

ADEGUAMENTO S.S. n°87 "SANNITICA" INTERVENTI LOCALIZZATI PER GARANTIRE LA PERCORRIBILITA' IMMEDIATA TRATTO "CAMPOBASSO – BIVIO S.ELIA" LOTTI A2 E A3

PROGETTO DEFINITIVO

CB-150

A.T.I. di PROGETTAZIONE:
(Mandataria)



(Mandante)



(Mandante)



IL PROGETTISTA:

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A
Ing. Luigi Albert – Ordine Ing. Milano n.° 14725-Sez A
Ing. Paolo Franchetti – Ordine Ing. Vicenza n.° 2013-Sez A

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Anna Maria Bruna
- Ordine Geol. Lazio n. 1531

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE
DISCIPLINE SPECIALISTICHE

Ing. Franco Persio Bocchetto - Ordine Ing. Roma n.° 8664-Sez A

COORDINATORE PER LA SICUREZZA:

Ing. Andrea Maria Enea Failla - Ordine Ing. Catania n.°A6701

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. CLAUDIO BUCCI

GE – GEOLOGIA GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV.PROG. ANNO

D	P	C	B	0	1	5	0	D	2	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

NOME FILE:

T00GE00GEORE03B.DOCX

REVISIONE

SCALA

CODICE
ELAB.

T	0	0	G	E	0	0	G	E	O	R	E	0	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

B

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
B	ISTRUTTORIA ANAS	Luglio 2022	Geol. M. Tedesco	Geol. F. Staffini	Ing. L. Albert
A	EMISSIONE	Aprile 2022	Geol. M. Tedesco	Geol. F. Staffini	Ing. L. Albert

INDICE

1	PREMESSA	1
1.1	ASSE VIARIO IN PROGETTO.....	1
2	riferimenti	0
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	0
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO	0
2.3	BIBLIOGRAFIA	0
3	INQUADRAMENTO GENERALE	2
4	schema geologico.....	4
4.1	Assetto tettonico-strutturale.....	4
4.2	Successione stratigrafica locale e caratteri delle unità geologiche.....	6
5	SCHEMA GEOMORFOLOGICO	8
5.1	MODELLO EVOLUTIVO.....	8
5.2	PRINCIPALI ELEMENTI MORFOLOGICI	9
5.3	INTERFERENZE CON I LIMITI PAI E COMPATIBILITA' DEGLI INTERVENTI	11
6	SCHEMA IDROGEOLOGICO.....	0
6.1	ASSETTO IDROGRAFICO.....	0
6.2	MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO	1
7	SISMICITA' DEL TERRITORIO	3
7.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO	3
7.2	SISMICITA' STORICA.....	4
7.3	PERICOLOSITA' SISMICA	6
7.4	Potenziale di liquefazione.....	9
8	INDAGINI GEOGNOSTICHE	0
8.1	SONDAGGI MECCANICI.....	1
8.2	STRATIGRAFIE.....	1
8.3	SPT.....	5
8.4	PROVE PRESSIOMETRICHE IN FORO TIPO MENARD	6
8.5	PROVE SU PIASTRA	7
8.6	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	8
8.7	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	9
8.8	INDAGINI GEOFISICHE	10
8.9	ANALISI CRITICA DELLE INDAGINI E DEI RISULTATI OTTENUTI IN RELAZIONE ALLA VARIANTE IN PROGETTO	11
9	MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL TRACCIATO	12

1 PREMESSA

La presente relazione redatta ai sensi del C.d'O ANAS agg. Dicembre 2012 sintetizza gli studi geologici, geomorfologici e idrogeologici finora condotti per la progettazione definitiva degli Interventi localizzati per garantire la percorribilità immediata tratto "Campobasso – Bivio S. Elia" Lotti A2 e A3 della S.S.87 "Sannitica".

A supporto del presente elaborato sono state raccolti ed analizzati gli studi e le indagini eseguite nelle precedenti fasi progettuali, dalle quali è stato possibile trarre le informazioni essenziali in merito alla natura dei depositi presenti e alla loro caratterizzazione litotecnica. In particolare, è stata condotta un'analisi critica del modello geologico proposto, al fine di verificare, a seguito della raccolta documentale e delle verifiche di campo condotte in questa sede, eventuali modifiche dell'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico. A tale scopo, in questa fase progettuale sono state condotte delle specifiche attività di terreno concentrate prevalentemente lungo la tratta in progetto per verificare e integrare il quadro conoscitivo dell'area e meglio definire i fenomeni di dissesto agenti o potenziali presenti lungo il tracciato. Nello specifico, il presente elaborato ha fatto riferimento ai seguenti studi:

- Campagna di indagini geognostiche eseguite lungo l'asse stradale o in zone prossime ad esso a supporto dello studio geologico, geotecnico del Progetto Preliminare di adeguamento della SS 87, eseguite tra il 2004 ed il 2005;
- Campagna di indagini geognostiche eseguite nel 2021 lungo l'asse stradale in progetto, a cui sono seguite alcune attività di monitoraggio sui piezometri e gli inclinometri distribuiti nell'area per una maggiore comprensione dell'assetto idrogeologico locale e dello stato di attività dei corpi di frana individuati nell'area.
- Relazioni tecniche e relativi allegati delle precedenti fasi progettuali.

Per quanto concerne invece la raccolta delle informazioni inerenti al governo del territorio e agli studi sovracomunali presenti nell'area, si è fatto riferimenti ai seguenti elaborati:

- Relazione Generale Progetto di Piano Stralcio del l'Assetto Idrogeologico del bacino interregionale del F. Fortone;
- Norme di Attuazione Progetto di Piano Stralcio del l'Assetto Idrogeologico del bacino interregionale del F. Fortone;
- Relazione Generale Progetto di Piano Stralcio del l'Assetto Idrogeologico del bacino interregionale del F. Biferno e limitrofi;
- Norme di Attuazione Progetto di Piano Stralcio del l'Assetto Idrogeologico del bacino interregionale del F. Biferno e limitrofi;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale "Il Percorso per lo Sviluppo Sostenibile del Molise" sezione Matrice Ambientale – Relazione Tecnica e relativi allegati.

Le informazioni raccolte e sintetizzate nel seguito sono state utilizzate per la stesura del Progetto Definitivo oltre che costituire parte integrante della relazione di compatibilità geomorfologica, per la quale si rimanda allo specifico elaborato.

1.1 ASSE VIARIO IN PROGETTO

Il Progetto Definitivo degli interventi di adeguamento della "S.S. nel tratto Campobasso – Bivio S.Elìa" prevede la realizzazione dei lotti A2 e A3 che si pongono in continuità con gli interventi già eseguiti e proseguono l'ammmodernamento della S.S.87 in direzione di Campobasso per un'estensione di circa 3.400 m in comune di Campolieto. Il tracciato di progetto prevede il miglioramento degli standard esistenti lungo la S.S.87 alle caratteristiche tecnico-funzionali di una strada tipo C2 "extraurbana secondaria" ai sensi del

DM 5/11/2001 e l'eliminazione di due passaggi a livello con la linea FS Campobasso Termoli sulla direttrice principale di traffico.

La variante in progetto ha inizio al Km 155+500 in località "Masseria Lombardi", dove è prevista una rotonda per consentire l'innesto con l'attuale "Sannitica" e per la ricucitura con la viabilità locale.

La variante inizia tra il Km 156+000 ed il 158+000, in un tratto in cui l'attuale tracciato presenta un'alta tortuosità, consentendo velocità di percorrenza più elevate ed accorciando lo sviluppo dell'itinerario. Il tracciato prosegue per circa due chilometri in affiancamento alla linea FS "Campobasso-Termoli", con curve di ampio raggio e tratti in rettilineo. Dopo aver oltrepassato la strada provinciale di Campolieto, il tracciato in progetto termina ricollegandosi alla S.S.87 attuale all'altezza della stazione FS di Campolieto-Monacigliani al km 159+600 circa, con uno sviluppo totale dell'intervento di circa 3.335 ml (**Figura 1**).

L'intervento è caratterizzato dall'eliminazione della direttrice principale di traffico di due passaggi a livello della linea FS "Campobasso-Termoli", che restano attivi per il transito della sola viabilità locale.

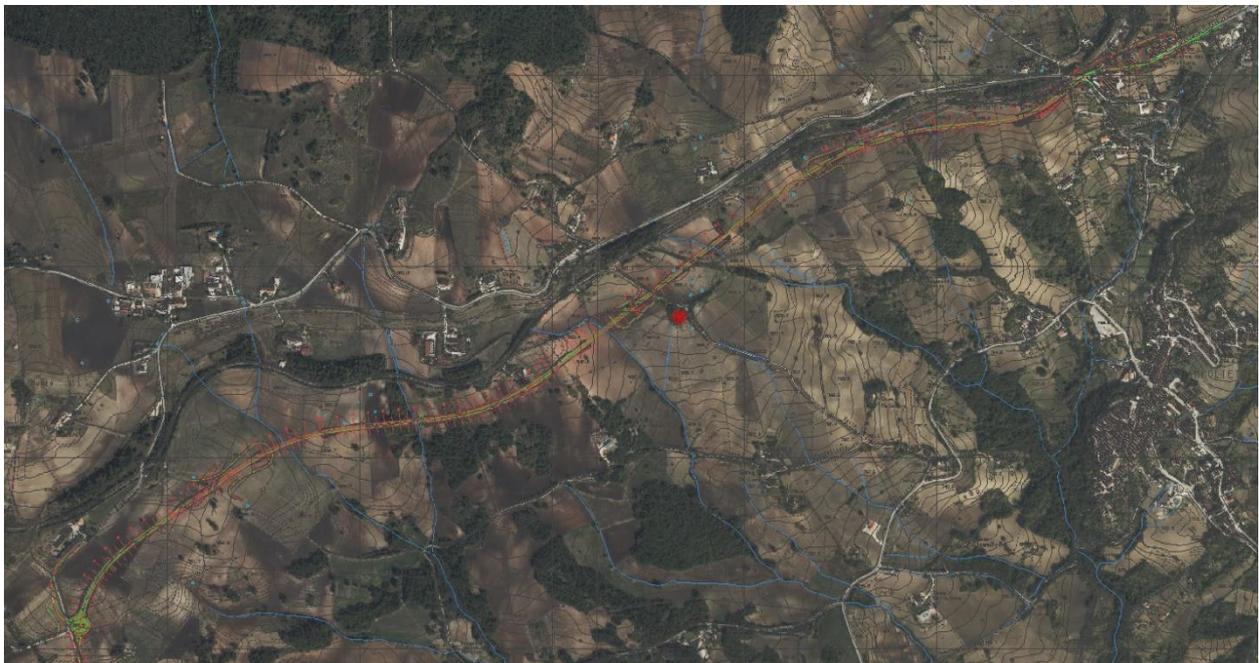


Figura 1 – Planimetria generale dell'area di intervento con riportato il tracciato in progetto

2 RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] L. 02/02/74 n.64 e successive (norme tecniche per la costruzione in zone sismiche);
- [2] D.M. 21/01/81 e successive (norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ecc...)
- [3] D.M. 17 gennaio 2018. "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" (G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018).
- [4] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018." (Suppl. Ordinario alla G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019).

2.2 DOCUMENTI DI PROGETTO

- [5] Doc. n. T00GE00GEOAL01B "Allegato fotografico sopralluoghi condotti nell'area"
- [6] Doc. n. T00GE00GEOAL02B "Schede di rilievo geologico, geomorfologico e idrogeologico"
- [7] Doc. n. T00GE00GEOU01/2/3 "Planimetria ubicazione indagini geognostiche e ambientali "
- [8] Doc. n. T00GE00GEOCG01/2/3/4/5 "Carta geologica "
- [9] Doc. n. T00GE00GEOCG06/7/8 "Carta geomorfologica"
- [10] Doc. n. T00GE00GEOCI01/2/3 "Carta idrogeologica"
- [11] Doc. n. T00GE00GEOFG01/2/3/4 "Profilo geologico longitudinale"
- [12] Doc. n. T00GE00GEOSE01/2/3/4/5/6 "Sezioni trasversali"

2.3 BIBLIOGRAFIA

- [13] Bruno G., Cherubini C., Pagliarulo R., Surgo C., Trizzino R. - Giornale di Geologia Applicata 3 (2006) 167-172
- [14] Civita (1973): Proposte operative per la legenda delle carte idrogeologiche. Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli
- [15] Festa A., Ghisetti F. & Vezzani L. (2006) – Note illustrative della carta geologica del Molise in scala 1:100.000. Regione Molise.
- [16] Guida al Rilevamento e alla rappresentazione - Quaderno n°5. ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). 1995
- [17] IFFI - Inventario dei fenomeni franosi in Italia: ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)
- [18] ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults): ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)
- [19] Molin D. & Margottin C. (1981) – Il terremoto del 1627 nella Capitanata settentrionale. In "Sismicità dell'Italia: stato delle conoscenze e qualità della normativa, CNR-PFG
- [20] Norme di Attuazione dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino interregionale dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore)
- [21] Relazioni Tecniche dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino interregionale dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore)
- [22] Relazione Tecnica Matrice Ambientale Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale "Il Percorso per lo Sviluppo Sostenibile del Molise"

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

- [23] Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) Patacca E., Scandone P. (1998). Struttura tettonica ed evoluzione cinematica dell'Appennino meridionale. 79° Congr. Soc. Geol. Ital., "La Sicilia, un Laboratorio Naturale nel Mediterraneo - Strutture, Mari, Risorse e Rischi" (Palermo, 21-23 sett. 1998)
- [24] Documentazione progettuale di accompagnamento delle precedenti fasi progettuali

3 INQUADRAMENTO GENERALE

La porzione di territorio interessata dal tracciato in progetto si attesta ca. 10Km in direzione NE rispetto all'agglomerato urbano di Campobasso, in un contesto collinare tipico dell'appenino centro-meridionale caratterizzato da blande morfologie e morbidi declivi.

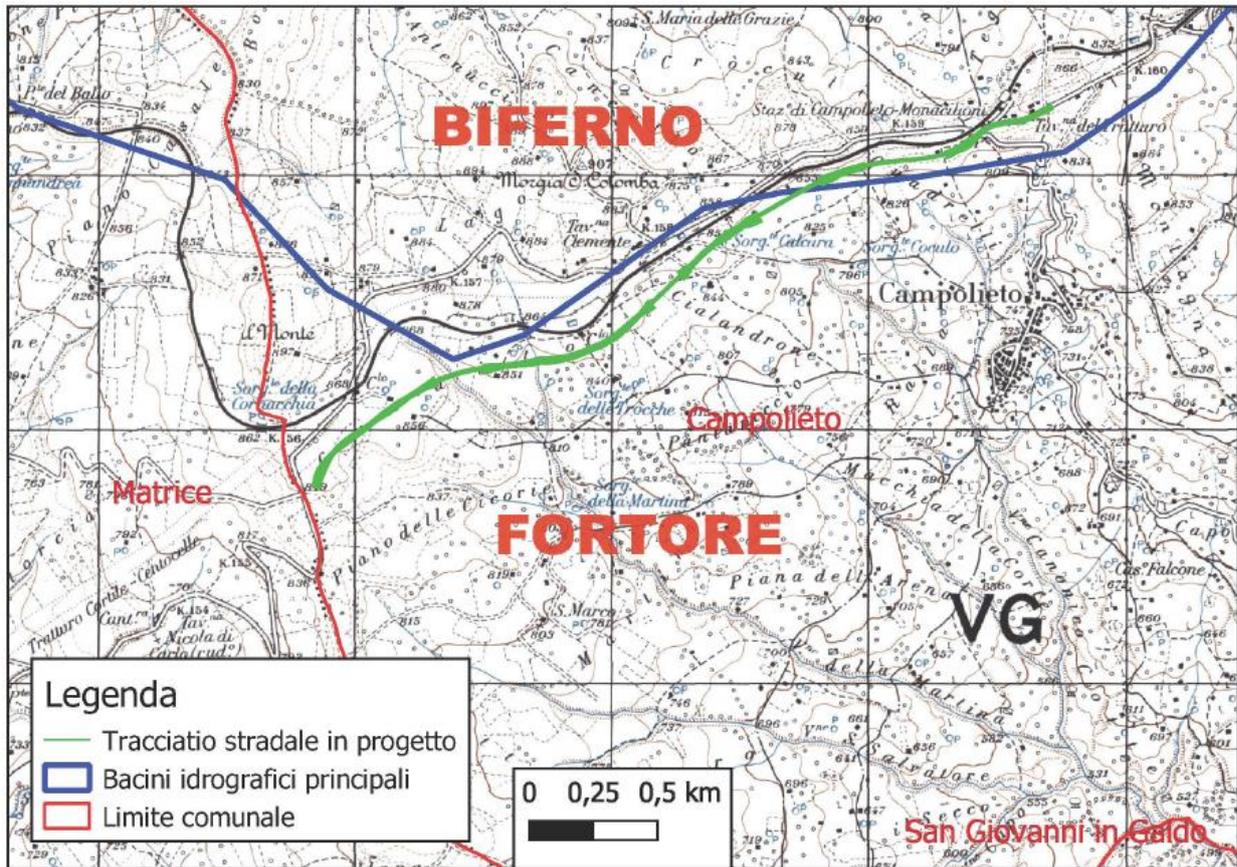


Figura 2 -Stralcio IGM con indicazione del limite dei Bacini idrografici del Fiume Fortore e del Fiume Biferno

L'intera estensione del tracciato si sviluppa all'interno del territorio comunale di Campolieto (CB), lungo lo spartiacque tra i bacini idrografici dei F. Biferno e F. Fortore. Il primo si sviluppa a NW dell'area, mentre il secondo in direzione SE, con il tracciato in progetto che si sovrappone parzialmente lungo il limite dei due bacini, passando da uno all'altro (Figura 2).

