



REGIONE DEL
VENETO



PROVINCIA DI
PADOVA

COMUNE DI ROVOLON

**SISTEMAZIONE DISSESTO
IDROGEOLOGICO LUNGO LA S.P. N. 77
TRA IL KM 0+900 ED IL KM 1+250 -
TRATTO VIA BELVEDERE**

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

***RELAZIONE GEOLOGICA –
IDROGEOLOGICA - SISMICA***

ELABORATO

B

COMMITTENTE:
COMUNE DI ROVOLON

PROGETTISTA:
Dr. Geol. Paolo Montin



Geosolution S.r.l. unipersonale
Via Galilei, 129a 35020 Albignasego (PD)
TEL: 049 8807531 - FAX: 049 8591171
C.F. e P.IVA: 04121840286 - REA: PD 363538
www.geosolution.it

COMMESSA:

1608

CATEGORIA:

A1b

DATA:

20/02/2017

REV. 0

GRUPPO DI
LAVORO

Dr. Geol. Paolo Montin
Iscritto al n. 539 Ordine Geologi Regione Veneto

Dr. Geol. Damiano Vescovo
Iscritto al n. 868 Ordine Geologi Regione Veneto

-

PM -- DV

PM

PM

FORN.

AUT.

VER.

APPR.



Questo documento costituisce proprietà intellettuale di Geosolution S.r.l. e come tale non potrà essere copiato, riprodotto o pubblicato, tutto od in parte, senza il consenso scritto dell'autore (legge 22/04/1941 n. 633, art. 2575 e segg. C.C.)

Indice

1.	PREMESSA	1
2.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E CARTOGRAFICI	2
3.	RIFERIMENTI NORMATIVI	2
4.	ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	3
5.	MODELLO GEOLOGICO GENERALE.....	8
5.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	8
5.2	ANALISI DELL'ASSETTO IDROGEOLOGICO	14
5.3	ANALISI DELL'ASSETTO IDROGRAFICO	15
6.	DESCRIZIONE DEI FENOMENI DI DISSESTO	19
6.1	TIPOLOGIA DEI FENOMENI DI DISSESTO	19
6.2	FATTORI PREDISPONENTI E SCATENANTI I FENOMENI DI DISSESTO.....	25
7.	CAMPAGNA GEOGNOSTICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI	27
7.1	SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO.....	28
7.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)	30
7.3	MISURE INCLINOMETRICHE	37
7.4	PROVE DI PERMEABILITÀ.....	40
7.5	INDAGINI DI LABORATORIO GEOTECNICO.....	41
7.6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	42
8.	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	42

ALLEGATI AL TESTO

ALLEGATO N. 1	CARTA GEOLOGICA
ALLEGATO N. 2	CARTA DELLA FRANOSITÀ

ELABORATI FUORI TESTO

ELABORATO B1	REPORT CAMPAGNA GEOGNOSTICA (GEORICERCHE S.r.l.)
--------------	--

Rif. N° 1608
Albignasego, 20/02/2017

1. PREMESSA

Come previsto dalla normativa in materia di LLPP, la presente Relazione di modellazione geologico-geotecnica è stata redatta nell'ambito del progetto di sistemazione del dissesto idrogeologico da realizzarsi lungo la SP 77 tratto di via Belvedere nel Comune di Rovolon (PD). Lo scopo, è quello di ricostruire il modello geologico, stratigrafico e geotecnico del terreno nel quale l'area in esame si inserisce, e valutarne le interazioni con i dissesti in atto.

Al fine di acquisire i necessari elementi per l'analisi, lo studio è stato condotto mediante una prima fase di ricerca e consultazione delle carte tematiche e dei lavori svolti nella zona e da una seconda fase di rilevamento diretto, atto ad integrare i dati già in possesso della scrivente. In particolare, lo studio è stato sviluppato nei punti di seguito elencati:

- ricerca bibliografica e documentale, attraverso la consultazione di carte geologiche, idrogeologiche e di pianificazione territoriale, pubblicazioni scientifiche e strumenti urbanistici, unitamente alle informazioni già note alla scrivente riguardo all'area oggetto d'indagine;
- rilevamento geologico - tecnico di dettaglio della zona a monte e a valle delle aree in dissesto allo scopo di ottenere informazioni precise di carattere geomorfologico e morfostrutturale;
- analisi dei dati relativi alla campagna geognostica effettuata nel Marzo del 2016, atte a definire le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni oggetto di dissesto;
- analisi dei dati relativi alle misurazioni inclinometriche e piezometriche, atte a valutare, su un arco temporale sufficientemente lungo, la profondità di un eventuale movimento di taglio del terreno.

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E CARTOGRAFICI

- Carta dei suoli del Veneto (ARPAV, 2013)
- Cartografia P.A.I. (Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta Bacchiglione, 2012)
- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000: Foglio 147, Padova Sud – Progetto CARG (ISPRA, 2011)
- Cartografia P.T.C.P. (Provincia di Padova, 2011)
- Carta Tecnica Regione Veneto in scala 1:5000 (Regione Veneto e cartografia dell'IGM, 1997)
- Carta della Franosità dei Colli Euganei (Dipartimento di Geologia – Università di Padova, 1995)
- Carta Geologica del Veneto (Regione Veneto, 1990)
- Carta unità geomorfologiche del Veneto (Regione Veneto, 1987)
- Carta Geologica dei Colli Euganei (Istituto di Geologia dell'Università di Padova, 1980)

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Normativa nazionale

- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- D.M. del 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni"

Normativa Regione Veneto

- L.R. 11 del 23/04/2004 "Norme per il governo del territorio e in materia di paesaggio"
- L.R. 24 del 05/03/1985 "Tutela ed edificabilità delle zone agricole"

Parco Regionale Colli Euganei

- D.Lgs. 42 del 22/01/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002 n.137
- L.R. n. 38 del 10/10/1989 "Norme per l'istituzione del Parco Regionale dei Colli Euganei"
- R.D. n. 3267 del 30/12/1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"

Lavori pubblici

- D.Lgs. 50 del 18/04/2016 "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture"
- D.P.R. 207 del 05/10/2010 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE"
- D.Lgs. 81 del 9/4/2008 "Attuazione dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"
- D.M. 145 del 19/04/2000 "Regolamento recante il capitolato generale d'appalto dei lavori pubblici, ai sensi dell'articolo 3, comma 5, della legge 11 febbraio 1994, n. 109, e successive modificazioni".

4. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

Il D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" (N.T.C.) impone di valutare l'azione sismica riferendosi alla condizione sito - specifica in esame, attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione della pericolosità sismica di base;
2. scelta della strategia di progettazione;
3. determinazione dell'azione di progetto.

Per il calcolo dell'azione sismica è stato utilizzato un foglio di calcolo denominato "Spettri - NTC ver. 1.0.3", disponibile sul sito internet del Consiglio Superiore dei LLPP e scaricato in data 10/10/2016 per avere l'ultimo aggiornamento.

1. DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido di categoria A (*"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m"*), con superficie topografica orizzontale (categoria T1: *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "*), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

I caratteri del moto sismico, sul sito di riferimento indicato, sono descritti dalle seguenti grandezze:

a_g = accelerazione massima al sito;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per individuare tali valori, nella "Fase 1" del foglio di calcolo "Spettri-NTC ver. 1.0.3" sono state inserite le coordinate geografiche (longitudine e latitudine) del centro dell'area di intervento; essa è stata quindi identificata mediante un reticolo di dimensioni 5×5 km, all'interno del quale sono stati interpolati, tramite media ponderata, i dati degli spettri sismici locali. Le coordinate di input sono state le seguenti:

Longitudine: 11° 40' 25" E
Latitudine: 45° 22' 10" N

I valori di a_g , F_0 , T_c^* , ottenuti dall'interpolazione dei dati recuperabili nell'Allegato B alle N.T.C., vengono di seguito riportati.

T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
30	0,032	2,508	0,212
50	0,038	2,545	0,255
72	0,044	2,508	0,279
101	0,050	2,519	0,293
140	0,056	2,599	0,296
201	0,064	2,642	0,298
475	0,087	2,654	0,320
975	0,114	2,559	0,329
2475	0,156	2,562	0,336

Tali risultati hanno trovato ulteriore riscontro nella consultazione della mappa interattiva della pericolosità sismica presente all'interno del sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, come evidenziato in **Figura 1** (come esempio si riporta la mappa di pericolosità sismica valutata per il tempo di ritorno $T_r = 50$ anni).

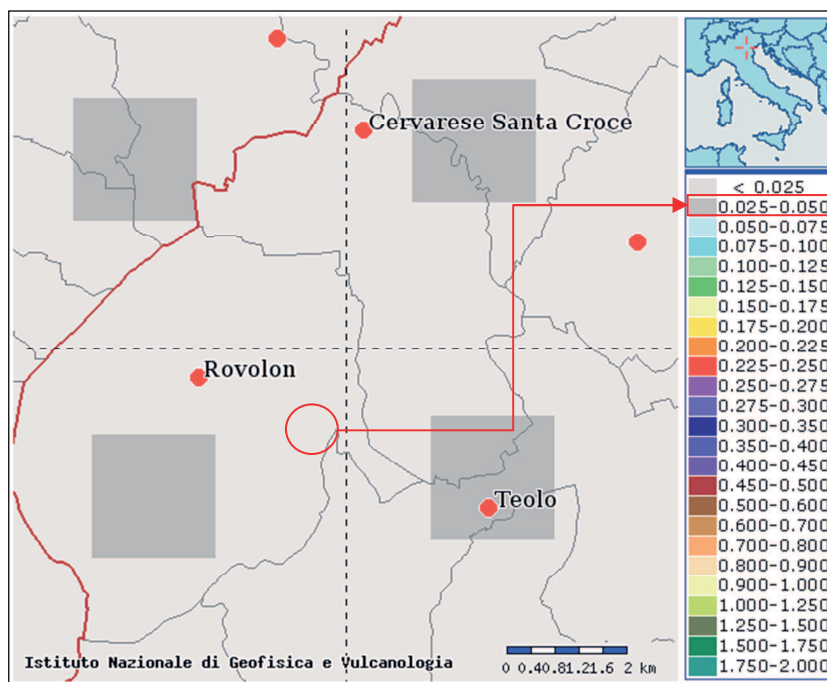


Figura 1 - Mappa della pericolosità sismica della zona in esame, valutata con tempo di ritorno di 50 anni

2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Per stabilire la strategia di progettazione è necessario definire la vita nominale V_N della costruzione ed il coefficiente d'uso c_u , vale a dire un valore assegnato a seconda dell'utilizzo della costruzione; nella presente elaborazione, a tali parametri sono stati assegnati i seguenti valori (cfr. Tabelle 2.4.I e 2.4.II delle N.T.C.):

vita nominale V_N	50 anni
classe d'uso	II
coefficiente d'uso c_u	1,0

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle N.T.C. tale lasso di tempo è denominato "periodo di riferimento", V_R , e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento", P_{VR} ; nel caso in esame V_R può essere assunto pari a 50 anni, mentre P_{VR} , in funzione dello Stato Limite scelto, assumerà i seguenti valori (cfr. Tabella 3.2.I delle N.T.C.):

SL (STATO LIMITE)		PVR (Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R)
SLE (STATO LIMITE DI ESERCIZIO)	SLO (Stato Limite Operativo)	81%
	SLD (Stato Limite di Danno)	63%
SLU (STATO LIMITE ULTIMO)	SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita)	10%
	SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso)	5%

Il tempo di ritorno, in funzione dello Stato Limite scelto, verrà calcolato attraverso la relazione:

$$T_R = \frac{-c_u V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Nel caso in esame, in funzione dello Stato Limite da considerare, si otterranno i seguenti tempi di ritorno T_R , ed i relativi valori di a_g , F_0 , T_c^* .

SL (STATO LIMITE)		T_R (anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLE (STATO LIMITE DI ESERCIZIO)	SLO (Stato Limite Operativo)	30	0,032	2,508	0,212
	SLD (Stato Limite di Danno)	50	0,038	2,545	0,255
SLU (STATO LIMITE ULTIMO)	SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita)	475	0,087	2,654	0,320
	SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso)	975	0,114	2,559	0,329

3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Per la valutazione della risposta sismica locale è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche e topografiche specifiche del sito in esame; la scelta della categoria di sottosuolo e della categoria topografica deve essere effettuata utilizzando le classificazioni esposte nelle tabelle 3.2.II e 3.2.IV delle N.T.C., di seguito riportate.

Categorie di sottosuolo (Tab 3.2.II N.T.C.)	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
Categorie aggiuntive di sottosuolo (Tab 3.2.III N.T.C.)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.
Categorie topografiche (Tab 3.2.IV N.T.C.)	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Ai fini del presente studio sono stati assunti i seguenti parametri:

Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T2
h/H (quota del sito/altezza rilievo topografico)	1

Tali categorie sono state utilizzate per implementare i calcoli presenti nella "Fase 3" del foglio di calcolo "Spettri-NTC ver.1.0.3", unitamente ai seguenti parametri (cfr. Par. 7.3.1 e 7.4.3.2 NTC):

Smorzamento ξ	5 %
Fattore di struttura q	1,5
Valore massimo del fattore di struttura q_0	3

In funzione dello Stato Limite considerato, sono stati ottenuti i seguenti coefficienti di amplificazione topografica (S_T), di amplificazione stratigrafica (S_S), di categoria di sottosuolo (C_C):

SPETTRO DI PROGETTO	SL (STATO LIMITE)	ST	SS	CC
Spettro di progetto inelastico	SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita)	1,200	1,200	1,382
	SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso)	1,200	1,200	1,374

I coefficienti così calcolati dovranno essere utilizzati per la determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione per le componenti orizzontali e per la componente verticale così come indicato nei paragrafi 3.2.3.2.1. e 3.2.3.2.2 delle N.T.C., calcolato mediante:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \frac{T_C}{T} \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g S \eta F_o \frac{T_C T_D}{T^2} \\
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g S \eta F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g S \eta F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g S \eta F_v \frac{T_C}{T} \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g S \eta F_v \frac{T_C T_D}{T^2}
 \end{aligned}$$

Spettro di risposta elastico in accelerazione per le componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione per la componente verticale

dove:

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ ;
 F_o e F_v sono i fattori che quantificano l'amplificazione spettrale massima;
 S è ottenuto dalla relazione: $S = S_s \times S_T$;
 T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
 T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
 T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

Il termine "liquefazione" denota una diminuzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata da un aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative, o persino l'annullamento degli sforzi efficaci del terreno. Il paragrafo

7.11.3.4.2 delle N.T.C. stabilisce che la verifica a liquefazione deve essere sempre eseguita, a meno che non si manifesti ALMENO UNA delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (cfr. figura seguente).

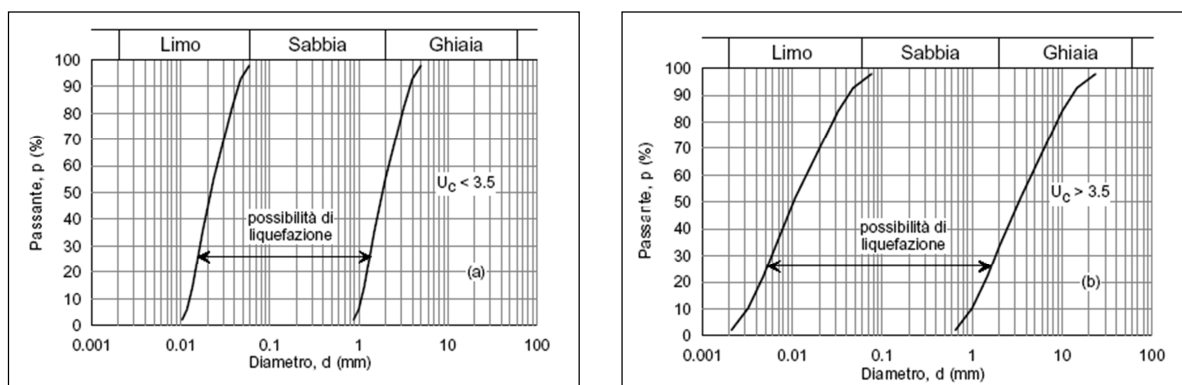


Figure 1.a – 1.b - Estratti dalle N.T.C. (figure 7.11.1(a) e 7.11.1(b))

Il paragrafo 7.11.3.4.3 delle N.T.C. stabilisce che, qualora nessuna delle condizioni riportate al paragrafo 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta, e qualora il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Nel caso in esame, la totale assenza di sabbie sciolte sature nel sottosuolo investigato permette di ritenere escludibile il rischio di liquefazione dei terreni a seguito di eventi sismici. La verifica di suscettibilità a liquefazione, pertanto, può essere omessa.

5. MODELLO GEOLOGICO GENERALE

5.1 Geologia e geomorfologia

Per l'inquadramento geologico e geomorfologico generale della zona di studio si è fatto uso della cartografia tecnica a disposizione della scrivente, riportata al **par. 2**. L'ambito geologico e geomorfologico a cui appartiene l'area è quello dei COLLI EUGANEI.

I Colli Euganei costituiscono un articolato gruppo collinare, interamente circondato dalla pianura. Si sono formati in conseguenza di due distinti cicli vulcanici di età e caratteristiche diverse. Le prime eruzioni, sia di tipo effusivo che esplosivo, sono iniziate nel corso dell'Eocene superiore, con colate sottomarine di lave basaltiche fluide che si sono riversate sul fondo del mare, mescolandosi ai sedimenti marnosi che si stavano depositando in quello stesso periodo. Tali colate sono state accompagnate anche dall'emissione di grandi quantità di prodotti piroclastici, costituiti da ceneri, lapilli, frammenti solidi grossolani, a volte vetrosi, di composizione basaltica.

