

E 10

Relazione di Fattibilità Geologica (R3)

D.G.R. IX/2616 30.11.2011
D.G.R. 5001/16 30.03.2016

Tipologia di opera

P.R. IN VARIANTE AL PGT PER DEMOLIZIONE FABBRICATI ESISTENTI
E REALIZZAZIONE DI UFFICI

Committente

VEZZOLA S.p.A.

Provincia	Brescia
Comune	Desenzano del Garda
Cap	25015
Indirizzo	Via Monte Alto
Codice Catastale	D284
Rif. catastali	Fg. 32
	Mapp. 15 e 434

Data 15 settembre 2023

Il tecnico Dott. Geol. Stefano Salvi



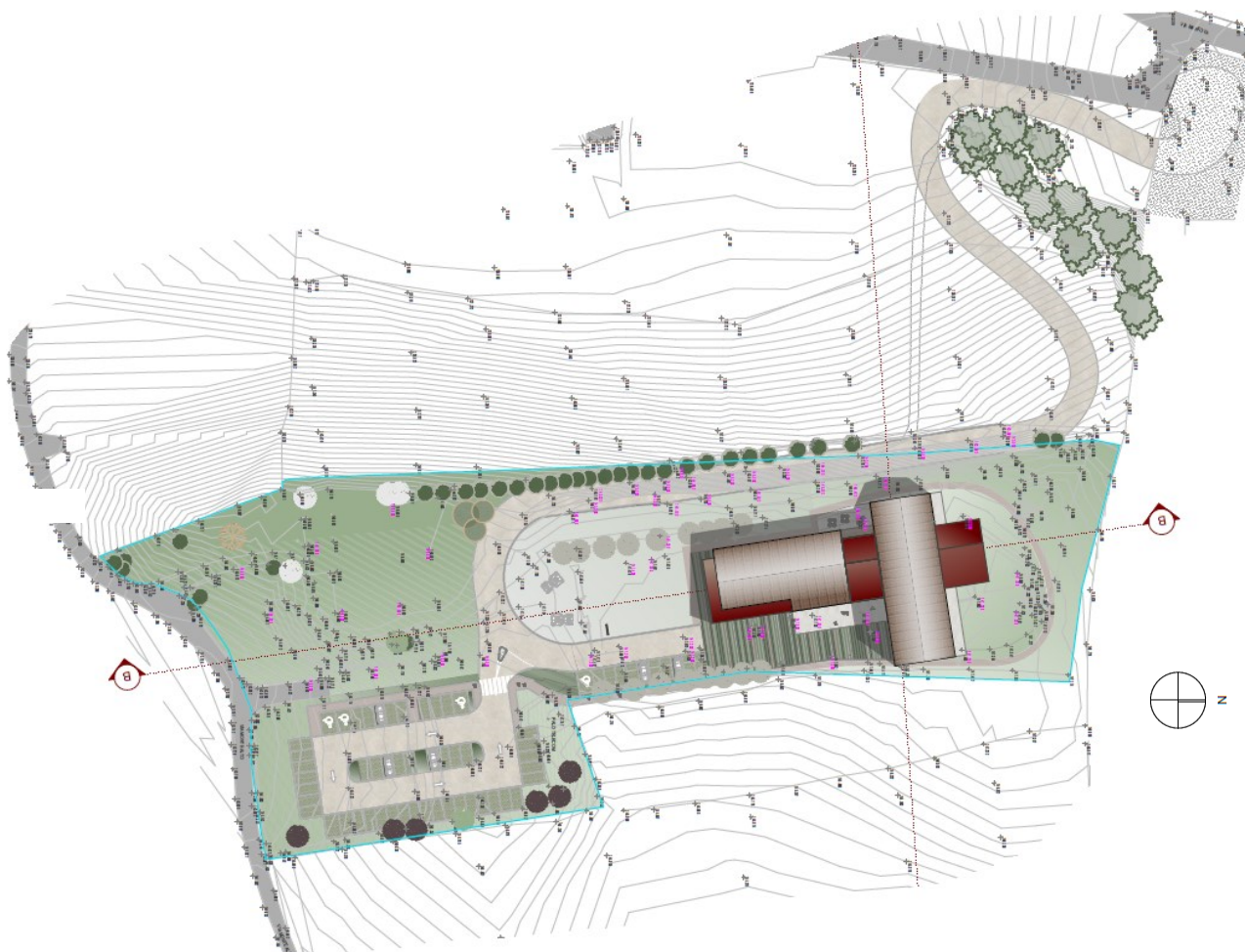
1.	PREMESSA	1
2.	MODELLO GEOLOGICO	2
2.1.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO.....	2
3.	INQUADRAMENTO URBANISTICO DELL'AREA	8
4.	SCELTA DEL TERREMOTO DI PROGETTO E STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO	12
4.1	PREMESSA	12
4.2	VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	12
4.3	STATI LIMITE, PROBABILITA' DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO.....	13
4.4	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	14
4.5	PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO	14
4.6	COEFFICIENTI SISMICI	14
4.6.1	COEFFICIENTI SISMICI FONDAZIONI E STABILITA' DEI PENDII	14
4.7	CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO	15
4.8	DETERMINAZIONE DEL SISMA DI PROGETTO.....	16
4.9.	STIMA DELL'INCLINAZIONE DEL CARICO DOVUTA AD EVENTI SISMICI	17
5.	CONCLUSIONI	18

RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

1. PREMESSA

Su incarico e per conto della società **Vezzola S.p.A.** è stato eseguito uno studio finalizzato alla definizione della fattibilità geologica dell'intervento proposto sviluppando le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche nonché le verifiche richieste dalle norme di attuazione del PGT per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica che l'estensore dello studio geologico del PGT ha attribuito all'area dove ricadrà l'intervento.

Il futuro intervento si colloca su un lotto di terreno sito a **Desenzano del Garda (BS)** in Località Monte Alto n°31 distinto ai **Mappali 15** del **Foglio 32** del C.C. di **Desenzano del Garda (BS)**, il quale sarà interessato dalla demolizione di fabbricati esistenti e realizzazione di nuovi uffici.



Stato di progetto, schema di assetto - Fonte: Studio di Architettura Sigurtà

La presente relazione geologica costituisce uno studio preliminare di fattibilità geologica, delle caratteristiche dell'ambiente sottosuolo e idrico, componenti necessarie alla definizione dello stato dell'ambiente naturale all'interno del quale sarà inserita l'opera in progetto.

I criteri e le procedure adottati per la redazione della presente relazione consentono di definire il modello geologico di sito alla fase preliminare di studio ed in conformità del seguente dispositivo:

- I. *Deliberazione Giunta Regionale 30 novembre 2011 n. IX/2616;*
- II. *Deliberazione Giunta Regionale 30 marzo 2016 n. 5001/16.*

