

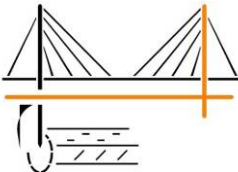
PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI LONATO DEL GARDA

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVI EDIFICI RESIDENZIALI (CASSETTE MOBILI)
VIA LAZZARETTO

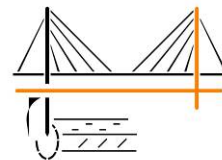
RELAZIONE GEOLOGICA (R1) e (R3) (D.M. 17/01/2018; D.G.R. 2616/2011)
RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA (R2) (D.M. 17/01/2018)

Committente:
Sig.ra Molinari Giovanna
Via Lazzaretto, 19
25017 – Lonato del Garda (BS)

				Data	Nome
			Elaborato:	06.02.2025	CL
			Verificato:	06.02.2025	CL
			Rif. Int.:	--	
			Redatto: 		
Modifiche	Data	Nome	STUDIO TECNICO LANCINI-MANZINI Ingegneria Civile – Geologia Tecnica e Ambientale		



Geol. Claudio Lancini

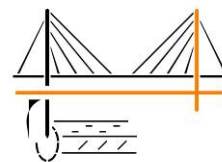


SOMMARIO

1 INTRODUZIONE	3
2 INQUADRAMENTO E VERIFICA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA (D.G.R. 2616/2011)	5
2.1 <i>INQUADRAMENTO PROGRAMMATICO – COMPONENTE GEOLOGICA</i>	5
2.2 <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO/GEOMORFOLOGICO GENERALE</i>	14
2.3 <i>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE</i>	15
2.4 <i>VERIFICA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA (D.G.R. 2616/2011)</i>	16
3 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	21
4 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEI TERRENI (§§ 6.2.1-2 D.M. 17/01/2018).....	24
4.1 <i>PREMESSA</i>	24
4.2 <i>DEFINIZIONE DEL MODELLO</i>	24
4.3 <i>LIQUEFAZIONE DEI TERRENI</i>	26
4.4 <i>RACCOMANDAZIONI</i>	28
5 ELEMENTI PER LA VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI	30
6 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO.....	35
6.1 <i>DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E TOPOGRAFICA (D.M. 17/01/2018)</i>	35
6.2 <i>DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO</i>	40
7 CONCLUSIONI	43

ALLEGATI:

1. COROGRAFIA DEL SITO
2. UBICAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE
3. DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE



1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato è redatto in base all'incarico professionale ricevuto dall'Arch. Sigurtà Sara con studio in Via C. Battisti n. 37 a Lonato del Garda (BS), per conto della Sig.ra Molinari Giovanna, e rientra nell'ambito del progetto di realizzazione di nuovi edifici residenziali (tra cui n. 3 casette mobili), all'interno di un lotto situato in Via Lazzaretto a Lonato del Garda (BS), catastalmente identificato al Foglio n. 32, Mappali n. 271-273.

Esso costituisce la Relazione Geologica (R1) e (R3), ai sensi del D.M. 17/01/2018 (§ 6.2.1), e della D.G.R. 2616/2011, e la Relazione di Caratterizzazione Geotecnica (R2), ai sensi del D.M. 17/01/2018 (§ 6.2.2).

La prima parte della relazione definisce l'inquadramento programmatico del sito di progetto, con particolare riguardo alla "Componente Geologica" del P.G.T. comunale, al fine di condurre la verifica di fattibilità geologica dell'intervento di progetto, ai sensi della D.G.R. 2616/2011. In questa sezione viene anche eseguita una ricostruzione della geologia del sito, sia in base ai rilievi eseguiti presso l'area di progetto, sia alla luce della bibliografia presente, contenuta soprattutto nella documentazione relativa alla "Componente Geologica" del P.G.T. Comunale.

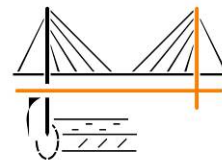
I capitoli successivi riguardano principalmente la definizione del Modello Geologico (§ 6.2.1 del D.M. 17/01/2018), del Modello Geotecnico (§ 6.2.2 del D.M. 17/01/2018) e Sismico del sito in esame, ai sensi della normativa vigente.

Presso il sito di progetto sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche dinamiche; i parametri ricavati da tali prove, unitamente ai dati contenuti nella "Componente Geologica" allegata al P.G.T. Comunale, sono stati utilizzati ai fini dell'elaborazione dei Modelli Geologico e Geotecnico.

In merito alla ricostruzione del profilo della velocità equivalente delle onde sismiche di taglio ($V_{S,eq}$), relativa ai terreni al di sotto del piano di posa delle fondazioni, e quindi ai fini della determinazione della Categoria di sottosuolo, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, si è utilizzata una linea sismica realizzata in ambito di aggiornamento del P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021).

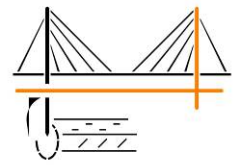
A completamento della modellazione sismica del sito, sono stati inoltre ricavati i parametri sismici sito-specifici, utili alla verifica agli Stati Limite in condizioni sismiche previsti dalla norma.

La sintesi di quanto emerso durante gli studi eseguiti e dei principali risultati ottenuti è riportata all'interno del capitolo finale "Conclusioni".



Ai fini della redazione del presente elaborato, si è tenuto conto della seguente normativa di riferimento:

- **D.P.R. n. 380/2001**: Testo Unico per l'Edilizia;
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003**: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- **Decreto Ministeriale 17/01/2018**: Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- **Circolare Ministeriale n. 7 del 21 gennaio 2019**: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- **D.G.R. Lombardia 2616/2011**: 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”;
- **D.G.R. Lombardia 2129/2014**: Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d);
- **L.R. Lombardia 12 ottobre 2015 n. 33**: Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- **D.G.R. Lombardia 5001/2016**: Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.



2 INQUADRAMENTO E VERIFICA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA (D.G.R. 2616/2011)

2.1 Inquadramento programmatico – Componente Geologica

All'interno di questo paragrafo, vengono introdotte le principali caratteristiche del sito di progetto, in riferimento agli allegati relativi al Piano di Governo del Territorio del Comune di Lonato del Garda (BS), tra cui l'“Aggiornamento della Componente Geologica del P.G.T. Comunale” (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021).

In primo luogo si riporta lo stralcio della Tavola 1 “*Carta Geologica con Elementi Geomorfologici e Strutturali*” – dicembre 2019 (vedi figura seguente):

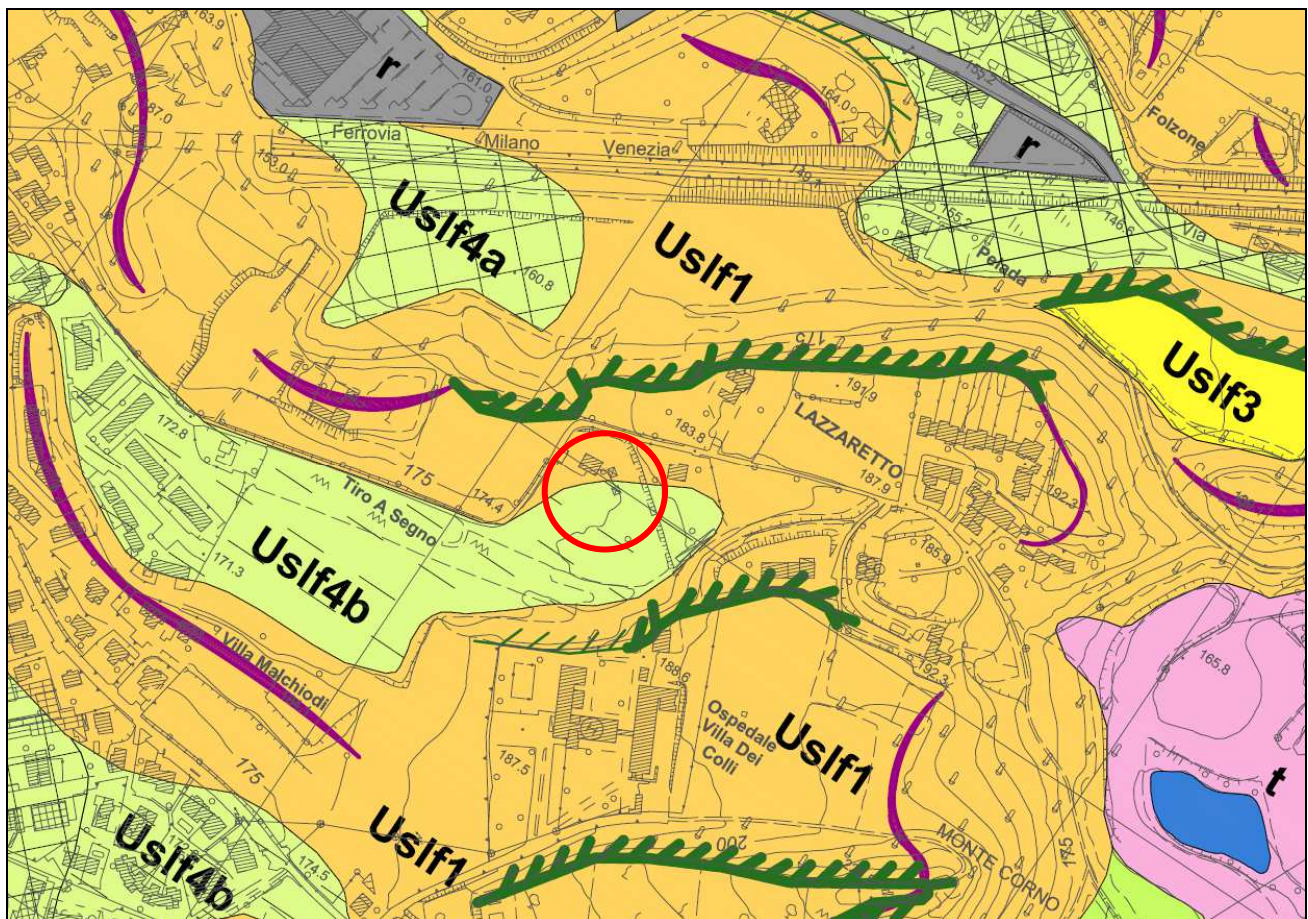
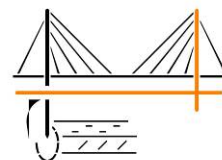


Figura 1: stralcio della Tavola 1 – “*Carta Geologica con Elementi Geomorfologici e Strutturali*”



UNITA' DI SOLFERINO (Pleistocene superiore)	
Uslf1	Depositi glaciali
Uslf2	Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale
Uslf3	Depositi di contatto glaciale
Uslf4	Depositi fluvio-glaciali delle cerchie interne
a	a) Depositi grossolani prevalentemente ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi, sabbiosi
b	b) Depositi fini prevalentemente sabbioso limosi, limoso sabbiosi, limoso argillosi
Uslf5	Depositi fluvio-glaciali frontali alle cerchie interne.

Figura 2: stralcio della Tavola 1 – “Carta Geologica con Elementi Geomorfologici e Strutturali” – legenda

Il sito di progetto ricade in una zona in corrispondenza del limite tra i terreni relativi ai “Depositi glaciali – Uslf1”, e quelli appartenenti ai “Depositi fluvio-glaciali delle cerchie interne – Uslf4b”.

Nella Relazione Illustrativa allegata alla “Componente Geologica” del P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scavini D., Rev. 2 marzo 2021), i depositi relativi a tali litotipi sono così descritti:

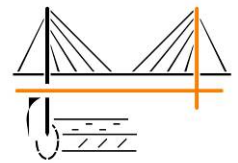
Depositi glaciali (Uslf1)

“Sono costituiti da diamicton massivi, per lo più a supporto clastico (Dcm) ma talora a supporto di matrice (Dmm). Risultano frequentemente presenti anche grossi trovanti poligenici con dimensioni fino a vari metri cubi.

Nell'ambito del complesso modello deposizionale morenico sono previste eterogeneità litologiche con variazioni nel contenuto di frazione fine che risultano talora molto accentuate anche in zone contigue.”

Depositi fluvio-glaciali delle cerchie interne (Uslf4b)

“Questi depositi costituiscono le aree pianeggianti maggiormente estese, interposte tra i cordoni morenici interni, e sono rappresentati da ghiaie con ciottoli arrotondati a supporto di clasti o di matrice in genere sabbiosa e sabbie spesso a laminazione incrociata. Sono presenti livelli e lenti di limi sabbiosi, soprattutto in superficie.”



Al fine di inquadrare l'area in oggetto, dal punto di vista geotecnico, è possibile prendere visione della Tavola 4 “*Carta di prima Caratterizzazione Geotecnica dei terreni*” (dicembre 2019), di seguito riportata.

