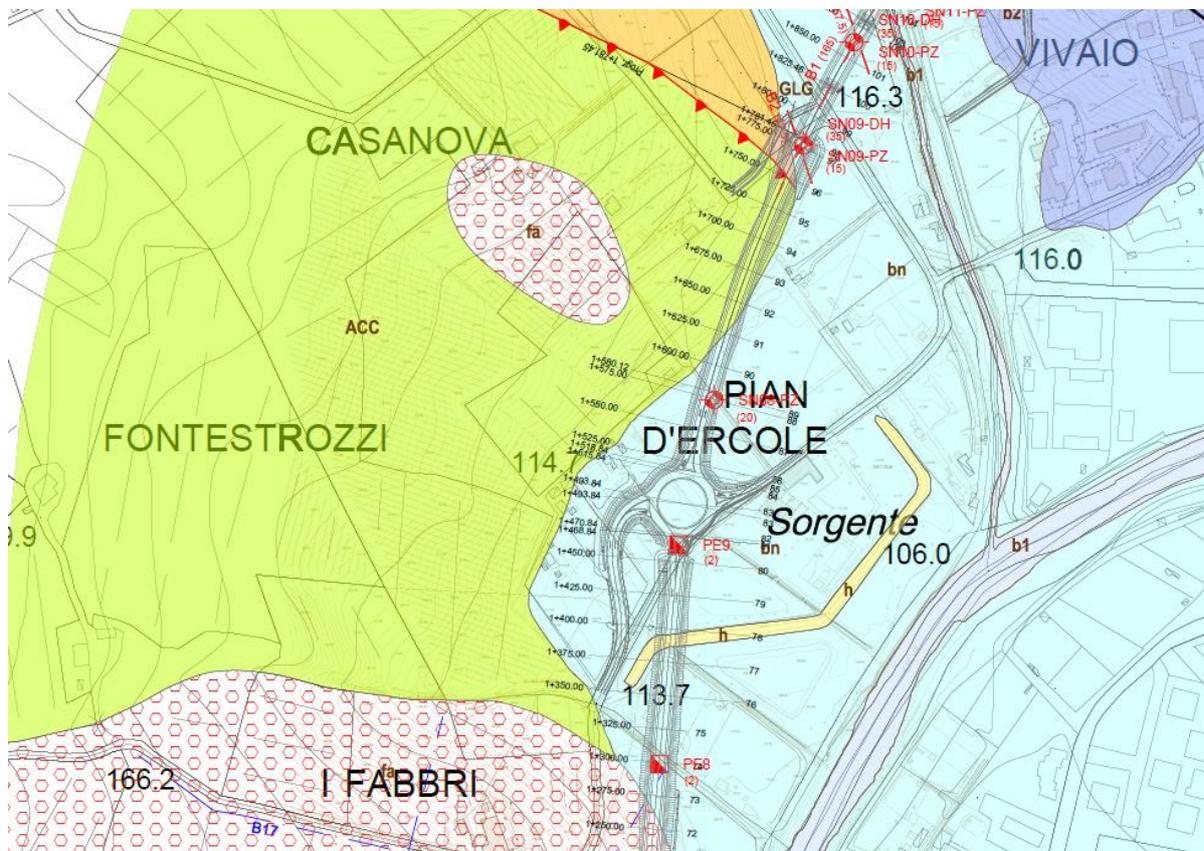


Figura 12-7 – Carta geologica di dettaglio dell'area della nuova rotatoria dello Svincolo Montebonello/ Colognese

Dal punto di vista della dinamica geomorfologica, si segnala la presenza, a Ovest della rotatoria, di un'area definita potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2) a pericolosità elevata (P3a), che tuttavia non coinvolge il tracciato stradale (cfr. **Figura 12-8**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA ASSOCIATI sinèrgo D_VA D_VisionArchitecture	A	110 di 123
			Data 31/03/2022	

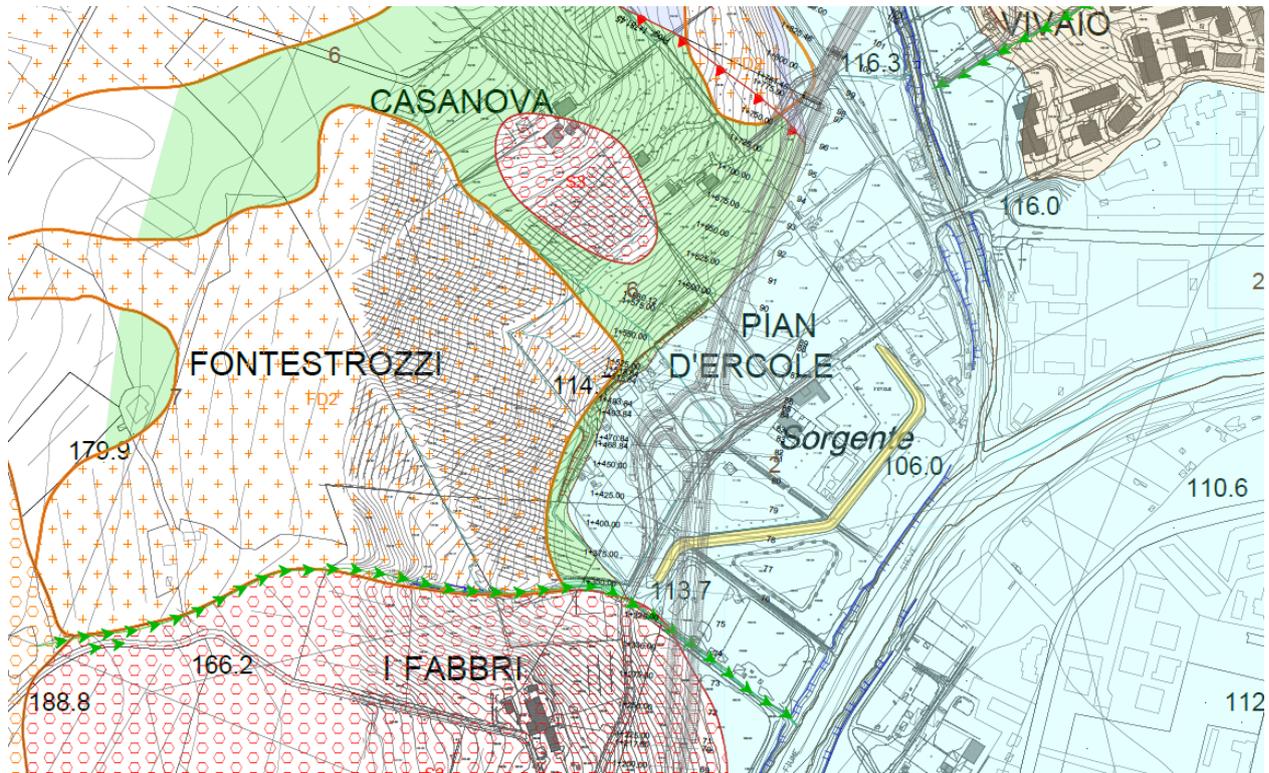


Figura 12-8 – Carta geomorfologica dell'area della nuova rotatoria dello Svincolo Montebonello/ Colognese

12.5 Viadotto Argomenna (da p.k. 1+781.46 a p.k. 1+979.46)

Il viadotto è un'opera di lunghezza pari a 198 m, costituita da 2 campate centrali di 55 m e due campate di riva di 44 m.

