

Regione Veneto

Provincia di Verona

COMUNE DI SAN ZENO DI MONTAGNA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE
DI URBANIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE
DEL PUA DENOMINATO PORA
SITO IN LOC. LA PORA

***Relazione Geologica - Geotecnica
e Sismica***

Redatto da :

Dott. Geol. Annapaola Gradizzi
Circonvallazione Bran, 828
37013 Caprino (VR)
Tel: 045-9815565
e-mail: geologo.gradizzi@gmail.com

Timbro e Firma:



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI URBANIZZAZIONE
PER L'ATTUAZIONE DEL PUA DENOMINATO PORASITO IN LOC. LA PORA
NEL COMUNE DI SAN ZENO DI MONTAGNA (VR)**

**RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA
E SISMICA**

1.	PREMESSA.....	3
1.1	Stato attuale.....	4
1.2	Descrizione del progetto.....	6
2.	QUADRO NORMATIVO	7
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	8
4.	ANALISI DEI VINCOLI RELATIVI AL SITO IN ESAME.....	9
5.	RELAZIONE GEOLOGICA	13
5.1	Inquadramento geologico e geomorfologico ed idrogeologico.....	13
5.2	Inquadramento idrogeologico	15
6.	MODELLAZIONE SISMICA	17
6.1	Valutazioni di pericolosità sismica locale e Caratterizzazione dei terreni ai fini sismici	17
6.2	Stabilità nei confronti della liquefazione	24
7.	RELAZIONE GEOTECNICA	27
7.1	Caratteristiche geotecniche.....	27
7.2	ANALISI DEL PROGETTO E VERIFICA DELLE PROBLEMATICHE DI ORDINE GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	28
7.2.1	Calcolo della capacità portante del terreno di fondazione.....	29
7.2.2	Stabilità dei fronti di scavo	32

8.	VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE.....	35
9.	CONCLUSIONI.....	38

ALLEGATO 1 = DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

ALLEGATO 2 = RELAZIONE GEOFISICA

BIBLIOGRAFIA

Anno 2021



**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI URBANIZZAZIONE
PER L'ATTUAZIONE DEL PUA DENOMINATO PORASITO IN LOC. LA PORA
NEL COMUNE DI SAN ZENO DI MONTAGNA (VR)**

***RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA
E SISMICA***

1. PREMESSA

Su incarico dello Studio Tecnico Arch. Gambino Agostinoe per conto dei Signori Castellani è stato eseguito uno studio geologico - geotecnico e sismico a supporto del progetto per la realizzazione del PUA denominato PORA nel Comune di San Zeno di Montagna (VR) in Loc. la Pora.

Lo studio relativo alle opere progettate si è avvalso di un rilevamento geologico di dettaglio effettuato in campagna, di una indagine geofisica e della conoscenza di ambiti geologici simili.

Il presente studio ha lo scopo di verificare la fattibilità degli interventi previsti rispetto alle caratteristiche stratigrafiche ed idrogeologiche dell'area in esame.

Il presente rapporto costituisce la “*relazione geologica*” che, ai sensi di quanto previsto dal D.M. 11/3/88 e dal DM 17/01/2018, dovrà fare parte integrante del progetto al fine di giungere alle scelte progettuali ed alle verifiche previste.

1.1 Stato attuale

Si riporta l'estratto di ortofoto con l'ubicazione del sito in esame:



L'area di intervento fa parte del versante est del bacino del lago di Garda, qui il terreno degrada verso ovest mediante terrazzamenti pianeggianti intervallati da scarpate con diverse ampiezze e pendenze, l'area è agricola attualmente a pascolo.

Il contesto di sviluppo è parzialmente urbanizzato vista la vicina contrada Pora e le abitazioni di carattere residenziale presenti nella zona.

L'immobile oggetto di intervento è attualmente censito Foglio n. 9 Mapp. 1040-218-38-39-1248-1247-1242 nel Comune di San Zeno di Montagna (Vr), Loc. la Pora, di proprietà di Cipriano Castellani e fratelli. L'accesso pedonale e carraio avviene tramite una strada già esistente che si collega con la strada principale che collega l'abitato di San Zeno con le frazioni di Lumini e Prada.

Il terreno in oggetto si sviluppa lungo il versante occidentale del monte Baldo ad un altitudine di circa 600 m/slm in una zona pedemontana, il terreno è coltivato a prato da sfalcio per il bestiame.

L'intervento verrà effettuato lungo tutto il crinale del lotto con la previsione della realizzazione di due tronchi stradali di penetrazione a servizio dei lotti collegati all'attuale contrada Pora.

Il terreno attualmente non presenta alberature ma solamente un manto erboso caratteristico dei prati a sfalcio con un ricca fioritura.

Non vengono interessati corsi d'acqua e habitat naturali.

1.2 Descrizione del progetto

Il progetto consiste nella realizzazione delle opere di urbanizzazione per l'attuazione del PUA denominato PORA nel Comune di San Zeno di Montagna (VR) in Loc. la Pora.

Il piano urbanistico si articola in due lotti all'interno del piano urbanistico il primo definito lotto 1 che vedrà la realizzazione di 4 corpi separati da portici con la previsione di costruire 4 villette mentre il lotto denominato lotto 2 viene previsto una tipologia a blocco per la costruzione di 8 unità edilizie.

L'organizzazione dell'intervento prevede la realizzazione di circa 12 unità residenziali, un area parcheggio di 100,71 mq, di verde 169,60 mq, strada 644,03 mq e di marciapiede di 75,37 mq.

La strada e i parcheggi saranno realizzati in asfalto, i marciapiedi in autobloccante di cemento di color rosso mattone, mentre nelle aree verdi verranno piantumate essenze autoctone secondo l'abaco del regolamento del verde del comune di San Zeno di Montagna.

L'intero lotto verrà schermato con una siepe.

L'ambito di intervento del Piano di Lottizzazione ha una superficie pari a 5432,28 mq con una volumetria determinata dalla normativa pari a mc 2891,52.

2. QUADRO NORMATIVO

Il presente lavoro è stato condotto in accordo alle norme in vigore ed in particolare:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 17 Gennaio 2018;
- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003: "Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" , modificata dalla Ordinanza del P.C.M. n° 3519 del 28.04.2006;
- D.Min. LL.PP. 11/03/88: Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circ. Min. LL.PP. 24/09/88 n° 30483: L. 02/02/74 n° 64 - art. 1 D.M. 11/03/88 - Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce , la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- A.G.I. - Raccomandazioni sull'esecuzione e programmazione delle indagini geotecniche, 1977.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame è situata a nord rispetto all'abitato di San Zeno di Montagna, presso località La Pora.

Per l'ubicazione del sito si fa riferimento alla Carta Tecnica Regionale ed in particolare all'elemento "San Zeno di Montagna", di cui un estratto è riportato in Figura 1 scala 1: 5.000.

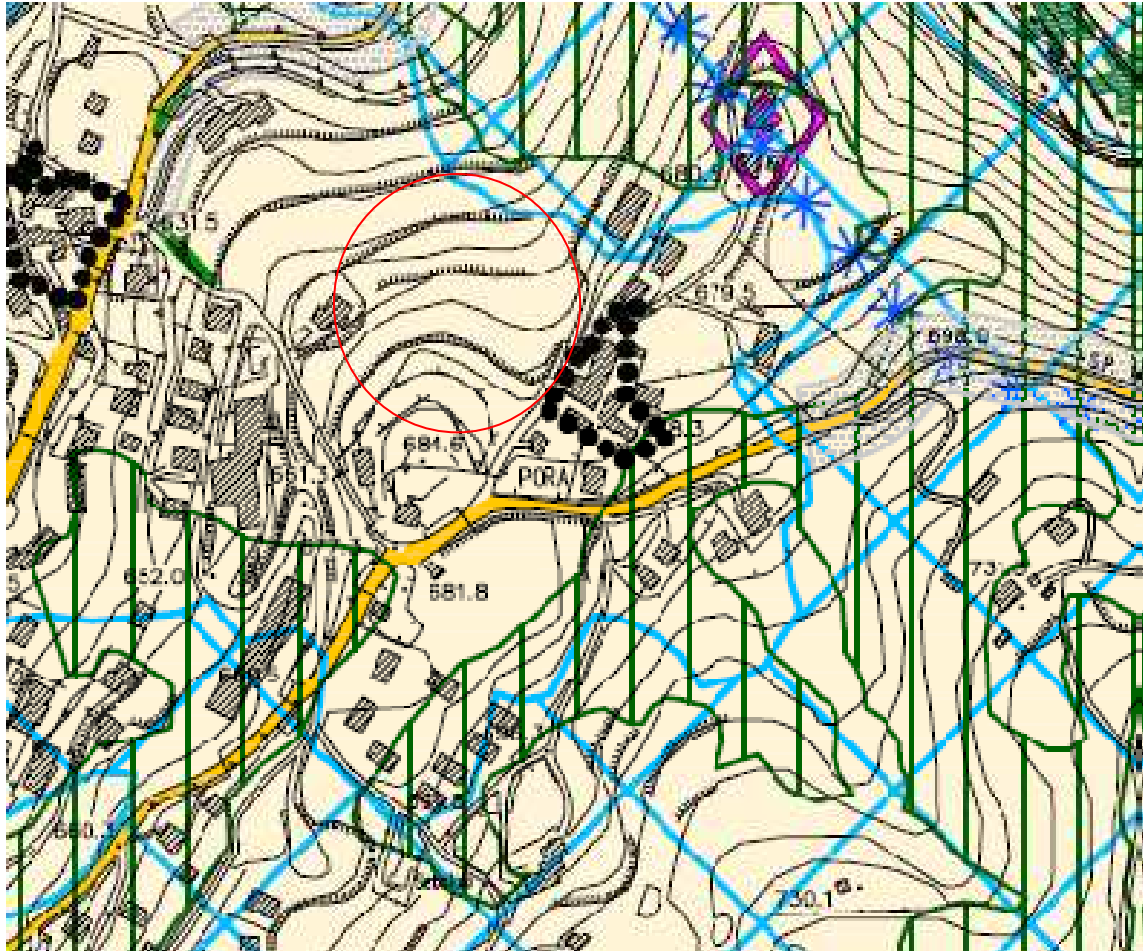
Si riporta una ortofoto con l'ubicazione del sito in esame.



Il sito si trova in un'area residenziale. Il sito allo stato attuale è interessato da pascolo.

4. ANALISI DEI VINCOLI RELATIVI AL SITO IN ESAME

Sulla base della Tavola dei Vincoli e della Pianificazione territoriale l'area in esame ricade all'interno del vincolo paesaggistico.



LEGENDA



Vincolo Paesaggistico
D.Lgs. 42/2004 art. 136 - Aree di notevole interesse pubblico



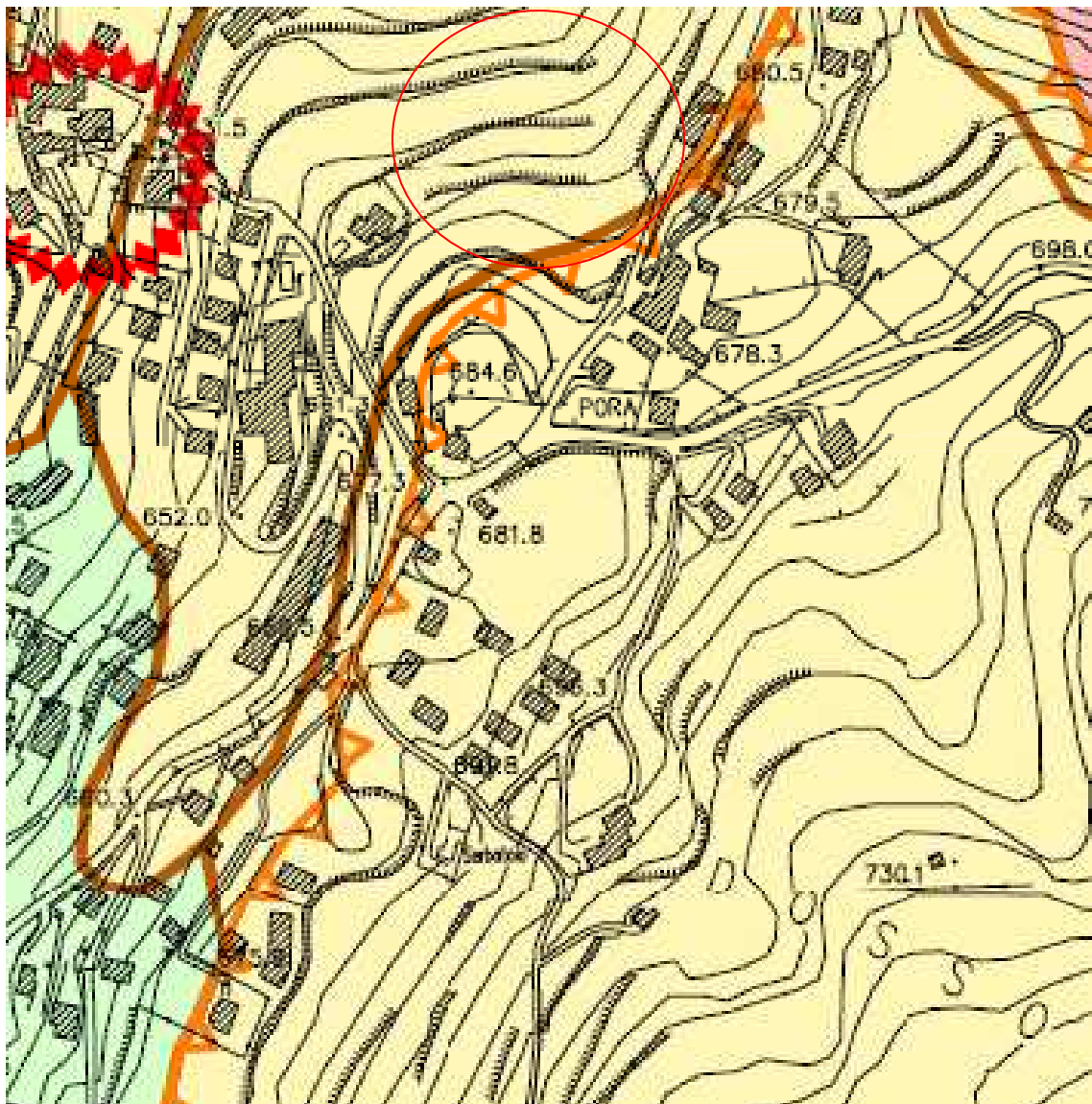
Area di studio

Dal punto di vista idrogeologico e geomorfologico, non verrà variata la stabilità del sito in quanto i fabbricati verranno inseriti in una balza geomorfologica esistente e il pendio verrà raccordato a monte e a valle mediante gradonature al fine di favorire la stabilità dello stesso e mantenerne la pendenza globale media e

la stabilita' globale.

