

LOCALIZZAZIONE:

COMUNE DI LONATO DEL GARDA
LOC. SEDENA

OGGETTO DELL'ELABORATO:

PIANO DI RECUPERO
VIA CUCCAGNA

RELAZIONE GEOLOGICA
E GEOTECNICA

ai sensi del D.M. 17/01/2018 e DGR n°IX/2616 del 30
novembre 2011

(Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28/05/2008 n. 8/7374)

STUDIO A CURA DI:

Dott. Giovanni Bembo – Geologo

Dott.ssa Loredana Zecchini – Geologo

TIMBRI E FIRME



MAGGIO
2023

PROVINCIA DI BRESCIA

REGIONE LOMBARDIA

Studio
Associato di
Geologia
Applicata ed
Ambientale

Via Trieste, 45 Bogliaco
25084 Gargnano (Bs)
Tel/Fax 0365 791070
Cell. 347-7838837 /347-5747290

E-mail bembozecchini@virgilio.it
Casella PEC
giovanni.bembo@pec.epap.it
loredana.zecchini@pec.epap.it



Geol. Bembo Giovanni
&
Geol. Zecchini Loredana

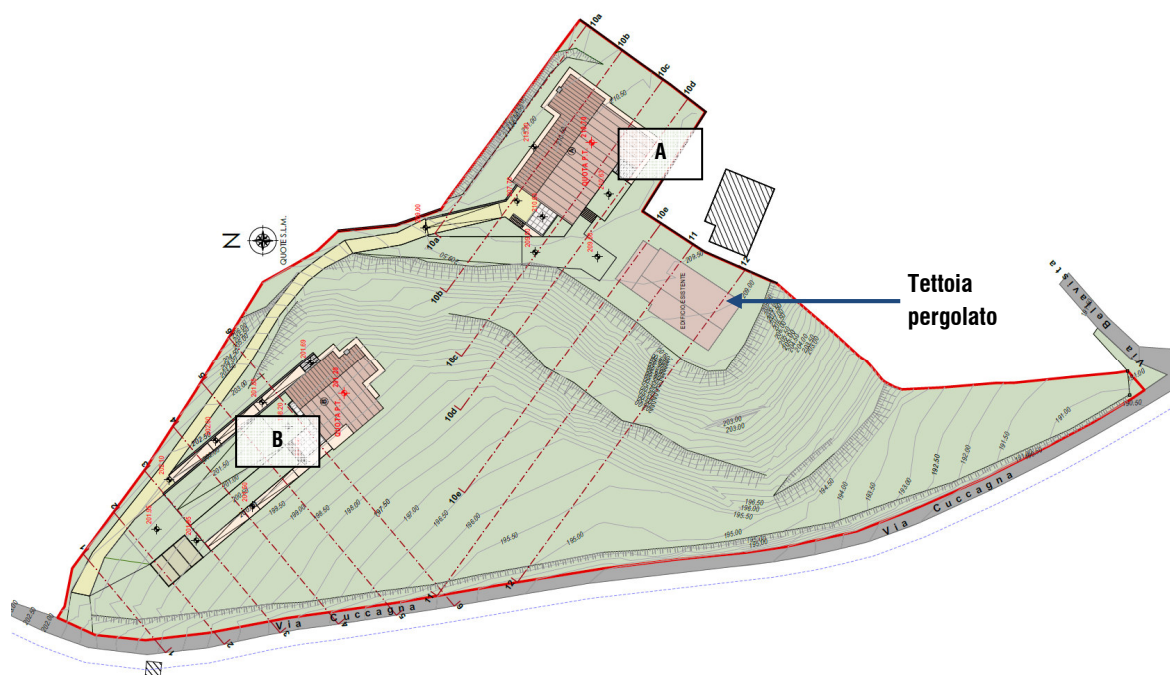
INDICE

1. Premessa	3
2. Riferimenti normativi	5
3. Quadro dei vincoli normativi di natura geologica	6
4. Considerazioni sulla fattibilità geologica e approfondimenti circa le pericolosità geologiche gravanti sull'area	12
5. Inquadramento geologico e geomorfologico generale	13
6. Caratterizzazione dei terreni presenti in sito	17
7. Indagine di sismica passiva e parametri per la determinazione dell'azione sismica di progetto	33
8. Spettri di risposta elastici allo stato limite SLE e SLU	41
9. Analisi di stabilità della pendice a valle del ripiano	44
10. Stima della capacità portante dei terreni	48
11. Conclusioni	51

1. Premessa

Il presente documento, elaborato dallo Studio Associato di Geologia Applicata ed Ambientale con sede in Bogliaco di Gargnano (Bs) su incarico e per conto della Soc. Gandal srl di Calvagese della Riviera, rappresenta la Relazione Geologica e Geotecnica ai sensi delle Norme Tecniche per le costruzioni 17/01/2018 e della D.G.R. n° IX/2616 del 30 novembre 2011 (Relazione **R1**, **R2** e **R3** - pratica MUTA DGR X/5001/2016) preordinata al Piano di recupero in Via Cuccagna, loc. Sedena in Comune di Lonato del Garda (Bs).

L'intervento prevede la realizzazione di n°2 nuovi edifici con funzione residenziale: nella zona a monte prevista la demolizione con ricostruzione ed ampliamento di un edificio esistente (edificio 1 diventa edificio A) e demolizione di un altro edificio (edificio 2) con realizzazione di una tettoia/ pergolato, mentre nella zona di valle è prevista la nuova edificazione di un edificio residenziale unifamiliare (edificio B).

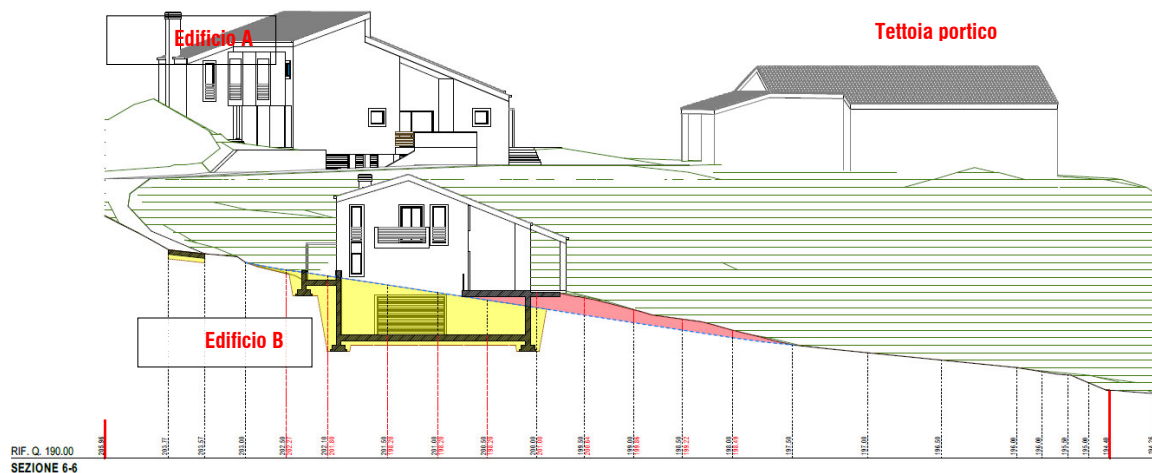


Estratto Tavole Progettuali a cura di Arch. Andrea Venturelli

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Estratto Tavole Progettuali – Sez- 6-6 di progetto a cura di Architetto Andrea Venturelli

Nell'ambito della relazione di fattibilità geologica (Relazione **R3** della pratica MUTA) del presente elaborato si esplicita a livello pianificatorio la situazione riguardante il lotto all'attenzione e le caratteristiche dell'area, oltre a fornire indicazioni riguardo la vincolistica geologica e prescrizioni in merito alla classe di fattibilità geologica in cui ricade l'area. Si esegue un'analisi della documentazione esistente relativa alla cartografia geologica Ufficiale ed alla verifica delle informazioni contenute nel Piano di Governo del Territorio e dello studio del Reticolo Idrico Minore del Comune oltre ad ulteriori carte tematiche sovracomunali.

Successivamente, ai fini dell'espletamento dell'incarico professionale affidato, per la redazione della Relazione geologica secondo DM 17/01/2018, (**R1** della pratica MUTA), si è proceduto alla ricostruzione del locale modello geologico ed alla stima dei valori delle principali proprietà fisiche e geotecniche attribuibili ai terreni presenti in sito (utilizzando correlazioni empiriche note in letteratura scientifica) in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni – DM 17/01/2018.

In merito all'analisi della pericolosità sismica, inoltre, si sono definiti i valori dei parametri necessari al calcolo dell'azione sismica, di competenza del Geologo, da adottare nelle verifiche progettuali ed alla definizione degli spettri di risposta del terreno.

L'indagine geognostica si è articolata secondo un programma che ha visto l'esecuzione di:

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

- Rilevamento geologico e geomorfologico del sito e di un suo intorno significativo;
- N°5 scavi esplorativi;
- N° 7 prove penetrometriche dinamiche;
- Indagine di sismica passiva (n°5 misure di microtremore HVSR).

2. Riferimenti normativi

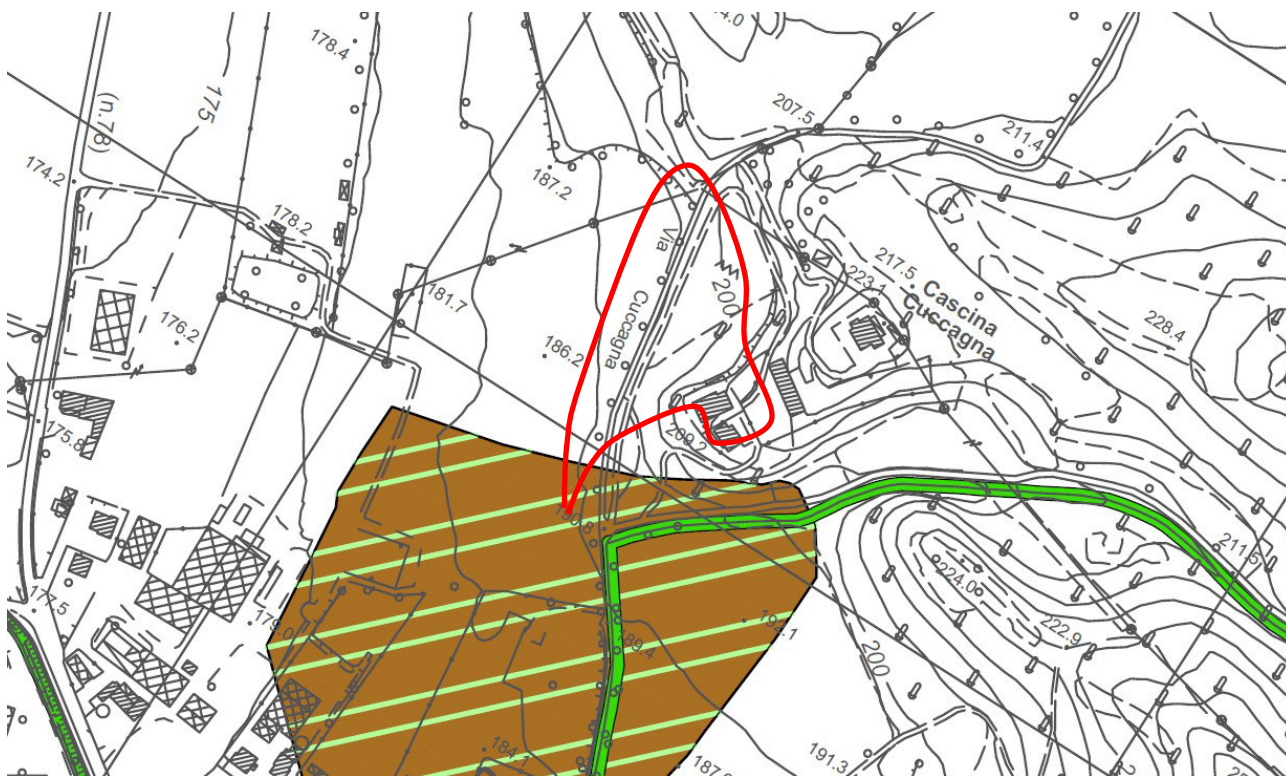
- D.G.R. n° IX/2616 del 30 novembre 2011, Aggiornamento dei “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r.11 marzo 2005, n°12*”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r 28/05/2008 n. 8/7374);
- D.G.R. n° XI/2120 del 09 settembre 2019, Aggiornamento dell’Allegato 1 ai “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r.11 marzo 2005, n°12”, approvati con d.g.r. IX/2616 30/11/2011.
- Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (Anno 2007);
- D.G.R. n° X/2129 del 11 luglio 2014 – Aggiornamento delle zone sismiche in regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d);
- Dgr 30 marzo 2016 – n°X/5001 approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (art. 3 comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).
- Norme Tecniche per le Costruzioni D.M 17 gennaio 2018.

3. Quadro dei vincoli normativi di natura geologica

Gli elementi specifici utili alla classificazione e differenziazione del territorio comunale e che sintetizzano le conoscenze aggiornate circa il sito esaminato, sono compresi nella *Carta dei vincoli esistenti* e nella *Carta di Fattibilità geologica* allegate alla *Componente geologica del Piano di Governo del Territorio*, redatta secondo la D.G.R. 2616/2011.

In tali elaborati sono riportati i limiti delle aree sottoposte a vincolo (di natura geologica), da riferirsi a normative sia nazionali che regionali e che evidenziano le zonizzazioni del territorio caratterizzate da differenti limitazioni di tipo geologico (geomorfologico, idrogeologico, idraulico ecc.) da applicare nella trasformazione del suolo e relative prescrizioni (Carta di Fattibilità).

Dalla consultazione della cartografia tematica del PGT vigente, il sito di intervento non è interessato direttamente da una particolare categoria di fenomeno o di vincolo di natura geologica.



Estratto Carta dei vincoli SG.TAV 11- – Anno 2009 - Rev.4 - Agosto 2022

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

AREE SOGGETTE A VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO AI SENSI DELLA L. 183/89

Quadro del dissesto proposto in aggiornamento al vigente, (procedura "in itinere"), come riportato nella Carta del Dissesto con legenda uniformata PAI



Area di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa (Cn)
(Pericolosità media o moderata)

Solo l'estremità meridionale in corrispondenza dell'accesso al futuro complesso residenziale turistico ricade in un'area classificata Cn – Area di conoide non recentemente riattivatisi o completamente protette.

La zona **non ricade nelle aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile** - zona di rispetto dei pozzi e delle sorgenti (normativa di riferimento nazionale è il D.Lgs. 3 aprile 2006, n°152 "Norme in materia ambientale" che disciplina e norma le aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano (art. 93) definendo le zone di tutela assoluta e la zona di rispetto dei pozzi e delle sorgenti).