La Pila 2 e la Pila 3 sono ubicate in coincidenza degli orli di scarpate di erosione fluviale, generate dalla dinamica recente del torrente Argomenna, caratterizzati da un'altezza delle scarpate pari a circa 5÷6 m rispetto all'alveo attuale (cfr. **Figura 12-9**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE AOSTA sinèrgo	REV. A	FOGLIO 111 di 123
				Data 31/03/2022

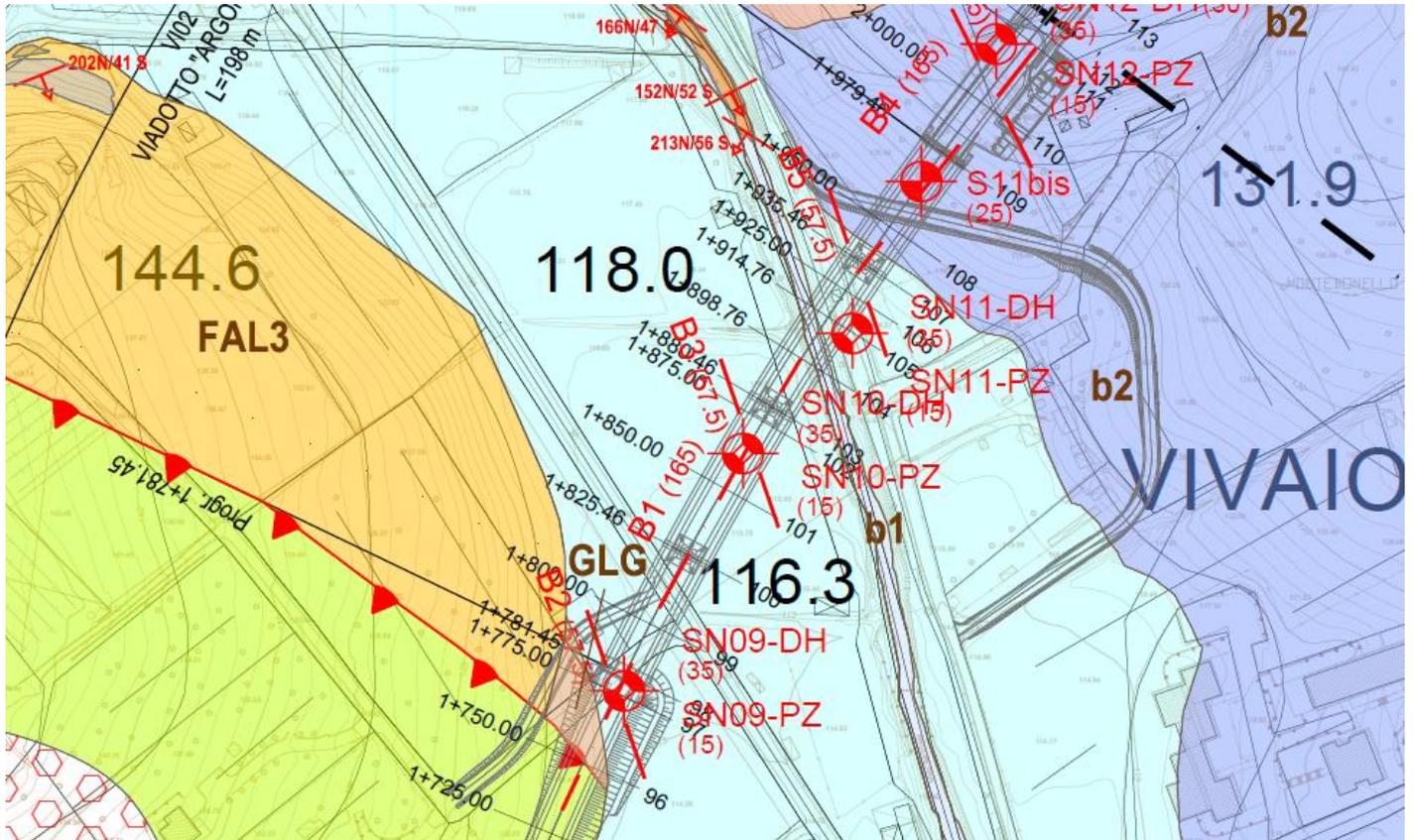


Figura 12-9 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Argomenna

Il piano di imposta delle opere di fondazione dalla Spalla 1 alla Pila 3 è ubicato nei *depositi alluvionali terrazzati* (bn), il cui spessore massimo è pari a circa 8 m, mentre la Spalla 2 è impostata nei depositi eluvio colluviali (b2).

I valori di soggiacenza misurati nel corso della recente campagna di indagini (misura del 15/06/2023), sono risultati variabili tra 4.5 e 5.1 m circa da bocca pozzo, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda variabile tra 110.7 e 111.6 m s.l.m.

Il substrato roccioso dell'opera tra la Spalla 1 e la Pila 3 risulta costituito dall'unità delle *Marne di Galiga* (GLG), deformate e coinvolte in una piega con asse grosso modo parallelo all'asse vallivo, mentre sotto la Spalla 2 è costituito dall'unità delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) (cfr. **Figura 12-10**).

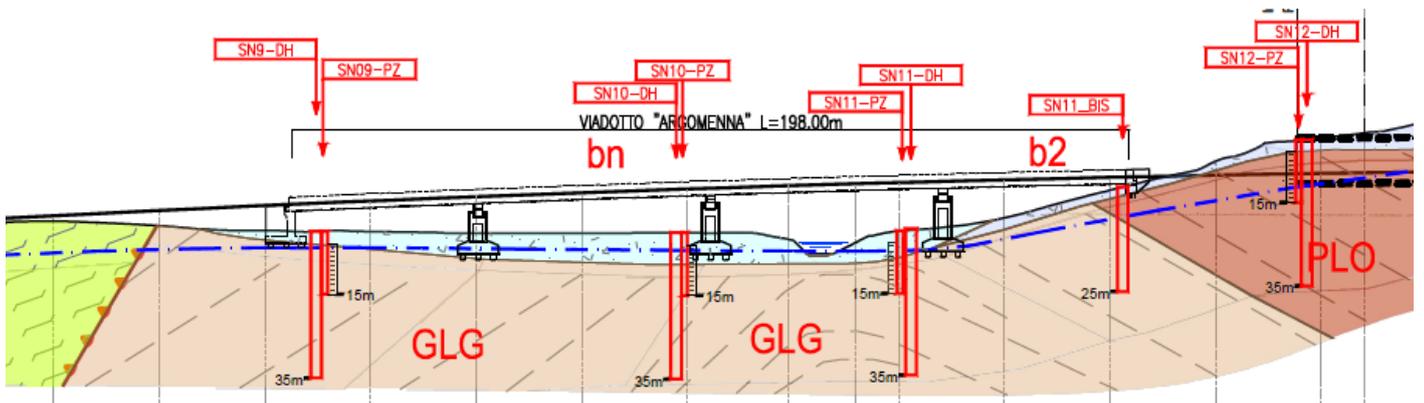


Figura 12-10 – Profilo geologico del Viadotto Argomenna

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo VA D.VisionArchitecture	REV. A	FOGLIO 112 di 123
			Data 31/03/2022	

Dal punto di vista della dinamica geomorfologica, si segnala la presenza, immediatamente a ovest della Spalla 1, di un'area definita potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2), a pericolosità elevata (P3a), non direttamente interferente con l'opera che è già ubicata sui depositi alluvionali terrazzati (bn) (cfr. **Figura 12-11**).