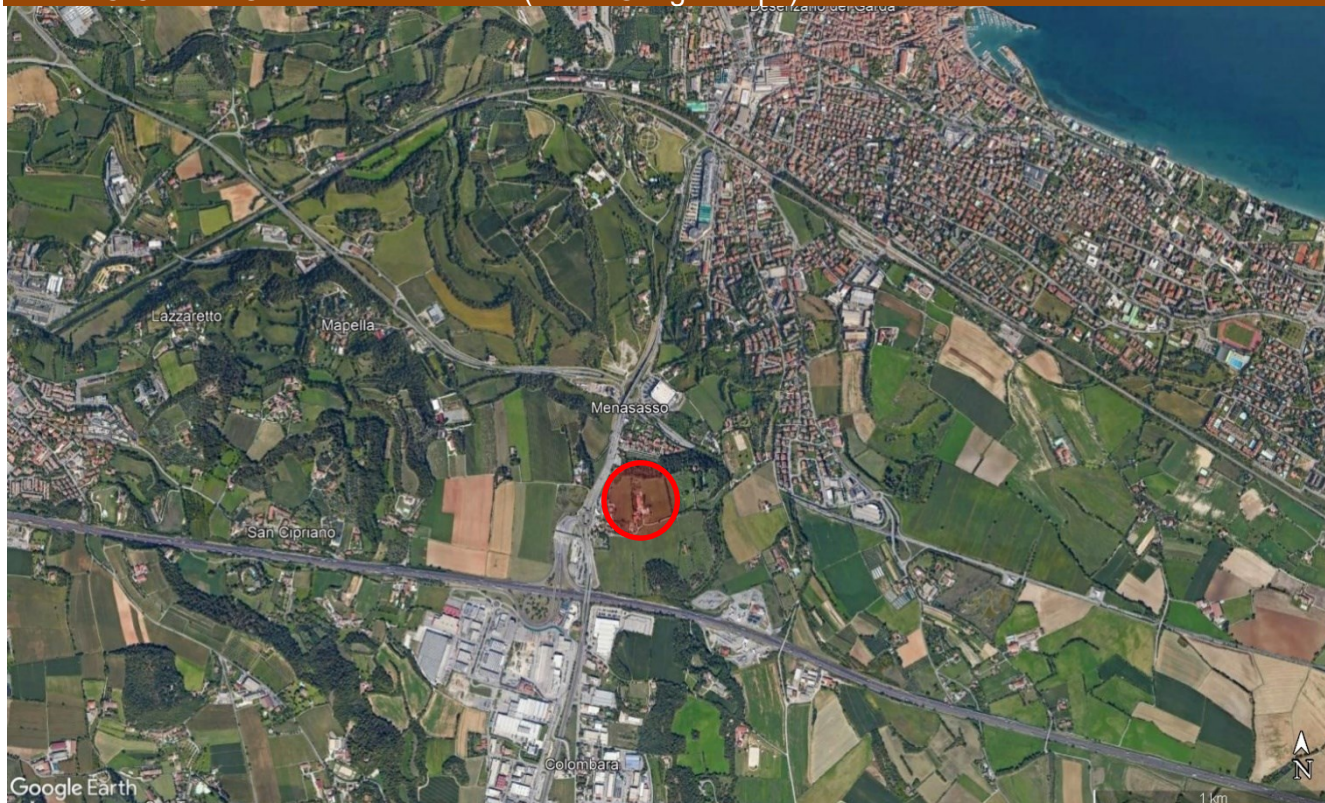
Lo studio dell'area è stato effettuato attraverso il reperimento e l'analisi delle fonti bibliografiche disponibili, le quali hanno consentito di inquadrare l'area dal punto di vista geologico e geomorfologico.

2. MODELLO GEOLOGICO

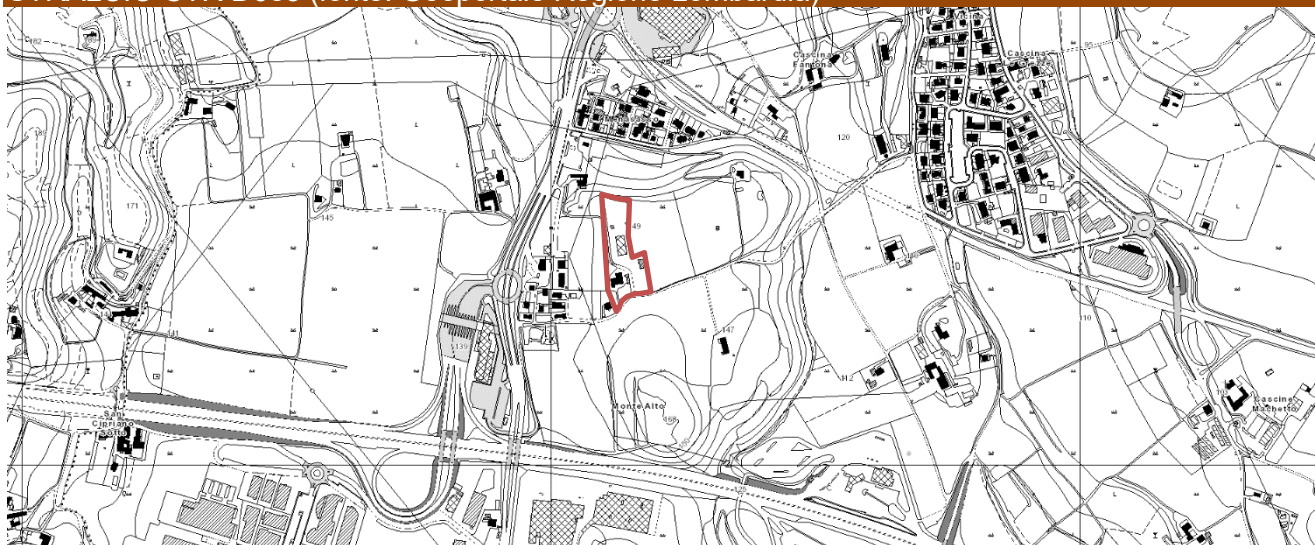
2.1. Inquadramento geografico, geomorfologico, geologico, idrografico ed idrogeologico

L'area oggetto dello studio si colloca a sud del centro abitato di Desenzano del Garda, ad una quota di circa **149 m s.l.m.**, in un'area a carattere morfologicamente collinare, avente una debole pendenza verso sud, ed insiste sui **mappali 15 e 434 del Foglio 32** del N.C.T.R. del Comune di Desenzano del Garda (BS). L'area è geograficamente rappresentata nella sezione **D6e3** della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia (C.T.R. R.L.) alla scala 1:10.000.

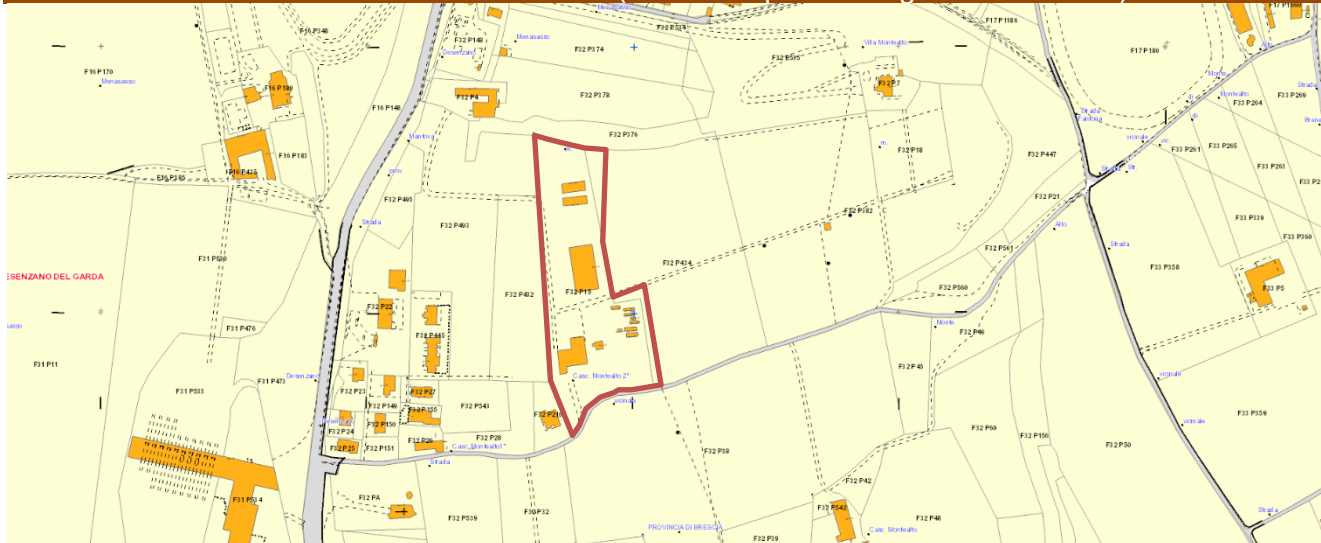
STRALCIO IMMAGINE SATELLITARE (fonte: Google Maps)



STRALCIO CTR D6e3 (fonte: Geoportale Regione Lombardia)



STRALCIO ESTRATTO MAPPA CATASTALE (fonte: Geoportale Regione Lombardia)



Il territorio comunale di Desenzano del Garda occupa una superficie di circa 64 km² e si colloca nel lembo di territorio posto a Sud-Est della provincia di Brescia, occupando per una buona parte l'anfiteatro morenico benacense.