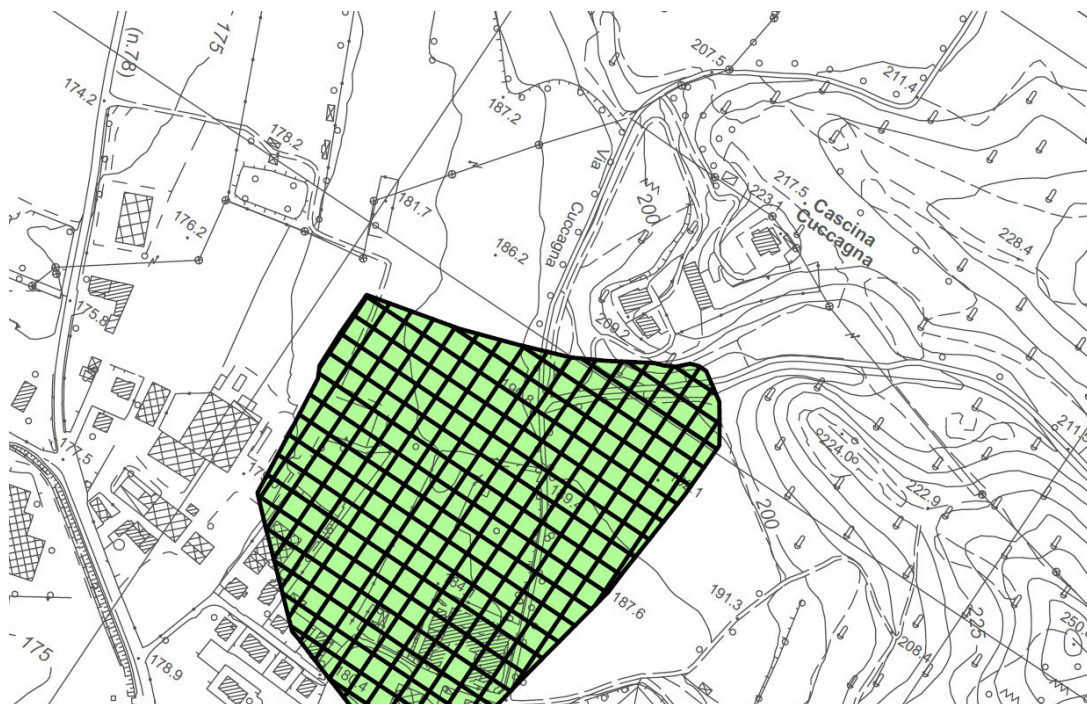
La zona **non ricade nelle aree normate da vincoli di Polizia idraulica** (DGR n. 7/7868 del 25 gennaio 2002, modificata ed integrata dalla dgr n°7/13950 del 1 agosto 2003 e successive - dgr n. 8943 del 3 agosto 2007), e comprende zone afferenti alle fasce di rispetto idraulico del reticolo idrico del comune.

La zona edificata e tutte le strutture residenziali **non ricadono nelle aree vincolate Pai** (Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Fiume Po ai sensi della legge 18 maggio 1989 n°183, è entrato in vigore con D.P.C.M del 24 maggio 2001 - Delibera di adozione del Piano Stralcio del Comitato istituzionale n°18 del 26 aprile 2001, né in aree a rischio perimetrato e riconosciute nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvione. In relazione a quanto espresso per la carta dei vincoli l'estrema porzione sud della proprietà (ingresso al lotto) ricade in area RSCM –P1/L che individuano Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Estratto Carta PAI – PGRA – SG. Tav14 - Anno 2019 - Rev. Agosto 2022

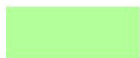
PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)
ADOTTATO CON DEL.COM.IST. N.18 DEL 26/04/2001



Area di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa (Cn)
 (Pericolosità media o moderata)

PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)
APPROVATO CON D.P.C.M. 27/10/2016

Ambito territoriale RSCM



Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (Aree P1/L)

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

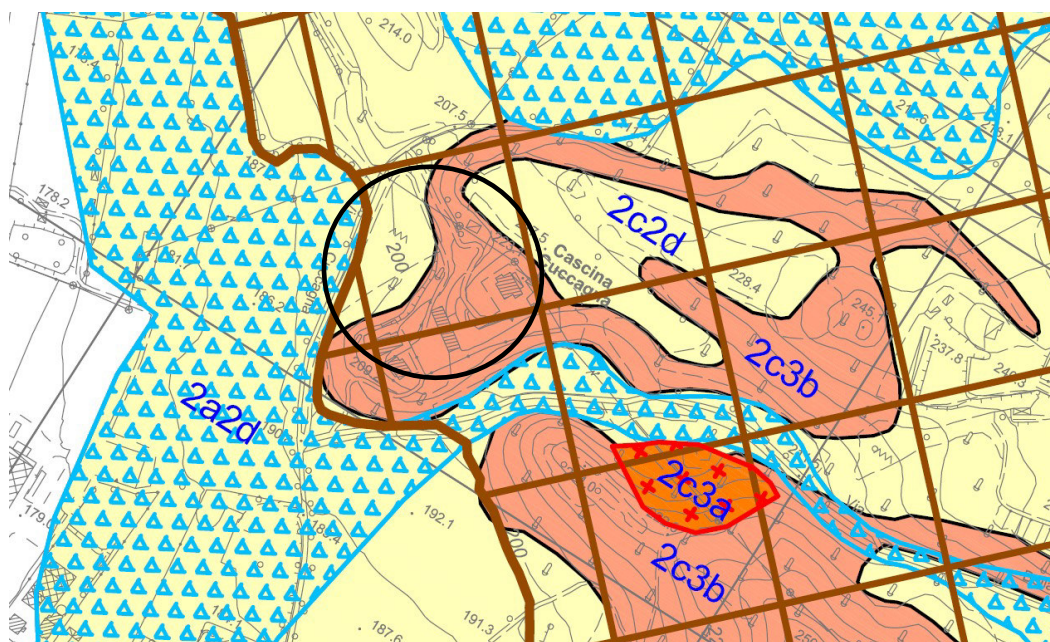
- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Fattibilità geologica

Dalla consultazione della **Carta di fattibilità delle azioni di piano** dello Studio geologico generale allegato al Piano di Governo del Territorio del Comune l'area oggetto di intervento risulta dal punto di vista geologico nel complesso ricadere in **Classe 2d – fattibilità con modeste limitazioni** – Aree con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa fra 5 e 20°) ed in **Classe 3b – fattibilità con consistenti limitazioni** – Aree con versanti acclivi (inclinazione in generale maggiore di 20°).

Marginalmente, la porzione meridionale (area di ingresso) insiste sulla classe **Classe 2a – fattibilità con modeste limitazioni** – Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee.



Carta di fattibilità geologica – estratto dal PGT vigente e sotto legenda

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI - ART. 2

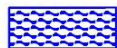
3a - Area interessata da diffusi fenomeni di intensa erosione e/o di instabilità superficiale e/o fronti di scavo subverticali abbandonati.



3b - Area con versanti acclivi (inclinazione prevalentemente maggiore di 20°)

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI - ART. 3

2a - Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile)



2b - Area allagata per difficoltà di smaltimento delle acque di pioggia



2c - Aree di elevato interesse morfologico paesaggistico (peraltro in parte già rientranti in zone a vincolo ambientale ed idrogeologico):

- Ambito delle colline moreniche maggiormente articolate, a morfologia ondulata con ripiani subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti e prati permanenti.

- Fascia periacquedotto.



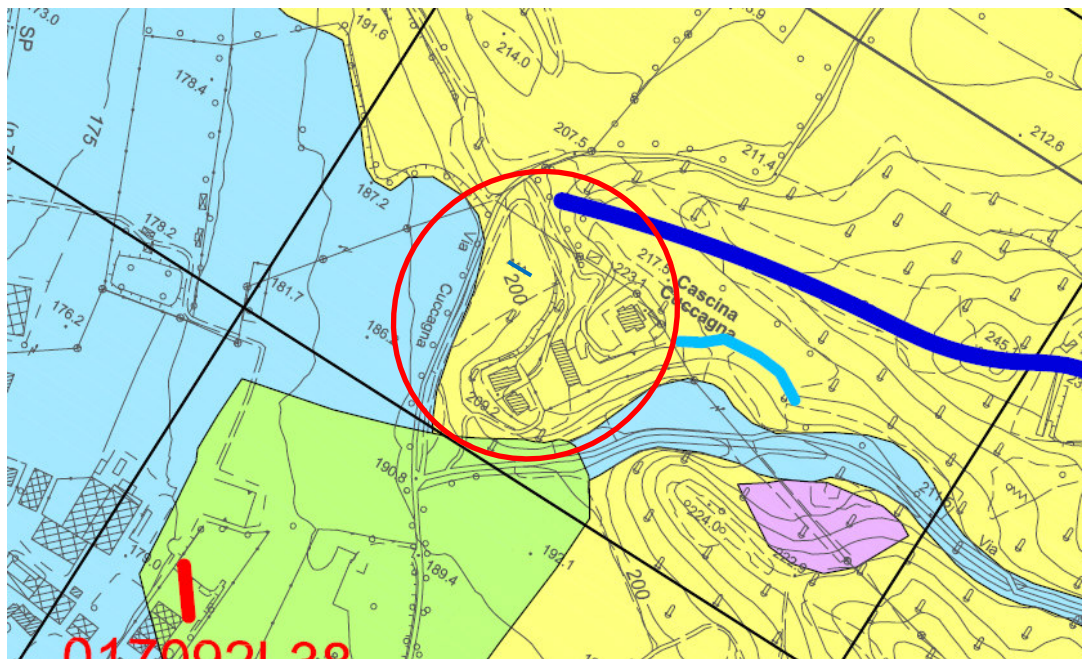
2d - Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°).

Il lotto infine ricade ad eccezione dell'area più ribassata, nella classe di **Fattibilità 2c** – aree di elevato interesse morfologico paesaggistico, peraltro in parte già rientranti in vincolo ambientale ed idrogeologico -

Ambito delle colline moreniche maggiormente articolate, a morfologia ondulata con ripiani subpianeggianti alternanza di zone boscate, oliveti e vigneti e prati permanenti.

Scenari di pericolosità sismica locale

Per quanto attiene la Pericolosità sismica locale la consultazione della Carta tematica di piano, il sito all'attenzione ricade nello scenario **PSL Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi** (*morene di ritiro e morene di cordone – comprese le coltri loessiche*).



Estratto della Carta di PSL e legenda

AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

- Z4a - Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi
- Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoidi alluvionali e conoidi deltizio lacustre.
- Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)

L'analisi semiquantitativa di secondo livello riportata dello Studio geologico allegato al PGT nel territorio comunale indica valori del coefficiente di amplificazione **Fa**, in condizioni geologiche simili al sito in esame, **inferiori al valore soglia regionale**.

Tuttavia si procederà nell'ambito del presente studio all'approfondimento mediante l'esecuzione di un'indagine di sismica di dettaglio con applicazione del 2° livello semiquantitativo secondo la DGR IX/2616 del 30/11/2011, al fine di verificare la compatibilità degli spettri di normativa (DM NTC 17/01/2018) con i potenziali effetti di amplificazione sismica locale del sito.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

4. Considerazioni sulla fattibilità geologica e approfondimenti circa le pericolosità geologiche gravanti sull'area

Il quadro conoscitivo, descritto nelle pagine precedenti, ottenuto sulla base dei dati di pianificazione a disposizione, permette di affermare come l'area in esame non sia interessata direttamente da una particolare categoria di fenomeno o di vincolo di natura geologica.

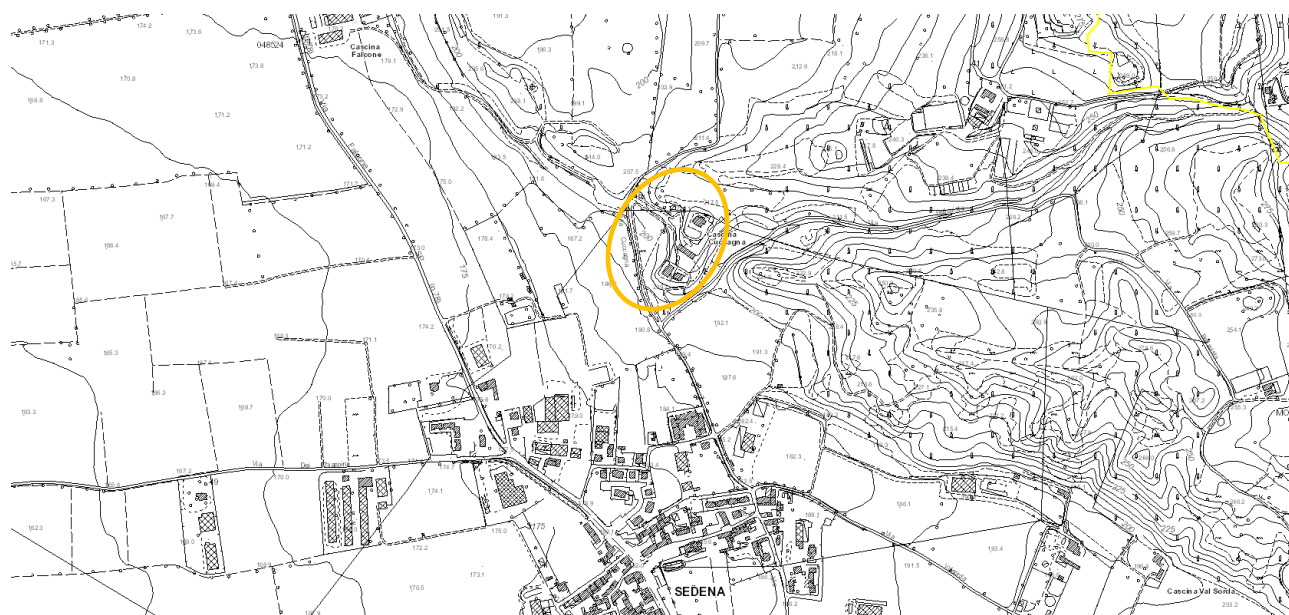
Sotto il profilo geologico e geomorfologico in fase di indagine e di pianificazione non si riscontrano per l'area in esame particolari vincoli e/o elementi di pericolosità geologica primari che possano sconsigliare la realizzazione dell'opera in progetto.

