

S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLÌ LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA22

PROGETTAZIONE: ANAS – DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES
Ing. P. LOSPENNATO
Ing. S. PELLEGRINI
Ing. A. POLLI
Ing. M. MARELLI
Ing. A. LUCIA

Ing. M. PROCACCI
Ing. R. CERQUIGLINI
Ing. M. CARAFFINI
Geom. M. BINAGLIA

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. E. RASIMELLI

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. F. RUGGIERI

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI SWISS ENGINEERS SA

Via Besso 7 - 6900 Lugano - Svizzera

MANDANTE



PINI SWISS ENGINEERS Srl

Via Cavour 2-22074 Lomazzo (CO) - Italia

MANDANTE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

CODICE PROGETTO

NOME FILE T00_GE01_GEO_RE01_A

REVISIONE

PAG.

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

D P C A 2 2

D

2 0 0 2

CODICE ELAB.

T 0 0

G E 0 1

G E O

R E 0 1

A

1 di 66

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

AGOSTO 2020

GHIRLANDA

PIAZZOLI-

RASIMELLI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 2 di 66</p>
--	--

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. ALLEGATI	5
3. RIFERIMENTI NORMATIVI	7
3.1 Normativa sui vincoli	7
4. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	8
5. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA	9
6. CAMPAGNA DI INDAGINE	11
6.1 Indagini geognostiche	11
6.1.1. Sondaggi geognostici	12
6.1.2. Pozzetti esplorativi	13
6.1.3. Indagini geofisiche	13
6.2 Rilievi di campo	14
6.2.1. Rilievi geologici	14
6.2.2. Rilievi geostrutturali	15
7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	17
7.1 Evoluzione geologica	18
7.2 Caratteristiche stratigrafiche	20
7.3 Caratteristiche strutturali	22
7.3.1. Tettonica paleozoica	23
7.3.2. Tettonica meso-cenozoica	23
8. ASSETTO GEOLOGICO LOCALE	26
8.1 Assetto litostratigrafico	26
8.1.1. Basamento metamorfico ercinico	26
8.1.1.1. Arenarie di San Vito	26
8.1.1.2. Scisti a graptoliti	27
8.1.2. Complesso intrusivo tardo-paleozoico	28
8.1.2.1. Unità intrusiva di Villagrande	28
8.1.2.2. Unità intrusiva di Lanusei	29
8.1.2.3. Porfidi granitici	30
8.1.3. Depositi continentali quaternari	31
8.1.3.1. Depositi alluvionali terrazzati	31
8.1.3.2. Depositi alluvionali recenti e attuali	31
8.1.3.3. Depositi eluvio-colluviali	31
9. ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE	33
10. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE	35

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 3 di 66</p>
--	---

10.1	Complessi idrogeologici	35
10.1.1.	Complessi delle unità del substrato	35
10.1.1.1	Complesso metamorfico	35
10.1.1.2	Complesso intrusivo	36
10.1.2.	Complessi dei depositi di copertura quaternari	36
10.1.2.1	Complesso alluvionale grossolano	36
10.1.2.2	Complesso detritico-colluviale	37
10.2	Opere di captazione ed emergenze sorgentizie	37
10.3	Monitoraggio piezometrico	38
11.	Criticità geologiche	40
11.1	Criticità geologico-tecniche	40
11.2	Criticità geomorfologiche	41
11.2.1.	Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Sardegna	42
11.3	Criticità idrogeologiche	42
11.4	Caratteristiche geomeccaniche degli ammassi	43
11.4.1.	Ammasso roccioso metamorfico	45
11.4.2.	Ammasso roccioso cristallino	46
12.	Descrizione dei settori d'intervento	48
12.1	Tratto km 0+000 ÷ km 0+400	48
12.2	Tratto km 0+400 ÷ km 0+820	49
12.3	Tratto km 0+820 ÷ km 1+653	50
12.4	Tratto km 1+653 ÷ km 1+928	52
12.5	Tratto km 1+928 ÷ km 3+007	53
12.6	Tratto km 3+007 ÷ km 3+700	55
12.7	Tratto km 3+700 ÷ km 4+640	56
12.8	Tratto km 4+640 ÷ km 5+533.38	60
13.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	63

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 4 di 66</p>
--	---

1. PREMESSA

Nell'ambito dell'esecuzione del progetto definitivo "S.S.389 tronco Villanova – Lanusei – Tortoli – lotto bivio Villagrande-svincolo di Arzana", sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso. In particolare il lavoro si è svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse;
- approfondimenti conoscitivi mediante studi fotointerpretativi condotti su ortofoto;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area, in conformità con gli standard metodologici di maggior rilievo a livello nazionale, come quelli dell'ISPRA;
- rilievi diretti mirati all'analisi ed alla definizione delle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi interessati dalle opere in progetto, in conformità con gli standard metodologici più importanti a livello internazionale, come quelli dell'ISRM;
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche disponibili ed appositamente realizzate nell'area di interesse progettuale;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 5 di 66</p>
--	---

2. ALLEGATI

A corredo della presente relazione sono stati elaborati i seguenti documenti:

Cod. Elaborato - Nome file	Titolo	Scala
DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE		
T 0 0 GE 0 0 GEO RE 0 1 A	Risultati delle indagini geotecniche	--
T 0 0 GE 0 0 GEO RE 0 2 A	Risultati delle indagini geofisiche	--
T 0 0 GE 0 0 GEO RE 0 3 A	Certificati delle prove di laboratorio	--
T 0 0 GE 0 0 GEO PU 0 1 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 1 di 4	1:2.000
T 0 0 GE 0 0 GEO PU 0 2 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 2 di 4	1:2.000
T 0 0 GE 0 0 GEO PU 0 3 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 3 di 4	1:2.000
T 0 0 GE 0 0 GEO PU 0 4 A	Planimetria con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 4 di 4	1:2.000
T 0 0 GE 0 0 GEO FG 0 1 A	Profilo con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 1 di 4	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 0 GEO FG 0 2 A	Profilo con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 2 di 4	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 0 GEO FG 0 3 A	Profilo con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 3 di 4	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 0 GEO FG 0 4 A	Profilo con ubicazione delle indagini geotecniche e geofisiche TAV. 4 di 4	1:2.000/1:200
GEOLOGIA E GEOTECNICA		
T 0 0 GE 0 1 GEO PF 0 1 A	Carta geologica e profilo geologico tav. 1 di 4 dal km 0+000.00 al km 1+500.00	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 1 GEO PF 0 2 A	Carta geologica e profilo geologico tav. 2 di 4 dal km 1+500.00 al km 3+000.00	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 1 GEO PF 0 3 A	Carta geologica e profilo geologico tav. 3 di 4 dal km 3+000.00 al km 4+500.00	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 1 GEO PF 0 4 A	Carta geologica e profilo geologico tav. 4 di 4 dal km 4+500.00 al km 5+533.38	1:2.000/1:200
T 0 0 GE 0 1 GEO CG 0 1 A	Carta geomorfologica tav. 1 di 2 dal km 0+000.00 al km 3+000.00	1:2.000
T 0 0 GE 0 1 GEO CG 0 2 A	Carta geomorfologica tav. 2 di 2 dal km 3+000.00 al km 5+533.38	1:2.000
T 0 0 GE 0 1 GEO CI 0 1 A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico tav. 1 di 4 dal km 0+000.00 al km 1+500.00	1:2.000/1:200

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 6 di 66</p>
--	---

Cod. Elaborato - Nome file										Titolo	Scala	
T	0	0	GE	0	1	GEO	CI	0	2	A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico tav. 2 di 4 dal km 1+500.00 al km 3+000.00	1:2.000/1:200
T	0	0	GE	0	1	GEO	CI	0	3	A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico tav. 3 di 4 dal km 3+000.00 al km 4+500.00	1:2.000/1:200
T	0	0	GE	0	1	GEO	CI	0	4	A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico tav. 4 di 4 dal km 4+500.00 al km 5+533.38	1:2.000/1:200
T	0	0	GE	0	1	GEO	SG	0	1	A	Sezioni geologiche 1 di 2	1:200
T	0	0	GE	0	1	GEO	SG	0	2	A	Sezioni geologiche 2 di 2	1:200
T	0	0	GE	0	1	GEO	RE	0	1	A	Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica	--
T	0	0	GE	0	1	GEO	RE	0	2	A	Rapporto di campagna - stop geologici	--
T	0	0	GE	0	1	GEO	RE	0	3	A	Relazione geostrutturale-geomeccanica	--
SISMICA												
T	0	0	GE	0	1	GEO	RE	0	4	A	Relazione Sismica	-
T	0	0	GE	0	1	GEO	CS	0	1	A	Carta della categoria di sottosuolo tav. 1 di 2 dal km 0+000.00 al km 3+000.00	1:2.000
T	0	0	GE	0	1	GEO	CS	0	2	A	Carta della categoria di sottosuolo tav. 2 di 2 dal km 3+000.00 al km 5+533.38	1:2.000

Tabella 1 - Documenti in allegato alle presenti note.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 7 di 66</p>
--	--

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito si riporta una sintesi della normativa nazionale e regionale di riferimento per il presente studio:

- D.M. LL.PP. del 16/01/1996 "Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche";
- UNI EN del 1997 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica";
- UNI EN del 1998 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica";
- D.P.R. 380 del 06/06/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia";
- D.M. Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" " di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

3.1 Normativa sui vincoli

Nel seguito vengono elencati i riferimenti normativi relativi a tutti i vincoli territoriali consultati per il presente lavoro:

- R.D.L. 3267 del 30/12/1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di territori montani";
- R.D. 1126 del 16/05/1926 "Approvazione del regolamento per l'applicazione del regio decreto 30 dicembre 1923, n. 3267, concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- L. 267 del 03/08/1998 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania"
- D.Lgs. 152 del 03/04/2006 "Norme in materia ambientale".

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 8 di 66</p>
--	---

4. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il progetto in oggetto rientra nei lavori della nuova SS389, della quale sono stati già realizzati i tratti a nord dello svincolo di Villagrande Strisaili.

L'intervento prevede una variante della SS389 nel tratto tra Villagrande Strisaili e Arzana, a due corsie (categoria C ex DM 05.11.2001) per una estesa di circa 6 Km. La variante si sviluppa nell'ambito del corridoio già interessato dalla statale esistente, e prevede la realizzazione di diversi viadotti ed opere di sostegno, oltre a svincoli di allaccio alla statale esistente.

L'opera migliora le caratteristiche geometriche della strada statale, che presenta attualmente elevata tortuosità, incrementando il livello di sicurezza in esercizio.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 9 di 66</p>
--	---

5. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

L'area di studio si colloca nella porzione centro-occidentale della Sardegna, lungo la S.S.389 tronco Villanova – Lanusei – Tortoli – lotto bivio Villagrande-svincolo di Arzana. La tratta di studio interessa i territori dei comuni di Arzana e Villagrande Trisaili, in provincia di Nuoro (NU). Il tracciato in esame si sviluppa tra località Fiera del Bestiame, a nord, e località Coa e Cea, a sud, in prossimità del Lago alto di Flumendosa.

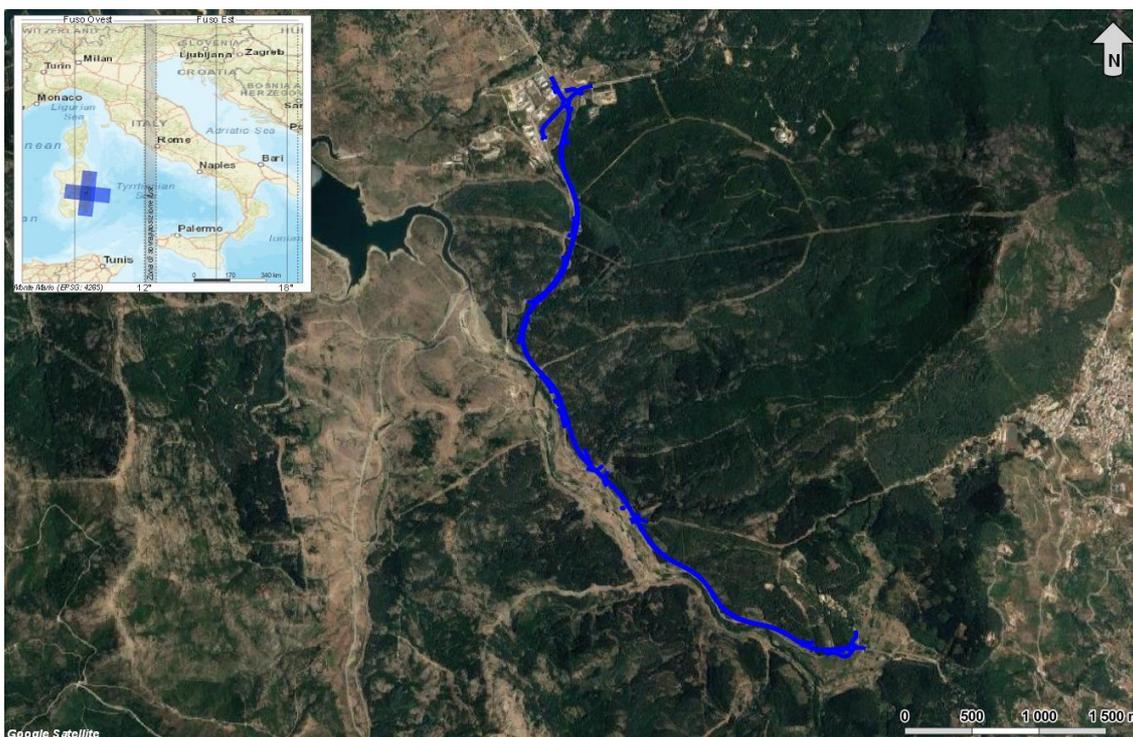


Figura 1 – Corografia dell'area di studio geologico con individuazione della tratta di studio della s.s. 389 (in blu).

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area di studio è individuabile all'interno del Foglio 219 (Lanusei) in scala 1:100000, nelle Tavolette 219-IV-NO (Villagrande Strisaili) e 219-IV-SO (Lanusei), in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sardegna, nelle sezioni 531060 e 531070, in scala 1:10000.

Dal punto di vista orografico il tracciato in esame impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 804 m s.l.m. e 885 m s.l.m. circa. Dal punto di vista morfologico, invece, si sviluppa lungo le pendici del massiccio dei Monti del Gennargentu, in particolare lungo la parte bassa dei versanti di Monte Idolo, immergenti a sud-ovest.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Flumendosa, posto subito ad ovest del tracciato in esame. Tale corso d'acqua nasce dai Monti del Gennargentu, attraversa il Lago alto del Flumendosa e il Lago basso del Flumendosa e sfocia nel mar

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 10 di 66</p>
--	--

Tirreno a Villaputzu. Gli elementi idrografici che interessano direttamente la tratta in esame sono invece rappresentati, da nord a sud, dal Bacu Gerdilis e da Bacu Idolo. Ad essi si aggiungono una serie di corsi d'acqua secondari, a carattere stagionale e/o torrentizio, e numerosi solchi da ruscellamento concentrato attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi.

6. CAMPAGNA DI INDAGINE

Nel corso dello studio sono state consultate e analizzate tutte le indagini geognostiche appositamente realizzate nel settore di territorio interessato dagli interventi in progetto. L'intero set di dati derivanti dalle indagini di sito ha permesso di configurare un quadro di conoscenze soddisfacente, in relazione alla specifica fase di approfondimento progettuale in corso, circa l'assetto litostratigrafico e geologico-strutturale dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

Nel corso delle campagne indagini 2017 e 2020, lungo la tratta in esame, sono state realizzate indagini dirette e indirette. Complessivamente sono state analizzate le seguenti indagini di sito:

- n. 23 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo di cui 12 non attrezzati, 6 strumentati con piezometro e 5 attrezzati per sismica in foro;
- n. 7 pozzetti esplorativi;
- n. 13 stendimenti sismici a rifrazione.

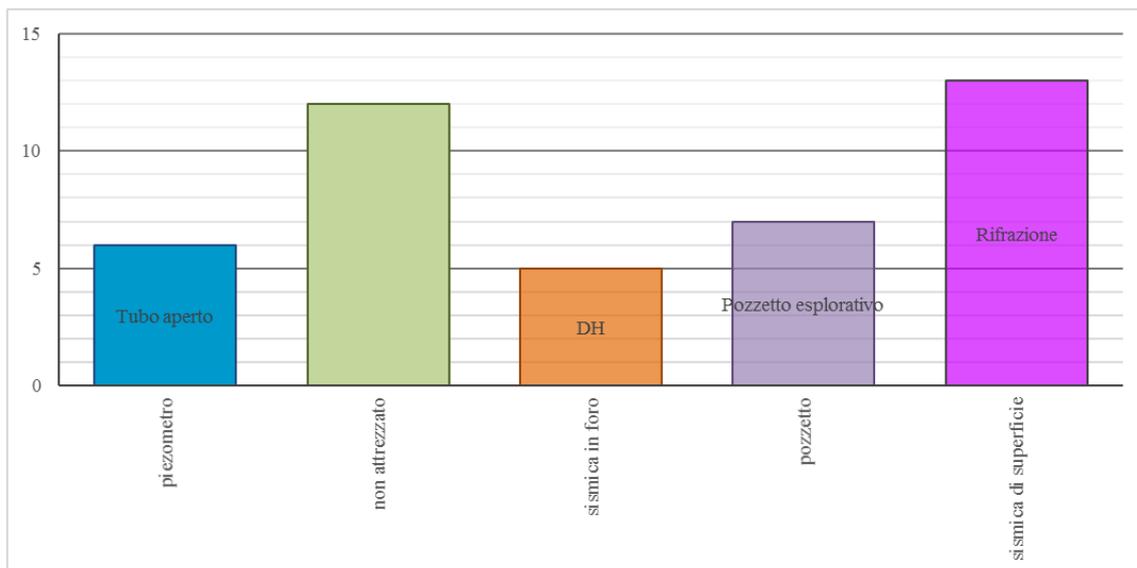


Figura 2 – Grafico mostrante la distribuzione e il numero delle indagini geognostiche a disposizione.

Il numero totale dei campioni prelevati è di 117, mentre quello delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio è di 44.

6.1 Indagini geognostiche

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi delle indagini disponibili, i punti di ubicazione sono riportati nell'allegata "Planimetria ubicazione indagini geognostiche" (T00GE00GEOPU01-4A).

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 13 di 66</p>
--	--

sigla	pk	Monte Mario/Italy1		strumentazione	prof m	campioni				prove in foro			
		X	Y			I	R	L	SPT	SPT P	D	Ps	
<i>Totale</i>						0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 2 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nell'ambito della campagna indagini 2020, elencati in ordine di progressiva pk. I: Indisturbati, R: Rimaneggiati, L: Litoidi, SPT: SPT.

6.1.2. Pozzetti esplorativi

Di seguito vengono elencati tutti i pozzetti esplorativi eseguiti nell'ambito della campagna indagini 2017 (T00GE00GEORE01A), con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003), profondità, numero dei campioni prelevati).

sigla	pk	Monte Mario/Italy1		profondità m	campioni
		X	Y		
Pz1	0+060	1541021	4421081	3.0	0
Pz2	0+845	1541105	4420331	1.3	0
Pz3	2+368	1540953	4419012	0.9	0
Pz4	3+238	1541391	4418290	0.4	0
Pz5	3+577	1541591	4418010	1.0	0
Pz6	4+669	1542341	4417258	0.4	0
Pz7	5+418	1543084	4416915	3.0	0
Totale					0

Tabella 3 - Sintesi dei pozzetti esplorativi realizzati nell'ambito della campagna indagini del 2017, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk).