Dal punto di vista **geomorfologico**, il paesaggio prevalente è tipico dell'ambiente collinare morenico con quote che vanno dai 65 m s.l.m. (livello del lago) fino al punto altimetricamente più elevato di 170 m s.l.m. (Monte Lungo). Nell'ambito del territorio comunale si riscontrano estese porzioni di pianura intramorenica interposta a rilievi collinari appartenenti ai diversi ordini delle cerchie moreniche, i quali costituiscono parte del Sistema Morenico Frontale del Garda.

Si tratta di cordoni morenici depositati nel Pleistocene superiore e di limitati lembi appartenenti al Pleistocene medio, intervallati da numerose piane e vallecole inframoreniche caratterizzate da aree palustri e lacustri. L'aspetto del territorio è caratterizzato da una topografia estremamente variabile.

Le aree presentano pendii fortemente inclinati e scoscesi e sono fiancheggiate da aree a pendenza più moderata, che fanno da raccordo con gli avvallamenti e le piane intermoreniche. In queste ultime i depositi fluvioglaciali ghiaiosi sono prevalenti, i depositi più recenti e fini sono tipici degli avvallamenti formati dall'azione erosiva dei torrenti glaciali, mentre le aree a morfologia infossata corrispondono invece ad antiche conche lacustri.

La storia geologica dell'area in esame è caratterizzata nel Quaternario da ripetuti fenomeni di espansione e successivo ritiro dei ghiacciai. La costituzione di un sistema morenico, tipo quello gardesano di cui l'area oggetto dello studio fa parte, deriva dalla sovrapposizione ed interazione di più eventi deposizionali ed erosivi legati alle diverse glaciazioni, originatesi da continue oscillazioni climatiche.

Dal punto di vista **geologico**, l'evoluzione dell'anfiteatro morenico si divide in due momenti ben distinti: un periodo glaciale che porta all'avanzamento verso regioni più meridionali del fronte del ghiacciaio, trasportando materiali litoidi che cadono sulla superficie (morene viaggianti) o che vengono strappati alle rocce di base (morene di fondo) e che costituiscono le cerchie moreniche una volta abbandonati alla fronte dopo che il ghiacciaio ha raggiunto la sua massima espansione.

Questo momento è seguito da un periodo postglaciale, caratterizzato dal ritiro dei ghiacci verso monte con conseguente fusione del corpo glaciale che porta all'accentuazione di fenomeni erosivi (terrazzi fluviali) e trasporto di materiale nella piana antistante.

La presenza dei maggiori laghi pedevalpini a monte dei vari anfiteatri morenici è correlata a quella dei ghiacciai ai quali si deve, in buona parte, l'origine delle conche lacustri.

L'anfiteatro morenico gardesano che borda a meridione del Lago di Garda, la cui topografia caratterizza i comuni del basso bresciano e dell'alto mantovano, è stato costituito da un ghiacciaio che si protendeva verso Sud, sino ad una quindicina di chilometri da Mantova, grazie soprattutto all'ampiezza del bacino

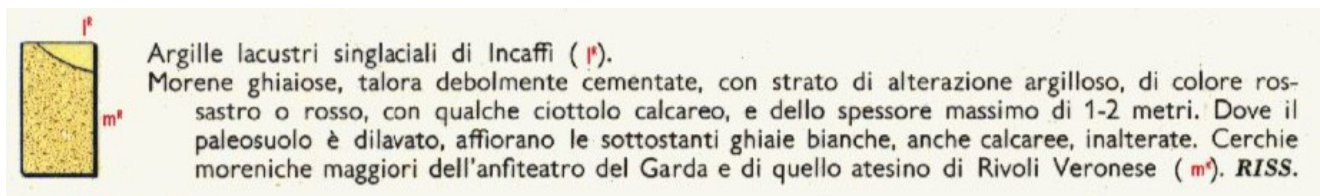
alimentatore costituito dall'area delle Alpi Retiche, le cui calotte glaciali confluivano tutte in questo unico enorme canale di scarico, determinando la nascita del maggiore apparato morenico del Paese.

Nell'area gardesana sono conservate cerchie moreniche attribuibili alle glaciazioni del Mindel, Riss e Würm.

Le morene rissiane risultano in genere ben conservate e costituite da un ammasso caotico di blocchi, ciottoli e ghiaie poco cementati, con uno strato di alterazione argilloso di colore rossastro o rosso-bruno. I depositi wurmiani costituiscono i depositi più interni, evidenziando per il Würm una espansione glaciale di portata minore rispetto alla precedente.

Le cerchie moreniche wurmiane si presentano ghiaiose con uno scarso strato di terreno di alterazione.

STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000 - F.48 PESCHIERA DEL GARDA (fonte: ISPRA)



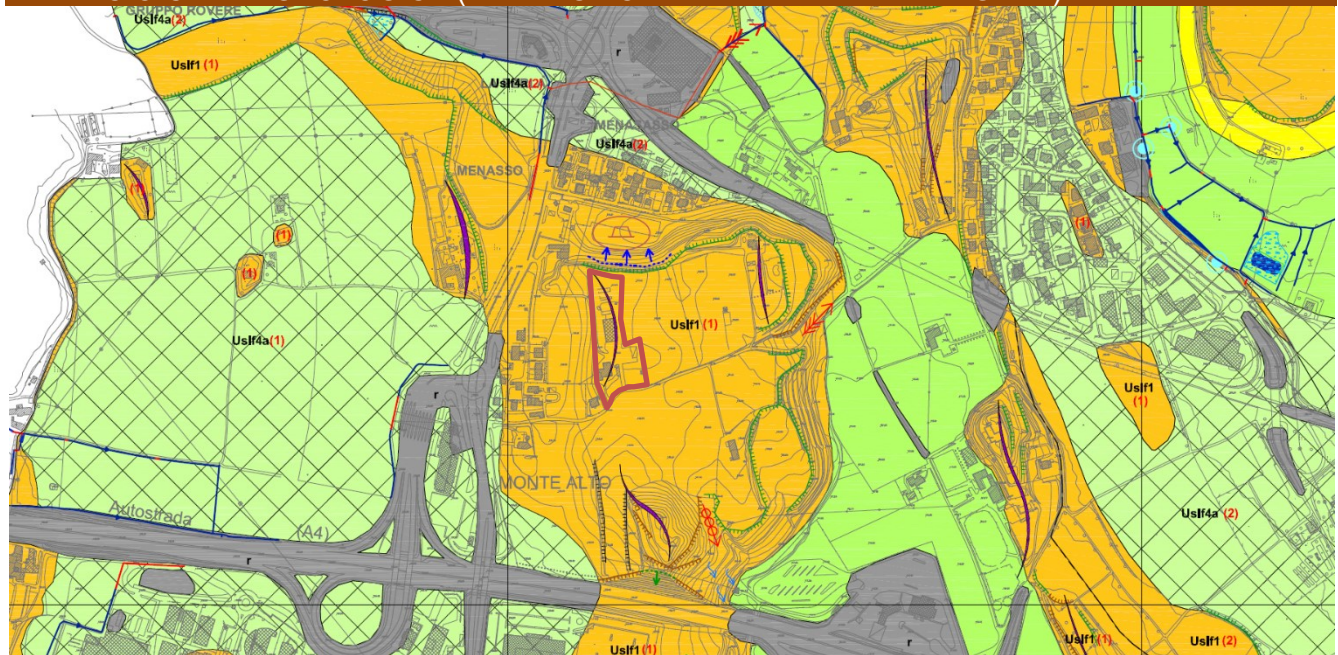
Nel sito oggetto di studio i depositi presenti superficialmente risultano ascrivibili, come cartografato nel Foglio 48 "Peschiera del Garda" della Carta Geologica d'Italia 1:100.000 sopra riportata, ai **depositi morenici m^R** riconducibili alle morene ghiaiose, talora debolmente cementate, con strato di alterazione argilloso, di colore rossastro o rosso, con qualche ciottolo calcareo, e dello spessore massimo di 1-2 metri.