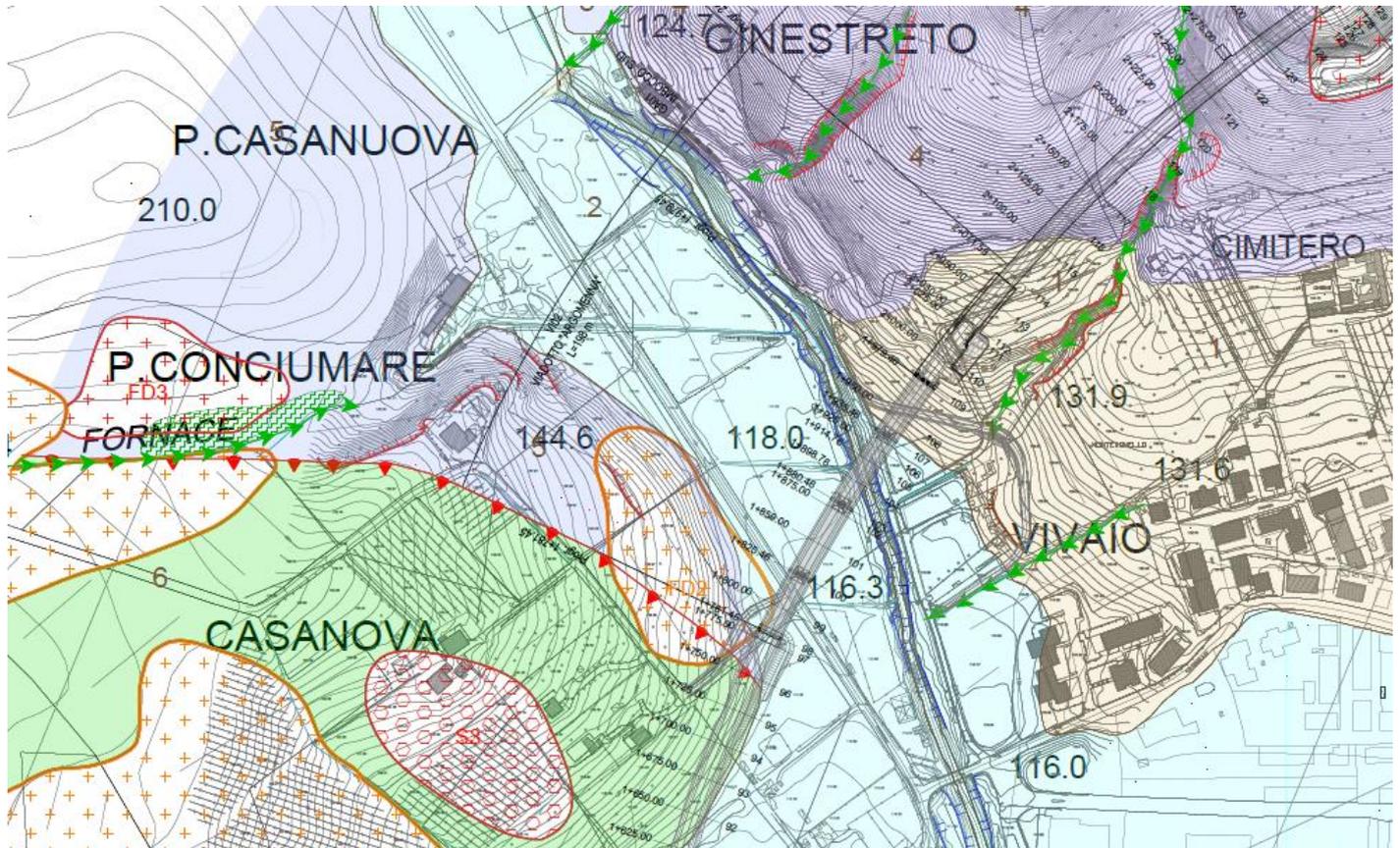


Figura 12-11 – Carta geomorfologica dell'area del Viadotto Argomenna

12.6 Imbocco sud Galleria Montebonello (da p.k. 2+019.50 a p.k. 2+066)

L'imbocco sud della galleria, che verrà scavato in artificiale previa realizzazione di una paratia di micropali, ha uno sviluppo di 46.50 m tra il becco di flauto (p.k. 2+019.50) e l'inizio della galleria naturale (p.k. 2+066), interseca un versante a modesta inclinazione sul quale, immediatamente a Est dell'opera, si segnala la presenza di un impluvio caratterizzato da grandi capacità erosive, specie verso la testata del bacino, con la tendenza ad approfondire il proprio alveo (cfr. **Figura 12-11**).

In quest'area sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2) tra la Spalla 2 del Viadotto Argomenna e circa p.k. 2+100 circa, per lasciare posto ad un substrato roccioso costituito dalla Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), caratterizzato da un orizzonte di alterazione e di completo detensionamento per diversi metri, dato che i primi affioramenti significativi si rinvennero più a monte dell'imbocco (cfr. **Figura 12-12**).

In tale contesto, per gli scavi di approccio della galleria naturale, si è resa necessaria la realizzazione di una berlinese provvisoria, costituita da micropali diam. 240 mm armati con tubi in acciaio, di lunghezza variabile da 20 m a 10 m, contrastata da uno o più ordini di ancoraggi di tipo passivo, costituiti da barre in acciaio di lunghezza 15 m inclinate di 20° sul piano orizzontale, in funzione dell'altezza dello scavo, che raggiunge circa 16 m di profondità. Il primo ordine di ancoraggi viene ancorato alla trave di testata mentre, nelle sezioni con altezza di scavo maggiore di 7 m, si prevede

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA ASSOCIATI sinèrgo	REV. A	FOGLIO 113 di 123
			Data 31/03/2022	

anche un secondo ordine di ancoraggi posti a circa 4.5 m dalla testa della paratia. La ripartizione degli ancoraggi viene affidata a travi costituite da profilati in acciaio, mentre la berlinese viene rivestita da uno strato di betoncino proiettato armato con rete elettrosaldata. Lo scavo di sbancamento fino alla quota di testa della berlinese è previsto con una pendenza 4V:7H.

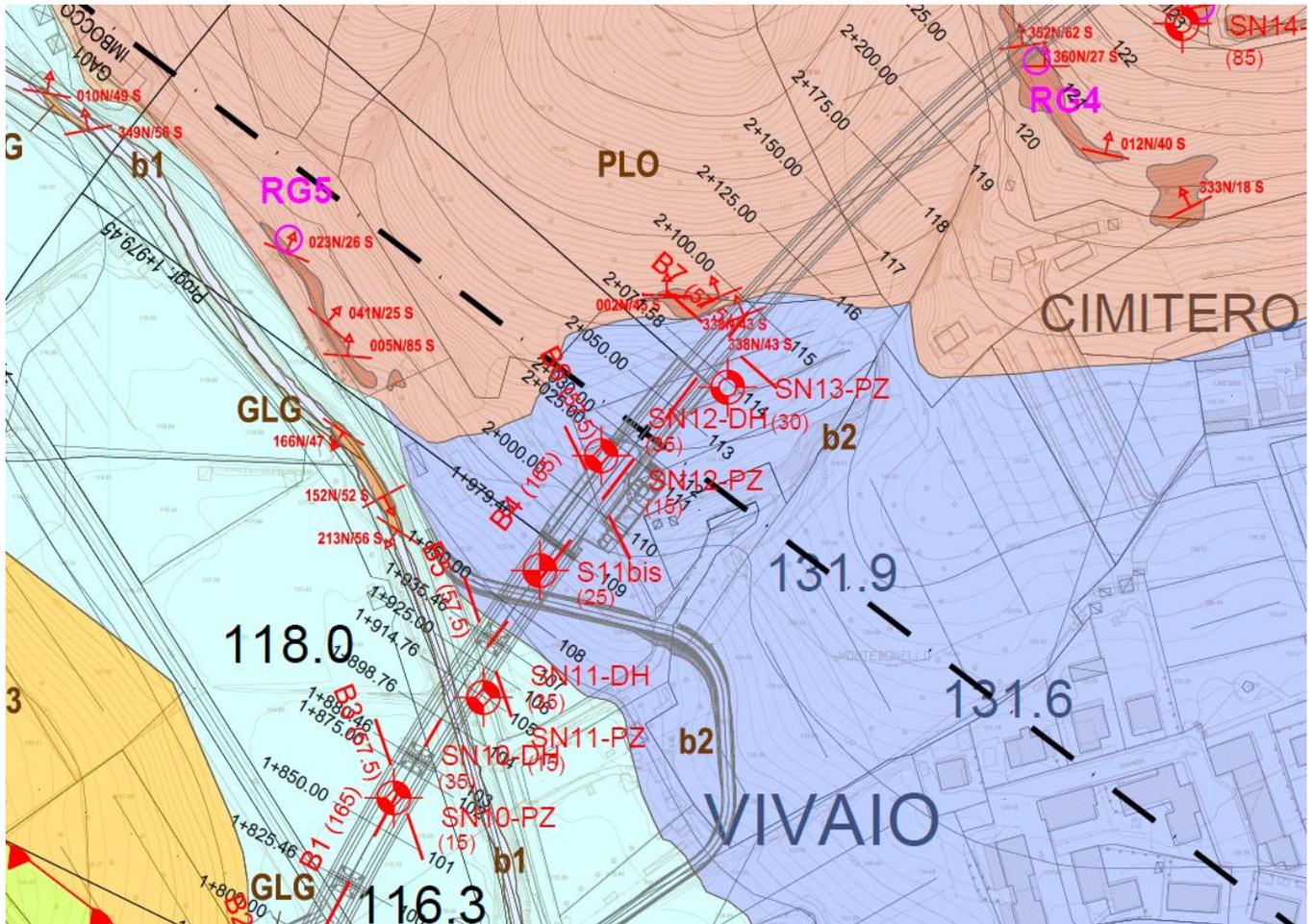


Figura 12-12 – Carta geologica di dettaglio dell'area dell'imbocco sud della Galleria Montebonello