6.1.3. Indagini geofisiche

Nelle tabelle seguenti è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche eseguite nell'ambito della campagna indagini 2017 (T00GE00GEORE02A), con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, pk e coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003) del punto iniziale (a) e del punto finale (b) di ogni singolo stendimento, tipologia di indagine e lunghezza).

sigla	punto iniziale (a)			punto finale (b)			tipologia	lunghezza m
	pk	X	Y	pk	X	Y		
LSR1	0+065	1541019	4421077	0+190	1541017	4420968	Rifrazione	110
LSR2	0+805	1541118	4420371	0+860	1541121	4420316	Rifrazione	55
LSR3	1+043	1541078	4420141	1+153	1541040	4420038	Rifrazione	110
LSR4	1+301	1540989	4419902	1+360	1540965	4419853	Rifrazione	55
LSR5	1+503	1540887	4419744	1+558	1540848	4419705	Rifrazione	55
LSR6	1+646	1540785	4419640	1+751	1540728	4419547	Rifrazione	110
LSR7	1+833	1540706	4419465	1+940	1540709	4419355	Rifrazione	110

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 14 di 66</p>
--	--

sigla	punto iniziale (a)			punto finale (b)			tipologia	lunghezza m
	pk	X	Y	pk	X	Y		
LSR8	2+306	1540922	4419070	2+358	1540958	4419028	Rifrazione	55
LSR9	3+082	1541264	4418384	3+136	1541308	4418351	Rifrazione	55
LSR10	3+489	1541525	4418074	3+544	1541552	4418026	Rifrazione	55
LSR11	4+025	1541871	4417680	4+080	1541922	4417658	Rifrazione	55
LSR12	4+541	1542239	4417335	4+598	1542284	4417303	Rifrazione	55
LSR13	4+790	1542460	4417235	4+845	1542514	4417224	Rifrazione	55

Tabella 4 - Sintesi delle indagini geofisiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini 2017, elencati in ordine di progressiva chilometrica (pk).

6.2 Rilievi di campo

Nell'ambito del presente studio sono stati effettuati appositi rilievi di campo volti alla definizione delle principali caratteristiche geologiche e geomeccaniche dei termini litologici presenti nella zona di intervento.

6.2.1. Rilievi geologici

Per poter definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche proprie dei settori di intervento, nell'ambito della presente fase di approfondimento progettuale sono stati effettuati appositi rilievi di campo, opportunamente distribuiti su tutta la zona di interesse. Per il presente tratto sono stati condotti n. 29 stop geologici, tutti riportati sulla cartografia geologica di riferimento (T00GE01GEOCG01-4A).

Per ogni stop geologico è stata realizzata una apposita scheda di sintesi, contenente le principali informazioni geologiche e spaziali (comune di riferimento, località, stralcio cartografico, coordinate, unità geologica, descrizione geologica, condizione del fronte, foto). Le schede di sintesi sono identificate da un codice numerico univoco e sono riportate del relativo rapporto di campagna (T00GE01GEORE02A).

sigla	pk	Monte Mario/Italy 1		distanza dal tracciato m	unità geologica
		X	Y		
G1	-	1540965	4421272	-	VGD1b
G2	0+166.55	1540933	4421017	117 dx	VGD1e
G3	0+299.98	1540894	4420880	115 dx	b2
G4	0+316.01	1540903	4420858	102 dx	VGD1e
G5	0+447.15	1540877	4420686	127 dx	SVI
G6	0+751.59	1541082	4420417	25 dx	SVI
G7	0+853.62	1541092	4420322	28 dx	SVI
G8	1+034.45	1541070	4420153	28 dx	SVI
G9	1+047.03	1541029	4420152	67 dx	SVI
G10	1+287.86	1541031	4419901	11 sx	SVI
G11	1+495.70	1540899	4419741	12 dx	SVI

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 15 di 66</p>
--	--

sigla	pk	Monte Mario/Italy 1		distanza dal tracciato <i>m</i>	unità geologica
		X	Y		
G12	1+565.33	1540860	4419681	5 sx	SVI
G13	1+597.16	1540841	4419655	11 sx	SVI
G14	1+964.33	1540670	4419323	48 dx	SVI
G15	1+994.69	1540650	4419281	77 dx	SVI
G16	2+193.17	1540824	4419132	7 dx	SVI
G17	2+406.81	1540931	4418955	40 dx	SVI
G18	2+825.41	1541050	4418557	57 dx	SVI
G19	3+077.30	1541299	4418428	61 sx	SVI
G20	3+142.05	1541353	4418391	71 sx	SVI
G21	4+015.50	1541844	4417645	46 dx	SVI
G22	4+093.90	1541928	4417639	16 dx	SVI
G23	4+319.57	1542092	4417497	10 dx	SVI
G24	4+503.54	1542182	4417330	31 dx	SVI
G25	4+584.76	1542251	4417275	29 dx	LNU1d/SVI
G26	4+674.03	1542347	4417261	in asse	LNU1d
G27	4+919.85	1542581	4417190	12 dx	LNU1d
G28	5+015.92	1542656	4417133	31 dx	LNU1d
G29	5+240.68	1542859	4417021	31 dx	LNU1d

Tabella 5 – Sintesi degli stop geologici effettuati nella presente fase progettuale.

6.2.2. Rilievi geostrutturali

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione dei termini litologici presenti lungo il tracciato stradale in oggetto, nell'ambito dello studio sono stati analizzati i risultati di numerosi rilievi geostrutturali appositamente condotti in tutto il settore di intervento. I suddetti rilievi sono stati eseguiti secondo gli *standard* della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1993).

Durante la presente fase di approfondimento progettuale sono stati condotti n. 20 stop geostrutturali, tutti riportati sulla cartografia geologica di riferimento (T00GE01GEOCG01-4A). I punti di rilievo sono stati analizzati distintamente nel caso degli ammassi rocciosi e nel caso degli ammassi eterogenei.

Per quanto concerne gli ammassi rocciosi, sono state determinate le principali caratteristiche dei giunti (spaziatura, apertura, persistenza, rugosità, riempimento), della roccia intatta (resistenza a compressione, grado di alterazione) e dell'ammasso (struttura, forma dei blocchi, condizioni idrauliche).

Tutti i dati raccolti hanno così permesso di caratterizzare gli ammassi rocciosi investigati e di definire, per ogni singolo punto di rilievo, il *range* di variazione del Geological Strength Index (GSI). Le schede di sintesi sono identificate da un codice numerico

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 16 di 66</p>
--	--

univoco e sono riportate del relativo rapporto di campagna (T00GE01GEORE03A). Nella tabella seguente, invece, è riportata una sintesi di ogni singola stazione, con indicazione dei principali dati tecnici (sigla, pk, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003), distanza dal tracciato e unità geologica).

sigla	pk	Monte Mario/Italy 1		distanza dal tracciato m	unità geologica
		X	Y		
G2	0+166.55	1540933	4421017	117 dx	VGD1e
G5	0+447.15	1540877	4420686	127 dx	VGD1e
G7	0+853.62	1541092	4420322	28 dx	SVI
G8	1+034.45	1541070	4420153	28 dx	SVI
G10	1+287.86	1541031	4419901	11 sx	SVI
G11	1+495.70	1540899	4419741	12 dx	SVI
G13	1+597.16	1540841	4419655	11 sx	SVI
G15	1+994.69	1540650	4419281	77 dx	SVI
G16	2+193.17	1540824	4419132	7 dx	SVI
G17	2+406.81	1540931	4418955	40 dx	SVI
G19	3+077.30	1541299	4418428	61 sx	SVI
G20	3+142.05	1541353	4418391	71 sx	SVI
G21	4+015.50	1541844	4417645	46 dx	SVI
G22	4+093.90	1541928	4417639	16 dx	SVI
G23	4+319.57	1542092	4417497	10 dx	SVI
G24	4+503.54	1542182	4417330	31 dx	SVI
G26	4+674.03	1542347	4417261	0 dx	LNU1d
G27	4+919.85	1542581	4417190	12 dx	LNU1d
G28	5+015.92	1542656	4417133	31 dx	LNU1d
G29	5+240.68	1542859	4417021	31 dx	LNU1d

Tabella 6 – Sintesi gli stop geo-strutturali effettuati nella presente fase progettuale.

7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La Sardegna rappresenta un blocco essenzialmente stabile della crosta continentale europea (Ricci & Sabatini 1978; Barca et al. 2016). Il basamento dell'isola è pertanto considerato come un segmento della Catena Ercinica Sud-Europea, formatosi a partire dal Paleozoico (Cocco 2013; Pertusati et al. 2002). Infatti, prima della rotazione del Blocco Sardo-Corso nel Miocene inferiore, tale basamento risultava in continuità strutturale con i relativi basamenti del Massiccio Centrale Francese, dei Mauri e della Montagna Nera (Arthaud & Matte 1966; Ricci & Sabatini 1978; Cherchi & Montadert 1982; Cherchi & Trémolières 1984).

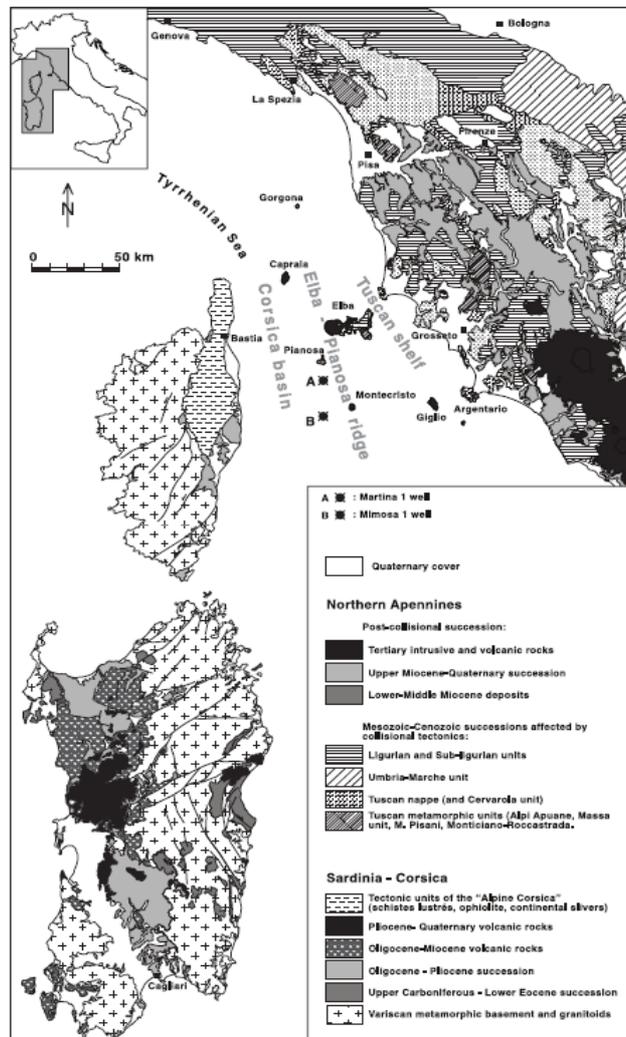


Figura 3 – Schema stratigrafico-strutturale dell'Appennino settentrionale, del Blocco Sardo-Corso e del Bacino Tirrenico settentrionale (da Carmignani et al. 2004).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 18 di 66</p>
--	--

7.1 Evoluzione geologica

La Catena Ercinica Sud-Europea è caratterizzata da raccorciamenti e da una zonazione tettono-metamorfica tipica di orogenesi da collisione continentale (Carmignani et al. 1978; Arthaud & Sauniac 1981). In generale, si ritiene che tale elemento rappresenti una catena collisionale associata a subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione durante il Siluriano, a cui segue una collisione continentale con ispessimento crostale, metamorfismo e magmatismo tra il Devoniano e il Carbonifero (Matte 1986; Carmignani et al. 1992a).

Il Batolite Ercinico Sardo è caratterizzato da una struttura particolarmente complessa, ad affinità prevalentemente calcoalcalina, di età compresa tra i 310 ed i 274 Ma (Di Simplicio et al. 1975; Brotzu et al. 1982; Carmignani et al. 1982; Beccaluva et al. 1985; Cocherie 1985; Del Moro et al. 1991; Castorina & Petrini 1992; Brotzu et al. 1994). Esso è formato da diversi corpi intrusivi ben distinguibili, con una gamma composizionale che si estende dai gabbri ai leucograniti, con una netta prevalenza di *facies* francamente granitiche (Ghezzo et al. 1972; Di Simplicio et al. 1974; Orsini 1976; Pertusati et al. 2002).

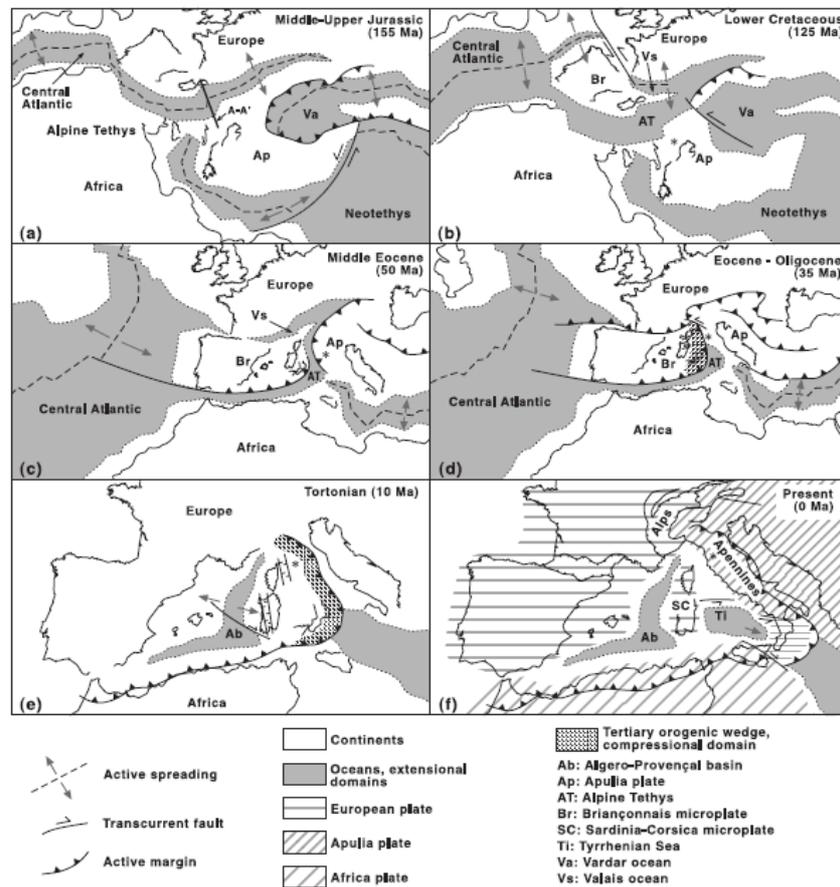


Figura 4 – Evoluzione geologica del Mediterraneo occidentale e del Blocco Sardo-Corso (da Carmignani et al. 2004).

La sequenza di messa in posto inizia con intrusioni tonalitiche a cui seguono granodioriti e monzograniti e termina, quindi, con intrusioni leucogranitiche (Bralia et al. 1981). In rapporto al regime tettonico dell'area, la messa in posto dei plutoni si colloca all'interno della dinamica collisionale della catena e, quindi, è possibile suddividere i granitoidi in tre grandi famiglie: plutoni sin-tettonici, tardo-tettonici e post-tettonici (Ghezzi & Orsini 1982).

Durante il Mesozoico la Sardegna costituisce una parte del Margine Passivo Sud-Europeo e mostra i caratteri di un cratone stabile soggetto a periodiche trasgressioni e regressioni (Pertusati et al. 2002). L'isola non è stata pienamente coinvolta negli eventi collisionali che hanno interessato le zone limitrofe durante l'orogenesi alpina, in quanto si è sempre trovata ai margini di due cinture orogeniche, quali i Pirenei nell'Eocene medio – Oligocene inferiore e l'Appennino settentrionale dell'Oligocene superiore – Miocene inferiore (Cherchi & Schroeder 1976; Barca & Costamagna 1997; Pertusati et al. 2002).

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 20 di 66</p>
--	--

Secondo alcuni Autori la Sardegna è stata interessata dalla tettonica collisionale dell'Appennino settentrionale, che ha portato allo sviluppo di un sistema di faglie trascorrenti a carattere sia transpressivo che transtensivo (Carmignani et al. 1992b; Oggiano et al. 1995; Pasci 1995). Tali elementi hanno portato alla creazione di bacini subsidenti a sedimentazione prevalentemente vulcano-clastica e sono localmente accompagnati da sovrascorrimenti del basamento paleozoico sulle coperture post-erciniche (Barca et al. 2016).

Altri Autori ritengono, invece, che le strutture e i depositi dell'Eocene medio – Oligocene inferiore della Sardegna meridionale siano da mettere in relazione con l'evoluzione della Catena Pirenaica (Cherchi & Schroeder 1976; Barca & Costamagna 1997, 2000), mentre il *Rift* Sardo sia da correlare col regime tettonico distensivo dell'Oligocene superiore – Miocene inferiore (Cherchi & Montadert 1982). Quest'ultima struttura si inquadra nel sistema di *rift* europeo contemporaneo all'apertura del Mediterraneo occidentale (Casula et al. 2001) e ha dato origine alla grande Fossa Sarda tra il Golfo di Cagliari e il Golfo dell'Asinara (Vardabasso 1962). In connessione con questi eventi ha luogo un'imponente attività vulcanica ad affinità calcocalina con prodotti effusivi ed esplosivi a composizione da basaltica a riolitica, nota come "Ciclo Vulcanico Oligo-Miocenico" (Beccaluva et al. 1987; Lecca et al. 1997; Carmignani et al. 2001).

Alla fine del Burdigaliano si conclude la rotazione del Blocco Sardo-Corso e la contemporanea apertura del Bacino Balearico (Cherchi & Montadert 1982; Pertusati et al. 2002). Per alcuni Autori questo evento è associato a una fase tettonica compressiva a causa della collisione contro la Placca Apula (Cherchi & Montadert 1982), mentre per altri è connesso a una fase distensiva per via del collasso gravitativo del cuneo orogenico Corsica-Appennino dell'Oligocene superiore – Aquitaniano (Carmignani et al. 2001). Un nuovo episodio di *rifting* si verifica quindi tra il Miocene superiore e il Pliocene, con l'apertura del Tirreno meridionale che segue alla migrazione dell'Arco Calabro (Pertusati et al. 2002).

7.2 Caratteristiche stratigrafiche

Il territorio della Sardegna è costituito da differenti complessi geologici, strettamente connessi con l'evoluzione stratigrafico-strutturale del Blocco Sardo-Corso (Cocco 2013; Pertusati et al. 2002). Tali complessi sono costituiti da rocce metamorfiche, ignee e sedimentarie, con potenza ed estensione estremamente variabile. I termini ignei, sia effusi che intrusivi, si rinvencono diffusamente in gran parte dell'isola, mentre i termini metamorfici affiorano essenzialmente nei settori meridionali e settentrionali della stessa. Le rocce sedimentarie sono generalmente meno frequenti delle precedenti e si rinvencono prevalentemente nei settori centrali del territorio sardo e in corrispondenza del *graben* del Campidano.