Nel dettaglio, il tracciato della S.S.87 corre lungo la sommità di una dorsale impostata secondo il lineamento geografico NE-SW e che coincide grossomodo con lo spartiacque tra i bacini idrografici dei F. Biferno (a N-NW) e F. Fortore (S-SE). La sommità della dorsale è caratterizzata nella porzione sud-occidentale da un'ampia superficie pianeggiante, che si restringe progressivamente spostandosi verso il tratto nord-orientale dell'area di studio. Questo tratto è caratterizzato da un crinale costituito da una successione di piccoli rilievi collegati fra loro da ampie selle morfologiche e che delimitano verso sud una superficie suborizzontale. Questa superficie si presenta a tratti pianeggiante e a tratti ondulata con inclinazioni di pochi gradi. In direzione nord est, in corrispondenza dello svincolo per Campolieto, si restringe fino a coincidere con l'attuale sede stradale (Figura 3). Dal crinale morfologico principale si sviluppano crinali secondari, poco sviluppati che degradano gradualmente verso le zone di fondovalle.

L'evoluzione geologica e tettonica a scala regionale ha fortemente influenzato l'evoluzione morfologica locale. Lungo l'asse della dorsale vi sono diversi affioramenti lapidei della formazione Argille Varicolori, che formano piccoli rilievi facilmente individuabili rispetto alle morfologie limitrofe.

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica



Figura 3 - Vista dell'estremità orientale dell'area di studio, dove l'attuale tracciato della S.S.87 corre lungo la cresta della dorsale morfologica

Blande e scarsamente inclinati sono invece i pendii impostati in corrispondenza dei livelli prevalentemente pelitici, la cui continuità è interrotta solo dalle incisioni del reticolo idrografico locale e dai fossi di scolo che generalmente seguono la direzione di massima pendenza del pendio. Di notevole importanza per la fisionomia del territorio sono i fenomeni erosivi e quelli gravitativi che modellano i versanti. I primi sono legati principalmente al reticolo di deflusso superficiale, ai canali di scolo dei campi e alla suscettibilità del territorio per via della connotazione agricola dell'area, mentre i fenomeni gravitativi si concentrano in corrispondenza dei versanti argillosi e sono rappresentati da un gran numero di frane, con differenti estensioni e gradi di attività.

4 SCHEMA GEOLOGICO

4.1 ASSETTO TETTONICO-STRUTTURALE

L'area di interesse ricade lungo il settore centro-meridionale della dorsale appenninica. Esso è formato da una pila di falde tettoniche costituite da grandi masse di terreni sedimentari marini scollati dal loro originario substrato e accavallatisi tra loro. Tali falde tettoniche si sono originate a partire dal Miocene inferiore per subduzione verso ovest e per arretramento flessurale della litosfera Adriatico-Apula a seguito di intense compressioni generate dall'avvicinamento delle zolle continentali europea ed africana (Patacca & Scandone 1998).

Le falde così formate sono costituite da differenti unità paleogeografiche di età compresa tra il Triassico e il Pliocene medio, originariamente distanziate tra loro alcune centinaia di chilometri. La catena appenninica molisana è costituita da unità tettoniche provenienti dalla deformazione di distinti domini paleogeografici, noti in letteratura come: Bacino Sicilide, Bacino del Sannio, Piattaforma Laziale - Abruzzese Bacino Lagonegrese e Molisano, Piattaforma Abruzzese esterna e Piattaforma Apula deformata.

Le principali unità tettoniche interne ed esterne affioranti in Molise sono unità alloctone, caratterizzate da un diverso grado di traslazione orizzontale, delimitate alla base da superfici di taglio a basso angolo a sviluppo regionale. Si tratta di unità costituite da successioni litostratigrafiche mesozoico - terziarie troncate a diversi livelli stratigrafici da superfici di scollamento tettonico.

Dal Miocene al Pliocene superiore si sono verificati una serie di eventi deformativi compressivi con migrazione di scollamenti e sovrascorrimenti dalle zone interne alle zone esterne della catena, seguiti da deformazioni distensive con sviluppo di faglie normali, attive fino al Quaternario. In questo processo orogenetico le Unità della Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese, del Bacino Molisano e della Piattaforma Abruzzese esterna, vanno a ricoprire tettonicamente le Unità Apulo-Adriatiche deformate, a loro volta in sovrapposizione tettonica sulle argille dell'Avanfossa Adriatica (Vezzani et al., 2006).

L'area di studio è caratterizzata da due principali elementi geologici. Il primo è costituito dai depositi del bacino dell'Unità Sicilide (unità 5 nella *Figura 4*) e il secondo da quelli dei bacini top-thrust (bacini sinorogenici, unità 3d nella *Figura 4*) dell'avanfossa messiniano – pliocenica.

I depositi dell'Unità Sicilide affiorano in gran parte dell'area di studio, caratterizzando la struttura della dorsale morfologica lungo la quale si sviluppa il tracciato stradale. Sono rappresentati da successioni che hanno subito il maggiore trasporto tettonico nella Catena appenninica. Sono formati da depositi derivanti dalla deformazione di un paleodominio interno di bacino e costituiti in prevalenza dalla **Formazione delle Argille Varicolori** (Cretaceo superiore – Miocene inferiore). Questa successione attualmente si riscontra in posizione geometrica più elevata nell'edificio strutturale dell'Appennino centrale. È costituita da argille scagliose di colore variabile dal rosso al grigio, al verde, con intercalazioni lapidee arenacee o calcaree. L'Unità Sicilide affiorante in Molise forma un'ampia falda, delimitata alla base da un sistema di piani di accavallamento a basso angolo in contatto tettonico sulle Unità Molisane, sull'Unità del Matese e sull'Unità della Montagnola di Frosolone. Lo spessore dell'Unità è superiore ai 1.500 m, determinato soprattutto da più sovrapposizioni tettoniche intraformazionali. Le Argille Scagliose dell'Unità Sicilide, affioranti nell'area di studio, sono caratterizzate da un assetto strutturale con un'elevata caoticità, determinata dal notevole trasporto tettonico subito.

I depositi dei bacini top-thrust (bacini sinorogenici), tettonicamente sovrapposti alle successioni del Bacino dell'Unità Sicilide, sono rappresentati dalla **Formazione delle Argille del Fiume Fortore** del Messiniano – Pliocene (Festa et alii 2006). Affiorano sui versanti in prossimità dell'abitato di Campolieto. Si tratta di depositi caratterizzati da un'alternanza di argille biancastre, sabbie e arenarie, disposti in strati, passanti verso l'alto ad argille grigiastre. I bacini sintettonici di età Messiniano-Pliocene inferiore si sono formati sul fronte deformativo della catena appenninica durante il processo di spostamento verso il margine apulo.

Nell'area di studio le Argille Varicolori si presentano in sovrapposizione tettonica sulle Argille del Fiume Fortore. Questo contatto tettonico è presente a ovest dell'abitato di Campolieto, nelle porzioni di valle dei versanti interessati dalle varianti in progetto. La ricostruzione geometrica di questo contatto, riportato nell'elaborato geologico, è stata dedotta dalla Carta Geologica del Molise (Festa et alii 2006) e riportata in cartografia geologica sulla base dei rilievi geologici di superficie e delle letture delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti nelle varie fasi che hanno accompagnato il progetto.

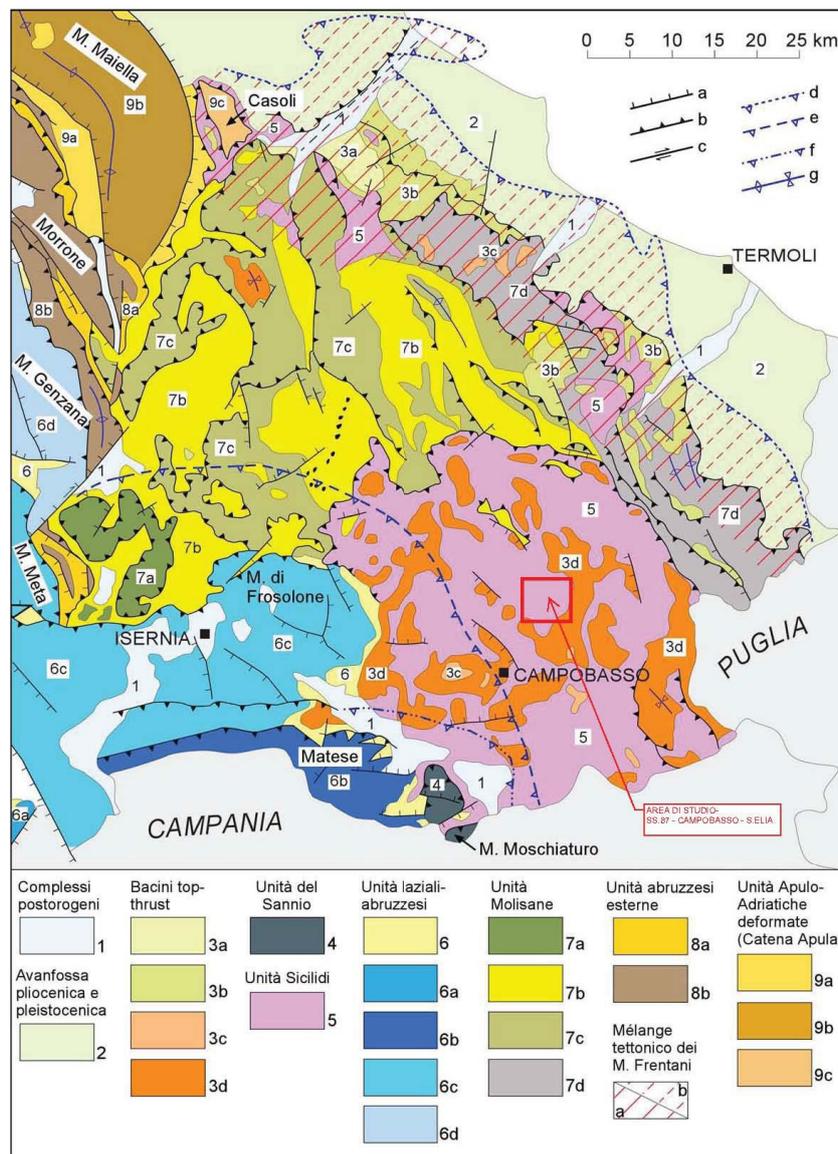


Figura 4 - Schema strutturale dell'Appennino abruzzese-molisano. 1. Successioni continentali postorogene (Olocene - Pleistocene superiore); 2. Successioni marine argilloso-sabbiose dell'avanfossa adriatica (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore); 3. Bacini top-thrust (bacini satellite), 3d. Argille del F. Fortore; Sabbie di Valli (Pliocene inferiore? - Messiniano); 4. Unità di M. Moschiatturo (Aquitano - Albiano); 5. Unità Sicilidi indifferenziate (Miocene medio-inferiore - Cretaceo superiore); 6. Depositi sintettonici dei bacini di avanfossa a tetto delle unità carbonatiche laziali-abruzzesi (Messiniano - Tortoniano p.p.); 7. Unità Molisane; 8. Unità della piattaforma carbonatica Abruzzese esterna; 9. Unità Apulo-Adriatiche deformate. (da Festa et alii; 2006)

4.2 SUCESSIONE STRATIGRAFICA LOCALE E CARATTERI DELLE UNITÀ GEOLOGICHE

Relativamente alla stratigrafia dell'area, si riporta nel seguito una distinzione sulla base dei complessi litologici omogenei dedotta dall'analisi della letteratura disponibile, della documentazione prodotta nelle precedenti fasi progettuali e sulla base delle evidenze di sito riscontrate in occasione dei sopralluoghi.

Terreni di copertura

Depositi recenti che ricoprono e mascherano i depositi più antichi con spessori variabili in funzione del punto di osservazione. Essi possono essere distinti in:

- **Terreni di riporto:** Materiali sciolti a granulometria mista che costituiscono il rilevato ferroviario, quello dell'attuale tracciato della S.S.87 ed altri rimodellamenti minori legati al patrimonio edilizio locale e alle attività agricole svolte, con spessori che variano da qualche decimetro fino ad alcuni metri;
- **Depositi di frana:** Questi si concentrano prevalentemente in corrispondenza delle Argille Varicolori e sono caratterizzati da terreni poco cementati, privi di coesione, destrutturati e/o con una struttura caotica. Nella maggior parte dei casi prevalgono terreni sabbio-argillosi con isolati elementi lapidei di pezzatura variabile. Gli spessori sono variabili in funzione dell'inclinazione del pendio e dell'entità del dissesto.

Terreni del substrato

Come precedentemente accennato, i terreni del substrato sono riconducibili alle unità del Sicilide e ai depositi dei bacini *top-thrust*, che sono legati essenzialmente alle fasi tettonogenetiche mioceniche della costruzione della catena alpina.



Figura 5 - Affioramento della successione lapidea in corrispondenza di una nicchia di frana

- **Unità Sicilide:** Nell'area di studio, questa unità è rappresentata esclusivamente dalla Formazione delle Argille Varicolori del Cretaceo sup. Miocene inf. In questo settore la formazione è presente con una successione prevalentemente pelitica, che affiora essenzialmente lungo i versanti che delimitano il rilievo. A questa si aggiunge una formazione che vede l'alternanza delle argille con livelli marnoso calcarei, individuabile perlopiù lungo la dorsale morfologica su cui si sviluppa il tracciato. Dall'analisi dei sondaggi eseguiti durante le campagne di indagini geognostiche del 2005 e del 2021 questa formazione può essere ulteriormente divisa in:
 - **Argille Varicolori nella componente pelitica (AVP):** Prevalenti argille scagliose di colore dal rosso-violaceo al grigio e al bluastro alternate a strati marnosi e calcarei di spessore centimetrico. Le argille si presentano minutamente scagliettate con una struttura caotica determinata dal notevole trasporto tettonico subito. In questa formazione si sviluppa la gran parte del tracciato in progetto;
 - **Argille Varicolori nella componente argilloso marnoso-calcareo (AVPL):** Prevalenti argille scagliose di colore dal rosso-violaceo al grigio e al bluastro alternate ad intercalazioni di strati marnosi, calcarei e calcareniti, con spessori da centimetrici a decimetri;
 - **Successione lapidea delle Argille Varicolori (AVL):** alternanza di calcareniti, calciruditi bianche e grigie, calcilutiti con strati che raggiungono spessori massimi nell'ordine del mezzo metro con interstrati argilloso-marnosi di colore rosso-verdastro (Figura 5);
 - **Livello superficiale delle Argille Varicolori (AVA):** Si tratta di un livello completamente destrutturato, alterato e degradato;
 - **Livello sabbioso-arenaceo delle Argille Varicolori (AVSA):** si tratta di una successione caratterizzata dall'alternanza di argille scagliose dal colore grigiastro al verde-azzurro, di argille marnose e di strati di arenarie e di sabbie.
- **Depositi dei bacini top-thrust (bacini sinorogenici):** Come precedentemente accennato, questi depositi appartengono alla Formazione delle Argille del Fiume Fortone (Carta Geologica del Molise Festa et alii 2006) e sono in contatto con quelli delle Argille Varicolori per via di superfici di sovrascorrimento. Dall'analisi dei sondaggi eseguiti nelle precedenti fasi progettuali, questi materiali sono caratterizzati da una successione prevalentemente sabbiosa (FS) e da una argillosa (FSA). Nel primo caso, vi è un'alternanza stratigrafica di arenarie e sabbie in strati centimetrici e decimetri con livelli millimetrici e centimetrici di argille e argille siltose biancastre, mentre nel secondo caso domina la componente argillosa rispetto a quella sabbiosa. La successione (FS) affiora nell'area del centro abitato di Campolieto e sui versanti a ovest del paese ed è interessata parzialmente dal tracciato in progetto, sebbene gli affioramenti principali si posizionino a valle.

5 SCHEMA GEOMORFOLOGICO

5.1 MODELLO EVOLUTIVO

L'assetto morfologico dell'area di studio è caratterizzato da un gran numero di dissesti gravitativi, in buona parte già individuati e cartografati nelle cartografie di vincolo sovracomunali (PAI) e nelle precedenti fasi progettuali mediante aerofotointerpretazione e rilievi di campagna. Queste forme sono state poi oggetto di maggiori approfondimenti in occasione delle campagne di indagine geognostiche del 2005 e del 2021, che hanno permesso una loro efficace caratterizzazione sia morfologica che litotecnica.