Dopo un periodo di quiete, durato alcuni milioni di anni, l'attività vulcanica è ripresa nell'Oligocene inferiore con l'emissione di magmi vulcanici viscosi di composizione diversa dai precedenti; a questa seconda fase, che secondo le datazioni radiometriche si è sviluppata tra i 35 ed i 30 milioni di anni fa, è attribuibile la formazione dei corpi eruttivi riolitici, trachitici e latitici, che conferiscono al paesaggio euganeo caratteristiche peculiari, rendendoli ben distinguibili dai vicini rilievi Berici e Lessini.

Sotto il profilo geomorfologico il paesaggio euganeo è caratterizzato dalle forme spiccatamente coniche dei corpi eruttivi, accompagnate dai profili moderatamente ondulati delle formazioni sedimentarie, che generalmente si trovano adagiate ai margini dei corpi eruttivi stessi, collegandoli spesso tra loro e con la pianura. L'aspetto attuale è dovuto all'origine eruttiva dei rilievi, alla grande varietà di fenomeni geologici e di tipi di rocce presenti, nonché all'azione modellatrice della gravità e degli agenti esogeni.

L'azione morfologica della gravità è continua e si manifesta principalmente attraverso frane e smottamenti diffusi su tutta l'area. Le rocce rigide e compatte sono soggette a frane di crollo in blocco, mentre le coltri di alterazione, i depositi di detrito e le rocce più plastiche, come le marne ed i tufi, sono soggetti invece a smottamenti, in genere lenti. L'azione morfologica degli agenti esogeni si esprime attraverso meccanismi di erosione ed alterazione delle rocce, trasporto ed accumulo di frammenti, agendo in modo selettivo aggredendo maggiormente le rocce meno compatte e più tenere (rocce sedimentarie e piroclastiche) e mettendo in risalto le rocce più dure e resistenti (rocce eruttive).

STRATIGRAFIA

Le tipologie delle rocce e delle coperture detritiche presenti nell'area indagata sono state di recente riclassificate tramite il progetto CARG (CARTografia Geologica), il quale prevede la realizzazione dei 652 fogli geologici e geotematici alla scala 1:50.000 per la copertura dell'intero territorio nazionale. La disamina della cartografia geologica (cfr. estratto in **Figura 2**) riporta la presenza, nell'area di indagine, delle seguenti formazioni rocciose e coperture quaternarie:

- A. formazioni sedimentarie di ambiente bacinale
- B. formazioni vulcaniche
- C. depositi quaternari.

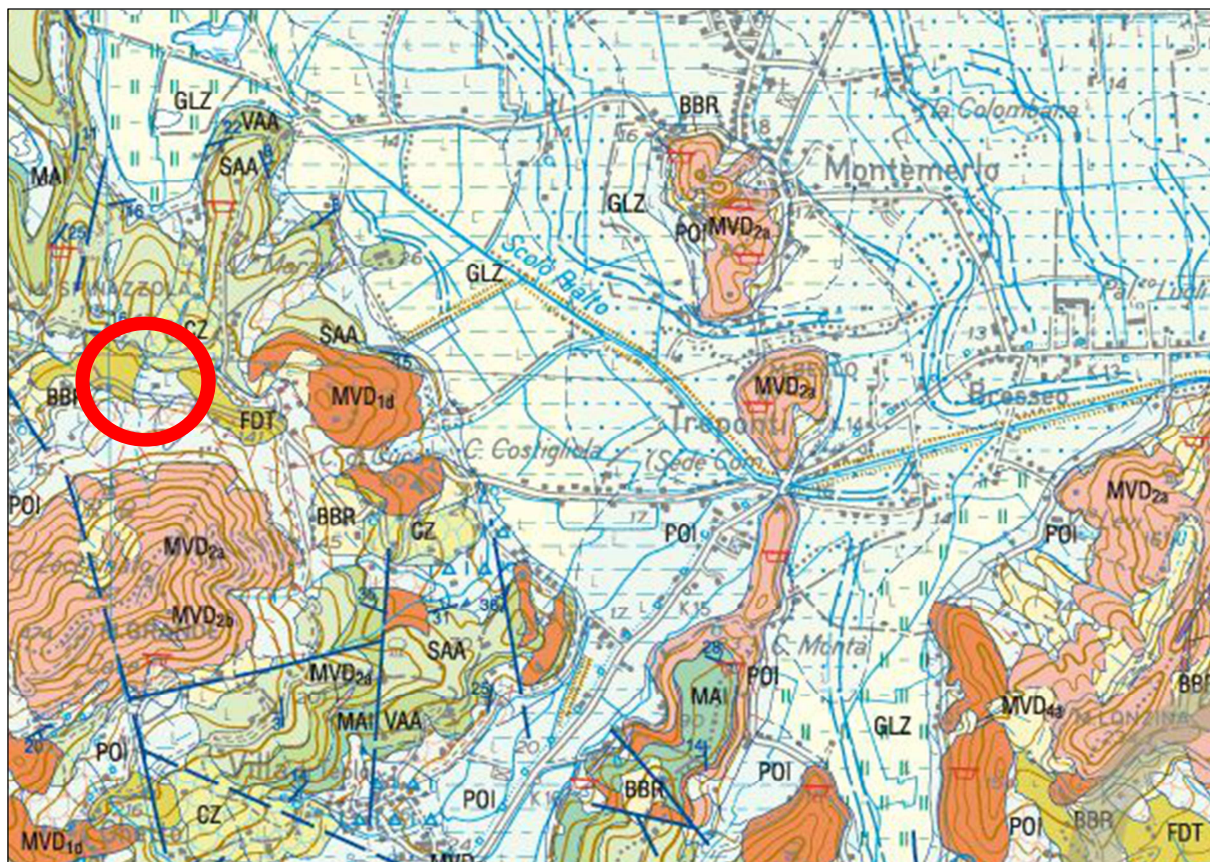


Figura 2- Estratto dalla Carta geologica d'Italia Progetto CARG (Foglio n. 147 Padova Sud)

A. Formazione sedimentarie di ambiente bacinale

La serie delle rocce sedimentarie di ambiente bacinale affioranti negli Euganei è costituita da una successione quasi continua di formazioni calcaree e calcareo-marnose, il cui termine più antico è rappresentato dal *Rosso Ammonitico* del Giurassico superiore, mentre il termine più recente è rappresentato dalle *Marne Euganee* (recentemente riclassificate come *Formazione di Torreglia* – progetto CARG) dell'Eocene-Oligocene inferiore. Nell'Oligocene inferiore, infatti, gli eventi legati al secondo ciclo eruttivo euganeo hanno portato, con ogni probabilità, ad un sollevamento generale dell'area ed alla fine della sedimentazione marina; sugli Euganei, pertanto, non affiorano rocce sedimentarie più recenti. Di seguito si riporta la descrizione delle formazioni sedimentarie presenti nell'area di indagine.

- *Formazione di Torreglia (Marne Euganee)*

Marne e marne argillose, grigio chiare e nocciola, talora con intercalazioni di calcari marnosi ed argille calcaree, a stratificazione indistinta. Localmente presentano sottili intercalazioni di tuffi e di calcari a macroforaminiferi risedimentati. Limite inferiore graduale con Scaglia Rossa; spessore medio di circa 40 m. Tale formazione ricopre l'intervallo stratigrafico tra il l'Eocene superiore e l'Oligocene inferiore (tra il Luteziano ed il Rupeliano).

- *Scaglia rossa*

Calcari debolmente marnosi rossastri o rosati, talora biancastri soprattutto nella parte inferiore (Euganei meridionali), fittamente stratificati, con noduli di selce grigia e rossa. Limite inferiore graduale con *Scaglia Variegata Alpina*, limite superiore graduale con *Formazione di Torreglia (Marne Euganee)*. Spessore variabile

da circa 80 a circa 130 m Tale formazione ricopre l'intervallo stratigrafico tra il Cretaceo superiore e l'Eocene inferiore (tra il Turoniano P.P. ed il Luteziano).

B. Formazioni vulcaniche

I litotipi vulcanici più rappresentativi presenti negli Euganei sono costituiti dalle rioliti e dalle trachiti ed in minor misura dalle latiti e dai basalti; si tratta pertanto di una gamma di rocce eruttive, unica nel suo genere, che va dalle più ricche in silice (SiO_2), come le rioliti, alle più povere in silice e ricche in ferro-magnesio come i basalti. L'età a cui risalgono è più recente di quella delle formazioni sedimentarie, attestandosi all'Oligocene ed Eocene. La recente riclassificazione della geologia proposta dal progetto CARG riunisce tutti i litotipi vulcanici dell'area euganea in due Formazioni relative al primo e al secondo ciclo vulcanico, denominate rispettivamente *Formazione di Castelnuovo di Teolo* e *Formazione del Monte Venda*. La singola Formazione viene successivamente suddivisa in Membri con i quali sono stati cartografati i prodotti legati alle diverse tipologie magmatiche. Si riportano di seguito le tipologie di rocce vulcaniche affioranti nell'area esaminata.

- *Formazione del Monte Venda – Membro di Montemerlo (MVD_{2a} e MVD_{2b})*

Trachiti e quarzotrachiti in corpi subvulcanici (MVD_{2a}) e filoniani (MVD_{2b}), costituite da rocce di colore grigio, a tessitura porfirica e grado variabile di porfiricità, con fenocristalli chiari di feldspati e neri, lucenti, di pirosseni ed anfiboli oppure di biotite (Oligocene Inferiore).

C. Depositi quaternari

I terreni più recenti presenti sui Colli Euganei sono rappresentati da detriti di età quaternaria, che provengono dal disfacimento e dall'accumulo di materiale per opera degli agenti esogeni e di fenomeni gravitativi. Tali detriti, praticamente riscontrabili in maniera ubiquitaria sugli Euganei, nell'area di studio sono rappresentati essenzialmente da detrito di versante e materiali eluvio colluviali.

- *Detrito di versante*

È un detrito di natura gravitativa, che si genera dal disgregamento di rocce a monte, per opera degli agenti esogeni e dei cicli gelo-disgelo, depositandosi poi verso valle, con una potenziale capacità di movimento verso il basso finché non raggiunge un equilibrio con la superficie topografica. Generalmente tale detrito ha natura grossolana, con clasti spigolosi, ed è caratterizzato da una permeabilità media per porosità.

- *Materiali eluvio colluviali*

Sono materiali a granulometria fine, generalmente limoso – argillosa generati dall'accumulo di materiale proveniente dall'alterazione meteorica superficiale dei detriti di versante o delle rocce presenti, trasportato poi verso valle ad opera delle acque di ruscellamento. I materiali eluvio colluviali sono presenti pressoché ovunque sui Colli Euganei, soprattutto nelle zone dove l'inclinazione topografica non supera i 20-25°. Essi sono i principali responsabili degli smottamenti presenti nell'area collinare, in quanto possono imbibirsi a causa dell'infiltrazione meteorica e per questo diventare instabili, anche per spessori limitati (1.5 – 2.0 m).

Per quanto riguarda la classificazione proposta dal CARG, l'area in esame si trova su depositi quaternari di tipo eluvio-colluviale che rientrano nel *Sintema del Po (indistinto)*; limo sabbioso-argilloso con ghiaia, talora debolmente stratificato, diamicton a supporto di matrice, con clasti di provenienza locale.

L'area di intervento risulta posta su depositi quaternari di natura eluvio colluviale, a cui soggiacciono le marne argillose della *Formazione di Torreglia* e i calcari della *Formazione della Scaglia Rossa*. Le *trachiti* della

Formazione del Monte Venda – Membro di Montemerlo (MVD_{2a} e MVD_{2b}) affiorano invece lungo il settore Sud, a monte dell'area indagata.

TETTONICA

Dal punto di vista tettonico, la direzione delle faglie principali nei Colli Euganei è riconducibile a due direttrici strutturali:

1. la *faglia Schio-Vicenza* (faglia transtensiva sinistra), che con orientazione NNO-SSE delimita con evidente risalto morfologico, il blocco Lessini-Berici-Euganei, ribassando tettonicamente la parte di pianura, che è la terminazione occidentale dell'avanfossa del Sudalpino;
2. la *linea della Riviera dei Berici*, una faglia sepolta con direzione NE-SO, coniugata della linea Schio-Vicenza; essa separa i Colli Euganei da quelli Berici.

È inoltre presente un complesso sistema di faglie normali sub-verticali, che si presenta con giacitura approssimativamente radiale rispetto ai corpi eruttivi, associabile all'attività distensiva connessa al magmatismo paleogenico, che ha deformato le coperture sedimentarie preesistenti.

In particolare, nell'area di studio, sia la Carta Geologica del Colli Euganei (cfr. **Allegato 1**), sia la più recente Carta Geologica del Progetto CARG – Foglio n. 147 Padova Sud (cfr. **Figura 2**), non mostrano la presenza di faglie o altre dislocazioni tettoniche di carattere principale.

Nel sito in esame non è stata rilevata la presenza di faglie o altre dislocazioni di carattere strutturale e/o tettonico, che possono essere considerate significative ai fini del presente studio.

FRANOSITÀ

Per quanto attiene alla franosità della zona, la Carta della Franosità dei Colli Euganei (cfr. **Allegato 2**) indica che l'area di studio:

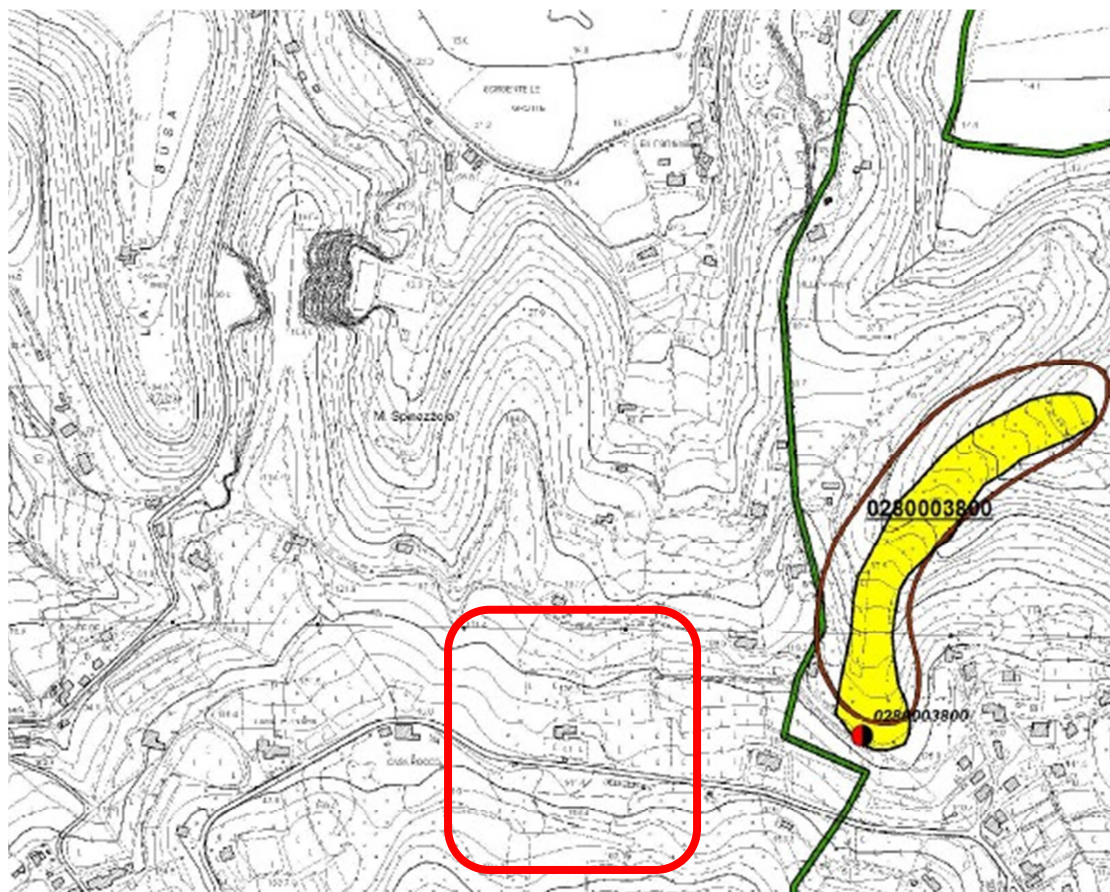
- ricade in classe di franosità *alta*
- non è coinvolta in movimenti gravitativi attivi o quiescenti.

La presenza però di coltri eluvio-colluviali di natura limoso - argillose a bassa permeabilità e le inclinazioni modeste (20-25°) del versante possono creare, nei periodi piovosi, delle falde sospese localmente che possono attestarsi nella fascia ipodermica del sottosuolo. Queste sono in grado di imbibire il terreno al punto che le proprietà geotecniche vengono meno, diventando il fattore scatenante degli smottamenti presenti.

L'analisi della *Carta della Pericolosità Geologica del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta - Bacchiglione* (febbraio 2012 – cfr. **Figura 3**), indica che l'area:

- non risulta perimetrata in classi di pericolosità geologica
- non risulta interessata da fenomeni o dissesti franosi cartografati in ambito dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia da ISPRA (progetto IFFI). La cartografia deve ancora essere aggiornata.

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA



PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I.