Le opere in progetto non andranno a modificare sostanzialmente l'assetto morfologico del versante, ne' la sua stabilita' globale.

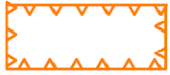
Sulla base della Tavola delle Fragilita' l'area in esame ricade in un'area idonea a condizione in termini di penalita' ai fini edificatori tipo 5 dovuti a pendenza compressiva tra 15° e 30° e prossima ad aree soggette a sprofondamento carsico.



LEGENDA



Pendenza compresa tra 15° e 30°



Aree soggette a sprofondamento carsico



Area di studio

Per la realizzazione dei fabbricati non verranno eseguiti scavi significativi, in quanto non sono previsti piani interrati.

Si raccomanda comunque di profilare il versante verso monte mediante la realizzazione di gradonature, in accordo con la profilatura esistente e al fine di favorire la stabilità globale del sito stesso.

Si suggerisce di realizzare un drenaggio a monte dell'intera zona di nuova edificazione del sito che raccolga le acque e le sversì opportunamente a valle.

Non si ravvedono quindi ostative alla realizzazione del progetto in esame.

RELAZIONE GEOLOGICA

AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

5. RELAZIONE GEOLOGICA

5.1 Inquadramento geologico e geomorfologico ed idrogeologico

L'area in esame è situata a nord rispetto all'abitato di San Zeno di Montagna, presso Località La Pora.

Per l'ubicazione del sito si fa riferimento alla Carta Tecnica Regionale ed in particolare all'elemento "San Zeno di Montagna" 101131, in scala 1: 5.000, di cui un estratto è riportato in Figura 1 e per l'assetto geologico generale si fa riferimento alla Carta Geologica d'Italia, Foglio "Peschiera" in scala 1: 100.000, di cui un estratto è riportato in Figura 2.

La zona è interessata da aree agricole prative e da aree residenziali e turistiche.

Dal punto di vista geomorfologico generale l'area è situata in corrispondenza della sponda sudoccidentale del Monte Baldo, in prossimità della sua parte sommitale. Il sito in esame si trova sul medio- alto versante.

Il versante scende verso la sponda orientale del Lago di Garda, interessato dalla presenza dei cordoni morenici più esterni dell'Anfiteatro del Garda.

L'area è interessata dal subaffiorare diffuso della formazione geologica dei Calcari Grigi, mentre poco più a valle il substrato roccioso è coperto dai depositi morenici.

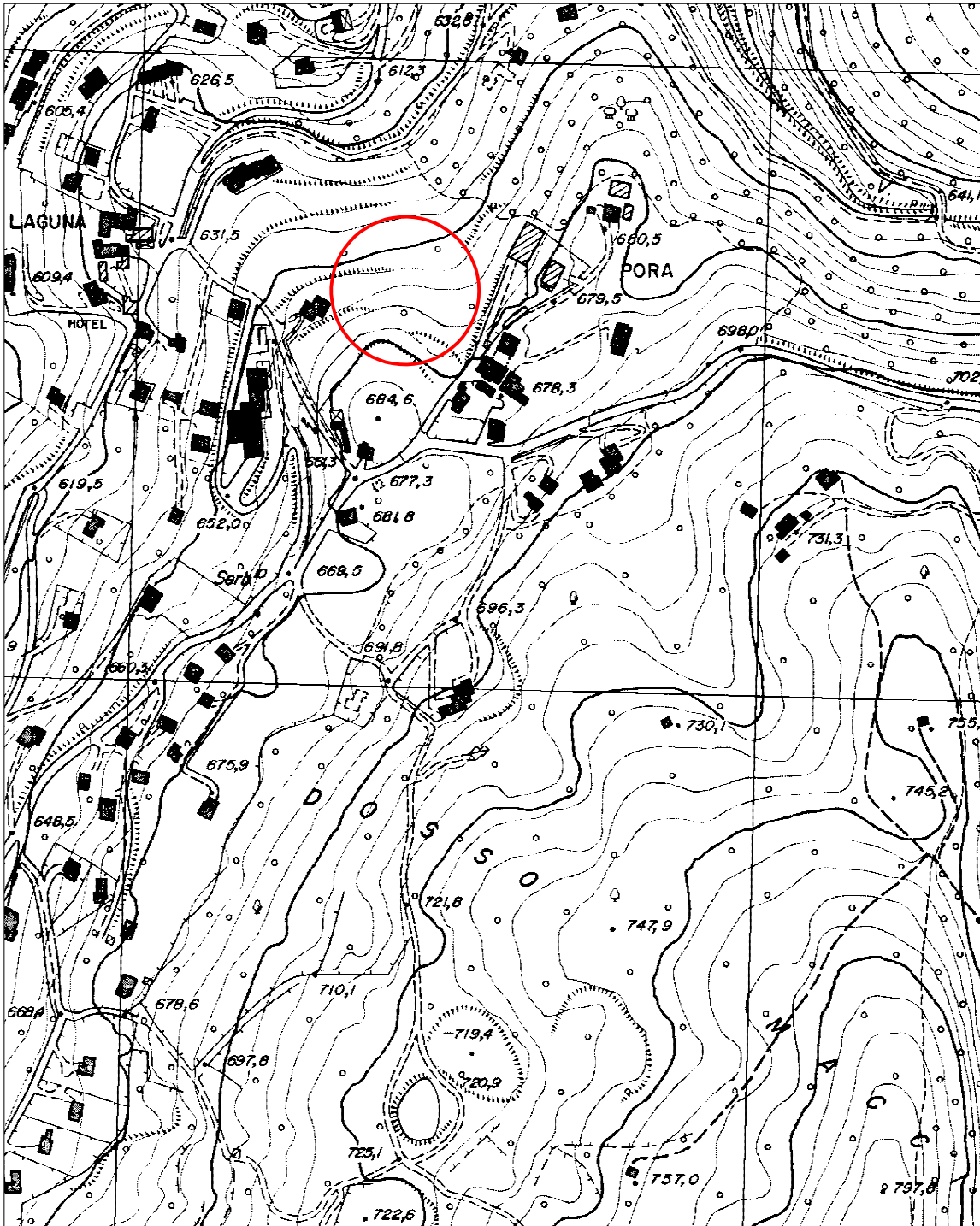
Il versante orientale del Lago è infatti parzialmente coperto dai cordoni morenici rissiani che costituiscono la parte più settentrionale ed esterna dell'anfiteatro morenico del Garda.

Le colline moreniche presentano un andamento rettilineo subparallelo alla sponda lacustre. I cordoni morenici ricalcano l'antica traccia del ghiacciaio.

Interposti fra le cerchie moreniche rissiane sono presenti i depositi fluvioglaciali e cataglaciali.

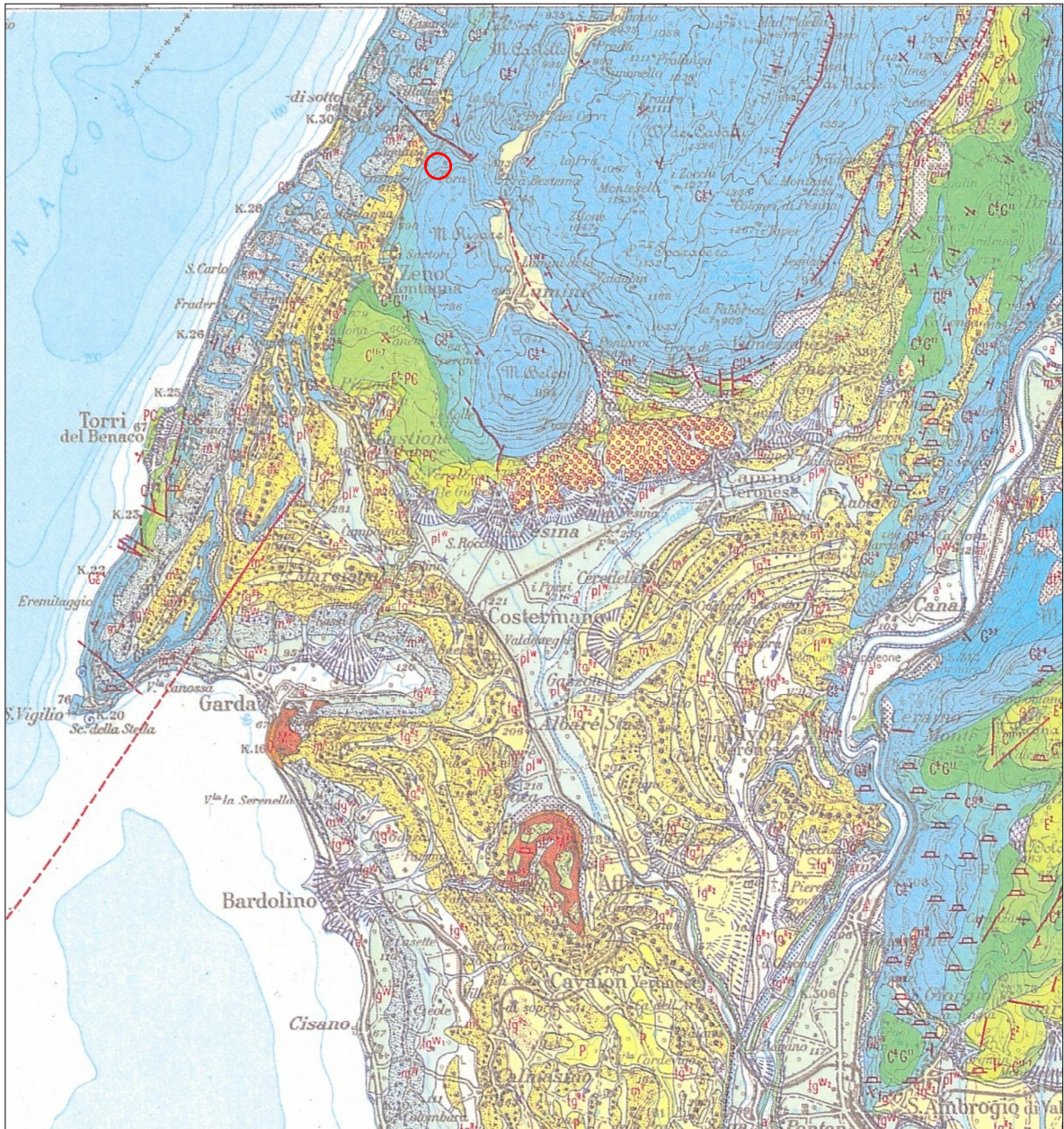
Dal punto di vista geomorfologico locale il sito in esame si trova in corrispondenza di un versante che scende verso l'abitato di Località Laguna di San Zeno di Montagna.

FIGURA 1
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
Scala 1: 5.000



Sito in esame

FIGURA 2
ESTRATTO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA
 Scala 1: 100.000



Calcarei oolitici, giallastri, con noduli di selce e giunti di stratificazione marnosi, a: *Rhynchonella clesiana* LEPS., *Pentacrinus* sp. e Coralli, passanti superiormente a calcari oolitici gialli e rosei («Bronzetto»), a: *Pentacrinus* sp., *Stolmorhynchia bilobata* (BEN.) e ricche faune a Coralli. (Gè⁴). «Calcarei oolitici di S. Vigilio». **AALENIANO - TOARCIANO.**

Dolomie e calcari dolomitici, porosi e facilmente disgregabili, con ricche faune coralline, eteropici ai «Calcarei oolitici di S. Vigilio». (Gè⁵). **AALENIANO - TOARCIANO.**



Area in esame

Il sito è caratterizzato dalla presenza diffusa del substrato roccioso che affiora diffusamente soprattutto nell'area a monte del sito in esame.

Nell'area in esame il substrato roccioso è coperto da una leggera coltre colluviale costituita da materiale terrigeno misto a frammenti rocciosi. Poco più a valle sono stati rilevate dei depositi morenici.

Dal punto di vista geolitologico locale l'area di interesse è caratterizzata dalla presenza dei Calcari Oolitici di San Vigilio, coperto nei dintorni del sito in esame da una coltre colluviale di spessore presumibilmente ridotto.