Nella Carta geologica allegata al PGT del Comune di Desenzano del Garda, avente una scala di dettaglio maggiore (1:5.000), i depositi presenti vengono classificati come depositi glaciali appartenenti all'unità geologica **Uslf1 – Unità di Solferino** (Pleistocene Superiore); sono costituiti da diamicton massivi per lo più a supporto clastico ma talora a supporto di matrice. Risultano frequentemente presenti anche grossi trovanti poligenici con dimensioni fino a vari m³. 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. Così si possono ritrovare settori con litologia più francamente limoso-sabbiosa prevalente sullo scheletro granulare. In questi casi i depositi glaciali assumono tipica colorazione grigia (più argillosa) o color ocra-nocciola (più limosa).

Si segnala che il sito oggetto di indagine è ubicato in prossimità di un cordone morenico che si sviluppa in direzione circa N-S.


STRALCIO CARTA GEOLOGICA (fonte: PGT Comune di Desenzano del Garda)



UNITA' DI SOLFERINO (Pleistocene superiore)

ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

STRUTTURE GEOMORFOLOGICHE

 Cordone morenico

Uslf1 Depositi glaciali

Uslf2 Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale

Depositi di contatto glaciale

Uslf3a a) Depositi grossolani prevalentemente sabbiosi, sabbioso-ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi, ghiaiosi

Uslf3b b) Depositi fini prevalentemente sabbioso limosi, limoso sabbiosi, limoso argillosi, argillosi ("morena di fondo")

ELEMENTI DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Terreni con caratteristiche geotecniche:

(1) buone

(2) discrete

(3) mediocri

(4) scadenti

La rete **idrografica** del territorio di Desenzano del Garda è nel suo insieme, poco sviluppata e nell'ambito collinare del territorio i corsi d'acqua con carattere permanente sono rappresentati dal Rio Maguzzano e dalla Fossa Redone, la quale rappresenta il corso d'acqua principale e da alcuni corsi d'acqua minori. Vari elementi idrografici di natura effimera, con alveo indefinito e corrispondenti ad impluvi poco marcati, sono sede occasionale di deflusso idrico superficiale, rientrando quindi nel reticolo idrografico del settore morenico.

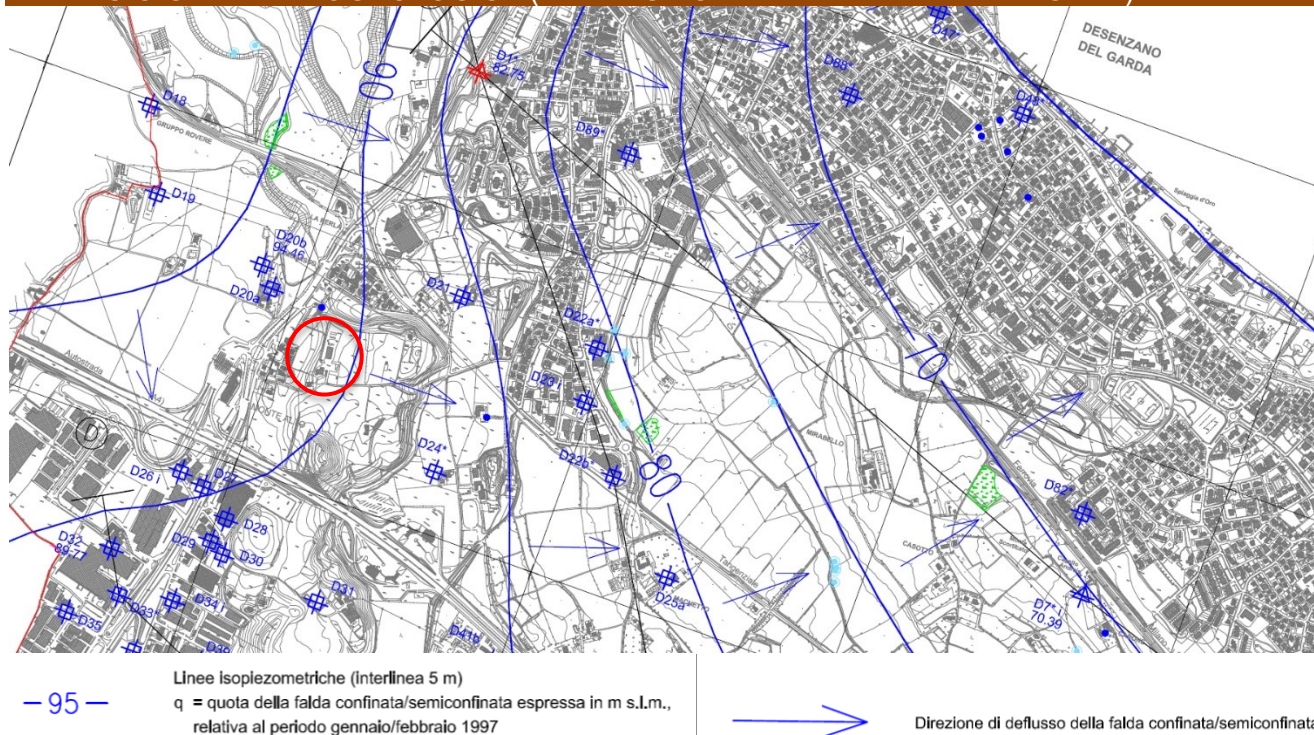
L'assetto **idrogeologico** e le caratteristiche orografiche del territorio determinano la presenza di corsi d'acqua con andamento irregolare che prendono origine da estese zone di affioramento della falda

freatica in corrispondenza delle piane intramoreniche (zone umide) o alla base dei versanti morenici (sorgenti).

I tracciati dei corsi d'acqua si sviluppano in gran parte all'interno delle piane fluvioglaciali seguendone l'andamento. La piana fluvioglaciale occidentale è invece attraversata da una fitta rete artificiale di canali e rogge irrigue. I bacini idrografici risultano di scarsa estensione e poco definiti.

L'unità idrogeologica che interessa l'area in esame possiamo identificarla come l'Unità delle Colline Moreniche ed è sostanzialmente occupata dai cordoni morenici e dalle valleciole inframoreniche: essa fa parte del vasto Sistema Morenico Frontale del Garda con il quale sono ipotizzabili interscambi con gli acquiferi più profondi. In questa unità idrogeologica gli acquiferi più superficiali non sono arealmente estesi, trattandosi per lo più di falde sospese.

STRALCIO CARTA IDROGEOLOGICA (fonte: PGT Comune di Desenzano del Garda)



In profondità invece è possibile individuare acquiferi più continui, per i quali è possibile la ricostruzione della piezometria.

Da un punto di vista idrogeologico i depositi morenici sciolti e permeabili permettono una buona penetrazione delle acque di precipitazione e di quelle di corsi d'acqua naturali e artificiali, alimentando le falde.

Le falde intercettate dai pozzi della zona sono presenti nei livelli a granulometria grossolana (ghiaia e sabbia) compresi e confinati tra livelli impermeabili costituiti da limi ed argille (quasi tutte le falde essendo pressione risalgono fino a qualche decina di metri).

In quest'area risulta complessa una suddivisione in falde dell'acquifero sfruttate da pozzi, a causa della natura geologica della zona, caratterizzata da materiale trasportato dai ghiacciai e depositati caoticamente.

In generale gli orizzonti acquiferi sono correlabili, con alcune approssimazioni determinate dai limiti spaziali dell'omogeneità geologica, in tre falde principali, delle quali la più profonda dovrebbe essere alimentata direttamente dalle acque del Lago di Garda avente direzione di deflusso, a scala regionale, NNO/SSE. Localmente abbiamo un regime di deflusso delle acque sotterranee in direzione NE.

Lo schema della circolazione idrica sotterranea può essere ricostruito analizzando congiuntamente vari elementi quali come la litologia superficiale e profonda, morfologia degli alvei attuali e piezometria che concorrono a definire l'assetto idrogeologico.

Riassumendo, nei settori intramorenici, le Unità moreniche e le Unità fluvioglaciali ghiaioso-sabbiose talora interferiscono originando in tal modo falde locali superficiali di scarsa estensione e produttività. Tali acquiferi sono alimentati esclusivamente dalle precipitazioni meteoriche, hanno una conformazione spaziale concava verso il basso, tipo catino e sono delimitati a letto da depositi morenici di scarsa permeabilità.

All'interno dei depositi morenici, in presenza di lenti sabbioso-ghiaiose, possono originarsi piccole falde sospese, di carattere permanente e/o temporaneo, anch'esse poco produttive con apporti che risentono a breve termine dell'andamento delle precipitazioni.