Perimetrazione e classi di pericolosità geologica

- P1 - Pericolosità geologica moderata
- P2 - Pericolosità geologica media
- P3 - Pericolosità geologica elevata
- P4 - Pericolosità geologica molto elevata

0930062200A Codice identificativo della perimetrazione geologica P.A.I. ad esclusione delle colate rapide

0930062200A-CR Codice identificativo della perimetrazione geologica P.A.I. relativo alle sole colate rapide

■ **Indicazione delle zone di pericolosità e di attenzione idraulica***
* cfr. cartografia idraulica

OPERE DI DIFESA

— Opere di difesa a sviluppo lineare

LIMITI AMMINISTRATIVI

- Limite Comunale
- Limite Regionale
- Limite di Bacino

ZONE DI ATTENZIONE GEOLOGICA

QUADRO CONOSCITIVO COMPLEMENTARE AL P.A.I. PROVENIENTE DA FONTI INFORMATIVE DIVERSE

Dissesti franosi recenti - fonte informativa Autorità di Bacino Alto Adriatico

- ★ Localizzazione indicativa dissesto franoso recente non delimitato
- Dissesto franoso delimitato

Dissesti franosi recenti - fonte informativa Regione del Veneto / Province

- ▲ Localizzazione dissesto franoso recente non delimitato

Banca dati I.F.F.I. - Inventario dei fenomeni franosi in Italia

- Localizzazione dissesto franoso non delimitato
- Dissesto franoso delimitato

0930062200 Codice identificativo dei dissesti franosi I.F.F.I.

Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale - P.T.C.P.

- Localizzazione dissesto franoso non delimitato
- Dissesto franoso delimitato
- Indicazione o schematizzazione di un elemento geomorfologico connesso a fenomeni di instabilità

Figura 3 - Carta della pericolosità geologica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Brenta – Bacchiglione

PEDOLOGIA

I suoli sono il risultato delle trasformazioni del materiale di partenza (roccia, sedimenti fluviali, depositi colluviali) da parte di molteplici fattori ambientali come il clima, gli organismi viventi, il rilievo, la roccia madre, il tempo e altri fattori locali. Vengono di seguito esposte anche le caratteristiche dei suoli presenti nell'area di indagine, per la descrizione dei quali si è fatto uso della Carta dei Suoli del Veneto (A.R.P.A. Veneto, 2013), alla scala 1:50.000 (cfr. **Figura 4**). La zona di intervento è classificata secondo quanto riportato nella seguente tabella.

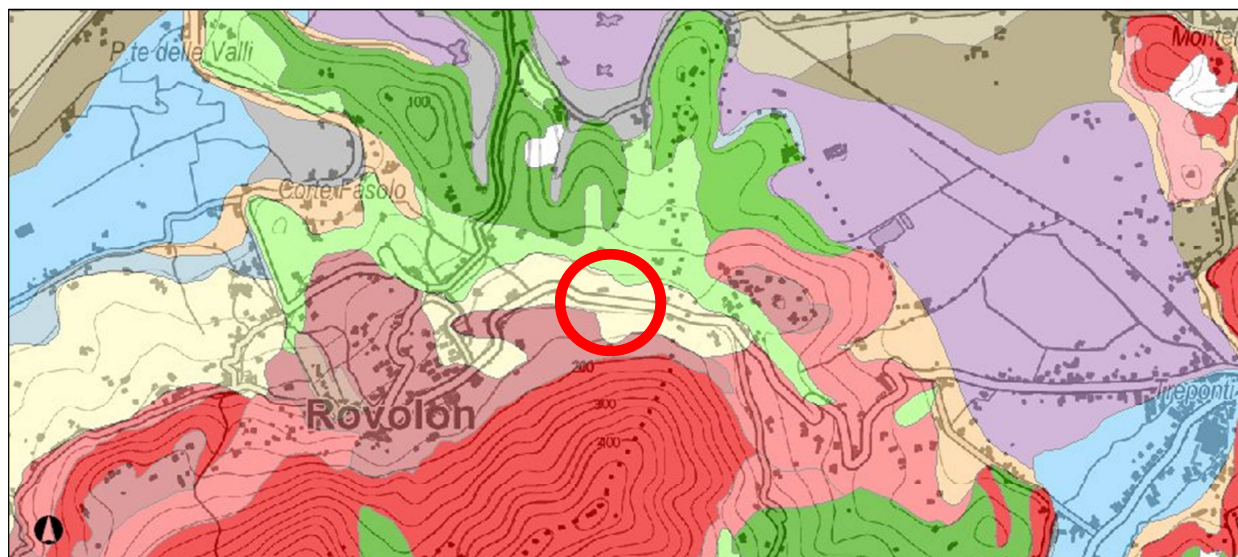


Figura 4 – Estratto Carta dei Suoli del Veneto (ARPAV, 2013)

Distretto di paesaggio: H – Rilievi collinari su rocce carbonatiche.		
Sovraunità di paesaggio: H5 - Rilievi collinari ad alta energia del rilievo su calcari marnosi (Biancone e Scaglia Rossa), con suoli sottili sui versanti più ripidi e suoli profondi, fortemente decarbonatati e con accumulo di argilla sulle superfici più stabili.		
Unità di paesaggio: H5.4 - Versanti da molto inclinati a moderatamente ripidi (con pendenza compresa tra 10 e 30%), prevalentemente coltivati e spesso terrazzati per agevolare la coltivazione della vite.		
Unità cartografica: PIV1		
Tipo di unità cartografica: Consociazione		
PIV1	Suoli: Pivare, franco argillosi, scarsamente ghiaiosi, a pendenza compresa tra 10 e 30%, coltivati USDA: Typic Eutrudepts fine-loamy, mixed, mesic WRB: Endoleptic Cambisols (Calcaric, Humic, Endosiltic)	Suoli a profilo Ap-Bw-R, da moderatamente profondi a profondi, tessitura da moderatamente fine in superficie a media in profondità, scheletro comune, da estremamente calcarei in superficie a molto calcarei in profondità, alcalini, drenaggio buono. Capacità d'uso: IIIse
Distretto di paesaggio: H – Rilievi collinari su rocce carbonatiche.		
Sovraunità di paesaggio: H4 - Rilievi collinari a bassa energia del rilievo su marne calcaree, con suoli moderatamente profondi e a moderata differenziazione del profilo.		
Unità di paesaggio: H4.5 - Versanti da moderatamente ripidi a ripidi (con pendenze comprese tra 15 e 40%), su marne calcaree, prevalentemente coltivati o a prato e secondariamente boscati.		
Unità cartografica: CDN3/SLC3		
Tipo di unità cartografica: Complesso		

CDN3	Suoli: Casa dei Noni, franco argillosi, a pendenza superiore al 20%, a tipo climatico da umido a subumido USDA: Typic Eutrudepts fine, mixed, mesic WRB: Haplic Cambisols (Calcaric, Humic, Hypereutric, Endosiltic)	Suoli a profilo Ap-Bw-C(r)-R, profondi, tessitura moderatamente fine in superficie, fine nel substrato, scheletro scarso o assente, moderatamente calcarei in superficie, fortemente calcarei in profondità, alcalini, drenaggio da buono a mediocre. Capacità d'uso: IIIe
SLC3	Suoli: Santa Lucia, franco argillosi, a pendenza superiore al 20%, a tipo climatico da umido a subumido USDA: Oxyaquic Eutrudepts fine, mixed, mesic WRB: Endogleyic Calcisols (Endosiltic)	Suoli a profilo Ap-Bw-Bkg-C(r), profondi, tessitura moderatamente fine, scheletro assente, molto calcarei in superficie, estremamente calcarei in profondità, alcalini, con accumulo di carbonati in profondità, drenaggio mediocre. Capacità d'uso: IIIe

Distretto di paesaggio: E – Rilievi collinari su rocce silicatiche.		
Sovraunità di paesaggio: E1 - Rilievi collinari ad alta energia del rilievo su rioliti e trachiti, con suoli a reazione acida.		
Unità di paesaggio: E1.4 - Versanti da molto inclinati a ripidi (con pendenza compresa tra 10 e 45%), fortemente rimaneggiati per la costruzione di terrazzi, vitati.		
Unità cartografica: CTN1/VLD1		
Tipo di unità cartografica: Complesso		
CTN1	Suoli: Case Tonido, franchi, scarsamente ghiaiosi, a pendenza compresa tra 15 e 40%, coltivati USDA: Inceptic Hapludalfs fine-loamy, mixed, mesic WRB: Cutanic Luvisols (Hypereutric)	Suoli a profilo Ap-Bt-BC-R, da profondi a moderatamente profondi, tessitura media, scheletro comune, non calcarei, neutri, saturazione molto alta, drenaggio buono. Capacità d'uso: IIIe
VLD1	Suoli: Valdimandria, franco argillosi, scarsamente ghiaiosi, a pendenza superiore al 10%, coltivati USDA: Typic Hapludalfs fine, mixed, mesic WRB: Cutanic Luvisols (Hypereutric)	Suoli a profilo A-Bt, da profondi a molto profondi, tessitura moderatamente fine, scheletro scarso in superficie e comune in profondità, non calcarei, neutri, subacidi in profondità, saturazione molto alta, drenaggio buono. Capacità d'uso: IIIe

5.2 Analisi dell'assetto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico la situazione presente in sito risulta piuttosto complessa: il substrato roccioso, costituito dalla formazione della Scaglia Rossa e dalla Formazione di Torreglia, costituisce una base a modesta permeabilità per fratturazione per la circolazione idrica sotterranea, sopra la quale si sovrappone una sequenza di livelli più o meno permeabili a seconda del contenuto di materiali fini (limi e argille).

Si assiste, pertanto, alla presenza di più corpi acquiferi che si possono sovrapporre ed interdigitare con *aquiclude* ed acquitardi; data la morfologia collinare della zona, tale situazione può portare alla genesi di falde anche in lieve pressione.

I livelli limoso-argillosi, inoltre, non godono di continuità nel sottosuolo e quindi possono creare dei corpi acquiferi sospesi, limitati dimensionalmente, caratterizzati dalla presenza di acqua solamente in periodi limitati di tempo, corrispondenti ad eventi piovosi anche di modesta entità ma durevoli nel tempo.

Per quanto concerne la circolazione idrica sotterranea, si può pertanto ipotizzare la presenza della falda vera e propria solo a parecchi metri di profondità, sostenuta dal substrato roccioso. Le peculiarità geologiche e geomorfologiche della zona, fanno propendere per un gradiente idraulico concorde con quello topografico.

Nei periodi piovosi di una certa durata, invece, si possono creare delle falde sospese che possono attestarsi, a causa della presenza dei materiali eluvio colluviali, anche a pochi decimetri dal piano campagna; queste repentine risalite dell'acqua all'interno della fascia di sottosuolo ipodermica, in grado di imbibire il terreno inficiandone le proprietà geotecniche, rappresentano le cause scatenanti degli smottamenti presenti nella zona di studio.

Scendendo nel dettaglio dell'area di studio, dal punto di vista idrogeologico la situazione presente risulta piuttosto complessa: il circuito idrico sotterraneo risente del regime delle precipitazioni, che sono la principale fonte di ricarica del bacino idrogeologico a monte dell'area di intervento.

Durante gli eventi meteorici una quota parte dell'acqua ruscella velocemente alla base dei versanti, facilitata anche dall'acclività di quest'ultimi. La rimanente quantità di acqua, data la presenza nell'area di una copertura detritica negli strati più superficiali del sottosuolo, può creare l'insorgenza all'interno di tali depositi di una falda acquifera a carattere effimero; il resto continua ad infiltrarsi in profondità, andando ad alimentare le falde profonde in roccia (cfr. **Figura 5**).

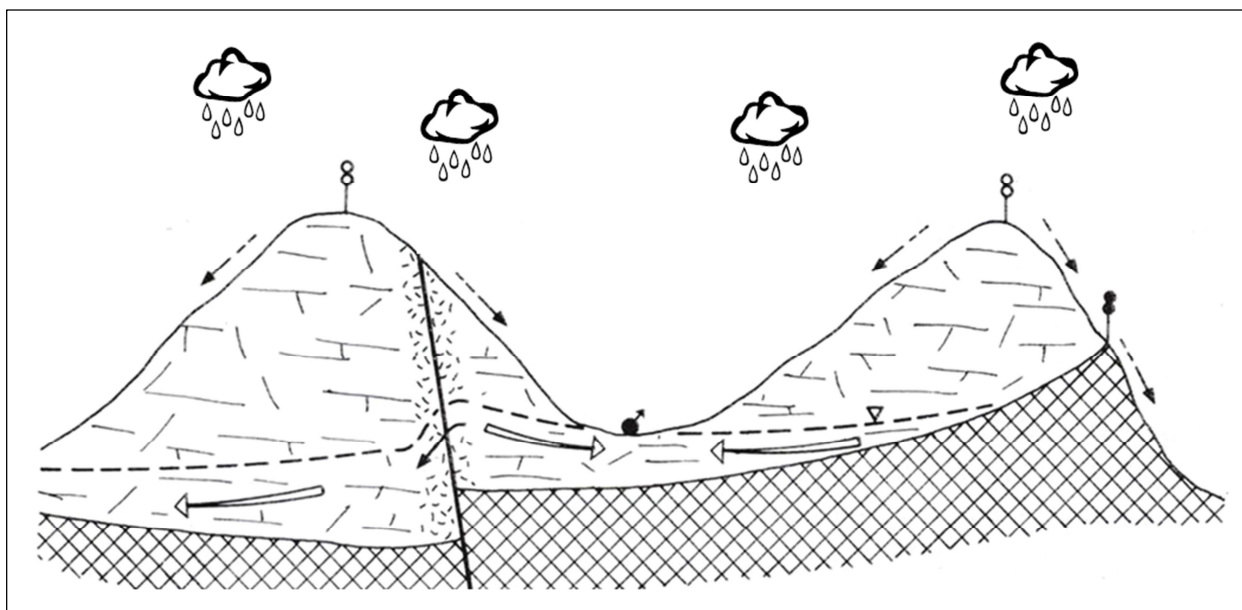


Figura 5 – Schema esemplificativo di un acquifero in ammasso roccioso e del suo assetto idrogeologico influenzato da caratteri geologici e strutturali

5.3 Analisi dell'assetto idrografico

La perimetrazione dei bacini idrografici e dei principali sottobacini del Veneto, coerentemente col Piano di Tutela delle Acque, prevede una suddivisione univoca del territorio, priva di sovrapposizioni od aree incerte, in unità idrografiche da utilizzare per la tutela dei corpi idrici. L'area in esame rientra all'interno del bacino N003/02 – *Brenta: Agno – Guà – Fratta – Gorzone* (cfr. **Figura 6**).

Più in particolare, l'idrografia del complesso euganeo è fortemente condizionata dai caratteri geologici e strutturali precedentemente descritti. L'estensione limitata dell'area collinare, la modesta elevazione del rilievo e l'età relativamente recente dello stesso, influenzano la rete idrografica che, di fatto, si trova ancora allo stato embrionale. I corsi d'acqua a regime permanente che traggono origine dal rilievo sono pressoché assenti e, quando presenti, hanno carattere torrentizio, con portate idriche modeste fortemente influenzate dal regime pluviometrico.

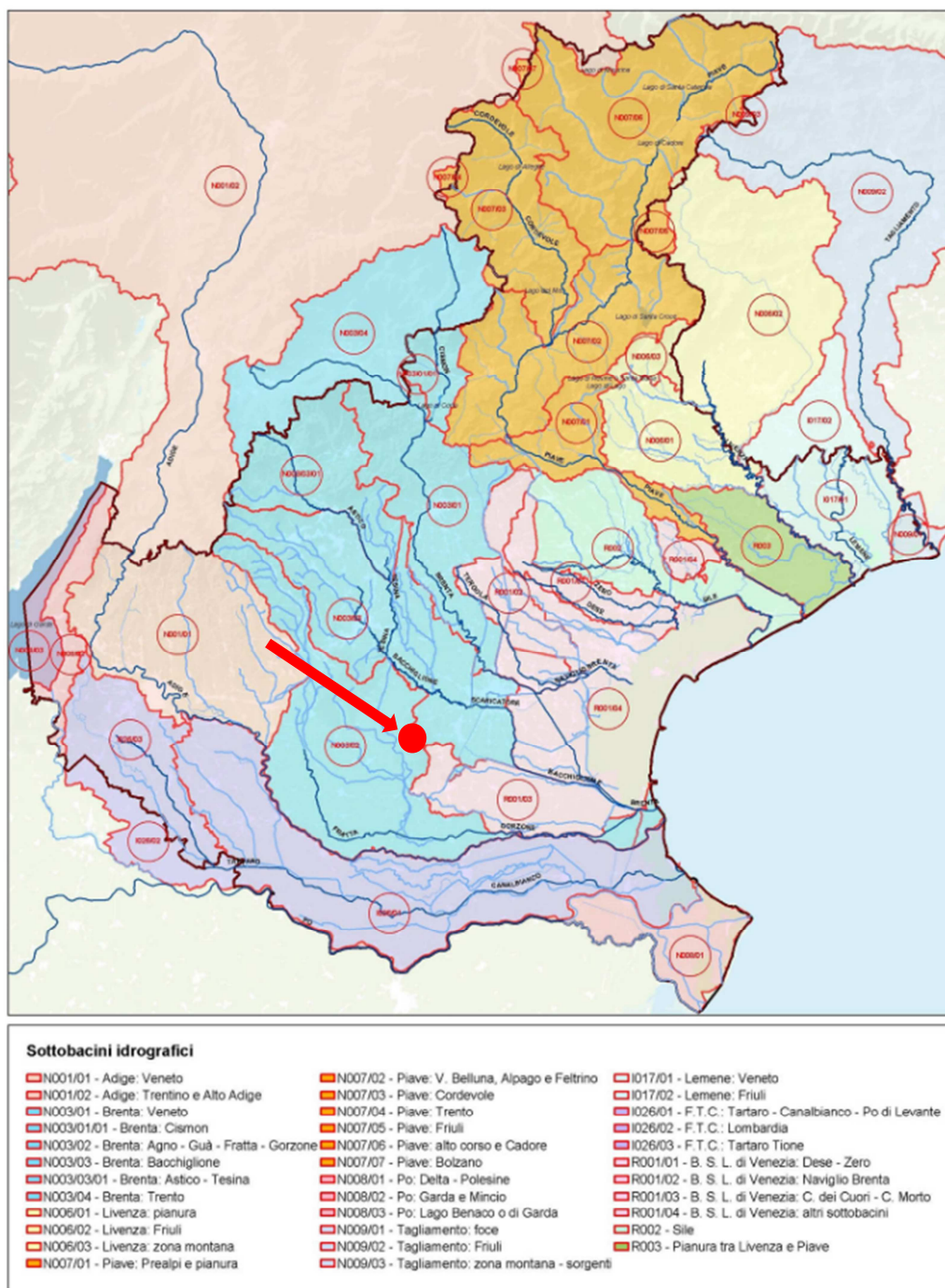


Figura 6 – Carta dei Bacini e dei Sotto Bacini Idrografici del Veneto (ARPAV)

In generale l'area si presenta quasi priva di corsi d'acqua superficiali, perciò il drenaggio si esplica essenzialmente attraverso forme di ruscellamento superficiale, sia concentrato che diffuso. Le forme di drenaggio concentrato quali vallecicole a "V" e solchi da ruscellamento, in particolare, che localmente vengono identificati con il nome di "calti", si presentano asciutti per la maggior parte dell'anno e vengono percorsi dalle acque solo in concomitanza di eventi meteorici di una certa intensità.