Nel sito in esame in corrispondenza della stradina che accede al lotto sul lato orientale affiora il substrato roccioso (vedi Allegato 1 di documentazione fotografica).

5.2 Inquadramento idrogeologico

La circolazione idrica superficiale segue generalmente le linee di massima pendenza di direzione circa E-W che defluiscono verso valle seguendo la direzione del pendio, che scende verso il Lago.

Il ruscellamento superficiale non costituisce tracce particolarmente definite nel tratto esaminato ed è invece caratterizzato da un andamento diffuso.

Le vallecole non sono interessate da scorrimento idrico attivo al momento del rilevamento. La superficie freatica appartenente all'acquifero principale si trova a profondità superiori a quelle preventivate dal progetto.

Nel corso del rilevamento non sono state comunque rilevate venute idriche di entità significativa.

Non è comunque possibile escludere delle locali venute d'acqua in corrispondenza di livelli a granulometria grossolana sovrastanti a livelli impermeabili che fungano da confine idrogeologico.

I materiali che costituiscono il sottosuolo del sito in esame sono costituiti sia da materiali a granulometria media, i depositi terrigeni superficiali, ai quali può essere assegnato un coefficiente di permeabilità medio pari a $5 \cdot 10^{-5}$ m/sec, sia da materiali litoidi permeabili per porosità secondaria legata al grado di fratturazione ai quali può essere assegnato un coefficiente di permeabilità medio – alto pari a 10^{-4} m/sec quando l'ammasso roccioso è fratturato e/o intensamente fratturato e un coefficiente di permeabilità basso pari a 10^{-6} m/sec quando l'ammasso roccioso è massivo e chiuso.

Il sito in esame è interessato da fenomeni carsici che interessano diffusamente le formazioni calcaree.

L'acqua penetra nel sottosuolo prevalentemente tramite fessure e inghiottitoi, percola in profondità attraverso fratture e cavità carsiche con velocità di flusso estremamente elevate, fino al raggiungimento del livello di base o di livelli impermeabili presenti nei complessi rocciosi a componente marnoso-argillosa.

Si suggerisce di realizzare un drenaggio di monte che raccolga le acque e le sversì a valle.

MODELLAZIONE SISMICA

AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

6. MODELLAZIONE SISMICA

6.1 Valutazioni di pericolosità sismica locale e Caratterizzazione dei terreni ai fini sismici

La vulnerabilità dell'area di studio nei confronti del rischio sismico è stata valutata sulla base delle classificazioni a disposizione, in particolare facendo riferimento a quanto sviluppatosi nelle classificazioni 1984-1998 e nell'Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 2003, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".

In particolare il Comune di San Zeno di Montagna, secondo la nuova classificazione, appartiene alla Zona Sismica 2, secondo la vecchia classificazione aveva un grado di sismicità medio.

Al fine di valutare l'azione sismica sulla tipologia fondazionale adottabile nell'ambito del progetto sono stati determinati i profili stratigrafici del suolo di fondazione dell'area, secondo la normativa tecnica di applicazione dell'Ordinanza n. 3274 della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 2003, "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*".

I profili determinati si riferiscono a depositi con specifici valori dell'indice geofisico V_{s30} rappresentativo delle velocità delle onde sismiche del tipo S nel sottosuolo.

Si riportano le categorie di sottosuolo come da nuova normativa NTC 2018.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

In particolare è stato assegnato al substrato dell'area in esame un profilo stratigrafico A sulla base dei dati ricavati dal rilevamento geologico e dei dati forniti dalla carta geologica.

Le norme tecniche per le fondazioni che accompagnano l'ordinanza descrivono il profilo stratigrafico A come segue: *“Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m”*.

A questa zona sismica corrisponde un valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) volte pari a 0.25 l'accelerazione gravitativa locale (g).

A questo profilo stratigrafico corrispondono i seguenti parametri da inserire nelle espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali:

PROFILO SUOLO	S	T _B	T _C	T _D
PROFILO A	1.00	0.15	0.40	2.0

Dove:

S = fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione,

T_B, T_C, T_D = periodi che separano i diversi rami dello spettro, sempre dipendenti dal profilo.

In accordo con le nuove norme tecniche per le costruzioni DM 17-01-2018 vengono di seguito forniti i parametri e i coefficienti da adottare per il calcolo delle fondazioni.

Si suggerisce di utilizzare l'Approccio 2 per il quale i coefficienti sono A1+M1+R3.

Il coefficiente A1 (coefficiente parziale per le azioni) si assume pari a 1,0-1.5.

Il coefficiente M1 (coefficiente parziale per i parametri geotecnici del terreno) da applicare ai valori di coesione efficace, angolo di resistenza al taglio, resistenza non drenata e peso di volume dei materiali costituenti il sottosuolo dell'area in esame è sempre pari a 1,0.

Il coefficiente R3 (coefficiente parziale da applicare alle resistenze caratteristiche) da applicare è pari a 2,3 per la capacità portante del terreno di fondazione e pari a 1,1 per le verifiche a scorrimento.

Si riportano le categorie topografiche come da nuova normativa NTC 2018.

Tab. 3.2.III - Categorie topografiche

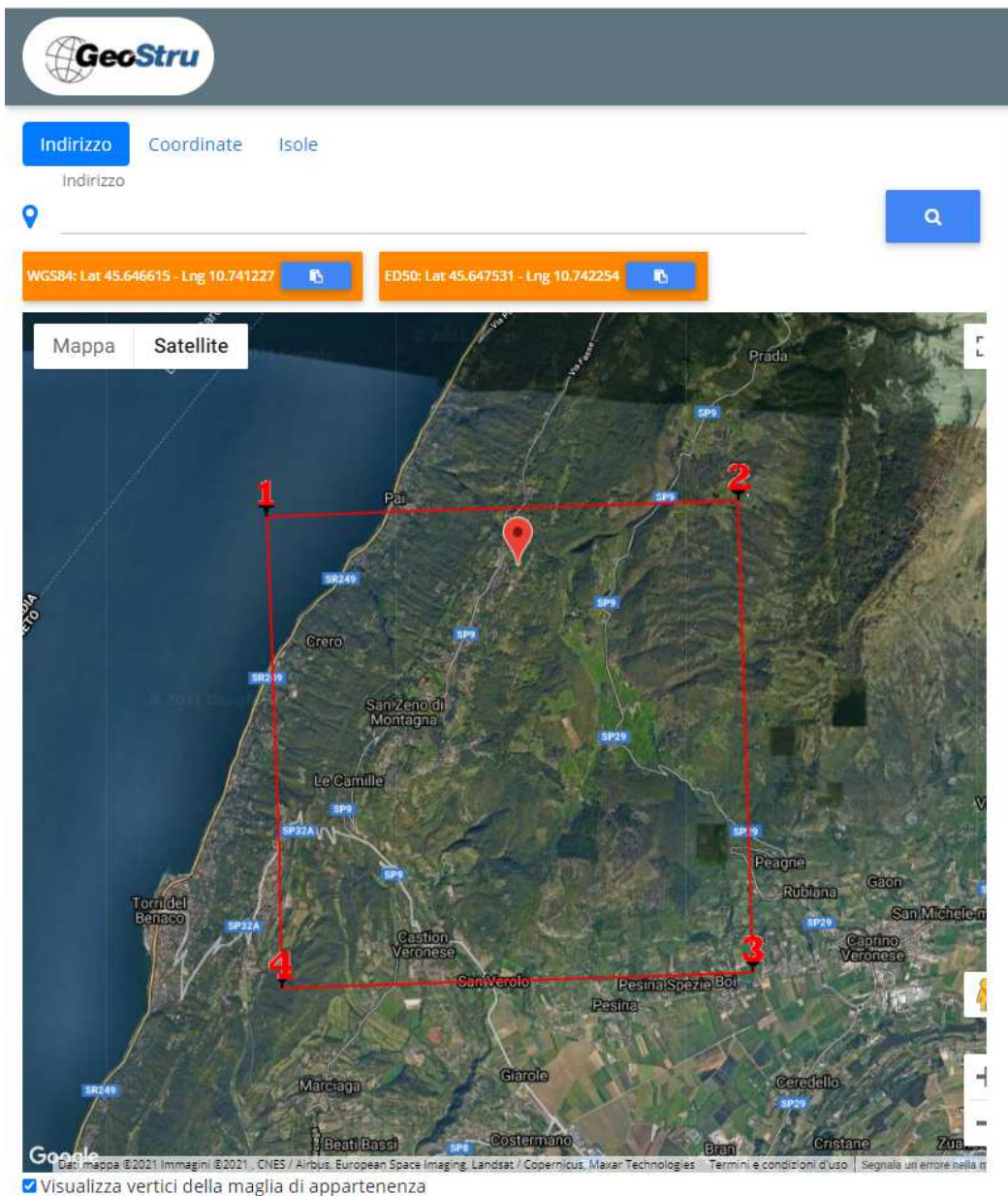
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$


Il sito in esame si trova nella categoria topografica T2.

Dal sito della GEOSTRU è stata calcolata la pericolosità sismica secondo la nuova normativa NTC 2018 del sito in esame.

In particolare sono stati ricavati oltre ai parametri sismici (a_g , F_0 e TC^*) per gli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC, tipici del luogo e della costruzione in esame, i coefficienti sismici (k_h , k_v) orizzontali e verticali per le Fondazioni.

In seguito è riportata l'ubicazione del sito e i valori ricavati.



 **GEOSTRU PS ADVANCED**
Pericolosità sismica di base e di sito. Scopri la versione completa.

[About Us](#) [Prodotti](#) [Geoapp](#) [Contattaci](#) [Aiuto](#)

Stati limite

Classe Edificio: Il. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.492	0.232
Danno (SLD)	50	0.058	2.523	0.240
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.163	2.434	0.276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.210	2.480	0.279

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: A

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

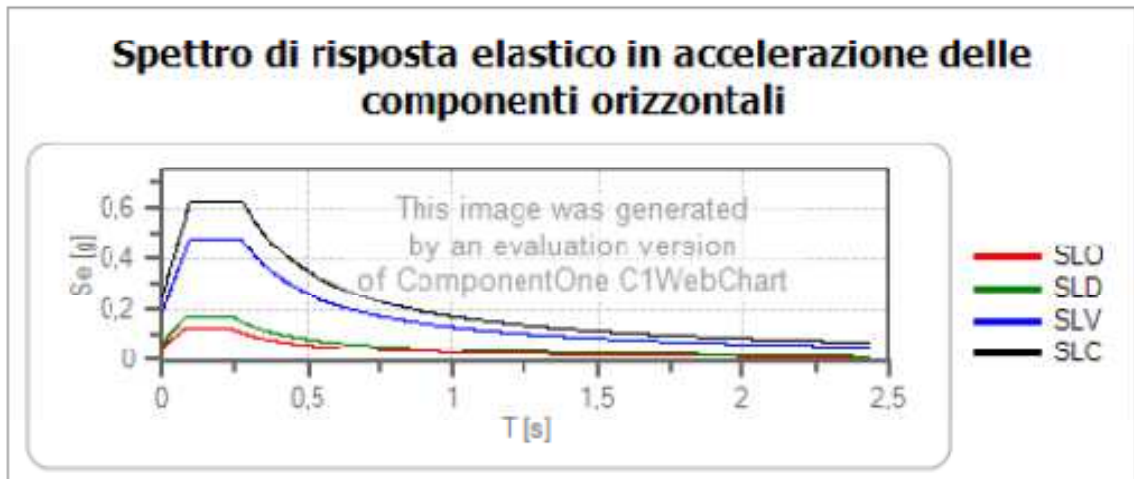
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.014	0.053	0.076
kv	0.005	0.007	0.026	0.038
Amax [m/s²]	0.512	0.681	1.916	2.471
Beta	0.200	0.200	0.270	0.300

Spettri di risposta

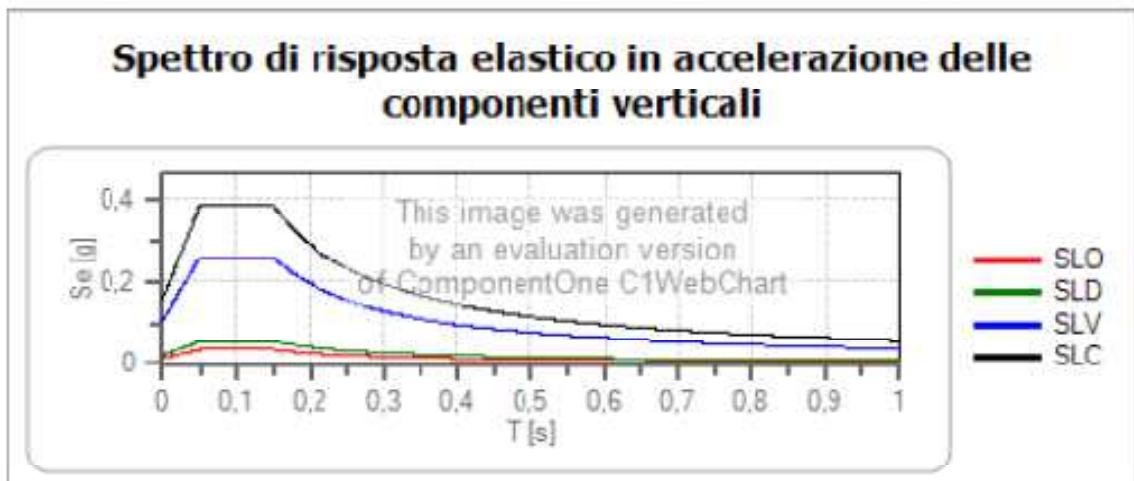
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5 %