Nella gran parte dei casi, la stabilità e la dinamica evolutiva delle forme individuate dipendono da fattori climatici, dalle condizioni idrogeologiche, dalla sismicità dell'area e delle interferenze legate agli elementi antropici presenti sul territorio quali scarpate stradali, rilevati e rimodellamenti vari.

La gran parte delle frane individuate sono impostate sui depositi delle Argille Varicolori, che sono caratterizzate dall'alternanza di orizzonti pelitici e livelli lapidei. I cinematismi più frequenti riguardano gli scorrimenti rotazionali, rototraslazionali e traslazionali spesso con evoluzioni retrogressive. I piani di scorrimento sono generalmente impostati su superfici circolari o lungo piani di debolezza preesistenti, tipici delle formazioni fliscioidi a diverso contenuto pelitico.

In corrispondenza degli orizzonti pelitici, si evidenzia un'elevata propensione al dissesto, spesso legata al decadimento delle proprietà geomeccaniche delle argille in relazione alle pendenze, alle sollecitazioni indotte dalla fluttuazione della falda, alla cattiva gestione delle acque superficiali e ai rimodellamenti antropici, che in alcuni casi hanno causato il sovraccarico dei depositi e/o la destabilizzazione degli stessi. Su questi materiali, i cinematismi più diffusi sono gli scorrimenti traslazionali ed i colamenti, che determinano tipiche forme di superficie oltre a diffuse evidenze sugli elementi antropici lineari (reti telefoniche e di distribuzione della bassa tensione elettrica).



Figura 6 - Esempio di frane superficiali in corrispondenza del settore NE del tracciato in progetto

I depositi strutturalmente più complessi, formati da associazioni argilloso-marnose, presentano un'alta propensione alla franosità, con forme generalmente attive spesso innescate da eventi meteorici intensi e/o prolungati. Queste condizioni sono legate alla natura prevalentemente argillosa dei terreni e alle intense e diffuse fessurazioni e deformazioni connesse alla complessa storia geologica dei luoghi. La natura dei fenomeni più ricorrenti in queste litologie sono i colamenti e nello specifico le colate di terra con meccanismo di movimento prevalentemente traslazionale (mudslides). Generalmente, questa tipologia di dissesti interessa i primi metri di deposito, caratterizzati da terreni argillosi fortemente degradati e destrutturati, con superfici di scorrimento ben definite. Le zone di accumulo sono facilmente individuabili, in quanto molto estese e solitamente incanalate all'interno delle linee di impluvio da cui deriva l'inquadramento dei fenomeni in "colamenti incanalati". In occasione degli eventi meteorici più intensi, ai fenomeni precedentemente descritti si possono sommare le colate di fango, che interessano essenzialmente i settori di impluvio con spessori più o meno variabili e superfici di scivolamento indefinite. Relativamente alla fascia di territorio percorsa dal tracciato, si evidenzia che il settore nord-orientale è quello più ricco di dissesti, con forme di diversa estensione e con differenti gradi di attività. Tale condizione, oltre che alla suscettibilità al dissesto delle coperture pelitiche della successione delle Argille Varicolori è legata all'assetto morfologico della dorsale, che in questo settore si restringe con versanti maggiormente acclivi sia a sud che a nord della linea di displuvio. In corrispondenza dei settori medio-apicali dei versanti abbondano i fenomeni roto-traslazionali, che verso valle evolvono in colate traslazionali o incanalate per via della maggiore incisione degli impluvi (Vd. carta geologica e dei dissesti).

Il quadro descritto, in buona parte già analizzato nelle precedenti fasi progettuali, è confermato dalla consultazione delle banche dati IFFI, dove l'attitudine dei versanti al dissesto idrogeologico è documentato dal censimento di vari fenomeni gravitativi.

5.2 PRINCIPALI ELEMENTI MORFOLOGICI

Si riassumono nel seguito le principali forme di dissesto presenti nell'area, in parte già cartografate nelle banche dati nazionali e sovracomunali, le quali sono state indagate in occasione delle campagne di indagini geognostiche del 2005 e del 2021 che hanno anche permesso di definire il grado di attività dei fenomeni. Questi sono stati poi ulteriormente analizzati in occasione dei sopralluoghi condotti nell'area in questa fase progettuale, in occasione dei quali si è posta particolare attenzione nell'individuare di eventuali discrepanze e/o evoluzioni rispetto al quadro conoscitivo precedentemente delineato.

Riferimenti	Foto	Commento
Fr_01	002-006	Si tratta di un'ampia frana quiescente che interessa il versante a partire dal bivio per Campolieto e successivamente incanalato nel sottostante Vallone Canonico. Il movimento prevalente è di tipo rototraslazionale nei settori di testa e traslazionale in corrispondenza delle porzioni inferiori. La morfologia del corpo di frana è difficilmente distinguibile per via dei rimodellamenti legati all'attività agricola, ma si riescono ad individuare diversi ordini di scarpate in corrispondenza della nicchia. Lungo il corpo sono invece presenti alcune forme secondarie legate al dissesto, quali evidenze di creep e solchi di erosione da ruscellamento. Il tracciato interesserà la nicchia del fenomeno, in corrispondenza della quale dalla consultazione del materiale disponibile si ipotizza una quota della superficie di scivolamento di -5.0m dal pc.
Fr_2a-2b-2c-2d	007-055	Frana complessa formata da diversi corpi distinti con differenti gradi di evoluzione e cinematismi di movimento. Si individuano due forme principali, denominate 2a e 2b formate da scorrimenti rototraslazionali

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

		<p>quiescenti, con segni di riattivazioni superficiali lungo le porzioni di valle, dove sono presenti alcune scarpate secondarie. In corrispondenza della nicchia, si individuano due corpi secondari denominati 2c e 2d cartografati come "attivi" per via delle evidenze di terreno. Si tratta essenzialmente di scorrimenti traslazionali e rototraslazionali posti all'interno del corpo di frana più antico, quindi di fatto delle locali riattivazioni del fenomeno principale, con spessore stimato di 5-6m in corrispondenza del tracciato in progetto e della pila est del viadotto n.4 prevista in corrispondenza dell'estremità orientale della frana 2a.</p> <p>In corrispondenza dei settori più evoluti sono presenti terreni umidi, emergenze idriche, contropendenze, scarpate secondarie, localizzate fessurazioni, contropendenze e fenomeni di creep.</p>
Fr_3a-3b	007-055	<p>In aderenza al dissesto precedente è presente un altro areale di frana quiescente in parte riattivato. Come i fenomeni 2a-d, si tratta di uno scorrimento rototraslazionale evoluto in colata nei settori di valle. La porzione attiva è rappresentata dal corpo della 3b, facilmente individuabile per via di diverse contropendenze, rigonfiamenti e deformazioni che hanno interessato la massicciata della strada poderale che si sviluppa lungo la nicchia del dissesto. La presenza di fessurazioni e deformazioni lungo l'attuale tracciato della S.S.87 fanno presumere che il settore riattivato si spinga in direzione di monte oltre la ferrovia, fino ad interessare parzialmente la strada. A valle della nicchia, oltre alle contropendenze, sono presenti diversi ristagni, alcune emergenze idriche e localizzate tracce di ruscellamento. Il tracciato in progetto attraverserà tutto il settore di nicchia, con la pila ovest del viadotto n.4 fondata in corrispondenza del settore centro-occidentale della frana 3b, dove le quote dello scivolamento sono stimate tra i 5m e gli 8m di profondità.</p>
Fr_04	057-085	<p>Frana quiescente con cinematisimo rototraslazionale evoluto in direzione di valle in scorrimento attivo. In corrispondenza della nicchia, complici i rimodellamenti agricoli, non sono facilmente distinguibili le scarpate di scivolamento, ma vi sono solo alcune tracce di creep. In direzione di monte, lungo i manufatti della ferrovia, non sono presenti danni o ammaloramenti significativi. Il tracciato in progetto attraverserà la nicchia del dissesto, dove si presume uno spessore del corpo di frana compreso tra 3m e 5m.</p>
Fr_05	057-085	<p>Frana quiescente con prevalente dinamica traslazionale con tratti poco marcati e difficilmente distinguibili, il cui corpo, che presenta uno spessore stimato di ca. 5m-6m è attraversato dal tracciato in progetto</p>
Fr_06	086-098	<p>Frana attiva con movimento rototraslazionale che ha coinvolto le gabbionate a sostegno della massicciata ferroviaria fino ad interessate parte del rilevato su cui corre l'attuale tracciato della S.S.87. Chiare evidenze di movimento si riscontrano anche lungo la viabilità poderale, dove sono presenti rigonfiamenti, ondulazioni e traslazioni del tracciato. In direzione di valle, il corpo di frana è caratterizzato da contropendenze e ristagni idrici e si estende fino ad appoggiarsi al corpo della Fr_05, interessato la porzione di territorio dove è prevista la spalla est del viadotto n.3. Lo spessore stimato del dissesto è di ca. 6m.</p>

Fr_07	086-098	Frana di piccole dimensioni, riattivata nel settore di nicchia con dinamica rototraslazionale, dove sono presenti diverse evidenze di attività. In corrispondenza del dissesto è fondata una pila del viadotto n.3, con uno spessore del corpo di frana di ca.4m.
Fr_08	099-115 121-128 239-252	Grande frana quiescente con prevalente movimento rototraslazionale formata da diversi corpi minori che si fondono li uni con gli altri in corrispondenza della zona di accumulo, dove prevale il cinematismo di colata traslazionale. In corrispondenza della nicchia, dove saranno fondate n.2 pile del viadotto n.3 del tracciato in progetto, non si riscontrano tracce morfologiche significative. In corrispondenza dei corpi minori posti a ovest della nicchia, si riscontrano tracce di creep, mentre in direzioni di monte è presente un assestamento della massicciata stradale che fa presumere un'estensione del fenomeno fino all'attuale tracciato della S.S.87
Fr_09	147-156 205-207	Frana inattiva o naturalmente stabilizzata che si sviluppa su un pendio con pendenza inferiore ai 6° con spessore stimato di ca.3-4m. Le morfologie risultano molto degradate e alterate dai rimodellamenti agricoli, da cui deriva un difficile riconoscimento del corpo di frana. Non è direttamente attraversata dal tracciato in progetto, ma si attesta a breve distanza dal rilevato tra le sezioni di progetto n.41 e 43a.
Fr_10	-	Frana attiva di piccole dimensioni che ha interessato la scarpata di valle del rilevato su cui corre l'attuale tracciato della S.S.87. Il cinematismo ha visto lo scorrimento di uno spessore della porzione pelitica di 2-3m sul sottostante substrato lapideo.
Fr_11	168-192	Frana quiescente con movimento traslazionale che interessa una porzione di pendio debolmente inclinata. I rimodellamenti agricoli mascherano la gran parte delle evidenze morfologiche, motivo per il quale risulta difficilmente identificabile, ma che dalle indagini pregresse si stimanta uno spessore di ca.9m. In corrispondenza del settore mediano della frana saranno fondate la spalla est e una pila del viadotto n.1.
Fr_12a-12b	-	Frane quiescenti di medie dimensioni con dinamica rototraslazionale che interessano il versante a nord della dorsale morfologica su cui si sviluppa l'attuale tracciato della S.S.87, che nel tratto a ridosso delle nicchie presenta diverse lesioni della sede stradale. Il fenomeno non è interessato dal tracciato in progetto.

5.3 INTERFERENZE CON I LIMITI PAI E COMPATIBILITA' DEGLI INTERVENTI

I territori attraversati dal tracciato sono compresi nelle aree dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale. Dalla sovrapposizione del tracciato con il Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico aggiornato ad Aprile 2017 risulta che la strada in progetto attraversa un'area zonizzata con Pericolosità Elevata (PF2 - *aree con elevata pericolosità da frana evidenziate dalla presenza di elementi che indicano un carattere di quiescenza e da indicatori geomorfologici diretti quali la presenza di corpi di frana preesistenti e di segni precursori di fenomeni gravitativi -ondulazioni, contropendenze, fratture di trazione, aperture anomale nei giunti di discontinuità, rigonfiamenti, etc.-*) inerente alle perimetrazioni dell'art. 26 delle Norme di Attuazione della ex Autorità di Bacino Interregionale del F. Fortore.

In caso di opere di pubblico interesse è necessario fare riferimento all'art. 28 (*Realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse*) delle Norme di Attuazione della ex Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Fortore:

La realizzazione di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse nelle fasce di pericolosità può essere autorizzata dall'Autorità competente in deroga ai conseguenti vincoli, previa acquisizione del parere favorevole del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino, a patto che:

1. *si tratti di opere pubbliche e/o dichiarate di pubblico interesse non delocalizzabili;*
2. *non pregiudichino la realizzazione degli interventi del PAI;*
3. *non concorrano ad aumentare il carico insediativo;*
4. *siano realizzati con idonei accorgimenti costruttivi;*
5. *risultino coerenti con le misure di protezione civile di cui al presente PAI e ai piani comunali di settore.*

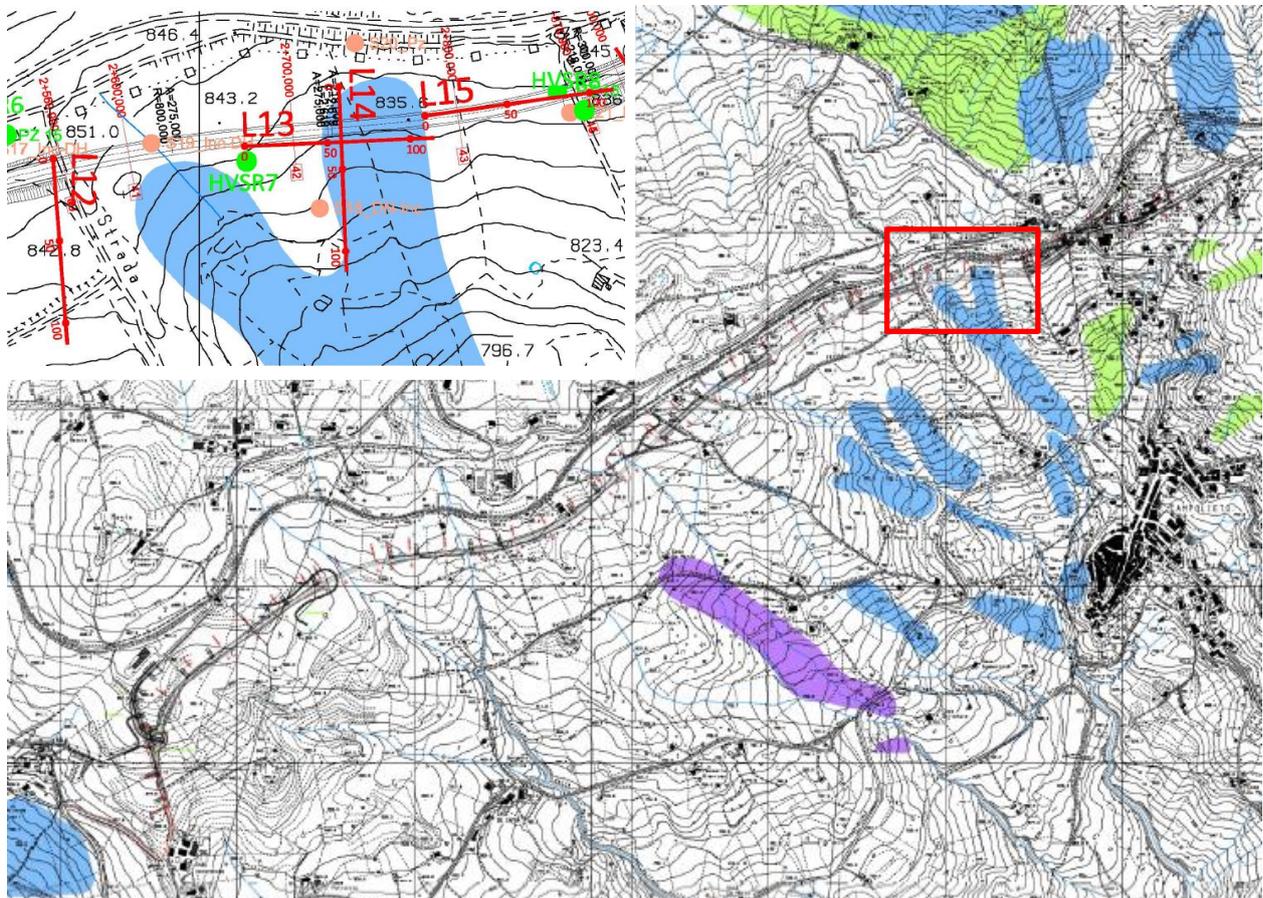


Figura 7 - Stralcio del tracciato con evidenziato il settore vincolato nella fascia Pf2

Il tratto di strada in progetto che ricade nell'area zonizzata in Pf2 è compreso tra il Km 2'926 e Km 3'006, dove è prevista la realizzazione del viadotto n.4, che si svilupperà su n.4 campate con uno sviluppo complessivo di 204m. La struttura permetterà di attraversare un settore di impluvio occupato da diversi corpi di frana (Frane 2a-b-c-d e Frane 3a-b), che presentano differenti gradi di evoluzione e stati di attività. Queste sono state indagate in occasione dei sopralluoghi e delle indagini geognostiche condotte nell'area, con l'esecuzione dei sondaggi S18-S19-S20-S21 attrezzati con piezometri ed inclinometri, e dagli stendimenti geofisici L13-L14-L15, che hanno permesso di ricostruire la geometria e gli spessori dei corpi di frana (generalmente non superiori a 5m).