Figura 12-13 – Panoramica verso nord del versante nei pressi dell'imbocco sud della Galleria Montebonello

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI VIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D Vision Architecture	A	114 di 123
			Data 31/03/2022	



Figura 12-14 – Stato dei luoghi nei pressi dell'imbocco sud della Galleria Montebonello (strada privata di accesso alla proprietà)



Figura 12-15 – Stato dei luoghi dell'impluvio posto appena a Nord dell'imbocco sud della Galleria Montebonello, dove è possibile osservare numerosi sbarramenti in alveo

12.7 Galleria naturale Montebonello (da p.k. 2+066 a p.k. 2+982)

Lo scavo della Galleria naturale Montebonello (L = 916 m) interessa esclusivamente ammassi rocciosi ascrivibili alle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO) (cfr. **Figura 12-16**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. A	FOGLIO 115 di 123
				Data 31/03/2022

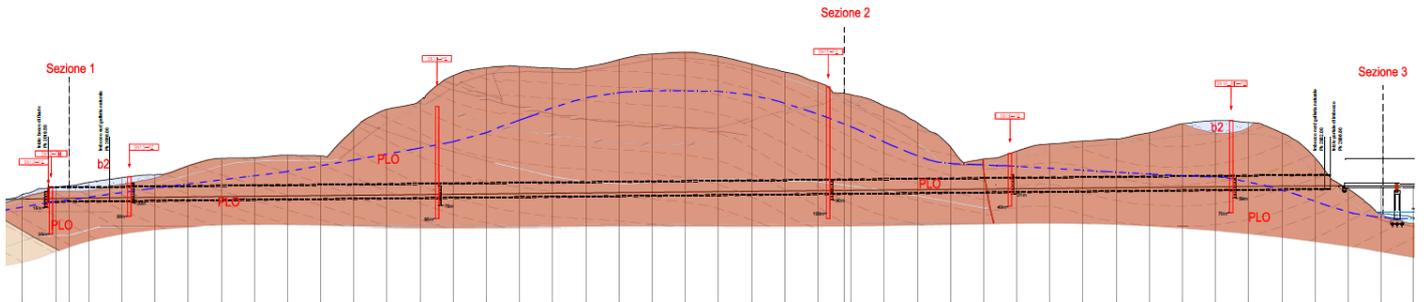


Figura 12-16 – Profilo geologico della Galleria naturale Montebonello

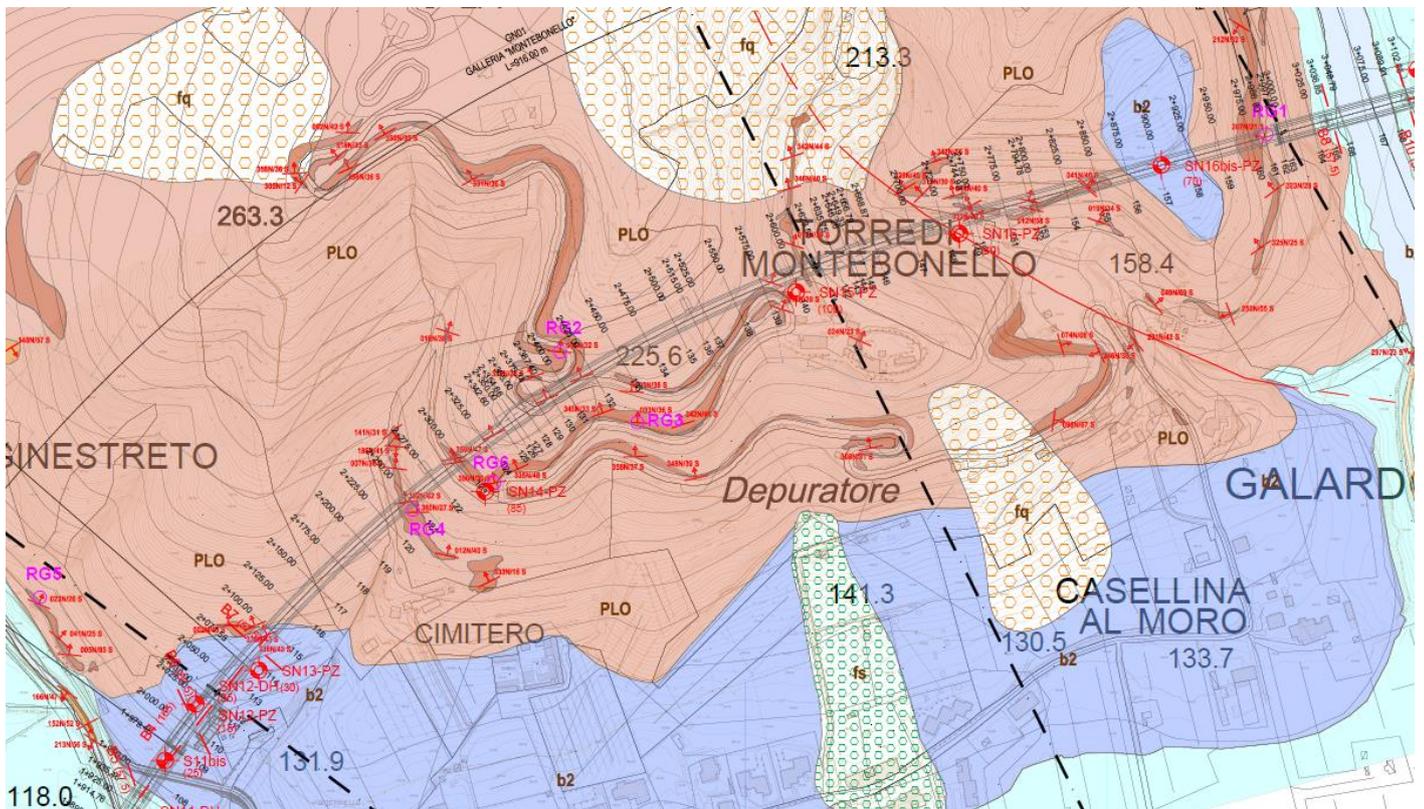


Figura 12-17 – Carta geologica di dettaglio dell'area della Galleria naturale Montebonello

L'analisi del contesto geomorfologico sul versante che espone a sud attraversato in sotterraneo dalla galleria naturale Montebonello compresa tra la p.k. 2+345 e la p.k. 2+570 circa, consente di verificare la presenza di un'area classificata a franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3), probabilmente legata a fenomeni erosionali e piccoli scivolamenti riconducibili agli scarichi d'acqua dalla banchina stradale concentrati, dato che la strada sale con numerosi tornanti scavati in trincea e taglia per intero il versante. Il suddetto areale copre un dislivello di circa 50 m e data la copertura elevata della galleria (oltre 80 m) non può essere considerato in alcun modo interagente con l'asse di progetto. Le stesse considerazioni valgono per le due frane di scivolamento/colata (S2), inattive ma potenzialmente instabili ubicate a nord e a sud del suddetto asse.

La criticità geologica principale è la zona di intersezione con l'asse di drenaggio del tributario minore destro del fiume Sieve, il cui andamento è a forte controllo strutturale di tipo fragile: è infatti presenta una faglia molto inclinata con immersione generale a nord-est. Il torrente interseca l'asse di progetto tra la p.k. 2+700 e la p.k. 2+750 in

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	A	116 di 123
			Data 31/03/2022	

corrispondenza del quale mostra una forte tendenza ad incidere il proprio alveo, con orli di scarpata in erosione che raggiungono dislivelli compresi tra 10÷12 m rispetto al fondo alveo (cfr. **Figura 12-18**).