Fattore che altera lo spettro elastico = 1,000



	cu	ag [g]	Fo	Tc' [s]	Ss	Cc	St	S	TB [s]	TC [s]	TD [s]	
SLO	1	0,043	2,492	0,232	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,077	0,232	1,774
SLD	1	0,058	2,523	0,240	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,080	0,240	1,832
SLV	1	0,163	2,434	0,276	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,092	0,276	2,251
SLC	1	0,210	2,480	0,279	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,093	0,279	2,440



	cu	ag [g]	Fo	Tc' [s]	Ss	Cc	St	S	TB [s]	TC [s]	TD [s]	
SLO	1	0,043	2,492	0,232	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,058	2,523	0,240	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,163	2,434	0,276	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,210	2,480	0,279	1,000	1,000	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000

Spettro di progetto

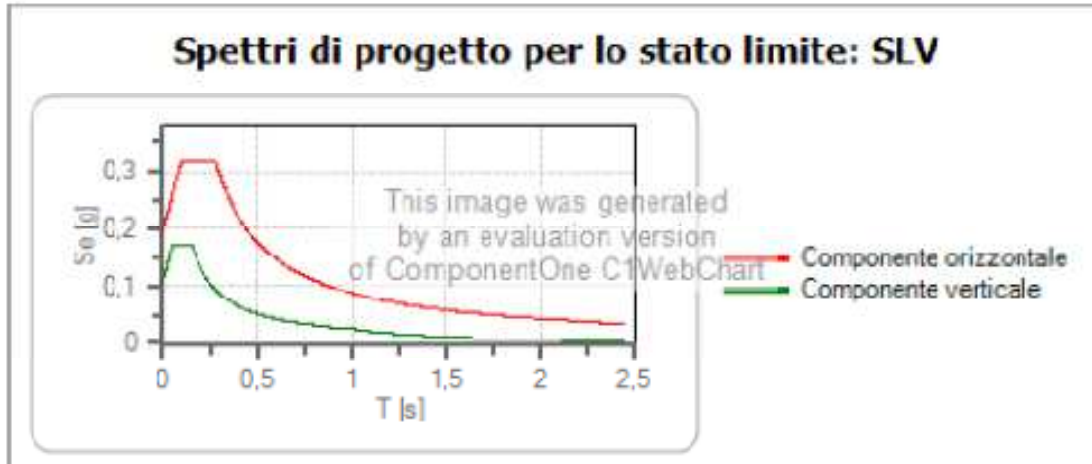
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 1.5

per lo spettro orizzontale = 0,667

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1,5

per lo spettro verticale = 0,667

Stato limite: SLV



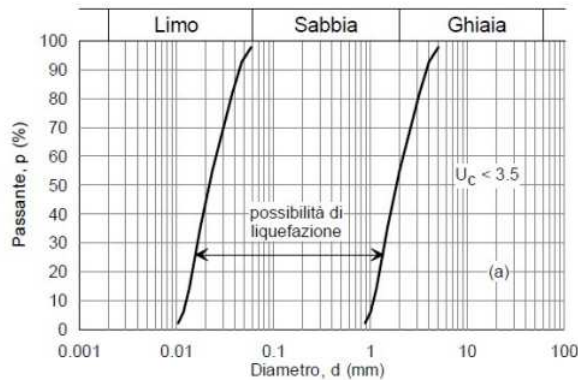
	n_u	a_g [g]	F_n	T_n [s]	S_n	C_n	S	S	q	T_R [s]	T_C [s]	T_n [s]
SLV orizzontale	1	0,163	2,434	0,276	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,092	0,276	2,251
SLV verticale	1	0,163	2,434	0,276	1,000	1,000	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000

6.2 Stabilità nei confronti della liquefazione

In questa zona è stata omessa la verifica nei confronti della liquefazione.

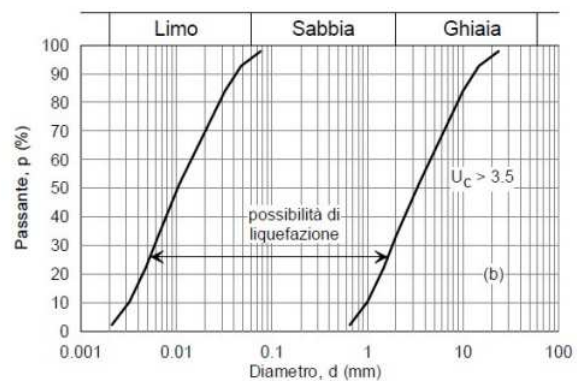
In particolare la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



$$U_c = D_{60} / D_{10}$$

Figura 7.11.1
Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione



* U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa.

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

RELAZIONE GEOTECNICA

AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018

7. RELAZIONE GEOTECNICA

7.1 Caratteristiche geotecniche

La caratterizzazione geotecnica dei terreni investigati è stata effettuata sulla base dell'osservazione di campagna ulteriormente sostenuta dai dati bibliografici.

Si stimano per i **materiali rilevati** le seguenti caratteristiche geotecniche:

DEPOSITI DETRITICO-COLLUVIALI			
Peso di volume naturale	γ	=	18.5 kN/m ³
Angolo d'attrito d'ammasso	ϕ	=	32°
Coesione apparente	C'	=	5-10 Kpa
Coesione	C	=	0 Kpa

CALCARI OOLITICI			
Peso di volume naturale	γ	=	26 kN/m ³
Angolo d'attrito d'ammasso	ϕ	=	35°-40°
Coesione d'ammasso	C	=	300 KPa
CLASSE GEOMECCANICA	II – III di Bieniawski		

E' stata assegnata a questo materiale una coesione apparente (C') in accordo con le osservazioni di campagna, si è ritenuto invece opportuno fornire un valore di coesione reale (C) nullo al materiale in esame, in quanto la coesione degli scassi osservati è attribuibile a fenomeni di consolidamento temporaneo, oppure a fenomeni di aging o di capillarità, che non possono essere estesi alla reale situazione che si presenterà in fase definitiva.

7.2 Analisi del progetto e verifica delle problematiche di ordine geologico e geotecnico

Il progetto in esame prevede la realizzazione delle opere di urbanizzazione per l'attuazione del PUA denominato PORA nel Comune di San Zeno di Montagna (VR) in Loc. la Pora.

Gli scavi per la realizzazione dei fabbricati avranno altezze massime di circa 2 m.

Sulla base del modello stratigrafico-geotecnico indicato nei cap. precedenti, le problematiche relative a tali aspetti, dovute alle interazioni terreno-struttura delle nuove opere, riguardano:

- la capacità portante del terreno di fondazione;
- la stabilità degli scavi.

7.2.1 Calcolo della capacità portante del terreno di fondazione

Le fondazioni dei fabbricati interesseranno il deposito detritico colluviale. In tal senso le fondazioni potranno essere del tipo continue nastriformi.

Per il calcolo della capacità portante del terreno si è adottato il metodo di Terzaghi che propone una formula valida per il calcolo della portanza di fondazioni superficiali di larghezza B.

La formula è data da :

$$q_{lim} = c N_c \beta_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \beta_\gamma$$

dove :

q_{lim} è la capacità portante limite del terreno;

c è la coesione del terreno su cui poggia la fondazione;

γ è il peso specifico del terreno posto sopra e sotto il piano di fondazione;

D è la profondità del piano di fondazione dal piano campagna;

q è il peso del sovraccarico, uguale al prodotto $\gamma \cdot D$;

B è la larghezza della fondazione;

β_c e β_γ sono fattori correttivi di forma, espressi da coefficienti numerici, legati alla geometria della fondazione;

N_c , N_γ , N_q sono fattori adimensionali di capacità portante, funzione dell'angolo di attrito, pari rispettivamente a 44.0, 27.3, 28.5, per $\phi = 32^\circ$, espressi da:

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45 + \phi/2)} \quad a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

dove :

- ϕ è l'angolo di attrito del terreno di fondazione pari a 32°
- $K_{p\gamma}$ è il coefficiente di portata funzione dell'angolo ϕ , determinato da Terzaghi sulla base di prove empiriche.

Di conseguenza la capacità portante limite (q_{lim}) è legata ai seguenti gruppi di parametri :

- parametri geotecnici
- parametri geometrici
- coefficienti correttivi

- Parametri geotecnici

Sono rappresentati essenzialmente da:

- coesione (c) del materiale su cui poggia la fondazione, generalmente espressa in Kg/cm^2 ;
- angolo di attrito (ϕ) del materiale su cui poggia la fondazione;
- peso specifico (γ) rappresentativo del terreno sopra e sotto il piano di fondazione, espresso in Kg/m^3 .

Questi parametri sono stati desunti, nel caso in esame, sulla base dei dati bibliografici e dell'osservazione diretta in campagna.

- Parametri geometrici

Si tratta di elementi caratterizzanti le dimensioni della fondazione superficiale adottata.

In particolare :

- larghezza (B) della fondazione, espressa in metri
- profondità (D) della base della fondazione, espressa in metri

- Coefficienti correttivi

Sono dei parametri legati alla particolare tipologia della fondazione presa in considerazione e al valore di ϕ (angolo di attrito) assunto. In particolare:

- coefficienti numerici relativi alla geometria della struttura (β_c e β_γ);
- coefficienti di portata (N_q , N_c , N_γ e $K_{p\gamma}$), relativi al valore specifico dell'angolo di attrito (ϕ).

La formula di Terzaghi tiene conto anche delle condizioni al contorno che possono influenzare il calcolo della portanza, in particolare:

- la presenza di falda;
- l'eccentricità del carico;

- l'inclinazione del carico;
- la stratificazione del terreno;
- la fondazione su pendio.

Ipotizzando quindi una fondazione continua nastriforme di lato B pari a 0,5-1,0 m con altezza D pari a 0,5 m, in accordo con quanto previsto dalle planimetrie progettuali, si ottengono i seguenti valori di carico limite e di carico ammissibile:

FONDAZIONI CONTINUE NASTRIFORMI

D (m)	B (m)	Q (Kg/cm ²)	Q _{limite ultimo} (Kg/cm ²) ricavato utilizzando i coefficienti riduttivi dell'approccio 2 = A1+M1+R3
0,5	0,5	3,90	1,4
0,5	1,0	5,17	1,9

Per quanto riguarda il cedimento del terreno di fondazione la presenza di materiali prevalentemente di natura granulare e insaturi permetterà cedimenti trascurabili che presumibilmente si esauriranno in fase esecutiva delle opere stesse, se verranno opportunamente rullati e compattati.

Infine, nell'eventualità in cui si dovessero riscontrare livelli di materiali di riporto o terrigeni durante le fasi di scavo, questi andranno completamente asportati al fine di realizzare il piano fondazionale sui depositi naturali.

CAPACITA' PORTANTE IN ROCCIA

Nell'eventualità in cui in corrispondenza dell'intera sagoma del fabbricato si rinvenisse il substrato roccioso potrà essere adottato un valore di capacità portante ultima pari a 2.5-3.0 Kg/cm², avendo cura di asportare gli strati superficiali, alterati e fratturati e di ammasso roccioso poco resistente.

7.2.2 Stabilità dei fronti di scavo

Alla stabilità dello scavo a breve termine contribuisce, oltre all'angolo di attrito proprio del terreno, anche alla coesione apparente fornita dalla presenza, di materiali fini nella matrice del deposito e dalle forze di natura superficiali (tensioni capillari, fenomeni di *aging*, ecc.) cui può essere assegnato un valore $C' = 10$ KPa e un coefficiente di angolo di attrito medio su tutta l'altezza $\phi = 32^\circ$.

Tenendo conto di tali contributi, utilizzando il diagramma di HOECK e BRAY (Fig.3) senza filtrazione alla base (schema 1), con i parametri fisico meccanici precedentemente indicati, $F = 1.30$, si ricavano i seguenti angoli di profilatura per l'altezza prevista:

$$\frac{\tan \phi}{F} = \frac{0.62}{1.30} = 0.48$$

per un'altezza di scavo di 2.0 m:

$$C \frac{1.0}{Y \cdot H \cdot \tan \phi} = \frac{1.0}{1.8 \times 2.0 \times 0.62} = 0.44$$

Da questi valori, facendo riferimento al grafico di fig. 3, si ricava un angolo di profilatura $\beta = 55^\circ - 60^\circ$ in assenza di filtrazione d'acqua.