Per questo motivo, non esistendo una vera e propria rete idrografica nell'area di studio, al fine di individuare le caratteristiche morfologiche di dettaglio del bacino imbrifero di appartenenza dell'area in esame è stata condotta un'analisi mediante metodologia *Geographic Information System* (GIS). Utilizzando come input un Modello di Elevazione del Terreno (DTM), attraverso gli algoritmi disponibili, è stato possibile effettuare un'analisi territoriale approfondita e ottenere un'indicazione sulle direzioni preferenziali del deflusso idrico e la perimetrazione dei bacini idrografici. L'elaborazione è stata eseguita a partire dai DTM, con dimensione di cella di 5x5 m, scaricati dal Geoportale della Regione Veneto.

La zona di dissesto oggetto del presente studio appartiene ad un bacino idrografico, di dimensioni di circa 570.000 m², che si sviluppa dalle pendici settentrionali del Monte Grande, fino ad arrivare in prossimità di Via Rialto, nei pressi del Golf Club (cfr. **Figura 7**), dove è ubicata la sezione di chiusura.

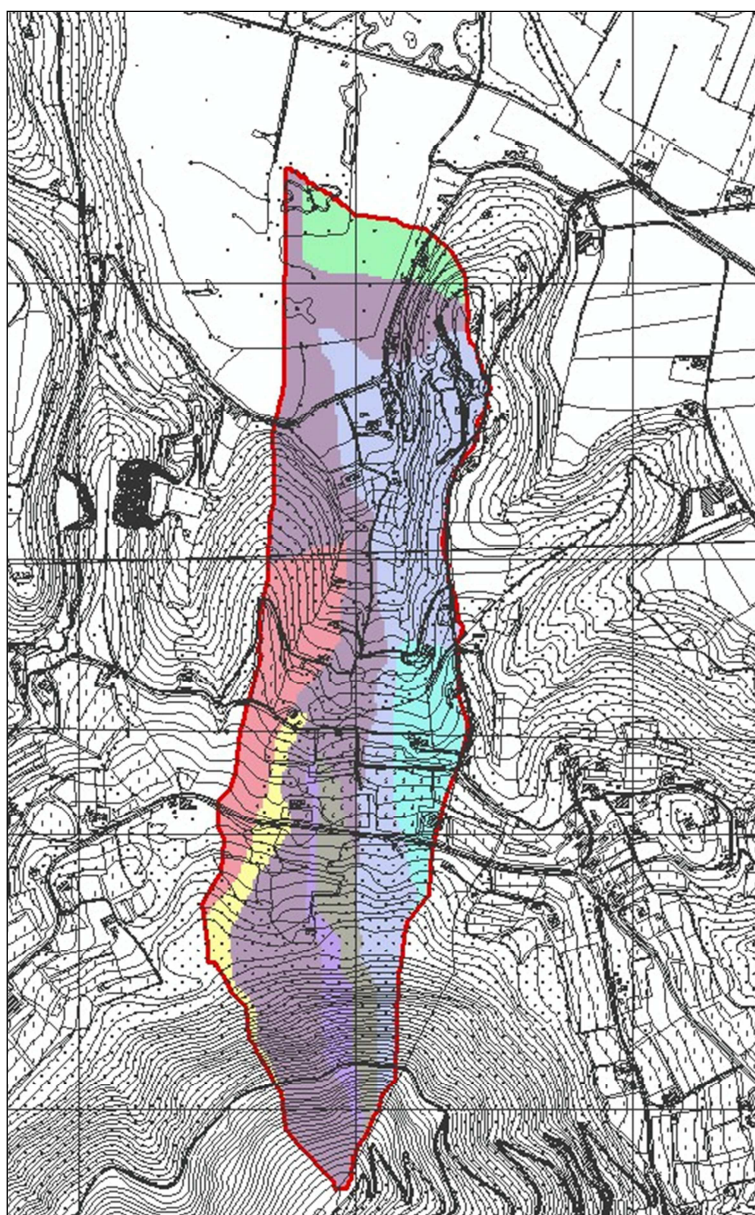


Figura 7 – Bacino idrografico dell'area settentrionale del Monte Grande, in cui si trova la zona in dissesto oggetto del presente studio. I colori individuano i diversi sottobacini

Nel complesso l'area si presenta priva di corsi d'acqua superficiali, perciò il drenaggio si esplica essenzialmente attraverso forme di ruscellamento superficiale diffuso.

L'area in esame è idrograficamente contraddistinta dalla generale mancanza di linee preferenziali di drenaggio per le acque meteoriche e di ruscellamento, le quali si sono aperte solchi di scorrimento più o meno definiti; si riscontra soltanto la presenza di un unico impluvio naturale, rinforzato da argini artificiali, posto ad W dell'area di indagine, che però non gode di continuità né verso monte, né verso valle.

Scendendo nel particolare dell'area di dissesto, la conformazione morfologica a monte della SP. n. 77 è tale da rappresentare un bacino imbrifero di estensione di circa 172.000 m² (cfr. **Figura 8**), che però non è dotato di collettore idrico o di asta fluviale di scarico; le acque di ruscellamento, pertanto, possono concorrere ad alimentare il deflusso sotterraneo, che è il principale responsabile dei fenomeni di dissesto verificatisi nella zona.

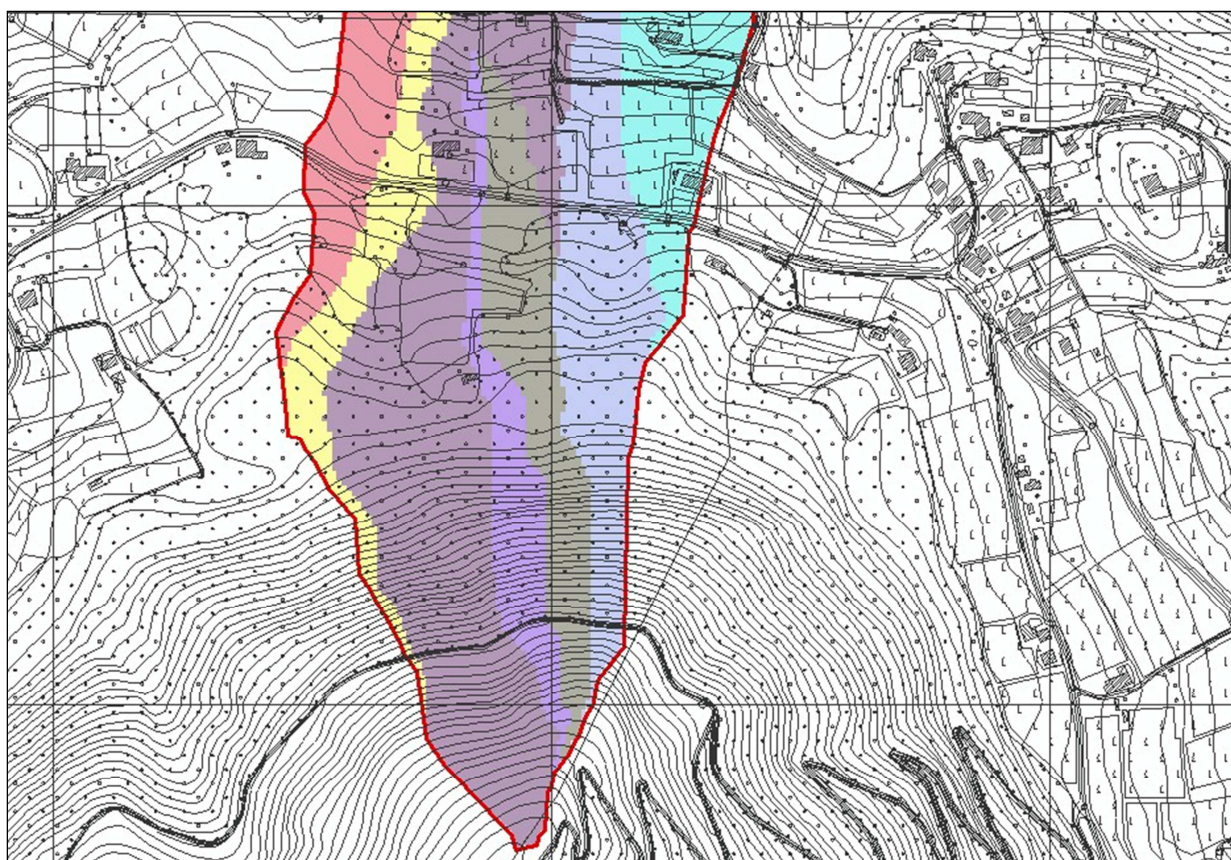


Figura 8 – Bacino idrografico a monte della SP. n. 77

La strada SP n. 77 funge inoltre da barriera alla circolazione idrica verso valle, in quanto le acque di ruscellamento, una volta arrivate al fossato presente sul suo bordo verso monte, non sono efficacemente smaltite mediante le n. 3 tubazioni poste al di sotto del rilevato stradale, tendendo pertanto ad infiltrare nel sottosuolo e creando fenomeni di instabilità.

L'analisi della situazione relativa al deflusso delle acque a valle della SP n. 77 ha permesso di riscontrare forti criticità, legate essenzialmente a due motivi principali:

- quasi totale assenza di linee di scorrimento;
- modificazione antropica dei solchi di ruscellamento (es. intubazione, deviazione, rimpicciolimento alveo), con presenza di strutture abitative nelle immediate vicinanze degli stessi.

6. DESCRIZIONE DEI FENOMENI DI DISSESTO

6.1 Tipologia dei fenomeni di dissesto

I sopralluoghi effettuati dalla scrivente nel dicembre 2014 - gennaio 2015 e nel corso della progettazione definitiva - esecutiva hanno permesso di identificare in dettaglio l'area di dissesto, la quale è rappresentata da una serie di soliflussi e di piccoli smottamenti, con carattere rotazionale, che hanno coinvolto una zona con un'estensione areale di circa 35.000 – 40.000 m² (cfr. **Figura 9**).



Figura 9 - Immagine satellitare dell'area in cui sono presenti fenomeni di dissesto (ripresa verso S).

Il rilievo geologico, condotto nella zona nel corso dei numerosi sopralluoghi, ha permesso di appurare la presenza di tipici fenomeni dovuti a movimenti gravitativi generali di versante, contraddistinti da:

- una serie di smottamenti superficiali ortogonali alla massima pendenza, localizzati circa 40 m a monte della SP n. 77;
- un notevole numero di rigonfiamenti ed avvallamenti nel terreno più o meno diffusi in tutta l'area sia a monte, sia a valle della SP n. 77.

È difficile stimare i rapporti reciproci tra tipologie di dissesto, ma dall'analisi condotta è scaturito che la porzione a valle della SP n. 77 è interessata da fenomeni maggiormente riconducibili a soliflussi, mentre, sulla parte a monte, i fenomeni di carattere superficiale di soliflusso sono parzialmente frammisti a movimenti con carattere rotazionale, comunque non profondi, a causa dell'arretramento del ciglio di un piccolo salto morfologico con dislivello di circa 10-15 m (cfr. **Figura 10-Figura 11 e Figura 12**).

Tale salto morfologico potrebbe essere il coronamento di una *deformazione gravitativa profonda di versante*, o **DGPV**, potenzialmente quiescente, che coinvolgerebbe il versante fino all'altezza dell'agriturismo posto a valle della SP n. 77, caratterizzata da un movimento molto lento, impostato al tetto del substrato roccioso (il che giustificerebbe i dati di spostamento misurati con gli inclinometri – cfr. **par. 0**); in ogni caso questa ipotesi richiederebbe tempi di osservazione molto lunghi e, se anche fosse veritiera, non sarebbe la causa dei fenomeni di dissesto verificatisi nel febbraio 2014, che hanno carattere essenzialmente superficiale.



Figura 10 - Particolare degli smottamenti a monte della SP n. 77, dovuti all'arretramento del ciglio della scarpata morfologica (situazione al dicembre 2014).



Figura 11 - Particolare degli smottamenti a monte della SP n. 77, dovuti all'arretramento del ciglio della scarpata morfologica (situazione al dicembre 2014).



Figura 12- Panoramica della zona con dissesti di carattere rotazionale e dell'area di soliflusso a monte della SP n. 77.

Il dissesto, che ha coinvolto la SP n. 77, nel suo tratto maggiormente danneggiato (progressiva intorno alla 0+900 km) assume un carattere di colata di materiale limoso-argilloso, con lunghezza di circa 100 m e larghezza di circa 15 m; il coronamento coincide con la strada, mentre il corpo di frana si sviluppa sull'appezzamento privato posto a valle della stessa (cfr. **Figura 13-Figura 14 e Figura 15**).



Figura 13 – Particolare del rigonfiamento laterale della frana di colata a valle della SP n. 77 (situazione al dicembre 2014).



Figura 14 – Particolare del rigonfiamento laterale della frana di colata a valle della SP n. 77 (situazione al dicembre 2014).

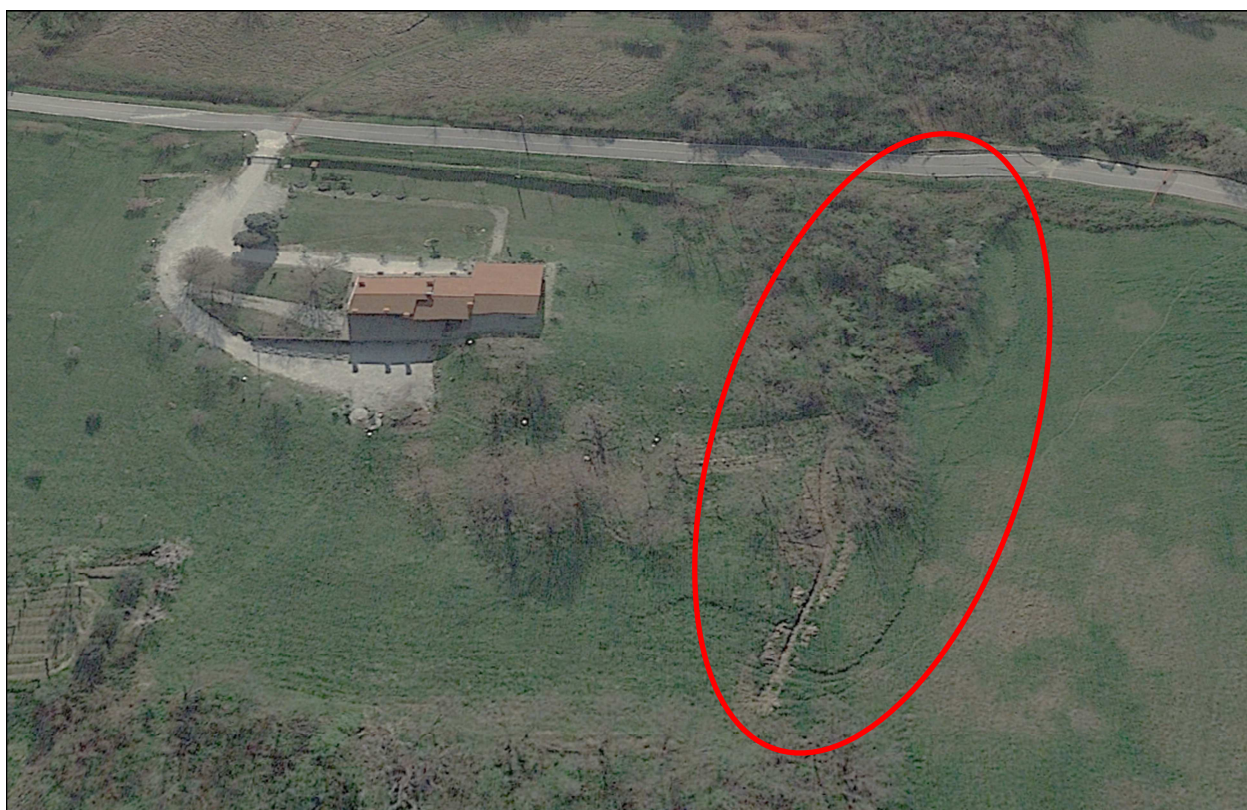


Figura 15– Panoramica della frana di colata a valle della SP n. 77 (situazione al dicembre 2014).