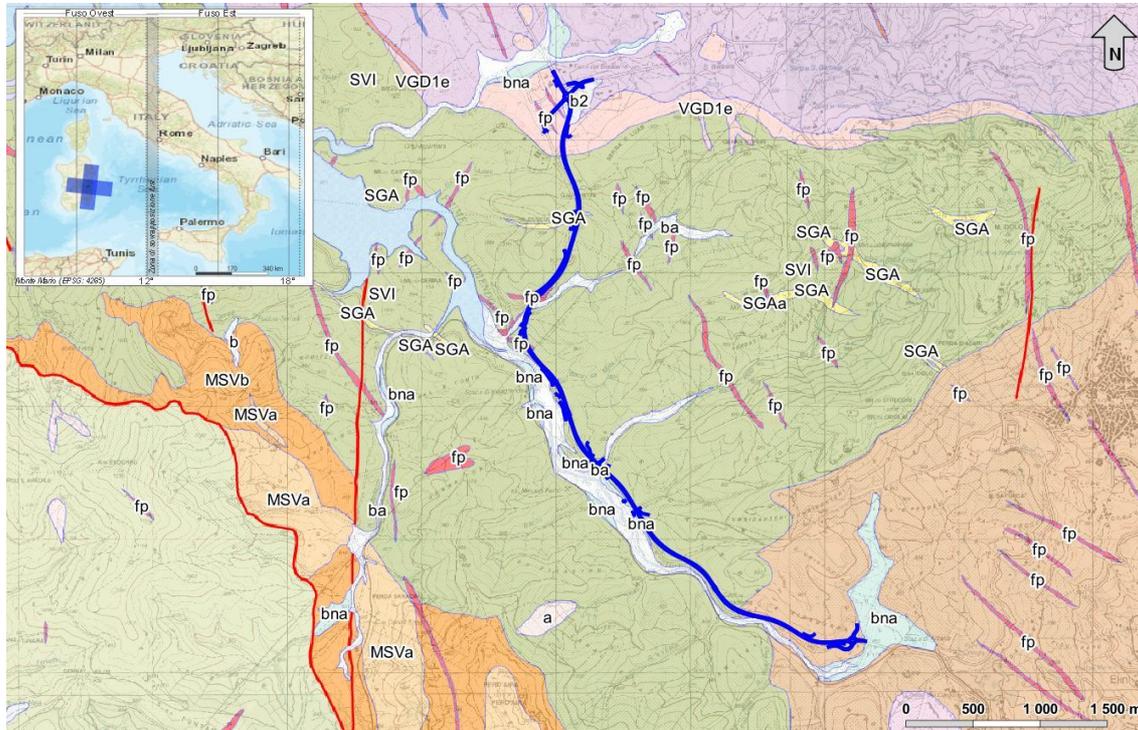


Figura 5 - Stralcio della Carta Geologica della Sardegna, con individuazione della tratta in esame (blu).
 Legenda: SVI Arenarie di San Vito; MSV Formazione di Monte Santa Vittoria; SGA Scisti a Graptoliti Auct; VGD Unità Intrusiva Di Villagrande; LNU Unità Intrusiva di Lanusei; fp Porfidi granitici; fq Filoni idrotermali; fb Porfidi granitici; bna Depositi alluvionali terrazzati; ba Depositi alluvionali recenti e attuali; a Depositi di versante; b2 Coltri eluvio-colluviali.

Con diretto riferimento a quanto riportato nella Carta Geologica della Regione Sardegna in scala 1:25000 (Regione Sardegna 2016), e in conformità con la Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000 nel foglio 566 "Jerzu" (ISPRA 2002), le successioni stratigrafiche presenti nell'area di interesse possono essere distinte, dal basso verso l'alto, in:

- **Arenarie di San Vito** (Cambriano Medio - Ordoviciano Inf) Alternanze irregolari (SVI), da decimetriche a metriche, di metarenarie micacee, quarziti e metasiltiti, e livelli di metaconglomerati minuti quarzosi nella parte alta.
- **Formazione di Monte Santa Vittoria** (Ordoviciano? Medio)
 - *Litofacies Metaepiclastiti*: metaepiclastiti a matrice vulcanica (MSVa), metaquarzogrovacche e metarenarie, metaconglomerati a prevalenti componenti di vulcaniti acide ("formazione di Manixeddu" Auct.);
 - *Litofacies nella Metagrovacche*. Metagrovacche vulcaniche e metavulcaniti (MSVb); probabili originarie piroclastiti a chimismo intermedio-basico ("formazione di Serra Tonnai" Auct.);
- **Scisti a Graptoliti auct** (Siluriano - Devoniano Medio) Metapeliti carboniose e metasiltiti con graptoliti (SGA); intercalati livelli di diaspri neri (liditi);
 - *Litofacies Metacalcari*. Metacalcari scuri (SGAA) e metacalcari nodulari

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 22 di 66</p>
--	--

fossiliferi;

- **Formazione delle Filladi Grigie del Gennargentu** (Cambriano Medio - ?Ordoviciano Inf?) Irregolare alternanza di livelli da decimetrici a metrici di metarenarie quarzose e micacee (GEN), quarziti, filladi quarzose e filladi ("Postgotlandiano" Auct.);
- **Unità Intrusiva di Villagrande**
 - **Subunità intrusiva di Villanova**
 - *Facies Lago Alto Flumendosa* (Carbonifero Superiore) Granodioriti monzogranitiche biotitiche (VGD1b), a grana medio-grossa, inequigranulari, con fenocristalli di Kfs pluricentimetrici, tessitura orientata;
 - *Facies Pedrarbas* (Carbonifero Sup. – Permiano) Leucograniti biotitici (VGD1e), biancastri, a grana fine, equigranulari, tessitura isotropa;
- **Unità Intrusiva di Lanusei**
 - **Subunità intrusiva di Ilbono**
 - *Facies Cardedu* (Carbonifero Sup. – Permiano) Granodioriti biotitico-anfiboliche grigio chiare (LNU1d), a grana grossa, equigranulari, tessitura orientata;
 - *Facies Barisardo* (Carbonifero Sup. – Permiano) Tonaliti granodioritiche (LNU1e), grigie, a grana media, inequigranulari per Kfs di taglia fino a 2-3 cm, tessitura isotropa;
- **Porfidi granitici** (Carbonifero Sup. - Permiano) di colore prevalentemente rosato e rossastro (fp), a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi;
- **Filoni idrotermali** (Carbonifero Sup. - Permiano) a prevalente quarzo (fq), spesso mineralizzati a barite e fluorite, talora anche con solfuri metallici (Pb, Zn, Cu, Fe, etc). Carbonifero Sup. – Permiano;
- **Porfidi granitici** (Carbonifero Sup. – Permiano) di colore prevalentemente rosato e rossastro (fb), a struttura da afirica a porfirica per fenocristalli di Qtz, Fsp e Bt e tessitura isotropa; in giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi;
- **Depositi alluvionali terrazzati** (Olocene) Ghiaie con subordinate sabbie (bna);
- **Depositi alluvionali** (Olocene) Ghiaie da grossolane a medie (ba);
- **Depositi di versante** (Olocene) Detriti con clasti angolosi (a), talora parzialmente cementati.
- **Coltri eluvio-colluviali** (Olocene) Detriti immersi in matrice fine (b2), talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica.

7.3 Caratteristiche strutturali

L'assetto strutturale della Sardegna è fortemente influenzato sia dagli eventi deformativi connessi all'orogenesi ercinica che dall'evoluzione tettonica mesozoica e cenozoica (Carmignani et al. 2001; Funedda et al. 2012). I primi hanno determinato l'ossatura del basamento metamorfico paleozoico durante il Carbonifero superiore - Permiano, mentre

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 23 di 66</p>
--	--

i secondi hanno portato all'attuale strutturazione tettonica dell'intero Blocco Sardo-Corso (Cherchi & Montadert 1982; Carmignani et al. 2001; Funedda et al. 2012; Barca et al. 2016). Per quanto riguarda la tettonica eo-caledoniana, antecedente a quella ercinica, sono presenti solo sporadiche evidenze che possano testimoniare la presenza di una fase deformativa relativa all'Ordoviciano inferiore-medio (Funedda et al. 2012).

7.3.1. Tettonica paleozoica

L'orogenesi ercinica che ha interessato il basamento della Sardegna è caratterizzata da una complessa tettonica polifasica associata a un metamorfismo in *facies* degli scisti verdi (Carmignani et al. 1987, 1994; Pertusati et al. 2002). L'evoluzione tettonica si articola, quindi, in una fase di raccorciamento connessa alla collisione continentale ed in una distensiva fase post-collisionale (Carosi & Pertusati 1990; Conti et al. 1999; Pertusati et al. 2002; Funedda et al. 2012).

La fase di raccorciamento è quella che ha indotto nella successione cambro-carbonifera la deformazione più importante, con metamorfismo sin-cinematico e formazione di pieghe isoclinali e sovrascorrimenti che hanno sovrapposto le diverse unità tettoniche (Carmignani et al. 1982; Funedda et al. 2012). Gli ultimi stadi del raccorciamento sembrano responsabili della formazione delle grandi strutture antiformali che ripiegano gli elementi suddetti (Funedda et al. 2012).

Durante la fase post-collisionale, la risposta al disequilibrio isostatico nell'edificio a falde precedentemente formatosi è caratterizzata da pieghe asimmetriche e zone di taglio con cinematica diretta (Funedda et al. 2012). Tali elementi favoriscono il sollevamento dei nuclei più profondi delle unità tettoniche, esasperando la geometria antiformali dell'edificio a falde acquisita durante la fase tardiva del raccorciamento (Carosi & Pertusati 1990; Conti et al. 1999; Funedda et al. 2012).

Tra il Carbonifero superiore e il Permiano, al termine dell'orogenesi ercinica, la Sardegna è stata interessata da un'ulteriore deformazione tettonica che ha portato alla formazione di numerosi bacini sedimentari (Carmignani et al. 1992a; Pertusati et al. 2002; Funedda et al. 2012). La formazione di tali elementi è prevalentemente connessa a paleodepressioni attivate da tettonica trascorrente o, al più, da faglie dirette a basso angolo (Barca et al. 1995; Funedda et al. 2012). Le successioni che colmano i bacini sono interessate da numerose faglie dirette orientate circa N-S, spesso sature dai depositi mesozoici ed eocenici direttamente sovrapposti (Funedda et al. 2012).

7.3.2. Tettonica meso-cenozoica

Dopo il Paleozoico, l'isola è stata interessata da diverse e importanti fasi tettoniche, che hanno portato alla formazione delle attuali strutture geologiche (Cherchi & Montadert 1982; Carmignani et al. 2001, 2004). Tali fasi hanno prodotto numerosi elementi tettonici, per lo più di tipo fragile, che hanno interessato tutte le coperture post-paleozoiche a più riprese influenzandone la sedimentazione (Funedda et al. 2012). Il sovrapporsi di

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 24 di 66</p>
--	---

numerosi cicli tettono-sedimentari è testimoniato dalle numerose discordanze angolari che separano i vari termini litostratigrafici meso-cenozoici (Carmignani et al. 2001; Pertusati et al. 2002; Funedda et al. 2012).

Le strutture precedenti alla formazione dei bacini oligo-miocenici evidenziano una riattivazione nel tempo dei lineamenti orientati N-S, che rigettano anche le formazioni mioceniche, e di faglie NW-SE, responsabili anche della strutturazione dei bacini tardo-cenozoici e della fossa pliocenica del Campidano (Cherchi & Trémolières 1984; Oggiano et al. 1987; Funedda et al. 2012). La maggiore evidenza dell'attività tettonica pre-eocenica è rappresentata dalla discordanza angolare con cui le formazioni eoceniche poggiano sui depositi paleozoici, triassici e giurassici (Funedda et al. 2012).

L'impronta deformativa terziaria più importante è data proprio dalla tettonica che ha strutturato i diversi bacini oligo-miocenici (Carmignani et al. 2001; Barca et al. 2016). All'interno di tali bacini, vengono comunemente riconosciuti tre cicli sedimentari, rappresentati da depositi silicoclastici e carbonatici con associati prodotti vulcanici effusivi e piroclastici (Lecca et al. 1997; Carmignani et al. 2001, 2004; Funedda et al. 2012; Barca et al. 2016). I bacini riferiti al I ciclo sedimentario sono connessi alla tettonica trascorrente generata dalla spinta nord-appenninica (Carmignani et al. 2001; Barca et al. 2016), mentre i bacini del II e III ciclo sono associati a due differenti fasi tettoniche distensive (Carmignani et al. 1992b).

La tettonica trascorrente dell'Oligocene superiore - Burdigaliano inferiore ha prodotto diversi sistemi di faglie ad alto angolo che interessano sia il basamento ercinico che le relative coperture. Tra questi è possibile riconoscere due sistemi di faglie trascorrenti sinistre, con direzione NE-SW e ENE-WSW, e un sistema di faglie trascorrenti destre, con direzione circa E-W (Pasci 1997; Pasci et al. 1998; Carmignani et al. 2001). In particolare, alle faglie trascorrenti sinistre sono associate sia zone di transpressione con raddoppi tettonici che strutture trastensive (Oggiano et al. 1995; Barca et al. 2016). Solo nella Sardegna centro-meridionale le strutture trascorrenti sono orientate NW-SE, con movimenti destri, ma presentano rilevanti componenti dirette che determinano la formazione di bacini con sedimentazione prevalentemente marina (Barca et al. 2016).

Solo durante il Burdigaliano, con l'apertura del Bacino Balerarico, si assiste al passaggio dalla tettonica trascorrente a quella distensiva, che si riflette con l'apertura di bacini marini ad andamento circa NNW-SSE (Funedda et al. 2000; Barca et al. 2016). Contemporaneamente, le faglie trastensive dei bacini oligo-aquitani della Sardegna centro-meridionale sono state riattivate con rigetti prevalentemente diretti (Barca et al. 2016). Le faglie NNW-SSE che bordano i bacini sono inoltre tagliate da una serie di faglie di trasferimento orientate circa E-W, che separano vari *semi-graben* con direzione di *tilting* opposta.

La tettonica pliocenica, infine, ha portato allo sviluppo di numerose strutture distensive a cui sono connessi bacini sedimentari di particolare rilevanza, come il *Graben* del

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 25 di 66</p>
--	--

Campidano (Pecorini & Pomesano Cherchi 1969; Pala et al. 1982). Durante questa fase si assiste alla riattivazione delle direttrici strutturali più antiche e allo sviluppo di una nuova famiglia di faglie a direzione N-S (Pala et al. 1982; Barca et al. 2016), responsabile tra l'altro della strutturazione ad andamento meridiano dei contorni dell'isola. Ad essa si aggiungono due ulteriori sistemi di faglie orientati circa NNW-SSE e E-W, talvolta con una debole componente trascorrente (Cherchi & Montadert 1982; Pala et al. 1982).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 26 di 66</p>
--	--

8. ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

L'assetto stratigrafico-strutturale dell'area di stretto interesse progettuale è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente condotta, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito esistenti o appositamente realizzate per il presente studio.

8.1 Assetto litostratigrafico

Nei settori di stretto interesse progettuale, quindi, sono state individuate e perimetrare numerose unità geologiche, di seguito descritte dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che seguendo i criteri definiti dal Servizio Geologico (Pasquaré et al. 1992) le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri caratterizzati da peculiarità litologiche specifiche.

8.1.1. Basamento metamorfico ercinico

Le sequenze metamorfiche erciniche sono rappresentate da due differenti formazioni, estesamente affioranti in tutta l'area di studio. I suddetti litotipi poggiano in contatto tettonico su unità geologiche non affioranti nell'area.

8.1.1.1 Arenarie di San Vito

La formazione in questione affiora diffusamente in tutta l'area di studio. Si tratta di rocce metamorfiche derivanti da una successione sedimentaria di bacino e base scarpata, costituita da una singola litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica. Poggiano in contatto tettonico su unità non affioranti nell'area. Questi litotipi presentano uno spessore massimo di circa 500 m e sono riferibili all'intervallo Cambriano medio – Ordoviciano inferiore.



Foto 1 – Affioramento della formazione delle Arenarie di San Vito, lungo i versanti di Monte Cusculai.

Dal punto di vista stratigrafico si tratta di un'alternanza irregolare di metarenarie micacee di colore grigio-verdastro (**SVI**), quarziti grigie e metasiltiti e metapeliti grigie e verdastre, raramente nere, in strati da molto sottili a sottili, talora medi o spessi; con locali passaggi di metaconglomerati ad elementi di metasiltiti e metarenarie; a luoghi si rinvencono intercalazioni di metapeliti verdastre, talvolta rosse e violacee, e orizzonti fortemente alterati e/o tettonizzati; gli orizzonti più fini sono caratterizzati da strutture plicative isoclinali e laminazioni piano-parallele, ondulate e convolute.

8.1.1.2 Scisti a graptoliti

La formazione in questione affiora localmente nella zona settentrionale dell'area di studio, lungo i versanti orientali di Monte Cusculai. Si tratta di rocce metamorfiche derivanti da una successione sedimentaria di bacino profondo, costituita da una singola litofacies a composizione metapelitico-metasiltitica. Poggiano in contatto stratigrafico concordante su unità non affioranti nell'area. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 50 m e sono ascrivibili al Siluriano – Devoniano medio.

Dal punto di vista litologico si tratta metapeliti carboniose e metasiltiti a graptoliti di colore grigio scuro e nerastro (**SGA**), in strati da molto sottili a medi, con locali passaggi di

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 28 di 66</p>
--	--

diaspri neri; a luoghi si rinvengono livelli di metacalcari grigio-nerastri in grossi banchi, con abbondanti fossili.

8.1.2. Complesso intrusivo tardo-paleozoico

I litotipi in questione sono costituiti da tre formazioni intrusive tardo-paleozoiche. I suddetti litotipi risultano all'interno del basamento metamorfico con contatti più o meno verticali.

8.1.2.1 Unità intrusiva di Villagrande

Queste rocce affiorano unicamente nella zona settentrionale dell'area di studio, tra località Su Canale e località Serra e Luas. Si tratta di rocce magmatiche prevalentemente acide, costituite da due differenti litofacies a composizione granodioritico-monzogranitica e leucogranitica. Risultano intrusi all'interno del basamento metamorfico con contatti più o meno verticali. Tali depositi presentano uno spessore massimo non determinabile e sono ascrivibili al Carbonifero superiore – Permiano.

La facies a composizione granodioritico-monzogranitica è formata da granodioriti e monzograniti biotitici di colore grigio chiaro e biancastro (**VGD1b**), a grana medio-grossa e tessitura orientata, generalmente molto fratturate, con locali fenocristalli di K-feldspato; spesso si rinvengono porzioni fortemente alterate e completamente arenitizzate, soprattutto in corrispondenza delle zone più intensamente fratturate, che riducono l'ammasso a una sabbia ghiaiosa da poco a moderatamente cementata.



Foto 2 – Affioramento della facies granodioritico-monzogranitica dell'Unità intrusiva di Villagrande, nel settore nord in località Fiera del bestiame.

Mentre, la facies a composizione leucogranitica è costituita da leucograniti biotitici di colore grigio chiaro e biancastro (**VGD1e**), a grana fine e tessitura isotropa, generalmente molto fratturate; spesso si rinvencono porzioni fortemente alterate e completamente arenitizzate, soprattutto in corrispondenza delle zone più intensamente fratturate, che riducono l'ammasso a una sabbia ghiaiosa da poco a moderatamente cementata.

8.1.2.2 Unità intrusiva di Lanusei

Tali rocce affiorano nel settore meridionale dell'area di studio, lungo la parte bassa dei versanti in località Mamutra. Si tratta di rocce magmatiche prevalentemente acide, costituite da una singola litofacies a composizione granodioritico-tonalitica. Risultano intrusi all'interno del basamento metamorfico con contatti più o meno verticali. Tali depositi presentano uno spessore massimo non determinabile e sono ascrivibili al Carbonifero superiore – Permiano.