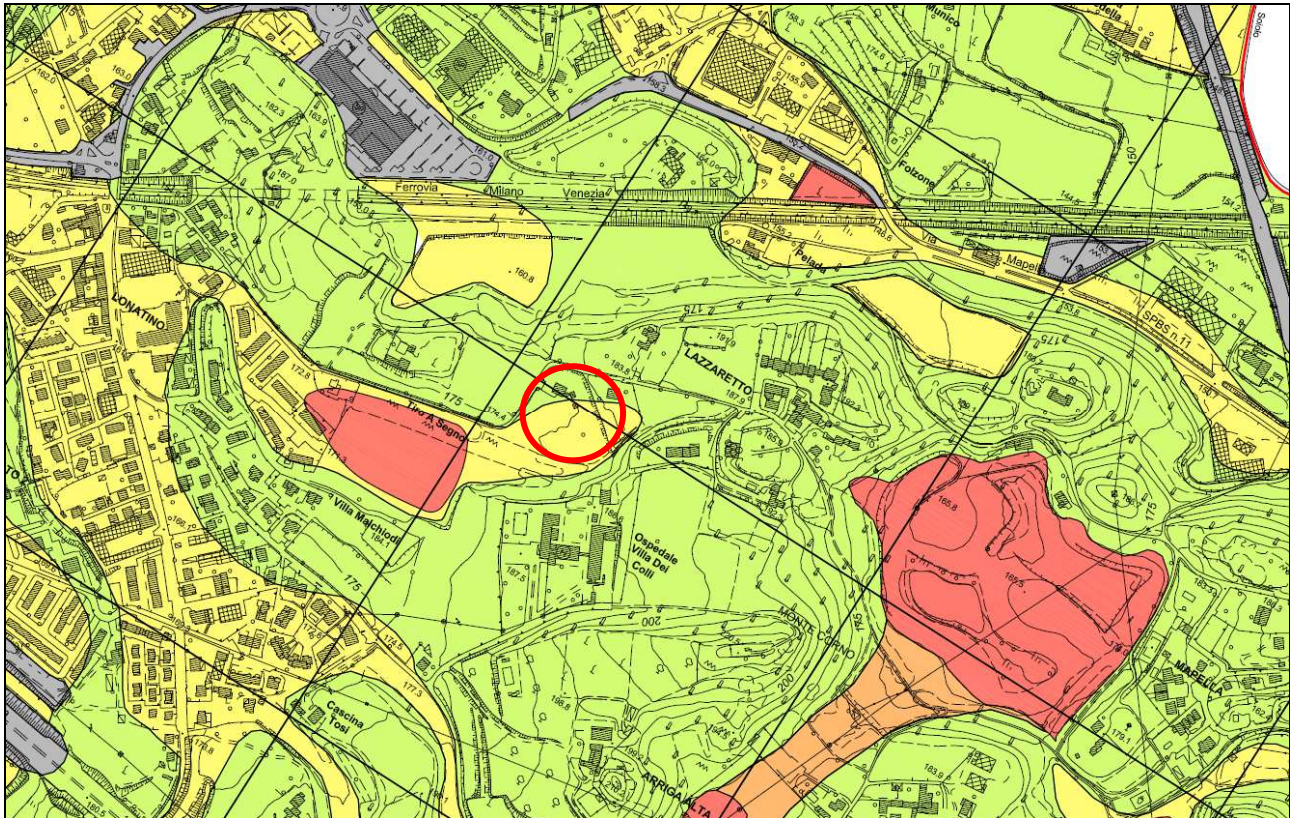


Figura 3: stralcio della Tavola 4 – “*Carta di prima Caratterizzazione Geotecnica dei terreni*”

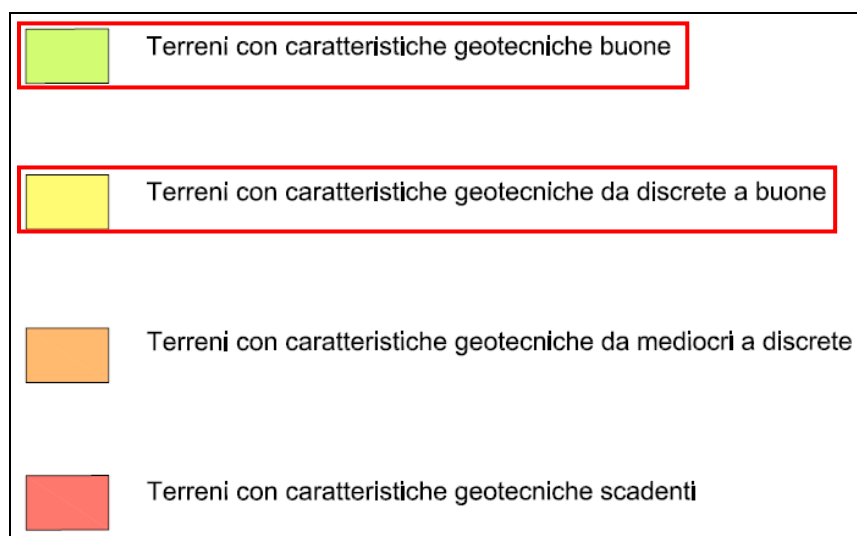
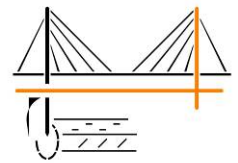


Figura 4: stralcio della Tavola 4 – “*Carta di prima Caratterizzazione Geotecnica dei terreni*” – legenda



Le unità litologiche sopraccitate sono definite come “*Terreni con caratteristiche geotecniche buone*” e “*Terreni con caratteristiche geotecniche da discrete a buone*”.

Le informazioni di carattere idrogeologico, relative al territorio comunale, sono illustrate nella Tavola 6 “*Carta Idrogeologica con indicazioni sulla vulnerabilità degli acquiferi superficiali*”, di cui se ne riporta uno stralcio contenente il sito di interesse.

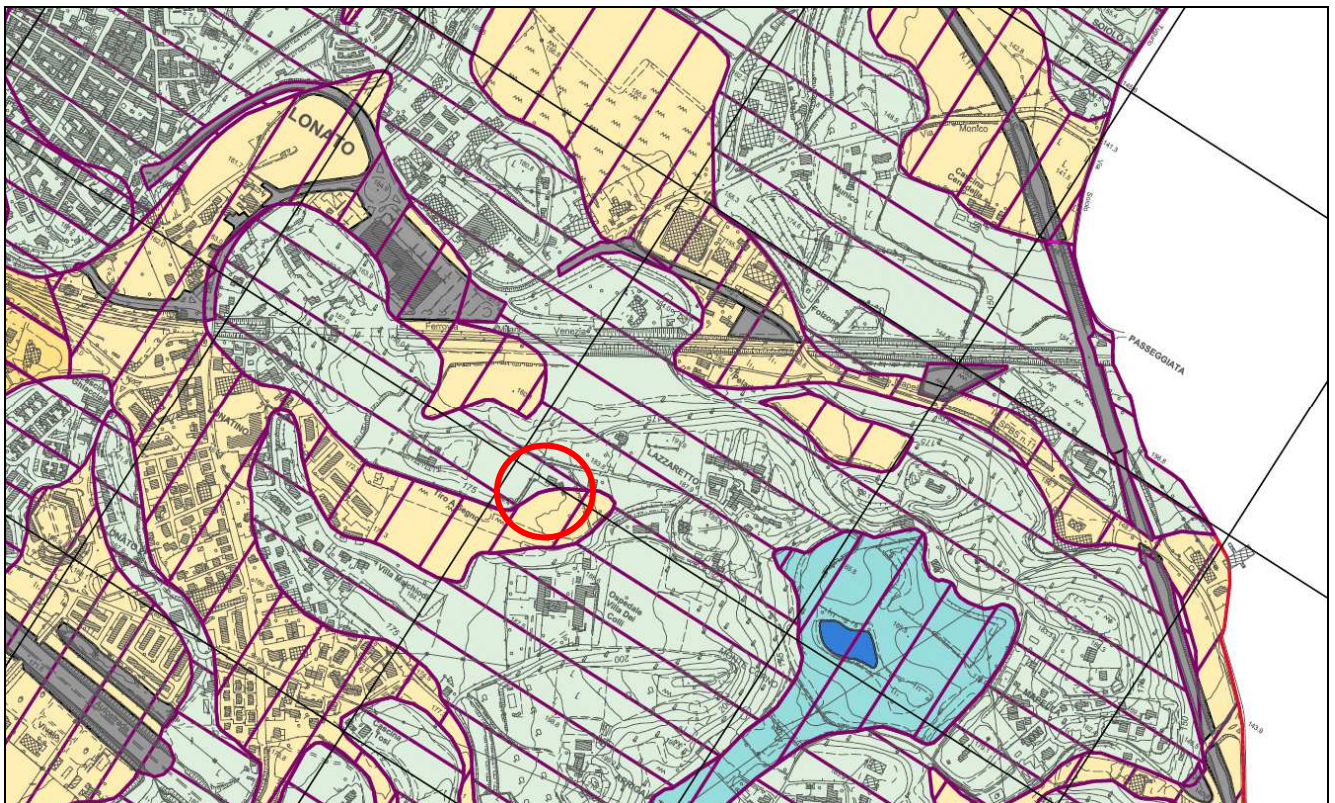
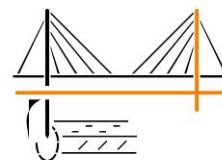


Figura 5: stralcio della Tavola 6 “Carta Idrogeologica con indicazioni sulla vulnerabilità degli acquiferi superficiali”

	Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso-sabbiosi) a permeabilità elevata
	Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso sabbiosi) a permeabilità da media a medio-elevata.
	Depositi fini (prevalentemente limoso-sabbiosi e limoso-argillosi) a permeabilità da medio-bassa a bassa
	Depositi glaciali a permeabilità complessivamente da bassa a molto bassa

Figura 6: stralcio della Tavola 6 “Carta Idrogeologica con indicazioni sulla vulnerabilità degli acquiferi superficiali” – legenda



In merito ai “*Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso-sabbiosi)*”, che in base ai risultati delle prove penetrometriche eseguite (vedi capitoli successivi), caratterizzano in porzione prevalente il sito di progetto, nella Relazione Illustrativa (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021) viene indicato quanto segue.

Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso-sabbiosi) a permeabilità da media a medio-elevata

“In questa classe sono state raggruppate diverse unità litostratigrafiche ed in particolare: caratteristiche di media permeabilità sono riferibili ai depositi di contatto glaciale, mentre permeabilità da media a medio-elevata può essere attribuita ai depositi di conoide e ai depositi fluvio-glaciali delle cerchie interne grossolani.

I valori della permeabilità possono essere quindi definiti complessivamente da medi a medio-elevati e sono compresi per le sequenze ghiaioso-sabbiose tra 10^{-3} m/sec e 10^{-5} m/sec. La presenza di livelli limoso-argillosi a bassa permeabilità può ostacolare localmente la filtrazione idrica verticale. Talora all’interno di questi depositi possono circolare falde superficiali, delimitate per lo più alla base dai depositi glaciali poco permeabili.”

Il Comune di Lonato del Garda (BS) è dotato di Valutazione dell’Amplificazione Sismica Locale, contenuta nella Relazione Geologica allegata al P.G.T. (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021), eseguita in base alla metodologia ed alle procedure indicate nell’Allegato 5 della D.G.R. Lombardia n. 2616/2011.

In particolare, è stata eseguita la procedura relativa all’Analisi di I e II Livello, per la stima degli effetti morfologici e litologici e dei relativi Fattori di amplificazione di sito. I dettagli dello studio eseguito sono visibili nella Relazione sopraccitata, dove sono stati esaminati gli scenari di Pericolosità Sismica Locale, funzione della morfologia e della litologia, individuati per il territorio comunale.