Il rilevato stradale è stato interessato, per una porzione di lunghezza pari a circa 350 m, da un repentino cedimento sulla porzione intorno alla progressiva km 0+900 circa, con grave ammaloramento della sede stradale e la successiva chiusura della stessa (cfr. **Figura 16** e **Figura 17**).



Figura 16 – Situazione della SP 77 (stato al febbraio 2014).



Figura 17 – Situazione della SP 77 (stato al febbraio 2014).

In maniera contemporanea, si sono aperte delle fessurazioni nei pressi della progressiva km 1+100 e km 1+250, non altrettanto gravi, ma sicuramente degne di attenzione (Cfr. **Figura 18** - **Figura 19**). Danni minori si sono verificati sul vigneto di proprietà dell'Azienda Vitivinicola Belvedere e dell'Agriturismo "Il Bucaneve".



Figura 18 – Particolare dell'ammaloramento alla SP n. 77 intorno alla progressiva 1+200 km.



Figura 19 - Panoramica della zona di ammaloramento alla SP n. 77 intorno alla progressiva 1+200 km.

6.2 Fattori predisponenti e scatenanti i fenomeni di dissesto

FATTORI PREDISPONENTI DEL DISSESTO

A seguito dei sopralluoghi e delle indagini condotte in sito, le potenziali cause del dissesto, verificatisi lungo un tratto di Via Belvedere nel Comune di Rovolon, sono state individuate in:

- bassa inclinazione del versante, causa di una maggiore infiltrazione delle acque meteoriche;
- presenza di materiali eluvio – colluviali con bassa permeabilità;
- assi di drenaggio effimeri o assenti;
- inadeguata rete di tubazioni che collegano le acque provenienti a monte della strada con quelle a valle (la strada funge da sbarramento alla circolazione verso valle);
- stato di ammaloramento delle tubazioni esistenti in cls (problema risolto dai lavori della Provincia di Padova);
- non corretta gestione del suolo (terreno incolto con vegetazione arborea spontanea).

FATTORI SCATENANTI DEL DISSESTO

Il dissesto si è verificato nei giorni 05-06/02/2014, a seguito di un periodo particolarmente piovoso, nel quale si sono susseguiti molti giorni continui di pioggia, con episodi di notevole intensità.

I dati riportati nella seguente tabella riportano le quantità di pioggia cadute, in millimetri, nel periodo dicembre 2013 – febbraio 2014 alla stazione pluviometrica ARPAV di Teolo.

Piovosità Stazione di Teolo Dicembre 2013 – Febbraio 2014 (mm)							
	Dicembre 2013	Gennaio 2014	Febbraio 2014		Dicembre 2013	Gennaio 2014	Febbraio 2014
1			10,2	16		0,2	
2		3	33,6	17		8,8	3,6
3		2,6	41,8	18		18,8	
4		16,4	36	19		12,4	5,4
5		29,2	5,6	20	0,4	2,8	4
6			8,6	21	0,2	0,2	4,4
7			2,8	22	0,2		12,4
8			0,4	23	0,6	2,2	
9			5,8	24	0,4	5	
10			35,6	25	2,8		
11			4,8	26	13,2		3,4
12				27		15,6	
13		0,4	4,2	28		7,8	
14		16,2		29	5,6	2,6	
15				30	1,0	38,6	
				31		25,2	

	Dicembre	Gennaio	Febbraio
Somma	24,4 mm	208 mm	222,6 mm
Giorni piovosi	4	16	17

DESCRIZIONE DEGLI EVENTI

Il dissesto verificatosi, è l'effetto dell'azione contemporanea dei fattori predisponenti e scatenanti appena descritti. Questi fattori hanno portato ad un decadimento delle proprietà geotecniche del terreno, tali da renderlo instabile e in una situazione di non equilibrio.

La particolare composizione del sottosuolo, con la presenza di terreni di natura eluvio - colluviale a permeabilità medio - bassa, le pessime condizioni idrauliche e la non corretta gestione del suolo, hanno provocato una completa imbibizione del terreno in concomitanza agli eventi meteorici prolungati, instaurando situazioni di aumento delle pressioni interstiziali, con conseguente diminuzione degli sforzi efficaci tra le particelle, decadenza delle proprietà geotecniche del terreno e quindi la mobilitazione dello stesso.

Il dissesto che ha coinvolto la SP n. 77, nel suo tratto maggiormente danneggiato (progressiva intorno alla 0+900 km) assume un carattere di colata di materiale limoso-argilloso, con lunghezza di circa 100 m e larghezza di circa 15 m; il coronamento coincide con la strada, mentre il corpo di frana si sviluppa sull'appezzamento privato posto a valle della stessa. Tale tratto di strada funge inoltre da ostacolo alla circolazione idrica superficiale raccolta dal collettore idrico che dal versante del Monte Grande scende verso valle; la situazione di grave imbibizione del terreno era resa ancora più incipiente dal grave stato di conservazione delle tubazioni in cls presenti sotto il rilevato stradale (adesso sostituite da tubazioni in HDPE dalla Provincia di Padova – Settore Viabilità).



Figura 20 – Condizioni della tubazione sotto il rilevato stradale intorno alla progressiva 0+900 km, prima degli interventi della Provincia di Padova – Settore Viabilità.

Anche gli altri fenomeni riscontrati lungo la SP n. 77 e nel tratto a monte (rigonfiamenti ed avvallamenti nel terreno più o meno diffusi in tutta l'area) sono da additare ad un carente deflusso idrico, sia superficiale, sia ipodermico.

L'analisi condotta ha permesso di appurare che, per forma e dimensioni, i fenomeni di dissesto sono tra loro indipendenti e non da annoverare ad un unico complesso instabile. Con i dati della campagna geognostica effettuata è possibile inoltre stimare, con un buon grado di precisione, che essi sono contraddistinti da un carattere superficiale, con uno spessore di circa 2,5 – 3,0 m, legato essenzialmente alla zona di saturazione del suolo e della parte più superficiale del sottosuolo.

7. CAMPAGNA GEOGNOSTICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica diretta dei terreni presenti nel sito di indagine sono stati utilizzati i risultati emersi dalla campagna geognostica condotta per conto del Comune di Rovolon, e sotto la supervisione della scrivente, dalla ditta Georicerche S.r.l. nel Marzo 2016, attraverso l'esecuzione di n. 7 sondaggi a carotaggio continuo con le seguenti caratteristiche:

SONDAGGIO	PROFONDITÀ (m)	QUOTA (m s.l.m.)	Prove eseguite	Allestimento finale
S1	23	146	4 prove penetrometriche standard dinamiche SPT	piezometro
S2	20	136	3 prove penetrometriche standard dinamiche SPT; 2 prove di permeabilità tipo Lefranc	inclinometro
S3	23	144	4 prove penetrometriche standard dinamiche SPT	-
S4	23	144	2 prove di permeabilità tipo Lefranc; prelevati n. 4 campioni indisturbati	piezometro
S5	21	142	4 prove penetrometriche standard dinamiche SPT	inclinometro
S6	17	126	3 prove penetrometriche standard dinamiche SPT; 2 prove di permeabilità tipo Lefranc; prelevato n. 1 campione indisturbato	piezometro
S7	20	130	2 prove penetrometriche standard dinamiche SPT	-

L'ubicazione delle prove geognostiche eseguite nell'area di studio è riportata in **Figura 21**:

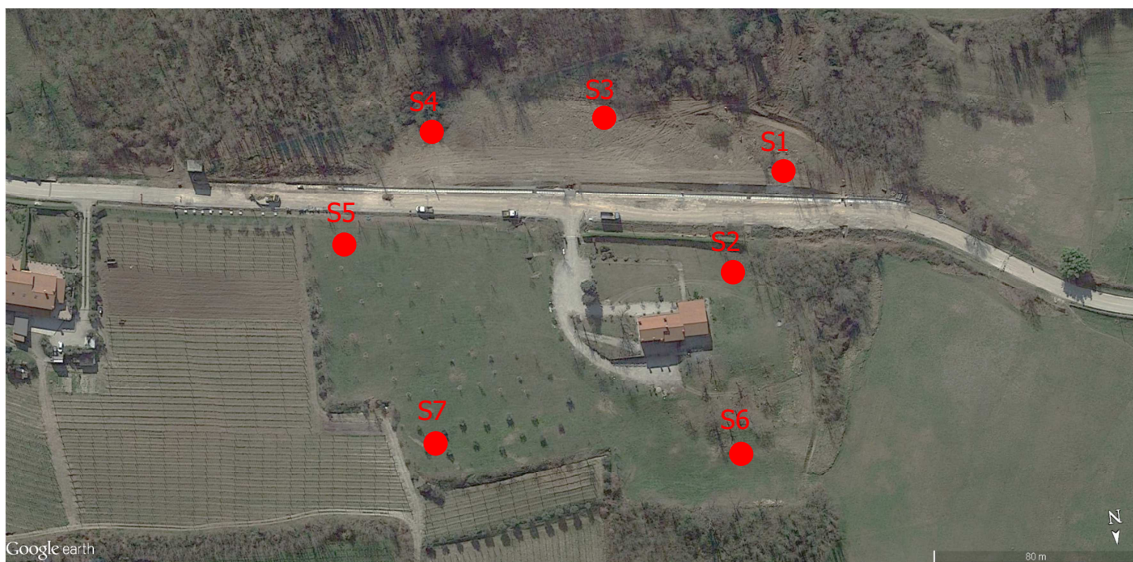


Figura 21 - Ubicazione delle prove geognostiche

7.1 Sondaggio a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati realizzati ad asse verticale e a carotaggio continuo. Le modalità e le profondità di investigazione sono state scelte dalla scrivente sulla base della situazione geologico stratigrafica attesa e dell'estensione dell'area. I carotaggi sono stati condotti per prendere visione diretta dei terreni che si trovano nel sottosuolo. Di seguito sono indicati i dati relativi a ciascuno di essi:

SONDAGGIO	PROFONDITÀ (m)	QUOTA p.c. (m s.l.m.)
S1	23	146
S2	20	136
S3	23	144
S4	23	144
S5	21	142
S6	17	126
S7	20	130

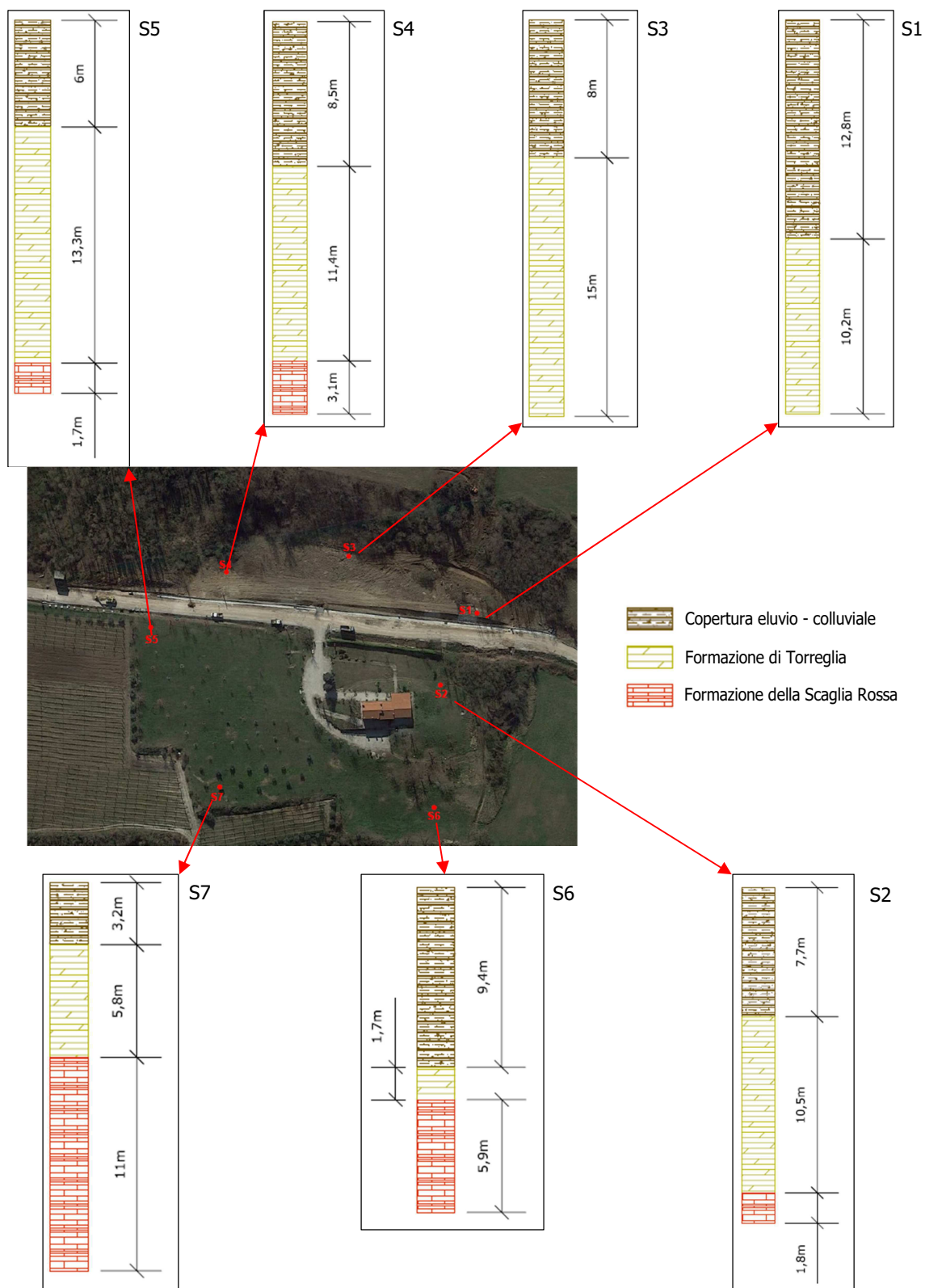
Durante l'esecuzione dei sondaggi non è stato rilevato un livello piezometrico definito; al termine delle operazioni di perforazione e in seguito all'installazione dei piezometri nei fori di sondaggio S1, S4 e S6 è stata eseguita una lettura del livello di falda.