DIAGRAMMA DI STABILITA' DI HOECK & BRAY

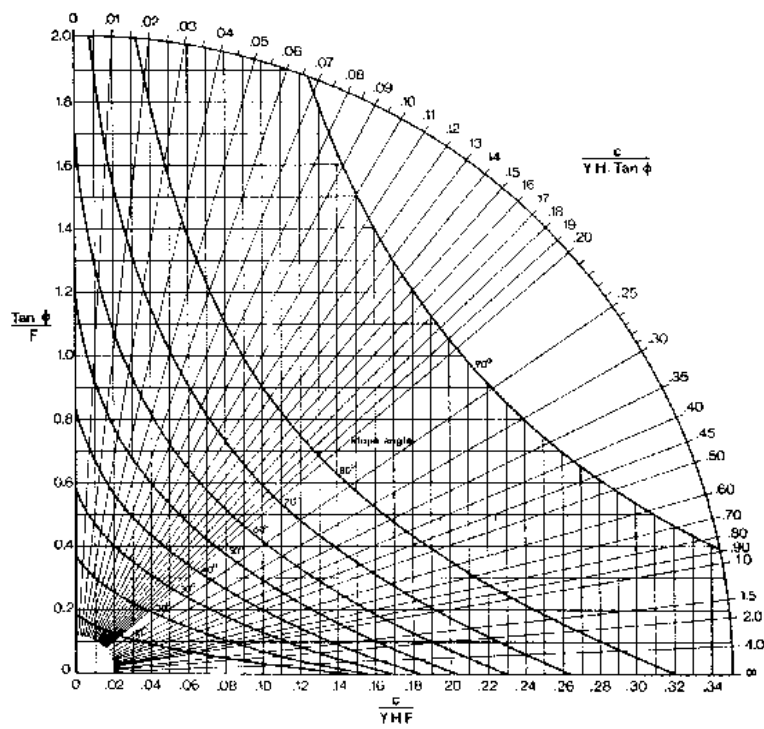
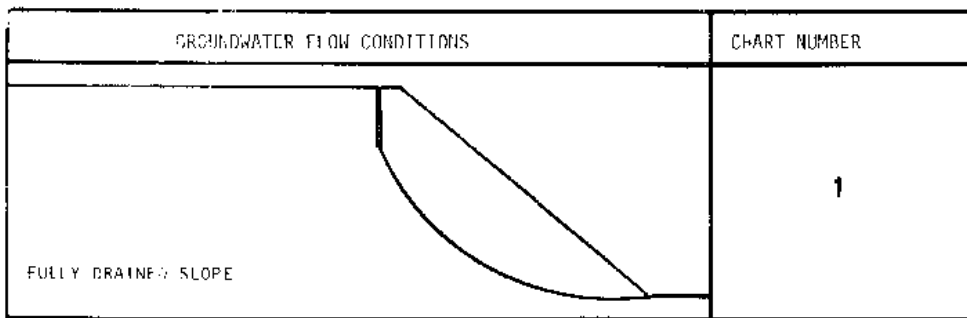


FIGURA 3

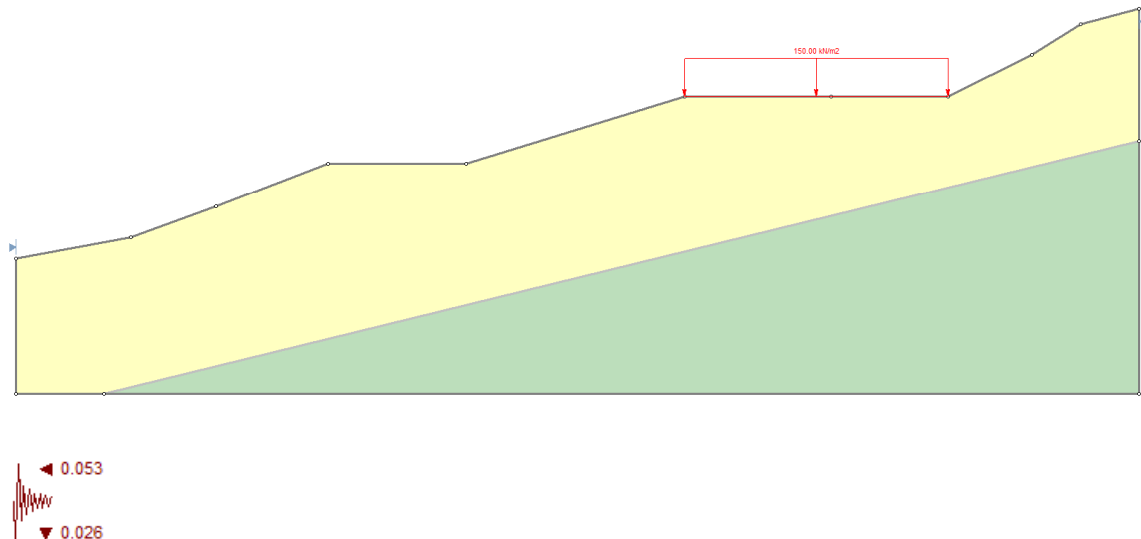
Di seguito sono elencate alcune prescrizioni di carattere generale da adottare per gli scavi previsti:

- In caso di pioggia sugli scavi o sulle porzioni già scavate andranno posizionati dei teli impermeabili a salvaguardia delle condizioni di coesione apparente del materiale.
- Tutti gli scavi necessari alla realizzazione del manufatto dovranno rimanere aperti per il tempo strettamente necessario all'edificazione dei muri di contenimento; inoltre per evitare future infiltrazioni d'acqua, in occasioni di particolari eventi piovosi, si raccomanda la realizzazione di un sistema di drenaggio perimetrale. Ciò si rende necessario anche per evitare sovrappressioni nei terreni di sedime e a tergo dei muri stessi. I flussi idrici raccolti dai dreni e tutte le acque bianche dovranno essere convogliate nella rete delle acque bianche esistente, o opportunamente disperse.
- Sui cigli delle scarpate, non dovrà esser accumulato alcun tipo di materiale né dovranno sostarvi le macchine del cantiere, al fine di evitare l'insorgere di fenomeni di instabilità dei fronti di scavo stessi.

Si raccomanda infine di profilare il versante verso monte mediante la realizzazione di gradonature, in accordo con la profilatura esistente e al fine di favorire la stabilità globale del sito stesso.

8. VERIFICA DI STABILITA' DEL VERSANTE

Di seguito e' riportata la verifica di stabilita' eseguita nella proprieta' privata che rappresenta una delle condizioni piu' penalizzanti.



In giallo chiaro sono riportati i depositi detritico-colluviali, in verde il substrato roccioso.

In corrispondenza della zona pianeggiante e' stato inserito il sovraccarico dovuto alla struttura e costituito nello specifico da 150 KN/mq, trattandosi di un fabbricato di medie dimensioni.

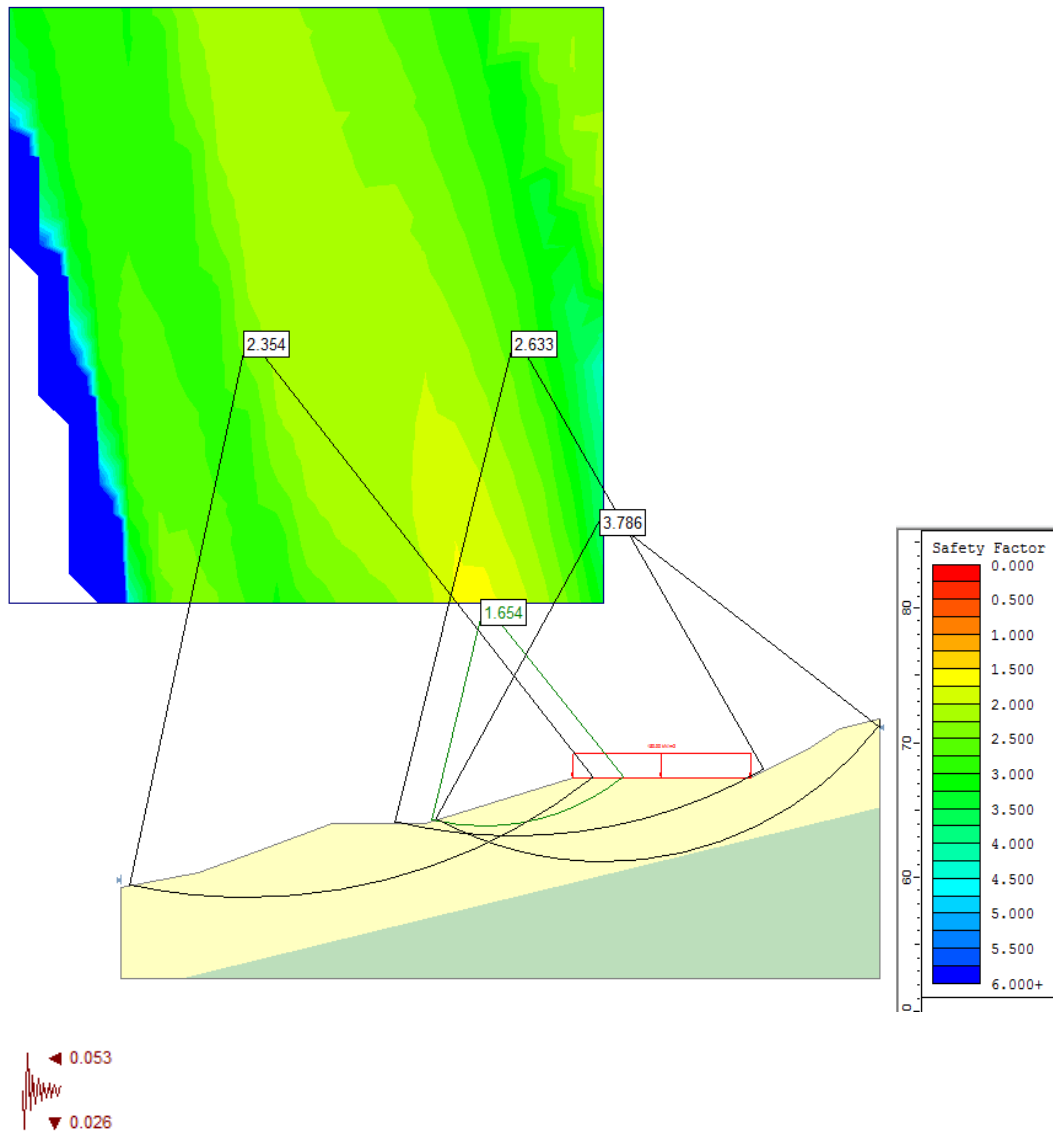
La verifica di stabilita' e' stata eseguita con il programma SLIDE della Rocscience.

Di seguito sono riportati i dati inseriti, gli schemi utilizzati e i risultati ottenuti.

La verifica e' stata condotta in condizioni sismiche.

La verifica e' stata condotta utilizzando il metodo di Bishop semplificato, adatto per superfici circolari in materiali sciolti granulari come nel caso in esame.

I parametri utilizzati per i materiali sono quelli riportati nel capitolo 7.1.



Nella verifica condotta il fattore di sicurezza minimo è nell'intorno di 1.6.
Tutte le verifiche rappresentano situazioni di stabilità'.

Al fine di realizzare le opere in progetto vengono di seguito elencate alcune raccomandazioni e prescrizioni di carattere tecnico e geologico - idrogeologico:

- Si raccomanda di mantenere una leggera pendenza verso SSE in corrispondenza della scarpata al fine di favorire il naturale deflusso delle acque meteoriche e di scorrimento subsuperficiale verso le naturali vie di deflusso idrico;
- Si raccomanda di recintare e segnalare opportunamente l'area durante le fasi di intervento, segnalando in particolar modo il transito di camion;
- Si raccomanda di realizzare in corrispondenza dell'intero margine di monte della scarpata una canaletta a cielo aperto di dimensioni indicative pari a 0.5-0.8 m di larghezza e con una profondita' di circa 0.3-0.5 m che raccolga le acque provenienti da monte e le sversi opportunamente a valle;
- Si raccomanda di raccordarsi alle proprieta' limitrofe mantenendo il piu' possibile una morfologia dolce;
- Si raccomanda di evitare di far sostare veicoli in corrispondenza di cigli e scarpate provvisionali al fine di evitare l'innescio di fenomeni di cedimento localizzato.

9. CONCLUSIONI

È stato eseguito uno studio geologico -geotecnico e sismico a supporto del progetto per la realizzazione delle opere di urbanizzazione per l'attuazione del PUA denominato PORA nel Comune di San Zeno di Montagna (VR) in Loc. la Pora.

I rilievi, le analisi e le verifiche eseguite non hanno evidenziato processi morfodinamici in atto e/o quiescenti tali da poter pregiudicare la fattibilità degli interventi in progetto, purché vengano rispettate le considerazioni geologico - tecniche espresse nel capitolo 7.

In particolare il calcolo della capacità portante tramite il metodo di Terzaghi ha permesso di appurare la buona idoneità del terreno in esame a supportare una tipologia costruttiva corredata da fondazioni dirette.

Si suggerisce di utilizzare un valore di portata ammissibile nell'intorno di 1,4-1,9 kg/cm².

Verificate la capacità portante del sedime di fondazione e l'altezza critica degli scavi in fase operativa secondo la norma del D.M. 11/03/88e dal DM 17/01/2018, si può concludere assumendo che non vi sono vincoli di tipo geologico o geotecnico nell'area alla realizzazione dell'opera in progetto.

In fase esecutiva degli scavi andrà verificata la reale successione stratigrafica mediante sopralluogo di un tecnico.

La presente relazione ottempera a quanto stabilito dal D.M. 11.03.1988 e dal DM 17/01/2018 e costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione a edificare.

Caprino (VR), 10Marzo 2021

Il Relatore
Dott. Geol. Annapaola Gradizzi

BIBLIOGRAFIA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:100.000

Foglio n. 48 "Peschiera"

COMUNE DI SAN ZENO DI MONTAGNA

Piano di Assetto del Territorio (P.A.T.)

[HTTPS://GEOAPP.EU/PARAMETRISISMICI2018/](https://geoapp.eu/parametrisismici2018/)

ALLEGATO 1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1: Panoramica del sito in esame.



FOTO 2: Panoramica del sito in esame.



FOTO 3: Panoramica del sito in esame ed esecuzione della geofisica.



FOTO 4: Panoramica del sito in esame.



FOTO 5: Panoramica del sito in esame.