Dall'analisi della documentazione e dalle considerazioni tecniche susseguenti ai sopralluoghi si evidenzia la seguente categoria di pericolosità sismica che sarà approfondita nei paragrafi successivi:

- Pericolosità sismica legata a fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico legati allo scenario **Z4c** (Approfondimento 5 – Modulo 9 – Paragrafo 7);

5. Inquadramento geologico e geomorfologico generale

Il lotto all'attenzione si attesta ad una quota variabile da circa 198 metri slm nella porzione di valle a circa 216-217 m slm ubicato poco a nord dell'abitato di Sedena frazione di Lonato del Garda in Via Cuccagna, ricadente cartograficamente nel Fg.113 Lonato del Garda - Sez. D6e2 della CTR Carta tecnica regionale.



Corografia generale estratta da GFMailet portale della Provincia di Brescia

Il contesto morfologico generale è di bassa collina dell'entroterra morenico del Garda, rotto da spianate di origine fluvioglaciale e dorsali moreniche di differente età.

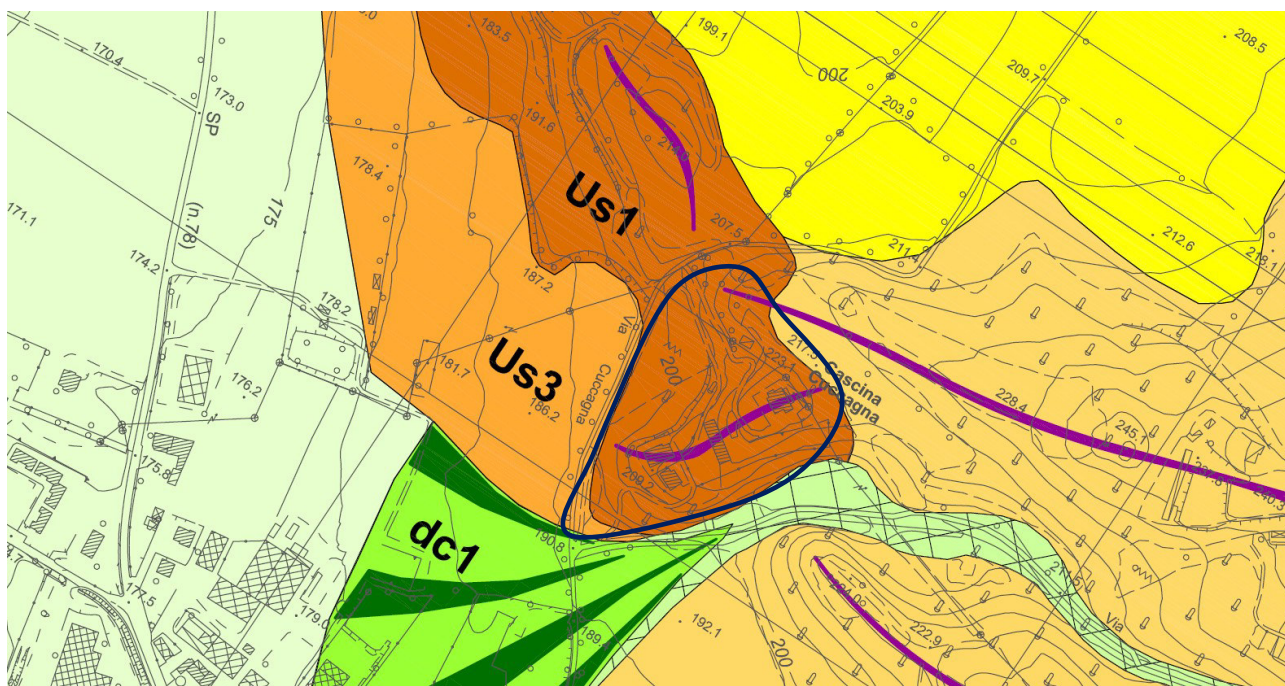
Alla mesoscala l'intervento previsto, inserito in un contesto poco o punto urbanizzato, si presenta variamente articolato ponendosi per una parte in corrispondenza della sommità di un cordone morenico con la presenza dei due edifici (1 e 2) che saranno demoliti e ricostruiti parzialmente su nuovo sedime e trasformati rispettivamente nell'edificio A (con interrato) e nuova tettoia/pergolato, mentre l'edificio B piscina si collocheranno in corrispondenza di un declivio blandamente inclinato, 3°-5° di inclinazione, anch'esso di natura morenica, che funge da raccordo fra i versanti del cordone morenico e la sottostante piana fluvioglaciale. Tale area è delimitata ad ovest dalla via Cuccagna.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Da un punto di vista geologico quanto sopra detto è contestualizzato nella carta geologica seguente ove appare chiaro lo sviluppo della zona cacuminale del cordone morenico appartenente all'unità di Sedena **US1** che lascia il passo alla base alle coltri fluvio-glaciali della medesima unità **US3**



Estratto carta geologica – da PGT vigente e, sotto, legenda

UNITA' DI SEDENA (Pleistocene medio-superiore)

Us1	Depositi glaciali
Us2	Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale
Us3	Depositi fluvio-glaciali

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

	Orlo di scarpata di contatto glaciale < 10 m
	Orlo di scarpata di contatto glaciale > 10 m
	Laghetti

	Cordone morenico
	Conoide di deiezione
	Conoide di deiezione antico

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

La configurazione generale suggerisce, in analogia alle evidenze degli studi di Bini e Zuccoli del 2004 (identificanti i sedimenti dell'Unità di Sedena con l'Alloformazione di M.te Forca – ex Riss II del Venzo), come la fascia di transizione fra i due sedimenti, evidenziata in giallo, possa essere caratterizzata dalla presenza depositi di natura morenica sormontati da livelli e coltri di colluvium di potenza variabile provenienti dalla sommità della dorsale a monte ad andamento N-S.

Tale alloformazione risulta inoltre caratterizzata in sommità da livelli anche se discontinui di materiale cementato, di potenze anche di 30-50 cm. Tuttavia non è raro che tali livelli conglomeratici possano essere eterogeneamente distribuiti all'interno del deposito.

Litologicamente, in generale i terreni morenici sono rappresentati da materiali misti costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice limoso sabbiosa da addensati a molto addensati; il contenuto di matrice limosa risulta estremamente variabile.

Il rilievo geologico geomorfologico condotto in alcune aree limitrofe al lotto esaminato, ad esempio la pendice a confine NNE con l'edificio 1 (futuro edificio A) mostra, in riferimento al deposito morenico suddetto, la presenza di ghiaie sabbiose e ciottoli e clasti arrotondati con una componente limosa apprezzabile, che tuttavia soggetta a dilavamento nella porzione superficiale del deposito lascia emergere i ciottoli di dimensioni maggiori mentre i clasti di ghiaia grossolana privi a seguito dell'erosione / allontanamento e decadimento delle caratteristiche geotecniche della matrice sabbioso limosa si accumulano al piede della scarpata formando delle evidenti sacche trattenute dalla rete di confine; questo a significare come la matrice limosa, distribuita in modo eterogeneo all'interno del deposito, non possa garantire valori di coesione significativi ai fini geotecnici.

Come anticipato ai terreni glaciali di natura morenica si affiancano materiali rimaneggiati e/o di riporto presumibilmente caratterizzati da qualità geotecniche mediocri scadenti, che localmente li sormontano con livelli anche superiori al metro. I rilievi morfologici eseguiti evidenziano il probabile rimaneggiamento dei terreni del ciglio della scarpata superiore nonché di quelli in corrispondenza della berma intermedia che spezza la continuità della scarpata di cordone.

Per quanto attiene il contesto idrografico superficiale non sono presenti nell'area corsi d'acqua che possano direttamente interessare il sito in esame.

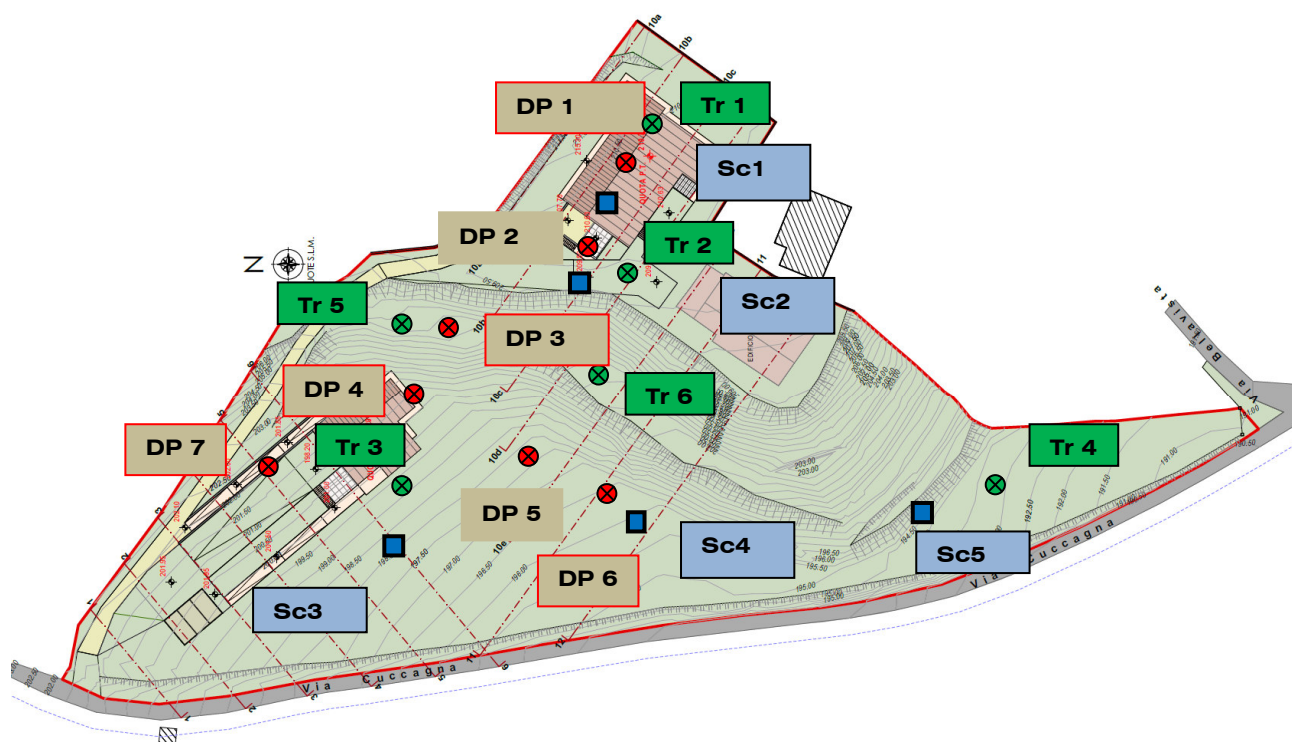
Da un punto di vista idrogeologico i depositi morenici in sito, seppure caratterizzati da una struttura massiva e caotica, possono essere sede di lenti e/o porzioni più francamente sabbioso-ghiaiose potenzialmente rappresentanti una via preferenziale di scorrimento delle acque sotterranee (limitati acquiferi circolazione idrica subsuperficiale) che scaturiscono sottoforma di emergenze sorgentizie in caso di troncature topografiche o per differenza di permeabilità.

6. Caratterizzazione dei terreni presenti in sito

Prove penetrometriche

La ricostruzione del locale contesto geologico-tecnico ai fini del presente studio è stata perseguita, come premesso, mediante l'esecuzione di n°7 prove penetrometriche dinamiche DP con l'impiego di un penetrometro super pesante Meardi AGI, n°5 scavi esplorativi e n°6 misure di microtremore TR (HVSr).

Si riporta nel seguito la planimetria con l'ubicazione delle indagini.



Planimetria recante le indagini esperite

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaccio di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

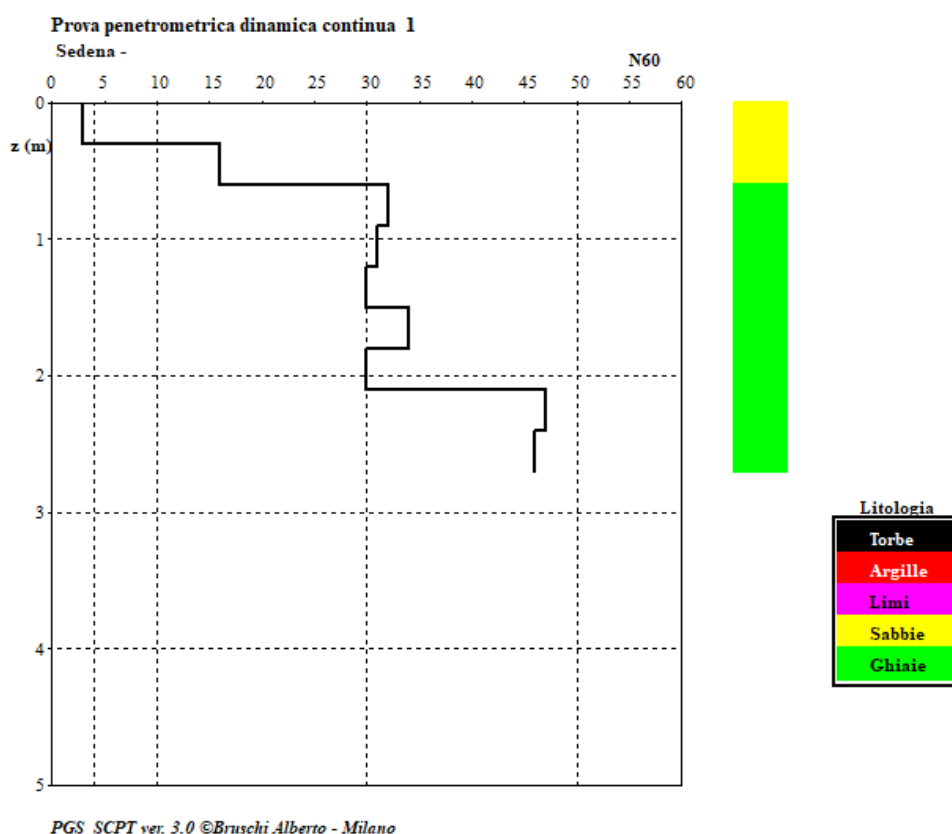
L'elaborazione è stata eseguita con l'utilizzo del software PGS_SCPT Ver. 3.0.1. di Alberto Bruschi, da cui si sono ricavate le caratterizzazioni geotecniche da valori N60 (valori originali standardizzati e corretti per la pressione litostatica) utilizzando le correlazioni di Hatanaka e Uchida, 1996 (da Mayne et al, 2001), Kulhaway e Mayne (1990), Terzaghi (1983), Vs da qc equivalente. (Prove geotecniche in situ - Alberto Bruschi).