È invece alle maggiori profondità che si incontrano i sistemi acquiferi multistrato separati tra loro da livelli limoso-argillosi, alla quale si è fatto riferimento poco sopra, i quali non dipendono direttamente dalle precipitazioni di carattere locale e possiedono elevate capacità di immagazzinamento.

In termini di attitudine al deflusso idrico sotterraneo possiamo assegnare all'Unità fluvioglaciale ghiaioso-sabbiosa una discreta permeabilità ($k=10^{-2} \div 10^{-4}$ cm/s), a quella morenica una permeabilità medio bassa in quanto possiede sequenze argillose semi impermeabili che ne ostacolano la filtrazione e strati di conglomerato e ghiaia favorevoli all'immagazzinamento ed infine le unità corrispondenti ai depositi in prevalenza argilloso-torbosi di origine lacustre che sono caratterizzati da una permeabilità praticamente nulla ($k \geq 10^{-7}$ cm/s).

Dalla presa visione della carta idrogeologica del PGT comunale vigente si evince che, all'interno dell'area di studio, la profondità della prima falda è circa 91-92 m s.l.m.; la soggiacenza della falda si attesta quindi attorno alla profondità di circa 57-58 m dal piano campagna.

3. INQUADRAMENTO URBANISTICO DELL'AREA

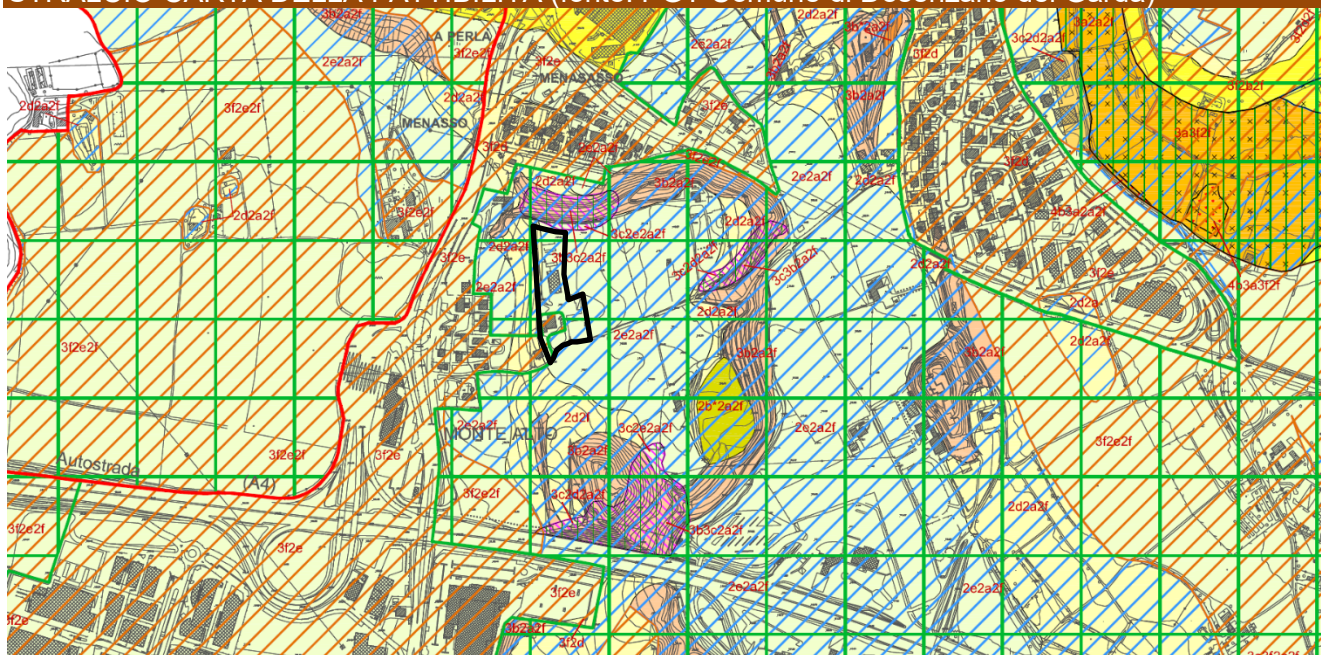
La fase di progettazione preliminare e di valutazione della fattibilità dell'intervento ha previsto l'analisi delle limitazioni d'uso del territorio (vincoli) in particolare modo quelli descritti e presenti nella relazione geologica a corredo del vigente PGT comunale e quelli relativi alla normativa sovraordinata (PTCP, Ambientale, Regionale e di Bacino).

Dalla visione della Carta di Fattibilità Geologica per le azioni di piano si evince che il sito in esame ricade parzialmente nella **Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni**. Nello specifico, l'area di studio ricade all'interno delle due sottoclassi 2a e 2f, che indicano rispettivamente le "Aree a media vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda)" e gli "Ambiti di elevato interesse morfologico paesaggistico".

Si segnala, inoltre, che l'area di progetto ricade per larga parte all'interno della sottoclasse 2e e, per una parte più ridotta (settore all'estremo W del sito), all'interno della sottoclasse 2d. Esse indicano rispettivamente le "Aree con terreni a caratteristiche geotecniche da discrete a buone e condizioni pianeggianti o di versanti debolmente acclivi" e le "Aree con terreni a caratteristiche geotecniche da discrete a buone e condizioni di versante mediamente acclivi".

Infine, per quanto riguarda le norme geologiche di piano correlate al rischio sismico, si evidenzia che l'area di studio ricade entro le Aree con obbligo di applicazione della normativa sismica nazionale (Fa di sito < Fa di soglia).

STRALCIO CARTA DELLA FATTIBILITÀ (fonte: PGT Comune di Desenzano del Garda)



AREE CON OBBLIGO DI APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SISMICA NAZIONALE
SCENARI PSL Z4a E Z4c con valori di Fa di sito < Fa di soglia

CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI



2a - Area a media vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda)



2e - Aree con terreni a caratteristiche geotecniche da discrete a buone e condizioni pianeggianti o con versanti debolmente acclivi.



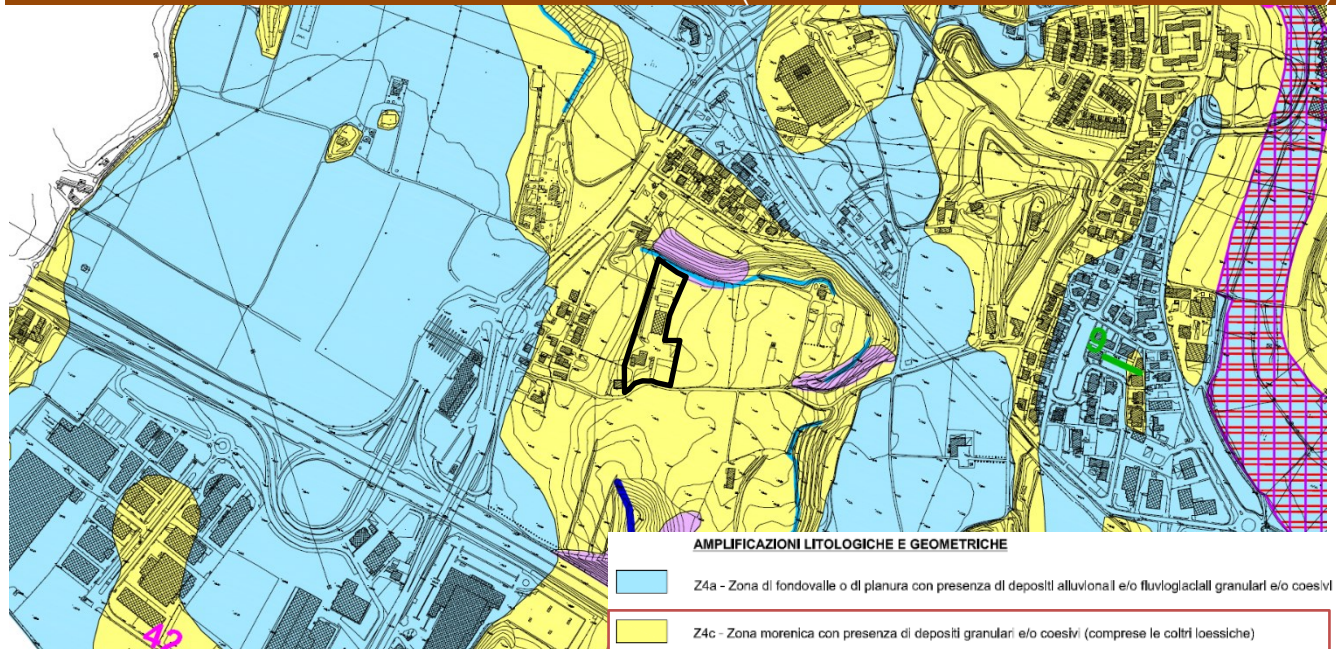
2d - Aree con terreni a caratteristiche geotecniche da discrete a buone e condizioni di versanti mediamente acclivi.