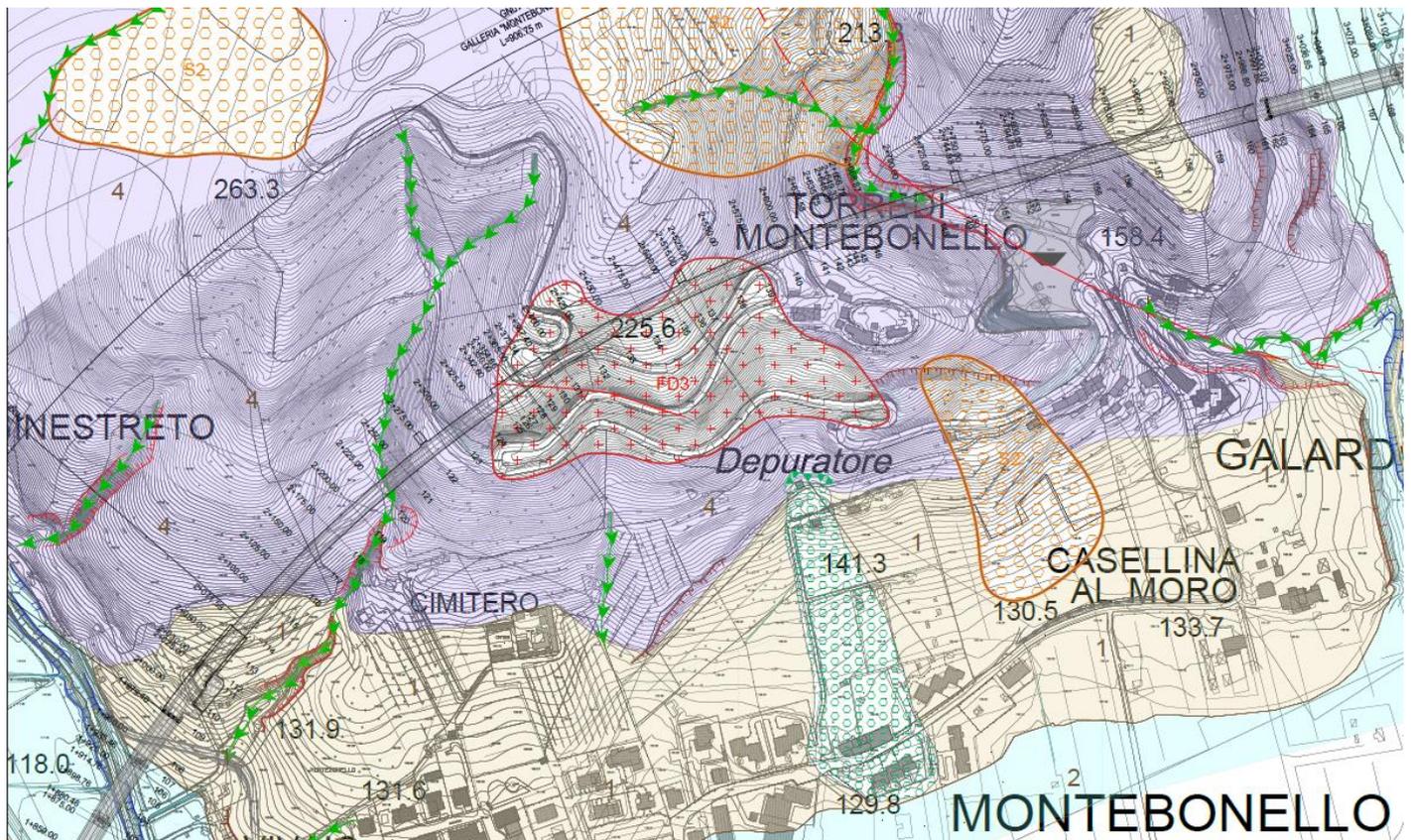


Figura 12-18 – Carta geomorfologica dell'area della Galleria naturale Montebonello

Complessivamente, il contesto geologico in cui si trova la Galleria naturale Montebonello è costituito da ammassi rocciosi con caratteristiche geomeccaniche generalmente buone, pur presentando alcune criticità quali:

- la ridotta pendenza del pendio in corrispondenza dell'imbocco sud, caratterizzato da uno strato superficiale di alterazione e/o di completo detensionamento, implica la presenza di un contatto tra materiale sciolto e roccia sana con coperture ridotte (inferiori a 20 m) per la parte iniziale della galleria di lunghezza circa 200 m. Questa condizione è rischiosa da punto di vista della stabilità del fronte e della possibilità di formazione di camini. Il consolidamento in avanzamento dei terreni costituenti il fronte e il contorno della cavità ha l'obiettivo di evitare l'innescò di instabilità a breve termine, ossia precedenti alla messa in opera del rivestimento di prima fase.
- nella parte centrale della galleria (tra la p.k. 2+425 e la p.k. 2+600), in corrispondenza delle alte coperture, genera, in presenza di materiali deformabili, un possibile comportamento spingente dell'ammasso sulla cavità, con conseguenti rilevanti convergenze. Per tali motivi è necessario prevedere il consolidamento del fronte e del contorno della cavità attraverso messa in opera di adeguati interventi di sostegno in avanzamento.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D-Vision D Vision Architecture	REV. A	FOGLIO 117 di 123
		Data 31/03/2022	

- tra la p.k. 2+700 e la p.k. 2+725 si incontra una tratta con coperture ridotte (circa 10 m sopra calotta) dove si potrebbero presentare le stesse problematiche del tratto iniziale con basse coperture, ovvero problematiche di instabilità del fronte e la formazione di camini;
- in corrispondenza dello stesso tratto con coperture ridotte, alla p.k. 2+725, è prevista una faglia che incontra il tracciato della galleria sub verticalmente. I problemi potenzialmente verificabili sono dovuti a:
 - elevato grado di fratturazione dell'ammasso roccioso;
 - crollo di volumi di roccia sia al fronte che lungo il profilo di scavo;
 - presenza di importanti venute d'acqua.

È necessario che la sequenza di scavo in prossimità di faglie riconosciute come critiche sia preceduta da perforazioni di prospezione in avanzamento per determinare l'esatta ubicazione del punto sfavorevole alla quota del progetto.

- L'attraversamento deve essere generalmente preceduto da un efficace drenaggio del corpo della faglia e della roccia al contorno. Il consolidamento del materiale di riempimento deve essere commisurato alla sua consistenza e all'estensione della faglia. Le tecnologie usuali di consolidamento (infilaggi metallici o tubi VTR iniettati, iniezioni, ecc.) devono essere valutate in conseguenza della loro applicabilità in funzione della natura del materiale da consolidare.

In relazione alle problematiche sopra riportate, le modalità di scavo, gli interventi di consolidamento dell'ammasso, la tipologia degli interventi di confinamento di prima fase e dei rivestimenti definitivi sono stati definiti mediante opportune "sezioni tipo" in funzione della risposta tensio-deformativa prevista, in modo da acquisire nel corso dell'avanzamento e di garantire in esercizio adeguati margini di sicurezza.

12.8 Imbocco nord Galleria Montebonello (da p.k. 2+982 a p.k. 2+986.80)

L'imbocco Nord della galleria Montebonello si trova a ridosso della Spalla 1 del Viadotto Sieve 2, ad una distanza di circa 10 m.

L'opera di imbocco nord interseca il versante a morfologia gradonata e a forte inclinazione costituito da ammassi rocciosi ascrivibili alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) (cfr. **Figura 12-19**). L'origine della morfologia gradonata, presente in modo più evidente poco più a Nord rispetto all'asse di progetto (cfr. **Figura 12-22**), risiede nell'alternanza litologica arenaceo/pelitica degli ammassi rocciosi.

Le caratteristiche geomeccaniche buone delle *siltiti* PLO permettono di raggiungere il piano di scavo della galleria attraverso degli sbancamenti con pendenza 5V:1H, con berme di larghezza 2 m ogni 5 m di altezza, ad eccezione della prima scarpata che raggiunge un'altezza di circa 7.80m. La parete frontale di imbocco verrà scavata sempre con pendenza 5V:1H, ma senza berme, per un'altezza massima di circa 16m.