Si riportano di seguito i diagramma Ncolpi/avanzamento:

Le penetrometrie hanno permesso, a partire dal numero di colpi standardizzato (da S.C.P.T. a S.P.T.) e corretto per la pressione litostatica, di effettuare una stima dei valori di resistenza al taglio e dei moduli di deformabilità dei terreni attraversati.

Si riportano di seguito i diagrammi Ncolpi/avanzamento.

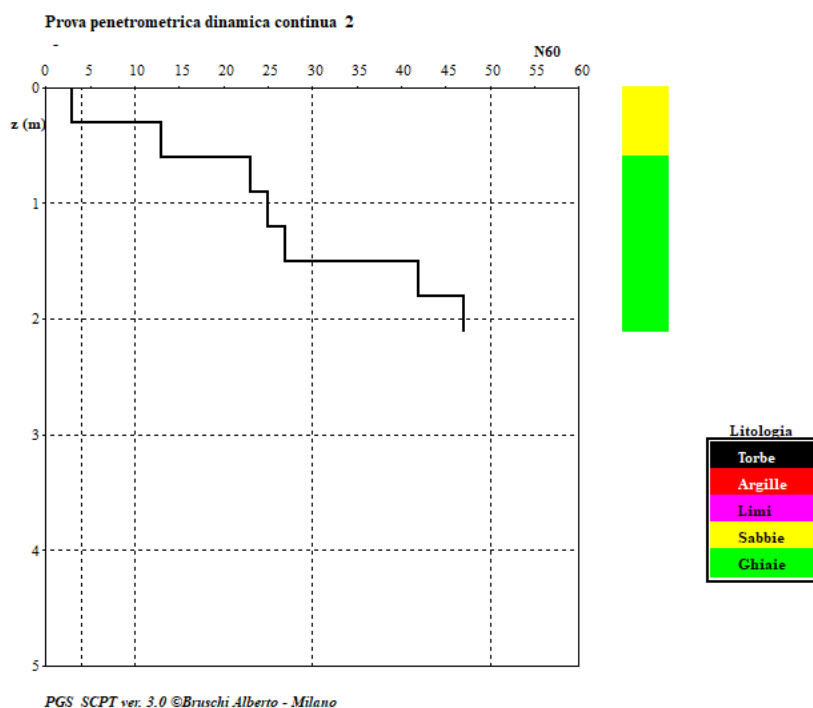
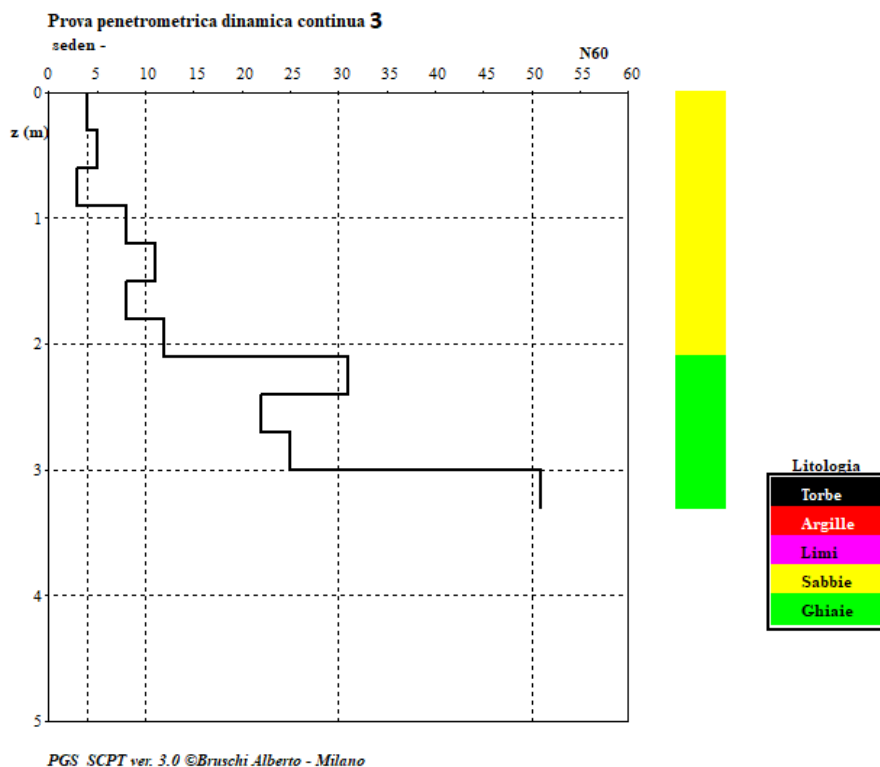
D.P. n°1



Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

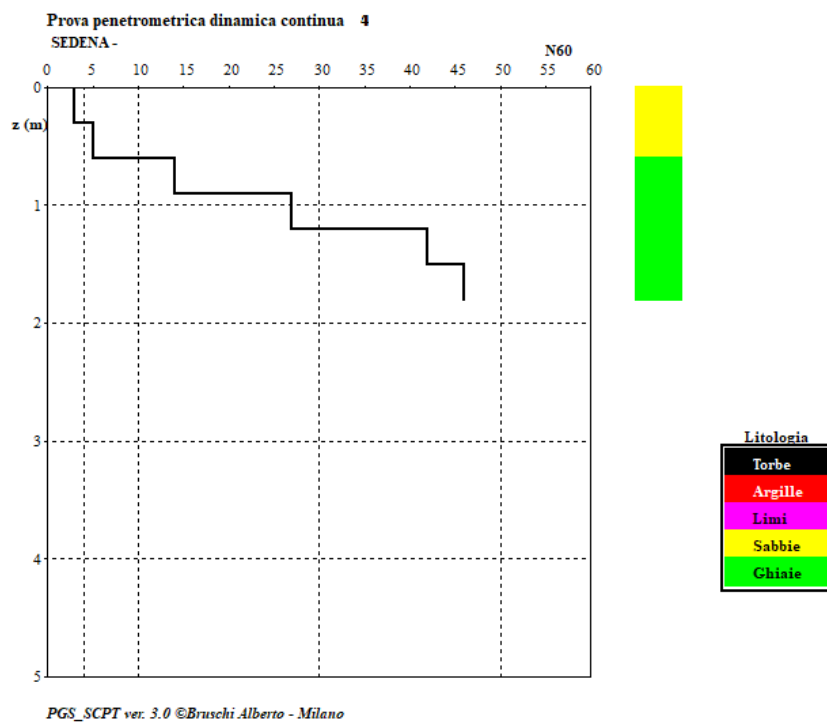
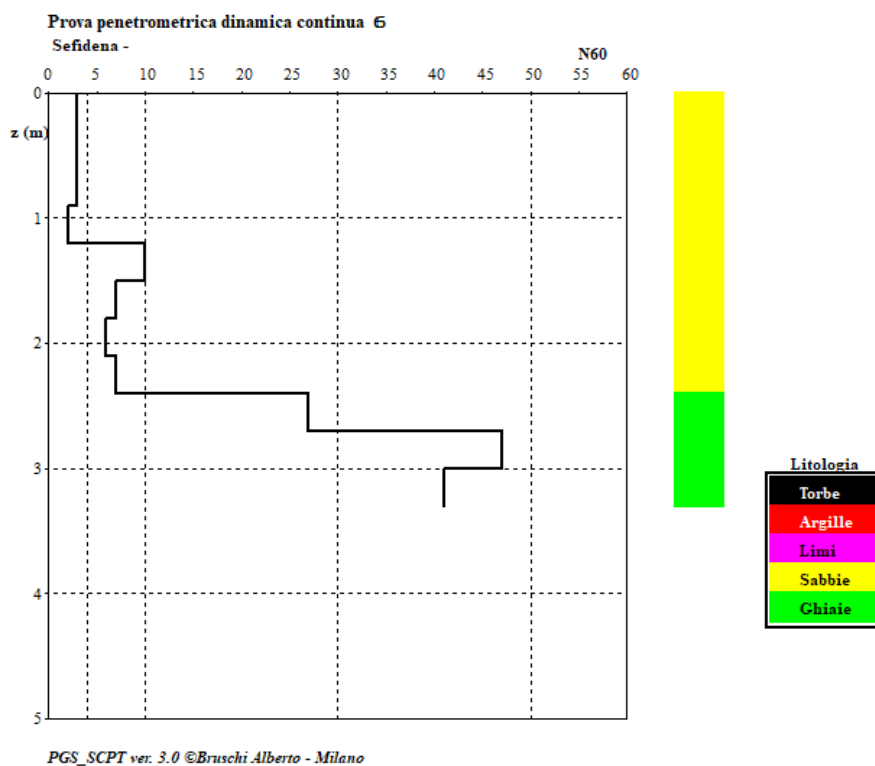
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

D.P. n°2**D.P. n°3**

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

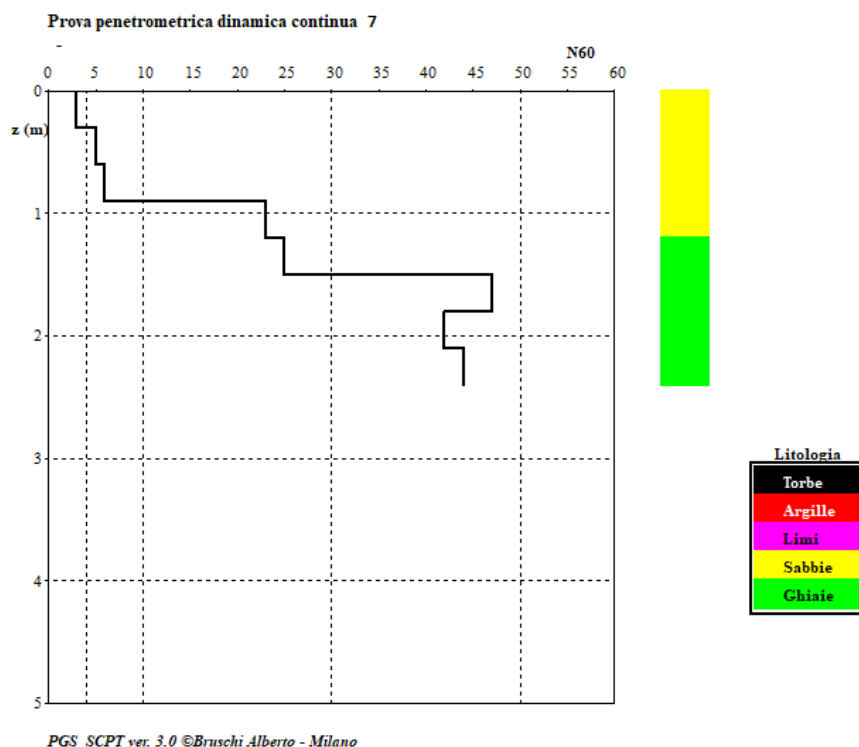
- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

D.P. n°4**D.P. n°6****Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini**

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

D.P. n°7

Dall'analisi comparata delle verticali eseguite si osserva quanto segue:

- Le indagini penetrometriche indicano la presenza in corrispondenza di tutto il lotto dei depositi morenici molto addensati (**Livello 4**), in seno ai quali tutte le verticali si sono arrestate a rifiuto geotecnico, le resistenze riscontrate si attestano su valori alti – molto alti pari a $N=20-25$ fino a $N>50$; si considera rappresentativo del deposito il primo valore indicativo della distribuzione granulometrica e del grado di addensamento riscontrato, accorpendo a questo livello anche i terreni a profondità maggiore i cui valori molto elevati sono attribuibili presumibilmente alla presenza di ciottoli/livelli parzialmente cementati; ai depositi morenici sono attribuiti valori di angolo di attrito pari a $\phi = 35-38^\circ$;
- Terreni di riporto/rimaneggiati superficiali caratterizzati da scadenti qualità geotecniche sono stati riscontrati in corrispondenza della berma intermedia (DP3) ed al piede della scarpata del cordone nella porzione sud-ovest (Dp 5 - 6); le potenze si aggirano intorno a 1-1.2 m comprensive di

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

terreno agrario superficiale (**Livello 2**), ai quali può essere attribuito un valore di angolo di attrito pari a $\phi = 27-29^\circ$; il livello superficiale agrario di potenza circa 0.3-0.5 m è denominato

- Solo nelle medesime verticali DP n° 3-6 citate si è inoltre evidenziato un livello a profondità inferiore, fino a circa 2-2.4 m di profondità attribuibile ad un deposito colluviato e/o di alterazione caratterizzato da mediocri qualità geotecniche (**Livello 3**), ai quali può essere attribuito un valore di $\phi = 30-32^\circ$;
- Durante la campagna geognostica non è stata rinvenuta la falda vera e propria, né filetti idrici o circolazione idrica sub superficiale;

Terreno	Prof. (m)	Peso di volume γ kN/m ³	Angolo d'attrito ϕ (°)	Modulo di deformabilità E (MPa)
Livello 1 agrario	da 0 a 0.3/0.6	16-17	28-29	-
Livello 2 rimaneggiato/riporto	da 0.3 a 1.20	16.8-18	27-30	5-10
Livello 3 Colluvium (DP 5-6)	da 1.2 a 2.4 a 2.1- 6	18.5-19	30-32	15-25
Livello 4 Deposito morenico molto estrem. addensato	Da 2.4	19.5-20.5	36-38	28-40

γ = peso di volume (kN/mc)

ϕ = angolo d'attrito (°)

E' = modulo di deformabilità (MPa)

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Scavi esplorativi

Le buche esplorative hanno permesso di verificare visivamente le caratteristiche tessiturali dei materiali presenti in sito; mediante le osservazioni geotecniche e le prove di cantiere eseguite si è giunti ad un riconoscimento (descrizione) dei materiali secondo le Norme AGI accompagnato dalla Classificazione secondo AASHO e USCS. Dalle osservazioni condotte si sono stimate le caratteristiche dei terreni con un range di variabilità.

Durante l'approfondimento si sono osservati i depositi descritti nel seguito :

Prof. (m) da p.c. esistente	Scavo 1 – porzione superiore
0.00 a 0.150	Terreno agrario superficiale di colore grigio scuro
Da 0.15 a 1.70	Deposito morenico costituito da ghiaia sabbiosa debolmente limosa di colore bruno chiaro grigio ocraceo, poco umida, molto addensata con locale diminuzione dell'addensamento in corrispondenza di porzioni più sabbiose; ciottoli di natura poligenica (sedimentari carbonatici e tonalitici), arrotondati e subarrotondati, presenza di trovanti, poco umido. Deposito morenico.
	