2f - Ambiti di elevato interesse morfologico paesaggistico:
- Ambito dei cordoni morenici maggiormente pronunciati, a morfologia ondulata con rilievi subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti e prati permanenti;

Dalla visione **Carta di Pericolosità Sismica Locale** per l'area di studio è stato individuato lo scenario PSL **Z4c** (Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche).

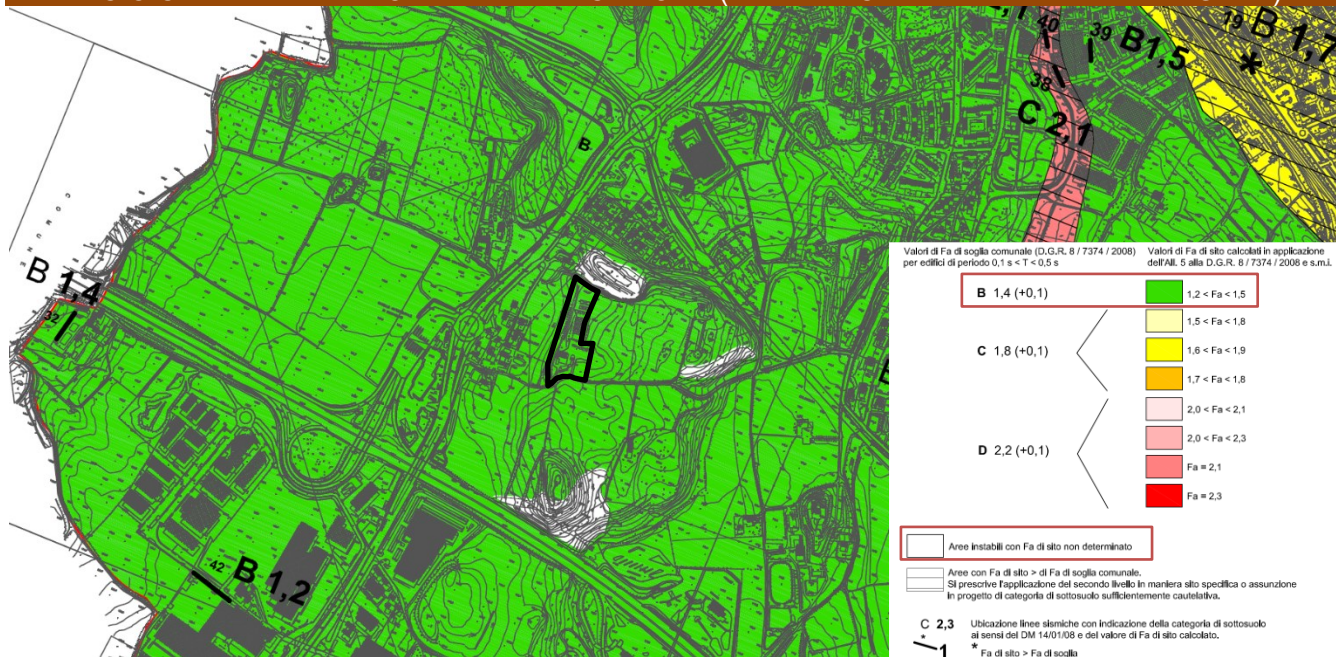
STRALCIO CARTA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (fonte: PGT Comune di Desenzano del Garda)



Dalla presa visione dello studio della componente sismica del PGT e dalla Carta dei fattori di amplificazione dello studio di Microzonazione Sismica comunale, la procedura semi quantitativa di 2° livello evidenzia che il sito indagato appartiene aree con **Fa** compreso tra **1,2** e **1,5** per le quali la Categoria di Sottosuolo "B", calcolata ai sensi del D.M. 14/01/08, risulta sufficientemente cautelativa.

Nell'area di studio, il fattore di amplificazione **Fa** **risulta inferiore ai valori di soglia** comunali sia per l'intervallo **0,1-0,5 s** sia per l'intervallo **0,5-1,5 s**; pertanto l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018) risulta quindi **sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

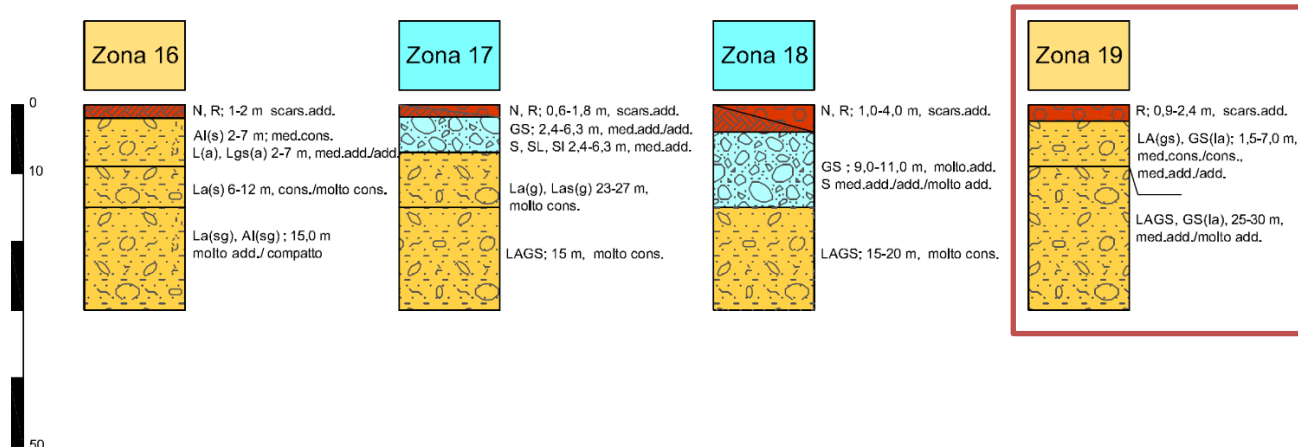
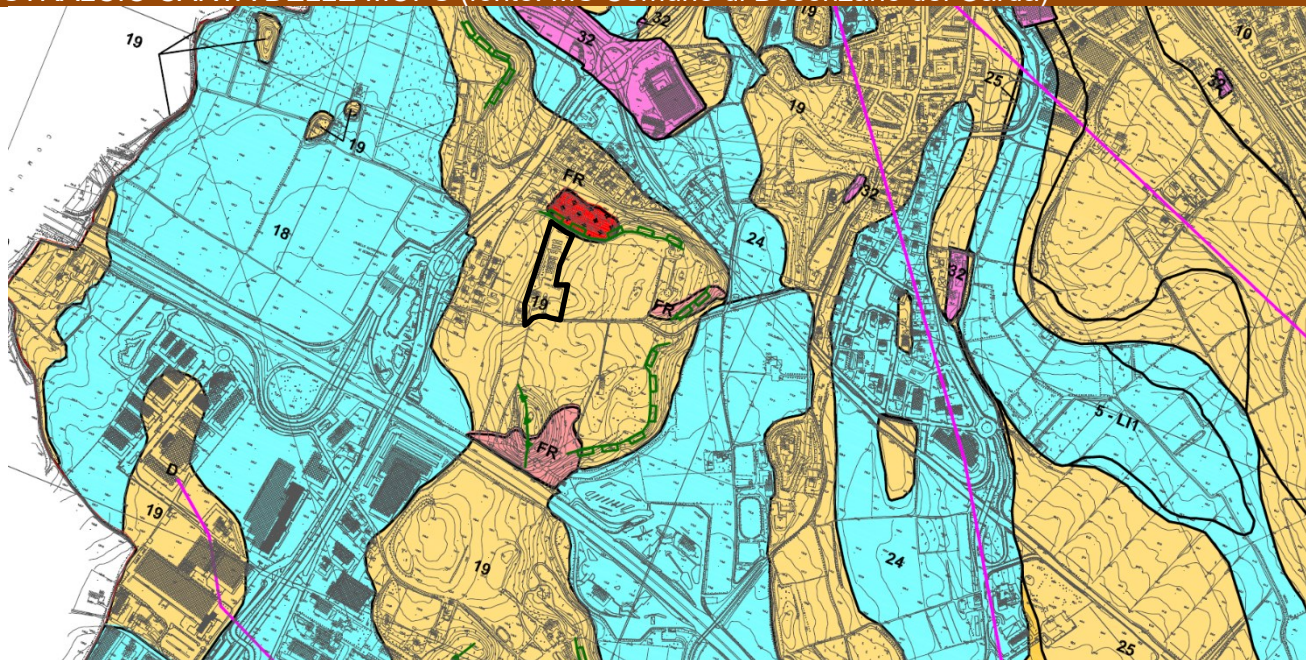
STRALCIO CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (fonte: MS Comune di Desenzano del Garda)