Foto 3 – Affioramento dell'Unità intrusiva di Lanusei, in località Sicaderba nel comune di Arzana.

Dal punto di vista litologico si tratta di granodioriti biotitico-anfibolitiche di colore grigio e grigio-chiaro (**LNU1d**), a grana grossa e tessitura orientata, generalmente molto fratturate, localmente passanti a tonaliti grigie con relitti di clinopirosseno; spesso si rinvencono porzioni fortemente alterate e completamente arenitizzate, soprattutto in corrispondenza delle zone più intensamente fratturate, che riducono l'ammasso a una sabbia ghiaiosa da poco a moderatamente cementata.

8.1.2.3 Porfidi granitici

Tale formazione affiora localmente in lembi di limitata estensione, nel settore centro-settentrionale e settentrionale, a sud di M. Cusculla. Si tratta di rocce magmatiche prevalentemente acide, costituite da una singola litofacies a composizione porfidico-granitica. Risultano intrusi all'interno del basamento metamorfico e cristallino con contatti più o meno verticali. Queste rocce presentano uno spessore massimo non determinabile e sono riferibili al Carbonifero superiore – Permiano.

La facies porfidico-granitica è costituita da porfidi granitici di colore rosato e rossastro (**fp**), a tessitura isotropa e struttura da afirica a porfirica; si presentano fortemente fratturate e mostrano giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 31 di 66</p>
--	---

8.1.3. Depositi continentali quaternari

Questi depositi sono composti da tre differenti unità continentali quaternarie, ampiamente affioranti in tutta l'area di studio. Tali depositi poggiano in discordanza stratigrafica sulle unità geologiche più antiche.

8.1.3.1 Depositi alluvionali terrazzati

I terreni in esame si rinvencono diffusamente nell'area di studio, in corrispondenza della parte alta dei versanti che bordano i principali corsi d'acqua. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche. Tale formazione mostra uno spessore massimo di circa 8 m ed è ascrivibile all'Olocene.

Sotto il profilo sedimentologico è formata da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bn1**), da sub-angolose a sub-arrotondate, talora angolose, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa di colore marrone, giallastro e rossastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi sono presenti lenti e/o livelli di sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffuse ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

8.1.3.2 Depositi alluvionali recenti e attuali

Tale formazione affiora in lembi di ridotta estensione in corrispondenza dei principali corsi d'acqua dell'area di intervento. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici alle Coltri eluvio-colluviali. Questa unità presenta uno spessore massimo di circa 10 m ed è riferibile all'Olocene – Attuale.

Generalmente è formata da ghiaie poligeniche grossolane e medie (**ba1**), da sub-angolose a sub-arrotondate, talora angolose, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore marrone-rossastro, grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; a luoghi sono presenti lenti e/o livelli di sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffuse ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

8.1.3.3 Depositi eluvio-colluviali

Questi depositi si rinvencono diffusamente in tutta l'area di studio, alla base delle principali scarpate morfologiche. Si tratta di depositi continentali di versante e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-ghiaiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e risultano parzialmente eteropici ai Depositi alluvionali recenti e attuali. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 5 m e sono riferibili all'intervallo Olocene – Attuale.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 32 di 66</p>
--	--



Foto 4 – Vista panoramica dei Depositi eluvio-colluviali, nel settore nord in località Fiera del bestiame.

I terreni in esame sono composti da sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone (**b2**), ocra e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; a luoghi sono presenti suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica, e passaggi di ghiaie poligeniche, da angolose a sub-angolose, in matrice sabbioso-limosa marrone e giallastra, generalmente abbondante.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 33 di 66</p>
--	--

9. ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

Dal punto di vista orografico il tracciato in esame impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 804 m s.l.m. e 885 m s.l.m. circa. Dal punto di vista morfologico, invece, si sviluppa lungo le pendici del massiccio dei Monti del Gennargentu, in particolare lungo la parte bassa dei versanti di Monte Idolo, immergenti a sud-ovest.

In generale, il reticolo idrografico presenta uno sviluppo abbastanza articolato ed un *pattern* variabile da parallelo a sub-dendritico, che segue in buona sostanza le principali direttrici tettoniche dell'area. La struttura della rete idrografica superficiale è, quindi, condizionata sia dalla natura litologica del substrato sia dagli elementi strutturali che lo hanno interessato. Nell'area di studio sono presenti alcuni corsi d'acqua a carattere stagionale e/o torrentizio, oltre che da canali e solchi di erosione concentrata di limitata estensione.

Il principale corso d'acqua dell'area di studio è costituito dal Fiume Flumendosa, posto subito ad ovest del tracciato in esame. Questo fiume nasce dai Monti del Gennargentu, attraversa il Lago alto del Flumendosa e il Lago basso del Flumendosa e sfocia nel mar Tirreno a Villaputzu. Gli elementi idrografici che interessano direttamente la tratta in esame sono rappresentati, da nord a sud, dal Bacu Gerdilis e da Bacu Idolo. Ad essi si aggiungono una serie di corsi d'acqua secondari, a carattere stagionale e/o torrentizio, e numerosi solchi da ruscellamento concentrato attivi solo in concomitanza con eventi meteorici particolarmente intensi.

Le principali forme di accumulo connesse col deflusso idrico superficiale derivano, essenzialmente, dai processi deposizionali dei principali sistemi fluviali presenti, come il Fiume Flumendosa. In corrispondenza di tali elementi, infatti, i meccanismi deposizionali risultano preponderanti sugli altri processi geomorfologici e conferiscono alle maggiori depressioni vallive una morfologia blandamente ondulata e leggermente degradante verso O-SO.

Gli elementi connessi con l'attività antropica sul territorio sono piuttosto rari e, in genere, limitati ai manufatti realizzati in corrispondenza delle principali infrastrutture a rete. Essi sono pertanto localizzati prevalentemente in corrispondenza delle principali strade di collegamento.

In corrispondenza delle principali infrastrutture a rete si rinvengono estesi terreni di riporto provenienti da cavature e sbancamenti, realizzati sia nei termini litologici del substrato che nei depositi di copertura continenti. Infine, ai suddetti elementi si aggiungono numerosi tagli e scarpate antropiche realizzate sia lungo le principali arterie stradali che in corrispondenza di alcuni insediamenti agricoli e abitativi.

In generale, l'area è caratterizzata da pochissimi fenomeni di dissesto e frane. Locali movimenti franosi si rinvengono unicamente nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo i fianchi di alcune aree impluviali piuttosto estese. Si tratta di colamenti e

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 34 di 66</p>
--	--

frane complesse in terra e detrito, con stato variabile dal quiescente allo stabilizzato, che interessano le coltri di copertura e le porzioni più superficiali ed alterate del substrato. Localmente, gli accumuli di frana sono interessati da fenomeni di creep e/o soliflusso, sempre limitate ai primi 1-2 m di profondità.

Localmente, lungo le scarpate antropiche che bordano le principali arterie stradali sono presenti fenomeni di crollo s.l. in roccia. Tali fenomeni consistono nel distacco di blocchi rocciosi con diametro variabile tra alcuni centimetri e qualche decimetro, raramente superiori. Il distacco avviene prevalentemente per scivolamento lungo le superfici di discontinuità, soprattutto quelle di laminazione e/o scistosità, anche se non mancano fenomeni di crollo s.s..

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 35 di 66</p>
--	--

10. ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE

L'approfondimento idrogeologico realizzato per il presente studio ha consentito di definire, con il dovuto grado di dettaglio, le principali caratteristiche dell'area e lo schema di deflusso idrico sotterraneo relativo a tale settore. Le analisi sono state basate, in particolare, sui dati geologico-strutturali a disposizione e sulle informazioni idrogeologiche presenti nella vasta letteratura scientifica riguardante l'area.

Il modello idrogeologico così sviluppato è stato quindi integrato, ove possibile, con ulteriori dati provenienti dal monitoraggio piezometrico delle strumentazioni appositamente installate nei fori di sondaggio e dalle numerose prove di permeabilità condotte in fase di perforazione. Inoltre, i dati piezometrici reperiti e le informazioni idrogeologiche contenute negli studi esistenti, hanno costituito un valido strumento per la ricostruzione del deflusso idrico sotterraneo di alcuni settori caratteristici dell'area di studio.

Infine, lo studio geologico condotto ha permesso di definire lo stato di alterazione/fessurazione degli ammassi rocciosi e le caratteristiche granulometriche dei terreni interessati dalle opere in progetto che, come noto, influenzano in maniera diretta il coefficiente di permeabilità dei vari corpi geologici e, quindi, la circolazione idrica sotterranea dell'area di studio.

10.1 Complessi idrogeologici

Nei settori di intervento sono stati individuati quattro complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. Di seguito vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati, seguendo uno schema basato sull'assetto geologico dell'area e sulle caratteristiche di permeabilità dei diversi termini litologici.

Si sottolinea, infine, che la stima del *range* di variazione del coefficiente di permeabilità relativo ad ogni complesso idrogeologico è stata effettuata in funzione delle caratteristiche sedimentologiche e litologiche dei terreni, nonché del grado di alterazione, fessurazione e carsismo dei singoli ammassi rocciosi.

10.1.1. **Complessi delle unità del substrato**

Questo gruppo è rappresentato da due distinti complessi idrogeologici, costituiti da successioni metamorfico-intrusive.

10.1.1.1 *Complesso metamorfico*

Al complesso in questione (**CMT**) sono riferiti i termini metamorfici delle unità **SGA** e **SVI**. Si tratta di metapeliti carboniose e metasiltiti a graptoliti, in strati da molto sottili a medi, con locali passaggi di diaspri neri; a luoghi si rinvencono livelli di metacalcari in grossi banchi, con abbondanti fossili; alternanza irregolare di metarenarie micaee, quarziti grigie e metasiltiti e metapeliti, in strati da molto sottili a sottili, talora medi o

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 36 di 66</p>
--	--

spessi; con locali passaggi di metaconglomerati ad elementi di metasiltiti e metarenarie; a luoghi si rinvencono intercalazioni di metapeliti e orizzonti fortemente alterati e/o tettonizzati; gli orizzonti più fini sono caratterizzati da strutture plicative isoclinali e laminazioni piano-parallele, ondulate e convolute.

Costituiscono acquiferi fessurati di discreta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, generalmente a deflusso discontinuo e frazionato, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate dell'ammasso. La permeabilità, esclusivamente per fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa. A questo complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-9}$ e $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

10.1.1.2 Complesso intrusivo

Al presente complesso (**CIT**) sono associati i termini cinetico-epiclastici delle unità **fp**, **LNU1d**, **VGD1b** e **VGD1e**. Si tratta di Porfidi granitici, a tessitura isotropa e struttura da afirica a porfirica; si presentano fortemente fratturate e mostrano giacitura prevalentemente filoniana, talvolta in ammassi; granodioriti biotitico-anfibolitiche e monzograniti biotitici, a grana grossa o grana medio-grossa e tessitura orientata, generalmente molto fratturate, localmente passanti a tonaliti con relitti di clinopirosseno, con locali fenocristalli di K-feldspato; leucograniti biotitici, a grana fine e tessitura isotropa, generalmente molto fratturate; spesso si rinvencono porzioni fortemente alterate e completamente arenitizzate, soprattutto in corrispondenza delle zone più intensamente fratturate, che riducono l'ammasso a una sabbia ghiaiosa da poco a moderatamente cementata.

Costituiscono acquiferi fessurati di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, generalmente a deflusso sia unitario sia frazionato, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate dell'ammasso. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media. Al presente complesso si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-7}$ e $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

10.1.2. Complessi dei depositi di copertura quaternari

Tale gruppo è rappresentato da due differenti complessi idrogeologici, composti essenzialmente da depositi quaternari di natura alluvionale e detritico-colluviale.

10.1.2.1 Complesso alluvionale grossolano

A tale complesso (**CAR**) sono associati i termini ghiaioso-sabbiosi delle unità **ba1** e **bn1**. Si tratta di ghiaie poligeniche grossolane e medie, da sub-angolose a sub-arrotondate, talora angolose, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-sabbiosa, da scarsa ad abbondante; a luoghi sono presenti lenti e/o livelli di sabbie e sabbie limose, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffuse ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 37 di 66</p>
--	--

Costituiscono acquiferi porosi di ridotta trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta. Al presente complesso può essere attribuito un coefficiente di permeabilità k compreso tra $1 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

10.1.2.2 Complesso detritico-colluviale

Al complesso in questione (**CDC**) sono riferiti i termini dell'unità **b2**. Si tratta di sabbie limose e limi sabbiosi, ocra e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con abbondanti ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; a luoghi sono presenti suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica, e passaggi di ghiaie poligeniche, da angolose a sub-angolose, in matrice sabbioso-limosa, generalmente abbondante.

Costituiscono acquiferi porosi di scarsa trasmissività, moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono privi di corpi idrici sotterranei di importanza significativa, a meno di piccole falde a carattere stagionale. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione si può quindi attribuire un coefficiente di permeabilità k variabile tra $1 \cdot 10^{-6}$ e $1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

10.2 Opere di captazione ed emergenze sorgentizie

Per poter ricostruire con maggior dettaglio l'andamento e le caratteristiche delle falde idriche presenti nell'area, nel corso dello studio si è provveduto ad acquisire tutte le informazioni disponibili relativamente ai pozzi ed alle sorgenti esistenti nel settore di intervento. Le emergenze sorgentizie sono risultate assenti, mentre le opere di captazione (pozzi) sono diffuse anche se generalmente di scarsa rilevanza infatti, si tratta generalmente di pozzi superficiali

In particolare, nei settori di territorio relativi all'intera tratta stradale in esame sono state individuate e censite n. 4 sorgenti.

Tutti i dati raccolti sono riassunti nella Tabella 7 con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola sorgente (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 1/fuso Ovest (EPSG 3003), data, note). I punti di rilievo, sono invece riportati nella Carta idrogeologica e profilo idrogeologico in allegato alle presenti note di sintesi (cfr. T00GE01GEOCI01-4A).

sigla	Monte Mario/Italy 2		data	portata l/min
	X	Y		
S1	1541100	4420423	marzo 2020	0.3
S2	1541038	4420154	marzo 2020	5
S3	1541776	4417695	marzo 2020	asciutta
S4	1542427	4417269	marzo 2020	asciutta

Tabella 7 – Sintesi delle sorgenti censite nel tratto in esame.



S1



S2



S3



S4

Foto 5 – Viste panoramiche dei punti acqua censiti nella presente fase progettuale.

10.3 Monitoraggio piezometrico

Allo stato attuale nelle analisi idrogeologiche sono stati utilizzati i dati del livello idrico sotterraneo riportati negli studi idrogeologici bibliografici e le osservazioni e i dati del monitoraggio eseguito sulle strumentazioni installate durante la campagna indagini 2017.

Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrato in fase di perforazione per tutti i punti di indagine disponibili, con indicazione delle principali caratteristiche del foro (sigla, piezometro, data, profondità falda, quota e note).

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
S1	Tubo aperto	02/2018	5.88	840.51	-
S7	Tubo aperto	02/2018	6.69	804.69	-
S9 bis	Tubo aperto	02/2018	1.50	812.51	-

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 39 di 66</p>
--	--

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
S16	Tubo aperto	02/2018	2.54	820.02	-

Tabella 8 - Dati piezometrici registrati nei fori di sondaggio in fase di perforazione nell'ambito della campagna indagini 2017.

sigla	piezometro	data	prof. falda m dal p.c.	quota falda m s.l.m.	note
SA2	Tubo aperto	07/2020	assente	assente	-
SA3	Tubo aperto	07/2020	11.10	830.90	-

Tabella 9 - Dati piezometrici registrati nei fori di sondaggio in fase di perforazione nell'ambito della campagna indagini 2020.

I dati piezometrici disponibili evidenziano un livello di falda che si attesta ad una quota di circa 800-840 m s.l.m.. Le misure eseguite risultano coerenti con il contesto di riferimento.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 40 di 66</p>
--	---

11. CRITICITÀ GEOLOGICHE

A conclusione delle presenti note, vengono di seguito sintetizzati i principali elementi di potenziale criticità per le opere in progetto, che risultano direttamente connessi con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche che contraddistinguono l'area di studio.

11.1 Criticità geologico-tecniche

Dal punto di vista geologico, i principali elementi di criticità per le opere in progetto sono connessi con il locale assetto stratigrafico-strutturale dell'area e con la sismicità attuale della Sardegna. Per questo secondo aspetto, in particolare, si rimanda a quanto riportato nella specifica relazione sismica (T00GE01GEORE04A), dove sono descritte in maniera dettagliata tutte le caratteristiche sismogenetiche dell'area ed i principali elementi di pericolosità dal punto di vista sismico.

Per quanto concerne l'assetto litostratigrafico locale, i principali elementi di criticità geologica sono connessi con la presenza di depositi di copertura fortemente eterogenei, sia dal punto di vista litologico che per quanto concerne le caratteristiche fisico-meccaniche. Tali terreni, di genesi prevalentemente alluvionale e detritico-colluviale, presentano infatti un comportamento meccanico generalmente mediocre o scadente, fortemente eterogeneo e di certa inaffidabilità geotecnica, tale da consigliarne la bonifica preventiva ai fini dell'individuazione del piano di posa delle strutture fondali.

In particolare, gli orizzonti argilloso-limosi intercalati alle porzioni granulometriche più grossolane dei suddetti terreni sono caratterizzati da una resistenza al taglio variabile, ma generalmente modesta, e da una elevata compressibilità, sia elastica che edometrica. I livelli sabbioso-limosi presenti all'interno dei depositi di copertura, invece, presentano una discreta resistenza al taglio ed una modesta compressibilità elastica.

Per quanto detto, i suddetti terreni non garantiscono alcun tipo di tenuta lungo i fronti di scavo, neanche nel breve periodo e soprattutto se esposti agli agenti atmosferici. Nel caso di opere realizzate in settori di affioramento di spesse coltri di copertura detritico-colluviali, quindi, dovranno essere previste delle specifiche analisi di carattere geotecnico volte alla definizione delle effettive condizioni di stabilità di eventuali tagli o scarpate, in particolare in corrispondenza delle zone di imbocco delle opere in sotterraneo.

Infine, la consultazione del *database* del progetto ITHACA (*ITaly HAZard from Capable faults*) ha permesso di definire l'eventuale presenza di faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che possono potenzialmente creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. Tali studi evidenziano l'assenza di faglie capaci nell'area di stretto interesse progettuale e in corrispondenza delle opere in progetto.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 41 di 66</p>
--	--

11.2 Criticità geomorfologiche

Sotto il profilo geomorfologico, l'area di studio non presenta elementi di particolare criticità delle opere in progetto, in quanto caratterizzata da un assetto morfologico prevalentemente basso-collinare. Ad esso si aggiunge l'elevato grado di antropizzazione del territorio, che limita fortemente lo sviluppo di fenomeni erosivi o di dissesto di particolare rilevanza e intensità.

Alcuni movimenti franosi si rinvergono unicamente nella porzione settentrionale dell'area di studio, lungo i fianchi di alcune aree impluviali piuttosto estese. Si tratta di colamenti e frane complesse in terra e detrito, con stato variabile dal quiescente allo stabilizzato, che interessano le coltri di copertura e le porzioni più superficiali ed alterate del substrato. Localmente, gli accumuli di frana sono interessati da fenomeni di creep e/o soliflusso, sempre limitate ai primi 1-2 m di profondità.

Localmente, lungo le scarpate antropiche che bordano le principali arterie stradali sono presenti fenomeni di crollo s.l. in roccia. Tali fenomeni consistono nel distacco di blocchi rocciosi con diametro variabile tra alcuni centimetri e qualche decimetro, raramente superiori. Il distacco avviene prevalentemente per scivolamento lungo le superfici di discontinuità, soprattutto quelle di laminazione e/o scistosità, anche se non mancano fenomeni di crollo s.s..