Prof. (m) da p.c. esistente	Scavo 2 – porzione superiore
0.00 a 0.30	Terreno agrario superficiale di colore grigio scuro
Da 0.30 a 1.30	Terreno rimaneggiato e di riporto costituito da limo argilloso con clasti immersi di colore bruno scuro, mediamente addensato, poco umido.
Da 1.30 a 1.80	Deposito morenico costituito da ghiaia sabbiosa da limosa a debolmente limosa di colore bruno chiaro grigio ocraceo, umida, addensata; ciottoli – 10/20 cm di dimensione - di natura poligenica (sedimentari carbonatici e tonalitici), arrotondati e subarrotondati, presenza di numerosi piccoli trovanti.
	

Prof. (m) da p.c. esistente	Scavo 3 – porzione inferiore zona piscina
0.00 a 0.30	Terreno agrario superficiale di colore grigio scuro
Da 0.30 a 1.70	Deposito morenico superficialmente rimaneggiato costituito da ghiaia con ciottoli arrotondati sub angolari poligenici (presenza di clasti alpini disgregati); si nota un incremento l'addensamento con la profondità al fondo scavo si nota una porzione cementata.
	

Prof. (m) da p.c. esistente	Scavo 4 – porzione al piede della pendice
0.00 a 0.36	Terreno agrario superficiale di colore grigio scuro con clasti carbonatici immersi
Da 0.36 -1.20	Terreno rimaneggiato e di riporto costituito da limo argilloso con clasti immersi di colore bruno scuro, mediamente addensato, poco umido. Con l'approfondimento si riscontra un incremento di contenuto in ciottoli e piccoli trovanti. Alla profondità di circa 1.20 m il colore del deposito vira verso una tonalità di arancio.
Da 1.20 – 2.30	Terreno limoso argilloso con clasti immersi che aumentano di percentuale con la profondità, di colore bruno rossastro (presumibilmente colluvium) mediamente addensato. Dalla profondità di 2.10 m aumenta l'addensamento contestualmente al contenuto di ghiaia.
Da 2.3-2.50	Deposito morenico costituito da ghiaia sabbiosa da limosa a debolmente limosa di colore bruno chiaro grigio ocraceo, umida, addensata; ciottoli di natura poligenica (sedimentari carbonatici e tonalitici), arrotondati e subarrotondati.
	

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Prof. (m) da p.c. esistente	Scavo 5 – porzione sud
0.00 a 0.30	Terreno agrario superficiale di colore bruno scuro
0.30- 1.40	Terreno rimaneggiato costituito da ghiaia (ghiaietto non grossolano) immersa in matrice limosa di colore bruno scuro, poco addensata, umido
Da 1.40-1.60	Deposito morenico costituito da ghiaia sabbiosa debolmente limosa localmente con sabbia di colore bruno chiaro grigio ocraceo, poco umida, addensata - molto addensata; ciottoli di natura poligenica (sedimentari carbonatici e tonalitici), arrotondati e subarrotondati, presenza di trovanti, poco umido.
	

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0363 79 10 70

Ai fini di una caratterizzazione geotecnica i valori dei parametri del terreno possono essere così assunti, sulla base di quanto evidenziato dagli scavi, ottenuti da correlazioni (classificazione USCS) :

Caratterizzazione dei terreni dagli scavi esplorativi

Terreno	Prof. (m)	Peso di volume γ kN/m ³	Angolo d'attrito ϕ (°)	Coesione c' (kPa)	Coesione Cu (kPa)	Modulo di deformabilità E (MPa)
Livello 1 - superficiale agrario	Da 0 a 0.3	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
Livello 2 - Rimaneggiato (solo sc 2 e 4)	da 0.3 a 1.20	17.5- 18.5	27-29	5-15	40-50	8-12
Livello 3 – colluvium (solo sc 4)	da 1.20 a 2.3	17.5- 18.8	28-30	2-8	60-80	9-14
Livello 4 – Deposito morenico	Da 0.3/ 1.20 a 2.4	19 - 20.5	35-39	0	-	25-30

γ = peso di volume (kN/mc)

ϕ = angolo d'attrito (°)

C' = coesione drenata (kPa) (stimata da classificazioni)

cu = coesione non drenata (kPa) (stimata da classificazioni) per analisi a breve termine (con $\phi=0$)

E' = modulo di deformabilità (MPa)

Gli elementi significativi del sito in riferimento ai terreni presenti sono rappresentati da:

- In alcuni scavi, ubicati in vicinanza al ciglio della scarpata superiore (sc2) ed al piede della scarpata morenica (sc4) si è riscontrata la presenza di terreni rimaneggiati a forte componente limosa, anche se localmente con clasti immersi, da non adottare quale sedime - **Livello 2**;
- Inferiormente a tale livello ma solo nello scavo 4 si è rinvenuto un orizzonte argilloso limoso **Livello 3** - rappresentante i depositi colluviali sviluppati al piede della scarpata morenica per

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

una potenza intorno al metro; analogamente tali terreni sono da evitare quale appoggio delle fondazioni anche per la possibilità di insorgenza di cedimenti differenziali e/o di consolidazione;

- Inferiormente si rinviene uniformemente in tutti gli scavi un deposito autoctono da addensato a molto addensato localmente con crostoni cementati ascrivibile al deposito morenico dell'unità di Sedena (ex Riss II di Venzo) – **Livello 4** , caratterizzato da buone ottime qualità geotecniche.

Modello geologico e geotecnico delineato da indagini eseguite

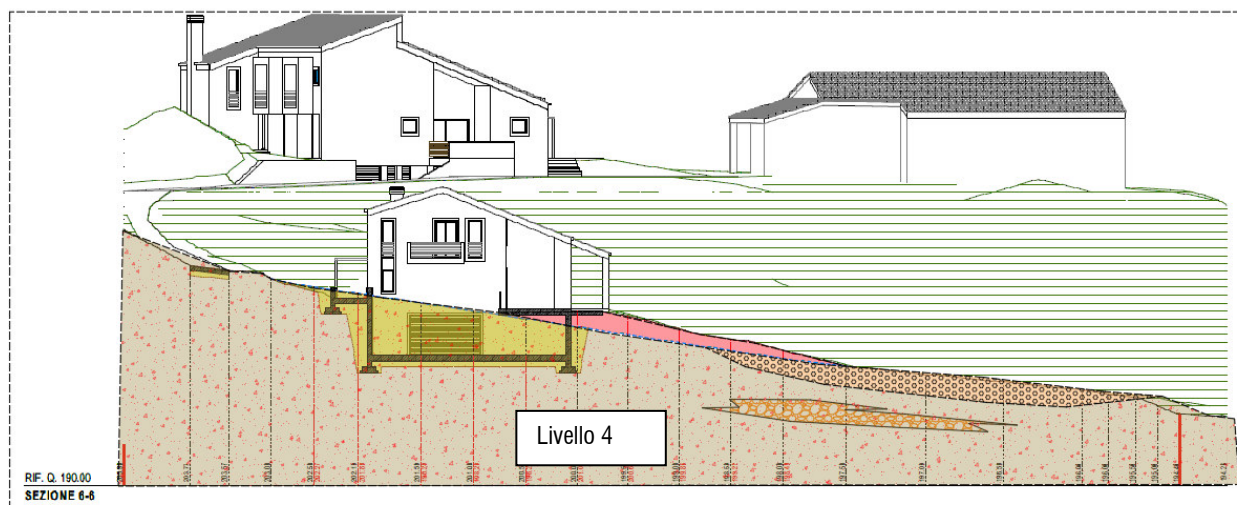
Si riportano di seguito alcune sezioni geologiche geotecniche interpretative schematiche ricostruite sulle sezioni Sez 6-6 di progetto e sulla Sez 11 dello stato di fatto, esplicative rispettivamente della configurazione geologica in prossimità delle :

- Sez- 6-6 - Edificio B;
- Sez 11 -11 – Pendice da piano superiore alla base;

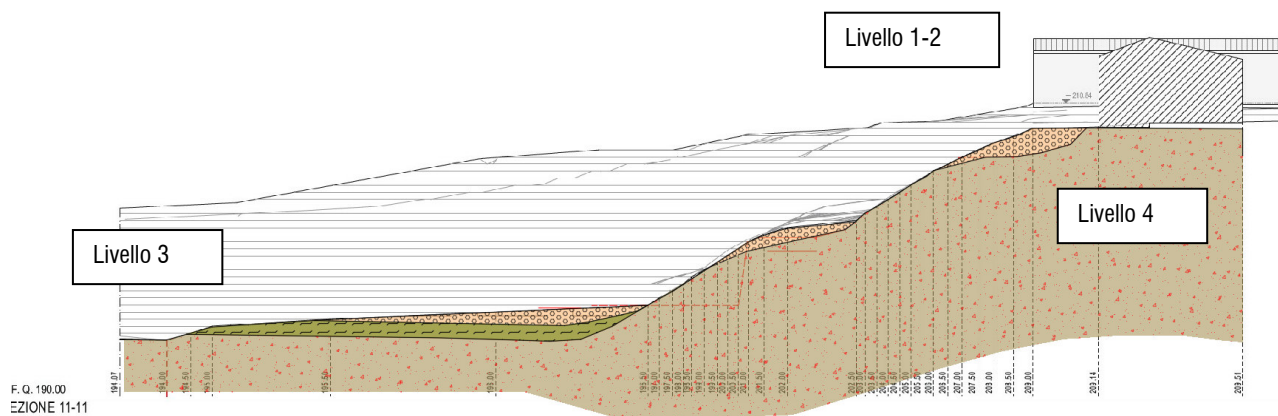
Dalle sezioni riportate si evince come il complesso delle residenze si sviluppi su configurazioni stratigrafiche di natura differente sebbene in forte analogia rispetto alla presenza del terreno autoctono inferiore.

Si sottolinea tuttavia come in ragione della forte eterogeneità che caratterizza il contesto glaciale (deposito morenici inferiori) nonchè le caratteristiche variabili dei materiali di riporto e rimaneggiati in ordine al contenuto granulometrico, all'addensamento sia verticalmente che arealmente, determinano una certa approssimazione del modello geologico che è stato delineato sulla base di indagini geognostiche puntuali dislocate sul lotto anche in relazione all'accessibilità e alle condizioni logistiche (edifici esistente, vegetazione, ecc).

Sez 6-6



Sez 11 – 11



Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

In generale e dall'osservazione delle sezioni geologiche geotecniche schematiche emerge come:

- Si riscontra la presenza di terreni di riporto rimaneggiati di mediocri caratteristiche geotecniche in corrispondenza del ciglio della scarpata superiore e della berma intermedia. Localmente in seno ai paramenti delle scarpate si notano limitati decorticamenti del livello di copertura superficiale, tuttavia per quanto è stato possibile osservare in fase di rilievo (per la presenza di vegetazione) non si è evidenziata la presenza, in seno ai paramenti suddetti, di fenomeni di dissesto o particolari solchi di erosione concentrata (Cfr Analisi di stabilità della pendice attuale su Sez 11 - 11) ;
- L'edificio A di monte è ubicato a ridosso del confine nord orientale della proprietà in vicinanza ad una scarpata di altezza all'incirca 5-6 m piuttosto acclive e solo parzialmente di proprietà (fino a circa 1.5-1.8 dal piede); il progetto prevede per l'edificio suddetto la realizzazione di un piano interrato con sbancamento in aderenza al piede di suddetta pendice e il cui profilo dovrà essere necessariamente sub verticale ed in continuità con il superiore andamento della scarpata per un dislivello totale di 8-9 m). Alla luce di quanto sopra si raccomanda di non eseguire lo scavo a sezione piena ma di provvedere a sostenerne il paramento con opere di presostegno da valutare a cura del Progettista, ossia berlinese di micropali o sbatacchiature ed al contempo valutare un rinforzo corticale (rete o geogriglia picchettata) della pendice superiore non oggetto di scavo al fine di garantirne la stabilità.
- La sezione geologica schematica Sez 11-11 indica alla base la presenza di terreni glaciali addensati a monte e a valle materiali di riporto e di alterazione colluviale a forte componente limosa;
- Nella porzione centrale del lotto le indagini indicano inferiormente a terreni rimaneggiati eterogenei con porzioni grossolane la presenza dei depositi glaciali inferiori addensati (Livello 4); è possibile nell'ambito delle fasi di scavo per la realizzazione dell'edificio B l'intercettazione di livelli cementati;

-
- anche se nell'ambito dell'indagine non è stata evidenziata la presenza di acqua si ritiene che tale aspetto dipenda in parte anche dallo scarso apporto pluviometrico perdurante in questo ultimo anno, e che in caso di un regolare regime meteo si possa avere una circolazione idrica sub superficiale all'interno dei depositi, che per la distribuzione eterogenea della componente di matrice è caratterizzata da un comportamento misto granulare, con eventuale venute d'acqua in seno ai paramenti di scavo; si raccomanda il pronto allontanamento dell'eventuale carico idrico riscontrato all'atto dell'apertura degli scavi mediante sistemi di drenaggio;

7. Indagine di sismica passiva e parametri per la determinazione dell'azione sismica di progetto

Nella normativa previgente le Norme tecniche per le costruzioni – 2008, veniva stimata la “pericolosità sismica di base” mediante un approccio “zona dipendente”; il territorio del **Comune di Lonato del Garda** era inserito all'interno della **Zona 2**, confermata dalla DGR X/2129 del 11/07/2014 entrata in vigore con la DGR X/5001/2016, accelerazione massima A_{gmax} presente sul territorio comunale (OPCM 3516/2006 e NTC 14/01/2008), come di seguito riportato:

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03017092	BS	LONATO DEL GARDA	2	0,15926

Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi



Zone di classificazione sismica dei comuni ai sensi dell'Ord. PCM 3274 del 20 marzo 2003.

	n° comuni
zona 4	446
zona 3	1028
zona 2	57

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Con il DM 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni tale valutazione viene effettuata mediante un approccio “*sito dipendente*”, utilizzando i dati e le informazioni contenute nel reticolo di riferimento (Tabella 1 - Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008) in cui sono riportati i dati sismici di 10.751 punti sul territorio nazionale.

Sono contenuti in tale tabella, per ogni punto del reticolo di riferimento e per 9 valori del tempo di ritorno T_r (30,50,72,101,140, 201,475,975,2475 anni) i valori dei parametri a_g , F_0 , T^*c da utilizzare per definire l'azione sismica nei modi previsti dalle Norme Tecniche.