Dalla visione **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)**, per l'area di studio ricade nella **Zona 19**.

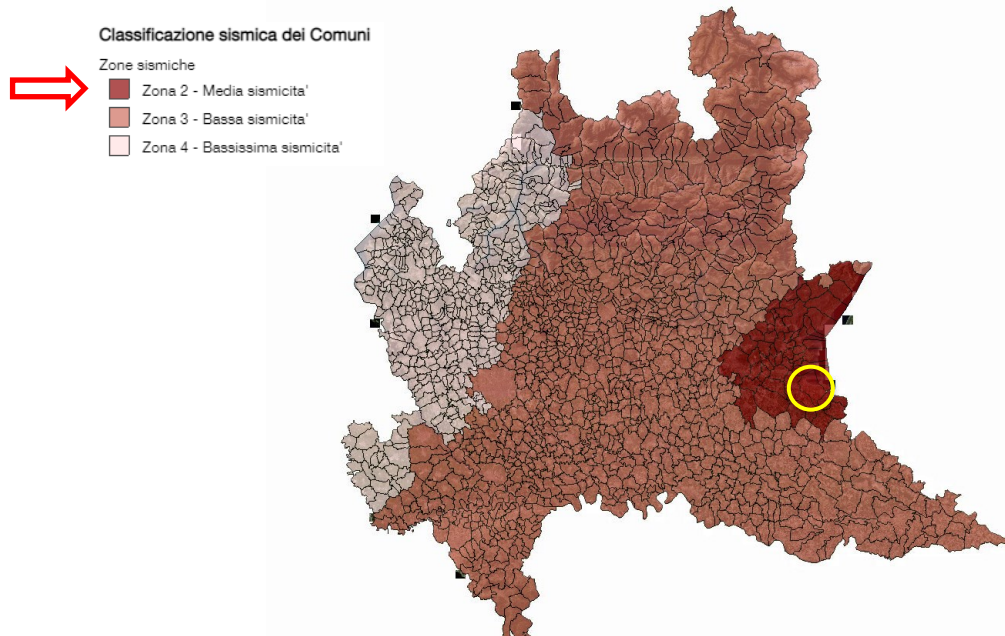
La **Zona 19** è riferibile in generale ai depositi glaciali/morenici di cordone e presenta una marcata variabilità geologico-geotecnica; in particolare, all'ambito più francamente di cordone morenico, sono riferibili la porzione occidentale e meridionale del territorio comunale, laddove la successione stratigrafica, seppure caratterizzata da una marcata variabilità litologica, evidenzia già a scarsa profondità dal p.c. la presenza di terreni a grado di addensamento/consistenza per lo più elevato.

STRALCIO CARTA DELLE MOPS (fonte: MS Comune di Desenzano del Garda)



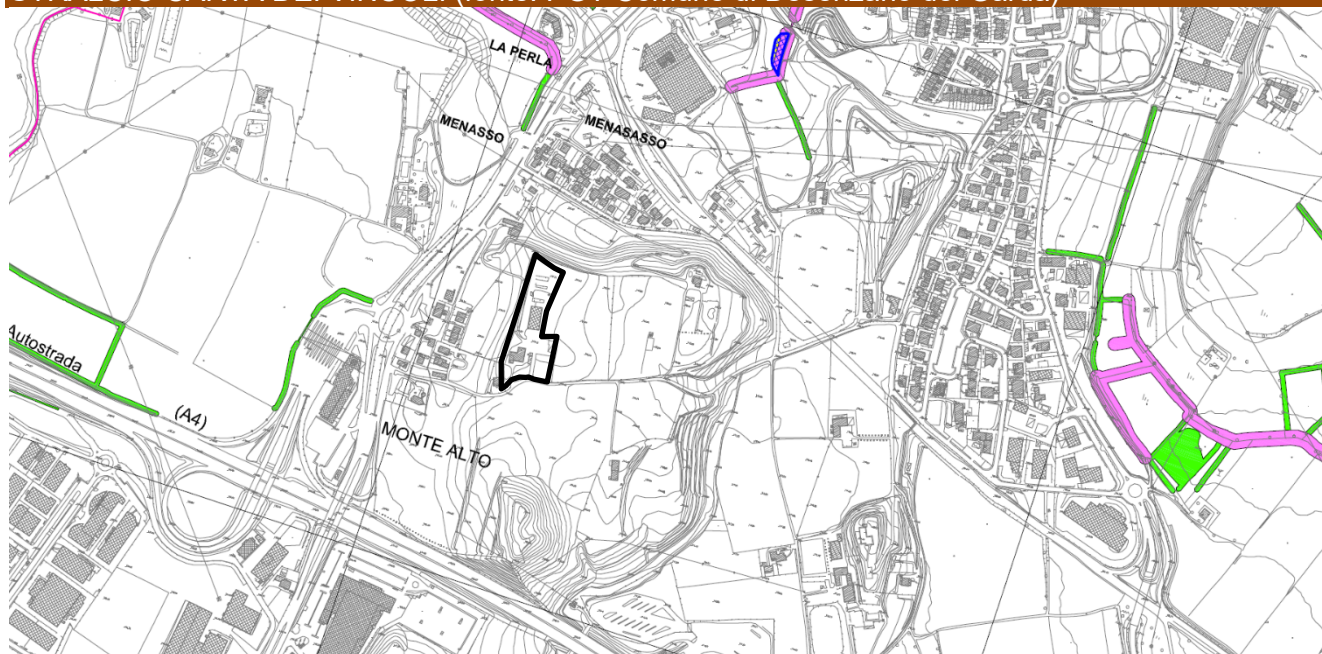
In base alla **D.G.R. 11 luglio 2014 – n. X/2129**, il Comune di **Desenzano del Garda (BS)** viene classificato in **zona sismica 2 – Media sismicità**.

STRALCIO MAPPA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI (fonte: Geoportale Regione Lombardia)



Dalla visione **Carta dei vincoli** della componente geologica del PGT comunale si evince che l'area di studio **non è sottoposta ai vincoli**.

STRALCIO CARTA DEI VINCOLI (fonte: PGT Comune di Desenzano del Garda)



Dalla visione della **Carta del dissesto con legenda uniformata PAI**, si evince che l'area oggetto di studio ricade **esternamente** delle aree interessate da dissesti.

Infine, per quanto concerne la **Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2022**, dal Geoportale della Regione Lombardia si evince che l'area oggetto di studio ricade **esternamente** delle aree a rischio.

4. SCELTA DEL TERREMOTO DI PROGETTO E STIMA DEGLI EFFETTI DI SITO

4.1 PREMESSA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla **classe d'uso**, permette di determinare il **periodo di riferimento**;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, dopo aver definito le relative *probabilità di superamento* è possibile stabilire il **periodo di ritorno** associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera.