I risultati del I Livello di Analisi, contenuti in tale studio, sono illustrati all’interno della Tavola 8 “*Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) – Livello I*”:

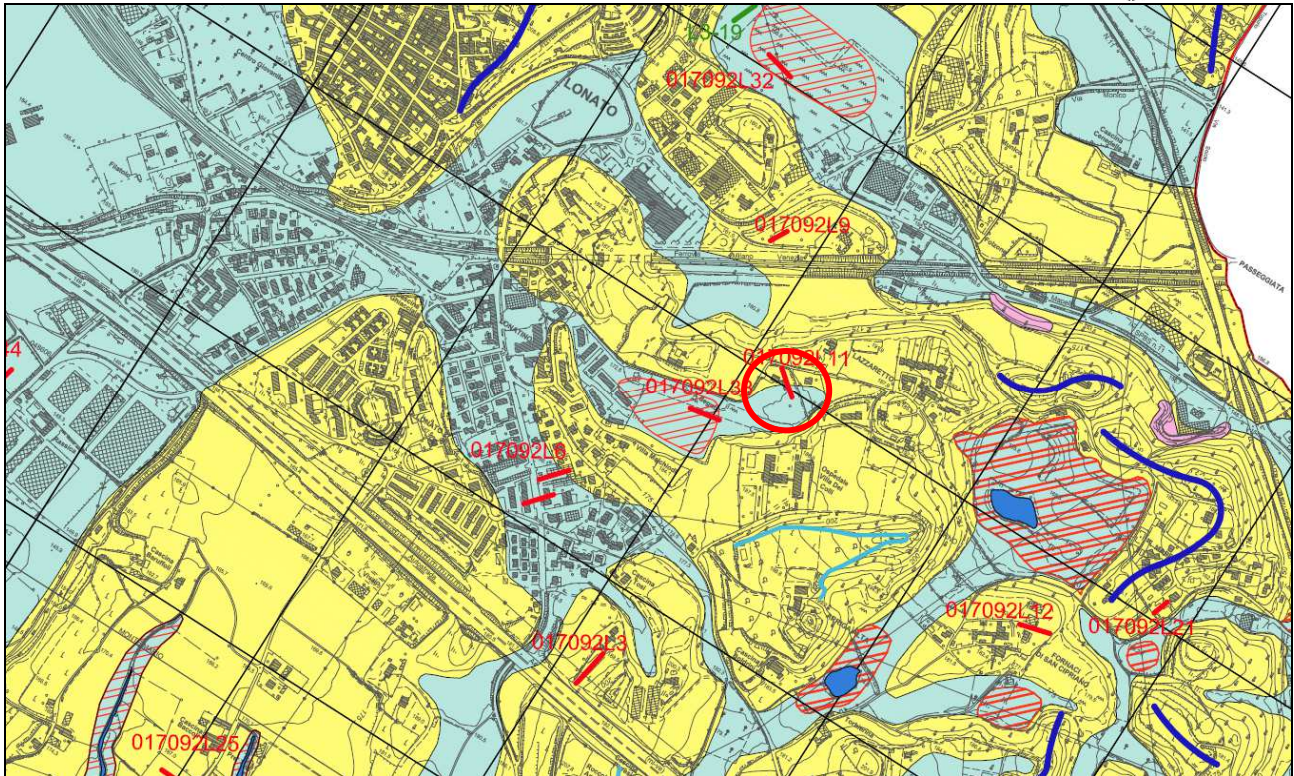
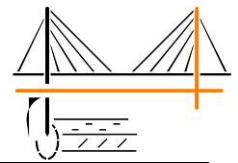


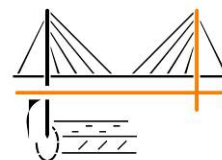
Figura 7: stralcio della Tavola 8 "Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) – Livello 1"

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, conoide alluvionale e conoide dell'altipiano lacustre.
	Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)

Figura 8: stralcio della Tavola 8 "Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) – Livello 1" – legenda

Il sito in esame è ubicato in corrispondenza del limite tra la Zona Z4a "Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi" e la Zona Z4c "Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)".

Tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.



Riguardo tale scenario di pericolosità sismica, è stato applicato in sede di P.G.T. il II° Livello di approfondimento, compatibile con l'Allegato 5 della D.G.R. n. 2616/2011, che consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, in quanto fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (F_a). Gli intervalli di periodo considerati sono quelli compresi tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e a strutture alte e flessibili.

Ai fini dell'applicazione della procedura di II° Livello, lo Studio Geologico allegato al P.G.T. si basa su una serie di indagini sismiche, le quali sono state distribuite in corrispondenza di alcune aree campione del territorio comunale.

Secondo quanto riportato nelle “*Norme Geologiche di Piano*” (Geol. Lentini – Geol. Scalvini, Rev. 03 gennaio 2022), “*si è verificato che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s i parametri sismici normativi di Categoria B o di Categoria B e C non risultino sufficientemente cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione litologica in quanto risulta $F_a \text{ di sito (FAC)} > F_a \text{ di soglia comunale (FAS)}$ ”.*

Viene richiesto, pertanto che:

- *la determinazione della Categoria di sottosuolo mediante indagini geognostiche in sito con acquisizione di dati sismo-stratigrafici (sismica in foro o di superficie);*
- *l'applicazione "sito-specifica" della metodologia prevista dall'All.5 alla D.G.R. 9/2616/2011 (approfondimento di 2° livello) al fine di definire la Categoria di sottosuolo idonea a preservare dai possibili effetti di amplificazione litologica.*

Secondo quanto emerso dallo Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale, ed in particolare in base al contenuto della Tavola 8 bis “*Carta di Microzonazione Sismica Livello 2 (MOPS-criteri regionali) con indicazione dei valori stimati dei Fattori di amplificazione litologica ($F_a - FAC$)*” (Geol. Lentini, Rev. 01 – dicembre 2019), l'area in cui ricade il sito di progetto è caratterizzata da una Fattore di amplificazione litologica (FAC) pari a 1,7.

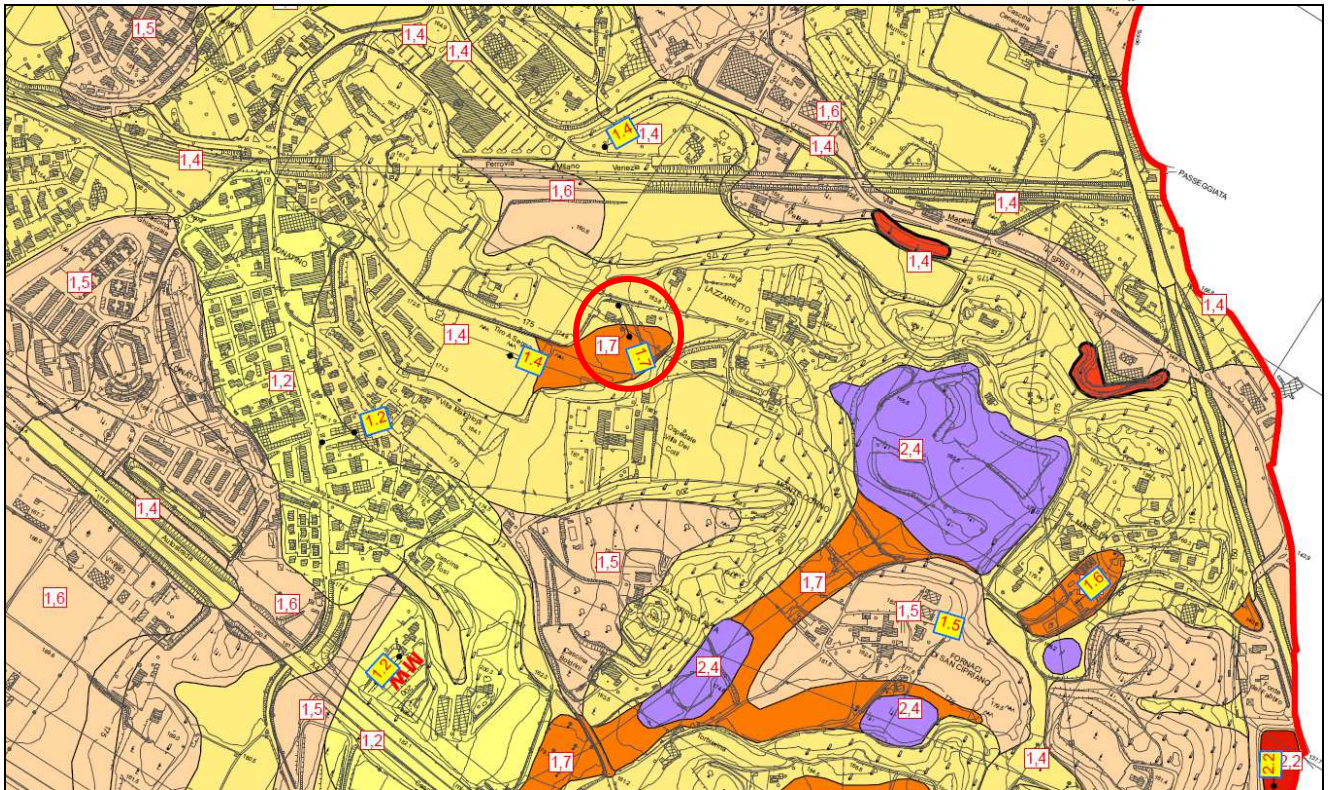
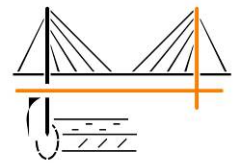


Figura 9: stralcio della Tavola 8 bis "Carta di Microzonazione Sismica Livello 2"

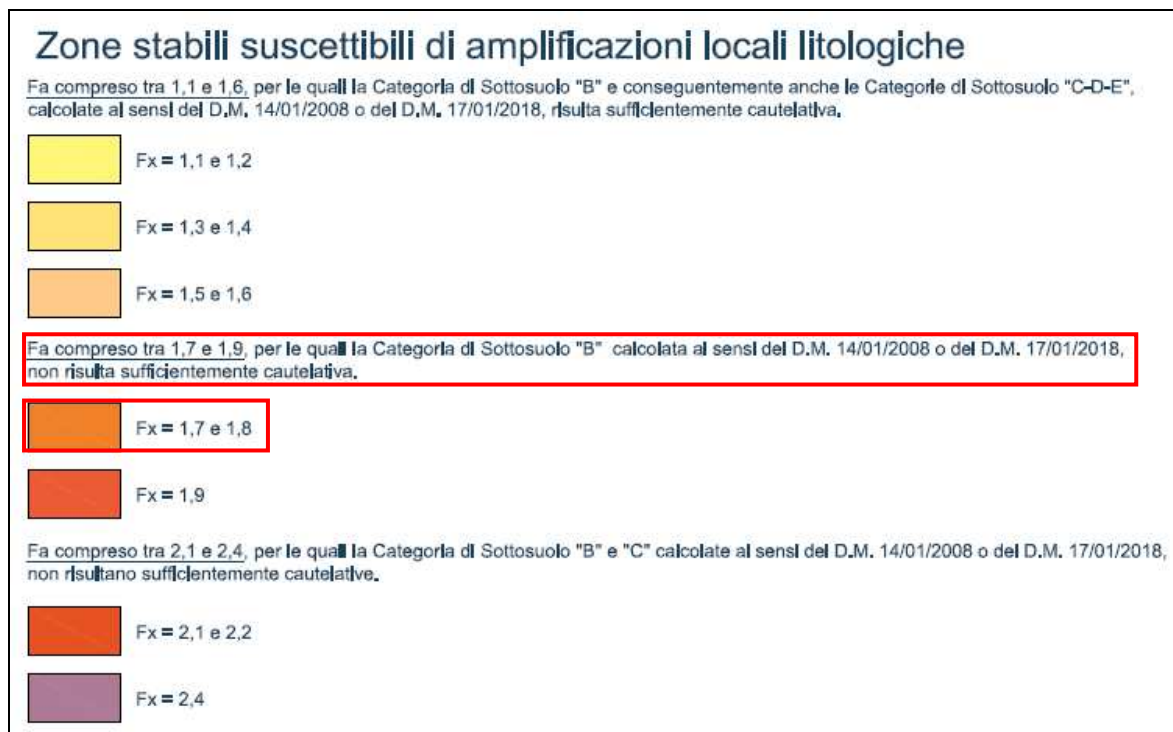
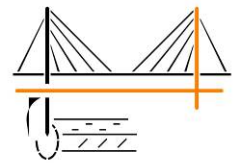


Figura 10: stralcio della Tavola 8 bis "Carta di Microzonazione Sismica Livello 2" – legenda



Il sito di interesse rientra infatti in un settore con “*Fa compreso tra 1,7 e 1,9, per il quale la Categoria di sottosuolo B, calcolata ai sensi del D.M. 17/01/2018, non risulta sufficientemente cautelativa*”.

Dal punto di vista della vincolistica geologica, si rileva l'assenza di criticità per il sito di progetto, come illustrato nella Tavola 11 “*Carta dei Vincoli Geologici*”, di seguito riportata.

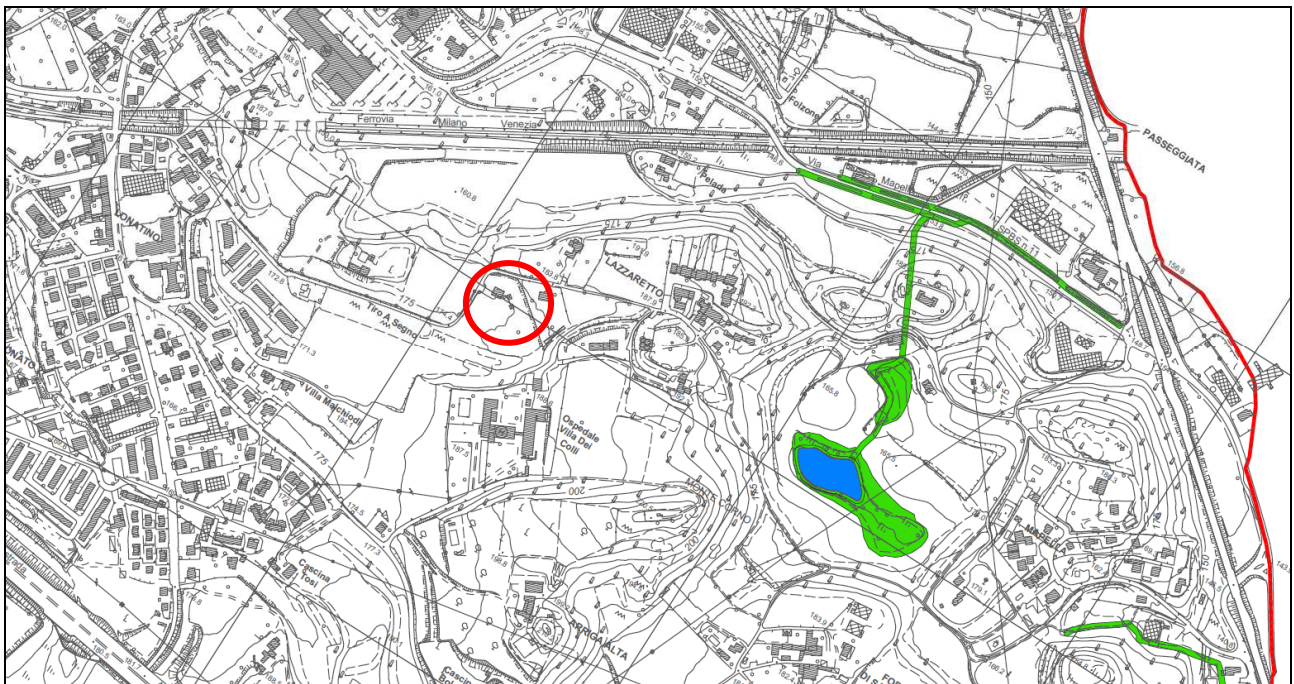


Figura 11: stralcio della Tavola 11 “*Carta dei Vincoli Geologici*”

Per quanto concerne il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.), elaborato in seguito alla Direttiva Alluvioni e recepito tramite DPCM 27 ottobre 2016, il sito di progetto non presenta criticità.