La pendenza di tali sbancamenti implica il rischio di instabilità di blocchi e quindi la necessità di prevedere la protezione degli scavi. Pertanto, la sicurezza della scarpata verrà garantita mediante l'utilizzo di:

- rete a doppia torsione a maglia esagonale;
- funi metalliche di rinforzo, a trefoli di acciaio, disposte in senso diagonale rispetto alla maglia dei chiodi;
- barre in acciaio di lunghezza L=3 m, disposte a maglia romboidale 3 m x 4 m.

Le barre verranno posizionate con direzione ortogonale al versante in modo da semplificarne l'installazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. A	FOGLIO 118 di 123
				Data 31/03/2022

Per le scarpate che rimarranno a vista dopo la sistemazione finale, gli interventi previsti (rete in aderenza e chiodature) assumeranno carattere definitivo.

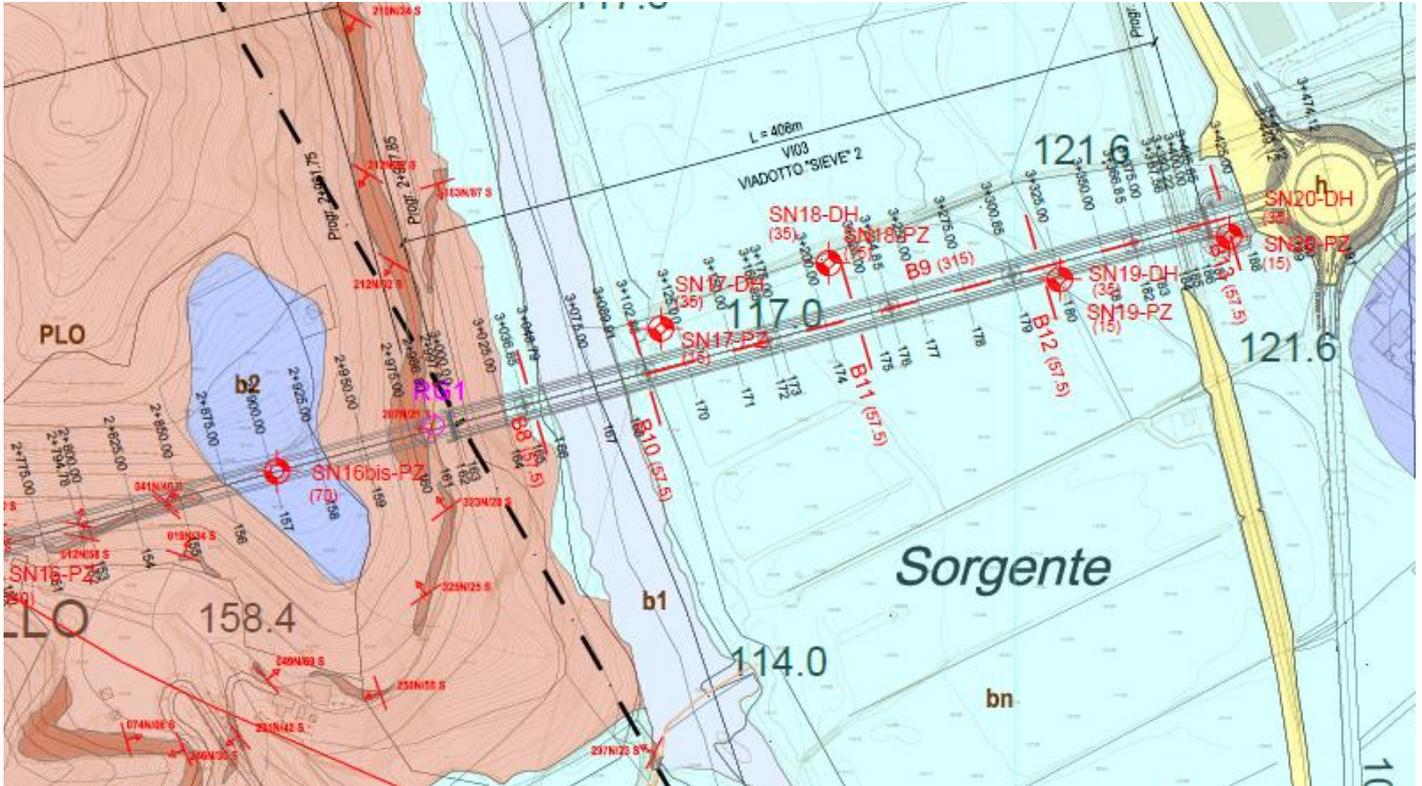


Figura 12-19 – Carta geologica di dettaglio dell'area dell'imbocco nord della Galleria Montebonello

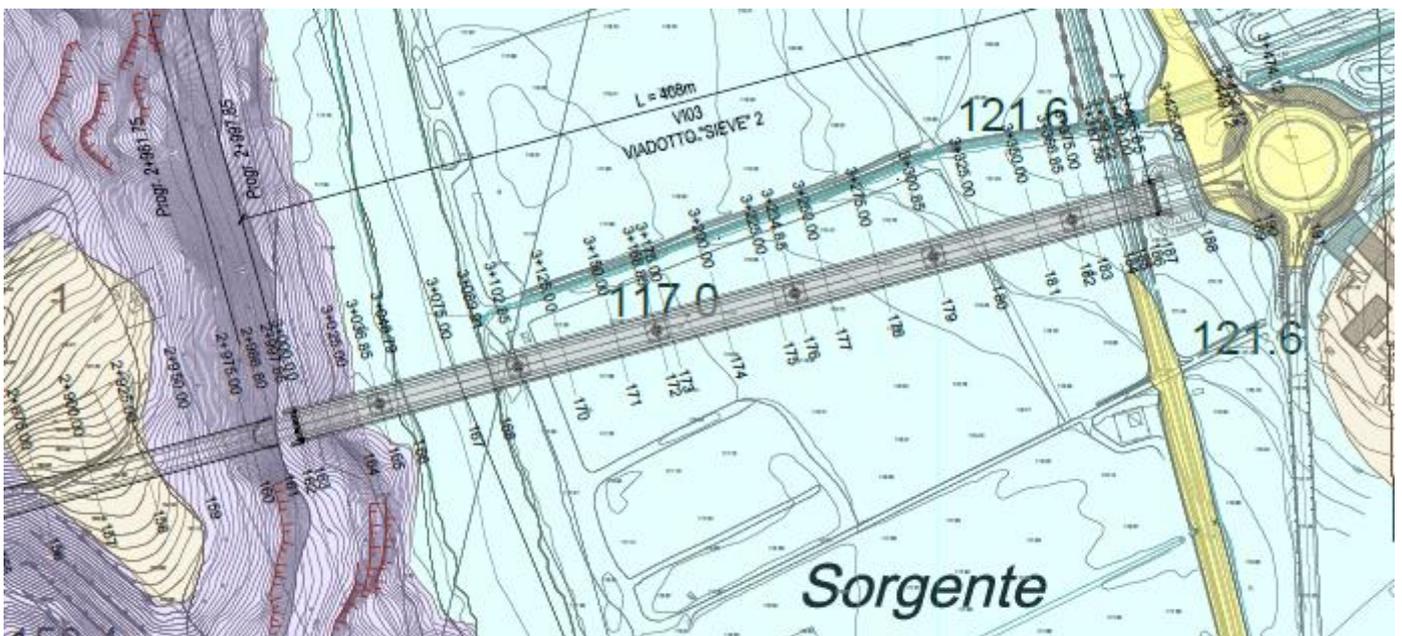


Figura 12-20 – Carta geomorfologica dell'area dell'imbocco nord della Galleria Montebonello

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE	REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	A	119 di 123
	MANDANTI ETEVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARBE sinèrgo D_VA D Vision Architecture	Data 31/03/2022	



Figura 12-21 – Panoramica verso ovest del versante nei pressi dell'imbocco nord della galleria naturale Montebonello



Figura 12-22 – Proseguimento verso nord della panoramica precedente

12.9 Viadotto Sieve 2, L = 408 m (da p.k. 2+997.85 a p.k. 3+405.85)

Il viadotto è un'opera di lunghezza pari a 408 m, costituita da 5 campate centrali di 66 m e due campate di riva di 39 m.