Calcolo dei parametri per il sito in oggetto

Il sito in esame le cui coordinate sono :

WGS84	Lat. 45,491072	Long. 10,473769
ED50	Lat. 45,491994	Long. 10,474799

è ubicato, come da figura seguente, nella griglia di riferimento¹:



Ipotizzando per la costruzione in oggetto una **Vita nominale di 50 anni**, ricadente in **Classe d'uso pari a II** si ottengono, tramite la media pesata dei 4 valori riferiti ai nodi del reticolo di riferimento, i seguenti dati di progetto:

¹ Immagini estratte dal software Parametri sismici di Geostru srl

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.600	0.223
Danno (SLD)	50	0.056	2.494	0.243
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.157	2.477	0.272
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.204	2.486	0.278
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Dove:

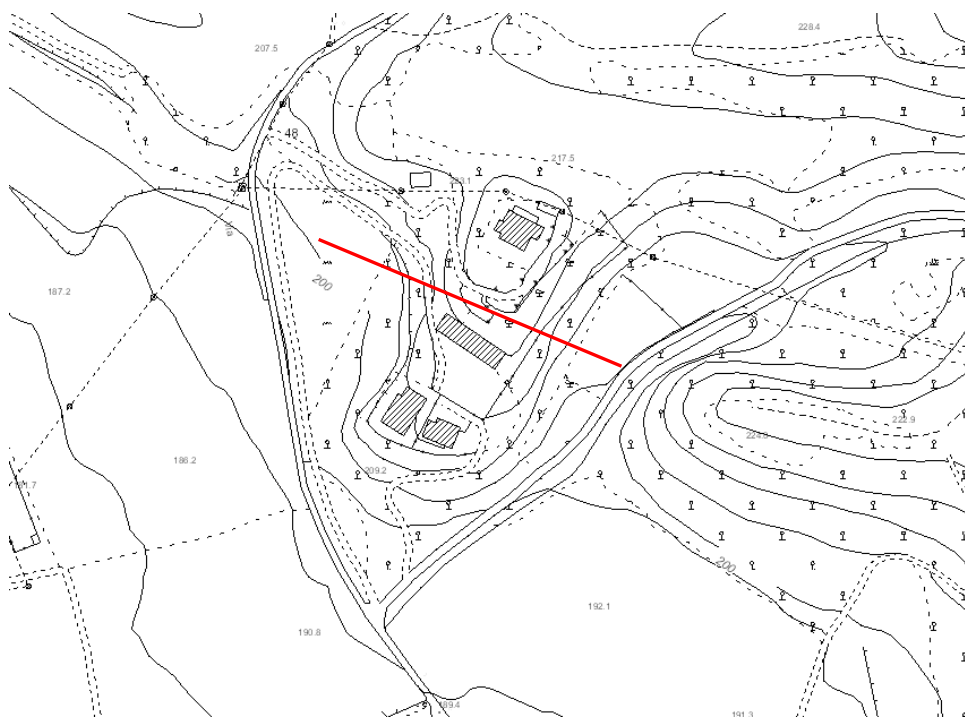
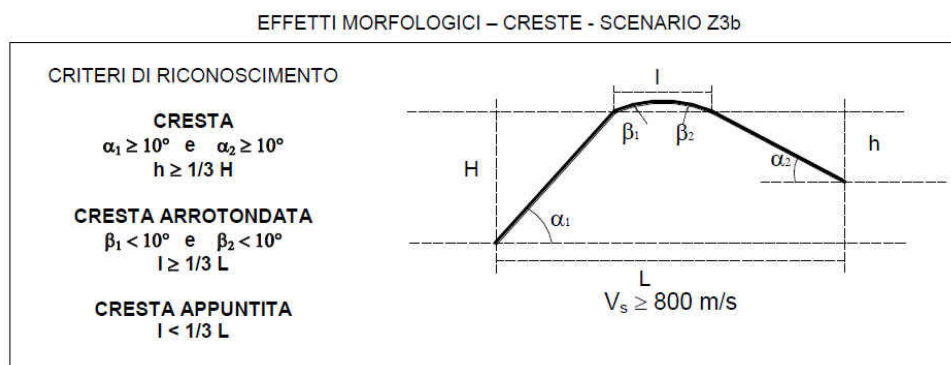
- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ;

I valori ottenuti si riferiscono a situazioni geologiche corrispondenti ad un sito in assenza di effetti di amplificazione sismica locale sia di natura topografica che litologica (bedrock sismico affiorante – $V_s > 800$ m/s – e condizioni morfologiche pianeggianti).

Viste le condizioni topografiche del sito, per la fascia a valle (Edificio B) si assegna sulla base delle Tabelle 3.2.III e 3.2.V nel cap. 3.2, il seguente valore del coefficiente topografico:

Categoria	Coefficiente di amplificazione topografica S_T
T1	1.0

Per la porzione di lotto a monte (Edificio A e nuova tettoia), ubicato in corrispondenza della cresta del crinale morenico ad orientamento NE-SW, si è applicato il metodo semiquantitativo della DGR 2616/2011 per una dorsale appuntita come individuata dalla planimetria seguente $l=39\text{m}$ $L=108\text{m}$,

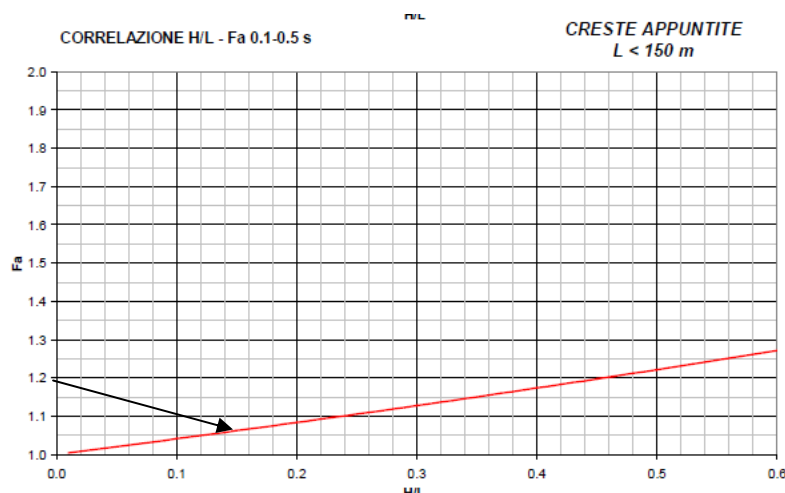


Estratto dbt

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Ottenendo per $H/L=0.15$ secondo la DGR 2616/2011 un valore di $F_a = 1.05$ che considerando la tolleranza di 0.1 rispetto al valore soglia da NTC $F_a = 1.0$ risulta compatibile, permettendo di adottare anche per l'edificio A e per la tettoia il valore $T_1 = 1.0$.

Considerando quanto sopra si assegna, pertanto, sulla base delle Tabelle 3.2.IV e 3.2.VI nel cap. 3.2 delle NTC si assegna per l'intero lotto il seguente valore del coefficiente topografico:

Categoria	Coefficiente di amplificazione topografica S_T
T1	1.0

In accordo Cap. 3.2, per la valutazione del coefficiente di amplificazione sismica per effetto litologico si è stimata la **Categoria di terreno** mediante la stima del parametro V_{s30} (Tab. 3.2.II), dall'esecuzione di una misura di rumore sismico ambientale (sismica a stazione singola) eseguita in posizione significativa.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Il microtremore misurato ed analizzato è solo in parte costituito da onde di volume, P o S; diversamente giocano un ruolo fondamentale, le onde superficiali Rayleigh e Love, che hanno velocità vicine alle Vs. La tecnica adottata fa riferimento ai primi studi di Kanai (1957) che si proponevano di estrarre informazioni relativamente ad un sito a partire dagli spettri del

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

rumore sismico ivi registrati. Si sono succeduti altri metodi tra i quali quello maggiormente utilizzato è quello di Nakamura perfezionato nel 1989, conosciuto come tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V).

Nell'ambito dello studio in oggetto, si è eseguito un campionamento di rumore sismico in campo libero mediante l'utilizzo di un tromografo (Tromino) per un intervallo di tempo di 16 m, da cui sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

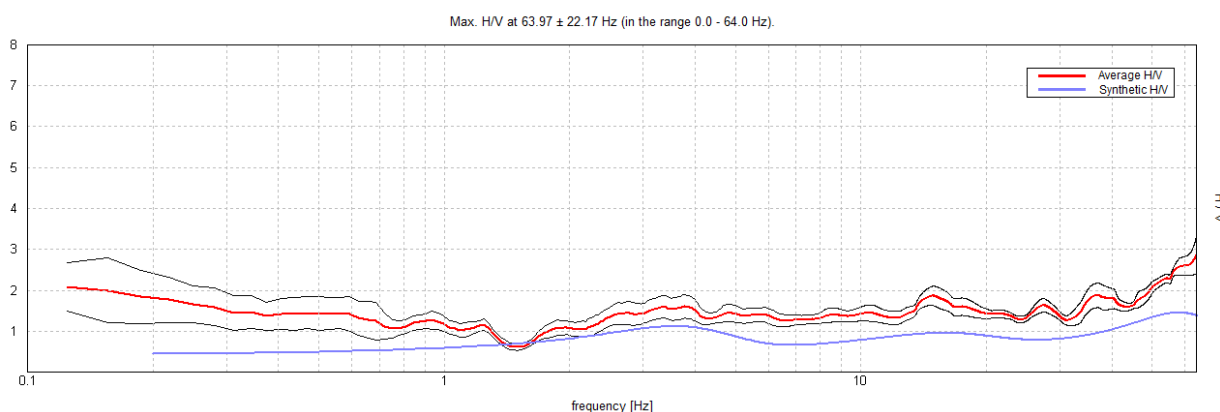
Le curve H/V possono essere convertite dal dominio H/V-frequenza al dominio Vs-profondità tramite inversione vincolata (Castellaro e Mulargia, 2008).

Nel caso in esame il vincolo è fornito dai dati forniti dalle indagini eseguite in sito.

A partire da questo elemento noto si sono generati una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato) e considerando per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Analisi sperimentale del sito

La curva H/V sintetica relativa alla misura considerata rappresentativa è di seguito riportata:



Curva H/V media (rosso) e intervallo di confidenza al 95% (nero). Curva H/V teorica per il modello elaborato (blu).

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

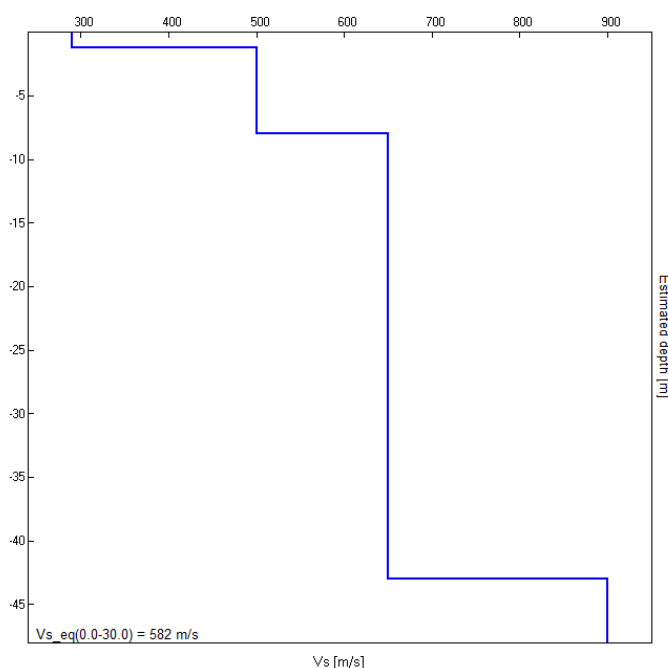
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Si è ricostruito mediante l'elaborazione della curva della misura considerata rappresentativa del sito n°4v, ancorata alle prove penetrometriche eseguite ed agli scavi, un modello sismostratigrafico che vede il materiale rimaneggiato superficiale di potenza circa 1-1.2 m sormontante i terreni da addensati a molto addensati cementati ($V_s=500-600$ m/s). L'elaborazione colloca il bedrock sismico alla profondità di circa 40-45 m, identificato presumibilmente con unità conglomeratica.

Si è applicato il secondo livello semiquantitativo della DGR 2616/2011 considerando la frequenza di risonanza 3.5 Hz a $T=0.29$ s.

**Profilo della velocità delle onde di taglio (V_s)
stimato per il sottosuolo sulla base dell'inversione vincolata della curva H/V.**

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	V_s [m/s]
1.2	1.2	290
8	6.8	500
43	35	650
-	inf	900



Modello di sottosuolo per il sito riferito all'indagine a stazione singola.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

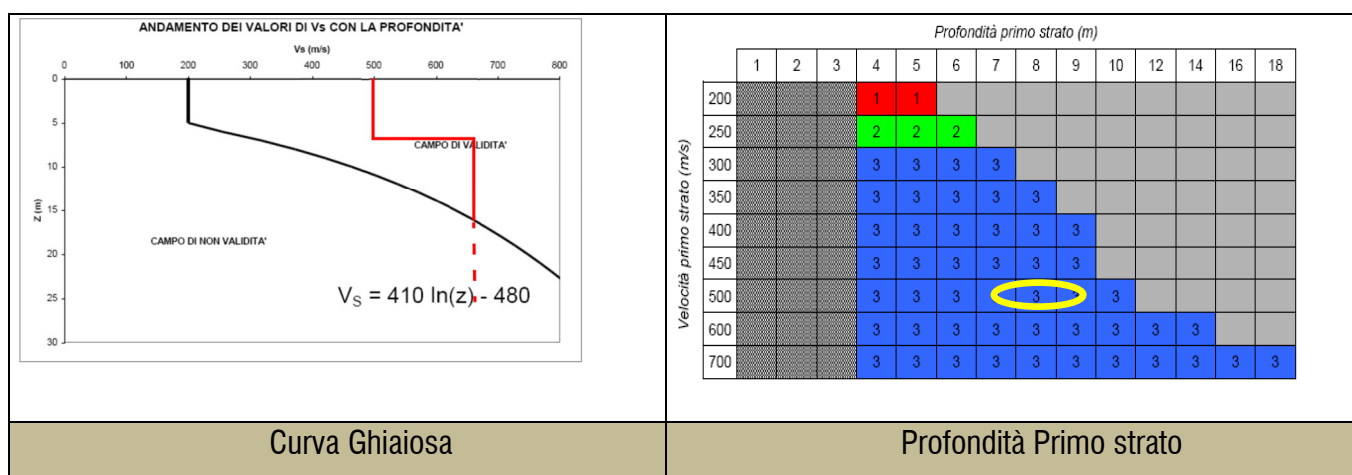
25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Considerando il piano di appoggio delle fondazioni sul deposito morenico inferiore, secondo l'espressione seguente (NTC 2018)

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

si ottiene un valore di **$V_s = 608$ m/s**, ricadente in **Categoria B – Rocce tenere o 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 fra 360 e 800 m/s.**