Di seguito si riporta un estratto della Tavola 14 “*Carta PAI-PGRA*”, con indicata la posizione del sito di interesse.

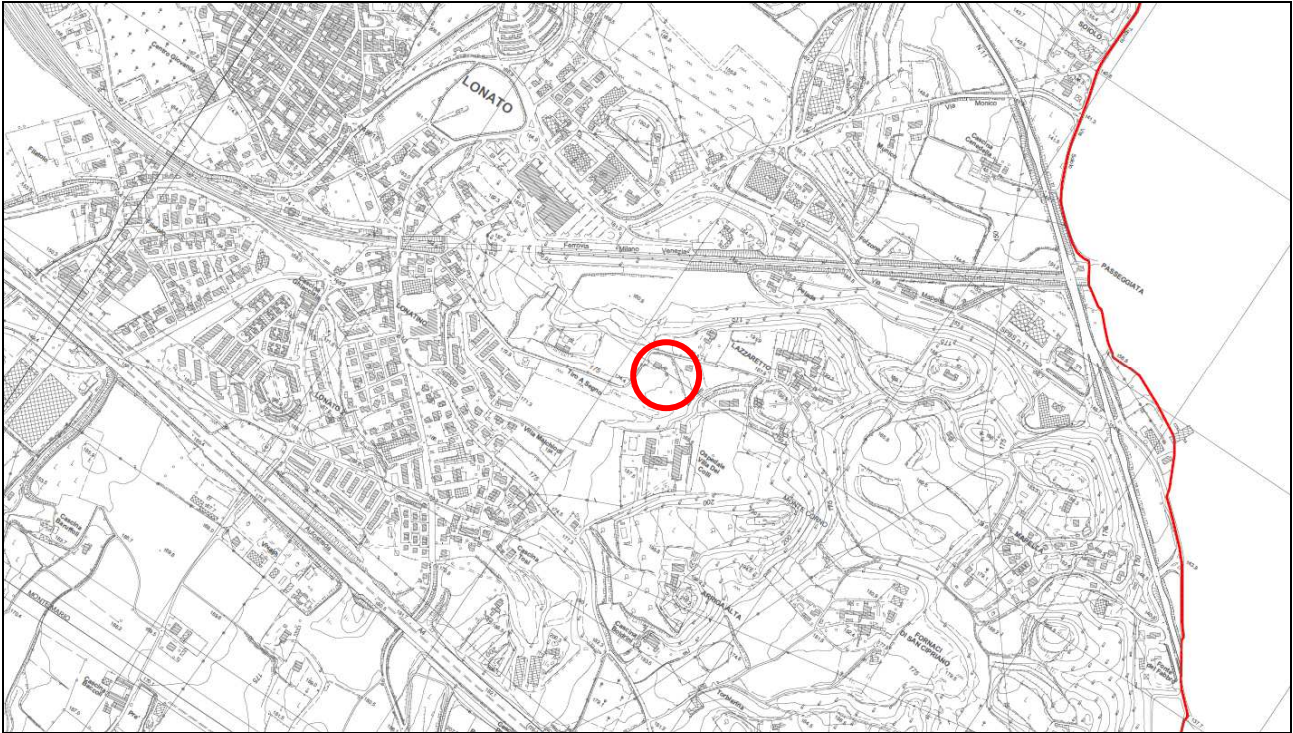
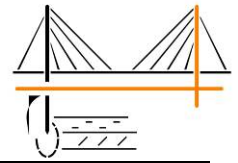


Figura 12: stralcio della Tavola 14 “Carta PAI-PGRA”

2.2 Inquadramento geologico/geomorfológico generale

L’area di studio è ubicata all’interno del territorio del Comune di Lonato del Garda (BS), ad Est del centro abitato, in corrispondenza di un settore a vocazione prevalentemente agricola. Di seguito si riporta la veduta aerea dell’intorno del sito (Fonte Google Maps):

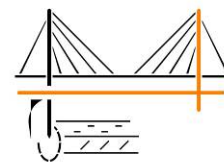


Figura 13: Veduta aerea dell'intorno del sito di progetto (fonte: Google Maps)

Il territorio comunale si colloca entro il Basso Garda Bresciano, che si estende tra le cerchie moreniche originate nel Quaternario, a seguito del ritiro dei ghiacciai alpini trasfuenti dalla Valle dell'Adige e del Chiese e canalizzati nel solco strutturale gardesano preesistente e con andamento giudicariense. Esso riveste inoltre un importante significato geologico e morfologico essendo inserito nell'anfiteatro morenico meglio rappresentato e più esteso d'Italia.

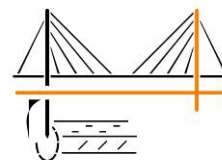
Le cerchie moreniche, con andamento circa concentrico rispetto alla linea di costa del lago, segnano le diverse fasi di espansione dei ghiacciai (depositi glaciali). Da un punto di vista cronostratigrafico le cerchie moreniche possiedono in linea generale età crescente allontanandosi dalla linea di riva. Durante lo scioglimento delle masse glaciali si originavano torrenti fluvio-glaciali che smantellavano i cordoni morenici già formati e deponevano il materiale nelle depressioni rimaste entro le diverse cerchie (depositi fluvio-glaciali).

Presso il sito di progetto, affiorano in prevalenza i litotipi relativi ai “depositi fluvio-glaciali”.

2.3 Inquadramento Idrogeologico generale

I depositi fluvio-glaciali delle cerchie moreniche interne sono sede di falde freatiche in prevalenza superficiali, più o meno continue e con profondità variabile a seconda delle zone. La

15



cadente piezometrica è piuttosto bassa, mentre la soggiacenza è in media di pochi m ad esclusione della falda della piana di Croce di Venzago dove si registrano valori superiori a 10 m.

Questi acquiferi possiedono generalmente scarsa produttività. L'alimentazione è legata agli apporti delle acque di diretta infiltrazione, dei corsi d'acqua, delle acque raccolte dai versanti delle cerchie moreniche e/o provenienti dalle falde sospese circolanti nei depositi glaciali dei settori collinari. Gli acquiferi freatici presentano un andamento talora discontinuo, con bassa soggiacenza dal piano campagna. Il livello piezometrico subisce in ogni caso delle naturali oscillazioni stagionali in funzione della piovosità.

2.4 Verifica di Fattibilità Geologica (D.G.R. 2616/2011)

Con riferimento ai criteri descritti nella Deliberazione della Giunta Regionale n° 2616 del 2011, in applicazione della L.R. n. 12 del 11/03/2005, i territori di ogni singolo comune vengono suddivisi in quattro classi di Fattibilità Geologica, tenuto conto dei relativi aspetti litologici, geomorfologici, idrogeologici, pedologici e geotecnici.

In particolare, il sito in esame ricade all'interno della seguente Classe:

- **Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**, Sottoclassi 2a-2c-2d, identificate rispettivamente con “Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile)”, “Aree di elevato interesse morfologico paesaggistico”, “Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°”.

Di seguito si riporta uno stralcio della Tavola 13 “Carta di Fattibilità per l'applicazione delle Norme Geologiche di Piano” (Geol. Lentini, Rev. 01 dicembre 2009), con indicata l'ubicazione del sito di progetto.

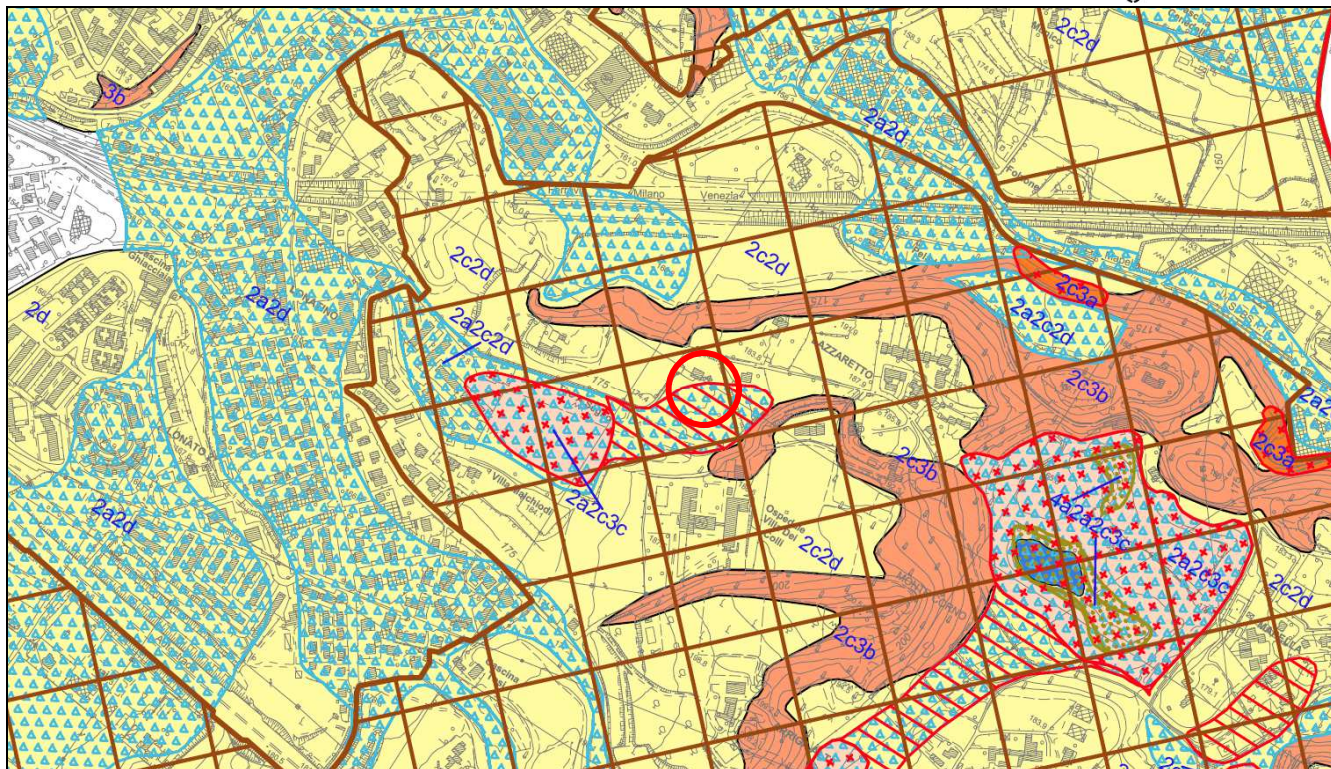
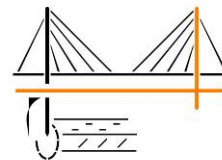
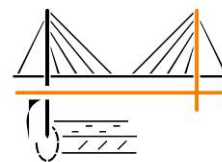


Figura 14: stralcio della Tavola 13 "Carta di Fattibilità per l'applicazione delle Norme Geologiche di Piano"

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 rilievi subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti e prati permanenti. - Fascia perilacustre.
	2d - Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (Inclinazione compresa tra 5° e 20°).

	ART. 9: Aree con obbligo di approfondimento di 3° livello (D.G.R. 9/2616/2011) Scenari PSL Z1c-Z2a-Z2b
	ART. 10: Obbligo di applicazione della procedura di 2° livello (D.G.R. 9/2616/2011) "Sito-Specifica" per la definizione della categoria di sottosuolo di progetto ovvero Obbligo di approfondimento di 3° livello Scenari PSL Z4a-Z4b-Z4c con valori locali di Fa di sito (FAC) > Fa di soglia (FAS) - per edifici con periodo 0,1s-0,5s
	FAC > FAS: per Categoria di Sottosuolo "B"
	FAC > FAS: per Categoria di Sottosuolo "B" - "C"

Figura 15: stralcio della Tavola 13 "Carta di Fattibilità per l'applicazione delle Norme Geologiche di Piano" – legenda



In merito alle Sottoclassi di Fattibilità Geologica sopraccitate, si riporta quanto indicato nelle “Norme Geologiche di Piano” (Geol. Lentini – Geol. Scalvini, Rev. 03 gennaio 2022).