Ne consegue, che l'interferenza diretta tra l'opera in progetto e l'area vincolata dal PAI è relativa alle sole pile del viadotto, che sono progettate per essere posate su fondazioni indirette (pali), che supereranno lo strato in frana per poi scaricare i carichi di progetto sul livello sottostante, formato da argille varicolori in posto non interessate dai dissesti. Le frana presenti nell'area sono perlopiù considerate come "frane quiescenti" con cinematismi di colate traslazionali con prevalenti movimenti rotazionali in corrispondenza delle nicchie. Tali valutazioni sono confermate dalle campagne di letture inclinometriche, dove in corrispondenza del sondaggio S19_Inc-Dh non sono state riscontrare deformazioni significative, mentre in corrispondenza del S18_Dn-Inc si è registrato uno spostamento di 3.5mm a 2.0m di profondità.

Sulla base di tali premesse, in considerazione delle soluzioni progettuali adottate per il sistema di fondazioni del viadotto, **si considera l'opera compatibile** con il livello di pericolosità Pf2 descritto dalle cartografie PAI.

6 SCHEMA IDROGEOLOGICO

6.1 ASSETTO IDROGRAFICO

La dorsale morfologica su cui si sviluppa l'attuale tracciato della S.S.87 si attesta tra le testate dei bacini idrografici del F. Biferno e del F. Fortore, che insieme drenano un'ampia porzione di territorio che si sviluppa tra Molise, Campania e Puglia.

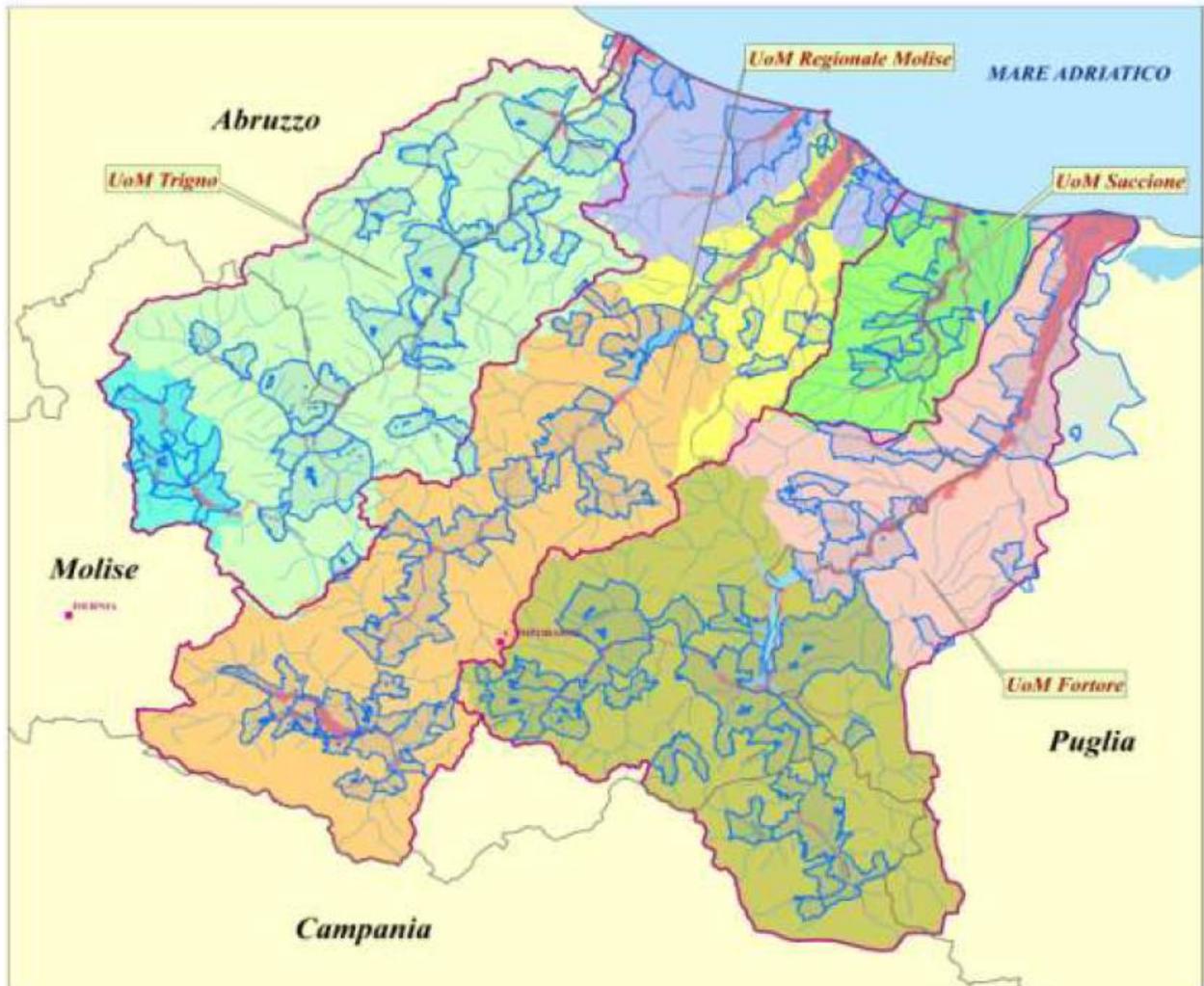


Figura 8 - Immagine tratta dai documenti di piano del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale

Il F. Biferno, con un'estensione del bacino di 1'552.8Km² ed una lunghezza complessiva del reticolo di ca.1'726Km interessa buona parte del territorio molisano per poi sfociare nel Mar Adriatico. Il F. Fortore nasce invece nella provincia di Benevento ed interessa un'area di 1'615Km² articolata tra Molise, Puglia e Campania. Il retito idrografico presenta un'estensione complessiva di 2'215Km e sfocia nel Mar Adriatico all'altezza di Serra Capriola.

Entrambi i corsi d'acqua presentano un regime di tipo torrentizio, con l'alternanza di magre estive a periodi di piena autunnali e primaverili, mentre lo sviluppo del reticolo risente dell'alta permeabilità primaria e secondaria dei depositi su cui sono impostati i bacini.

A livello locale, i versanti nord e sud della dorsale morfologica su cui si sviluppa l'attuale tracciato della S.S.87 sono incisi da diversi rii minori tributari dei due corsi d'acqua principali. Il loro assetto è notevolmente

stravolto dai rimodellamenti agricoli eseguiti nell'area, favoriti dal fatto che i collettori si presentano attivi solo nei periodi di maggiore piovosità o in concomitanza di eventi particolarmente intensi e prolungati.

6.2 MODELLO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO

Le formazioni presenti e descritte al punto n.5 possono essere distinte in 3 complessi idrogeologici sulla base della permeabilità relativa suddivisa in Alta, Media e Bassa in funzione che si tratti di permeabilità primaria (porosità) o secondaria (fessurazione).

n.	Complessi idrogeologico	Permeabilità						Descrizione
		Primaria			Secondaria			
		Alta	Media	Bassa	Alta	Media	Bassa	
1	Detrito	X					X	Terreni di frana
2	Saggioso-Argilloso		X				X	Formazione del F. Fortone
3	Calcareo-marnoso			X		X	X	Membro lapideo delle Argille Varicolori
4	Argilloso-marnoso			X			X	Membro pelitico delle Argille Varicolori Argille del F. Fortone

1 - Complesso detritico: Comprende prevalentemente i terreni di frana formati da depositi di argille destrutturate a prevalente matrice pelitica con l'inclusione di elementi lapidei. Lo spessore dei depositi varia da qualche metro a qualche decina di metri in funzione dell'importanza del dissesto. La permeabilità risulta molto variabile in funzione dell'importanza dei livelli pelitici ma generalmente si presenta medio-alta, anche per via dei piani di scollamento e scivolamento su cui sono impostati i dissesti.

2 - Complesso sabbioso-argilloso: Generalmente coincide con la successione argilloso-arenacea della Formazione del F. Fortone e presentano una permeabilità primaria e secondaria medio-bassa.

3 - Complesso delle alternanze calcareo-marnose: In questo complesso sono raggruppate le successioni lapidee della formazione Argille-Varicolori, le quali sono caratterizzate da un'alternanza irregolare di calcari e marne calcaree, argille e argille siltose. La permeabilità varia da molto bassa a media in funzione che si tratti degli orizzonti pelitici o di quelli lapidei, dove la permeabilità secondaria risulta nettamente prevalente.

4 - Complesso argilloso-marnoso: Generalmente associato a terreni litologicamente complessi riferibili ai depositi delle Argille Varicolori, questo complesso svolge sovente il ruolo idrogeologico di acquicluda ed è formato da argille, argille marnose stratificate-deformate-tettonizzate e intercalazioni di calcari-calcolutiti-calcareni e marne.

Per quanto concerne i punti emersione della falda, lungo la porzione di territorio indaga non sono presenti sorgenti degni di nota. Tale aspetto era già stato confermato nelle precedenti fasi progettuali, in occasione delle quali erano state verificate le sorgenti denominate "F.te Trocche e F.te dei Cesari" che stando al data base delle sorgenti del Molise sono censite in prossimità del tracciato.

Vi sono invece numerosi ristagni superficiali legati a locali repentine diminuzioni della permeabilità dei depositi, che non permettono una efficiente infiltrazione delle acque meteoriche. Emersioni minori si individuano anche ai lati di alcuni dei principali corpi di frana, ad indicazione dell'elevata permeabilità dei depositi coinvolti nel dissesto in rapporto ai materiali in posto. Le maggiori evidenze sono state osservate in corrispondenza dei corpi di frana denominati Fr_2a-b-c-d, Fr_3a-3b e Fr_6, dove sono presenti molti ristagni, a cui si aggiunge un'area paludosa posta poco a est del fabbricato "Casello" posto poco a monte delle sezioni di progetto n.16-19. In questo settore è presente una depressione che funge da area di

accumulo che non permette il regolare deflusso delle acque, con la conseguente formazione di un ristagno (Figura 9).



Figura 9 - Esempi di ristagni legati alla localizzata perdita di permeabilità dei depositi

Inoltre, lungo tutta la tratta sono stati individuati n.7 pozzi irrigui, in buona parte dismessi, ma utili per avere una indicazione della quota di soggiacenza della falda, che nella maggior parte dei casi si attesta a breve profondità dal piano campagna (soggiacenza tendenzialmente compresa tra -1.5m e -2.0m e valori massimi compresi tra -5/-6m). La direzione del deflusso segue la pendenza del pendio, con una concentrazione delle direttrici in corrispondenza degli assi degli impluvi. Questi, proseguendo verso sud, si fanno via via più incisi favorendo il drenaggio dei depositi superficiali.

7 SISMICITA' DEL TERRITORIO

7.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO

La campagna di indagini geofisiche eseguite a corredo della prima versione del progetto definitivo e descritte nella relativa relazione geologica, ha visto l'esecuzione di:

- n.16 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica in onde di compressione (P) e di Taglio (S);
- n.8 indagini sismiche in foro down-hole;
- N.8 rilievi sismici a stazione singola del tipo HVSR.

Queste hanno lo scopo di supportare le indagini dirette condotte nell'area e raffinare il grado di conoscenza dell'assetto stratigrafico locale in relazione al volume geotecnicamente significativo. I risultati delle prove sono nella relazione delle indagini in sito, in laboratorio e sismiche di cui al Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Prospezioni sismiche a rifrazione

Nel complesso, i 16 stendimenti in onde di rifrazione impostate in corrispondenza delle principali opere in progetto hanno coperto uno sviluppo di ca. 1600m. I risultati sono stati incrociati con i dati ottenuti dalle indagini dirette, al fine di migliorare il grado di conoscenza stratigrafico dell'area. Nello specifico, dall'interpretazione degli stendimenti è stato possibile identificare lo spessore delle coperture detritiche e quindi la profondità del substrato lapideo. L'andamento delle V_s e delle V_p all'aumentare della profondità risulta proporzionale alla consistenza dei terreni indagati e coerente con le caratteristiche geolitologiche degli ammassi presenti nell'area attraversati dai sondaggi geognostici. L'elaborazione in onde P ed S ha permesso inoltre di individuare la profondità del substrato fliscioide.

I sondaggi utilizzati per l'interpretazione dei risultati sono:

- S1 per tomografia sismica L1
- S3 per tomografia sismica L2 e L3
- S6 per tomografia sismica L4 e L5
- S8 per tomografia sismica L6 e L7
- S11 per tomografia sismica L8
- S13 per tomografia sismica L9 e L10
- S16 per tomografia sismica L11
- S17 per tomografia sismica L12
- S19 per tomografia sismica L13 e L14
- S21 per tomografia sismica L15 e L16

Prove Down-Hole

I sondaggi eseguiti in prossimità delle spalle o le pile dei viadotti sono stati utilizzati per l'esecuzione di n.8 prove sismiche in foro tipo Down-Hole. I risultati hanno permesso di inquadrare con un sufficiente grado di dettaglio i terreni interessati dalle opere in progetto mediante la stima delle V_{seq} , attraverso le quali è stato possibile stimare le categorie sismiche del sottosuolo come previsto dalle NTC del 2018.

Down - Hole	Profondità dal p.c. (m)	$V_{s,eq}$ (m/sec)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
DH - S2	40	344	C
DH - S10	30	342 (h = 23 m)	E
DH - S11	40	316 (h = 18 m)	E
DH - S12	35	321	C
DH - S15	30	408	B
DH - S16	40	317	C
DH - S19	30	324	C
DH - S21	35	410	B

Figura 10- Estratto delle prove Down-Hole tratto dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

A completamento delle indagini geofisiche condotte a supporto della prima stesura del progetto definitivo sono state eseguite una serie registrazione HVSR al fine di individuare possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno e struttura, di cui si riportano nel seguito gli esiti:

Nome HVSR	Frequenza picco H/V	Stima Vs30/Vs _{seq} (m/s)	Cat. NTC18
HV1	9.6 ± 0.6 Hz	340	C
HV2	7.5 ± 1.1 Hz	346 (h = 19 m)	E
HV3	16.7 ± 1.9 Hz	260 (h = 5 m)	E
HV4	15.3 ± 0.5 Hz	268	C
HV5	8.5 ± 1.0 Hz	330	C
HV6	19.3 ± 0.9 Hz	332	C
HV7	5.3 ± 0.6 Hz	322	C
HV8	4.9 ± 0.9 Hz	405	B

Figura 11 - Sintesi dei risultati delle registrazioni HVSR tratta dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

7.2 SISMICITA' STORICA

L'area di studio, posta a ridosso del fronte della catena appenninica e in prossimità d'importanti lineazioni tettoniche, a carattere trascorrente e attive, che limitano il promontorio del Gargano, risente di un'importante sismicità.

L'ultimo evento significativo, in ordine temporale, è stato il terremoto con epicentro in Molise del 31.10.2002. La magnitudo di questo evento è stata stimata pari a 5.4 della scala Richter. Come evidenziato dal lavoro pubblicato n 2006 da Bruno G, et al (Bruno G. et al 2006) gli eventi sismici più forti, verificatisi in epoca storica nelle vicinanze dell'area in studio, sono:

- la sequenza appenninica del dicembre 1456, di cui si ricordano danni gravi a Casacalenda;
- la sequenza garganica del luglio/agosto 1627, che ha provocato, fra l'altro, danni di grado VIII- IX a Termoli e di grado VIII a Campomarino. Nell'arco di un mese si susseguirono 4 scosse di intensità valutate tra il IX e l'XI grado M.C.S. che colpirono il nord della Capitanata (Molin e Margottin, 1981).
- il terremoto del 30 marzo 1731, che raggiunse gli effetti del X grado con la distruzione di gran parte delle costruzioni di alcuni centri abitati;
- l'evento del luglio 1805, nel Matese, i cui effetti peraltro non hanno superato il grado VI.

Nello stesso lavoro si riporta la notizia che nell'area della Daunia potrebbe essere localizzato un terremoto dell'11 ottobre 1125, che avrebbe prodotto danni attribuibili al VIII grado. Cataloghi sismici precedenti a quelli attualmente in uso, inoltre, riportano un terremoto distruttivo, localizzato a Larino che sarebbe avvenuto nel 1120. Studi recenti hanno dimostrato che, con buona probabilità, si tratterebbe di una duplicazione di un evento avvenuto nello stesso anno 1120 in un'area limitrofa (Bruno G. et al 2006).