Un settore caratterizzato dalla diffusa presenza di fenomeni di crollo s.l. è quello compreso tra il km 4+100 e il km 4+350. In quest'area i fenomeni di dissesto interessano prevalentemente l'ammasso roccioso metamorfico presente a monte della sede stradale esistente. Si tratta di crolli e scivolamenti (planari o per cunei) con dimensioni variabili tra qualche centimetro e pochi decimetri, raramente oltre 1 m di diametro. Parte dei blocchi distaccatisi dalla parete si rinvergono attualmente al bordo della strada esistente o, in qualche raro caso, in corrispondenza degli accumuli detritico-colluviali alla base della stessa. Nella porzione più settentrionale di questo tratto, i blocchi si staccano prevalentemente dalla scarpata antropica presente a monte della strada.

Nella porzione più meridionale, invece, i blocchi si distaccano non solo dalla scarpata suddetta, ma anche da una serie di cornici morfologiche presenti lungo il versante. Ad ogni modo, in questo settore il progetto prevede la realizzazione di un tracciato posto alcune decine di metri a monte della sede stradale esistente, grazie alla realizzazione di un taglio antropico che interesserà tutto l'ammasso metamorfico che produce i fenomeni di crollo appena descritti. Per tali motivi, considerando che le porzioni instabili saranno rimosse e il tracciato subirà uno spostamento, i fenomeni di crollo s.l. in questa zona non costituiscono un elemento di criticità per le opere in progetto.

11.2.1. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Sardegna

Quanto detto trova parziale riscontro nelle cartografie tematiche del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino Regione della Sardegna (2015). Infatti nel PAI Sardegna non sono presenti areali di pericolosità da frana nel settore di intervento.

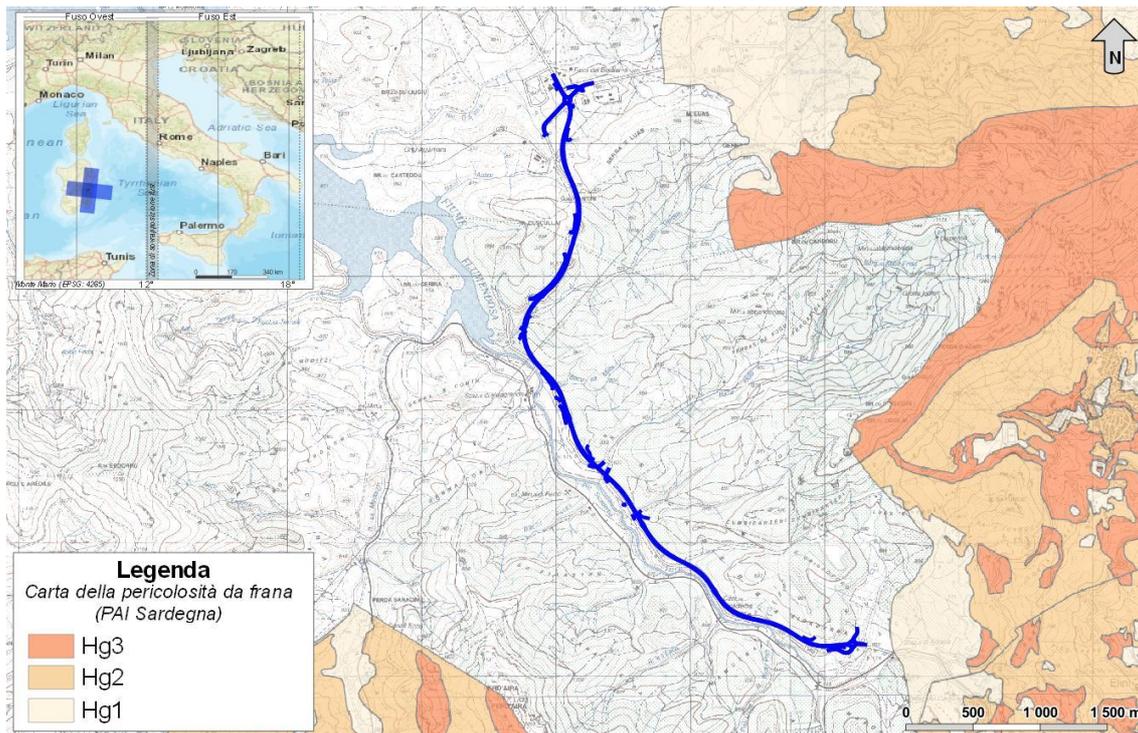


Figura 6 - Stralcio della carta della pericolosità da frana del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione della Sardegna, con individuazione del tracciato di progetto (blu).

11.3 Criticità idrogeologiche

Per quanto concerne gli aspetti connessi con la circolazione delle acque nel sottosuolo, si evidenzia la presenza di diverse falde idriche sotterranee all'interno dei differenti acquiferi individuati lungo il tracciato stradale in esame. Tali falde infatti potrebbero rappresentare dei potenziali elementi di criticità per le opere in progetto, sia per le possibili venute d'acqua lungo i fronti di scavo che per la notevole influenza esercitata sul comportamento meccanico dei termini litologici attraversati; inoltre sono possibili interferenze dirette o indirette tra le opere in progetto e gli acquiferi locali.

Buona parte dei corpi idrogeologici individuati rappresentano, nello schema di circolazione idrica dell'area, degli acquiferi di importanza più o meno significativa, a seconda delle locali caratteristiche di permeabilità dei litotipi e della estensione latero-verticale dei depositi.

Le rocce intrusive costituiscono acquiferi fessurati di buona trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza,

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 43 di 66</p>
--	--

generalmente a deflusso sia unitario sia frazionato, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate dell'ammasso. La permeabilità, per porosità e fessurazione, è variabile da bassa a media.

I termini metamorfici rappresentano degli acquiferi fessurati di discreta trasmissività, fortemente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, generalmente a deflusso discontinuo e frazionato, contenute nelle porzioni più alterate e fessurate dell'ammasso. La permeabilità, esclusivamente per fessurazione, è variabile da molto bassa a bassa.

I sedimenti alluvionali grossolani sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza per la ridotta trasmissività. moderatamente eterogenei ed anisotropi; sono sede di falde idriche sotterranee di modesta rilevanza, generalmente a deflusso unitario, che possono avere interscambi con i corpi idrici superficiali e/o con quelli sotterranei delle strutture idrogeologiche limitrofe. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da media ad alta.

I depositi detritico-colluviali di copertura non presentano corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza, sia per la scarsa trasmissività dei terreni che per il ridotto spessore degli stessi. Pertanto, la circolazione idrica avviene principalmente in senso verticale, tramite il passaggio delle acque meteoriche dalla superficie topografica alle falde più profonde degli acquiferi sottostanti. A tali coperture si collegano manifestazioni sorgentizie spesso effimere, che danno origine ad una diffusa circolazione di acque in superficie subito dopo gli eventi piovosi.

Nel corso dei rilevamenti diretti in campo sono state censite alcune emergenze sorgentizie con fontanili nell'area d'interesse, in particolare una è posta è proprio nel settore della galleria GA1; si tratta di emergenze che nel periodo di rilevamento (magra nonostante la stagione invernale) presentano portate molto basse (circa 0,1 l/s) o risultano del tutto asciutte. Infine in tutto il settore di studio i settori impluviali evidenziano circolazione idrica superficiale, seppur ridotta vista il periodo di magra.

Il contesto descritto lascia dunque ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, sostenuta dal locale substrato metamorfico. Si tratta di una falda con marcata e forte oscillazione stagionale e con tempi di risposta piuttosto rapidi.

Pertanto, vista la posizione degli interventi in galleria/trincea, posti mediamente su versante a mezza costa, è senz'altro da attendersi la presenza di falda a qualche m dal p.c. o comunque distribuita nei primi 10 m dal p.c., in particolare nei periodi di ricarica o in coincidenza con precipitazioni di una certa rilevanza.

11.4 Caratteristiche geomeccaniche degli ammassi

Per poter definire le caratteristiche geomeccaniche e il relativo stato di fratturazione dei termini litologici presenti lungo il tracciato stradale in progetto, nell'ambito del presente

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 44 di 66</p>
--	--

studio sono stati realizzati n. 20 stop geostrutturali. I suddetti rilievi sono stati eseguiti secondo gli *standard* della International Society for Rock Mechanics (ISRM 1978, 1993).

Per gli ammassi rocciosi investigati sono state determinate le principali caratteristiche dei giunti (spaziatura, apertura, persistenza, rugosità, riempimento), della roccia intatta (grado di alterazione) e dell'ammasso (struttura, forma dei blocchi, condizioni idrauliche). Considerata la non-sistematicità dei giunti che interessano l'ammasso, in fase di rilevamento non sono state determinate le famiglie di discontinuità e le relative condizioni giaciture. Gli ammassi infatti risultano caratterizzati da numerose fratture con assetti geometrici altamente variabili e non raggruppabili in un numero finito di famiglie.

Per quanto concerne la resistenza a compressione, l'elevato grado di fratturazione degli ammassi metamorfici e di alterazione di quelli cristallini non ha permesso di eseguire specifiche prove sclerometriche in sito. Per tali motivi, la resistenza della matrice rocciosa dovrà essere determinata necessariamente attraverso prove di laboratorio e fonti bibliografiche.

I numerosi dati raccolti durante i rilievi di campo hanno quindi permesso di caratterizzare gli ammassi in oggetto e di definire, per ogni singolo punto di rilievo, il *range* di variazione del Rock Mass Rating di base (RMR_b - Bieniawski 1989). Inoltre, attraverso la determinazione del valore di Rock Mass Rating in condizioni asciutte (RMR_{89} - Bieniawski 1989) è stato possibile determinare anche il *range* di variazione del Geological Strength Index (GSI – Marinos et al. 2005; Hoek et al. 2013) secondo la relazione:

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

Considerando l'elevata variabilità nelle caratteristiche dei giunti e dello stato di fratturazione dell'ammasso, il *range* di variazione del RMR_b (e quindi anche quello del RMR_{89} e del GSI) sono stati determinati considerando i valori minimi e medi forniti dalle tabelle di parametrizzazione per il calcolo del Rock Mass Rating. I valori massimi sono stati invece scartati in quanto poco cautelativi e non rappresentativi delle condizioni medie degli ammassi investigati.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle principali caratteristiche degli ammassi.

Stazione Geologica	Unità geologica	Struttura	RMR _b	GSI
G2	VGD1e	Fratturato/molto fratturata	45 ÷ 60	45 ÷ 58
G5	SVI	Fratturato/molto fratturata	38 ÷ 55	38 ÷ 52
G7	SVI	Fratturato/molto fratturata	37 ÷ 52	37 ÷ 49
G8	SVI	Laminata/molto fratturata	36 ÷ 50	36 ÷ 48
G10	SVI	Laminata/disintegrata	31 ÷ 46	31 ÷ 44
G11	SVI	Laminata/molto fratturata	32 ÷ 49	32 ÷ 47

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 45 di 66</p>
--	--

Stazione Geologica	Unità geologica	Struttura	RMRb	GSI
G13	SVI	Laminata/disintegrata	32 ÷ 46	32 ÷ 43
G15	SVI	Laminata/disintegrata	32 ÷ 47	32 ÷ 44
G16	SVI	Laminata/molto fratturata	42 ÷ 54	37 ÷ 49
G17	SVI	Laminata/molto fratturata	41 ÷ 52	36 ÷ 47
G19	SVI	Laminata/molto fratturata	30 ÷ 47	30 ÷ 45
G20	SVI	Laminata/molto fratturata	31 ÷ 47	31 ÷ 44
G21	SVI	Fratturato/molto fratturata	39 ÷ 55	39 ÷ 53
G22	SVI	Laminata/molto fratturata	30 ÷ 49	30 ÷ 46
G23	SVI	Fratturato/molto fratturata	48 ÷ 61	43 ÷ 56
G24	SVI	Fratturato/molto fratturata	44 ÷ 58	39 ÷ 53
G26	LNU1d	Fratturato/molto fratturata	51 ÷ 61	46 ÷ 56
G27	LNU1d	Fratturato/molto fratturata	49 ÷ 61	44 ÷ 56
G28	LNU1d	Fratturato/molto fratturata	50 ÷ 63	45 ÷ 58
G29	LNU1d	Fratturato/molto fratturata	49 ÷ 63	44 ÷ 58

Tabella 10 – Sintesi delle stazioni geomeccaniche.

Nella zona di studio il substrato è costituito da rocce cristalline e metamorfiche di età variabile dall'Ordoviciano al Permiano, con differenti caratteristiche litologiche, mineralogiche e geomeccaniche. Dal punto di vista applicativo e geologico strutturale, tali rocce sono macroscopicamente suddivisibili in due grandi tipologie di ammassi: (i) metamorfico; (ii) rocce cristallino. Nel seguito vengono sintetizzati i principali aspetti geomeccanici di ognuno dei due gruppi.

11.4.1. **Ammasso roccioso metamorfico**

A questa tipologia di ammasso sono riferite le rocce degli Scisti a graptoliti (**SGA**) e delle Arenarie di San Vito (**SVI**). Dal punto di vista litologico, è costituito prevalentemente da un'alternanza di metarenarie, quarziti, metasiltiti e metapeliti, ben stratificate e di colore variabile da grigio-verdastro al nero, con locali passaggi di metaconglomerati. Talora sono presenti passaggi di metapeliti carboniose, diaspri e metacalcari di colore grigio scuro e nerastro.

L'ammasso roccioso si presenta fortemente fratturato e a luoghi completamente frantumato e/o tettonizzato. Il materiale risulta da mediamente alterato o molto alterato, con condizioni tendenzialmente migliori con l'aumentare della profondità. I blocchi presentano forma variabile da prismatica a lastriforme, localmente irregolare nel caso di assenza di un piano di laminazione e/o scistosità.

Generalmente è presente un evidente elemento di anisotropia costituito dai piani di laminazione e/o scistosità delle rocce, che presentano una direzione media di 120/140° e una inclinazione di 28/46°. In talune circostanze, soprattutto nella porzione meridionale

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 46 di 66</p>
--	--

dell'area, la scistosità è quasi del tutto assente e gli ammassi risultano isotropi a grande scala. Questo sistema è più frequente nelle porzioni fini, di natura metapelitica e metasiltitica, mentre risulta raro o del tutto assente nei livelli metarenitici e metaconglomeratici.

Le fratture sono piuttosto numerose e con spaziatura variabile tra qualche centimetro e pochi decimetri, molto raramente superiore al metro. La rugosità (JRC) è mediamente compresa tra 4 e 10, anche se localmente variabile fino a 12-14 in funzione delle condizioni dei giunti e delle caratteristiche litologiche dell'ammasso. L'apertura media è compresa tra 0.1 e 2 mm, raramente superiore, mentre il riempimento è generalmente assente o costituito da terriccio e materiale di alterazione.

I giunti sono per lo più poco persistenti e terminano quasi sempre contro altre discontinuità. I piani di laminazione e/o scistosità, al contrario, presentano una elevata persistenza e si estendono con continuità all'interno dell'ammasso. In generale non è possibile definire dei sistemi di discontinuità prevalenti all'interno dell'ammasso (a meno della laminazione e/o scistosità), in quanto le fratture presentano orientazioni, inclinazioni e caratteristiche altamente variabili.

11.4.2. Ammasso roccioso cristallino

A tale tipologia di ammasso sono riferite le rocce dei Porfidi granitici (**fp**), dell'Unità intrusiva di Lanusei (**LNU1d**) e dell'Unità intrusiva di Villagrande (**VGD1d** e **VGD1e**). Sotto il profilo litologico, si tratta essenzialmente di granodioriti, monzograniti e leucograniti di colore grigio, grigio chiaro e biancastro, a grana da fine a grossa e tessitura isotropa e orientata. A luoghi sono presenti passaggi di porfidi granitici e tonaliti di colore grigio, rosato e rossastro.

Questo ammasso si presenta in genere molto fratturato, anche se con condizioni variabili da zona a zona. La roccia è sempre fortemente alterata e, talora, completamente decomposta dove lo stato di fratturazione è più intenso. In quest'ultimo caso, l'alterazione provoca processi di arenizzazione molto spinti, che riducono l'ammasso ad una sabbia ghiaiosa da poco a moderatamente cementata.

I blocchi presentano forma variabile da irregolare a prismatica, mentre l'ammasso non presenta evidenti piani di anisotropia. Le fratture sono numerose e con spaziatura variabile da qualche centimetro ad oltre 1 m. La rugosità (JRC) è mediamente compresa tra 6 e 14, mentre l'apertura media è variabile da 0.1 mm fino a qualche millimetro, raramente pochi centimetri. I giunti sono vuoti o riempiti da terriccio, anche se non mancano le discontinuità completamente alterate e riempite dalla roccia arenizzata.

I giunti sono piuttosto persistenti e si estendono con discreta continuità all'interno dell'ammasso. Localmente sono comunque presenti discontinuità che terminano contro altri giunti. Come per gli ammassi metamorfici, anche in questo caso non sono presenti

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389 Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A Data: Agosto 2020 Pag. 47 di 66</p>
--	--

sistemi o famiglie di discontinuità prevalenti a scala dell'ammasso, in quanto i giunti presentano orientazioni simili solo a piccola scala.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 48 di 66</p>
--	--

12. DESCRIZIONE DEI SETTORI D'INTERVENTO

Le analisi condotte e le ricostruzioni degli assetti geologico-strutturali riportati in carta hanno permesso di definire, in maniera commisurata al grado di approfondimento del progetto in corso, il contesto geologico di riferimento e tutti gli elementi di potenziale criticità per le opere in questione. Nelle pagine che seguono viene quindi analizzato l'intero settore di intervento, opportunamente suddiviso in tratti omogenei relativi alle differenti opere in esame. Per ogni singolo tratto, in particolare, vengono descritte tutte le principali caratteristiche geologiche s./ e gli aspetti più salienti ai fini progettuali.

Nel seguito, si fa quindi esplicito riferimento a quanto riportato nelle apposite cartografie tematiche ed al profilo longitudinale ricostruito lungo l'asse del tracciato stradale (cfr. Carta geologica e profilo geologico - T00GE01GEOCG01-4A, Carta geomorfologica - T00GE01GEOCG05-6A e Carta idrogeologica e profilo idrogeologico - T00GE01GEOCI01-4A). In particolare, per quanto concerne le unità geologiche presenti nei vari settori di interesse, si riportano direttamente i nomi e le sigle contenute nelle diverse cartografie geologiche realizzate a corredo della presente relazione. Infine, per quanto riguarda gli spessori e l'assetto delle singole unità litostratigrafiche, si fa riferimento ai dati contenuti negli studi bibliografici a disposizione e alle risultanze delle diverse indagini geognostiche appositamente realizzate lungo il tracciato in esame nel corso della presente campagna di indagine.

Di seguito vengono descritti da nord a sud, i diversi tratti relativi alla "S.S.389 tronco Villanova – Lanusei – Tortoli – lotto bivio Villagrande-svincolo di Arzana" relativi al tracciato stradale in questione, opportunamente distinti in funzione della tipologia di opere in progetto e delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area.