Sottoclasse 2a: Aree ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda, non sfruttata ad uso idropotabile)

“Sono consentite tutte le tipologie di intervento. La loro realizzazione è in ogni caso subordinata ad uno studio idrogeologico che accerti la compatibilità dell’intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, valutando il possibile impatto sulle acque sotterranee, e che preveda, se necessario, l’adozione di accorgimenti in grado di tutelare la falda acquifera e di sistemi di controllo.

Le indagini previste per eventuali altre sottoclassi associate, potranno prevedere la posa di piezometri per la verifica dell’eventuale presenza di falde superficiali e la misura del livello piezometrico.”

Sottoclasse 2c: Aree di elevato interesse geomorfologico, paesaggistico

“Per queste aree si riconoscono limitazioni alla modifica delle destinazioni d’uso legate al valore morfologico-paesaggistico e naturalistico di queste aree.

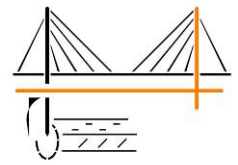
Sono consentite tutte le tipologie d’intervento. Si raccomanda particolare attenzione alla regimazione delle acque superficiali ed alla modifica dello stato dei luoghi.

Si raccomanda, a tal fine, di non modificare il naturale scorrimento delle acque meteoriche e di ridurre al minimo gli sbancamenti ed i riporti di materiali, al fine di non alterare l’equilibrio naturale dei pendii.

L’impermeabilizzazione delle superfici sarà consentita solo laddove strettamente.”

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

La realizzazione degli interventi “è subordinata alla predisposizione di una relazione geologica eseguita ai sensi del D.M.LL.PP. 17/01/2018, supportata da indagini geognostiche mediante prove in situ (sondaggi, prove penetrometriche, indagini sismostratigrafiche, ecc.) e/o in laboratorio su campioni di terreno.

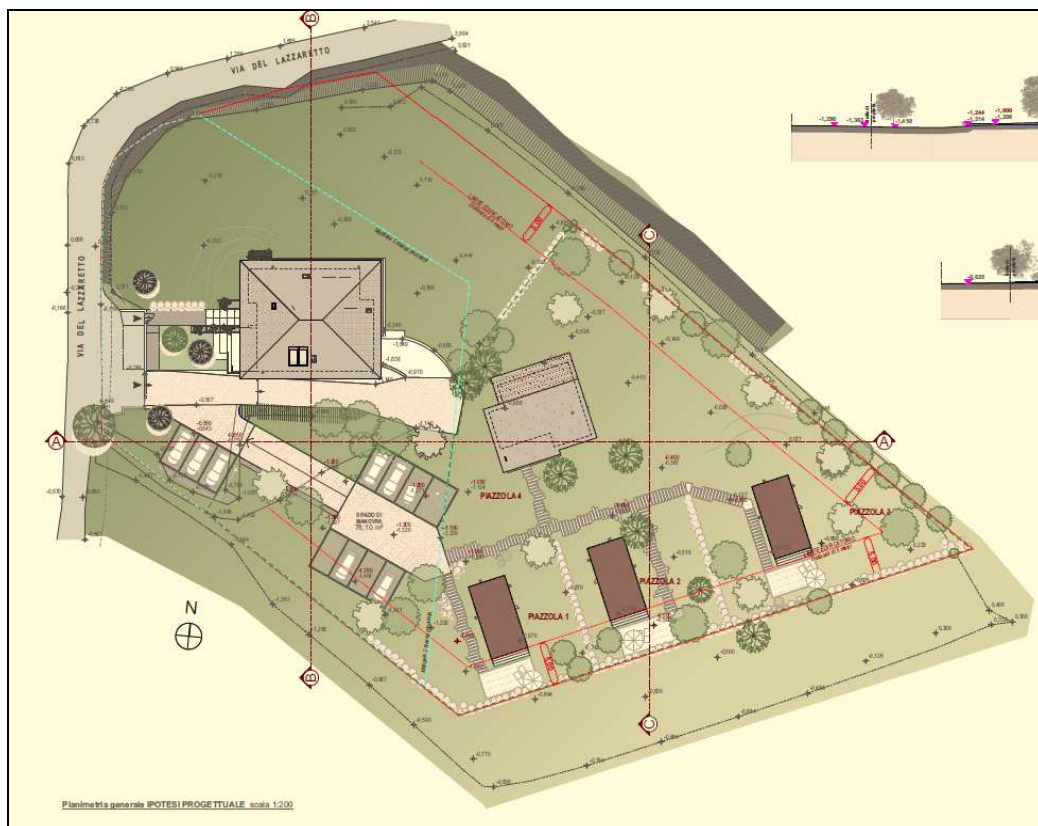


Lo studio geologico dovrà valutare la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area, con particolare attenzione alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione ed alla verifica della stabilità dei versanti.

Dovranno essere valutate attentamente le modalità realizzative per qualsiasi tipo d'intervento ed in particolare per quelli che prevedano l'esecuzione di operazione di scavo o interventi di riprofilatura dei versanti, predisponendo all'occorrenza opere di contenimento preventivo dei fronti di scavo e/o di consolidamento del pendio."

Con riferimento alle disposizioni sopra elencate, si precisa che il presente elaborato costituisce la Relazione Geologica, ai sensi della D.G.R. 2616/2011 e del D.M. 17/01/2018, e di Caratterizzazione Geotecnica, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Il progetto in questione riguarda la realizzazione di un nuovo edificio e la messa in opera di n. 3 casette mobili (Glamping); lo stato di progetto è illustrato negli schemi seguenti, estratto dal progetto architettonico.



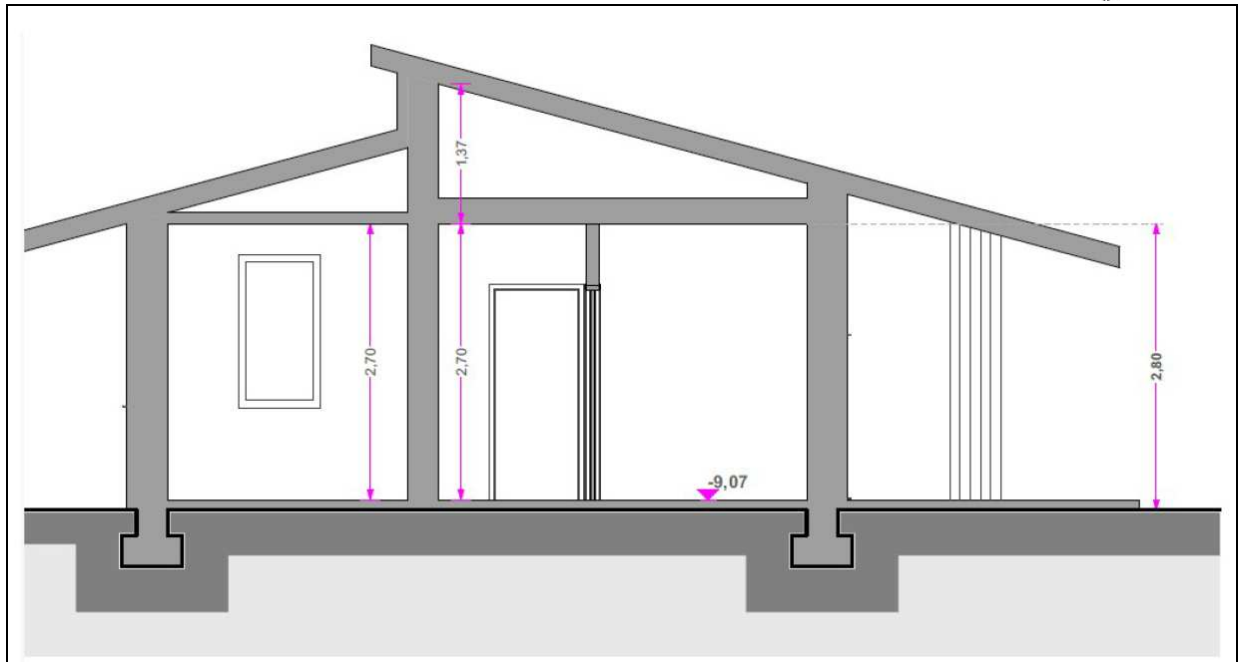
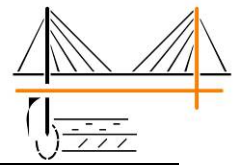


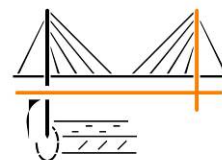
Figura 16: Estratto di alcune sezioni di progetto, così come fornite dal Progettista architettonico

In base all'impermeabilizzazione di nuove superfici, si rammenta di attenersi a quanto disposto dal R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 e s.m.i., che disciplina il settore dell'invarianza idraulica ed idrologica.

Durante le fasi di scavo per le opere di fondazione, si raccomanda di attuare tutte le precauzioni del caso, e di attenersi a quanto disposto dal D.Lgs. n. 81/2008 in materia di sicurezza delle pareti di scavo.

Le terre e rocce da scavo, derivanti dalle operazioni di scavo per la realizzazione delle fondazioni, dovranno essere gestite ai sensi del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. e del D.P.R. n. 120 del 13 giugno 2017.

In conclusione, si ritiene che le opere di progetto siano **fattibili dal punto di vista geologico**, ottemperando a tutte le indicazioni elencate nel presente capitolo.



3 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Presso il sito in oggetto, nel mese di dicembre 2024, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche, consistenti in:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche (SCPT).

Le prove dinamiche hanno permesso di eseguire una caratterizzazione geotecnica dei terreni, sino alla massima profondità indagata (-5,5 m circa dal p.c.). Per piano campagna, si assume la quota zero di partenza delle prove, coincidente con le quote della superficie topografica.

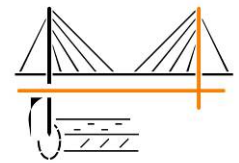
Si specifica che, data la natura indiretta e puntuale delle prove penetrometriche, le stratigrafie illustrate sono il frutto di una interpretazione, che tiene conto dei risultati delle prove stesse e dei dati di letteratura disponibili per l'area di interesse. In fase di scavo, tali stratigrafie dovranno essere riverificate in funzione dei terreni attraversati; il sottoscritto è a disposizione per eseguire gli eventuali approfondimenti/accertamenti di tipo geologico-geotecnico che si rendessero necessari in merito.

Le prove dinamiche (SCPT) sono state eseguite tramite penetrometro Pagani TG 63/200, le cui principali caratteristiche tecniche sono riassunte nella seguente tabella:

PAGANI TG 63/200	
Peso del maglio	73 kg
Caduta del maglio	75 cm
Angolo al vertice della punta	60°
Diametro del cono	50,8 mm
Diametro delle aste	34 mm
Diametro del rivestimento	48 mm
Passo di lettura	30 cm

Tabella 1: Dati principali del penetrometro utilizzato

Tale apparecchiatura è dotata di un sistema di infissione a percussione, il quale registra il numero di colpi necessario per l'avanzamento; la lettura viene eseguita ogni 30 cm di infissione. Il



sistema comprende una batteria di aste con alla base una punta conica chiusa. Di seguito si riportano le fotografie delle postazioni di prova SCPT1-2:

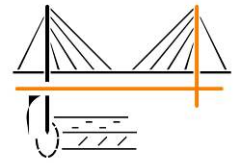


Figura 17: Postazioni SCPT1-2

L'ubicazione delle prove è riportata in allegato (Allegato 2). La quota di riferimento per la profondità raggiunta dalle prove (**quota zero rif.**) è quella coincidente con la superficie topografica del sito di progetto (area verde intorno al fabbricato esistente). La profondità raggiunta dalle prove, rispetto alla quota zero rif., è riassunta all'interno della tabella seguente:

PROVA n.	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m dalla quota zero rif.)
SCPT1	-2,4
SCPT2	-5,4

Tabella 2: Profondità raggiunta dalle prove penetrometriche



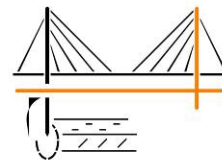
In allegato (Allegato 3) sono riportati i diagrammi contenenti i risultati delle prove effettuate; la costruzione dei suddetti diagrammi è ricavata dall'insieme delle cifre indicanti il numero di colpi necessari per l'avanzamento delle aste del penetrometro di 30 cm. Il grafico risultante presenta in ascissa il numero di colpi (N_{30}) ed in ordinata la profondità raggiunta dall'indagine.

Al fine di eseguire le opportune correlazioni tra i risultati delle prove e le principali caratteristiche geotecniche del terreno, è necessario ricavare il numero di colpi N_{SPT} , riferito alla prova denominata "Standard Penetration Test" precedentemente descritta; quest'ultimo, è pari a:

$$N_{SPT} = C_f \cdot N_{30}$$

C_f è stato posto cautelativamente pari a 1, quindi è valida la seguente:

$$N_{SPT} = N_{30}$$



4 MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DEI TERRENI (§§ 6.2.1-2 D.M. 17/01/2018)

4.1 Premessa

Ai fini della elaborazione del Modello Geologico e Geotecnico del sito di studio, sono state utilizzate in via preliminare le informazioni presenti nella Relazione Illustrativa allegata alla “Componente Geologica” del P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scavini D., Rev. 2 marzo 2021).