Dal rilievo geologico eseguito in campagna, dalla consultazione della letteratura scientifica e del catalogo dell'ISPRA (progetto ITHACA - ITaly HAZard from CAPable faults) non risultano presenti nell'area di studio faglie attive o capaci.

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

Per ricostruire la storia dell'attività sismica dell'area indagata è stata svolta una ricerca della sismicità storica sulla base del catalogo parametrico dei terremoti italiani effettuando una interrogazione per le aree ricadenti nel comune interessato dal tracciato.

I risultati di questa ricerca hanno evidenziato che i principali sismi risentiti sono quelli prodottisi lungo l'arco dell'Appennino meridionale. Sono stati consultati, pertanto, i cataloghi della sismicità storica (INGV - DBMI04) per il comune di Campolieto (*Figura 12*). L'analisi ha confermato l'ipotesi secondo cui l'area di studio è soggetta a un'intensa attività sismica sia diretta che indiretta.

File downloaded from CPT115 - DBMI15					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of	Campolieto				
PlaceID IT_58616					
Coordinates (lat, lon) 41.633, 14.766					
Region	Molise				
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
F	1688 06 05 15 30	Sannio	215	11	7.06
6-7	1805 07 26 21	Molise	220	10	6.68
3	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5.11
4	1905 08 18 04 07	Tavoliere delle Puglie	41	5	4.61
6	1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6.15
5	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	1984 05 07 17 50	Monti della Meta	912	8	5.86
NF	1988 04 26 00 53 43.83	Adriatico centrale	78		5.36
NF	1989 03 11 21 05	Gargano	61	5	4.34
2-3	1990 05 05 07 21 29.61	Potentino	1375		5.77
NF	1991 05 26 12 25 59.42	Potentino	597	7	5.08
3	1996 11 10 23 23 10.77	Tavoliere delle Puglie	55	5-6	4.35
2	1997 03 19 23 10 50.02	Sannio-Matese	284	6	4.52
NF	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62
NF	2001 07 02 10 04 43.18	Tavoliere delle Puglie	60	5	4.26
5-6	2002 10 31 10 32 59.05	Molise	51	7-8	5.74
6	2002 11 01 15 09 01.92	Molise	638	7	5.72
4-5	2002 11 12 09 27 48.57	Molise	174	5-6	4.57
5	2003 06 01 15 45 18.04	Molise	501	5	4.44
4-5	2003 12 30 05 31 38.26	Molise	326	4-5	4.53
NF	2006 05 29 02 20 06.26	Gargano	384		4.64
NF	2006 10 04 17 34 20.50	Adriatico centrale	98	4-5	4.3

Figura 12 - Sismicità storica del Comune di Campolieto

7.3 PERICOLOSITA' SISMICA

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. del 14/01/2008 – NTC 2018), hanno superato il concetto della classificazione del territorio nelle quattro zone sismiche e propongono una nuova zonazione fondata su un reticolo di punti di riferimento con intervalli di a_g pari a 0.025 g, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale e verticale su suoli rigidi e pianeggianti, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante T^*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. (Mappe interattive di pericolosità sismica) attraverso le coordinate geografiche del sito (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

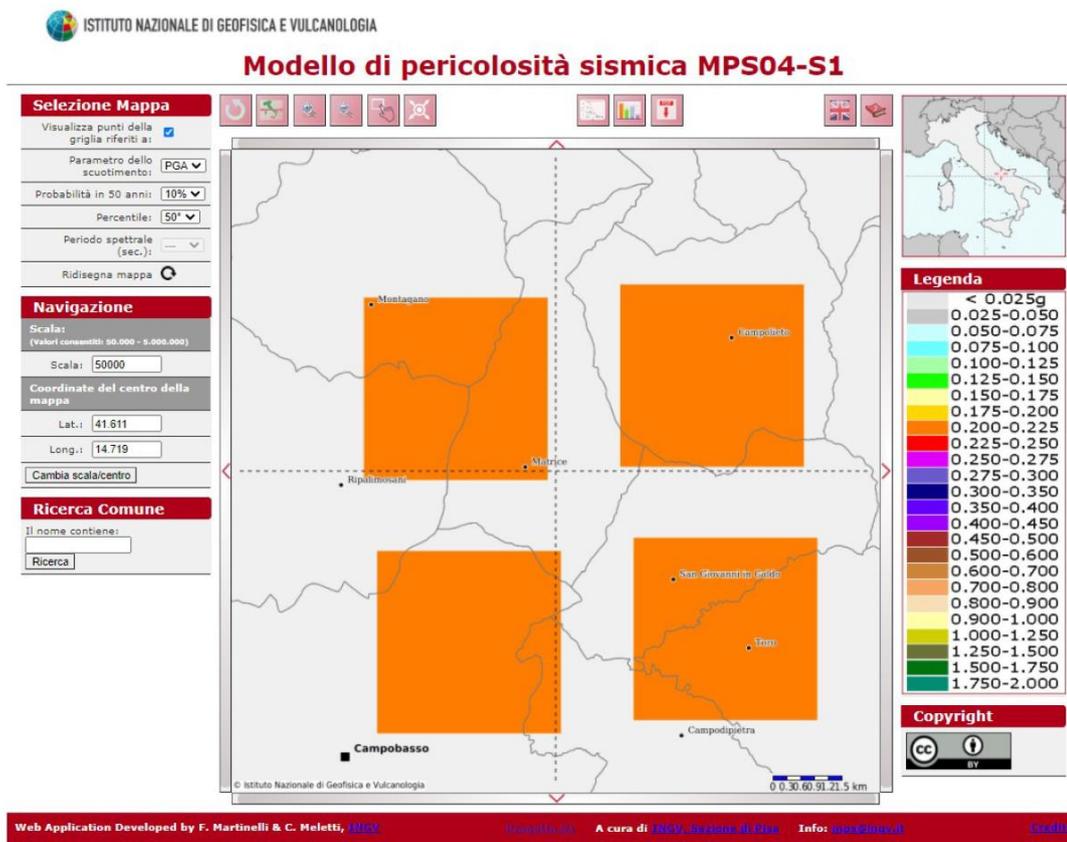


Figura 13 - Pericolosità sismica per l'area salernitana (Parametri forniti dal sito INGV – <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Relativamente all'inquadramento sismico dell'area, la zonizzazione fondata sul reticolo di punti con intervalli di a_g pari a 0.025g prodotta per l'intero territorio nazionale a seguito dell'entrata in vigore delle Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2008-2018) inquadra l'area nella nell'intervallo **0.200g-0.225g**. Il valore di accelerazione massima del terreno varia, in realtà, in funzione delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sito oggetto di studio. Le categorie di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta. L'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S=S_s*St$, dove S_s rappresenta l'amplificazione stratigrafia e St quella topografica. Le condizioni morfologiche locali, la sovrapposizione di unità litostratigrafiche a differente rigidità, la presenza di lineamenti tettonici a consistente sviluppo lineare e rientranti in una tettonica a maggiore rischio di riattivazione in caso di

scuotimento sismico, la frequenza di pareti subverticali e di posizioni di creste strette, determinano, sotto il profilo geomorfologico, elementi di vulnerabilità sismica ed una conseguente amplificazione della risposta sismica locale.

Come previsto dalle NTC 2018, a cui si rimanda per una più approfondita trattazione, si sintetizzano nel seguito i principali parametri delle sollecitazioni sismiche agenti nell'area di interesse.

VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELL'OPERA

Come previsto nelle NTC 2018, la Vita Nominale dell'opera, convenzionalmente definita come il "numero di anni nel quale è previsto che l'opera purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali", è definita sulla base della tabella n.2.4.1 delle NTC. Per il caso in esame, si può considerare un V_N di:

Tipi di costruzione	Valori minimi di V_N (anni)
Costruzione con livelli di prestazioni ordinarie	50

La Classe d'Uso viene valutata sulla base dell'interruzione di operatività o di un eventuale collasso della struttura. In riferimento al punto n.2.4.2 delle NTC, la classe d'uso per le strutture in progetto è di:

Descrizione	Classe d'Uso	C_U
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	IV	2.0

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento " V_R " che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale di progetto " V_N " per il coefficiente d'uso " C_U ". Per il caso in esame si ha:

V_N (anni)	C_U	V_R
50	2.0	100

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

In ottemperanza a quanto disposto dalle NTC 2018, nelle precedenti fasi progettuali sono state condotte una serie di indagini geofisiche (registrazioni down-hole e HVSR) per la definizione della categoria sismica dei terreni di fondazione dei manufatti in progetto. Gli esiti, per i cui dettagli si rimanda alla relazione geologica, inquadrano il sito nelle seguenti categorie sismiche (Vd. Tab.3.2.II delle NTC)

Descrizione	Categoria
Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà	B

meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360m/s e 800m/s	
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	C
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	E

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

In riferimento a quanto descritto nella Tab.3.2.III delle NTC 2018, l'assetto topografico del sito in esame può essere inquadrato nella seguente categoria:

Descrizione	Categoria	Coefficiente ST
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	T1	1.0
Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	T2	1.2

COEFFICIENTI SIMICI DI PROGETTO

Sulla base di quanto esposto nelle sezioni precedenti, nella riportano nel seguito i coefficienti sismici di progetto ricavati per i baricentri dei n.4 viadotti previsti da progetto.

AZIONI SISMICHE AGLI STATI LIMITE

Si sintetizzano nel seguito le azioni sismiche a_g , F_0 e T_c agli stati limite calcolati mediante l'applicativo Geostru PS PRO della società Geostru riferiti ai settori mediani dei viadotti previsti da progetto per il tratto di variante della S.S.87.

VIADOTTO n.1 (Sez di progetto dalla n.23 alla n.29)				
STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F_0 (-)	T_c (s)
SLO	60	0.087	2.426	0.314
SLD	101	0.112	2.483	0.320
SLV	949	0.283	2.464	0.363
SLC	1950	0.365	2.436	0.382
Coordinate WGS84			41.632666	14.739558
Categoria sismica sottosuolo			C	
SS Amplificazione stratigrafica SLV			1.28	
ST Amplificazione topografica			1.0	
VIADOTTO n.2 (Sez di progetto dalla n.46 alla n.51)				
STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F_0 (-)	T_c (s)
SLO	60	0.087	2.431	0.314
SLD	101	0.112	2.284	0.320
SLV	949	0.282	2.464	0.362
SLC	1950	0.364	2.441	0.378
Coordinate WGS84			41.635352	14.749623
Categoria sismica sottosuolo			E	

SS Amplificazione stratigrafica SLV		1.24		
ST Amplificazione topografica		1.0		
VIADOTTO n.3 (Sez di progetto dalla n.57 alla n.67)				
STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F₀ (-)	T_c (s)
SLO	60	0.087	2.434	0.313
SLD	101	0.112	2.485	0.320
SLV	949	0.281	2.464	0.361
SLC	1950	0.363	2.443	0.376
<i>Coordinate WGS84</i>			41.638478	14.754792
Categoria sismica sottosuolo		C		
SS Amplificazione stratigrafica SLV		1.28		
ST Amplificazione topografica		1.0		
VIADOTTO n.4 (Sez di progetto dalla n.72 alla n.80)				
STATO LIMITE	T_R (anni)	A_g (g)	F₀ (-)	T_c (s)
SLO	60	0.087	2.436	0.313
SLD	101	0.112	2.485	0.320
SLV	949	0.281	2.464	0.361
SLC	1950	0.362	2.445	0.375
<i>Coordinate WGS84</i>			41.640153	14.760939
Categoria sismica sottosuolo		C		
SS Amplificazione stratigrafica SLV		1.28		
ST Amplificazione topografica		1.0		

7.4 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

In ragione delle tipologie di materiali presenti in sito e descritti nella relazione Geotecnica di cui al Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, il rischio di liquefazione è assente.

8 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il modello geotecnico e stratigrafico della fascia di territorio attraversata dall'opera in progetto è stato delineato sulla base degli esiti delle indagini geognostiche condotte nell'area. Queste sono state articolate in due fasi; una nel 2005, a corredo del progetto preliminare, ed una nel 2021, di supporto al progetto definitivo, i cui esiti saranno esposti in questa sede.

Indagini geognostiche di accompagnamento al Progetto Preliminare

Campagna di indagini condotta nel 2004 su incarico del Provveditorato Regionale alle OO.PP per il Molise articolata in:

24 sondaggi verticali a carotaggio, profondi da 25 a 40 m

- prelievo di 24 campioni indisturbati
- n. 13 prove penetrometriche dinamiche continue con penetrometro pesante
- n. 69 stendimenti sismici a rifrazione da ml 160
- n. 9 prove "down – hole" nei fori di sondaggio
- prove geotecniche di laboratorio

Indagini geognostiche di accompagnamento alla prima stesura del Progetto Definitivo

La campagna è stata condotta tra i mesi di gennaio e maggio 2021, con il fine di integrare il quadro conoscitivo dell'area ed è stata articolata con prove dirette, indagini geofisiche e installazione di strumentazione per il monitoraggio dei corpi di frana. L'abbinamento delle differenti tecniche ha permesso di verificare gli andamenti stratigrafici dei vari livelli e l'individuazione delle discontinuità strutturali, che sono alla base del modello geologico locale. Inoltre, le indagini geofisiche hanno permesso anche di ottenere la categoria sismica dei terreni di fondazione, attraverso la stima delle Vs equivalenti alle differenti profondità di progetto come previsto dalle NTC 2018.

Nello specifico, la campagna di indagini, già descritta nella relazione geologica di accompagnamento alla prima stesura del progetto definitivo, è stata articolata in:

- n. 21 sondaggi. di cui n. 17 a carotaggio continuo e n. 4 a distruzione di nucleo, con profondità variabili dai 10 ai 40 m, complessivamente comprendenti:
 - n. 36 prove SPT
 - n. 78 campionamenti di terre e rocce derivanti dai sondaggi
 - n. 14 prove pressiometriche in foro di sondaggio
 - n. 12 installazioni di tubazione inclinometrica, massimamente finalizzate ad utilizzo composito di misure inclinometriche e prospezioni geofisiche down-hole
 - n. 7 installazioni piezometriche
 - n. 1 installazione di tubazione standard per prospezione down-hole
- n. 18 pozzetti esplorativi, distinti da finalità prettamente geotecniche e/o "ambientali" (n. 14) e archeologiche (n. 4), complessivamente comprendenti le seguenti attività:
 - n. 7 prove di carico su piastra, distribuite in altrettanti pozzetti
 - campionamenti di terreno in n. 12 pozzetti, destinati ad analisi chimiche di laboratorio per caratterizzazione ambientale
- monitoraggio inclinometrico e piezometrico delle strumentazioni installate, con quantità totale di misure ripartite come segue:
 - n. 5 misure, compresa misura di azzeramento, in n. 16 fori (n. 10 inclinometri e n. 6 piezometri)
 - n. 2 misure, compresa misura di azzeramento, in n. 3 fori (n. 2 inclinometri e n.1 piezometro)

Sono state realizzate inoltre:

- N.8 rilievi sismici in foro mediante tecnica Down hole (DH) nei fori di sondaggio denominati S2, S10, S11, S12, S15, S16, S19 e S21
- N.8 rilievi sismici a stazione singola del tipo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio),
- N.16 stendimenti sismici tomografici a rifrazione in onde di compressione (P) e di Taglio (S).

8.1 SONDAGGI MECCANICI

I sondaggi sono stati distribuiti in modo da indagare in forma omogenea il territorio attraversato, con un maggiore grado di attenzione per le spalle dei viadotti e dei settori di attraversamento. La profondità di indagine è stata calibrata in funzione della natura delle opere in progetto e del volume geotecnicamente significativo. Per la stima dei parametri geomeccanici dei terreni, in ogni sondaggio sono state eseguite più prove SPT, posizionate in funzione delle litologie attraversate e delle lunghezze dei fori.

Inoltre, diversi sondaggi sono stati attrezzati con inclinometri, piezometri oppure sono stati utilizzati per le indagini geofisiche, con l'esecuzione di prove Down Hole per la definizione della categoria sismica dei terreni di fondazione. Sulle carote prelevate sono state eseguite prove con Poket Penetrometer oltre che il prelievo di campioni disturbati ed indisturbati destinati ad analisi di laboratorio per la determinazione della curva granulometrica, dei parametri fisici di base, oltre che l'esecuzione di una serie di prove di laboratorio per le frazioni limoso-argillose, articolate in:

- Prove di taglio diretto (parametri meccanici drenati);
- Prove triassiali di tipo CD (parametri meccanici ed elastici drenati);
- Prove triassiali di tipo CU (parametri meccanici drenati e non drenati e parametri elastici drenati);
- Prove triassiali di tipo UU (parametri meccanici non drenati);
- Prove edometriche (parametri elastici);
- Prove di compressione monoassiale roccia (parametri meccanici roccia).