12.1 Tratto km 0+000 ÷ km 0+400

Il tratto in questione si colloca nella porzione più settentrionale dell'area di studio, a quote comprese tra i 849 e i 873 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione di opere all'aperto. Il tracciato intercetta per gran parte del suo sviluppo i litotipi leucogranitici della Unità intrusiva di Villagrande (**VGD1e**), nel tratto centrale, a km 0+170 circa, intruso in contatto sub-verticale, si rinviene la litofacies a composizione porfidico-granitica dei Porfidi granitici (**fp**). In copertura si rinvencono Coltri eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore medio di circa 2 m.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte medio-bassa dei versanti immergenti a nord e non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, con superficie piezometrica posta ad una quota variabile tra circa 852 e 872 m dal s.l.m., che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica.

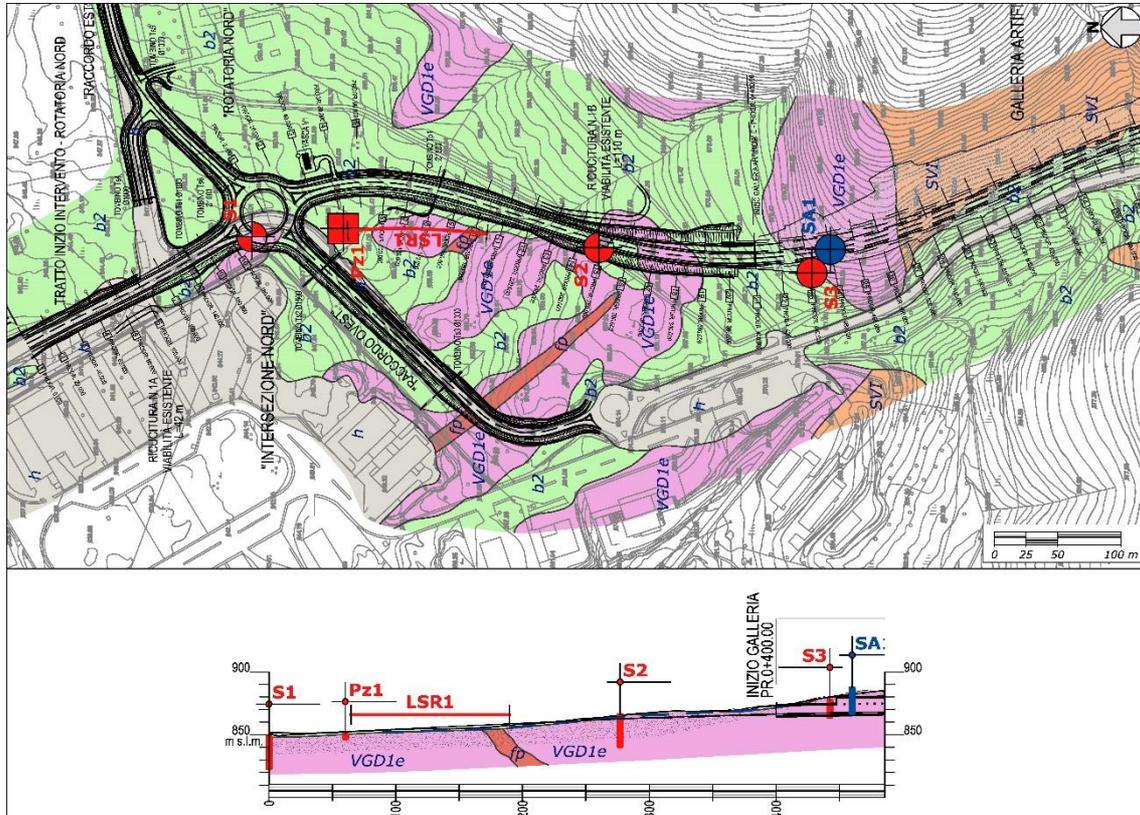


Figura 7 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, tratto km 0+000 – 0+400.

12.2 Tratto km 0+400 ÷ km 0+820

La galleria in esame si colloca nella porzione più settentrionale dell'area di studio, a quote comprese tra i 873 e i 886 m circa s.l.m., a quote del piano stradale variabili tra 866 e 869 m s.l.m., dove è prevista la realizzazione della galleria GA01 (L= 420 m). Nel tratto iniziale, il tracciato intercetta i litotipi leucogranitici della Unità intrusiva di Villagrande (**VGD1e**) e nel tratto finale la litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle Arenarie di San Vito (**SVI**). In copertura si rinvencono Coltri eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore medio di circa 2 m.

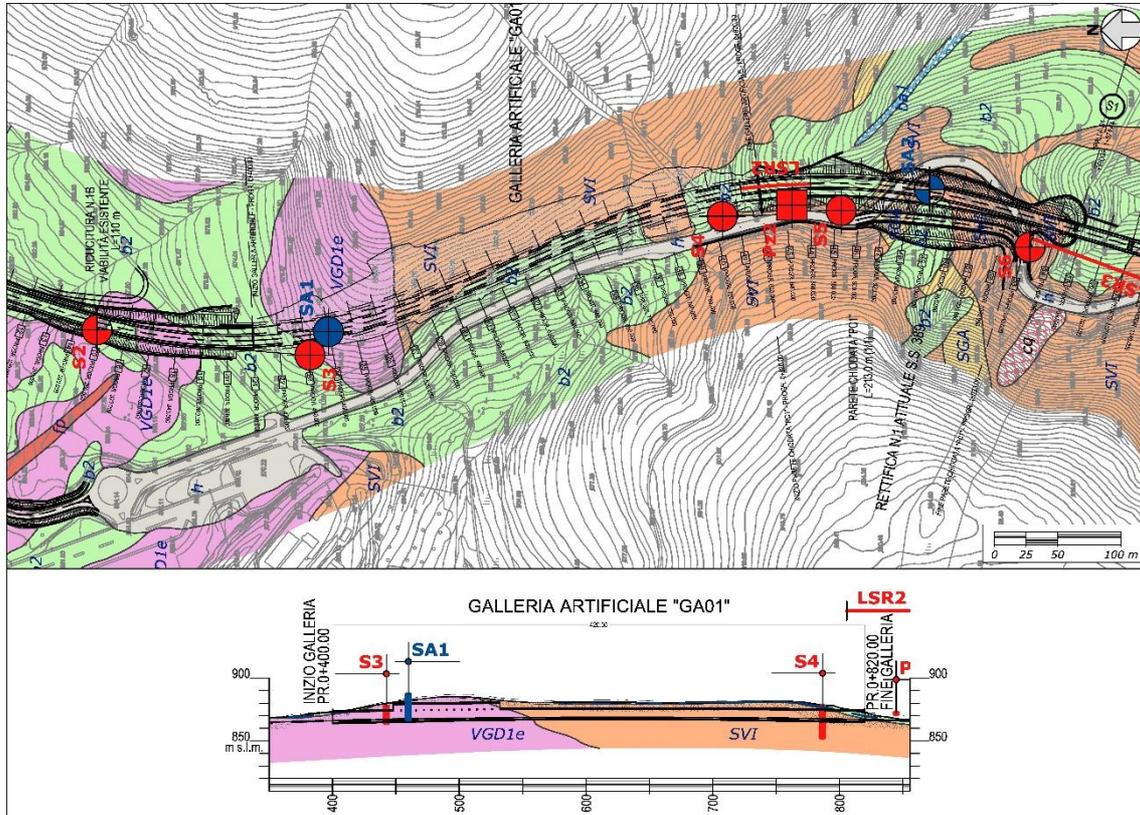


Figura 8 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, tratto km 0+400 – 0+820.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte alta dei versanti della dorsale di Monte Luas e non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, sostenuta dal locale substrato metamorfico, che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica (cfr. sorgente S1). In particolare la superficie piezometrica è presente nel tratto iniziale della galleria in esame, fino al km 0+415 circa, ad una quota variabile tra circa 872 m s.l.m. e 874 m s.l.m. e nel tratto centrale e finale, a partire dal km 0+579 circa, ad una quota tra circa 870 m s.l.m. e 880 m s.l.m..

12.3 Tratto km 0+820 ÷ km 1+653

Il tratto in questione si colloca nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio, a quote comprese tra i 825 e i 883 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione di opere all'aperto e del viadotto VI01 (L= 135 m). Il tracciato intercetta la litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle Arenarie di San Vito (**SVI**). Tra le km 0+906 e 0+946, in contatto sub-verticale si rinvencono gli Scisti a graptoliti (**SGA**), mentre nel tratto finale si rinviene, intruso nel basamento metamorfico, la litofacies a composizione porfidico-granitica dei Porfidi granitici (**fp**). In copertura si rinvencono

Coltri eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore medio di circa 2 m e riporti antropici (**h**) di ridotto spessore.

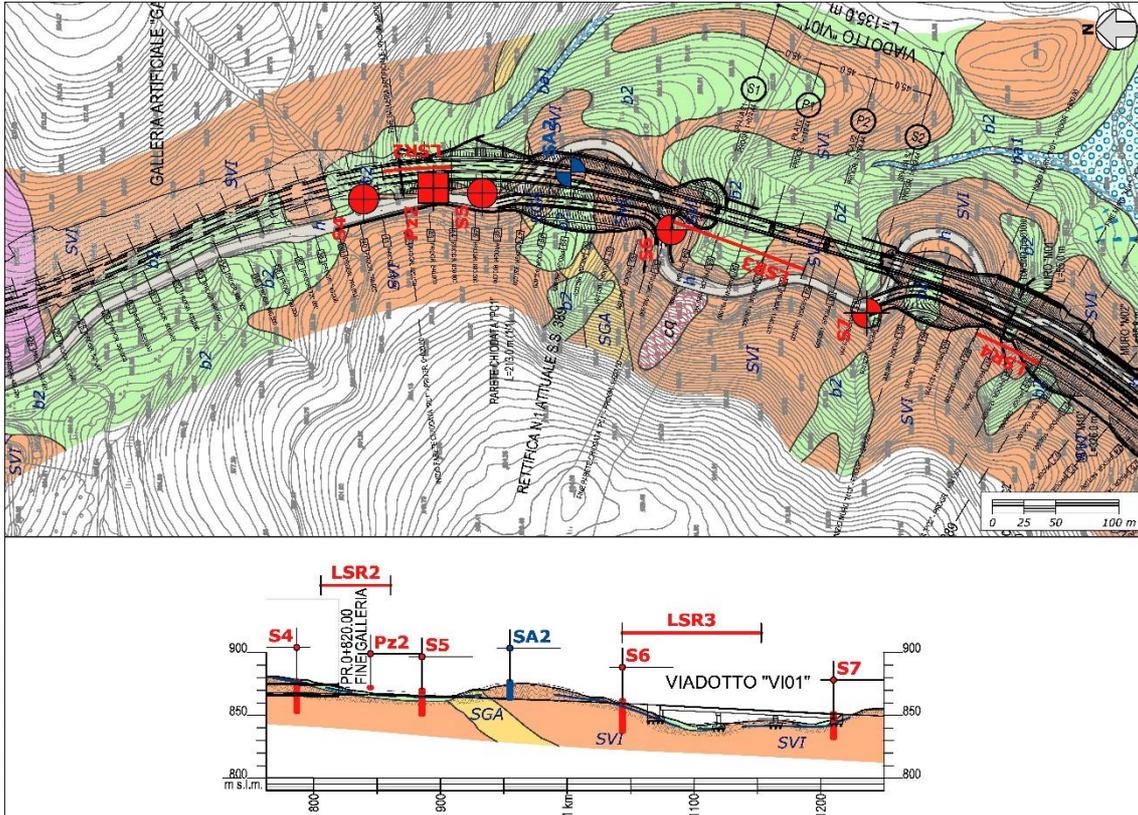


Figura 9 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore nord del tratto km 0+820 – 1+653.

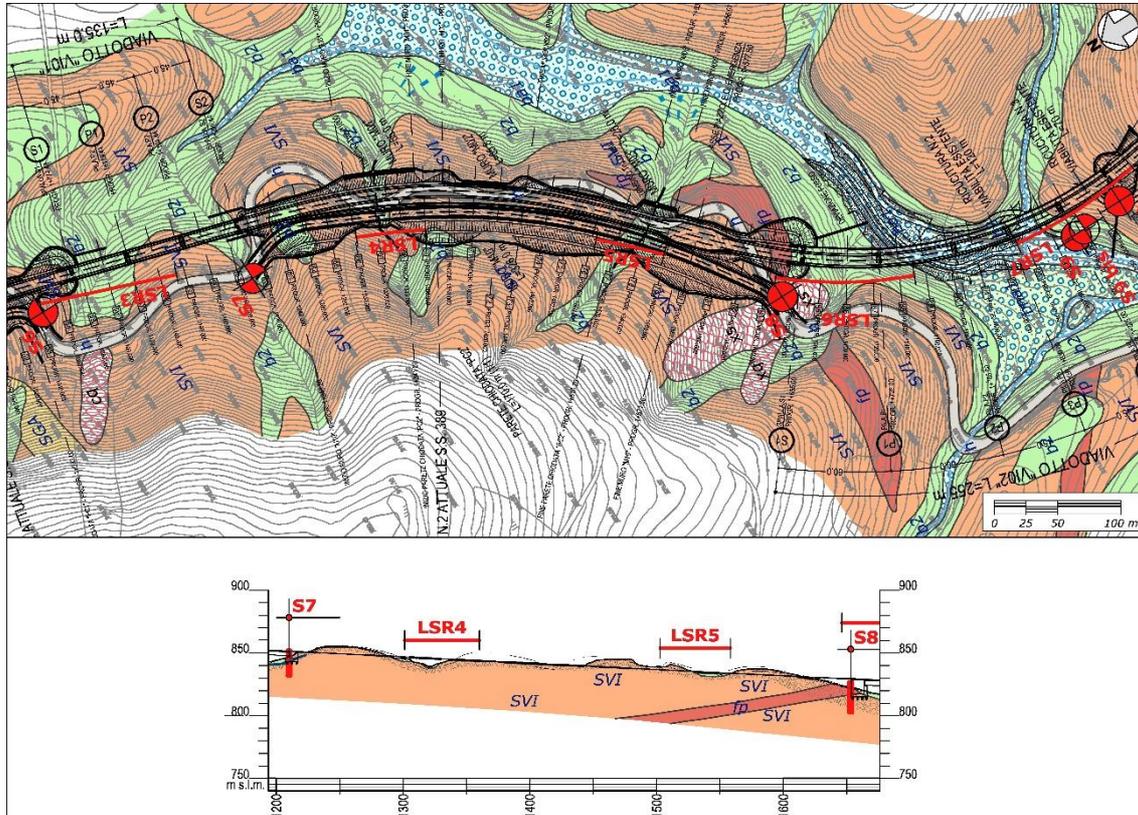


Figura 10 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore sud del tratto km 0+820 – 1+653.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte medio-bassa dei versanti di Monte Cusculai immergenti a sud-est e non sono presenti elementi di particolare criticità per le opere in progetto. Il movimento franoso presente nella porzione più meridionale del tratto a monte del tracciato, infatti, risulta stabilizzato e posto a relativa distanza dalle opere in progetto, con cui non vi è interferenza. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica. In particolare la superficie piezometrica è presente nel tratto iniziale, fino al km 0+932 circa, ad una quota variabile tra 864 m dal s.l.m. e 870 m s.l.m. e nei pressi del viadotto VI01, tra le km 0+990 e 1+223 circa, ad una quota variabile tra 839 m s.l.m. e 866 m s.l.m. (cfr. sondaggio S7).

12.4 Tratto km 1+653 ÷ km 1+928

Il tratto in esame si colloca nella porzione centrale dell'area di studio, a quote comprese tra i 804 e i 828 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione del viadotto VI02 (L= 255 m) e opere all'aperto. Il tracciato intercetta per tutto il suo sviluppo il substrato geologico dell'area rappresentato dalla litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle Arenarie di San Vito (SVI). Nel tratto iniziale, tali litotipi risultano ricoperti dalle Coltri

eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore massimo di 4 m. Mentre nel tratto centrale, in corrispondenza dell'alveo del corso d'acqua, in copertura sul substrato geologico si rinvenivano i Depositi alluvionali recenti e attuali (**ba1**), con uno spessore variabile tra 4 e 8 m.

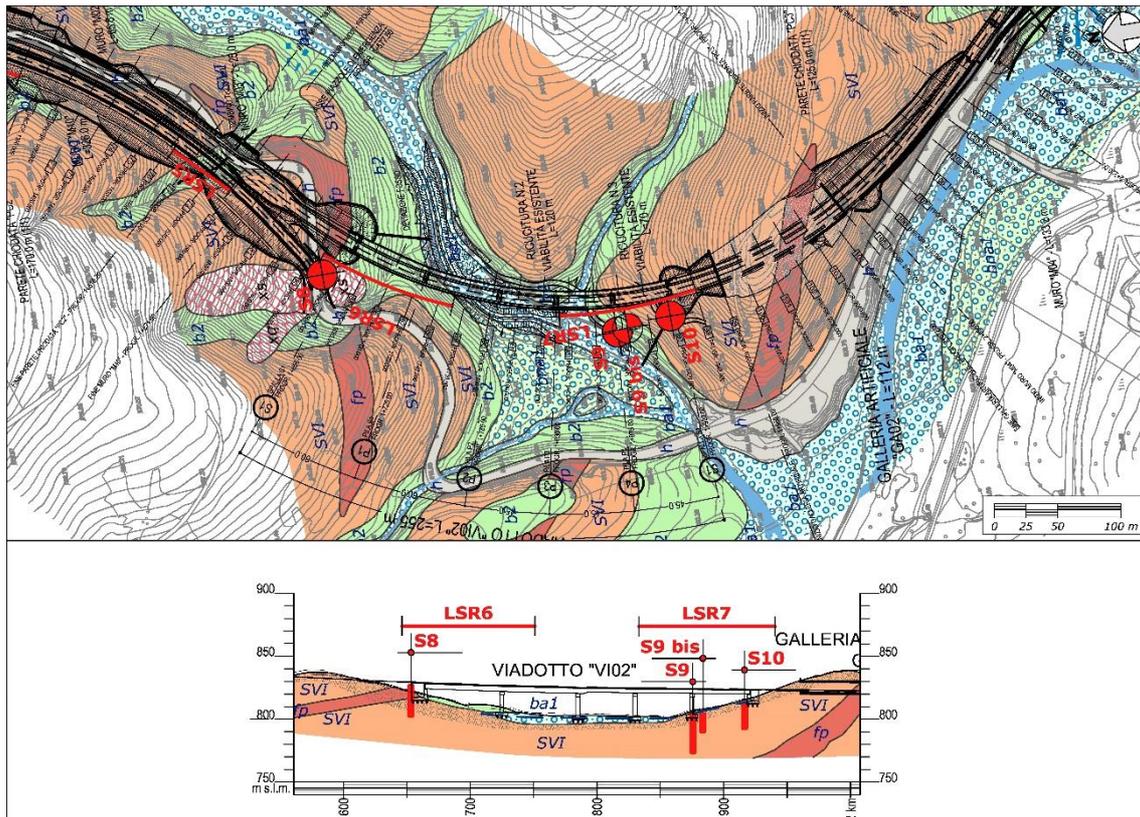


Figura 11 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, del tratto km 1+653 – 1+928.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa superfici terrazzate e l'area impluviale di un piccolo corso d'acqua a carattere stagionale. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, con superficie piezometrica presente nel tratto centrale e finale. Tale superficie piezometrica è posta ad una quota variabile tra 80 m dal s.l.m. e 815 m s.l.m. e segue grossomodo l'andamento della superficie topografica a partire dal km 1+709 circa.