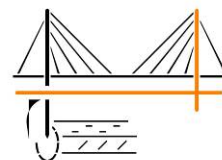
Secondo quanto contenuto nell’elaborato sopraccitato, e già illustrato nei capitoli precedenti, il sito di progetto è ubicato in corrispondenza del limite tra i terreni relativi ai “*Depositi glaciali – Us1f1*”, e quelli appartenenti ai “*Depositi fluvioglaciali delle cerchie interne – Us1f4b*”.

Al fine di ottenere una definizione più accurata delle caratteristiche geologiche e geotecniche del sito di progetto, a corredo del presente elaborato, sono state realizzate n. 2 prove penetrometriche dinamiche, ubicate nell’area verde adiacente al fabbricato esistente; in base alla morfologia del sito, ed ai risultati delle suddette indagini, si ritiene ragionevolmente che i terreni superficiali appartenenti all’area di interesse appartengano ai “*Depositi fluvioglaciali*”.

4.2 Definizione del Modello

In seguito all’utilizzo dei dati sopraccitati, delle informazioni bibliografiche disponibili, sono stati elaborati i seguenti Modelli Geologico e Geotecnico sito-specifici, ai sensi dei § 6.2.1-2 del D.M. 17/01/2018 (riportati in tabella).

Riguardo il litotipo principale, in base alle informazioni contenute nelle stratigrafie delle indagini sopraccitate, sono state inserite nel modello le litologie afferenti ai “*Depositi fluvioglaciali*”. Tenendo conto dei risultati delle prove dinamiche, gli orizzonti presenti sino alla profondità di -0,5 m dal piano campagna, sono caratterizzati da valori molto bassi in termini di numero di colpi per l’avanzamento della batteria delle aste; tali valori di risposta delle prove sono attribuibili verosimilmente ad orizzonti di terreno vegetale.



Strato n.	Intervallo di profondità (m da p.c.)	Tipologia di deposito	Unità geologica di appartenenza	Comportamento prevalente stimato
1	0,0-0,5	Limi sabbiosi	Terreno vegetale	Attritivo
2	0,5-5,5 ¹	Ghiaie sabbiose e limose con ciottoli	Depositi fluvioglaciali	Attritivo

Tabella 3: Modello Geologico del sito di progetto (§ 6.2.1 D.M. 17/01/2018)

Dall'analisi dei dati presenti all'interno delle indagini geotecniche eseguite, si è pervenuti alla definizione del Modello Geotecnico (parametri geotecnici nominali), ricavando i parametri illustrati nella tabella seguente.

Strato n.	Prof. (m)	Tipologia deposito	γ_N (kN/m ³)	ϕ' (°)	c_u (kPa)	M_o (MPa)
1	0,0-0,5	Limi sabbiosi	17	23-24	--	2-3
2	0,5-5,5	Ghiaie sabbiose e limose con ciottoli	21	34	--	28-30

Tabella 4: Modello Geotecnico del sito di progetto (§ 6.2.2 D.M. 17/01/2018)

In corrispondenza dei fori di indagine delle prove penetrometriche SCPT, che hanno raggiunto una profondità massima pari a 5,5 m pal p.c., non è stata rilevata circolazione idrica sotterranea.

¹ Massima profondità indagata

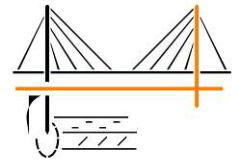
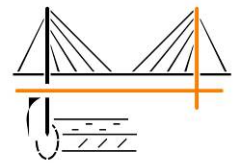


Figura 18: Installazione di tubo piezometrico temporaneo all'interno del foro della prova SCPT2

Date le caratteristiche idrogeologiche dei depositi fluvio-glaciali, ed a causa dell'oscillazione delle falde acquifere freatiche, dovute agli apporti meteorici, non si esclude che in determinati periodi dell'anno, caratterizzati da piogge abbondanti, non si possano formare delle falde sospese temporanee all'interno dei livelli più permeabili dei terreni di fondazione.

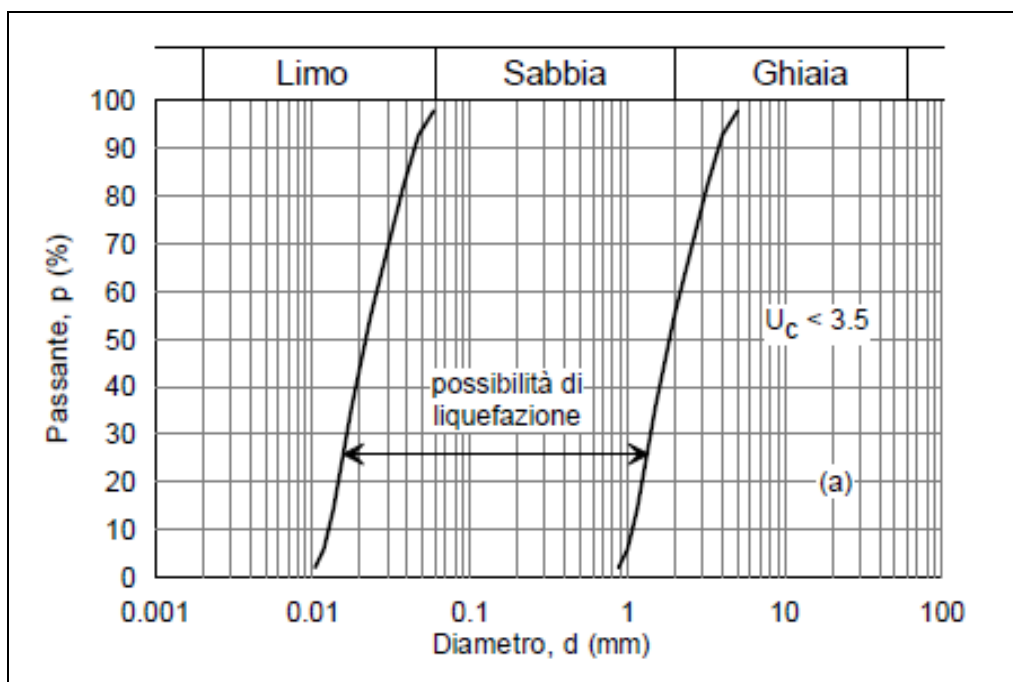
4.3 Liquefazione dei terreni

Il D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) tratta la questione relativa al possibile fenomeno di liquefazione dei terreni di fondazione all'interno del § 7.11.3.4, indicando che: *“Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.”*



La normativa suddetta permette l'esclusione della verifica alla liquefazione (§ 7.11.3.4.2), 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 0,1 g;
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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$, e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



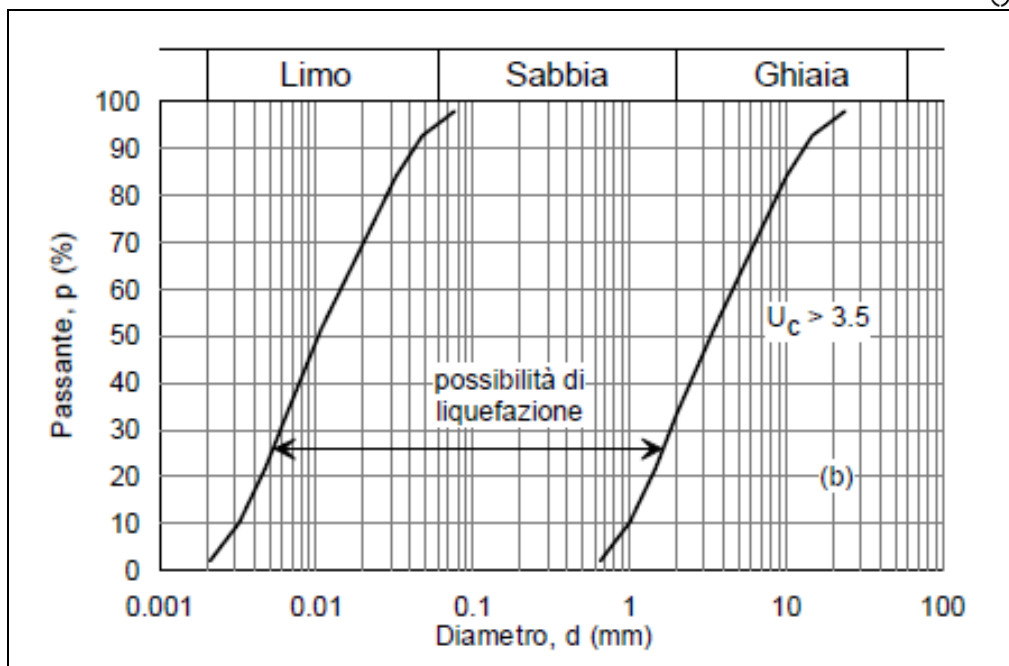


Figura 19: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (D.M. 17/01/2018)

All'interno del sito in oggetto, sono presenti le seguenti condizioni:

In merito al punto 1, come definito nel Par. 6.2 del presente elaborato, il valore di a_g è pari a 0,156 g.

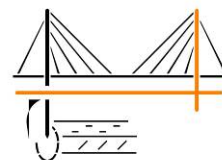
Relativamente alla profondità della falda (punto 2), in base alle informazioni contenute nella Componente Geologica del P.G.T, ed alle indagini geotecniche eseguite in loco, la stessa risulta assente alle quote compatibili con l'interazione fondazionale.

Per quanto riguarda il punto 4, in base al contenuto del "Modello Geologico", le litologie fondazionali risultano ricche di frazione ghiaiosa e limosa.

Riferendosi ai punti 2-4, si può ragionevolmente ritenere che non sussistano le condizioni per cui si inneschino fenomeni di liquefazione dei terreni.

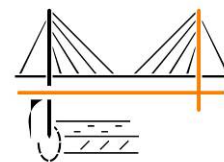
4.4 Raccomandazioni

Poiché il Modello Geologico sopra illustrato si basa su dati di prove penetrometriche (che non permettono la verifica diretta della stratigrafia dei terreni), in fase di realizzazione degli scavi di progetto, si raccomanda la verifica litologica dei terreni attraversati da parte della D.L., al fine di confermarne la rappresentatività, e di conseguenza la validità dei parametri geotecnici riportati nella tabella precedente. Nel caso vengano rilevate delle difformità, si prega di contattare il sottoscritto.



La gestione delle pareti da scavo dovrà avvenire secondo quanto indicato nel D.Lgs. 81/2008 (Testo Unico sulla sicurezza).

Per quanto riguarda i terreni soggetti a movimentazione, si raccomanda di attenersi a quanto previsto all'interno del D.Lgs. n. 152/2006 e s.m.i. (Testo Unico Ambientale) e del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017, che disciplinano il settore delle “terre e rocce da scavo”.



5 ELEMENTI PER LA VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Al fine del calcolo della Resistenza di progetto (R_d) nei diversi Approcci previsti dal D.M. 17/01/2018, per il caso in esame, è necessario applicare il modello geotecnico ricavato nel Capitolo precedente. La determinazione della Resistenza di progetto (R_d) è stata eseguita applicando la formula trinomia di Terzaghi per il calcolo della capacità portante di fondazioni superficiali; per la sua applicazione sono stati utilizzati i dati ipotizzati relativi alle fondazioni previste, in base alle informazioni fornite dal Progettista delle strutture.

In particolare, si ipotizza la realizzazione di fondazioni nastriformi in corrispondenza del perimetro dell'ingombro delle strutture prefabbricate. Ai fini del calcolo della R_d , si tiene conto della seguente gamma di geometrie relativa alla struttura fondazionale (ipotizzata in base al disegno architettonico del Progettista), di seguito riportata:

- larghezza (B) compresa tra 0,8-1,5 m;
- spessore (D) compreso tra 0,3-0,5 m;

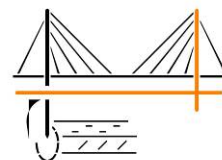
Secondo quanto illustrato nel Modello Geotecnico (vedi paragrafo precedente), si ipotizza che l'intradosso delle fondazioni nastriformi si trovi all'interno dello Strato 2 (Ghiaie sabbiose e limose con ciottoli), appartenente ai "Depositi fluvioglaciali".

Si specifica che, nel caso in cui il Progettista delle strutture opti per una soluzione diversa rispetto a quella di cui sopra, sia in termini di tipologia della fondazione che di dimensioni, i parametri della Resistenza di progetto (R_d) ricavati dovranno essere rielaborati di conseguenza.

Ai fini del calcolo della Resistenza di Progetto (R_d), ai sensi del D.M. 17/01/2018, è necessario riferirsi ai seguenti Approcci di calcolo:

- Approccio 1 Combinazione 1 ($A_1+M_1+R_1$);
- Approccio 1 Combinazione 2 ($A_2+M_2+R_2$);
- Approccio 2 ($A_1+M_1+R_3$).

I coefficienti A riguardano le amplificazioni delle azioni di progetto della sovrastruttura; per M si intendono i coefficienti riduttivi da applicare ai parametri geotecnici caratteristici (che nel caso in esame coincidono con la media dei parametri nominali), ed infine con la R si indica il coefficiente di riduzione della Resistenza limite (o capacità portante limite) ottenuta in seguito ai calcoli eseguiti.