8.2 STRATIGRAFIE

I sondaggi eseguiti a corredo della prima stesura del progetto definitivo ha visto l'esecuzione di:

- n.17 sondaggi geognostici spinti alla profondità di 40m eseguiti a carotaggio continuo;
- n.4 sondaggi a distruzione di nucleo

Si sintetizzano nel seguito il commento delle stratigrafie di sondaggio:

Il sondaggio **S1-PZ**, realizzato nella porzione più occidentale del tracciato stradale, ha evidenziato, al di sotto di una copertura detritica (DET) di spessore di circa 2m, la presenza fino a 5m di un'argilla scagliosa (AVP), seguita fino a fondo foro (20 m) da una successione argillosa alternata a livelli marnoso calcarei (AVPL).

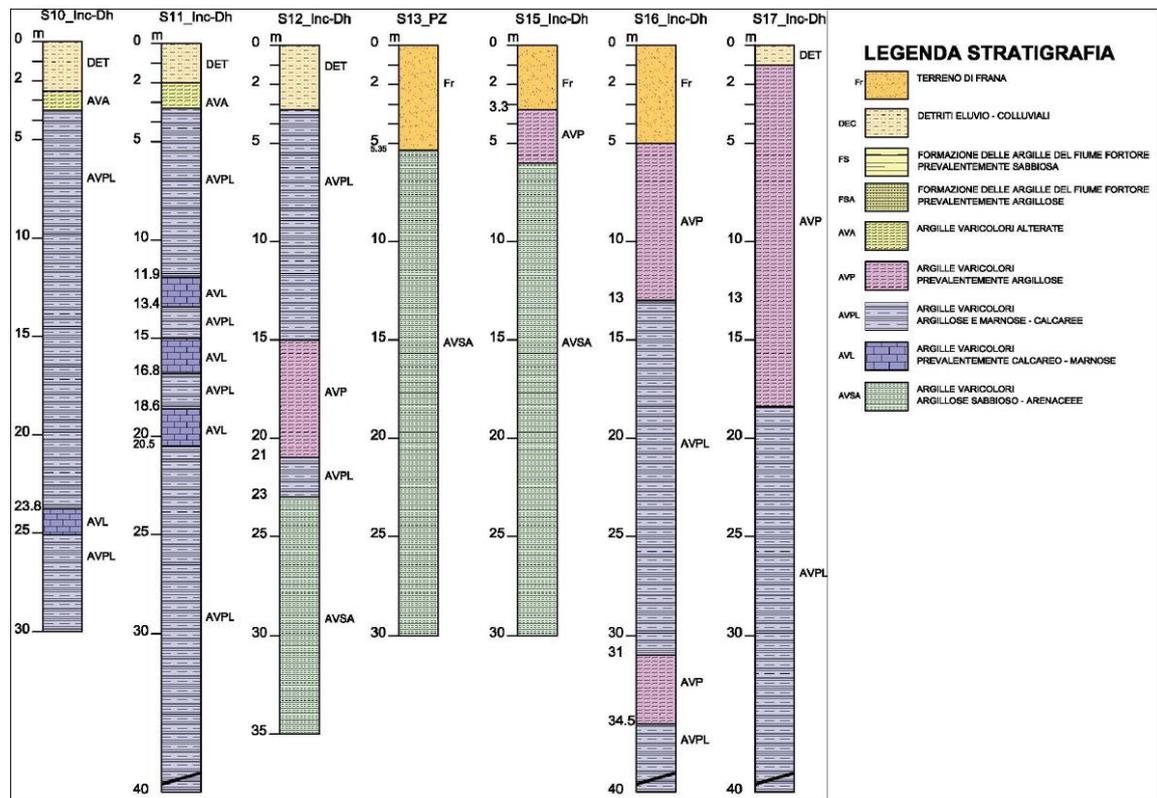
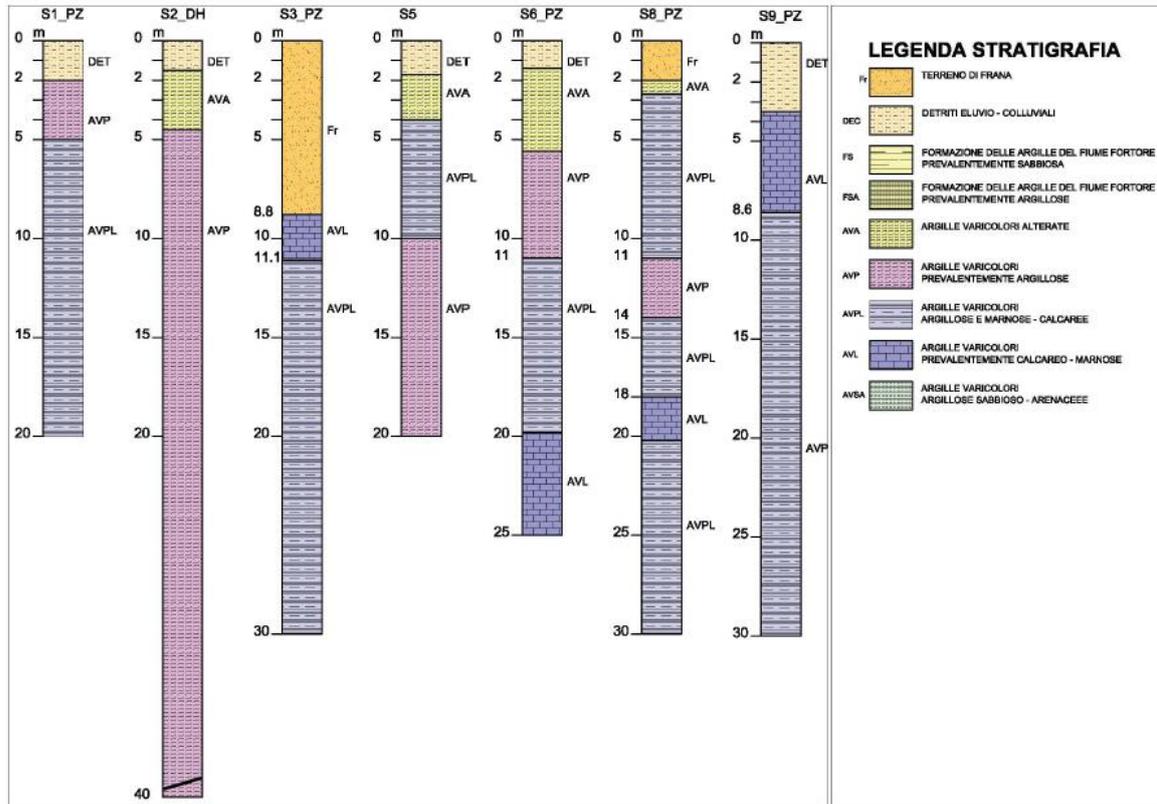
Il sondaggio **S2-DH** è stato terebrato in corrispondenza del viadotto 1 in progetto e attrezzato per la successiva misura di down-hole. La stratigrafia ha evidenziato, al di sotto di un terreno detritico spesso circa 1.5m, la presenza, fino a 4,5m dal p.c., di un'argilla alterata e degradata, priva di struttura, seguita fino a fondo foro (40m) dalle argille scagliose della Formazione delle Argille Varicolori.

Il sondaggio **S3-PZ** ubicato in corrispondenza del viadotto 1 in progetto, sul versante orientale, alla progressiva 0+800 circa, è stato approfondito per 30m. Ha attraversato un livello terreno di frana, caratterizzato da una struttura caotica, fino alla profondità di circa 8.80m. A seguire la stratigrafia ha evidenziato la presenza di livelli argilloso e marnoso – calcareo (AVPL) della successione delle Argille Varicolori per uno spessore di circa 2m, seguiti da argille scagliose (AVP) fino a fondo foro (30m).

Il sondaggio **S5**, eseguito in corrispondenza del ponte in progetto previsto fra le pk 1+00 e 1+100, ha riscontrato, al di sotto di una copertura detritica di circa 2 m di spessore, la presenza fino a 4 m di profondità del livello alterato (AVA) e destrutturato del substrato fliscioide delle Argille Varicolori. Segue per circa 6m

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

la successione argillosa e marnoso – calcarea (AVPL) delle Argille Varicolori e fino a fondo foro (20m) dalla successione essenzialmente pelitica della formazione fliscioide (AVP).



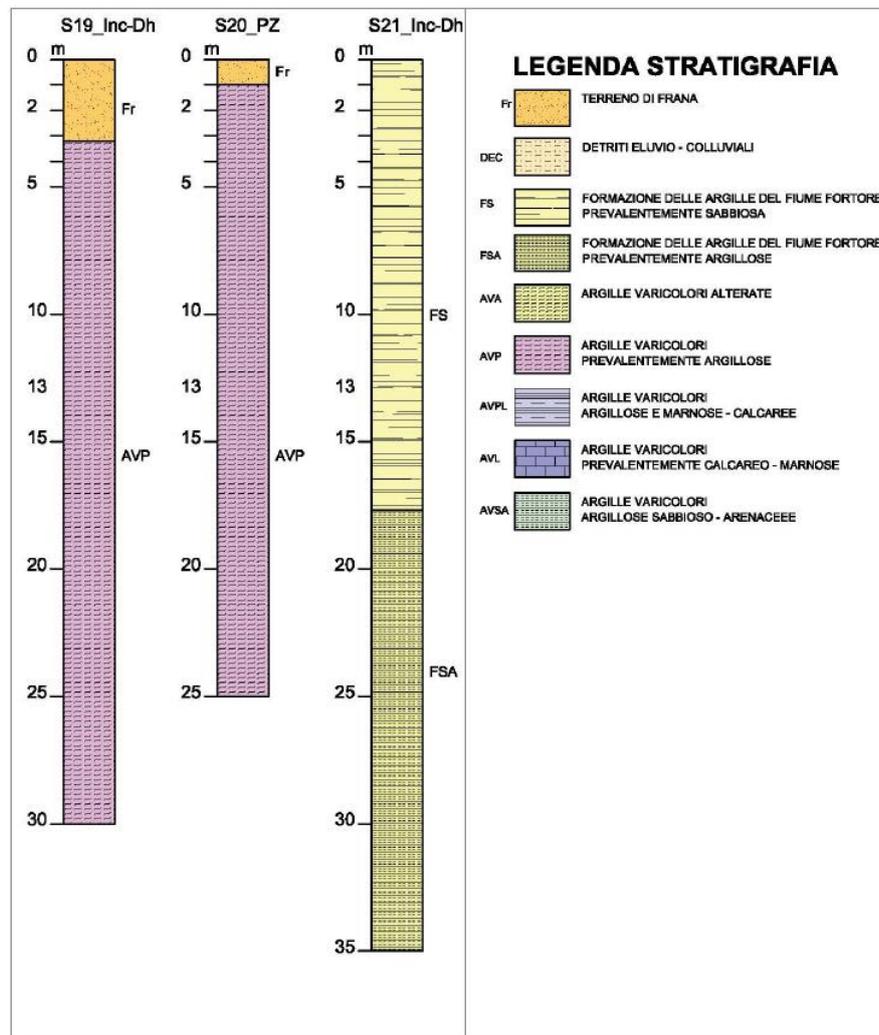


Figura 14 - Estratto delle stratigrafie di sondaggio tratte dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

Il sondaggio **S6-PZ**, realizzato a valle della strada in progetto alla pk 1+400 circa, presenta una stratigrafia caratterizzata dalla presenza di un'argilla alterata e degradata (AVA) fino a circa 5.5m, al di sotto di un terreno detritico di circa 2m di spessore. Il substrato fliscioide che segue è caratterizzato fino alla profondità di 11m dalla successione prevalentemente pelitica (AVP), seguito fino a circa 20m da quella argilloso e marnoso – calcarea (AVPL) e da quella essenzialmente lapide (AVL) fino a fondo foro 25m.

Il sondaggio **S8_PZ**, realizzato a monte della strada in progetto in corrispondenza della pk 1+5000 circa. Ha attraversato per circa 2m un terreno di frana, di natura essenzialmente argillosa. Il substrato è caratterizzato dalla Formazione delle Argille Varicolori presente con un'alternanza delle successioni argilloso marnoso – calcarea (AVPL) fino a 11m di profondità, della successione essenzialmente argillosa (AVP) fino a 14m di profondità, seguita nuovamente da quella argillosa e marnoso – calcarea (AVPL) fino a 18m e dalla successione essenzialmente lapidea con marne e calcare (AVL) fino a 20m circa. Chiude la stratigrafia la presenza della successione argilloso marnosocalcarea (AVPL) a 30m.

Il sondaggio **S9-PZ** è stato eseguito in corrispondenza delle pile del "Viadotto 2" in progetto. È stato approfondito fino a 30m e attrezzato per le successive misure piezometriche. Ha evidenziato la presenza di una copertura detritica per uno spessore di circa 3.5m, seguita dalla successione lapidea (AVL) delle

Argille Varicolori fino a circa 8.60m. Segue fino a fondo foro (30m) la successione argillosa e marnoso – calcarea (AVPL).

Nel sondaggio **S10_Inc-Dh**, realizzato in corrispondenza delle pile del "Viadotto 2" in progetto è stato approfondito fino a 30m e attrezzato per la successiva lettura Down – Hole. Al di sotto di una copertura detritica di spessori di circa 2m e di un livello metrico argilloso alterato la stratigrafia del sondaggio è caratterizzata dalla presenza fino a fondo foro della successione argillosa e marnoso -calcarea. Solo alla profondità di circa 24m è presente un livello metrico di marne e calcari appartenenti alla successione essenzialmente lapidea (AVL) del flysch.

Il sondaggio **S11_Inc-Dh** è stato eseguito a poche decine di metri dal precedente, sempre in corrispondenza del "Viadotto 2". Il sondaggio è stato attrezzato con tubo inclinometrico. La stratigrafia ha evidenziato, al di sotto di una copertura detritica e di argilla alterata, presente fino a circa 3m di profondità, la presenza in modo dominante fino a fondo foro (40m) della successione argillosa e marnoso – calcarea (AVPL), alternata a varie profondità da livelli metrici e plurimetrici di marne e calcari (AVL), rappresentativi della successione essenzialmente lapidea delle Argille Varicolori.

Il sondaggio **S12_Inc-Dh** è stato realizzato in corrispondenza della spalla occidentale del "Viadotto 3". È stato approfondito fino a 35m e attrezzato con tubo inclinometrico per il successivo monitoraggio. La lettura delle carote ha consentito di ricostruire una stratigrafia che vede, sotto una copertura di terreno detritico di spessore di circa 3m, la presenza della successione argillosa e marnoso – calcarea (AVPL) delle Argille varicolori, seguita dalla profondità di 15m a circa 21m dalla successione essenzialmente argillosa del Flysch. A seguire si riscontrano per circa 2m nuovamente le argille con marne e calcari. Chiude la stratigrafia la presenza di una successione argillosa con livelli sabbiosi e arenacei (AVSA).

Il sondaggio **S13-PZ**, realizzato in corrispondenza delle pile del "Viadotto 3" in progetto, e attrezzato con tubo piezometrico, è caratterizzato dalla presenza di una copertura di terreno di frana (Fr) per uno spessore di circa 5m. La restante parte della stratigrafia vede la presenza della sola successione argillosa con livelli sabbiosi e arenacei (AVSA).

Il sondaggio **S15-Inc-Dh** è stato eseguito sempre lungo l'asse del "Viadotto 3" in progetto. È stato attrezzato con tubo inclinometrico, utilizzato sia per il monitoraggio che per le letture down – hole. Ha riscontrato la presenza di un deposito di frana con uno spessore superiore a 3m, seguito dalla successione essenzialmente pelitica (AVP) delle Argille Varicolori. Completa la stratigrafia fino a fondo foro (30 m) la presenza della successione argillosa con livelli sabbiosi e arenacei (AVSA).

Il sondaggio **S16-Inc-Dh** è stato realizzato in prossimità della spalla orientale del "Viadotto 3". La stratigrafia ricostruita del sondaggio vede una copertura del terreno di frana per uno spessore di circa 5m, seguita dalla successione essenzialmente argillosa (AVP) delle Argille Varicolori fino a circa 13m. A profondità maggiori sono presenti le argille con livelli di marne e calcari (AVPL), fino a 31m di profondità, nuovamente la successione essenzialmente pelitica, fino a 34.5m, e quindi, fino a fondo foro (40m) le argille marnoso - calcaree.

Il sondaggio **S17-Inc-Dh** è stato eseguito a monte della spalla occidentale del "Viadotto 4". Il sondaggio è stato attrezzato fino a fondo foro (40m) con tubo inclinometrico. Sono state riscontrate due sole litologie dominanti: la prima presente fino a circa 18m è rappresentata dalla successione essenzialmente pelitica delle Argille Varicolori. La seconda da quella argillosa e marnoso – calcarea.

Il sondaggio **S19_-Inc-Dh** è stato eseguito in prossimità delle pile del "Viadotto 4". È stato attrezzato con tubo inclinometrico, utilizzato sia per il monitoraggio che per le letture down – hole. La stratigrafia ha evidenziato la presenza di un deposito di frana per circa 3m, seguito dalla successione prevalentemente pelitica (AVP) delle Argille Varicolori. Questa successione argillosa si riscontra per tutta la verticale del sondaggio fino a fondo foro (40m).