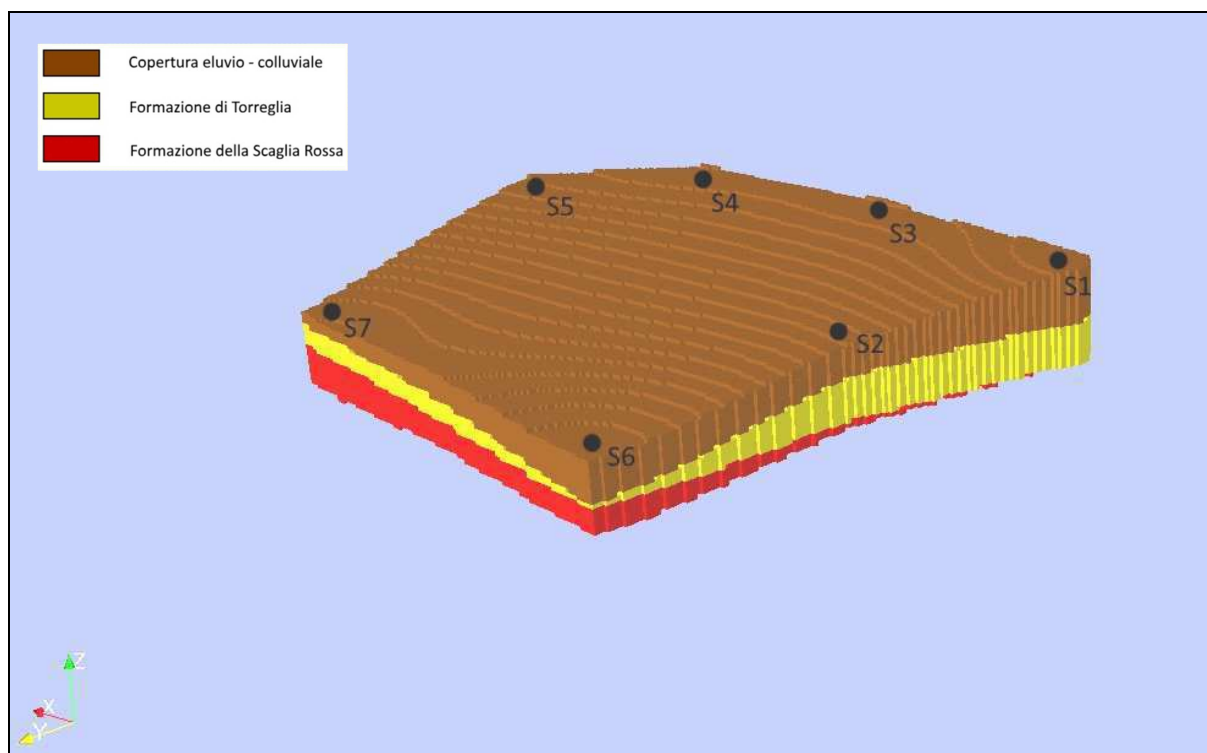
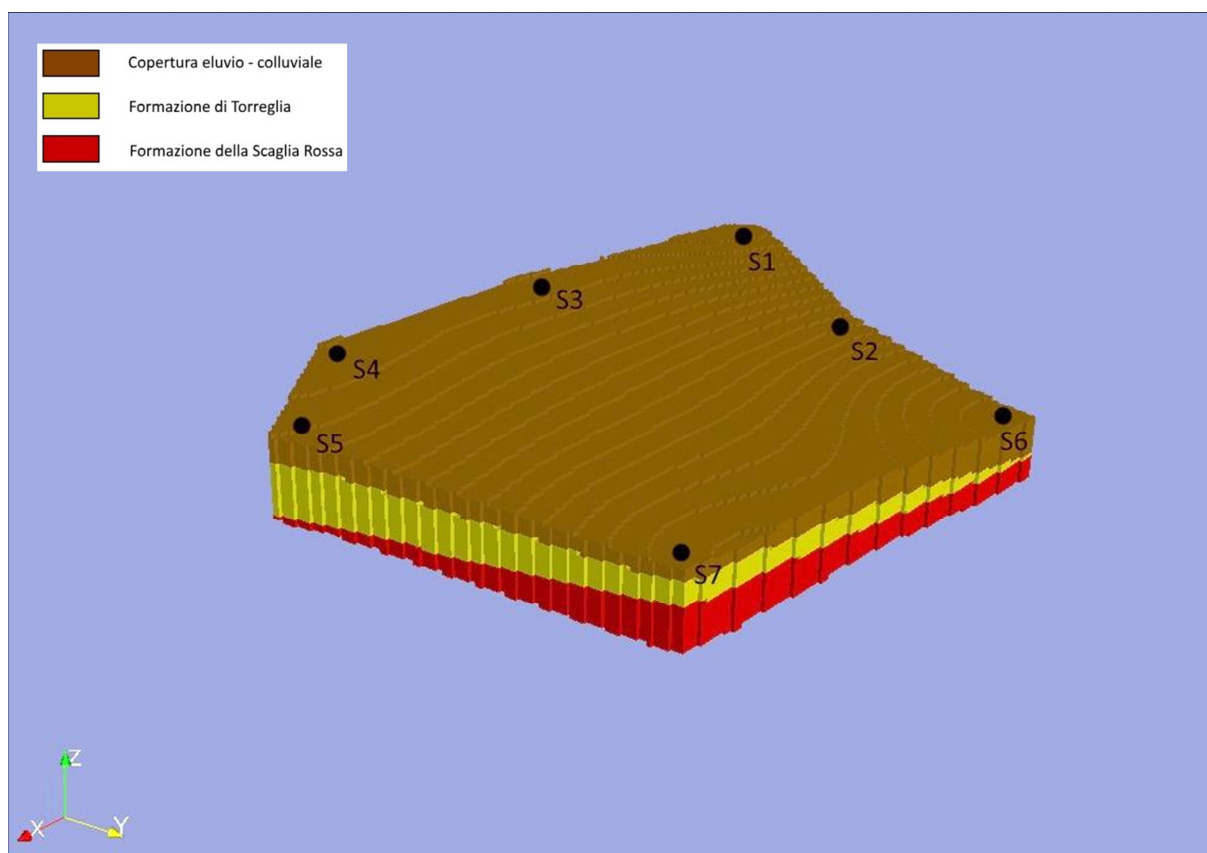
Ulteriori misure del livello di falda sono state eseguite il 28/11/2016 e 10/02/2017. Si riporta una tabella riassuntiva dei valori riscontrati:

PIEZOMETRO	PROFONDITÀ DI FALDA		
DATA	21/04/2016	28/11/2016	10/02/2017
S1	6,51	10,15	9,85
S4	3,60	14,45	14,12
S6	Nessun livello rilevato	16,90	16,60

Le immagini seguenti illustrano sinteticamente le stratigrafie rinvenute nei carotaggi eseguiti e la loro distribuzione tridimensionale.

La descrizione dettagliata dei materiali ricavati dai sondaggi è invece riportata in **ELABORATO B1**.





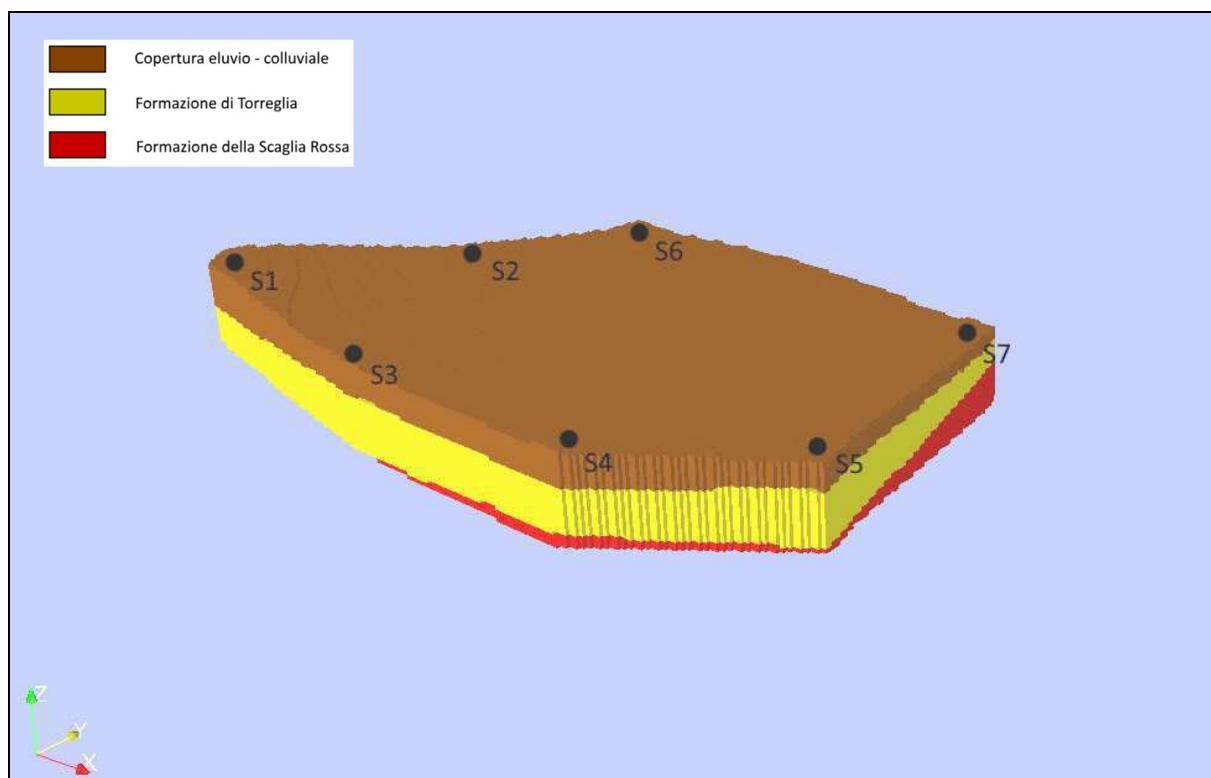
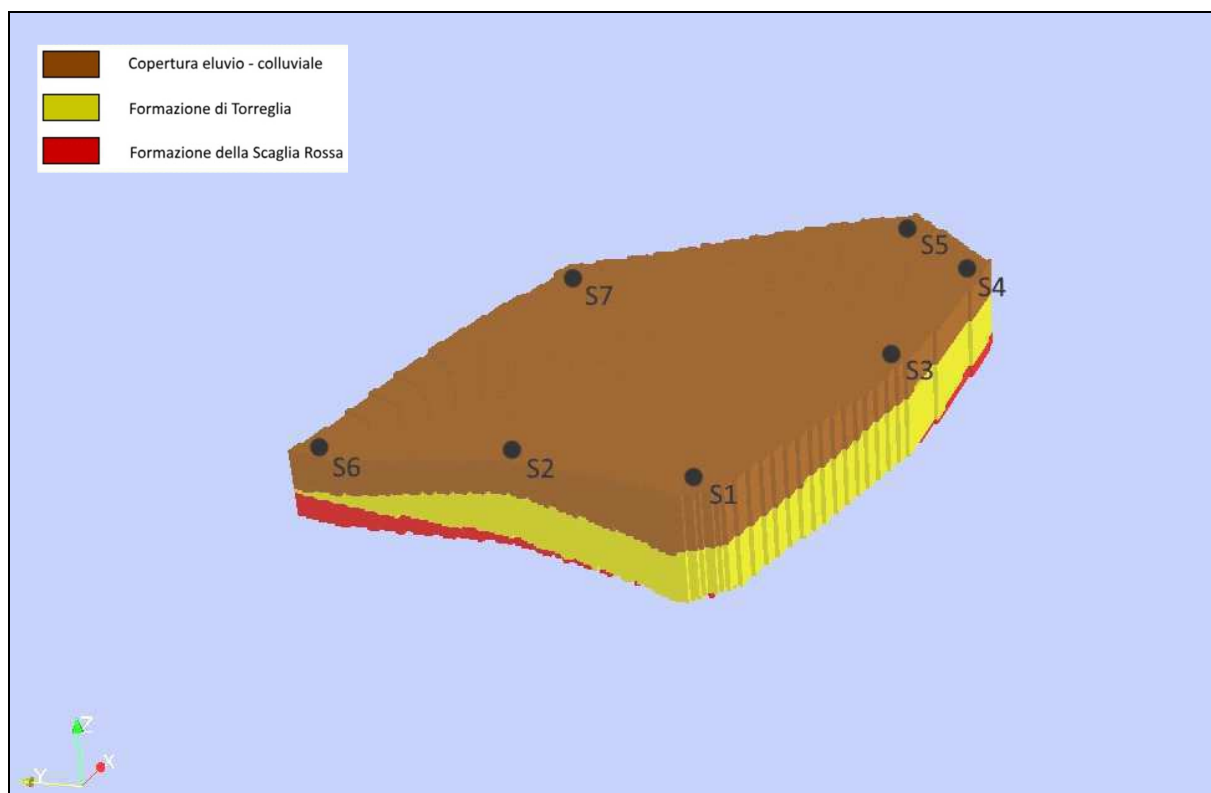


Figura 22 – Vista assonometrica della distribuzione delle litologie nel sottosuolo

7.2 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Con lo scopo di parametrizzare sotto il profilo geotecnico i terreni presenti nel sottosuolo del sito di indagine, facendo uso della vasta bibliografia in materia, sono state effettuate n. 21 prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT così suddivise:

- n. 4 SPT nel foro di sondaggio S1 alle profondità di 1,5 – 3,0 – 4,5 – 6,0 m da p.c.;
- n. 3 SPT nel foro di sondaggio S2 alle profondità di 3,0 – 4,5 – 6,0 m da p.c.;
- n. 4 SPT nel foro di sondaggio S3 alle profondità di 1,5 – 3,0 – 4,5 – 6,0 m da p.c.;
- n. 4 SPT nel foro di sondaggio S5 alle profondità di 1,5 – 3,0 – 4,5 – 6,0 m da p.c.;
- n. 3 SPT nel foro di sondaggio S6 alle profondità di 1,5 – 3,0 – 4,5 m da p.c.;
- n. 2 SPT nel foro di sondaggio S7 alle profondità di 1,5 – 3,0 m da p.c..

La prova SPT si effettua facendo penetrare a percussione un campionatore aperto o chiuso (a punta conica) di dimensioni standardizzate, montato all'estremità di una batteria di aste cave, per il tramite di una massa battente di peso ed altezza di caduta anch'esse standardizzate.

La misura consiste nel rilevare il numero di colpi (rispettivamente N_1 , N_2 ed N_3) necessari per infiggere la punta per tre tratti successivi di 15 cm ciascuno. La resistenza penetrometrica è caratterizzata dal numero di colpi $N_{(60)}^1 = N_{SPT} = N_2 + N_3$ richiesti per l'attraversamento degli ultimi due tratti, per complessivi 30 cm (12"). Per l'infissione si usa un maglio di 63.5 kg di peso, in caduta libera da un'altezza di 76 cm (30"). È da rilevare che la prova penetrometrica dinamica è interrotta in presenza di una delle seguenti condizioni:

- $N_1 > 50$
- $N_2 + N_3 > 100$.

La prova SPT è, allo stato attuale, la più conosciuta e la più praticata al mondo e, pertanto, ha trovato un vastissimo campo di applicazione in geotecnica. Ove possibile è sempre preferibile eseguire la prova SPT con il campionatore aperto (es. tipo Raymond) rispetto all'utilizzo della punta conica, in quanto tale modifica tende a sovradimensionare il valore di N_{SPT} , come evidenziato dalla procedura ISSMFE (1988).

Nel caso in esame, tuttavia, a causa della potenziale presenza di materiale granulare in clasti, che avrebbero portato alla rottura o, quantomeno, ad una continua deformazione della scarpa, si è preferito utilizzare la punta chiusa, come peraltro accettato dalla normativa dell'AGI.

A tal proposito uno studio effettuato da Pasqualini E., in "Standard Penetration Test" (Politecnico di Torino, 1983), evidenzia che esiste una discordanza minima tra gli N_{SPT} misurati con punta chiusa e con campionatore aperto.

In via prudenziale si è optato comunque di ridurre del 10% i valori di N_{SPT} registrati durante le prove SPT a punta chiusa in foro, al fine di assimilarli, per quanto possibile, a quelli ottenibili con una prova SPT standard con campionatore. Le profondità a cui sono state eseguite le prove SPT, il numero di colpi registrati (N_1 / N_2 / N_3), il valore N_{SPT} ($=N_2 + N_3$) ed il valore N_{SPT} detratto del 10% sono i seguenti:

¹ Il valore al pedice 60 sta ad indicare che per le prove è stata utilizzata una macchina con un rendimento energetico > 60%.

Sond.	S1		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
1,5	2/3/6	9	8
3,0	4/5/7	12	11
4,5	16/17/15	32	29
6,0	11/16/18	34	31

Sond.	S2		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
3,0	10/9/6	15	14
4,5	4/3/3	6	5
6,0	30/11/11	22	20

Sond.	S3		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
1,5	2/3/3	6	5
3,0	15/22/26	148	43
4,5	50-10 cm	Rif.	Rif.
6,0	50-3 cm	Rif.	Rif.

Sond.	S5		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
1,5	4/4/6	10	9
3,0	4/6/6	12	11
4,5	11/50-10 cm	Rif.	Rif.
6,0	50-2 cm	Rif.	Rif.

Sond.	S6		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
1,5	7/50-2 cm	Rif.	Rif.
3,0	25/20/21	41	37
4,5	10/12/11	23	21

Sond.	S7		
prof. (m)	N ₁ /N ₂ /N ₃	N _{SPT}	N _{SPT-10%}
1,5	4/6/10	16	14
3,0	28/50-2 cm	Rif.	Rif.

I nuovi valori di N_{SPT} ridotti del 10%, sono stati a loro volta normalizzati, al fine di tenere conto dell'influenza del sovraccarico del terreno sovrastante la profondità di prova. Per la normalizzazione, in relazione alla pressione verticale efficace, si è usato come valore di riferimento quello della pressione litostatica di riferimento p_0'' , assunta pari a 95.76 kPa (1.0 daN/cm²). Il relativo coefficiente di correzione, C_N , è stato calcolato mediante la formula di Liao e Whitman (1986), espressa come:

$$C_N = \left(\frac{p_0''}{p_0'} \right)^{0.5}$$

dove p_0' è la pressione verticale efficace alla profondità di effettuazione della misura.

Per ciascuna tripletta $N_1/N_2/N_3$ di misurazione effettuata è stato poi ricavato il valore medio di $N_{(60)}$, indicato come $N'_{(60)}$, mediando i valori misurati, opportunamente corretti in funzione del fattore C_N e della tensione litostatica efficace presente alla quota di esecuzione della prova, secondo l'espressione:

$$N'_{(60)} = C_N \cdot N_{(60)}$$

I valori $N'_{(60)}$, sono stati ottenuti mediante un foglio elettronico di calcolo appositamente predisposto. Come parametro di controllo, o anche come metodo alternativo, si segnalano le formule proposte da *Bazaraa* (1967):

$$N'_{(60)} = \frac{4 \cdot N_{(60)}}{1 + A \cdot p_0'}$$

valida per $p_0' \leq 75$ kPa, (nel Sistema Internazionale)
 $p_0' \leq 0,732$ kg/cm² (nel sistema metrico)

$$N'_{(60)} = \frac{4 \cdot N_{(60)}}{3,25 + B \cdot p_0'}$$

valida per $p_0' \geq 75 \text{ kPa}$ (nel Sistema Internazionale)
 $p_0' \geq 0,732 \text{ kg/cm}^2$ (nel sistema metrico)

dove: **A** = 0,04 nel Sistema Internazionale
 = 4,097 nel sistema metrico
B = 0,01 nel Sistema Internazionale
 = 1,024 nel sistema metrico

CORRELAZIONE TRA N_{SPT} E L'ANGOLO DI ATTRITO INTERNO

I valori medi dell'angolo di attrito interno efficace, ϕ' , sono stati ricavati mediando e/o pesando i valori ottenuti durante le prove, attraverso l'utilizzo di varie formule, a seconda delle pressioni verticali efficaci riscontrate in sito. In particolare:

- per $p_0' \leq 75 \text{ kPa}$ sono state applicate le formule:
 - $\phi' = 28,3 + 0,27 \cdot (N'_{(60)})$ *Sowers* (sabbie)
 - $\phi' = 21,2 + 2,7 \cdot \sqrt{N'_{(60)}}$ *Peck, Hanson e Thornburn* (sabbie)
 - $\phi' = 19,8 + 4,38 \cdot \ln(N'_{(60)})$ *Meyerhof* (sabbie fini e/o limose)
 - $\phi' = 25,2 + 4,28 \cdot \ln(N'_{(60)})$ *Meyerhof* (sabbie medie e grosse)
- per $75 \leq p_0' \leq 147 \text{ kPa}$ è stata applicata la formula di De Mello (1971):
 - $\phi' = \arctg \left\{ 0,21 + 0,63 \cdot \log \left[\frac{N'_{(60)}}{p_0' + 0,7} \right] \right\}$ De Mello $[p_0'] = \text{daN/cm}^2$

NOTA: tali formule hanno la limitazione di diventare inattendibili quando offrono valori superiori ai 38° .