Le verifiche, ai sensi del D.M. 17/01/2018, devono essere condotte agli Stati Limite. Per il calcolo della Resistenza (R_d) di progetto, la verifica deve essere eseguita agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.) sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche; deve essere quindi valida la disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

Il termine E_d rappresenta la combinazione delle azioni di progetto. Il Progettista provvederà all'ottenimento dei parametri E_d definitivi, per portare a termine le verifiche previste dalla norma sopra menzionata.

I calcoli relativi alla Resistenza di progetto (R_d) sono stati eseguiti tenendo conto dei parametri geotecnici relativi allo *Strato 2* (Ghiaie sabbiose e limose con ciottoli), nelle condizioni di lungo termine.

La determinazione della capacità portante limite è stata condotta applicando la formula trinomia di Terzaghi:

$$q_{lim} = c'N_c + \gamma_1 DN_q + 0,5\gamma_2 BN_\gamma \text{ (verifica a lungo termine)}$$

$$q_{lim} = 5,14c_u + \gamma_1 DN_q \text{ (verifica a breve termine)}$$

Dove:

- γ_1 è il peso di volume del terreno ai lati della fondazione;
- γ_2 è il peso di volume del terreno alla base della fondazione;
- D è l'incastro della fondazione;
- c' è la coesione drenata (in questo caso posta uguale a zero);
- c_u è la coesione non drenata;
- B è la larghezza della fondazione;
- N_c, N_q, N_γ sono i coefficienti di carico limite.

Si considera come orizzonte di fondazione lo *Strato 2* (Ghiaie sabbiose e limose con ciottoli), così come definito all'interno del Capitolo 4 “*Modello Geologico e Geotecnico dei terreni*”.



All'interno della Circolare Ministeriale esplicativa 21 gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018” viene indicato che:

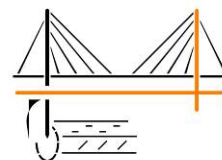
“Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità. La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata.”

Date le caratteristiche del progetto in esame, si ritiene corretto riferirsi a valori caratteristici prossimi ai valori medi.

Si riportano i valori dei parametri geotecnici caratteristici relativi allo *Strato 2* identificato nel Capitolo 4:

Angolo di resistenza al taglio	ϕ'_k (°)	34
Peso di volume	γ_N (kN/m ³)	21
Peso di volume immerso	γ_N (kN/m ³)	--
Coesione non drenata	c_u (kPa)	--
Modulo elastico	E_y (MPa)	28

Tabella 5: Parametri geotecnici caratteristici relativi al Modello Geotecnico - Strato 2



Nella tabella seguente vengono indicati i parametri geotecnici di progetto, tenendo conto dei diversi Approcci previsti dalla normativa:

PARAMETRO	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE		PARAMETRO DI PROGETTO	
		M1	M2	Con M1	Con M2
Verifica a lungo termine					
Peso di volume	γ_N (kN/m³)	1,0	1,0	$\gamma_{Nd} = 21$	$\gamma_{Nd} = 21$
Peso di volume immerso	γ'_N (kN/m³)	1,0	1,0	$\gamma'_{Nd} = --$	$\gamma'_{Nd} = --$
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'$ (°)	1,0	1,25	$\varphi'_d = 34$	$\varphi'_d = 28$
Coesione non drenata	cu (kPa)	1,0	1,4	cu = --	cu = --

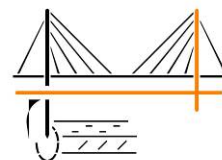
Tabella 6: Parametri geotecnici di progetto – Strato 2

In seguito all'applicazione della formulazione relativa alle verifiche a lungo termine (vedi sopra), sono stati calcolati i valori della Resistenza di Progetto nei diversi Approcci previsti dalla normativa (D.M. 17/01/2018). Si tenga conto, che ai sensi delle N.T.C. 2018 (§ 6.4.2.1), la verifica per “collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno” dovrà essere eseguita considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Sarà cura del Progettista delle strutture la determinazione del parametro Ed da inserire nella disequazione valida per gli Stati Limite Ultimi (S.L.U.) del D.M. 17/01/2018, al fine di portare a termine le verifiche.

			q _{lim} (kPa)			Coefficienti R			R _d (kPa)		
D	B	L	A1C1	A1C2	A2	R1	R2	R3	A1C1	A1C2	A2
0.3	0.8	4	527	232	527	1	1.8	2.3	527	129	229
0.4	0.8	4	597	266	597				597	148	260
0.5	0.8	4	667	300	667				667	167	290
0.3	1	4	607	264	607				607	147	264
0.4	1	4	677	298	677				677	166	294
0.5	1	4	747	332	747				747	185	325
0.3	1.2	4	686	296	686				686	165	298
0.4	1.2	4	756	330	756				756	184	329
0.5	1.2	4	826	364	826				826	202	359
0.3	1.5	4	805	345	805				805	191	350
0.4	1.5	4	875	379	875				875	210	380
0.5	1.5	4	945	413	945				945	229	411

Tabella 7: Tabella riassuntiva dei valori di Resistenza (R_d) di progetto, a lungo termine



In merito alla stima dei cedimenti indotti dalla sovrastruttura di progetto ai terreni di fondazione, si tiene conto della massima pressione prevista in fondazione agli S.L.E., pari a 1,0 kg/cm² (dato ipotizzato, che dovrà necessariamente essere riaggiornato Progettista delle strutture), unitamente ai valori delle prove dinamiche, realizzate presso il sito di interesse.

Secondo quanto previsto dal metodo di Burland e Burbidge, si ottiene un cedimento dell'ordine di circa 0,5 cm (vedi tabella seguente).

Tipologia fondazione	Dimensioni fondazione	Carico massimo allo S.L.E.	Cedimento previsto
Nastriforme	4 x 1,0 x 0,3 m	1,0 kg/cm ²	0,3 cm circa

Tabella 8: Stima del cedimento indotto dalla sovrastruttura di progetto

Il D.M. 17/01/2018 prevede che il calcolo dei cedimenti venga eseguito agli Stati Limite di Esercizio (S.L.E.), e che sia valida la seguente disequazione:

$$Ed \leq Cd$$

Il termine Ed rappresenta, in questo caso, il cedimento calcolato secondo le metodiche della norma sopra menzionata, mentre il termine Cd coincide con il massimo cedimento tollerabile dalla sovrastruttura, determinato dal Progettista.

Sarà cura del Progettista strutturale determinare se tale cedimento risulti accettabile per le opere di progetto, aggiornando eventualmente il valore relativo ai carichi di esercizio al fine di portare a termine le verifiche agli S.L.E. previste dal D.M. 17/01/2018.



6 MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

6.1 Determinazione della Categoria di sottosuolo e topografica (D.M. 17/01/2018)

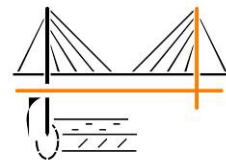
L'Analisi Sismica di I Livello, condotta all'interno del P.G.T. Comunale, ai sensi della D.G.R. 2616/2011 (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021), permette di riconoscere, in corrispondenza del territorio esaminato, la presenza di una serie di scenari, definiti come *Scenari di Pericolosità Sismica Locale*, illustrati all'interno della Tabella 1 dell'Allegato 5 della norma medesima, e visibili nella Figura seguente:

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Figura 20: Tabella 1 dell'Allegato 5 (D.G.R. n. 2616/11)

Il sito di progetto, secondo l'Analisi di I Livello sopraccitata, è ubicato in corrispondenza del limite tra la Zona Z4a "Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" e la Zona Z4c "Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)".

Tali zone possono produrre effetti di amplificazione litologica; queste condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra



onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Relativamente al sito di progetto, ai fini della definizione della Categoria di sottosuolo ai sensi del D.M. 17/01/2018, è stata considerata una linea sismica del tipo “MASW”, contenuta all’interno della Relazione Generale allegata alla “Componente Geologica” del P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021) e denominata “017092L11 – Lazzaretto”; tale indagine è stata realizzata all’interno del sito di progetto.

L’ubicazione dell’indagine sopracitata è illustrata nella figura seguente, estratta dalla Tavola 8 “Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL) – Livello 1”, allegata alla Componente Geologica del P.G.T. Comunale, ed illustrata nei paragrafi precedenti.

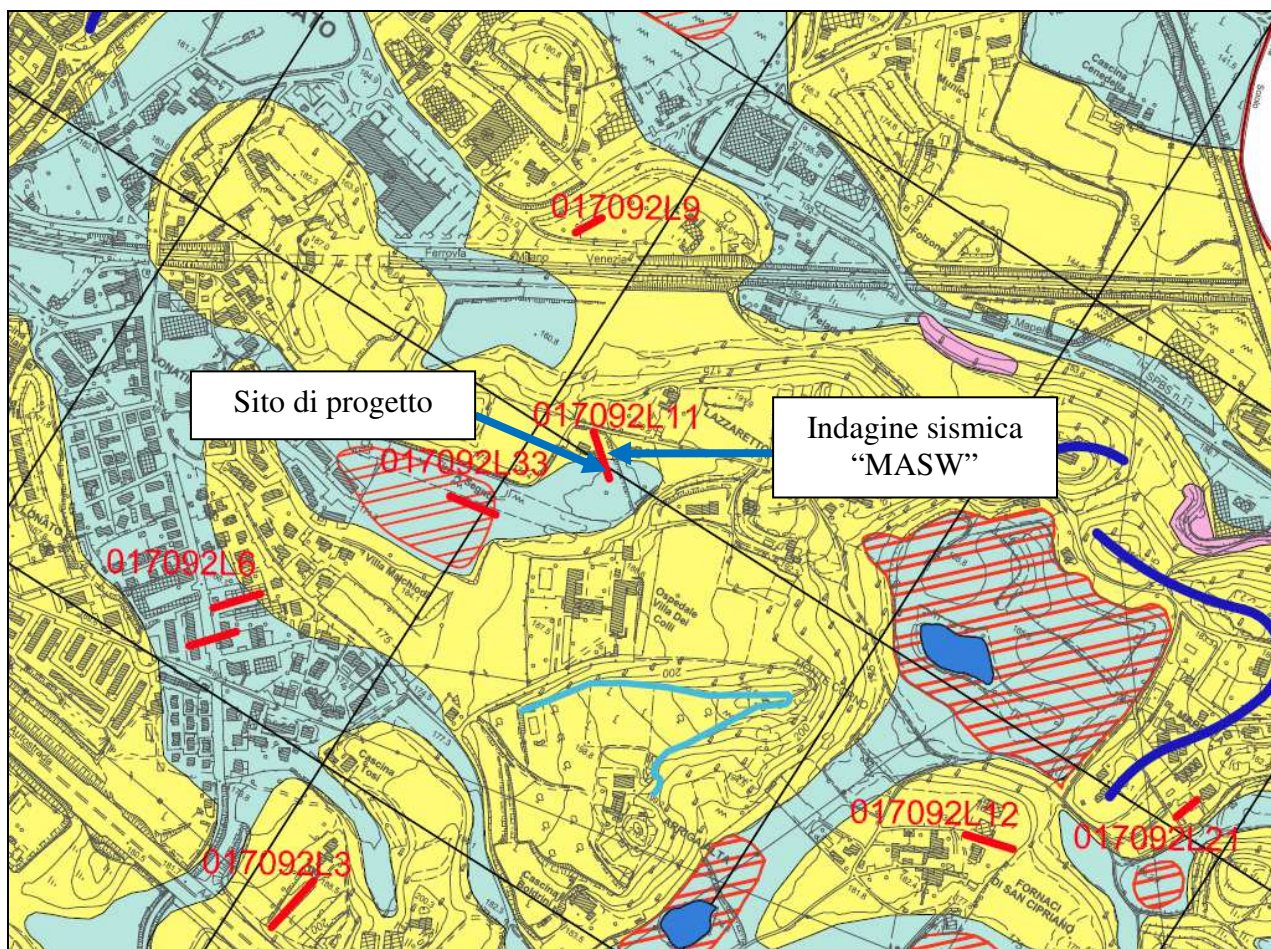
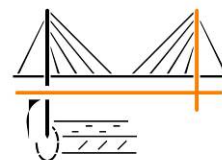


Figura 21: Estratto della planimetria con l’ubicazione dell’indagine sismica considerata (Geol. Lentini R. – Rev. 2 marzo 2021)



L'Analisi di II Livello ai sensi della D.G.R. 2616/2011, condotta in sede di P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021), indica che “*si è verificato che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s i parametri sismici normativi di Categoria B o di Categoria B e C non risultino sufficientemente cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione litologica in quanto risulta Fa di sito (FAC) > Fa di soglia comunale (FAS)*”.

A tale esito, si aggiunge anche quanto emerso dallo Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale (Geol. Lentini, Rev. 01 – dicembre 2019), dove è risultato che l'area in cui ricade il sito di progetto è caratterizzata da una Fattore di amplificazione litologica (FAC) pari a 1,7.

Di seguito si riportano i parametri ed il diagramma dell'andamento delle Vs con la profondità, dalla cui analisi sono stati ricavati i valori di V_{seq} , necessari alla definizione della Categoria di Sottosuolo del sito in esame. Come già accennato in precedenza, la linea sismica selezionata è quella denominata “017092L11 – Lazzaretto”.