12.5 Tratto km 1+928 ÷ km 3+007

Il tratto stradale oggetto di studio si colloca nella porzione centrale dell'area di studio, a quote comprese tra gli 828 e gli 839 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione di una galleria artificiale GA02 (L= 112 m), di un viadotto VI03 (L= 155 m) e di opere all'aperto. Le opere in progetto intercettano per tutto il loro sviluppo il substrato geologico dell'area rappresentato dalla litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle

Arenarie di San Vito (**SVI**). Nel tratto iniziale si rinviene, intruso nel basamento metamorfico, la litofacies a composizione porfidico-granitica dei Porfidi granitici (**fp**). Localmente, in copertura si rinvergono Coltri eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore medio di circa 2 m e riporti antropici (**h**) di ridotto spessore. Mentre, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua si rinvergono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**ba1**).

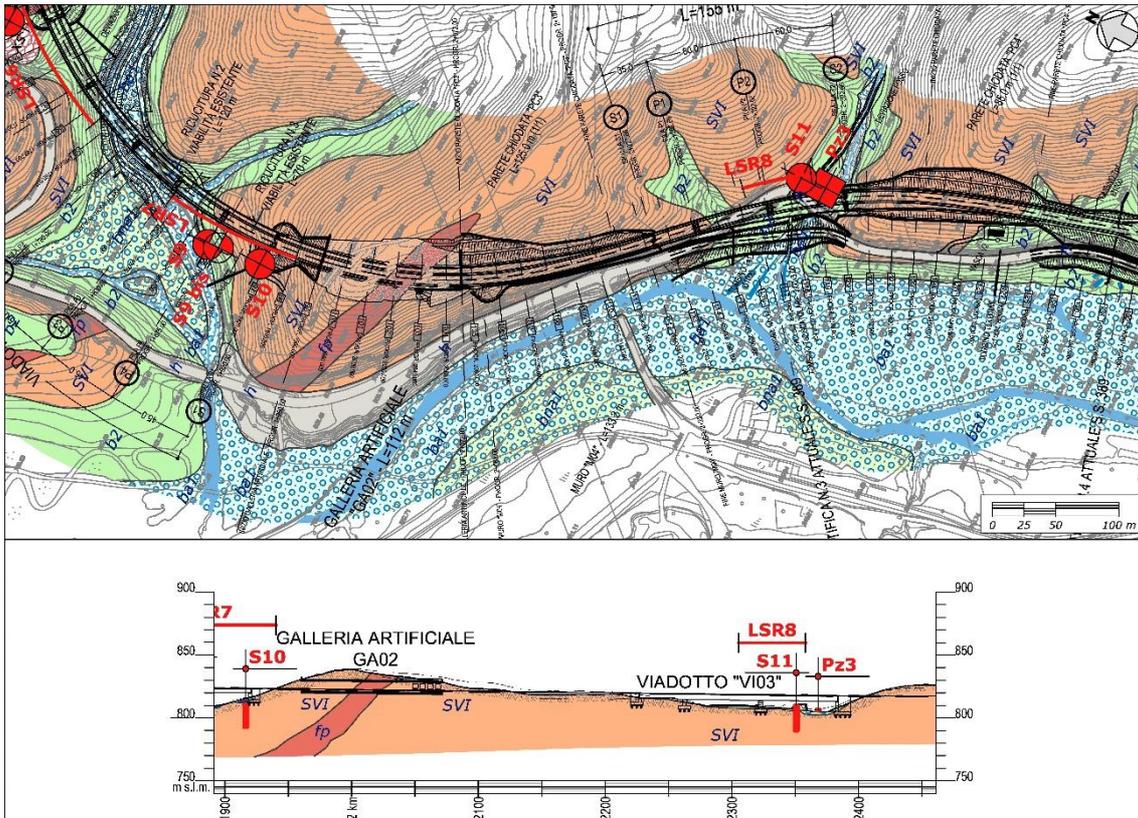


Figura 12 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore nord del tratto km 1+928 – 3+007.

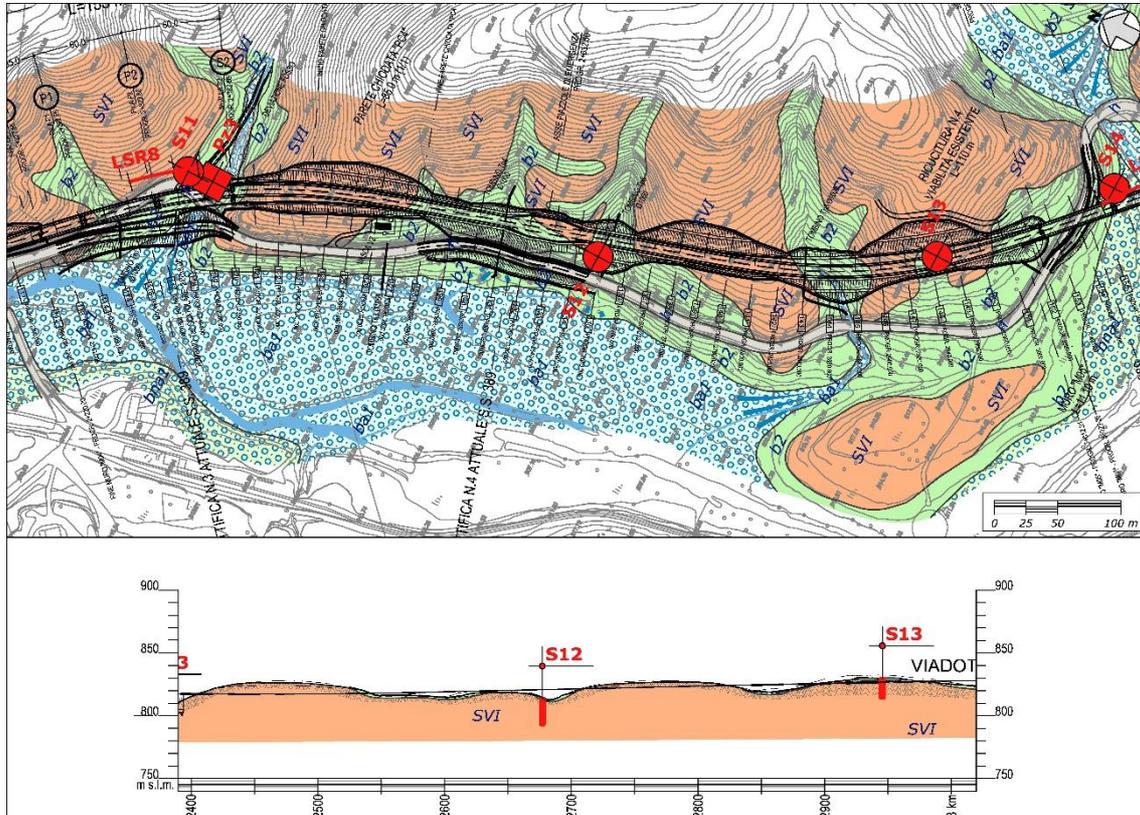


Figura 13 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore sud del tratto km 1+928 – 3+007.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte bassa dei versanti che bordano verso est la piana del Fiume Flumendosa, dove si rinvergono due conoidi di origine colluviale di ridotte dimensioni. Inoltre, tale tratto intercetta il rio Bacu Mela 2+360 km), caratterizzato da una conoide alluvionale di modeste dimensioni.

12.6 Tratto km 3+007 ÷ km 3+700

Il tratto in esame si colloca nella porzione centro-meridionale dell'area di studio, a quote comprese tra gli 813 e gli 825 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione di due viadotti VI04 (L= 155 m), VI05 (L= 40 m) e di opere all'aperto. Il tracciato in esame attraversa per tutto il loro sviluppo il substrato geologico dell'area rappresentato dalla litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle Arenarie di San Vito (SVI). Localmente, in copertura si rinvergono Coltri eluvio-colluviali (b2) con uno spessore variabile tra 1 e 4 m e riporti antropici (h) di ridotto spessore. Mentre, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua si rinvergono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (ba1) e lungo i versanti in destra di Riu Idolo sono presenti superfici terrazzate formate dai terreni ghiaioso-sabbiosi dei depositi alluvionali terrazzati (bn1).

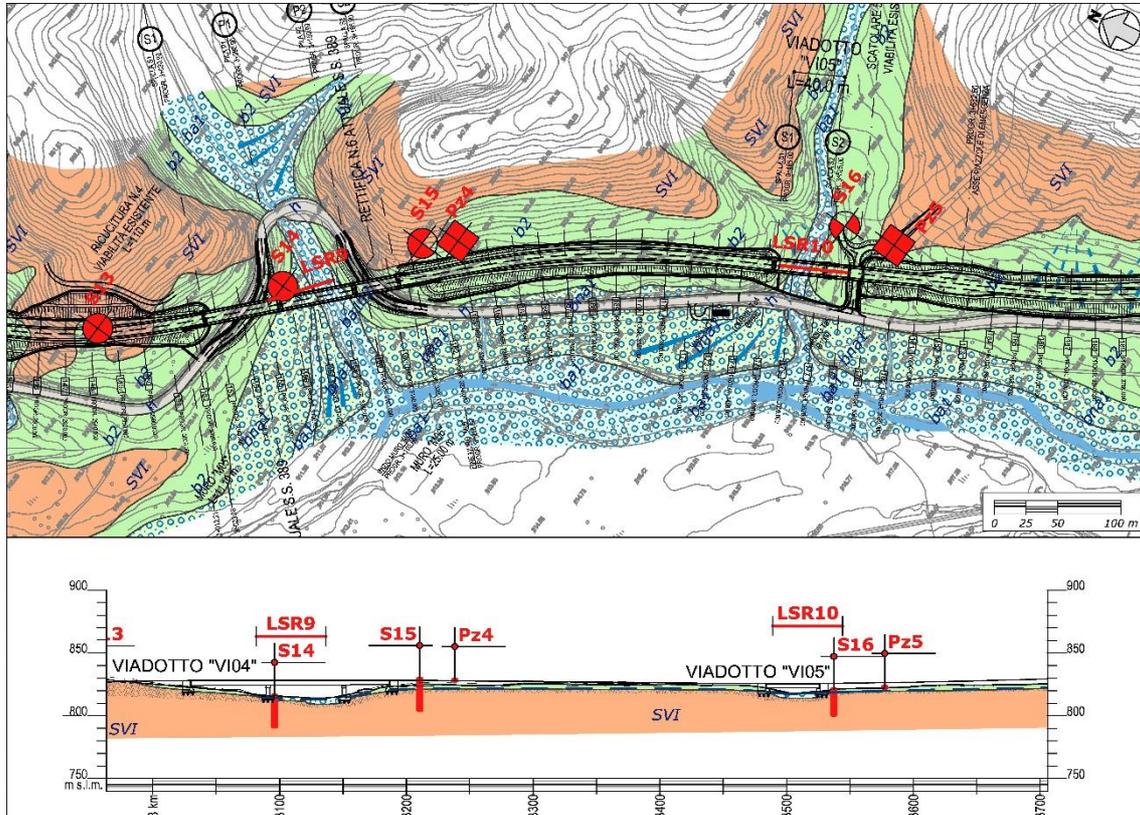


Figura 14 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, del tratto km 3+007 – 3+700.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte bassa dei versanti che bordano verso est la piana del Fiume Flumendosa, tale tratto intercetta il Riu Idolo (3+130 km) e il Riu Codula (3+500). In corrispondenza dei due principali corsi d'acqua sono presenti due conoidi alluvionali di modeste dimensioni. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, sostenuta dal locale substrato metamorfico. La superficie piezometrica che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica è presente nel tratto centrale e finale a partire dal km 3+083 circa ed è posta ad una quota variabile tra 812 m dal s.l.m. e 823 m s.l.m. (cfr. sondaggio S16).

12.7 Tratto km 3+700 ÷ km 4+640

Questo tratto in esame si colloca nella porzione meridionale dell'area di studio, a quote comprese tra gli 824 e gli 862 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione del viadotto VI06 (L= 40 m), della galleria artificiale GA03 (L= 70 m) e di opere all'aperto. Il tracciato in esame attraversa per gran parte del suo sviluppo il substrato geologico dell'area rappresentato dalla litofacies a composizione metarenaceo-metapelitica delle Arenarie di San Vito (SVI). Nel tratto finale intrusi all'interno del basamento metamorfico con

contatti più o meno verticali si rinvennero i litotipi granodioritico-tonalitica della Unità intrusiva di Lanusei (**LNU1d**). Localmente, in copertura si rinvennero Coltri eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore modesto, solo nel tratto iniziale mostra uno spessore maggiore di circa 3.5 m. Mentre, in corrispondenza dei principali corsi d'acqua si rinvennero i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**ba1**), con uno spessore ridotto.

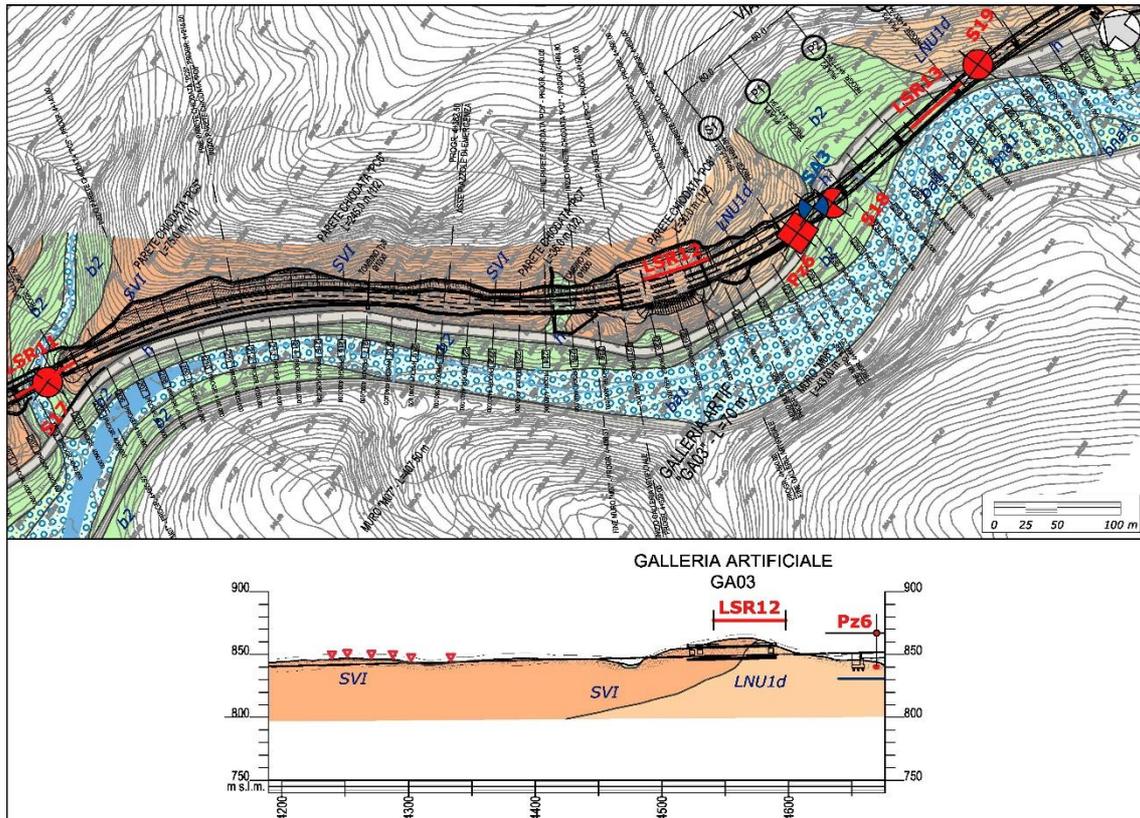


Figura 15 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore nord del tratto km 3+700 – 4+640.

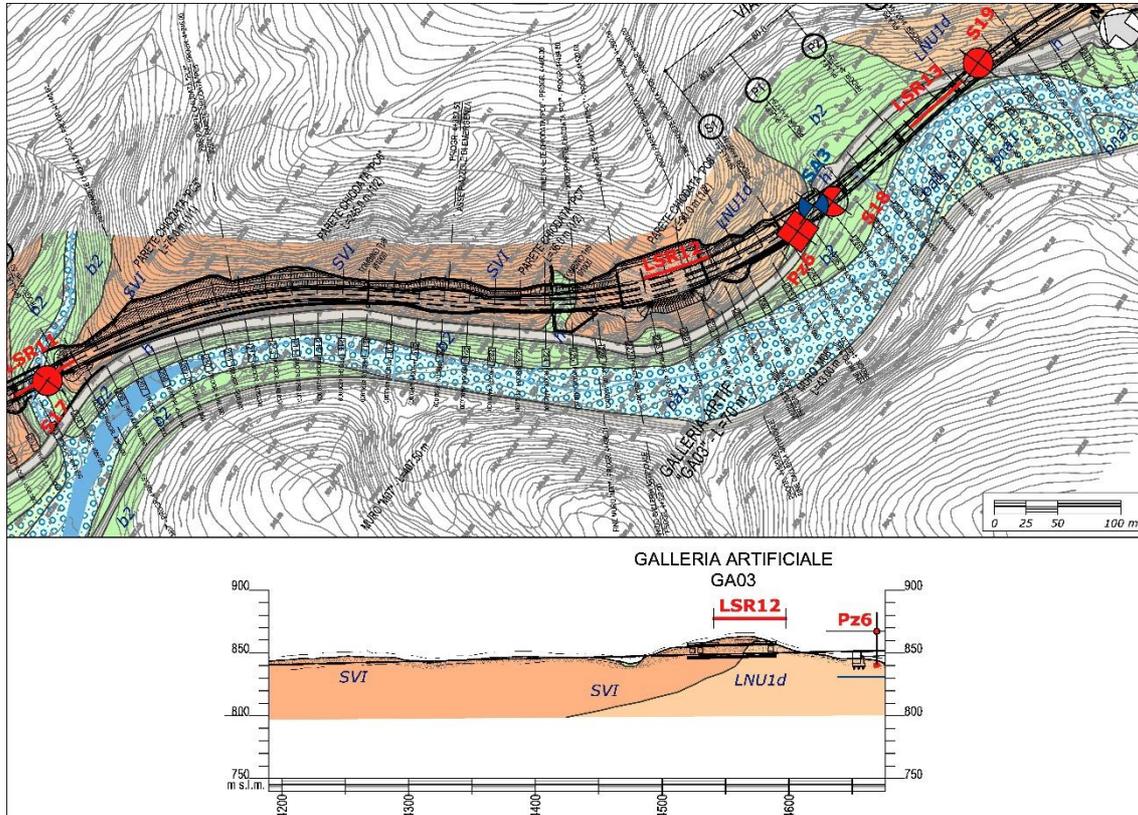


Figura 16 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore sud del tratto km 3+700 – 4+640.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte bassa dei versanti che bordano verso est la piana del Fiume Flumendosa, dove si rinvengono tre conoidi di origine colluviale di ridotte dimensioni. Le scarpate antropiche che bordano la sede stradale esistente sono caratterizzate da diffusi crolli s.l. in roccia, più diffusi in corrispondenza dei tagli impostati sui termini metamorfici, in particolare tra il km 4+100 e il km 4+350. Si tratta di crolli e scivolamenti (planari o per cunei) con dimensioni variabili tra qualche centimetro e pochi decimetri, raramente oltre 1 m di diametro. Parte dei blocchi distaccatisi dalla parete si rinvengono attualmente al bordo della strada esistente o, in qualche raro caso, in corrispondenza degli accumuli detritico-colluviali alla base della stessa. Nella porzione più settentrionale di questo tratto, i blocchi si staccano prevalentemente dalla scarpata antropica presente a monte della strada.