- per $p_0' \geq 147 \text{ kPa}$ (non raggiunte nel corso delle perforazioni) bisogna applicare le formule del *Road Bridge Specification* e del *Japanese National Railway*

$$\phi' = \sqrt{15 \cdot N'_{(60)}} + 15 \quad \text{Road Bridge Specification}$$

$$\phi' = 0,3 \cdot N'_{(60)} + 27 \quad \text{Japanese National Railway}$$

Infine, a confronto dei risultati ottenuti con le altre formule, è stata applicata la formula di *Parry*, valida per tutti i terreni granulari:

$$\phi' = 25 + 28 \sqrt{N_{(60)} / p_0'} \quad [p_0'] = \text{kPa}$$

CORRELAZIONE TRA N_{SPT} E DENSITÀ RELATIVA

Con i valori di $N'_{(60)}$ è possibile risalire al grado di addensamento dei terreni riscontrati in sito, espressa mediante la densità relativa, D_r , attraverso la correlazione evidenziata da *Terzaghi e Peck* (1948) e da *Skempton* (1986).

D_r (%)	0	15	30	50	65	85	100
	Molto sciolta	Scioltissima	Media	Addensata	Molto addensata		
$N'_{(60)}$	0	3	8	15	25	42	58

Un'altra correlazione è stata proposta da *Peck et Bazaraa*:

$$D_r = \sqrt{\frac{N'_{(60)}}{20 \cdot (1 + 0,04 \cdot p'_0)}} \quad \text{valida per } p'_0 \leq 75 \text{ kPa}$$

$$D_r = \sqrt{\frac{N'_{(60)}}{20 \cdot (3,25 + 0,01 \cdot p'_0)}} \quad \text{valida per } p'_0 \geq 75 \text{ kPa}$$

Nei casi in cui spesso la frazione ghiaiosa risulta prevalente, si può anche usare la relazione proposta da *Yoshida et alii* (1988):

$$D_r = 25 \cdot N'_{(60)}^{0,44} \cdot p'_0$$

CORRELAZIONE TRA N_{SPT} E MODULO DI COMPRESSIBILITÀ E DI ELASTICITÀ TANGENZIALE

Tramite le prove penetrometriche dinamiche è possibile ricavare, con buona approssimazione, il modulo di compressibilità del terreno, M , ed il modulo di elasticità tangenziale, G' , attraverso la determinazione del coefficiente di Poisson, μ , e del modulo di elasticità, E_s . In particolare, con riferimento alla tabella riportata in *Fondazioni*, di *J. E. Bowles* (McGraw-Hill pag. 278) si ottiene che:

coefficiente di Poisson	$\mu = \frac{1 - \sin \phi}{2 - \sin \phi}$	
modulo di elasticità per sabbie NC	$E_s = 500(N_{(60)} + 15)$	[kPa]
per sabbie ghiaiose e ghiaie	$E_s = 1200(N_{(60)} + 6)$	[kPa]
modulo di compressibilità	$M = \frac{E_s}{1 - \mu^2}$	
modulo di elasticità tangenziale	$G' = \frac{E_s}{2(1 - \mu)}$	

I dati raccolti durante le prove SPT effettuate nei fori di sondaggio, interpretati con le formule riportate al Par. 0, sono riportati nelle tabelle seguenti.

SONDAGGIO S1

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
1,5	27	1,43	9	12	28	44%	0,35	13,3	15,2	10,3
3,0	54	1,36	12	15	30	41%	0,34	14,8	16,8	11,2
4,5	81	1,11	32	32	37	60%	0,29	23,5	25,6	16,5
6,0	108	0,96	34	29	36	59%	0,29	22,2	24,3	15,7

SONDAGGIO S2

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
3,0	54	1,36	15	18	32	46%	0,33	16,7	18,7	12,4
4,5	81	1,11	6	6	24	26%	0,39	10,5	12,3	8,5
6,0	108	0,96	22	19	32	48%	0,32	17,0	19,0	12,6

SONDAGGIO S3

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
1,5	27	1,43	6	8	26	36%	0,37	11,3	13,2	9,1
3,0	54	1,36	48	59	38	83%	0,30	36,9	40,5	26,4
4,5	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-
6,0	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-

SONDAGGIO S5

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
1,5	27	1,43	10	13	29	47%	0,35	13,9	15,8	10,7
3,0	54	1,36	12	15	30	41%	0,34	14,8	16,8	11,2
4,5	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-
6,0	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-

SONDAGGIO S6

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
1,5	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-
3	54	1,36	41	50	37	76%	0,30	32,6	35,8	23,3
4,5	81	1,11	23	23	34	50%	0,31	19,0	21,0	13,8

SONDAGGIO S7

Quota falda: NR

Peso terreno 18 kN/m³

Prof. (m)	p' ₀ (kPa)	C _N (-)	N _{SPT} (-)	N' ₍₆₀₎ (-)	φ' (°)	D _r (-)	μ (-)	E _s (MPa)	M (MPa)	G' (MPa)
1,5	27	1,43	16	21	33	59%	0,32	17,8	19,8	13,0
3,0	-	-	Rif.	Rif.	-	-	-	-	-	-

7.3 Misure inclinometriche

L'inclinometro è uno strumento che permette di verificare profondità, incrementi e direzione di eventuali spostamenti del suolo / sottosuolo. Per essere efficaci le misure devono essere ripetute nel tempo e confrontate tra loro.

In data 13/05/2016 e 17/05/2016 è stata effettuata la lettura di riferimento iniziale (lettura di "zero") sugli inclinometri predisposti nei fori di sondaggio S2 e S5. I rilievi sono stati svolti dal personale specializzato della ditta Geodata S.r.l.. Le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sono descritte in dettaglio nell'**Elaborato B1**

La seconda lettura inclinometrica è stata eseguita il giorno 02/11/2016 (circa 6 mesi dalla prima).

La terza lettura inclinometrica è stata eseguita il giorno 10/02/2017 (circa 9 mesi dalla prima).

I dati delle misure effettuate sono stati elaborati mediante un foglio elettronico, provvedendo a calcolare, per ogni incremento di profondità:

- Spostamento rispetto alla verticale (cm)
- Azimut (°).

Nelle figure seguenti sono riportati graficamente i valori degli spostamenti.

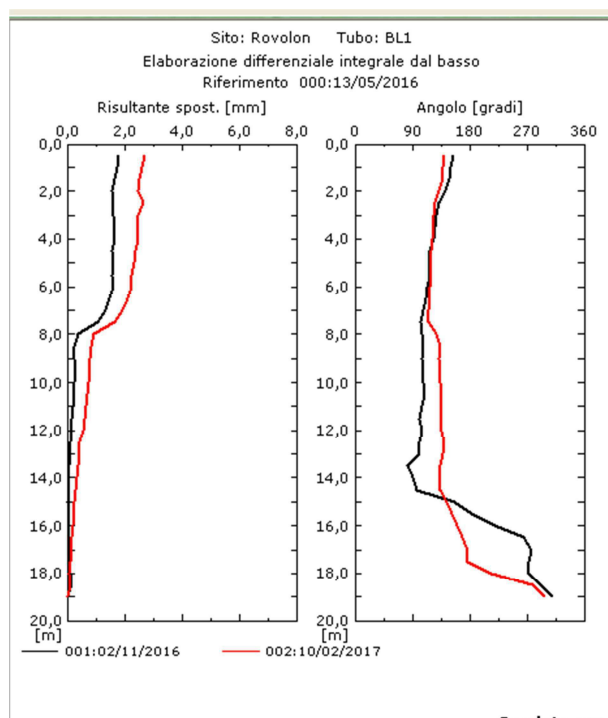
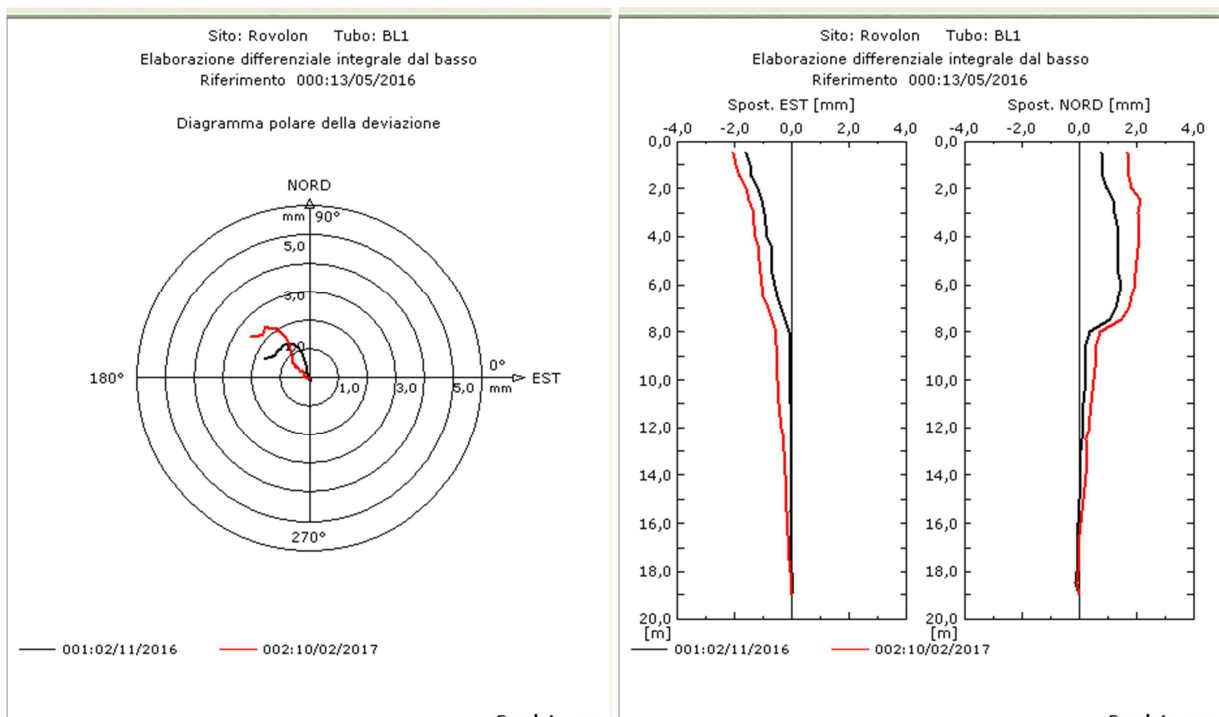


Figura 23 – Letture inclinometriche eseguite nel sondaggio S2

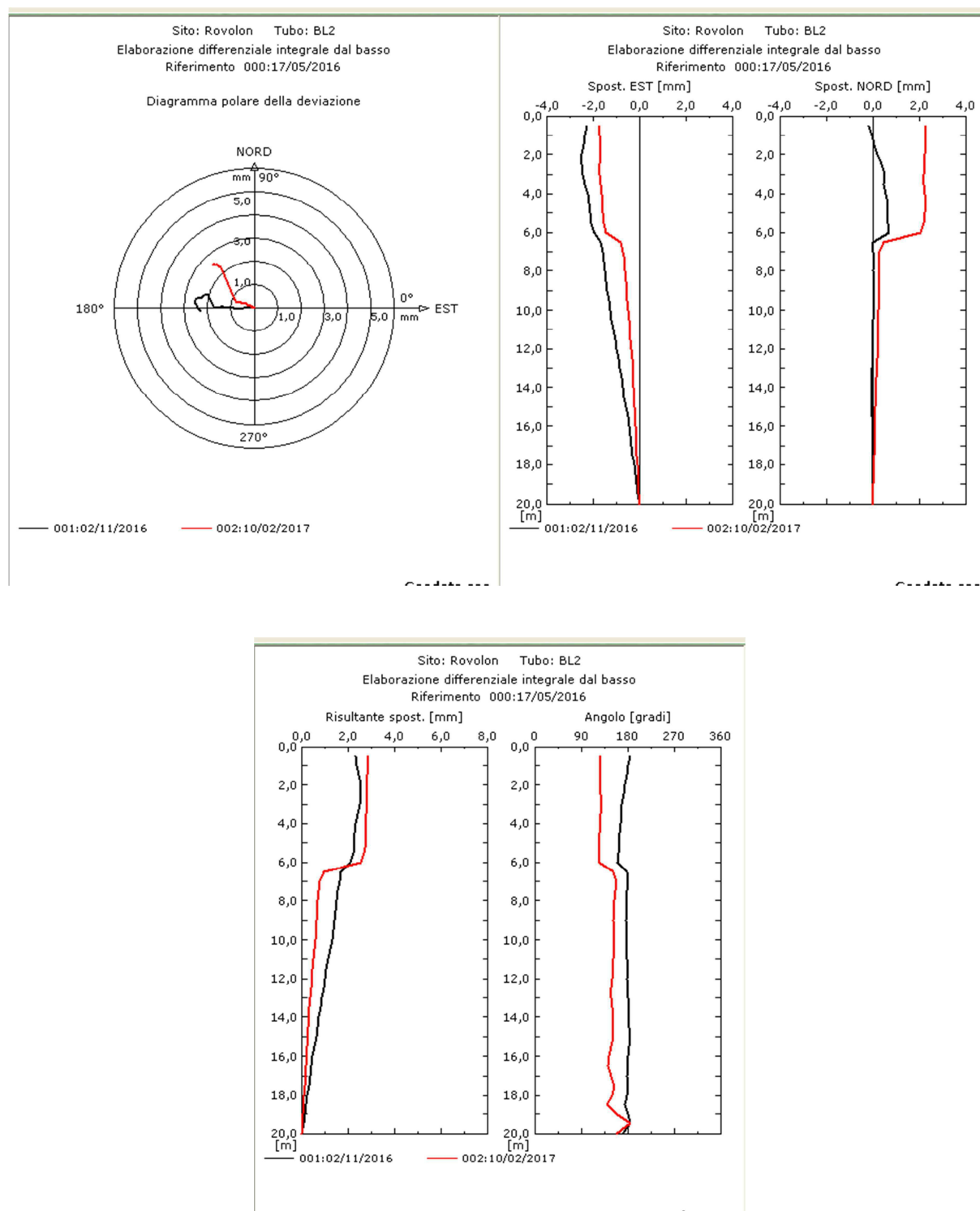


Figura 24 – Letture inclinometriche eseguite nel sondaggio S5

Le letture inclinometriche condotte hanno dimostrato, a distanza di 6 e 9 mesi dalla lettura di zero, spostamenti minimi dell'ordine di qualche millimetro, attestati a circa 8 m di profondità per l'inclinometro posto nel foro di sondaggio S2 (BL1) e a circa 6 m per il foro di sondaggio S5 (BL2).

In entrambi i casi la profondità di movimento coincide con il limite tra il letto dello strato di copertura eluvio colluviale ed il tetto del substrato roccioso costituito dalla Formazione delle Marne Euganee; lo spostamento pertanto risulterebbe piuttosto profondo, anche se di modesta entità, con valori che possono essere, allo stato attuale delle osservazioni, attribuibili ad un semplice diverso comportamento del tubo inclinometrico tra roccia e coperture.

Come riportato al **par. 6.1**, tali spostamenti potrebbero però essere anche i segni di una *deformazione gravitativa profonda di versante*, o **DGPV**, potenzialmente quiescente, che coinvolgerebbe il versante fino all'altezza dell'agriturismo posto a valle della SP n. 77, caratterizzata da un movimento molto lento, impostato al tetto del substrato roccioso. Sicuramente, anche se dovesse essere presente un movimento profondo di versante, questo richiederebbe tempi di osservazione molto lunghi e non sarebbe il responsabile dei fenomeni di dissesto occorsi nel febbraio 2014.

Ad ogni modo le letture inclinometriche non hanno evidenziato movimenti di carattere superficiale nel periodo di osservazione. Si evidenzia però, che, sia l'estate 2016, sia l'autunno – inverno 2016/2017, sono stati contraddistinti da bassa piovosità, che sicuramente non ha fatto ripetere le condizioni di imbibizione del terreno che si sono avute all'epoca dello smottamento (05-06/02/2014). In particolare, dalla lettura di zero del 16/05/2016 si sono verificate le seguenti precipitazioni:

PERIODO	N° giorni piovosi	mm pioggia
16/05/2016 – 02/11/2016	37	487
02/11/2016 – 10/02/2017	12	139
TOTALE	49	626

7.4 Prove di permeabilità

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prove di permeabilità di tipo *LEFRANC* a carico variabile ed a carico costante. Con questo tipo di prova è possibile determinare la conducibilità idraulica (permeabilità) del terreno nell'intorno del foro.

I risultati ottenuti sono schematizzati nella seguente tabella. La descrizione più dettagliata è riportata in **Elaborato B1**.

SONDAGGIO	TRATTO DI PROVA (m da p.c.)	TIPO DI PROVA	COEFF. DI PERMEABILITÀ K (m/s)
S2	2.00 – 2.70	Costante	2.294E-4
S2	4.00 – 4.70	Costante	2.035E-4
S4	2.00 – 2.70	Variabile	4.641E-6
S4	4.00 – 4.70	Variabile	3.770E-6
S6	2.00 – 2.70	Variabile	7.318E-6
S6	4.00 – 4.70	Costante	3.858E-6

7.5 Indagini di laboratorio geotecnico

Per una completa caratterizzazione dei terreni presenti nell'area, durante le operazioni di sondaggio, sono stati prelevati n. 4 campioni indisturbati per mezzo di un campionatore a pareti sottili ad azionamento idraulico di tipo aperto (*OSTERBERG*).