FOTO 6: Particolare affioramento substrato roccioso in corrispondenza del margine orientale della proprietà'.

ALLEGATO 2

RELAZIONE GEOFISICA



- Geoengineering
- Remediation
- Building

Via Maso della Pieve 60/A, 39100 Bolzano

Sede Legale e Operativa

Tel. +39 0471 17 27 078

Via del Commercio 76, 38121 Trento

Sede Operativa

Tel. +39 0461 40 23 88

Website: www.zulberti.eu

PUA LA PORA A SAN ZENO DI MONTAGNA (VR)

COMMITTENTE:

Dott.ssa Geol. Annapaola Gradizzi

Circonvallazione Bran n. 828

37013 Caprina (VR)

Tel: +39 045 9815565

Cell: +39 348 8840886

E-mail: geologo.gradizzi@gmail.com

NUMERO DI COMMESSA:

15.24

CONTENUTO:

Relazione geofisica

DATA:

Febbraio 2021

GRUPPO DI LAVORO:

Dr. Geol. Dario Zulberti

Dr. Geol. Luca Susini

FIRME:

ZULBERTI S.r.l.

Via M. delle Pieve 60/a - Pfarrhofstraße 60/a
39100 BOLZANO - BOZEN
P.IVA/C.F. 03021580216
T. 0471.1727078 - info@zulberti.eu



Indice generale

1	INTRODUZIONE	3
2	CAMPAGNA DI PROSPEZIONE SISMICA	5
2.1	Strumentazione utilizzata.....	5
2.2	Prospezione sismica tramite metodo MASW	6
2.2.1	Cenni teorici sul metodo MASW.....	6
2.2.2	Fase di acquisizione dati.....	9
2.2.3	Fase di elaborazione dati	10
2.2.4	Analisi critica dei risultati ottenuti	16
3	CONCLUSIONI.....	18

Indice delle figure

Figura 1.	Estratto ortografico riportante l'area oggetto di studio.	3
Figura 2.	Rappresentazione schematica dell'onda di Rayleigh.....	6
Figura 3.	Ubicazione e caratteristiche dello stendimento.....	9
Figura 4.	Rappresentazione delle tracce utilizzate nell'elaborazione dello stendimento.	10
Figura 5.	Rappresentazione della curva di dispersione (velocità - frequenza) dello stendimento.	11
Figura 6.	Rappresentazione dello spettro velocità di fase - frequenza dello stendimento.....	13
Figura 7.	Rappresentazione 3D dello spettro velocità di fase - frequenza dello stendimento.	13
Figura 8.	Rappresentazione della funzione disadattamento (1000 iterazioni) per lo stendimento.	14
Figura 9.	Rappresentazione di tutti modelli elaborati dal programma (1000 iterazioni) per lo stendimento.	15
Figura 10.	Rappresentazione della curva di best-fit calcolata dal programma per lo stendimento.....	15

Indice delle tabelle

Tabella 1.	Parametri utilizzati per l'analisi spettrale per lo stendimento.....	11
Tabella 2.	Modello stratigrafico preliminare del terreno per lo stendimento.....	12
Tabella 3.	Parametri della soluzione finale in uscita dal modello per lo stendimento.	16
Tabella 4.	Caratteristiche geotecniche dei sismo-strati individuati per lo stendimento.....	16

1 INTRODUZIONE

Su incarico e per conto della Dott.ssa Geol. Annapaola Gradizzi, è stato redatto il presente report contenente i risultati delle indagini geofisiche condotte a “PUA LA PORA A SAN ZENO DI MONTAGNA (VR)”.

Il presente studio si è avvalso di un sopralluogo effettuato in sito, di specifiche indagini di prospezione geofisica nonché della conoscenza bibliografica e professionale maturata dagli scriventi nell’ambito geologico dell’area di interesse.

Le indagini condotte in sito hanno avuto lo scopo di andare a caratterizzare dal punto di vista sismico i terreni di interesse. Tale aspetto risulta fondamentale ai fini di una corretta progettazione poiché permette, congiuntamente ad altre indagini di tipo geotecnico, di individuare eventuali criticità connesse con l’assetto geologico-stratigrafico locale.

L’estratto ortofotografico proposto di seguito riporta l’ubicazione dell’area oggetto di indagine.



Figura 1. Estratto ortografico riportante l'area oggetto di studio.

Nello specifico le indagini geofisiche condotte in sito sono state finalizzate alla determinazione del profilo verticale della velocità delle onde sismiche longitudinali e trasversali (V_p e V_s) e del parametro V_{s30} (o $V_{s,eq}$).

A tale scopo le prove, eseguite nel febbraio 2021, sono state costituite da:

- Esecuzione di N. 1 stendimento geofonico per l'esecuzione di indagine sismica attiva, tramite prova tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Nei seguenti capitoli verranno brevemente riassunte le caratteristiche dell'attrezzatura per l'acquisizione dei dati in sito, i concetti teorici fondamentali alla base delle suddette indagini, le fasi di elaborazione dei dati ed infine i risultati ottenuti.

2 CAMPAGNA DI PROSPEZIONE SISMICA

2.1 Strumentazione utilizzata

L'apparecchiatura utilizzata in fase di acquisizione dei dati di campo è un sismografo 24 bit per prospezione sismica, della casa MAE, modello A6000S. Caratteristica principale di questo sismografo risulta essere la risoluzione di 24 bit effettivi per ogni singolo canale, nonché la possibilità di acquisire dati relativi a tutte le tipologie di prospezione sismica, sia attiva che passiva. Vengono di seguito riportate alcune specifiche tecniche del sismografo sopra descritto.



Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta	Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
Range dinamico: 144 dB (teorico)	Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
Distorsione massima: +/-0.0010%	Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
Banda passante: 2Hz-30KHz	Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz	Filtro anti-alias: -3dB,80% della frequenza di Nyquist,-80dB
Diafonia: -120dB a 20 Hz	Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV	Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua

Con la finalità di realizzare lo stendimento per l'esecuzione dell'indagine di sismica attiva, la centralina per l'acquisizione dati sopra descritta è stata connessa a 24 geofoni polarizzati verticalmente, di frequenza naturale pari a 4,5 Hz.

2.2 Prospezione sismica tramite metodo MASW

Nei seguenti capitoli vengono descritte le modalità di acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati relativi all'indagine di sismica attiva tramite metodologia MASW.

In maniera tale da rendere maggiormente completa la comprensione di tale tipo di indagine viene inoltre presentato un capitolo introduttivo relativo alle peculiarità che la caratterizzano.

2.2.1 Cenni teorici sul metodo MASW

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ; in particolare esso è adatto per la determinazione del parametro V_{s30} , come richiesto dalla normativa sismica. Sulla base del profilo delle velocità, ottenuto in fase di elaborazione dei dati, è inoltre possibile ricostruire in linea di massima la stratigrafia del suolo indagato.

Tale tecnica si basa sulla misura delle onde superficiali, il cui segnale viene acquisito in corrispondenza di diversi sensori, quali accelerometri o geofoni, posti sulla superficie del suolo. L'energia sismica generata da una sorgente come può essere l'impatto di una mazza battente al suolo, viene trasmessa per più di 2/3 nella forma delle onde di Rayleigh, che si configura come la componente principale delle onde superficiali ed è quindi quella presa in considerazione in tale metodologia.

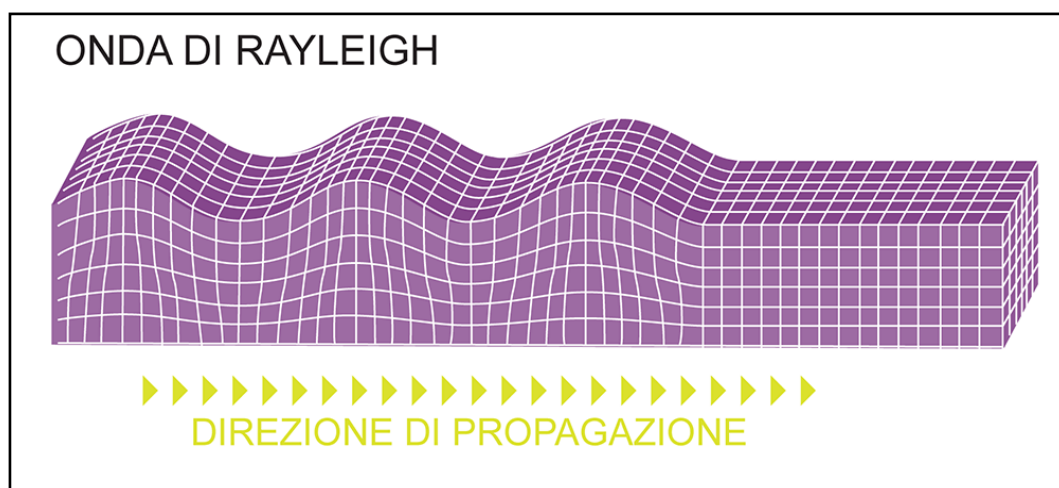


Figura 2. Rappresentazione schematica dell'onda di Rayleigh.

Ipotizzando una variazione verticale della velocità delle onde sismiche nel terreno, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. Tale comportamento è dovuto al fatto che le onde di Rayleigh sono multimodali, ovvero la funzione velocità di fase-frequenza non è monodroma.

La profondità raggiunta dalla perturbazione dipende inoltre dalla lunghezza d'onda; nel caso di un mezzo eterogeneo le onde superficiali non hanno appunto una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze; la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione, che è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere utilizzata attraverso un processo di inversione per la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (sismica a riflessione o rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. Le onde di Rayleigh infatti, durante la loro propagazione, vengono registrate lungo lo stendimento e successivamente analizzate da appositi programmi di calcolo.

In linea generale la metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica tipo MASW prevede i seguenti *step*:

- 1) Acquisizione dei segnali sismici in sito;
- 2) Calcolo della trasformata doppia di Fourier (nel dominio f-k), la quale permette di ottenere i vari massimi spettrali, ognuno corrispondente ad un modo di propagazione;
- 3) Determinazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda ed inversione della curva di dispersione per l'ottenimento del profilo verticale delle Vs.

È bene sottolineare che per ottenere un profilo delle Vs bisogna produrre delle onde superficiali a banda larga e registrarle minimizzando il rumore di fondo presente in sito. È inoltre necessario avere una minima conoscenza dell'assetto lito-stratigrafico locale e dei relativi valori approssimati del coefficiente di Poisson e della densità dei materiali. Tali dati sono solitamente derivanti da misure dirette o da indagini pregresse.

Sulla base del profilo delle velocità delle onde di taglio ricavato nei primi 30 metri di profondità, viene quindi determinata una velocità media equivalente Vs30 rappresentativa del sito in esame, utilizzando la seguente formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1..N} \frac{h_i}{V_i}}$$

hi: spessore in metri

Vi: velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo

Va precisato in tal senso che le NTC 2018 hanno introdotto la $V_{s,eq}$, ovvero un parametro rappresentativo della velocità delle onde di taglio (la cui formulazione analitica è simile a quella per le V_{s30}), utile a caratterizzare dal punto di vista sismico quei siti dove il substrato roccioso viene a trovarsi a profondità minore di 30 m dal p.c., incidendo in tal modo significativamente sul calcolo della V_{s30} (specialmente in presenza di forti contrasti di velocità tra copertura detritica e *bedrock*).

2.2.2 Fase di acquisizione dati

La fase di acquisizione dei dati avviene a seguito della realizzazione dello stendimento geofonico. Viene di seguito riportato uno schema esemplificativo dell'ubicazione e delle caratteristiche dell'acquisizione dei dati in campo.



CARATTERISTICHE STENDIMENTO:

Tipologia di indagine:	Sismica attiva (metodo MASW)
Lunghezza stendimento [m]:	69
Numero di canali acquisiti:	24
Passo intergeofonico [m]:	3,00
Numero di campioni per secondo:	1000
Gain geofoni:	Equivalente



Figura 3. Ubicazione e caratteristiche dello stendimento.

2.2.3 Fase di elaborazione dati

Nel presente paragrafo viene presentata la fase di elaborazione dei dati sismici acquisiti in sito, la quale è avvenuta tramite l'ausilio del software 'Easy MASW' della GEOSTRU. Nello specifico l'elaborazione dei dati viene effettuata attraverso differenti *step* procedurali che vengono descritti di seguito.

Importazione delle tracce all'interno del software:

Il primo passo è stato quello di importare le 24 tracce, relative ai rispettivi geofoni, all'interno del *software* di analisi. A questo punto si deve impostare la finestra di calcolo, andando ad escludere quelle parti del sismogramma non significative ai fini dell'elaborazione (primi arrivi, eventuale rumore sismico, ecc.).

Si riporta di seguito il sismogramma con evidenziata in azzurro la finestra temporale utile significativa per lo stendimento.