Con il sondaggio **S20_Pz**, ubicato a monte del "Viadotto 4", viene confermata la stratigrafia del sondaggio precedente. Al di sotto di un terreno di frana di spessore intorno al metro, il sondaggio ha attraversato sempre la successione del membro pelitico delle Argille Varicolori.

Il sondaggio **S21-Inc-Dh**, realizzato in prossimità della spalla del "Viadotto 4", è stato approfondito fino a 35m e attrezzato con tubo inclinometrico. Ha attraversato terreni appartenenti alla Formazione delle Argille del Fiume Fortore. Sono stati riscontrati fino alla profondità di circa 18 m depositi essenzialmente sabbioso – limosi variamente cementati. Segue fino a fondo foro la componente essenzialmente argilloso – sabbiosa della Formazione.

8.3 SPT

Analogamente a quanto riportato per le stratigrafie, si riportano nel seguito una tabella riassuntiva delle n.129 standard penetration test (SPT) eseguite all'interno dei fori di sondaggio.

ID sondaggio	ID Prova	Profondità (m da p.c.) da - a	N1	N2	N3	N SPT
S1_PZ	SPT1	7.00 - 7.17	19	100	-	100
	SPT2	13.60 - 13.64	50	-	-	
S2_DH	SPT1	4.10 - 4.55	12	48	18	66
	SPT2	13.20 - 13.65	11	14	15	29
S3_PZ	SPT1	4.50 - 4.56	50	-	-	
	SPT2	8.00 - 8.02	50	-	-	
	SPT3	13.00 - 13.02	50	-	-	
S5	SPT1	4.50 - 4.59	4	7	9	16
	SPT2	10.90 - 11.35	9	12	15	27
S6_PZ	SPT1	4.75 - 5.20	10	13	14	27
	SPT2	10.70 - 11.05	30	40	60	100
S8_PZ	SPT1	4.50 - 4.55	50	-	-	
	SPT2	14.00 - 14.20	50	100	-	100
S9_PZ	SPT1	7.00 - 7.06	50	-	-	
	SPT2	18.00 - 18.38	38	49	51	100
S10_Inc-Dh	SPT1	6.60 - 7.05	15	20	24	44
	SPT2	13.00 - 13.05	50	-	-	
S11_Inc-Dh	SPT1	6.00 - 6.35	19	47	53	100
	SPT2	10.35 - 10.44	50	-	-	

S12_Inc-Dh	SPT1	8.30 – 8.75	4	8	11	19
	SPT2	11.40 – 11.85	10	13	22	35
S13_PZ	SPT1	5.70 – 5.77	50	-	-	
	SPT2	16.70 – 17.15	10	29	60	89
S15_Inc-Dh	SPT1	5.20 – 5.65	25	33	25	58
	SPT2	14.00 – 14.11	50	-	-	
	SPT3	22.60 – 22.97	30	37	63	100
S16_Inc-Dh	SPT1	4.60 – 5.05	3	6	7	13
	SPT2	15.00 – 15.45	20	25	27	52
S17_Inc-Dh	SPT1	4.00 – 4.45	4	4	6	10
	SPT2	11.50 – 11.95	24	39	45	84
S19_Inc-DH	SPT1	5.30 – 5.75	5	15	8	23
	SPT2	16.30 – 13.68	50	-	-	
S20_PZ	SPT1	6.30 – 6.52	12	100	-	100
	SPT2	14.70 – 15.15	14	22	37	59
S21_Inc-Dh	SPT1	5.60 – 6.05	11	16	39	55
	SPT2	14.30 – 14.42	50	-	-	

8.4 PROVE PRESSIOMETRICHE IN FORO TIPO MENARD

Si riportano nel seguito i valori del Modulo Pressiometrico di Menard (E_M) e di Pressione Limite (PI) relativi alle prove pressiometriche in foro tipo Menard eseguite in corrispondenza dei sondaggi.

ID sondaggio	ID Prova	Profondità (m dal p.c)	E_M (MPa)	PI (MPa)	Litologia	Opera in progetto
S9	ES180221.01	-11.20	87	2.6	Argille limose scagliose con livelli di calcari marnosi e marni. (AVPL)	Viadotto 2
S10	ES181220.01	-11.00	39	2.	Argille limose da deb. marnose a marnose con inclusioni mm e cm di clasti calcarei (AVPL)	Viadotto 2
	ES181220.03	-20.50	47	2.3	Argille limose da deb. marnose a marnose con inclusioni mm e cm di clasti calcarei (AVPL)	

S11	ES231220.02	-15.00	100	2.4	Calcareniti con sottili intercalazioni di argille marnose/marne argillose (AVPL).	Viadotto 2
S13	ES041220.01	-11.20	29	1.3	Argille limose con intercalazioni sabbiose (AVSA)	Viadotto 3
	ES041220.02	-20.00	11	1.5	Argille marnose con livelli limoso-sabbiosi (AVSA)	
S15	ES181220.02	-11.00	41	1.6	Alternanza di limi argilloso-sabbiosi marnosi, limi sabbiosi/sabbie fini limose e argille marnose limose. (AVSA)	Viadotto 3
S16	ES231220.01	-11.10	13	1.2	Argille limose scagliose (AVP).	Viadotto 3
	ES281220.01	-21.00	8.2	1.3	Argille marnose limose con interstrati sabbioso-arenacei e intercalazioni di marne calcaree e arenarie. Argille limose scagliose (AVPL).	
S17	ES310321.01	-20.00	59	3.8	Argille limose scagliose (AVP).	Viadotto 4
S19	ES151220.01	-11.00	19	1.6	Argille limose e scagliose (AVP).	Viadotto 4
	ES151220.02	-20.00	90	2	Argille marnose limose intercalate da marne argillose limose e limoso-sabbiose. Struttura laminata e comportamento scaglioso (AVP).	
S20	ES210421.01	-19.00	51	2.5	Argille scagliose (AVP).	Viadotto 4
S21	ES140421.01	-10.00	160	4.6	Sabbie limose deb. stratificate con intercalazioni di argille limose e argille marnose con locali passaggi di arenarie (FS).	Viadotto 4

Figura 16 - Estratto dei risultati delle prove pressiometriche tratte dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

I risultati ottenuti sono molto variabili. All'interno delle successioni argillose il modulo E_M varia da 13MPa ad un massimo di circa 90MPa, mentre quelli di PI sono compresi tra 1.2 e 3.8. In corrispondenza delle successioni argillose e marnoso-calcaree i valori di E_M variano da un minimo di 8.2MPa ad un massimo di 100MPa. Nelle argille sabbiose il range di E_M è compreso tra 11MPa e 42MPa, mentre i PI sono compresi tra 1.3 ed un massimo di 1.6. Infine, nelle formazioni delle argille del F. Fortore il modulo E_M registra valori nell'ordine dei 160MPa, con PI pari a 4.6MPa.

8.5 PROVE SU PIASTRA

Il piano delle indagini a corredo della precedente versione del progetto definitivo ha visto l'esecuzione di n.7 prove di carico a doppio ciclo con piastra circolare per la determinazione del modulo di deformazione M_d (CNR 146,a), le quali sono state eseguite all'interno dei pozzetti esplorativi per la stima della capacità portate dei terreni su cui saranno fondati i rilevati stradali.

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

N.	Sigla Id pozzetto	Sigla Id prova su piastra	M _d (intervallo 0.05-0.15 (N/mm ²))	M' _d (intervallo 0.05-0.15 (N/mm ²))	Rapporto M _d /M' _d	Contenuto d'acqua W %
1	PZ10	Prova n°1	16,85	37,97	0,44	17,50
2	PZ11	Prova n°2	6,98	187,50	0,04	31,60
3	PZ12	Prova n°3	8,33	48,39	0,17	21,00
4	PZ13	Prova n°4	19,74	200,00	0,10	23,00
5	PZ14	Prova n°5	18,87	76,92	0,25	37,80
6	PZ15	Prova n°6	12,55	166,67	0,08	40,40
7	PZ16	Prova n°7	15,15	115,38	0,13	35,20

Figura 17 – Estratto dei risultati delle prove di carico su piastra tratta dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

8.6 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Ne quadro della campagna di indagini geognostiche condotta nel 2021, è stato eseguito un monitoraggio piezometrico per definire l'andamento della falda acquifera in prossimità dell'asse stradale in progetto. Nello specifico, ai fini del progetto sono state condotte misurazioni periodiche sui piezometri S1-PZ, S3-PZ, S6-PZ, S8-PZ, S13-PZ e S20-PZ.

ID	Piezometro	Profondità piezometro	Giorno	Livello acqua
PIEZOMETRO		(m da p.c.)		(m dal p. c.)
S1_PZ	Tubo Aperto	18.0	24/03/2021	4.33
			08/04/2021	4.70
			03/05/2021	5.50
			24/05/2021	6.47
S3_PZ	Tubo Aperto	30.0	24/03/2021	4.0
			08/04/2021	3.60
			03/05/2021	5.00
			24/05/2021	5.50
S6_PZ	Tubo Aperto	25.0	14/01/2021	17.00
			24/03/2021	13.00
			08/04/2021	13.40
			03/05/2021	14.00
			24/05/2021	19.25

S8_PZ	Tubo Aperto	30.0	14/01/2021	11.46
			24/03/2021	12.00
			08/04/2021	12.90
			03/05/2021	14.50
			24/05/2021	15.13
S9_PZ	Tubo Aperto	30.0	05/03/2021	4.40
			24/03/2021	9.40
			08/04/2021	10.55
			03/05/2021	11.00
			24/05/2021	12.10
S13_PZ	Tubo Aperto	12.0	14/01/2021	1.30
			24/03/2021	1.80
			08/04/2021	2.00
			03/05/2021	2.02
			24/05/2021	2.20
S20_PZ	Cella Casagrande n.1	20.5	10/05/2021	1.80
			24/05/2021	1.90
	Cella Casagrande n.2	6.00	10/05/2021	1.80
			24/05/2021	1.90

Figura 18 – Estratto del monitoraggio piezometrico tratto dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

8.7 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

Nel complesso, lungo la tratta sono stati installati n.12 tubi inclinometrici S4_DN-Inc, S7_DN-Inc, S10_Inc-Dh, S11_Inc-Dh, S12_Inc-Dh, S14_DN-Inc, S15_Inc-Dh, S16_Inc-Dh, S17_Inc-Dh, S184_DN-Inc, S19_Inc-Dh, S21_Inc-Dh. Nel quadro della campagna di indagini geognostiche di accompagnamento al progetto definitivo sono state eseguite, oltre alla lettura di zero, dalle 3 alle 4 letture. In corrispondenza dei tubi DN-Inc, S7_DN-Inc, S12_Inc-Dh, S17_Inc-Dh, S19_Inc-Dh e S21_Inc-Dh non sono state riscontrate deformazioni significative, mentre piccoli spostamenti, nell'ordine dei 2mm sono stati registrati in corrispondenza dei tubi S10_Inc-Dh, S11_Inc-Dh, S14_DN-Inc e S16_Inc-Dh. Deformazioni significative sono state invece misurate in corrispondenza dei tubi S15_Inc-Dh e del S18_DN-Inc, con spostamenti maggiori di 2.5mm ad una profondità di 4m nel primo e a quote inferiori di 2m nel secondo.

8.8 INDAGINI GEOFISICHE

La campagna di indagini geofisiche eseguite nel 2021 ha visto l'esecuzione di:

- n.16 prospezioni sismiche a rifrazione tomografica in onde di compressione (P) e di Taglio (S)
- n.8 indagini sismiche in foro down-hole;
- N.8 rilievi sismici a stazione singola del tipo HVSR

Queste hanno lo scopo di supportare le indagini dirette condotte nell'area e raffinare il grado di conoscenza dell'assetto stratigrafico locale in relazione al volume geotecnicamente significativo.

Prospezioni sismiche a rifrazione

Nel complesso, i 16 stendimenti in onde di rifrazione impostate in corrispondenza delle principali opere in progetto hanno coperto uno sviluppo di ca. 1600m. I risultati sono stati incrociati con i dati ottenuti dalle indagini dirette, al fine di migliorare il grado di conoscenza stratigrafico dell'area. Nello specifico, dall'interpretazione degli stendimenti è stato possibile identificare lo spessore delle coperture detritiche e quindi la profondità del substrato lapideo. L'andamento delle Vs e delle Vp all'aumentare della profondità risulta proporzionale alla consistenza dei terreni indagati e coerente con le caratteristiche geolitologiche degli ammassi presenti nell'area attraversati dai sondaggi geognostici. L'elaborazione in onde P ed S ha permesso inoltre di individuare la profondità del substrato fliscioide

I sondaggi utilizzati per l'interpretazione dei risultati sono:

- S1 per tomografia sismica L1
- S3 per tomografia sismica L2 e L3
- S6 per tomografia sismica L4 e L5
- S8 per tomografia sismica L6 e L7
- S11 per tomografia sismica L8
- S13 per tomografia sismica L9 e L10
- S16 per tomografia sismica L11
- S17 per tomografia sismica L12
- S19 per tomografia sismica L13 e L14
- S21 per tomografia sismica L15 e L16

Prove Down-Hole

I sondaggi eseguiti in prossimità delle spalle o le pile dei viadotti sono stati utilizzati per l'esecuzione di n.8 prove sismiche in foro tipo Down-Hole. I risultati hanno permesso di inquadrare con un sufficiente grado di dettaglio i terreni interessati dalle opere in progetto mediante la stima delle Vseq, attraverso le quali è stato possibile stimare le categorie sismiche del sottosuolo come previsto dalle NTC del 2018.

Down - Hole	Profondità dal p.c. (m)	Vs,eq (m/sec)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
DH – S2	40	344	C
DH – S10	30	342 (h = 23 m)	E
DH – S11	40	316 (h = 18 m)	E
DH – S12	35	321	C
DH – S15	30	408	B
DH – S16	40	317	C
DH – S19	30	324	C
DH – S21	35	410	B

Figura 19 – Estratto delle prove Down-Hole tratto dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

Rilievo sismico con stazioni HVSR

A completamento delle indagini geofisiche condotte a supporto del progetto definitivo sono state eseguite una serie registrazione HVSR, al fine di individuare possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno e struttura, di cui si riportano nel seguito gli esiti:

Nome HVSR	Frequenza picco H/V	Stima Vs30/Vs _{eq} (m/s)	Cat. NTC18
HV1	9.6 ± 0.6 Hz	340	C
HV2	7.5 ± 1.1 Hz	346 (h = 19 m)	E
HV3	16.7 ± 1.9 Hz	260 (h = 5 m)	E
HV4	15.3 ± 0.5 Hz	268	C
HV5	8.5 ± 1.0 Hz	330	C
HV6	19.3 ± 0.9 Hz	332	C
HV7	5.3 ± 0.6 Hz	322	C
HV8	4.9 ± 0.9 Hz	405	B

Figura 20 – Sintesi dei risultati delle registrazioni HVSR tratta dalla relazione geologica di accompagnamento della prima stesura del progetto definitivo

8.9 ANALISI CRITICA DELLE INDAGINI E DEI RISULTATI OTTENUTI IN RELAZIONE ALLA VARIANTE IN PROGETTO

Rispetto all'originario impianto planimetrico sulla base del quale è stata impostata la campagna di indagini geognostiche, i cui esiti sono sintetizzati nei punti precedenti, la soluzione progettuale in fase di definizione vede un leggero scostamento del tracciato tra la sezione di progetto n.33 e la n.64, che nel punto massimo raggiunge una distanza di ca.50m. Questo interesserà prevalentemente un settore privo di dissesti e sostanzialmente stabile rispetto ad altri territori attraversati dal tracciato. Altre differenze minori riguardano l'eliminazione di alcuni manufatti (ponte all'altezza della sezione di progetto n.34 ed alcune modifiche dell'impianto planimetrico dei rilevati e delle spalle dei viadotti).

Rispetto a queste variazioni ed in considerazione dell'assetto geologico, geomorfologico e geotecnico desunto dall'analisi della documentazione delle precedenti fasi progettuali, si ritiene che i dati raccolti in occasione delle indagini permettano una efficace ricostruzione del modello geologico e geotecnico locale. **Pertanto, al momento non risulta necessario una implementazione delle indagini, in quanto i dati presenti sono più che sufficienti per la progettazione degli elementi strutturali del tracciato.**

9 MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL TRACCIATO

Sulla base di quanto esposto nelle sezioni precedenti, si sintetizzano nel seguito gli aspetti fondamentali del modello geologico-tecnico valutati sulla base dell'analisi e l'interpretazione delle indagini geognostiche condotte nell'area, oltre che dai sopralluoghi e dalle osservazioni dirette condotte lungo l'asse del tracciato in progetto.

Per maggiori dettagli in merito alle caratteristiche litotecniche dei materiali coinvolti o sulle opere previste da progetto, si rimanda alla relazione geotecnica e agli altri elaborati progettuali.