La Pila 1 e la Pila 2 del viadotto sono ubicate in corrispondenza degli orli di scarpate di erosione fluviale, generate dalla dinamica recente del fiume Sieve. L'altezza delle scarpate è pari a circa 2÷3 m rispetto all'alveo attuale (cfr. **Figura 12-23**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	REV. A	FOGLIO 120 di 123
			Data 31/03/2022	

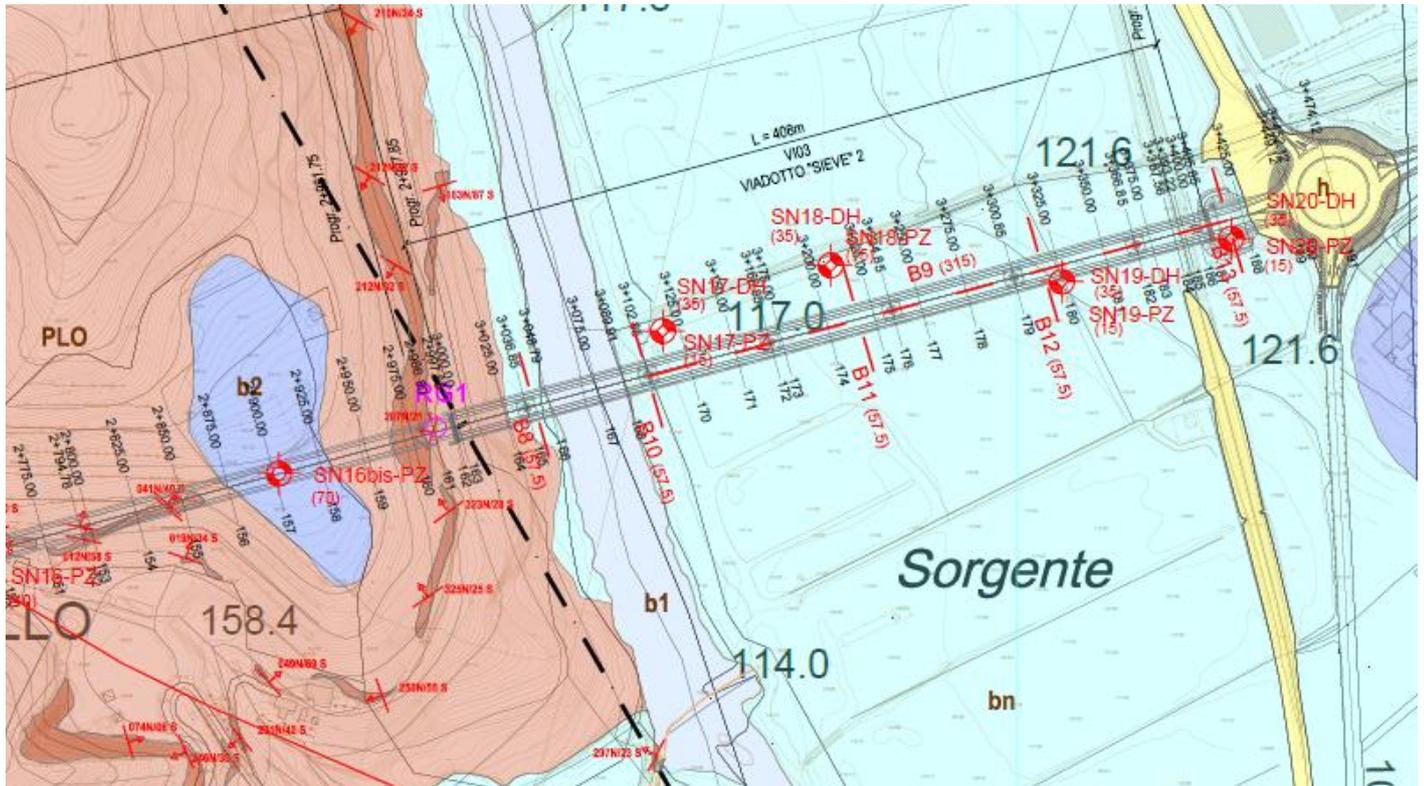


Figura 12-23 – Carta geologica di dettaglio dell'area del Viadotto Sieve 2

Dato che le sottostrutture del viadotto, dalla Pila 1 alla Pila 4, sono interessate dalla piena con $Tr = 200$ anni, per tali opere sono previste opportune opere di protezione dei plinti di fondazione, costituite da scogliere di massi ciclopici ordinati e non cementati.

Il piano di imposta delle spalle e dei plinti di fondazione coincide con l'unità dei depositi alluvionali, il cui spessore sulla base delle recenti indagini geognostiche (2021-2022) è pari a circa $8 \div 10$ m, ricoprente il substrato roccioso appartenente all'unità delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) (cfr. **Figura 12-24**).

Il livello piezometrico della falda nei depositi alluvionali è caratterizzato da una soggiacenza variabile tra 2.8 e 6.1 m, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa $113.7 \div 114.1$ m s.l.m.

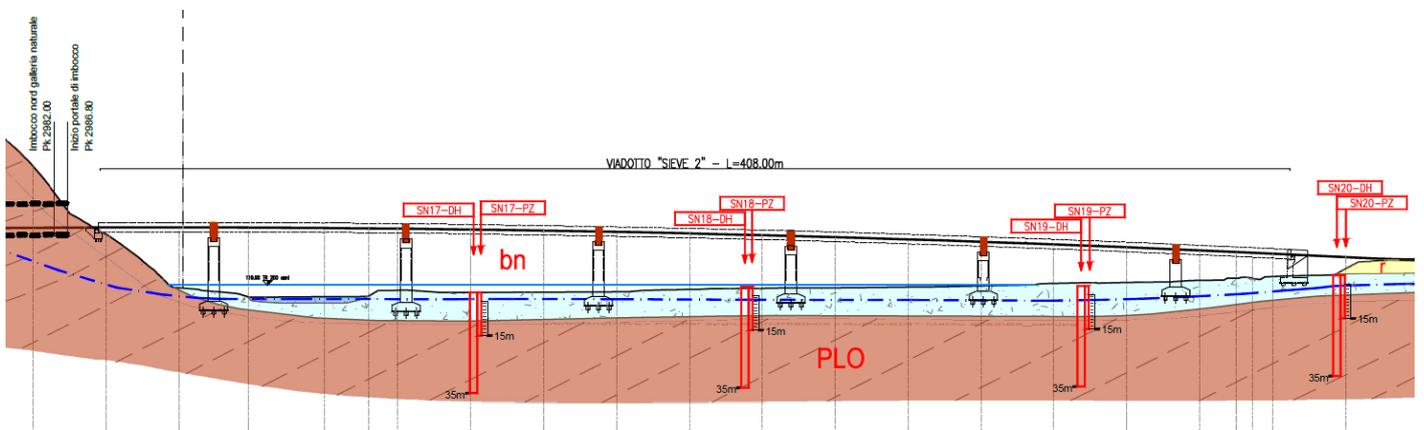


Figura 12-24 – Profilo geologico del Viadotto Sieve 2

Pertanto, per la realizzazione delle spalle e dei plinti di fondazione del viadotto dovranno essere realizzate opportune opere provvisorie per consentire lo scavo delle opere di fondazione in condizioni asciutte, costituite nella fattispecie

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETZVA ENERGIA VALLE AOSTA sinèrgo D_VA D Vision Architecture	REV. A	FOGLIO 121 di 123
			Data 31/03/2022	

da paratie di pali secanti diam. 1000 mm, a causa dell'impossibilità di utilizzare palancole metalliche per la presenza di un substrato roccioso che non ne consentirebbe un'agevole infissione fino alle profondità necessarie.

Le fondazioni delle spalle e dei plinti dovranno essere previste su pali trivellati di grande diametro di lunghezza adeguata a trasferire i carichi di progetto sul substrato roccioso.

L'analisi della dinamica geomorfologica non annovera criticità geologiche in attraversamento della piana alluvionale fatto salvo tener conto della interazione con il versante che ospita l'imbocco Nord della GN Montebonello, come possibile sede di blocchi rocciosi rilasciati (cfr. **Figura 12-25**).