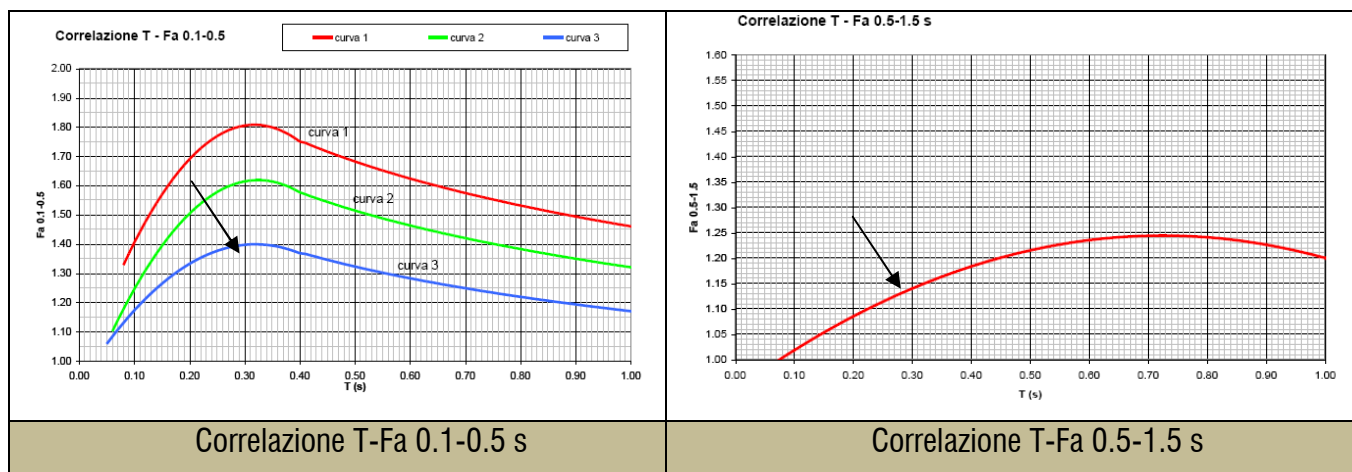
L'applicazione del metodo di 2° livello della Delibera regionale 2616/2011, considerando la Scheda litologica ghiaiosa Curva 3 – $T=0.29$ s (Allegato 5) fornisce un valore di coefficiente di amplificazione calcolato $FAC_{0.1-0.5s} = 1.39$ e $FAC_{0.5-1.5s} = 1.13$ che considerando la tolleranza di 0.1 rispetto ai valori soglia $FAS_{0.1-0.5s} = 1.5$ e $FAS_{0.5-1.5s} = 1.15$, risultano compatibili con lo spettro di normativa delle NTC, confermando pertanto la **Categoria B**.



Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Fenomeno della liquefazione dei terreni

Per quanto attiene la liquefazione del terreno in condizioni sismiche (NTC 2018 par 7.11.3.4., si ritiene che il sito non possa essere oggetto di tale fenomeno e si esclude la suscettibilità alla liquefazione omettendone la verifica per il manifestarsi delle seguenti circostanze:

- Presenza di terreni misti granulari con addensamento elevato $N > 50$ entro i primi 5-6 m, che aumenta con la profondità, depositi morenici, non liquefacibili;
- Assenza della falda freatica;

8. Spettri di risposta elastici allo stato limite SLE e SLU

In accordo con il paragrafo 3.2.3.2.1 viene calcolato, per la descrizione del moto sismico, lo spettro di risposta elastico relativo allo stato limite SLE-SLD assumendo un coefficiente di smorzamento viscoso pari al 5%.

Valori dei parametri indipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

Ag (g)	Fo	Tc (s)	SS	CC	ST	q
0.056	2.194	0.243	1.200	1.460	1.000	1

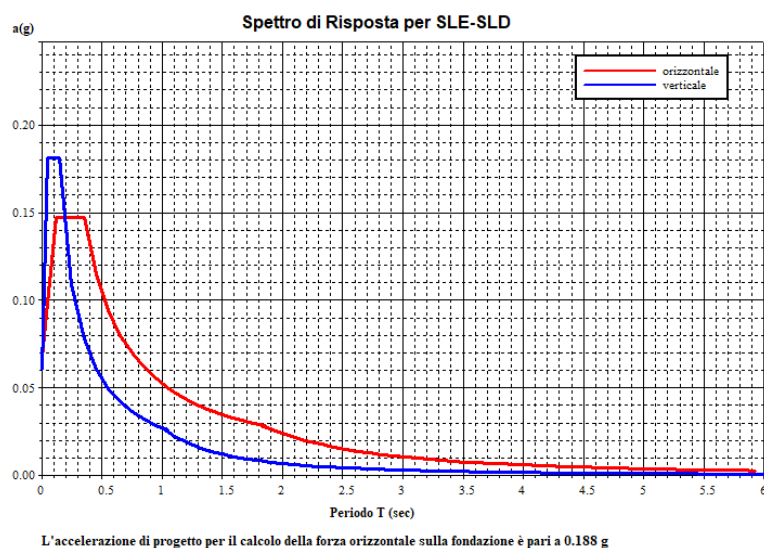
Valori dei parametri dipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

S	n	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
1.200	1.000	0.118	0.355	1.824

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Fondir ver. 8.0 © Bruschi Alberto

2

Per lo spettro di risposta elastico relativo allo stato limite SLU-SLV assumendo un coefficiente di smorzamento viscoso pari al 5%, si ha:

Valori dei parametri indipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

Ag (g)	Fo	Tc (s)	SS	CC	ST	q
0.157	2.477	0.272	1.200	1.427	1.000	1.000

Valori dei parametri dipendenti che definiscono lo spettro di risposta elastico

² Struttura analitica dello spettro:

per $0 \leq T \leq T_b$ $Se(T) = ag S n Fo [T/T_b + 1/(n Fo)(1 - T/T_b)]$

per $T_b \leq T \leq T_c$ $Se(T) = ag S n Fo$

per $T_c \leq T \leq T_d$ $Se(T) = ag S n Fo [T_c/T]$

per $T_d \leq T$ $Se(T) = ag S n Fo (T_c/T_d)^2$

T = periodo di vibrazione dell'oscillatore lineare semplice

Se = accelerazione spettrale orizzontale

Se(T) = funzione di amplificazione della risposta rispetto all'accelerazione

S = coefficiente che tiene conto della categoria i sottosuolo e delle condizioni topografiche

n = fattore di correzione per lo smorzamento = $[10/(5+e)]^{0,5}$ ($\geq 0,55$)

e = smorzamento viscoso

Fo = massimo valore spettrale normalizzato, assunto costante tra Tb e Tc

Tb, Tc, Td = parametri che determinano la forma dello spettro

k1, k2 = esponenti che definiscono lo spettro di risposta per periodi superiori a Tc e Td

S = parametro del terreno

n = fattore di correzione per lo smorzamento = $[7/(2+e)]^{0,5}$ ($\geq 0,7$)

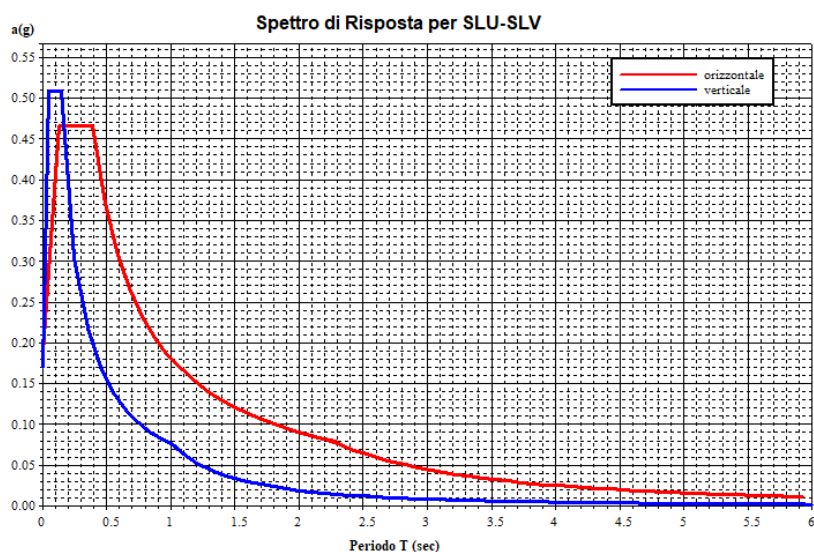
e = smorzamento viscoso

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

S	n	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
1.200	1.000	0.129	0.388	2.228



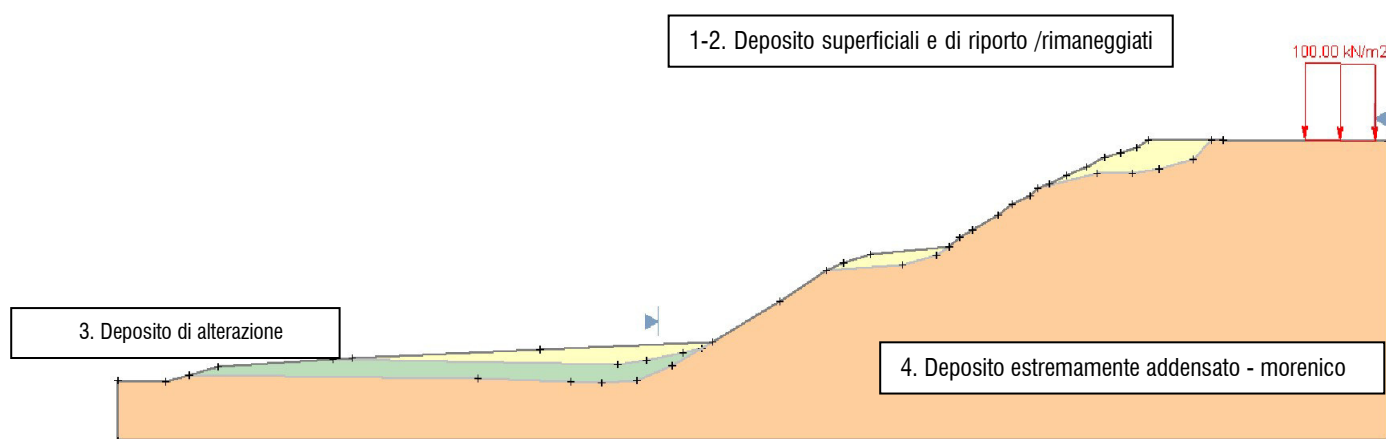
Fondir ver. 8.0 ©Bruschi Alberto

Le accelerazioni massime orizzontali attese al sito (a_{max}) per i vari stati limite sono:

Stato limite	SLE-SLO	SLE-SLD	SLU-SLV	SLU-SLC
ag	0.049 g	0.067 g	0.188 g	0.244 g

9. Analisi di stabilità della pendice a valle del ripiano

In relazione alla configurazione della pendice di raccordo fra la sommità di della berma intermedia con altezze variabili indicativamente fra 3.8-4.0 metri (Sez.9-9) e 5.0-5.50 m (Sez.11-11) si sono condotte analisi di stabilità al fine di verificare il comportamento reologico del terreno della pendice nelle condizioni attuali. A tal fine si è considerata la sezione 11-11 trasversale al pendio di progetto.



Sezione geologica schematica (stato attuale)

Parametri geotecnici estrapolati dall'indagine geognostica (Scavi, DP e HVSR) e da correlazioni

Terreno	Peso di volume γ kN/m ³	Angolo d'attrito ϕ (°)	Coesione c' (kPa)
Livello 1- 2 Rimaneggiato	17.5	27	1
Livello 3 – colluvium	18.8	30	2
Livello 4 – Deposito morenico	19.5	35	0-1.5

γ = peso di volume (kN/mc)

ϕ = angolo d'attrito (°)

c = coesione (kPa) (stimata da classificazioni)

Ai fini dell'implementazione delle verifiche in condizioni pseudostatiche si sono considerati i seguenti valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale (come da NTC 2018):

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Coefficiente	Valore
Kh	0.045
Kv	0.023

Analisi di stabilità

Lo schema di verifica adottato è quello classico dell'equilibrio limite nella formulazione proposta da Bishop³, che suddivide il pendio da analizzare in una serie di conci (o strisce) verticali. Ogni concio è soggetto ad un sistema generale di forze rappresentate dal peso proprio del terreno, pressioni dell'acqua e sollecitazioni sismiche.

L'analisi di stabilità generale è stata implementata mediante la generazione di 10.000 superfici ipotetiche di scivolamento circolari, considerando una griglia di punti, in cui ogni punto rappresenta il centro di rotazione di una serie di superfici di scivolamento circolari, il cui incremento di raggio viene automaticamente calcolato dal software. Come limiti di sviluppo delle superfici sono stati assunti i limiti in seno alla pendice a monte ed a valle della strada esistente.