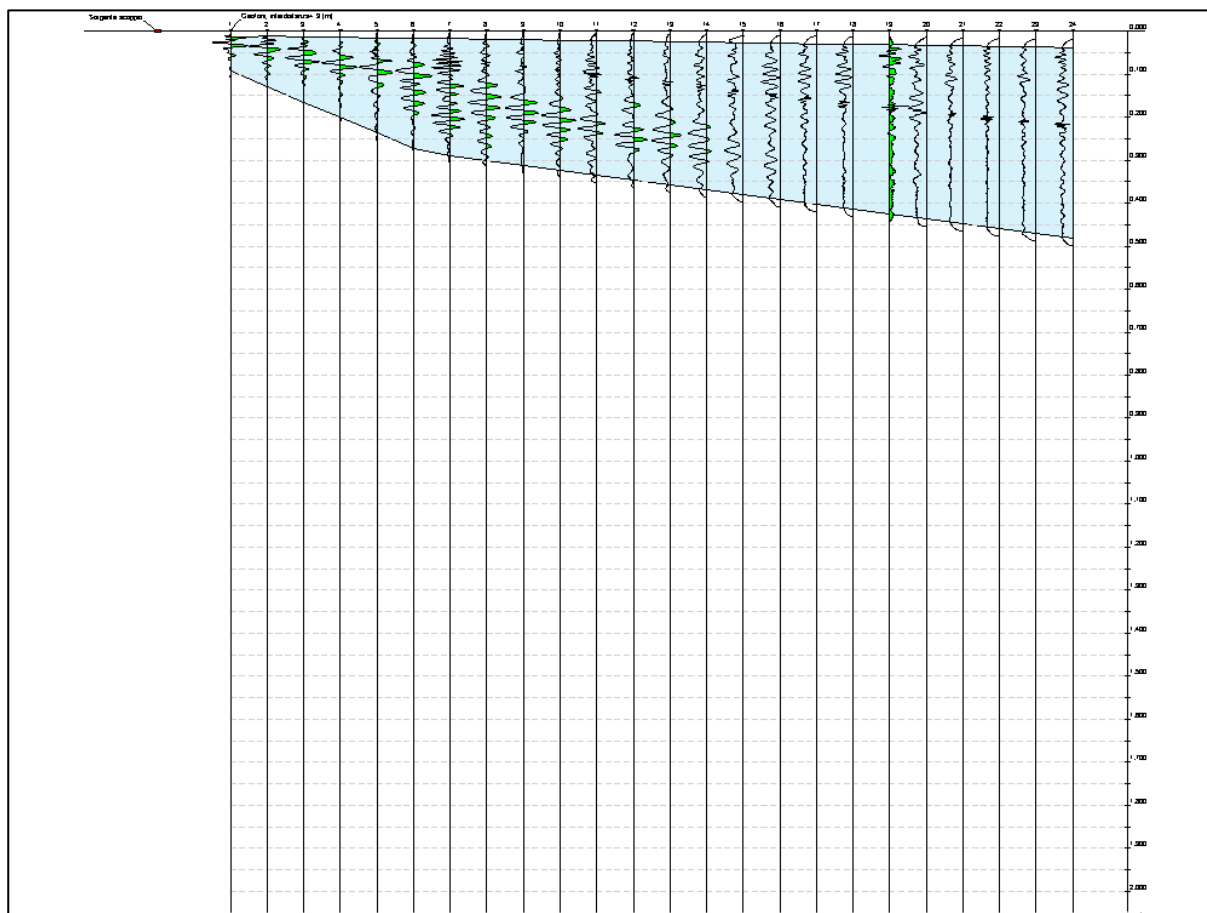


Figura 4. Rappresentazione delle tracce utilizzate nell'elaborazione dello stendimento.

Analisi spettrale:

Il secondo *step* consiste nell'analisi spettrale, la quale viene effettuata sulla curva di dispersione (rappresentata in Figura 5). Questa assume un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di *Rayleigh* ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è direttamente connessa alle caratteristiche di rigidità del mezzo e può essere quindi utilizzata tramite il processo di inversione per la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

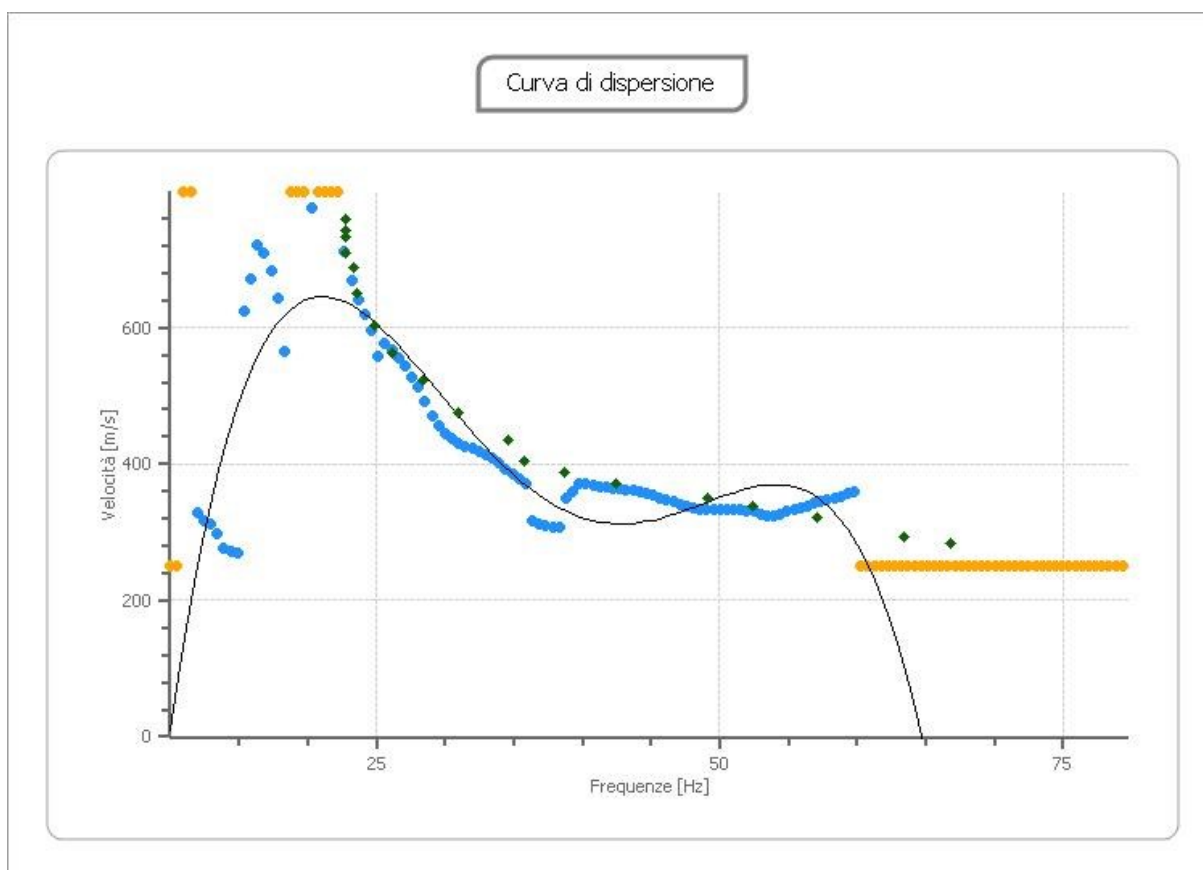


Figura 5. Rappresentazione della curva di dispersione (velocità - frequenza) dello stendimento.

L'analisi spettrale effettuata all'interno del *software* è stata impostata con i seguenti parametri:

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	Frequenza massima di elaborazione [Hz]	Velocità minima di elaborazione [m/s]	Velocità massima di elaborazione [m/s]	Intervallo di velocità [m/s]
10	60	250	800	1

Tabella 1. Parametri utilizzati per l'analisi spettrale per lo stendimento.

Va specificato a tal proposito che le linee colorate rappresentate in Figura 6, sono rappresentative dei differenti modi di propagazione dell'onda di Rayleigh in un determinato

mezzo stratificato (modello sintetico); va da sé che, a seconda delle caratteristiche fisico-meccaniche di un mezzo stratificato, l'andamento di tali linee sarà differente.

Durante il processo di analisi spettrale è quindi essenziale andare a definire un modello stratigrafico sintetico preliminare, i cui relativi modi fondamentali di propagazione delle onde di Rayleigh si adattino il meglio possibile con quelli individuati dalla curva di dispersione sperimentale.

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	3,00	3,00	1800	0,3	No	561,25	300
2	5,00	2,00	2000	0,3	No	2244,99	1200
3	> 7,00	--	2000	0,3	No	2806,24	1500

Tabella 2. Modello stratigrafico preliminare del terreno per lo stendimento.

Sulla base della curva di dispersione e dell'impostazione del modello sintetico è stato quindi effettuato il cosiddetto '*picking*', ovvero il processo attraverso il quale si va ad individuare il modo fondamentale di propagazione delle onde di Rayleigh (ed eventualmente quelli superiori).

L'esito di tale operazione è rappresentato dai punti individuati sullo spettro velocità di fase-frequenza riportato in Figura 6.

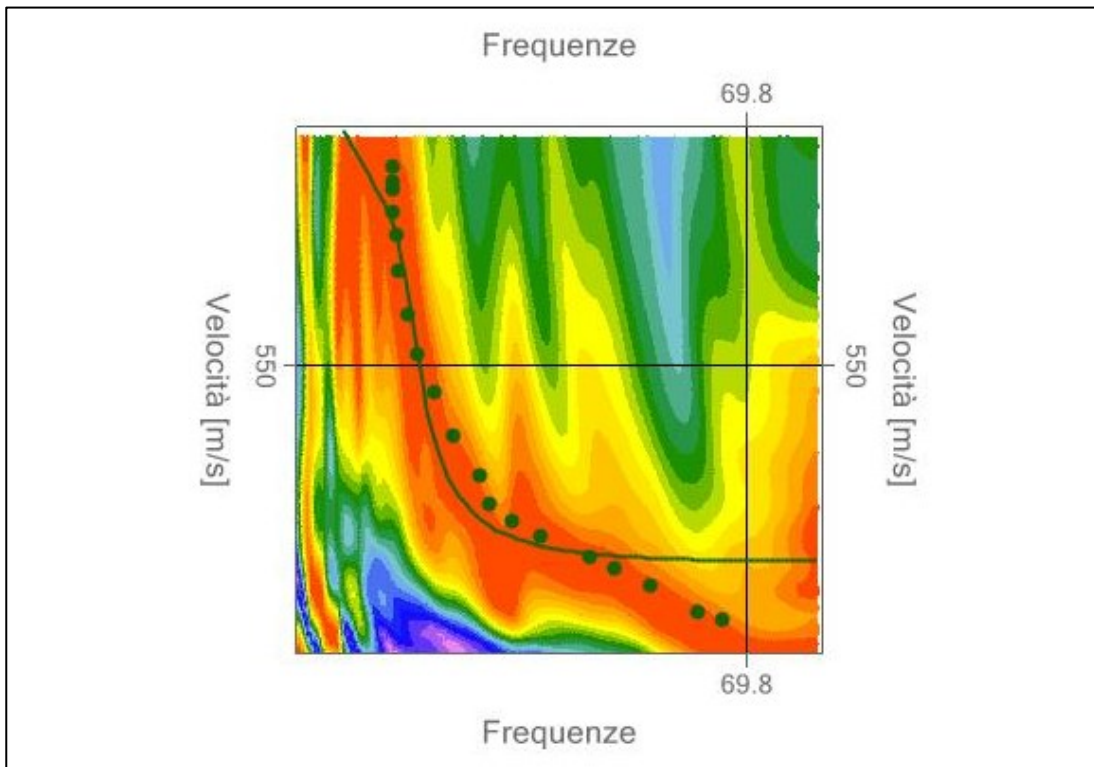


Figura 6. Rappresentazione dello spettro velocità di fase - frequenza dello stendimento.

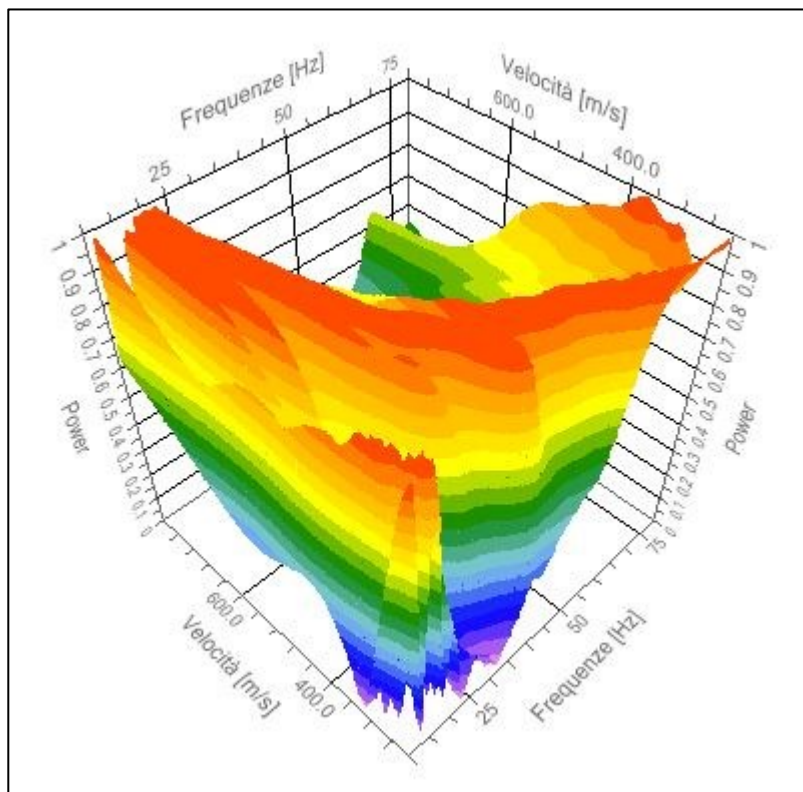


Figura 7. Rappresentazione 3D dello spettro velocità di fase - frequenza dello stendimento.