4.2 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel **DM 17 gennaio 2018**-Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

V_R = periodo di riferimento

V_N = vita nominale

C_U = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC 2018, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella sottostante.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC 2018 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

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

4.3 STATI LIMITE, PROBABILITA' DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC 2018 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata. Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} , ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R , si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di a_g prefissata (a_g = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/T_R$ (T_R = periodo di ritorno).

Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	$P_{VR} = 81\%$
Stato limite di esercizio: danno	SLD	$P_{VR} = 63\%$
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	$P_{VR} = 10\%$
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	$P_{VR} = 5\%$

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

4.4 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC 2018, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC 2018 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

La tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche: in cui è suddiviso il territorio nazionale è stato suddiviso in 10751 punti di un reticolo di riferimento.

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_o = 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.

4.5 PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

4.6 COEFFICIENTI SISMICI

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e P_{VR} probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

4.6.1 COEFFICIENTI SISMICI FONDAZIONI E STABILITA' DEI PENDII

Nel caso delle fondazioni e della stabilità dei pendii i coefficienti k_h e k_v sono così determinati:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h \quad (5.3) \text{ Con}$$

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'**accelerazione massima attesa al sito** di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq S_S \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E) e del rapporto a_g/g .

Categoria sottosuolo	S _S
A	1,00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 F_0 a_{\text{bedrock}} \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_0 a_{\text{bedrock}} \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 F_0 a_{\text{bedrock}} \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_0 a_{\text{bedrock}} \leq 1.60$

S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	S _T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,40

4.7 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO

La **classificazione del sottosuolo** 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:

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

h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
 $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
 N numero di strati;
 H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da $V_S \geq 800$ m/s.

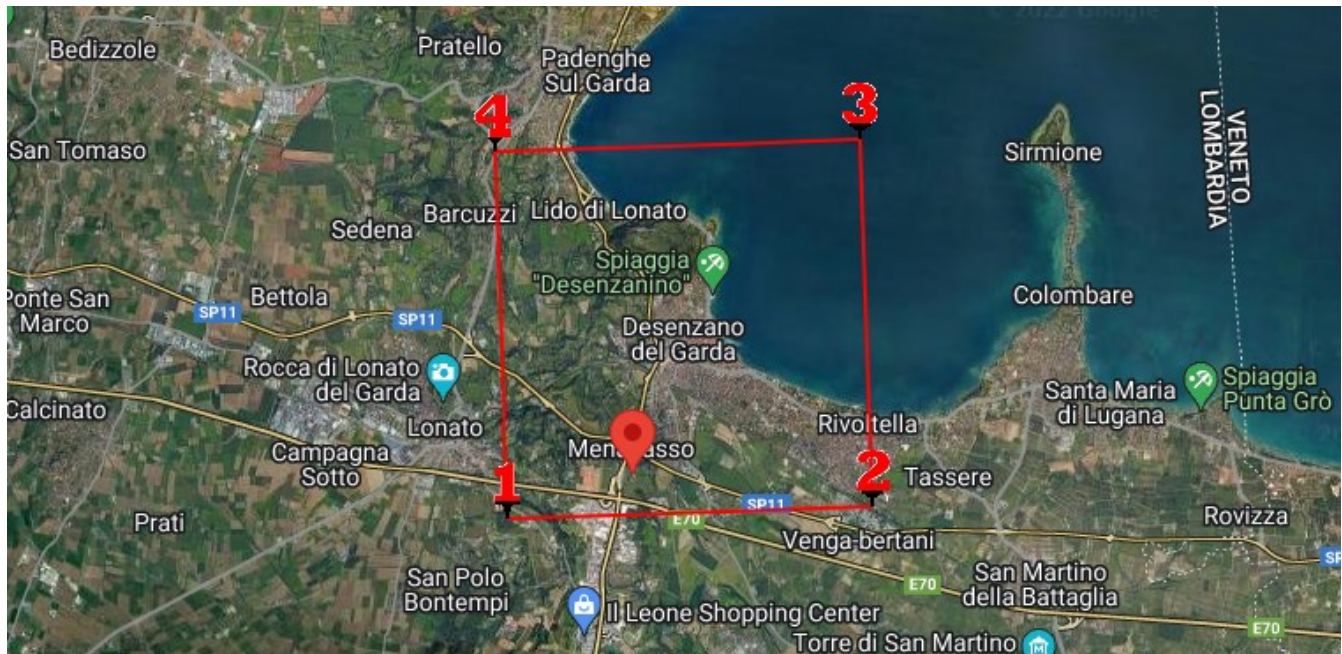
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, 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. Sulla base del valore calcolato di **V_{s,30}** vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente (viene indicata in rosso quella riferita al terreno in esame):

Categoria	Descrizione	spessore m	V _{s,eq} (m/s) da a	
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.	Qualsiasi	Qualsiasi	≥ 800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente, compresi fra 360 m/s e 800 m/s.	> 30 m	360	800
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 180 e 360 m/s.	> 30 m	180	360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori delle velocità equivalenti compresi fra 100 e 180 m/s.	> 30 m	100	180
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	Fino a 30 m	D	C

4.8 Determinazione del sisma di progetto

La determinazione del sisma di progetto è stata effettuata sulla base della procedura descritta nel D.M. 17.01.2018 (appendice B) sulla base di un ipotetico sottosuolo cautelativo di categoria C, da verificarsi in seguito a specifiche indagini in sito.



PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE PUNTO DI INDAGINE	
Latitudine (WGS84):	45.452854 [°]
Longitudine (WGS84) :	10.523599 [°]
Classe d'uso:	II. : Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti
Coefficiente cu:	1
Vita nominale:	50 [anni]
Periodo di riferimento:	50 [anni]
Tipo di interpolazione:	Media ponderata
Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito	
Sito 1	12501
Sito 2	12502
Sito 3	12280
Sito 4	12279
Parametri sismici punto di indagine - Salvaguardia della vita (SLV)	
Probabilità di superamento:	10%
Tr:	475 [anni]
ag:	0,158 [g]
Fo:	2,457
Tc*:	0,275 [s]

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO	
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°
Coefficienti sismici stabilità pendii e fondazioni - Salvaguardia della vita (SLV)	
Ss:	1,470
Cc:	1,610
St:	1,000
Kh:	0,056
Kv:	0,028
Amax:	0,2272 [g]
Beta:	0,240

4.9. Stima dell'inclinazione del carico dovuta ad eventi sismici

Si evidenzia inoltre che i valori della capacità portante sono comunque subordinati ai cedimenti.

Si ricorda anche che i valori della capacità portante dipendono dall'interazione struttura – terreno e pertanto i valori saranno in funzione delle tipologie delle fondazioni che verranno adottate, delle dimensioni e dalla loro profondità di imposta.

Nel caso di sollecitazioni indotte da un evento sismico è opportuno tenere in considerazione, nel calcolo dei carichi ammissibili, anche degli effetti inerziali sul terreno di fondazione, effetti che conducono ad una diminuzione della capacità portante.

In sostanza la componente orizzontale della sollecitazione sismica conduce ad una risultante del carico inclinata rispetto alla verticale.

L'inclinazione della risultante da inserire nel calcolo della portanza è quello di considerare l'accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni secondo la relazione:

$$\Theta = \arctg a_{gSLV} = 12.80^\circ$$

5. CONCLUSIONI

L'indagine geologica ha permesso di definire la natura e le caratteristiche dei terreni presenti nell'area esaminata, come descritto nel paragrafo dedicato. I rilievi hanno evidenziato l'assenza di processi geomorfologici in atto e sulla base delle considerazioni e dei calcoli geotecnici svolti nei paragrafi precedenti si traggono le seguenti conclusioni:

- Ricordiamo che, in base alla **D.G.R. 11 luglio 2014 – n. X/2129**, il Comune di **Desenzano del Garda (BS)** viene classificato in **zona sismica 2 – Media sismicità**;
- Sulla base delle assunzioni riportate nel vigente PGT, al sito oggetto di intervento è stata assegnata cautelativamente la **categoria di sottosuolo C**;
- Secondo quanto riportato nel vigente PGT, la soggiacenza della falda freatica si attesta intorno ai **57-58 m di profondità da p.c.**

Moniga del Garda (BS), 15.09.2023

IL TECNICO
DOTT. GEOL. STEFANO SALVI