Strato n.	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	1,2	300
2	5,0	395
3	5,6	414
4	8,1	439
5	4,2	499
6	5,9	753

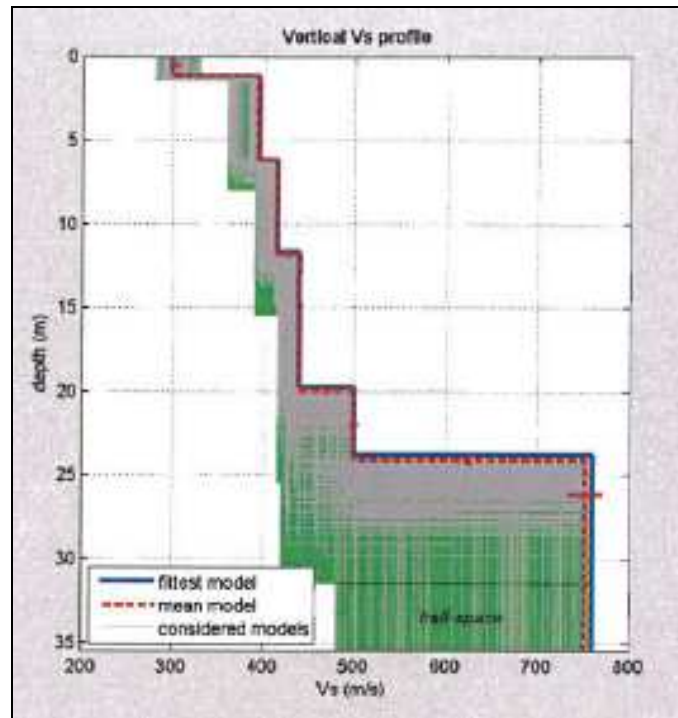
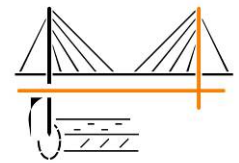


Figura 22: Parametri e diagramma relativo allo stendimento considerato (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021)

La classificazione del sottosuolo, in base al D.M. 17/01/2018, si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



Le Categorie di sottosuolo, che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato, sono definite all'interno della Tabella 3.2.II, relativa al § 3.2.2 del D.M. 17/01/18 (vedi sotto).

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>

Figura 23: Tabella delle Categorie di sottosuolo previste dal D.M. 17/01/2018

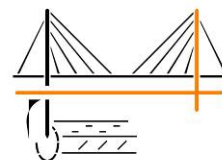
Il valore di $V_{s,eq}$ per il sito di progetto è pari a 462 m/s, che inquadrebbe il sito all'interno della Categoria di sottosuolo B, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

I valori di soglia del Fattore di amplificazione sismica (FAS) relativi al Comune di Lonato del Garda, e validi per il periodo di vibrazione dei manufatti compreso tra 0,1-0,5 sec, sono i seguenti:

Intervallo periodo	Valori soglia (FAS)			
	Cat. B	Cat. C	Cat. D	Cat. E
0,1-0,5 sec	1,5	1,8	2,3	2,0

Tabella 9: Valori di FAS per il Comune di Lonato del Garda

Applicando il valore di FAC ottenuto dallo Studio di Microzonazione Sismica sopraccitato, pari a 1,7, secondo quanto previsto dall'Approccio semplificato del D.M. 17/01/2018, il sito di progetto può essere inquadrato all'interno della Categoria di sottosuolo C.



La morfologia del territorio nel sito di progetto, come verificato in seguito alla consultazione della cartografia (CTR 10.000), è inquadrabile all'interno della Categoria topografica T1 della Tabella 3.2.III del D.M. 17/01/2018, che è definita come “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”, il cui coefficiente di “*amplificazione topografica*” S_T è pari a 1,0 (vedi Tabella 3.2.V della norma medesima).

6.2 Determinazione dei parametri sismici di riferimento

Il Comune di Lonato del Garda (BS) appartiene alla Zona sismica amministrativa di tipo 2, ai sensi della D.G.R. Lombardia 11 luglio 2014 – n. 2129 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”.

Il D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) è strutturato in modo tale da non assegnare più alle zone sismiche un valore univoco di a_g , ma questo viene calcolato sulla base di una griglia di punti derivante dalla Carta di Pericolosità Sismica dell'INGV del 2006.

Le coordinate geografiche del sito di progetto (Fonte Geostru) sono le seguenti (Sistema di Coordinate ED50):

LATITUDINE	45,459317 [°]
LONGITUDINE	10,498301 [°]

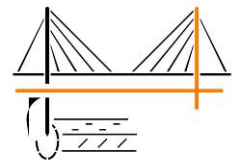
Tabella 10: Coordinate geografiche (ED50) del sito di progetto



Figura 24: Posizionamento del sito di progetto all'interno dell'applicativo online "Geostru PS"

Al fine di ricavare il periodo di riferimento per l'azione sismica, ai sensi del D.M. 17/01/2018, è necessario definire la Vita Nominale VN delle opere in progetto, cioè il periodo di tempo nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Questo dato è ricavabile dalla Tabella 2.4.I del D.M. 17/01/2018, e coincide con un valore di $VN \geq 50$ anni.

Riguardo la classe d'uso dell'opera (rif. § 2.4.2 del D.M. 17/01/2018), la cui definizione spetta al Progettista (che dovrà operare gli eventuali aggiornamenti, nel caso lo ritenga opportuno), viene considerata la Classe II, in cui rientrano le "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali...". Alla classe d'uso è assegnato inoltre un coefficiente d'uso CU, che per la Classe II equivale a 1.



Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R , che si ottiene dalla relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore di V_R , nel caso della **Classe II**, è pari a **50 anni**.

Di seguito si riportano i parametri sismici del sito di riferimento, ricavati dalla simulazione tramite il software “*Geostru PS Parametri sismici versione 1.5*”, utilizzando le coordinate di riferimento ED50 sopra elencate, ed in riferimento alla Categoria di Sottosuolo C e Topografica T1.

Classe dell'opera: Classe II					
Categoria di sottosuolo: C					
Categoria topografica: T1					
Periodo di riferimento V_R: 50 anni					
S.L. Stato limite	Probabilità superamento (%)	T_R Tempo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_0^2 [-]	T_C^{*3} (sec)
S.L.O.	81	30	0,040	2,612	0,224
S.L.D.	63	50	0,055	2,494	0,244
S.L.V.	10	475	0,156	2,469	0,273
S.L.C.	5	975	0,203	2,487	0,278

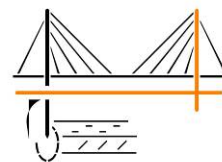
Tabella 11: Parametri sismici di riferimento (da Geostru Ps 1.5)

Stato Limite	S_s [-]	C_c [-]	S_t [-]	k_h [-]	k_v [-]	a_{max} (g)	Beta [-]
S.L.O.	1,500	1,720	1,100	0,012	0,006	0,059	0,200
S.L.D.	1,500	1,670	1,100	0,017	0,008	0,081	0,200
S.L.V.	1,470	1,610	1,100	0,055	0,028	0,225	0,240
S.L.C.	1,400	1,600	1,100	0,080	0,040	0,279	0,280

Tabella 12: Coefficienti sismici di riferimento (da Geostru Ps 1.5)

2 Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

3 Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale



7 CONCLUSIONI

Il presente elaborato è redatto in base all'incarico professionale ricevuto dall'Arch. Sigurtà Sara con studio in Via C. Battisti n. 37 a Lonato del Garda (BS), per conto della Sig.ra Molinari Giovanna, e rientra nell'ambito del progetto di realizzazione di nuovi edifici residenziali (tra cui n. 3 casette mobili), all'interno di un lotto situato in Via Lazzaretto a Lonato del Garda (BS), catastalmente identificato al Foglio n. 32, Mappali n. 271-273.

Esso costituisce la Relazione Geologica (R1) e (R3), ai sensi del D.M. 17/01/2018 (§ 6.2.1), e della D.G.R. 2616/2011, e la Relazione di Caratterizzazione Geotecnica (R2), ai sensi del D.M. 17/01/2018 (§ 6.2.2).

All'interno del Capitolo 2 del presente elaborato, è stata eseguita la verifica di fattibilità geologica, ai sensi della D.G.R. 2616/2011. Il sito in esame appartiene alla seguente Classe:

- **Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**, Sottoclassi 2a-2c-2d, identificate rispettivamente con “Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile)”, “Aree di elevato interesse morfologico paesaggistico”, “Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°”.

Si ritiene che le opere di progetto, relative alla messa in opera di strutture mobili (casette mobili), siano fattibili dal punto di vista geologico, tenendo conto delle indicazioni fornite; per i dettagli in merito si rimanda a quanto illustrato all'interno del Capitolo 2.

Il Modello Geologico ed il Modello Geotecnico (§§ 6.2.1-2 del D.M. 17/01/2018) sono stati ricostruiti grazie ad una campagna di indagini sito-specifica (n. 2 prove penetrometriche dinamiche), ed alla banca dati geologica relativa al P.G.T. Comunale. Per i dettagli si rimanda al Capitolo n.4.

In merito alla verifica di stabilità nei confronti della liquefazione, si è in condizioni di esclusione del fenomeno (vedi Par. 4.3 del presente elaborato).

Sono stati inoltre introdotti gli elementi utili alla “Verifica della sicurezza e delle prestazioni” (vedi Capitolo n. 5). Il completamento delle verifiche geotecniche previste dal D.M. 17/01/2018 sarà a cura del Progettista delle strutture, che le riporterà in idonea Relazione di Calcolo.



Riguardo alla Pericolosità Sismica Locale, il sito in esame è ubicato in corrispondenza del limite tra la Zona Z4a “Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi” e la Zona Z4c “Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)”.

L’analisi di II livello, condotta ai sensi dall’Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011, in sede di aggiornamento del P.G.T. Comunale, secondo quanto riportato nelle “*Norme Geologiche di Piano*” (Geol. Lentini – Geol. Scalvini, Rev. 03 gennaio 2022), indica che il sito d’interesse ricade all’interno di un’area dove la normativa nazionale è insufficiente per tenere conto dell’amplificazione sismica sito-specifica ($FAC > FAS$).

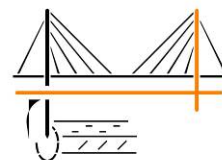
Secondo quanto emerso dallo Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale, ed in particolare in base al contenuto della Tavola 8 bis “*Carta di Microzonazione Sismica Livello 2 (MOPS-criteri regionali) con indicazione dei valori stimati dei Fattori di amplificazione litologica (Fa – FAC)*” (Geol. Lentini, Rev. 01 – dicembre 2019), l’area in cui ricade il sito di progetto è caratterizzata da una Fattore di amplificazione litologica (FAC) pari a 1,7.

La Modellazione sismica, completa della determinazione del valore di V_{seq} , coincidente con la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio, è stata condotta in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018. A tal fine è stata utilizzata un’indagine sismica realizzata in sede di aggiornamento della “Componente Geologica” del P.G.T. Comunale (Geol. Lentini R. – Geol. Scalvini D., Rev. 2 marzo 2021), la quale ha restituito un valore di V_{seq} pari a 462 m/s. Tenendo conto di quanto illustrato all’interno del P.G.T. Comunale, si potrà fare riferimento alla Categoria di sottosuolo C dell’approccio semplificato del D.M. 17/01/2018.

Per quanto riguarda le possibili amplificazioni di carattere topografico, il sito d’interesse appartiene alla Categoria T1, così come definito all’interno del D.M. 17/01/2018.

I dettagli delle elaborazioni effettuate sono riportati all’interno del Capitolo 6 del presente elaborato.

Poiché il Modello Geologico e Geotecnico sopra illustrati si basano su indagini puntuali e non dirette (prove penetrometriche), in fase di realizzazione degli scavi di progetto, si raccomanda la verifica litologica dei terreni attraversati, al fine di confermarne la rappresentatività, e di conseguenza la validità dei parametri geotecnici riportati nella tabella precedente. Nel caso vengano rilevate delle difformità, si prega di contattare il sottoscritto.

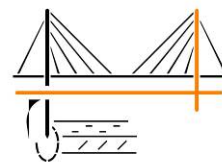


Si raccomanda infine che la gestione delle terre e rocce da scavo, risultanti dalle attività di cantiere, dovrà avvenire ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. (Testo Unico Ambientale) e del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017.

Il Tecnico

Geol. Claudio Lancini





BIBLIOGRAFIA

- LENTINI R., SCALVINI D. “*Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio*” – Relazione Illustrativa, allegato al P.G.T. del Comune di Lonato del Garda (BS) – marzo 2021;
- VIGGIANI C. “*Fondazioni*” – Hevelius Edizioni (Napoli, 1999).

ALLEGATO 1

COROGRAFIA DEL SITO



COROGRAFIA DEL SITO

Scala: 1:10.000

ALLEGATO 2

UBICAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE



UBICAZIONE INDAGINI

Scala: n.d.

ALLEGATO 3

DIAGRAMMI DELLE PROVE PENETROMETRICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 1
 Strumento utilizzato... SCPT 63-200 PAGANI

Committente:
 Descrizione:
 Localita': Via Lazzaretto - Lonato d/G (BS)

11/12/2024

Scala 1:26