Nella porzione più meridionale, invece, i blocchi si distaccano non solo dalla scarpata suddetta, ma anche da una serie di cornici morfologiche presenti lungo il versante. Ad ogni modo, in questo settore il progetto prevede la realizzazione di un tracciato posto alcune decine di metri a monte della sede stradale esistente, grazie alla realizzazione di un taglio antropico che interesserà tutto l'ammasso metamorfico che produce i fenomeni di crollo appena descritti. Per tali motivi, considerando che le porzioni instabili saranno

rimosse e il tracciato subirà uno spostamento, i fenomeni di crollo s.l. in questa zona non costituiscono un elemento di criticità per le opere in progetto.



Figura 17 – Scarpata antropica in rocce metamorfiche intensamente fratturate tra il km 4+100 e il km 4+350, interessata da distacco di blocchi e fenomeni di crollo in roccia s.l..

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 60 di 66</p>
--	--



Figura 18 – Sbancamento antropico in rocce metamorfiche intensamente fratturate tra il km 4+520 e il km 4+560, interessata da distacco di blocchi e fenomeni di crollo in roccia s.l., con relativa falda detritica al piede della scarpata.

Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, sostenuta dal locale substrato metamorfico che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica. La superficie piezometrica è presente nel tratto iniziale, fino al km 3+856 circa, ad una quota variabile tra 823 m s.l.m. e 828 m s.l.m. e in corrispondenza del viadotto VI06, tra le km 4+028 e 4+064 circa, ad una quota variabile tra 827 m s.l.m. e 829 m s.l.m..

12.8 Tratto km 4+640 ÷ km 5+533.38

Il tratto stradale oggetto di studio si colloca nella porzione più meridionale dell'area di studio, a quote comprese tra gli 835 e gli 865 m circa s.l.m., dove è prevista la realizzazione di un viadotto VI07 (L= 300 m) e di opere all'aperto. Le opere in progetto intercettano per tutto il loro sviluppo il substrato geologico dell'area rappresentato dai litotipi granodioritico-tonalitica della Unità intrusiva di Lanusei (**LNU1d**). In questo tratto, le rocce ignee affioranti risultano fortemente alterate e disgregate, in quanto interessate da importanti fenomeni di arenizzazione. Localmente, in copertura si rinvengono Coltri

eluvio-colluviali (**b2**) con uno spessore medio di circa 2 m, massimo di 4 m e riporti antropici (**h**) di ridotto spessore. Nel tratto iniziale i depositi delle coltri eluvio colluviali ricoprono i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali e recenti (**ba1**), i quali presentano uno spessore massimo di circa 2 m.

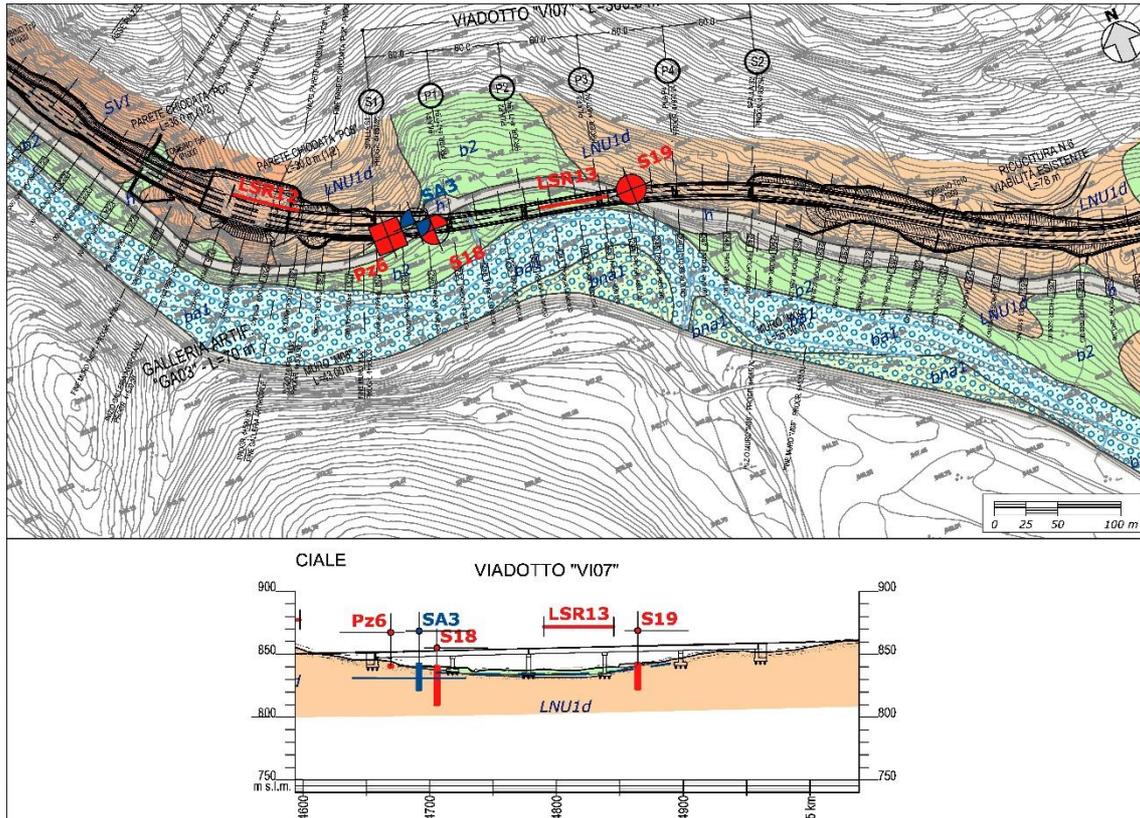


Figura 19 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore nord del tratto km 4+640 – 5+533.38.

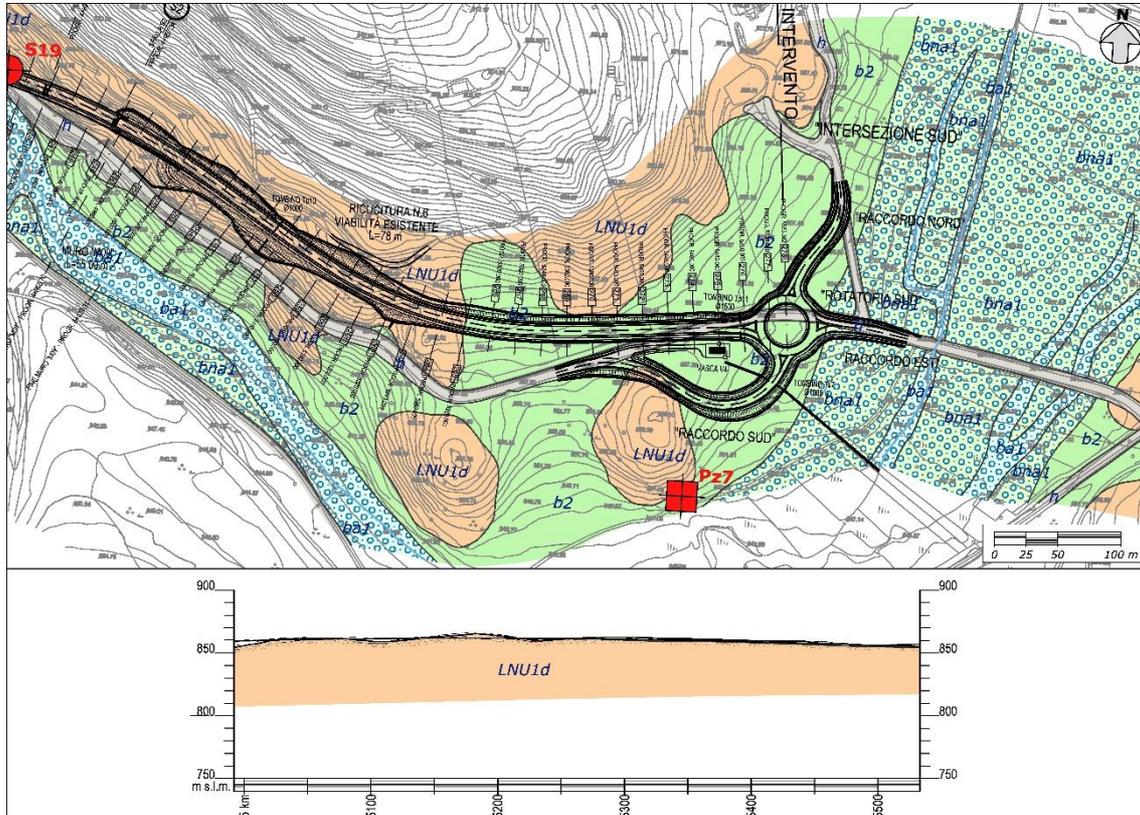


Figura 20 - Stralcio della Carta geologica e profilo geologico, settore sud del tratto km 4+640 – 5+533.38.

Dal punto di vista geomorfologico, il tracciato attraversa la parte bassa dei versanti che bordano verso ENE la piana del Fiume Flumendosa. Sotto il profilo idrogeologico, invece, è possibile ipotizzare la presenza di una falda confinata almeno negli orizzonti più superficiali ed alterati e nelle coltri/depositi di copertura, sostenuta dal locale substrato metamorfico, in corrispondenza del viadotto VI07, tra le km 4+705 e 4+890 circa, con superficie piezometrica posta ad una quota variabile tra 833 m dal s.l.m. e 857 m s.l.m. che segue grossomodo l'andamento della superficie topografica.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 63 di 66</p>
--	--

13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Arthaud F., Matte P., 1966. Contribution à l'étude de tectoniques superposées dans la chaîne hercynienne: étude microtectonique des séries métamorphiques du Massif des Maures (Var). Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences Série D 26: 436-439.

Arthaud F., Sauniac S., 1981. Une coupe synthétique à travers la chaîne varisque de Sardaigne. Commentaires sur l'évolution tectono-métamorphique. Bulletin de la Société Géologique de France 7: 535-539.

Barca S., Carmignani L., Eltrudis A., Franceschelli M., 1995. Origin and evolution of the Permian-Carboniferous Basin Of Mulargia Lake, South-Central Sardinia (Italy) relates to the late-Hercynian extensional tectonics. Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris 321: 171-178.

Barca S., Costamagna L.G., 1997. Compressive "Alpine" tectonics in Western Sardinia: geodynamic consequences. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences Série D 32: 791-797.

Barca S., Costamagna L.G., 2000. Il bacino paleogenico del Sulcis-Iglesiente (Sardegna SW): nuovi dati stratigrafico-strutturali per un modello geodinamico nell'ambito dell'orogenesi pirenaica. Bollettino della Società Geologica Italiana 119: 497-515.

Beccaluva L., Brotzu P., Macciotta G., Morbidelli L., Serri G., Travera G., 1987. Cenozoic tectono-magmatic evolution and inferred mantle sources in the Sardo-Thyrrhenian Area. In: Boriani A., Bonafede M., Piccardo G.B., Vai G.B. (eds), The Lithosphere in Italy, advances in Earth Science Research. Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei 8: 229-248.

Beccaluva L., Civetta L., Macciotta G.P., Ricci C.A., 1985. Geochronology in Sardinia: results and problems. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 4: 57-72.

Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classification. John Wiley and Sons.

Bralia A., Ghezzi C., Guasparri G., Sabatini G., 1981. Aspetti genetici del batolite sardo-corso. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 38: 701-764.

Brotzu P., Callegari E., Secchi F.A., 1994. The search for the parental magma of the high-K calc-alkaline igneous rock series in the southernmost Sardinia Batholith. Periodico di Mineralogia 62: 253-280.

Brotzu P., Ferrini V., Masi U., 1982. Stable isotope geochemistry of Hercynian granitoid rocks from Sarrabus Massif (South-eastern Sardinia, Italy). Isotope Geosciences 1: 77-90.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 64 di 66</p>
--	--

Cabizzosu T., Marongiu E., Uras C., 2003. Inventario cinque libri, Archivio storico diocesano, Selargius (1574-1625). Edizioni della torre 1: 688.

Carmignani L., Barca S., Cappelli B., Di Pisa A., Gattiglio M., Oggiano G., Pertusati P.C., 1992. A tentative geodynamic model for the hercynian basement of Sardinia. In: Carmignani L., Sassi F.P.: Contribution to the Geology of Italy with special regard to the Paleozoic basement. I.G.C.P. Project No 276, Newsletter 5: 61-82.

Carmignani L., Carosi R., Disperati L., Funedda A., Musumeci G., Pasci S., Pertusati P.C., 1992. Tertiary transpressional tectonics in NE Sardinia, Italy. In: Carmignani L., Sassi F.P.: Contributions to the Geology of Italy with special regard to the paleozoic Basements. I.G.C.P. Project No 276, Newsletter 5: 83-96.

Carmignani L., Coccozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C., Ricci C.A., 1982. Lineamenti del basamento sardo. In: Carmignani L., Coccozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C., Ricci C.A. (eds), Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo. Guide Geologiche Regionali, Società Geologica Italiana : 11-23.

Carmignani L., Coccozza T., Ghezzi C., Pertusati P.C., Ricci C.A., 1987. Structural model of the hercynian basement of Sardinia. Scala 1:500000 C.N.R. Prog. Fin. Geodinamica - Sottoprogetto Modello Strutturale d'Italia. Tipografie e Litografia Salomone.

Carmignani L., Coccozza T., Minzoni N., Pertusati P.C., 1978. Falde di ricoprimento erciniche nella Sardegna a NE del Campidano. Memorie della Società Geologica Italiana 19: 501-510.

Carosi R., Pertusati P.C., 1990. Evoluzione strutturale delle unità tettoniche erciniche nella Sardegna centro-meridionale. Bollettino della Società Geologica Italiana 109: 325-335.

Castorina F., Petrini R., 1992. Based Nd-models ages in highly evolved granites: an example from Buddusò intrusion (NE Sardinia, Italy). Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen 6: 227-288.

Casula G., Cherchi A., Montadert L., Murru M., Sarria E.A., 2001. The Cenozoic Graben system of Sardinia (Italy): geodynamic evolution from new seismic and field data. Marine and Petroleum Geology 18: 863-888.

Cherchi A., Montadert L., 1982. The Oligo-Miocene rift of Sardinia and the early history of the western mediterranean basin. Nature 298: 736-739.

Cherchi A., Schroeder R., 1976. Présence de galets du Vraconien supérieur-Cénomanién basal de provenance ibérique dans le Paléogène continental du Sud-Ouest de la Sardaigne. Bulletin de la Société Géologique de France 18: 1217-1219.

Cherchi A., Trémolières P., 1984. Nouvelles données sur l'évolution structurale au Mésozoïque et au Cénozoïque de la Sardaigne et leurs implications géodynamiques dans

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 65 di 66</p>
--	--

le cadre méditerranéen. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences Serie D 298: 889-894.

Conti P., Carmignani L., Cerbai N., Eltrudis A., Funedda A., Oggiano G., 1999. From thickening to extension in the Variscan belt - kinematic evidence from Sardinia (Italy). Terra Nova 11: 93-99.

Del Moro A., Laurenzi M., Musumeci G., Pardini G., 1991. Rb/Sr and Ar/Ar chronology of the hercynian Mt. Grighini intrusive and metamorphic rocks (central-western Sardinia). Plinius 4: 121-122.

Di Simplicio P., Ferrara G., Ghezzeo C., Guasparri G., Pellizzer R., Ricci C.A., Rita F., Sabatini G., 1974. Notes on the Paleozoic magmatism and metamorphism of Sardinia. Memorie della Società Geologica Italiana 13: 161-164.

Di Simplicio P., Ferrara G., Ghezzeo C., Guasparri G., Pellizzer R., Ricci C.A., Rita F., Sabatini G., 1975. Il metamorfismo e il magmatismo paleozoico nella Sardegna. Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia 30: 979-1068.

Funedda A., Oggiano G., Pasci S., 2000. The Logudoro basin: a key area for the tertiary tectono-sedimentary evolution of North Sardinia. Bollettino della Società Geologica Italiana 119: 37-38.

Ghezzeo C., Guasparri G., Sabatini G., 1972. Lineamenti geopetrologici del cristallino sardo. Le plutoniti e la loro successione negli eventi intrusivi. Mineralogica and Petrographica Acta 18: 205-234.

Ghezzeo C., Orsini J.B., 1982. Lineamenti strutturali e composizionali del batolite ercinico sardo-corso in Sardegna. Carmignani L., Cocozza T., Ghezzeo C., Pertusati P.C., Ricci C.A.: Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo. Guide Geologiche Regionali, Società Geologica Italiana: 165-181.

Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S., 2013. Quantification of the geological strength index chart Proceedings of the 47th US rock mechanics/geomechanics symposium. American Rock Mechanics Association: 672.

ISPRA, 2002. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 541, Jerzu. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

ISRM, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 15: 319-368.

ISRM, 1993. Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose. Rivista Italiana di Geotecnica 2: 151-197.

Lecca L., Lonis R., Luxoro S., Melis E., Secchi F., Brotzu P., 1997. Oligo-Miocene volcanic sequences and rifting stages in Sardinia: a review. Periodico di Mineralogia 66: 7-61.

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 389 TRONCO VILLANOVA – LANUSEI – TORTOLI LOTTO BIVIO VILLAGRANDE – SVINCOLO DI ARZANA</p> <p>DAL Km 51+100,00 DELLA S.S. 389 VAR AL Km 177+930,00 DELLA S.S. 389</p> <p>Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica</p>	<p>File: T00_GE01_GEO_RE01_A</p> <p>Data: Agosto 2020</p> <p>Pag. 66 di 66</p>
--	--

Marinos V., Marinos P., Hoek E., 2005. The Geological Strength Index: Applications and Limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 64: 55-65.

Masclé J., Rehault J.P., 1990. A revised stratigraphy of the Tyrrhenian sea: implications for the basin evolution. In: Kastens K.A., Masclé J. *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 107: 617-636.

Matte P., 1986. La chaîne varisque parmi les chaînes paléozoïques péri-atlantiques, modèle d'évolution et position des grands blocs continentaux au Permo-Carbonifère. *Bulletin de la Société Géologique de France* 8: 9-24.

Oggiano G., Pasci S., Funedda A., 1995. Il bacino di Chilivani-Barchidda: un esempio di struttura transtensiva. Possibili relazioni con la geodinamica cenozoica del Mediterraneo occidentale. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 11: 465-475.

Oggiano G., Sanna G., Temussi I., 1987. Caractères géologiques, géologiques et géochimiques de la bauxite de la région de la Nurra. In: Cherchi A.: *Groupe Française du Crétacé. Sardinia*: 72-124.

Orsini J.B., 1976. Les granitoides hercyniennes corso-sarde. Mise en évidence de deux associations magmatiques. *Bulletin de la Société Géologique de France* 18: 1203-1206.

Pala A., Pecorini G., Porcu A., Serra S., 1982. Schema geologico strutturale della Sardegna. In: *Ricerche geotermiche in Sardegna con particolare riferimento al graben del Campidano. CNR - Progetto Finalizzato Energia - Sottoprogetto Energia Geotermica* 10: 7-24.

Pasci S., 1995. La tettonica terziaria della Sardegna centro-settentrionale. PhD Thesis, Università di Cagliari.

Pecorini G., Pomesano Cherchi A., 1969. Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna). *Memorie della Società Geologica Italiana* 8: 421-451.

Pertusati P.C., Sarria E., Cherchi G. P., Carmignani L., Barca S., Benedetti M., Chighine G., Cincotti F., Oggiano G., 2002. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 541, Jerzu. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Ricci C.A., Sabatini G., 1978. Petrogenetic affinity and geodynamic significance of metabasic rocks from Sardinia, Corsica, and Provence. *Neues Jahrbuch für Mineralogie* 1: 23-38.

Vardabasso S., 1962. Questioni paleogeografiche relative al Terziario antico della Sardegna. *Memorie della Società Geologica Italiana* 3: 655-673.