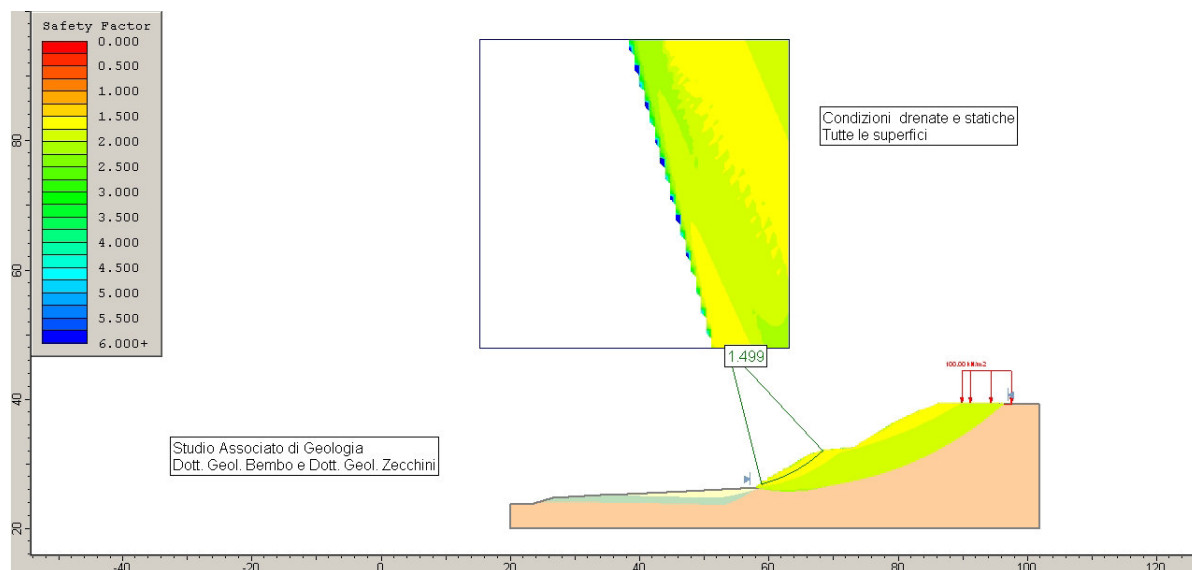
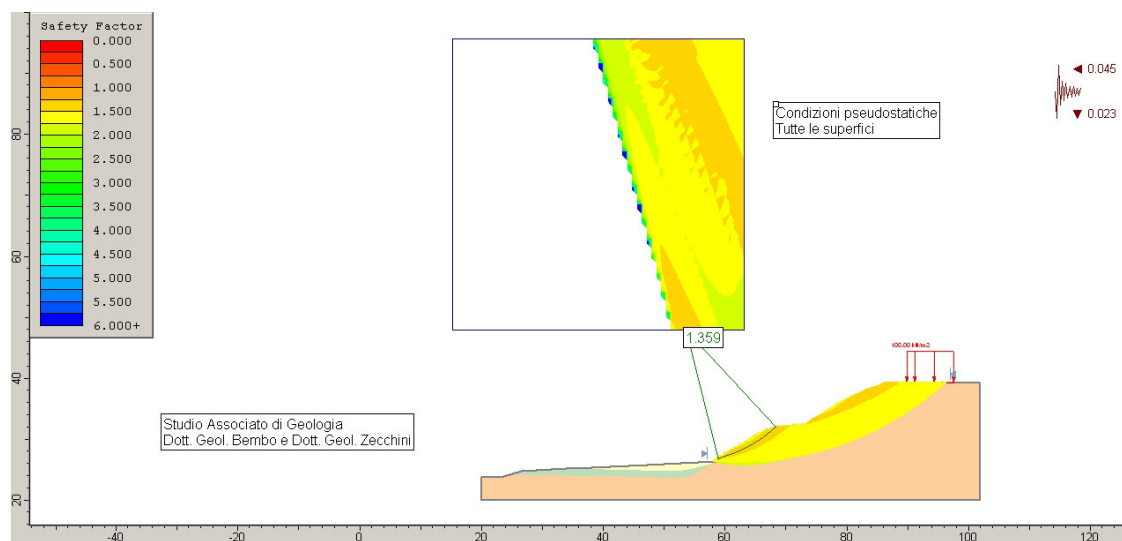
L'analisi è consistita in sviluppo di verifiche iterative in differenti condizioni:

- Analisi di stabilità della pendice attuale, in condizioni drenate di parziale saturazione e pseudostatiche;

Le analisi sono state condotte in ottemperanza alla normativa vigente, considerando per il profilo attuale le condizioni (M1+A1+R1) e per la fase di scavo le condizioni (M2+A2+R2).

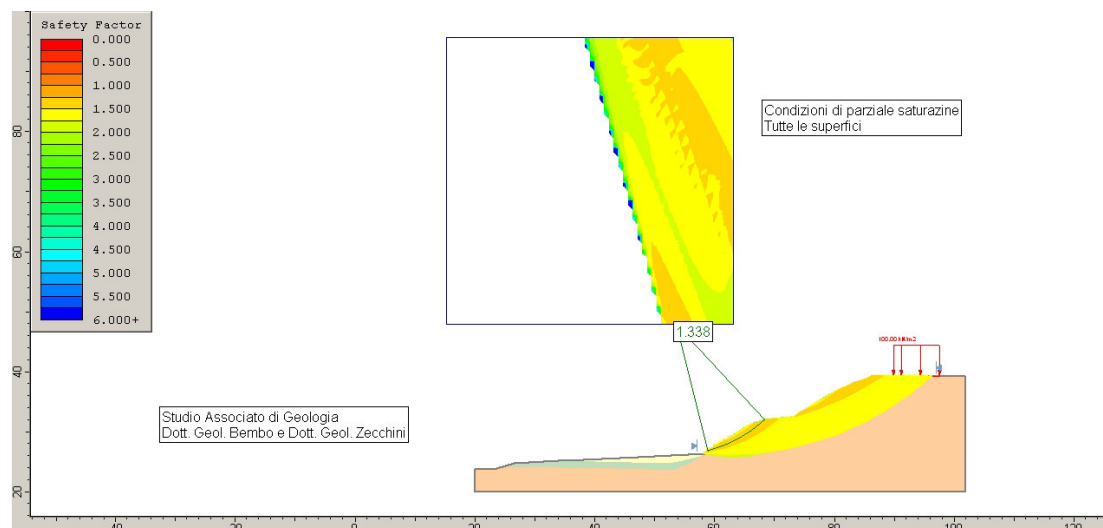
Sono riportati di seguito i grafici dei risultati delle analisi, ove sono evidenziate, con variazione cromatica, le tracce delle superfici di scivolamento per i differenti fattori di sicurezza o, se singola, la superficie con coefficiente di sicurezza minore.

³ Sono stati utilizzati anche i metodi Corps of Engeneering 1 e 2, Morgerstern-Price

Stabilità per profilo attuale**Stabilità della pendice in condizioni drenate - dettaglio****Stabilità della pendice in condizioni pseudo statiche – tutte le superfici****Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini**

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70



Stabilità della pendice in condizioni di parziale saturazione (saturazione locale del deposito morenico) – tutte le superfici

Allo stato attuale la pendice caratterizzata da condizioni di stabilità. Non sono previsti scavi o sbancamenti in seno alla pendice medesima.

In relazione tuttavia a alcuni fenomeni di decorticamento superficiale osservati localmente, si consiglia la regolarizzazione dei paramenti e ove necessario la realizzazione di interventi di ingegneria naturalistica (palizzate e/o fascinate) al fine della stabilizzazione superficiale di tali fenomeni erosivi.

10. Stima della capacità portante dei terreni

In relazione alla tipologia di interventi ed in rapporto alla configurazione geologica evidenziata in sito dalle indagini si è eseguita un'analisi di capacità portante per gli edifici residenziali adottando fondazioni nastriformi variando il parametro della larghezza di fondazione per larghezza totale variabile da $B=1.1$ m a 1.2 m circa in appoggio in seno ai materiali morenici (Livello 4).

Si raccomanda come indicato nei paragrafi precedenti di non adottare quale sedime: livelli e/o sacche di materiali eterogenei riportati e depositi eluvio colluviali di alterazione superficiale.

***Stima dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni
da indagini penetrometriche e indagine di sismica passiva***

<i>Tipo di terreno</i>	ϕ (°)	γ_{nat} kN/mc	C' kPa	E' MPa
Livello 1 – superficiale	29	17	0	6
Livello 4- Morenico molto addensato	35	19.5	0	25
Livello 4 - Morenico estremamente addensato	36	20	0	30

γ = peso di volume (kN/mc)

ϕ = angolo d'attrito (°)

c' = coesione drenata (kPa)

E = modulo di deformabilità (MPa)

In relazione alla natura del terreno, le verifiche sono state condotte in condizioni drenate (par.7.3.1.1. – Norme tecniche per le costruzioni).

Per il calcolo della capacità portante viene applicata la formula trinomia di Vésic et al. secondo il metodo di calcolo di Vésic modificato (Vésic, 1967-1975 - Davis & Booker, 1971 - Kulhawy & al., 1984).

I **cedimenti** sono stati calcolati con il classico metodo della Teoria dell'Elasticità per il cedimento immediato e con il metodo di Egorov e Tsytoich per il cedimento totale.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

Si è eseguita un'analisi allo **stato limite ultimo (SLU)**, valutando il valore della capacità portante limite e della resistenza del terreno (R_d) con i parametri geotecnici nominali l'Approccio 2.

Successivamente si è condotta la verifica allo **stato limite di esercizio (SLE-SLD)**, valutando i cedimenti corrispondenti.

STIMA CAPACITA PORTANTE

QlimSLU - Capacità portante ultima e R_d di progetto in Kg/cm ²				
Fondazione	Piano posa	qlimite ultima	R_d (kg/cm ²) Resistenza di progetto	Coefficienti Parziali γ_m
	(m)	Approccio 2 Verifica SLU ($A1 + M1^4 + R3 - 2.3$)		
Nastriforme B=1.10 m	0.7/0.8	7.63	3.31	M1
Nastriforme B=0.9 m	0.7/0.8	6.98	3.03	M1
Nastriforme B=2.00 m	0.7/0.8	8.32	3.62	M1
Rettangolare/platea piscina	2.0 m	14.60	6.35	M1

I valori delle resistenze massime di progetto (R_d) dovranno essere confrontati con le reali sollecitazioni gravanti sulle fondazioni.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

STATO LIMITE DI ESERCIZIO

La verifica allo stato limite di esercizio (SLE) indica i valori di sollecitazione ipotizzata e corrispondente a cedimenti stimati intorno a 1 e 2.5 cm, che dovranno essere valutati dal Progettista se tollerabili dalla struttura.

fondazione nastriforme - Valore dei cedimenti "s" (SLE) in cm
--

Condizioni	qSLE (kg/cm ²)	B (m)	S (da modulo di deformabilità – in cm)
SLE	1.95	0.9	1.4-1.9
SLE	2.1	1.1	1.9-2.6
SLE	0.56/0.6	1.1	1.0-1.1
SLE	2.29	1.3	2.3-3.1
SLE	1.16	1.3	1.8-2.5
SLE	0.55	1.3	0.5-1.1

Come coefficiente di Winkler è possibile adottare Kw= 6.44-10.2 kg/cm² per B=0.9 m, Kw= 5.5-9.8 kg/cm² per B=1.1 m, Kw= 4.58-8.4 kg/cm² per B=1.3 m.

Per quanto riguarda l'Edificio A i valori dei cedimenti possono essere considerati come valori massimi in quanto non tengono conto dell'alleggerimento del carico dovuto alla realizzazione dello sbancamento per la creazione del piano interrato (0.5-0.6 Kg/cm²).

11. Conclusioni

Il quadro conoscitivo, descritto nelle pagine precedenti, ottenuto sulla base delle indagini geologiche svolte, permette di delineare, per l'area in esame, quanto segue:

- Geologicamente, la zona vede la presenza di depositi morenici, costituiti da materiali complessivamente granulari-misti rappresentati da ghiaie in matrice sabbiose limose in minor misura e ciottoli di colore bruno chiaro, con un grado di addensamento globalmente medio e medio alto;
- I depositi suddetti sono sormontati in particolari situazioni quali i cigli dei gradoni e alla base della dorsale morenica da materiali rimaneggiati e di riporto contraddistinti da addensamento e qualità geologico geotecniche eterogenee ; in corrispondenza del fascia al piede della dorsale morenica questi ultimi sormontano i depositi di alterazione a supporto di matrice argillosa; si sconsiglia l'appoggio di qualsivoglia struttura fondazionale in seno ai depositi qui descritti;
- L'indagine condotta non ha rilevato la presenza della falda vera e propria né di filetti idrici diffusi in corrispondenza ad una circolazione idrica subsuperficiale al momento dell'esecuzione; tuttavia si ritiene che tale aspetto dipenda in parte anche dallo scarso apporto pluviometrico perdurante in questo ultimo anno, e che in caso di un regolare regime meteo si possa sviluppare una circolazione idrica sub superficiale all'interno dei depositi morenici medesimi; si raccomanda il pronto allontanamento dell'eventuale carico idrico riscontrato all'atto dell'apertura degli scavi mediante sistemi di drenaggio;

Si sottolinea che le indagini condotte ed utilizzate al fine della delineazione del modello geologico geotecnico si riferiscono ad analisi e caratterizzazione a livello puntuale pertanto le distribuzioni areali dei depositi ed i rapporti geometrici intercorrenti fra gli stessi ipotizzate possono essere affetti da una certa approssimazione.

Sulla base della configurazione geologica –geotecnica riscontrata gli edifici dovranno essere impostati sul deposito morenico inferiore da addensato ad estremamente addensato (Livello 4) .

***Stima dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni
da indagini penetrometriche e indagine di sismica passiva***

<i>Tipo di terreno</i>	ϕ	γ_{nat}	C'	E'
	(°)	kN/mc	kPa	MPa
Livello 1 – superficiale	29	17	0	6
Livello 4- Morenico molto addensato	35	19.5	0	25
Livello 4 - Morenico estremamente addensato	36	20	0	30

γ = peso di volume (kN/mc)

ϕ = angolo d'attrito (°)

c' = coesione drenata (kPa)

E = modulo di deformabilità (MPa)

Si eseguita una stima della capacità portante agli stati limite, in ottemperanza al DM 17/01/2018, con variazione parametrica della larghezza delle fondazioni nastriformi. Per i dettagli si rimanda al paragrafo precedente.

Analogamente in relazione alle verifiche e considerazioni eseguite al fine di valutare la stabilità dei paramenti di scavo (edificio A, edifici C) previsti si rimanda nel dettaglio ai paragrafi precedenti. Si ricorda tuttavia in linea generale :

- La predisposizione di adeguati presidi perimetrali (barriere, cordoli e/o cunette) per l'allontanamento degli eccessi di precipitazione al contorno dello scavo; in particolar modo si dovrà evitare che le acque meteoriche e di ruscellamento provenienti da monte confluiscono nel fondo scavo (edificio A e B).
- L'allontanamento immediato dei carichi idrici e delle venute d'acqua già presenti in sito ed eventualmente emergenti durante le operazioni di scavo.

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologa Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70

- Evitare di sovraccaricare i cigli di scavo medesimi, con deposito di materiali e/o posizionamento gru, ecc;

In relazione ai parametri sismici da utilizzare in sede di progetto, si ha:

Da DM 17/01/2018 – Norme tecniche per le costruzioni

	SLD-SLV
Categoria terreni di fondazione	B
accelerazione orizzontale del terreno – a_g (su suolo rigido)	0.056-0.157
valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale – F_0	2.494-2.477
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale - T^*c	0.243-0.272
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.200-1.200
Coefficiente C_e	1.460-1.427
Coefficiente di amplificazione topografica S_T per Categoria T1	1.0

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del NTC D.M.17/01/2018 ed alle prescrizioni contenute nel piano di Governo del territorio, soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare.

Si rimane a disposizione per eventuali affinamenti del modello geologico-geotecnico delineato e/o per nuovi e particolari riscontri geologici e/o geotecnici si rendessero necessari in relazione alle scelte operate sotto il profilo progettuale e/o esecutivo.

Dott. Geol. Giovanni Bembo

Dott. Geol. Loredana Zecchini

Dr. Geologo Giovanni Bembo - Dr. Geologo Loredana Zecchini

- STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA APPLICATA ED AMBIENTALE -

25084 Bogliaco di Gargnano (Bs) Via Trieste 45 - Tel./ Fax - 0365 79 10 70