RILEVATI	
Progressiva Km	Commento
0.0 – 190.0 (Sez. 1 - 6)	Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C"
	Morfologia: Superfici in leggero declivio, da piane a debolmente inclinate. Assenza di forme morfologiche degne di nota
	Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 1.0m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 1.8m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ .800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali
377.0 – 569.0 (Sez. 11 - 16)	Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C"
	Morfologia: Superfici in leggero declivio, da piane a debolmente inclinate. Assenza di forme morfologiche degne di nota
	Caratteristiche opera: Rilevato tipo 2A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 2.4m e 3.4m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ .800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali
819.0 – 869.0 (Sez. 22 - 24)	Geologia: Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) e Argille varicolori alterate AVA sormontate da Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica sullo "C"
	Morfologia: Versante in leggero declivio che costituisce il pendio in destra idrografica del "Vallone della Martina". Diffuse evidenze di creep e localizzate tracce di erosione per ruscellamento concentrato
	Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A e 2A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 3.4m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ .800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali
1'040.0 – 1'085.0 (Sez. 28 - 29)	Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) con subordinato membro prevalentemente calcareo-marnose AVL sormontate da depositi di frana FR aventi uno spessore massimo di ca. 8.5m indagati con il sondaggio S3 ed in parte con il sondaggio S4. Categoria sismica "C"
	Morfologia: Versante in leggero declivio che forma il pendio in sinistra idrografica del "Vallone della Martina". Presenza del corpo di frana denominato Fr_11 , classificato come quiescente sulla base delle evidenze di terreno e dei risultati delle

	<p>indagini. Ai margini, diffuse tracce di creep e alcune erosioni per ruscellamento concentrato</p> <p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 1.0m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 1.8m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
1'180.0 – 1'075.0 (Sez. 31 - 36)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) e Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) sormontate da un livello potente ca. 1.8m. Strato superficiale di detrito eluvio-colluviali DEC indagato con il sondaggio S5. Soggiacenza della falda a ca. -5.0m. Categoria sismica "C"</p> <p>Morfologia: Blando impluvio riferibile ad un tributario non più attivo del rio che scorre all'interno del "Vallone della Martina". Morfologie da piane a poco inclinate con diffuse tracce di creep</p> <p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 2A, 2B, 3A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 5.8m con scarpate 2/3 e berma per il tratto 3A. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
1'735.0 – 1'779.0 (Sez.45 – 46A)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) e Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) sormontate da lenti prevalentemente argillose e marnose-calcaree AVL e argille varicolori alterate AVA con sottili livelli di detriti eluvio-colluviali DEC. Categoria sismica "E"</p> <p>Morfologia: Versante occidentale del blando impluvio del "Cialandrone". Diffuse tracce di creep</p> <p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 2A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 2.4m e 3.4m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
1'941.0 – 2'000.0 (Sez.50A – 52)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) e Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) sormontate da argille varicolori alterate AVA con sottili livelli detrito eluvio-colluviali DEC. Categoria sismica "C"</p> <p>Morfologia: Versante orientale del blando impluvio del "Cialandrone". Diffuse tracce di creep</p> <p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A e 3A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 5.8m con scarpate 2/3 e berma per il tratto 3A. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
2'160.0 – 2'235.0 (Sez.56 – 58)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da argille varicolori alterate AVA con sottili livelli di detriti eluvio-colluviali DEC. Categoria sismica "C"</p> <p>Morfologia: Versante debolmente inclinato con diffuse tracce di creep e numerose forme di dissesto nel tratto posto più a valle, dove sono presenti alcuni corpi minori della frana Fr_8. Localizzate tracce di erosione legate al ruscellamento delle acque meteoriche</p>

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

	<p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A, 3A e 3B, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 5.8m con scarpate 2/3 e berma per i tratti 3A e 3B. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
2'581.0 – 2'674.0 (Sez.66 – 69)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) e Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate de detrito di frana FR con spessori nell'ordine dei 5-6m. Categoria sismica "C"</p>
	<p>Morfologia: Versante debolmente inclinato con numerose tracce di dissesto rappresentate prevalentemente dai corpi di frana Fr_6 e Fr_5, di cui il primo considerato attivo. Localizzate tracce di erosione legate al ruscellamento delle acque meteoriche, contropendenze e ristagni idrici</p>
	<p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 2A e 3A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 5.8m con scarpate 2/3 e berma per il tratto 3A. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
2'780.0 – 2'853.0 (Sez.71 – 73)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) sormontate de detrito di frana FR potente ca.3.2m indagate con il sondaggio S19. Soggiacenza della falda a -9.4m, categoria sismica "C"</p>
	<p>Morfologia: Versante debolmente inclinato con numerose tracce di dissesto. Il tratto interessa il corpo di frana Fr_3, considerato attivo per via delle evidenze di terreno e dei risultati delle indagini, con tracce di creep, ristagni idrici e contropendenza</p>
	<p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A e 2A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 3.4m con scarpate 2/3. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>
3'079.0 – 3'307.0 (Sez.79 – 83) (Sez.84 – 85)	<p>Geologia: Zona di contatto tra le Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) e le Argille del Fiume Fortone FS (Prevalentemente sabbiosa), parzialmente sormontate da detrito di frana FR potente ca.5.2m. Depositi indagati con il sondaggio S21, categoria sismica "C"</p>
	<p>Morfologia: Versante debolmente inclinato con numerose tracce di dissesto. Il tratto interessa il corpo di frana Fr_1, considerato quiescente. Localizzate tracce di creep, ristagni idrici e contropendenza</p>
	<p>Caratteristiche opera: Rilevato tipo 1A, 2A e 3A, spessori di bonifica compresi tra 0.5m e 0.8m e altezze del rilevato comprese tra 0.8m e 5.8m con scarpate 2/3 e berma per i tratti 3A e 3B. Realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato di valle, uniti con trave di testa e tirantata. Messa in opera di dreni per l'allontanamento delle acque dai livelli più superficiali</p>

TRINCEE	
Progressiva Km	Commento
193.7 – 376.8	Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C"

(Sez. 6 - 11)	<p>Morfologia: Superfici in leggero declivio, da piane a debolmente inclinate. Assenza di forme morfologiche degne di nota</p> <p>Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1A e SC-M1/M2/M4. Per il tratto 1A profondità massima di scavo nell'ordine di 3.2m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle. Per i tratti SC-M1/M2/M3 profondità massime di scavo nell'ordine dei 5.8m previa realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato monte, uniti con trave di testa e tirantata. Scarpate con pendenze 1/2 e realizzazione di dreni per l'allontanamento delle acque dagli strati più superficiali. In tutti i casi, messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento</p>
569.0 – 819.0 (Sez. 16 - 22)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) alternate ad Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) e sormontate da Detriti Eluvio-Colluviali DEC indagati con il sondaggio S1. Soggiacenza della falda a -4.3m, categoria sismica "C"</p> <p>Morfologia: Blando dorso morfologico, assenza di forme morfologiche degne di nota.</p> <p>Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1A e SC-M1/M2. Per il tratto 1A profondità massima di scavo nell'ordine di 3.2m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle. Per i tratti SC-M1/M2/M3 profondità massime di scavo nell'ordine dei 4.7m previa realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato monte, uniti con trave di testa e tirantata. Scarpate con pendenze 1/2 e realizzazione di dreni per l'allontanamento delle acque dagli strati più superficiali. In tutti i casi, messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento</p>
1'085.0 – 1'175.0 (Sez. 29 - 31)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da argille varicolori alterate AVA e Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica suolo "C"</p> <p>Morfologia: Blando displuvio posto a margine del corpo di frana Fr_11</p> <p>Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1A/1B con profondità massima di scavo nell'ordine di 2.7m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle e messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento</p>
1'380.0 – 1'730.0 (Sez. 36 - 45)	<p>Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) e Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) sormontate da argille varicolori alterate AVA e Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C ed E"</p> <p>Morfologia: Tratto dalle morfologie piane o in leggero declivio posto a ridosso della località Casello e della Casa Zeoli, direttamente a monte del corpo di frana Fr_9 definita come inattiva</p> <p>Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1A/1B e SC-M1. Per il tratto 1A/1B profondità massima di scavo nell'ordine di 2.7m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle. Per il tratto SC-M1 profondità massime di scavo nell'ordine dei 4.4m previa realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ.800 sul lato monte, uniti con trave di testa e tirantata. Scarpate con pendenze 1/2 e realizzazione di dreni per l'allontanamento delle acque dagli strati più superficiali. In tutti i casi, messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento</p>

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

2'000.0 – 2'160.0 (Sez. 52 - 56)	Geologia: Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) sormontate da argille varicolori alterate AVA e Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C"
	Morfologia: Dorso morfologico con superfici in leggero declivio e diffuse tracce di creep
	Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1A/1B e SC-M1/M2/M3. Per i tratti 1A/1B profondità massima di scavo nell'ordine di 2.7m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle. Per i tratti SC-M1/M2/M3 profondità massime di scavo nell'ordine dei 5.6m previa realizzazione di paratia con pali trivellati ϕ .800 sul lato monte, uniti con trave di testa e tirantata. Scarpate con pendenze 1/2 e realizzazione di dreni per l'allontanamento delle acque dagli strati più superficiali. In tutti i casi, messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento
2'680.0 – 2'780.0 (Sez. 69 - 71)	Geologia: Prevalenti Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) con depositi di frana FR del fenomeno denominato Fr_4 potente ca.4.0 indagati con il sondaggio S17. Quota di soggiacenza della falda a -4.8m, categoria sismica "C"
	Morfologia: Dorso morfologico con superfici in leggero declivio e diffuse tracce di creep
	Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1B con profondità massima di scavo nell'ordine di 2.7m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle e messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento
3'240.0 – 3'280.0 (Sez. 83 - 84)	Geologia: Prevalenti Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose), sormontate da localizzati accumuli di Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Categoria sismica "C"
	Morfologia: Morfologie in leggero declivio costituenti l'alto versante orografico sinistro del Vallone Canonico
	Caratteristiche opera: Trincea tipo SC-1B con profondità massima di scavo nell'ordine di 2.7m, con scarpate con pendenza 1/2 sia sul lato di monte che su quello di valle e messa in opera di canaletta a testa scavo per l'intercettazione delle acque di ruscellamento

VIADOTTI	
Progressiva Km	Commento
864.0 – 1'041.0 (Sez. 24 - 28)	Geologia: Prevalenti Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose), con subordinate Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) e lenti del membro calcareo-marnose AVL. Superficialmente, livello di Argille Varicolori Alterate AVA, con Detriti Eluvio-Colluviali DEC e depositi di frana FR del fenomeno Fr_11 . Tratto indagato con i sondaggi S2, S3 e S4, quota di soggiacenza della falda a -6.8m (S2), categoria sismica "C"
	Morfologia: Blando impluvio tributario del "Vallone della Martina", caratterizzato da superfici debolmente inclinate con diffuse tracce di creep e localizzate tracce di erosione per ruscellamento
	Caratteristiche opera: Viadotto n.1 lungo 155m su 4 campate con pile fondate su pali. Spalla ovest fondata su Argille Varicolori AVP con il superamento dei livelli superficiali di Argille Varicolori Alterate AVA e dei Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Spalla est fondata su prevalenti Argille Varicolori AVPL con lenti del membro calcareo-marnoso AVL e bypass del detrito di frana che qui presenta uno spessore di ca. 7-8m.

Relazione Geologica, Geomorfologica e Idrogeologica

	<p>Realizzazione di edicola di protezione delle spalle e delle pile con pali trivellati ϕ.800 e lunghi ca. 20m con sviluppo curvilineo ampio ca. 140°-160° e orientati secondo la linea di massima pendenza consolidati con tiranture e cordolo di testa. Aggiunta di sistemi di drenaggio per l'allontanamento delle acque dei livelli più superficiali. Plinto di fondazione poggiato su pali ϕ.1500 lunghi tra i 30m ed i 38m</p>
1'779.0 – 1'941.0 (Sez. 46B – 50A)	<p>Geologia: Prevalenti Argille Varicolori AVPL (prevalentemente argillose) con livelli del membro calcareo-marnoso AVP. Livello superficiale di Argille Varicolori Alterate AVA e Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Tratto indagato con i sondaggi S9, S10 e S11, quota di soggiacenza della falda compresa tra -9.4m (S9) e -13.7m (S11), categoria sismica "E e C"</p>
	<p>Morfologia: Blando impluvio formato da un rio minore, non più attivo, impostato a valle della località di Taverna clemente. Superfici in leggero declivio con diffuse tracce di creep</p>
	<p>Caratteristiche opera: Viadotto n.2 lungo 140m su 4 campate con pile fondate su pali. Spalle fondate su Argille Varicolori AVPL con il superamento del membro calcareo-marnoso AVL (dove presente), dei livelli superficiali di Argille Varicolori Alterate AVA e dei Detriti Eluvio-Colluviali DEC.</p> <p>Realizzazione di edicola di protezione delle spalle e delle pile con pali trivellati ϕ.800 e lunghi ca. 20m con sviluppo curvilineo ampio ca. 140°-160° e orientati secondo la linea di massima pendenza consolidati con tiranture e cordolo di testa. Aggiunta di sistemi di drenaggio per l'allontanamento delle acque dei livelli più superficiali. Plinto di fondazione poggiato su pali ϕ.1500 lunghi tra i 30m ed i 38m</p>
2'235.0 – 2'581.0 (Sez. 58 – 66)	<p>Geologia: Zona di contatto tra le Argille del Fiume Fortone FSA (prevalentemente argillose) e le Argille Varicolori AVPL (Argillose e marnose-calcaree) alternate alle Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose). Livello superficiale di Detriti Eluvio-Colluviali DEC e Depositi di Frana FR dei fenomeni Fr_6, Fr_7, Fr_8, con spessore degli stessi compresi tra 12.0m e 18.0m. Tratto indagato con i sondaggi S12, S13, S15 e S16. Quota di soggiacenza della falda a ca -1.8m, categoria sismica "C e D"</p>
	<p>Morfologia: Testata dell'impluvio di un rio minore affluente del Vallone Canonico, con diverse forme di dissesto, la principale delle quali è la Fr_8. Presenza di corpi minori in direzione di valle non coinvolti dal tracciato. In corrispondenza della spalla est sono presenti altri due corpi di frana rispettivamente denominati Fr_06 e Fr_07, considerati attivi per via delle evidenze di terreno. Nel complesso morfologie in leggero declivio, con diffuse tracce di creep, blande contropendenze ed alcuni ristagni idrici</p>
	<p>Caratteristiche opera: Viadotto n.3 lungo 324m su 6 campate con pile fondate su pali. Spalla ovest fondata su Argille Varicolori AVPL con il superamento dei livelli superficiali di Argille Varicolori Alterate AVA e di Detriti Eluvio-Colluviali DEC. Spalla est fondata su prevalenti Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) con il bypass dei depositi di frana che qui presentano uno spessore di ca.5-6m.</p> <p>Realizzazione di edicola di protezione delle spalle e delle pile con pali trivellati ϕ.800 e lunghi ca. 20m con sviluppo curvilineo ampio ca. 140°-160° e orientati secondo la linea di massima pendenza consolidati con tiranture e cordolo di testa. Aggiunta di sistemi di drenaggio per l'allontanamento delle acque dei livelli più superficiali. Plinto di fondazione poggiato su pali ϕ.1500 lunghi tra i 30m ed i 38m</p>

<p>2'235.0 – 2'581.0 (Sez. 58 – 66)</p>	<p>Geologia: Zona di contatto tra Argille Varicolori AVP (prevalentemente argillose) e le Argille del Fiume Fortone FS (Prevalentemente sabbiosa), superficialmente interessate da Depositi di Frana FR dei fenomeni <i>Fr_2a, Fr_2b, Fr_2c, Fr_2d, Fr_3a e Fr_3b</i> con spessori degli stessi compresi tra 5.0m e 7.0m. Tratto indagato con i sondaggi S20 e S21, quota di soggiacenza della falda a ca. -8.8m (S21), categoria sismica "B e C"</p>
	<p>Morfologia: Testata dell'impluvio di un rio minore affluente del Vallone Canonico, con diverse forme di dissesto. Corpi di frana ben evidenti e con tracce recenti di movimento (<i>Fr_3a e Fr_3b</i>) considerati attivi per via delle evidenze di terreno e dei risultati delle indagini. Morfologie in leggero declivio, con diffuse tracce di creep, contropendenze, ristagni idrici e solchi di erosione causati dai ruscellamenti superficiali.</p>
	<p>Caratteristiche opera: Viadotto n.4 lungo 204m su 4 campate con pile fondate su pali. Spalla ovest fondata su Argille Varicolori AVP con bypass dello spessore in frana (ca.2-3m di spessore). Spalla est fondata nei pressi della fascia di contatto tra le Argille Varicolori AVP e le Argille del Fiume Fortone FS, con bypass dello strato in frana che qui presenta uno spessore di ca.3-4m. Realizzazione di edicola di protezione delle spalle e delle pile con pali trivellati ϕ.800 e lunghi ca. 20m con sviluppo curvilineo ampio ca. 140°-160° e orientati secondo la linea di massima pendenza consolidati con tirature e cordolo di testa. Aggiunta di sistemi di drenaggio per l'allontanamento delle acque dei livelli più superficiali. Plinto di fondazione poggiato su pali ϕ.1500 lunghi tra i 30m ed i 38m</p>