I campioni sono stati quindi analizzati dal laboratorio geotecnico Geodata s.a.s. (autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/2001) per l'esecuzione delle prove di seguito elencate:

- estrusione del campione e successiva classificazione geotecnica visiva con il rilievo della resistenza al penetrometro tascabile (P.P. in kPa) ed al Torvane (TORV. in kPa);
- determinazione del contenuto naturale d'acqua (w);
- determinazione del peso di volume (γ);
- determinazione dei limiti di Atterberg (WL, WP, IP);
- analisi granulometriche per setacciatura via umida (D);
- aerometria della frazione inferiore al vaglio 0.075 mm (Aer);
- prova di taglio diretto con cella circolare di Casagrande, del tipo consolidato e drenato (DSDC).

I risultati ottenuti sono schematizzati nella seguente tabella. La descrizione più dettagliata è riportata in **Elaborato B1**.

TIPO DI PROVA	Sondaggio	S4	S4	S4	S6
	Campione indisturbato	A	B	C	A
	Profondità (m da p.c.)	1.50 – 1.80	3.00 – 3.60	4.50 – 5.10	6.20 – 6.75
Classificazione Geotecnica		Argilla debolmente limosa marrone con elementi rocciosi medio-fini	Argilla debolmente limosa marrone con rara sabbia	Argilla debolmente limosa marrone con rara sabbia	Argilla debolmente limosa marrone con punti limo-sabbiosi
Pocket Penetrometer	P.P. (kPa)	177-236	177-255	50-70	137-147
Torvane	Torv. (kPa)	69-80	54-72	22-25	37-39
Contenuto naturale d'acqua	w (%)	39.5	48.0	61.8	67.7
Peso dell'unità di volume	γ (kN/m ³)	16.40	15.87	16.1	14.27
Limiti di Atterberg	WL (%)	91	95	96	95
	WP (%)	42	44	42	42
	IP (%)	49	51	54	53
Analisi granulometrica con vagliatura	ghiaia (%)	2.82	0.74	0.06	0.00
	sabbia (%)	5.37	3.75	4.38	0.43
	limo (%)	23.32	22.90	29.85	33.85
	argilla (%)	71.50	72.60	65.72	65.72
Prova di taglio diretto C.D.	ϕ' (°)	19.5	22.2	20.8	21.5
	c' (kPa)	32	10	4	20

7.6 Caratterizzazione geotecnica

Sulla base dei dati acquisiti attraverso la campagna geognostica eseguita nell'area di studio (indagine diretta, mediante carotaggi ed indiretta, mediante SPT, e prove di laboratorio su campioni indisturbati), la distribuzione complessiva dei terreni nel sito ed i relativi parametri geotecnici sono stati schematizzati, a favore di sicurezza, come riportato nella tabella seguente.

Strato	Spessore m)	Litologia	Parametri geotecnici
▼ livello del suolo ▼			
A	3,0 - 12,0	Materiale limoso-argilloso di natura eluvio colluviale frammisto a detrito generico di versante	$\phi' = 17^\circ$ $c' = 4 \text{ kPa}$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
B	2,0 - 15,0	Substrato roccioso, costituito da Formazione di Torreglia	$\phi' = 40^\circ$ $c' = 200 \text{ kPa}$ $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$
C	15,0 - ?	Substrato roccioso, costituito da Scaglia Rossa	$\phi' = 45^\circ$ $c' = 200 \text{ kPa}$ $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

I dati sopra restituiti sono stati utilizzati nei calcoli di stabilità riportati nell'**Elaborato C – Relazione tecnica**.

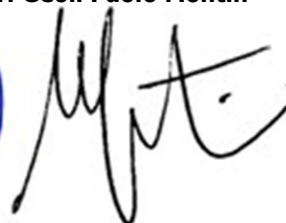
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base di quanto esposto nelle pagine precedenti ed in conformità delle informazioni raccolte nella ricerca bibliografica – documentale e dalla campagna geognostica effettuata sul sito di indagine, è possibile esprimere alcune considerazioni in merito ai fenomeni di dissesto occorsi nel sito di indagine.

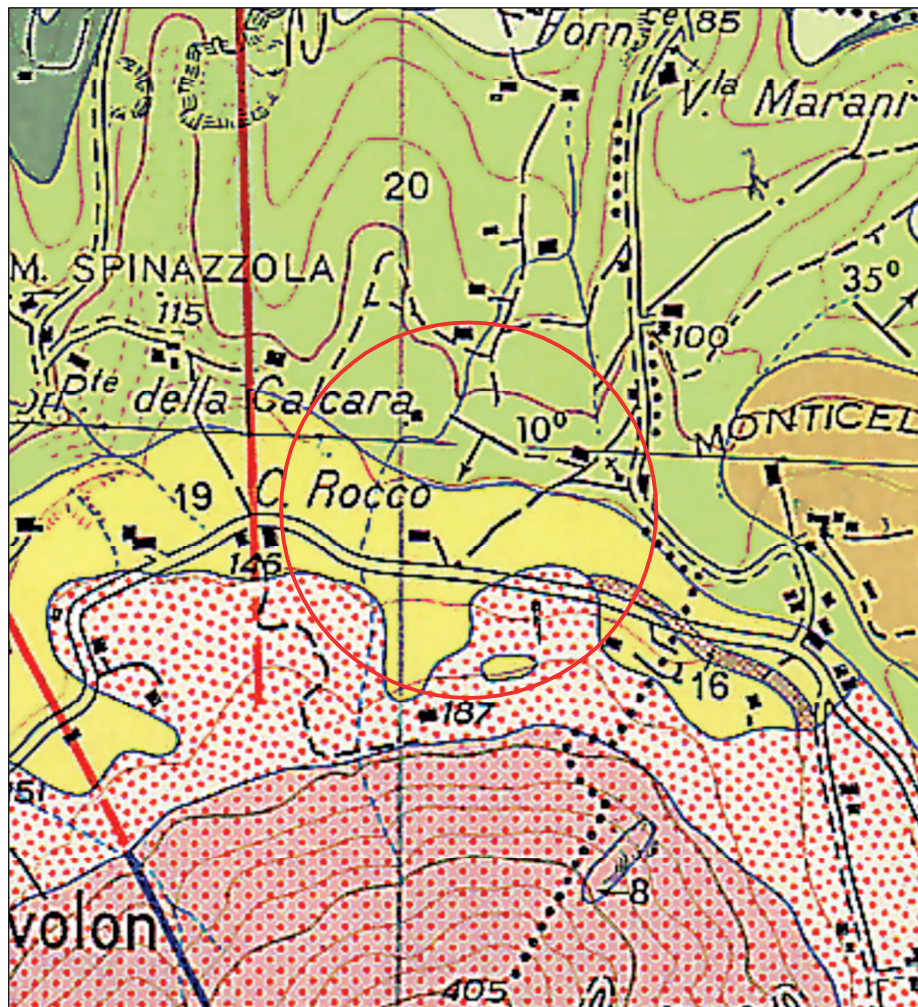
- L'area in oggetto si colloca ai margini settentrionali del complesso vulcano-sedimentario dei Colli Euganei, ed è caratterizzata dalla presenza nel sottosuolo di formazioni sedimentarie soggiacenti a depositi argilloso-limosi di natura eluvio – colluviale e detritici di versante. La zona di dissesto fa parte di un bacino imbrifero che non è dotato di collettore idrico o di asta fluviale di scarico. Le acque di ruscellamento, pertanto, anche a causa della bassa inclinazione del versante, concorrono ad alimentare il deflusso sotterraneo, che è il principale responsabile dei fenomeni di dissesto verificatisi nella zona.
- La determinazione della risposta sismica locale ha permesso di appurare che la zona risulta caratterizzata da un basso grado di sismicità e da un rischio di liquefazione dei terreni a seguito di eventi tellurici ritenuto trascurabile.
- La campagna geognostica, effettuata attraverso n. 7 sondaggi a carotaggio continuo, con esecuzione di prove SPT in foro, prelievo di campioni indisturbati da sottoporre ad analisi geotecniche, e successivo allestimento a piezometro o inclinometro, ha permesso di ottenere la stratigrafia di dettaglio ed i parametri geotecnici della zona investigata. Il modello geologico-geotecnico dell'area in questione, è schematizzabile mediante una copertura detritica di natura eluvio – colluviale, di spessore variabile da 3,0 a 12,0 m, alla quale soggiace il substrato roccioso, costituito dalla Formazione di Torreglia (ex Formazione delle Marne Euganee) e dalla

Formazione della Scaglia Rossa. Le proprietà geotecniche, utilizzate nei calcoli di stabilità presentati nell'**Elaborato C – Relazione tecnica**, sono riportate nella tabella del **par. 7.5**.

- Le letture inclinometriche condotte (cfr. **par. 7.3**) hanno dimostrato, a distanza di 6 e 9 mesi dalla lettura di zero, spostamenti minimi dell'ordine di qualche millimetro, attestati a circa 8 m di profondità per l'inclinometro posto nel foro di sondaggio S2 (BL1) e a circa 6 m per il foro di sondaggio S5 (BL2). In entrambi i casi la profondità di movimento coincide con il limite tra il letto dello strato di copertura eluvio colluviale e il tetto del substrato roccioso costituito dalla Formazione di Torreglia. I valori raccolti nel modesto tempo di osservazione potrebbero ancora essere giustificabili da un semplice diverso comportamento del tubo inclinometrico tra roccia e coperture; non risulta comunque da escludere, a priori, la presenza di una paleofrana quiescente, che coinvolgerebbe il versante fino all'altezza dell'agriturismo posto a valle della SP n. 77, caratterizzata da un movimento molto lento, che richiederebbe un lungo periodo di osservazione (molti anni) per poter essere correttamente caratterizzata. In ogni caso essa non sarebbe la causa dei fenomeni di dissesto verificatisi nel febbraio 2014, che hanno carattere essenzialmente superficiale.
- Le prove di permeabilità eseguite nei fori di sondaggio S4 e S6 (cfr. **par. 7.4**), all'interno della copertura eluvio-colluviale, hanno dato evidenza di materiali con valori di permeabilità dell'ordine dei 10^{-6} m/s, mentre, nel foro di sondaggio S2, la permeabilità rilevata è di circa due ordini di grandezza superiore (10^{-4} m/s). Tale differenza potrebbe essere uno dei fattori predisponenti che ha portato all'innescio dello scivolamento più consistente con la creazione di un corpo di colata in materiali limoso argillosi, causa dei principali ammaloramenti della sede stradale intorno alla progressiva 0+900 km nella zona Ovest dell'area indagata.
- L'analisi condotta ha permesso di appurare che, per forma e dimensioni, i fenomeni di dissesto del febbraio 2014 sono tra loro indipendenti e non da annoverare ad un unico complesso instabile. Con i dati della campagna geognostica effettuata è possibile inoltre stimare, con un buon grado di precisione, che essi sono contraddistinti da un carattere superficiale, con uno spessore legato essenzialmente alla zona di saturazione del suolo e della parte più superficiale del sottosuolo.

**Dr. Geol. Paolo Montin**

Estratto dalla CARTA GEOLOGICA DEI COLLI EUGANEI



LEGENDA

19	MARNE EUGANEE: marne più o meno argillose, gialle o grigio-chiare, talora fittiche, con intercalazioni di calcari e nummuliti rimarginati in nelle parte superiori. - Eocene inferiore p.p. - Oligocene inferiore.
20	SCAGLIA ROSSA: calcari rossi o rosso mattone o biancastri (Euganei meridionali), leggermente marnosi, fittamente stratificati, con noduli e lenti di selce rossa. - Cretaceo superiore - Eocene inferiore p.p.
21	BIANCONE: calcari marnosi bianchi, fittamente stratificati, con noduli e lenti di selce nero e intercalazioni di livelli argillosi nerastri nella parte sommitale. - Giurassico superiore - Cretaceo inferiore e rispettivamente Cenomaniano.
22	ROSSO AMMONITICO: calcari nodulari grigi o rossi. - Giurassico superiore.

DEPOSITI QUATERNARI	
1	Detrito.
2	Alluvioni attuali e recenti; con alluvionali.

SEGNI PARTICOLARI	
	Faglie accertate e supposte.
	Fratture distinte soprattutto per via fotogeologica.
	Foglie nel sottosuolo termale.
	Giacitura degli strati.

OGGETTO:

Carta geologica

SCALA: 1:10.000

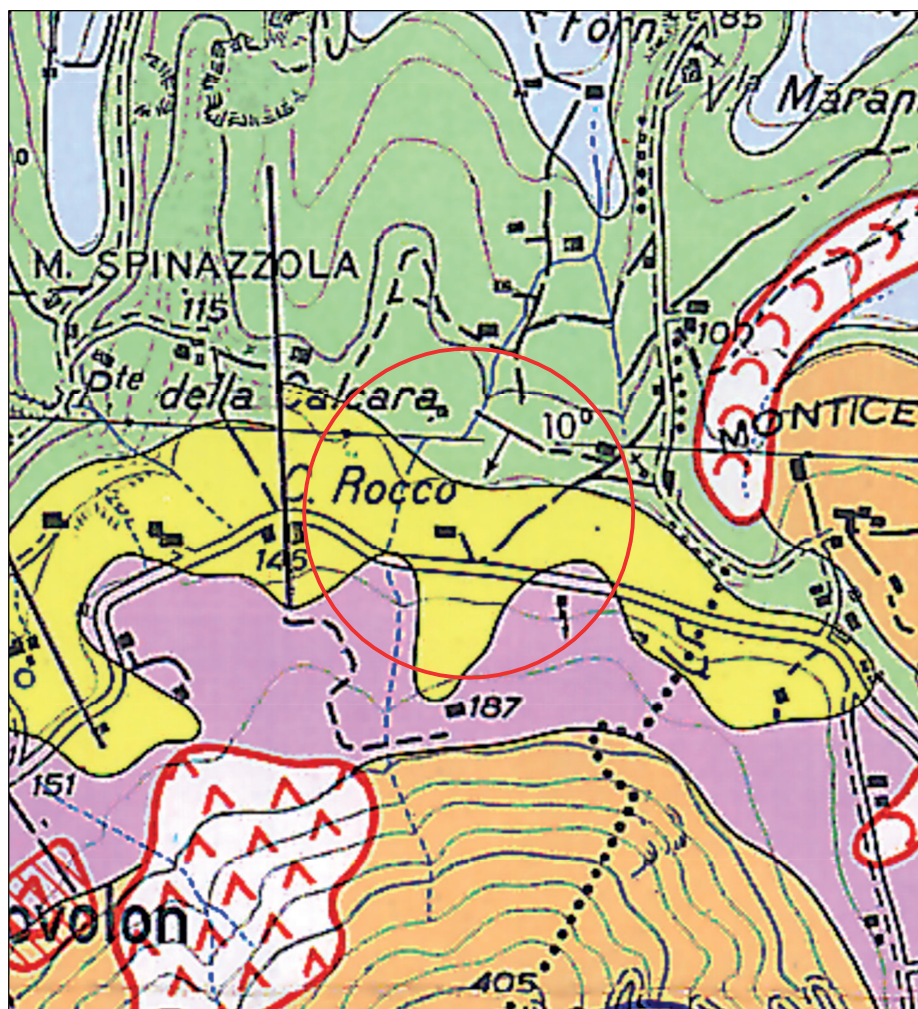
COMMESSA: 1608

DATA: 20/02/2017

ALLEGATO

1

Estratto dalla CARTA DELLA FRANOSITA' DEI COLLI EUGANEI



LEGENDA

CLASSE DI FRANOSITÀ SLIDING CLASS	LITOLOGIA LITHOLOGY
ALTA HIGH	Marne, marne tuftitiche, tuftiti Marls, tuffaceous marls, tuftites
	Brecce basaltiche e basalti alterati Basaltic breccias and weathered basalts
	Coltri detritiche su substrato marnoso o su vulcaniti basaltiche alterate Detritic cover above marls substratum or weathered basalts volcanics
MEDIA MIDDLE	Coltri detritiche grossolane di rocce vulcaniche (rioliti, trachiti, laliti) o detrito calcareo Coarse volcanic debris or calcareous debris
BASSA LOW	Calcarei (Rosso Ammonitico, Biancone, Scaglia Rossa) Limestone (Rosso Ammonitico, Biancone, Scaglia Rossa formations)
BASSISSIMA VERY LOW	Rioliti, trachiti, laliti e basalti compatti Rhyolites, trachites, latites and compact basalts

TIPOLOGIA DI FRANA LANDSLIDE TYPE	CARTOGRAFABILE MAPPABLE		NON CARTOGRAFABILE UNMAPPABLE	
	ATTIVA ACTIVE	QUIESCENTE DORMANT	ATTIVA ACTIVE	QUIESCENTE DORMANT
CROLLO FALL				
SCORRIMENTO SLIDE				
COLAMENTO FLOW				
DEFORMAZIONE GRAVITATIVA PROFONDA DI VERSANTE DEEP SEATED GRAVITATIONAL SLOPE DEFORMATION				
AREA FRANOSA SLIDING AREA				
	Faglia Fault			
	Giacitura degli strati Bedding			

OGGETTO:

Carta della franosità

SCALA: 1:10.000
COMMESSA: 1608
DATA: 20/02/2017

ALLEGATO

2