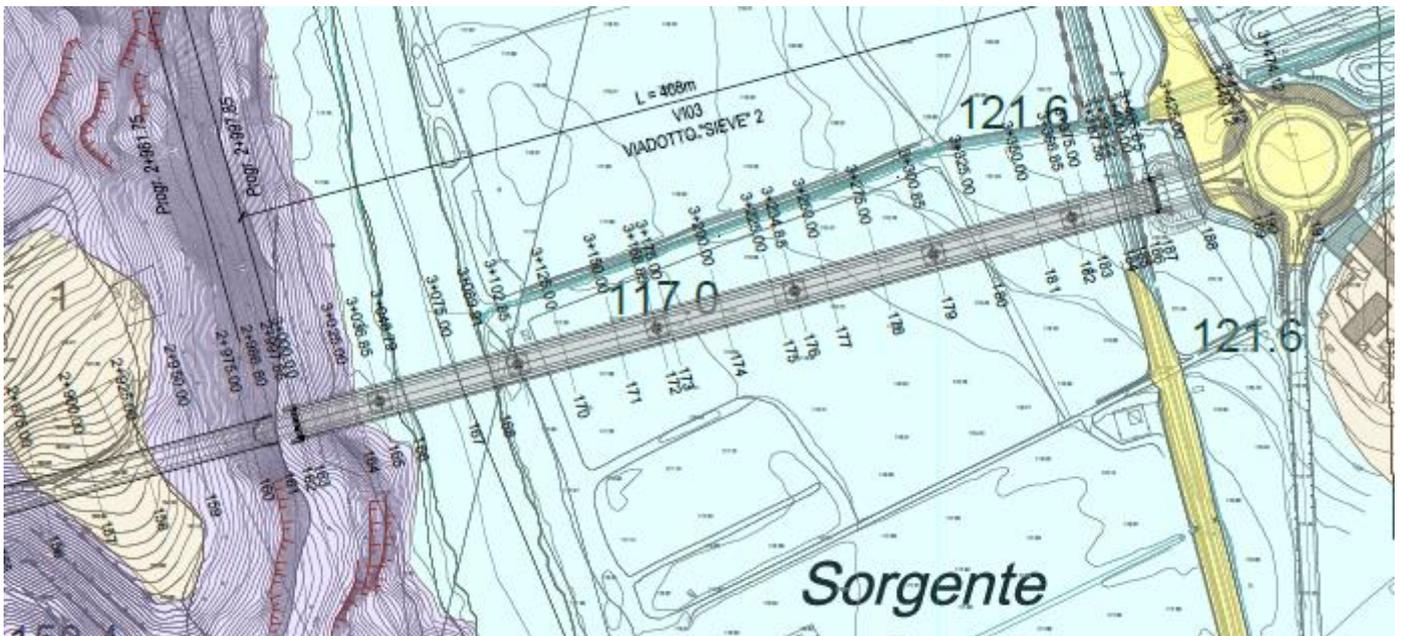


Figura 12-25 – Carta geomorfologica dell'area del Viadotto Sieve 2

12.10 Svincolo Scopeti (rotatoria) (da p.k. 3+405.85 a p.k. 3+474.12)

Lo svincolo Scopeti è impostato sulla rotatoria stradale esistente. Essa è ubicata a circa q. 129 m s.l.m. in sinistra idrografica del fiume Sieve, dove il contesto idrografico naturale è stato fortemente modificato da strutture antropiche.

Il piano di imposta della rotatoria in parte sui *depositi antropici* (h) in parte sui *depositi alluvionali terrazzati* (bn) (cfr. **Figura 12-26**).

L'analisi della dinamica geomorfologica annovera la presenza, immediatamente a Nord-Est della rotatoria ma non interferente con il tracciato, di una conoide mista detritico-alluvionale (CON1), a pericolosità *media* (P2), legata alle dinamiche fluviali di alcuni tributari sinistri del fiume Sieve, che mostrano forte tendenza ad incidere il proprio alveo (cfr. **Figura 12-27**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. A	FOGLIO 122 di 123
	Data 31/03/2022			

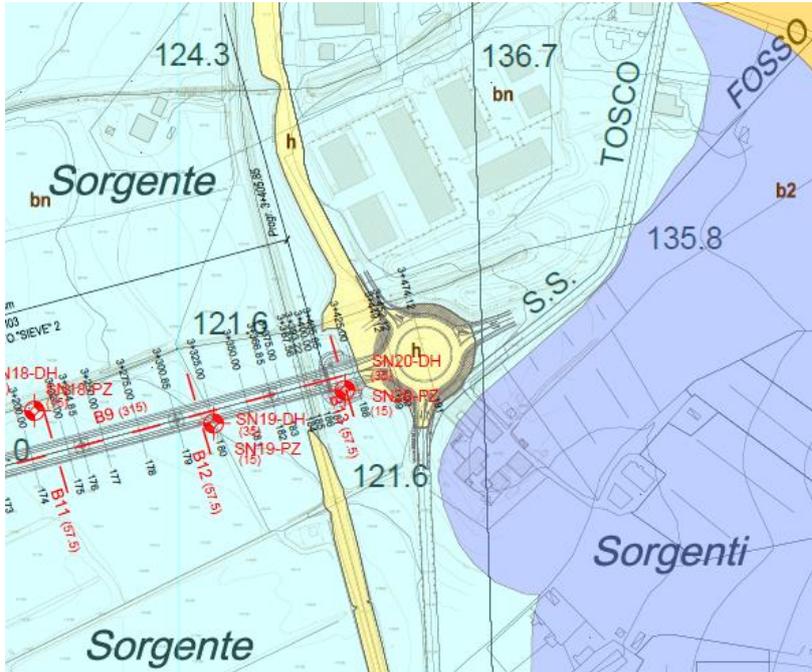


Figura 12-26 – Carta geologica di dettaglio dell'area della rotatoria dello Svincolo Scopeti

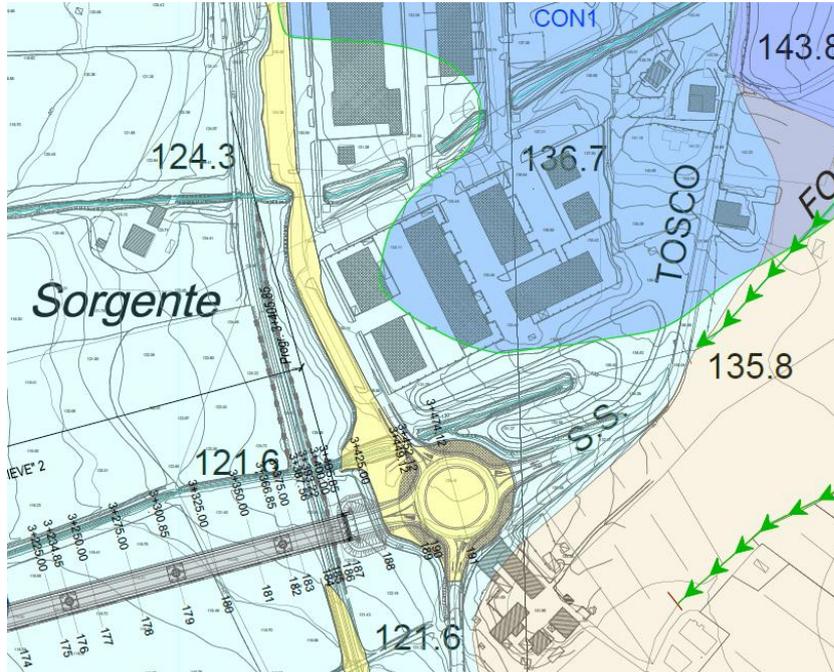


Figura 12-27 – Carta geomorfologica dell'area della rotatoria dello Svincolo Scopeti

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE 01-GEO-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA DVisionArchitecture	A	123 di 123
			Data 31/03/2022	



Figura 12-28 – Panoramica verso nord dello stato dell'alveo del tributario minore in sinistra idrografica del fiume Sieve nei pressi della rotatoria stradale esistente in località Scopeti.



Figura 12-29 – Panoramica verso nord dello stato dei luoghi nei pressi della rotatoria stradale esistente in località Scopeti.