Inversione dei dati e determinazione del profilo delle velocità:

Come anticipato, il terzo passo è rappresentato dall'inversione della curva di dispersione; affinché tale processo sia efficace e rappresentativo della situazione reale è necessario impostare un modello preliminare del terreno, basato su dati relativi ad indagini geognostiche integrative o pregresse.

In fase di inversione, si selezionano quindi il numero di iterazioni di calcolo (1000 nel caso in oggetto), ognuna delle quali fornisce una possibile soluzione del profilo delle velocità.

La potenza del processo iterativo risiede nel permettere al *software* di affinare progressivamente il risultato del calcolo, iterazione dopo iterazione, fino al raggiungimento di un modello delle velocità avente il minor disadattamento possibile dalla soluzione reale (curva di *best-fit*).

Va rimarcato in tal senso che un ruolo fondamentale in questo processo è rivestito dal modello stratigrafico iniziale (riportato in Tabella 2), in quanto punto di partenza del ciclo iterativo stesso, va da sé che un modello stratigrafico di partenza completamente erroneo porterà a soluzioni altrettanto distanti dalla realtà.

In Figura 8 viene mostrato l'andamento della 'funzione disadattamento', nella quale si noti come il fattore tenda a zero mano a mano che procede il ciclo di calcolo, per un totale di 1000 iterazioni.

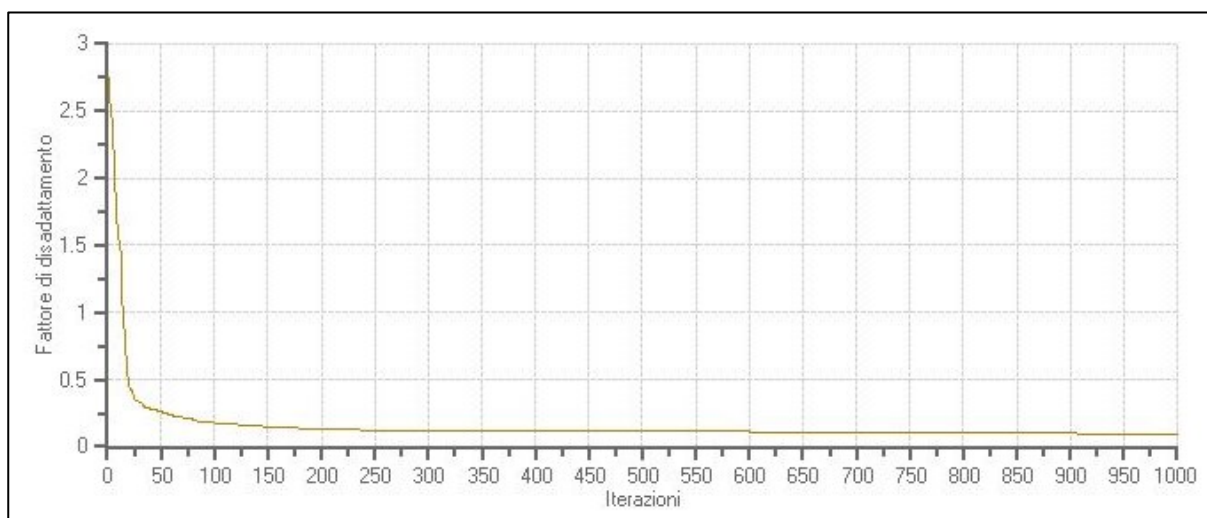


Figura 8. Rappresentazione della funzione disadattamento (1000 iterazioni) per lo stendimento.

Nelle successive Figure invece (Figura 9 e Figura 10) vengono rispettivamente riportate le rappresentazioni di tutte le curve relative alle 1000 iterazioni effettuate e quella che presenta il minor fattore di disadattamento (curva di *best-fit*).

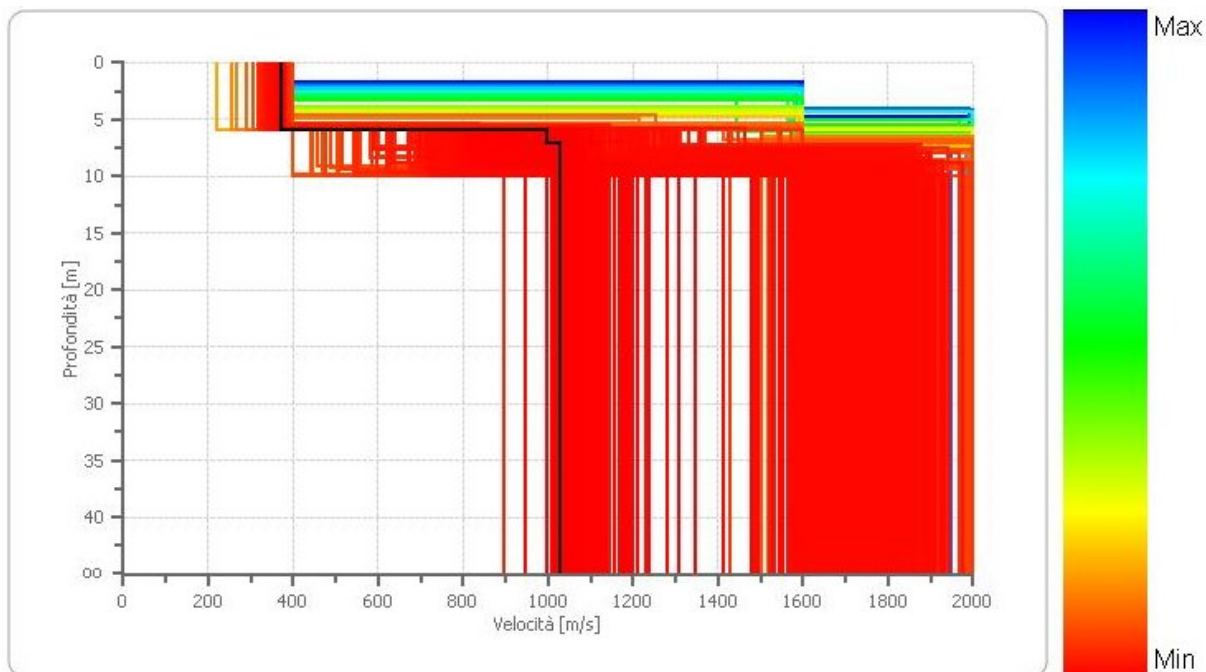


Figura 9. Rappresentazione di tutti modelli elaborati dal programma (1000 iterazioni) per lo stendimento.

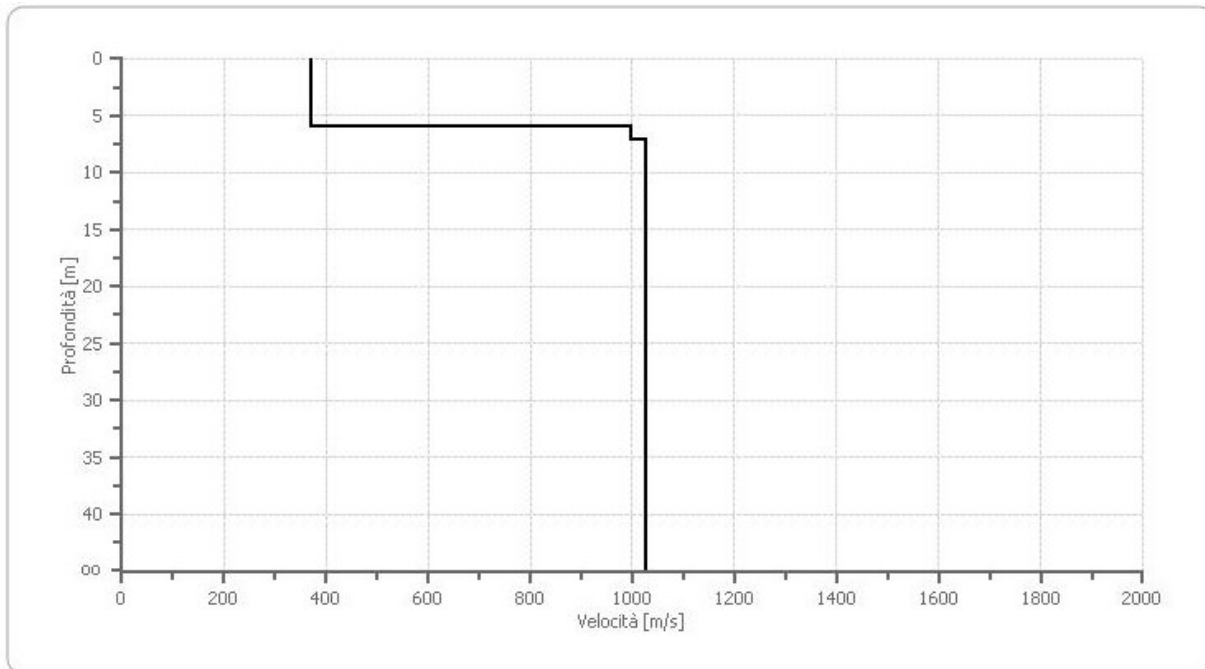


Figura 10. Rappresentazione della curva di best-fit calcolata dal programma per lo stendimento.

Nella seguente tabella viene invece riportata la percentuale di errore a cui è arrivato il ciclo di iterazione, nonché il fattore di disadattamento della curva di *best-fit*.

Percentuale di errore:	0,516 %
Fattore di disadattamento della soluzione:	0,092

Tabella 3. Parametri della soluzione finale in uscita dal modello per lo stendimento.

In conclusione, viene di seguito riportata la stima di ulteriori parametri geotecnici relativi ai differenti sismo-strati, individuati a seguito del processo di inversione.

Strato	Profondità [m]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	Vp [m/s]	Vs [m/s]
1	5,96	1800	0,30	248,14	868,48	537,6	645,16	694,61	371,9
2	7,07	2000	0,30	1983,49	6942,22	4297,56	5157,08	1863,09	995,86
3	--	2000	0,30	2106,66	7373,31	4564,43	5477,31	1920,07	1026,32

G0: Modulo di deformazione al taglio; Ed: Modulo edometrico; M0: Modulo di compressibilità volumetrica; Ey: Modulo di Young;

Tabella 4. Caratteristiche geotecniche dei sismo-strati individuati per lo stendimento.

Determinazione categoria di sottosuolo:

Una volta completata l'analisi dei dati sperimentali e ottenuto il profilo delle velocità, si è proceduto all'ultimo *step*, attraverso il quale si va a determinare il valore delle Vs30 o delle Vs,eq, come previsto dalle NTC2018.

In particolare, considerando la posa di un'ipotetica fondazione a 3,00 m dal p.c. si avrà un valore di Veq pari a 995,86 m/s (H = 2,96).

In prima analisi, il sottosuolo indagato evidenzia un *range* di velocità appartenente al 'Tipo A', ovvero, secondo quanto definito dalle NTC 2018:

"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m."

2.2.4 Analisi critica dei risultati ottenuti

Quanto emerso dalle indagini sismiche, condotte tramite l'utilizzo della metodologia MASW, è un quadro sismo-stratigrafico nel quale il profilo delle Vs risulta crescente verso il basso, senza la presenza di particolari criticità legate ad inversioni delle velocità.

Tale risultato è riconducibile a fattori di duplice natura, da un lato la tessitura dei sedimenti caratterizzanti il sottosuolo, dall'altro lo stato di compattazione ed addensamento di questi.

Nel punto di indagine, i primi 6 m circa sono caratterizzati da un sismo-strato avente velocità delle onde s dell'ordine di 370 m/s, valori solitamente indicatori di materiale grossolano mediamente compattato.

A partire da 6 m di profondità è stato registrato un aumento considerevole nel valore delle onde sismiche, toccando velocità di circa 1000 m/s: questo incremento segna con molta probabilità una modifica nella litologia caratterizzante il sottosuolo sia in termini di composizione che in termini di grado di compattazione.

3 CONCLUSIONI

Su incarico e per conto della Dott.ssa Geol. Annapaola Gradizzi, è stato redatto il presente report geofisico a supporto delle “INDAGINI DI PROSPEZIONE GEOFISICA FINALIZZATE ALL’ADEGUAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI “BETTINA PASQUALINI” E “G. FRACASTORO” SITI ALL’INTERNO DEL COMUNE DI CAVAION VERONESE”.

Il presente studio si è avvalso di un sopralluogo effettuato in sito, di specifiche indagini di prospezione geofisica nonché della conoscenza bibliografica e professionale maturata dagli scriventi nell’ambito geologico dell’area di interesse.

Nello specifico le indagini geofisiche condotte in sito sono state costituite da:

- Esecuzione di N. 1 stendimento geofonico per l’esecuzione di indagine sismica attiva, tramite prova tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Sulla base dei dati lito-stratigrafici a disposizione e delle indagini di prospezione geofisica condotte in sito, sono emersi i seguenti risultati:

1) Le indagini tramite metodologia MASW hanno permesso la ricostruzione sismo-stratigrafica della zona di studio, permettendo di delineare l’andamento crescente della velocità delle onde di taglio con la profondità, senza il riscontro di criticità connesse con fenomeni di inversione delle V_s .

2) Sulla base dei risultati ottenuti, è stato possibile calcolare il parametro $V_{s,eq}$ che è risultato essere pari, per un ipotetico piano fondazionale posto a 3 m di profondità, a 995,86 m/s, classificando il suolo indagato come suolo di ‘Tipo A’.

Bolzano, febbraio 2021

Dr. Geol. Dario Zulberti

