

Studio di Geologia - Dott. Geol. Luigi Renna - Dott. Geol. Niccolò Crestana  
Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)  
Cell: 349 2936733 - 347 9428449  
mail: [renna@crestanasrls.com](mailto:renna@crestanasrls.com) - [crestana@crestanasrls.com](mailto:crestana@crestanasrls.com)

---

## COMUNE DI PUEGNAGO DEL GARDA

PROVINCIA DI BRESCIA  
Regione Lombardia

### PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI N°2 EDIFICI RESIDENZIALI, IN UN LOTTO SITO IN VIA SQUASSA E ALLA RICHIESTA DI VARIANTE AL P.G.T. DEL COMUNE DI PUEGNAGO DEL GARDA

---

#### RELAZIONE GEOLOGICA R1

ai sensi del punto 6.2.1 del D.M. 17/01/18 " Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"

#### RELAZIONE GEOTECNICA R2

ai sensi del punto 6.2.2 del D.M. 17/01/18 " Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"

#### RELAZIONE GEOLOGICA R3

ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 "Norme di Piano"

---

Committente: *KERMA di Maffizzoli Lucio e c. s.n.c.*

---

Data:

25 Marzo 2019

I Tecnici:

Dott. Geol. Luigi Renna

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1667

Dott. Geol. Niccolò Crestana

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1691



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
1.1 Metodologia di lavoro.....	3
1.2 Riferimenti Normativi .....	4
<b>A. RELAZIONE GEOLOGICA R1 e R3 .....</b>	<b>5</b>
<b>2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Inquadramento Geografico e Geologico .....	5
2.2 Assetto Geomorfologico.....	7
2.3 Caratteri Idrogeologici locali.....	8
2.4 Rete Idrografica locale .....	8
2.5 Piano di Gestione Rischio Alluvioni.....	10
<b>3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>12</b>
3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH) .....	12
3.2 Trincee esplorative.....	13
3.3 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico .....	14
<b>4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA .....</b>	<b>22</b>
4.1 Inquadramento sismotettonico.....	22
4.2 Sismicità locale .....	23
4.3 Normativa sismica vigente .....	24
4.4 Azione sismica di progetto .....	24
<b>5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO.....</b>	<b>30</b>
<b>B. RELAZIONE GEOTECNICA R2 .....</b>	<b>33</b>
<b>6. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI .....</b>	<b>33</b>
<b>7. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE.....</b>	<b>34</b>
<b>8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI.....</b>	<b>35</b>
8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) .....	35
8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).....	37
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>38</b>

## 1. PREMESSA

Su incarico conferito da *KERMA di Maffizzoli Lucio e c. s.n.c.*, è stato eseguito uno studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di realizzazione di n° 2 edifici residenziali, in un lotto sito in Via Squassa e alla richiesta di variante al P.G.T. del Comune di Puegnago del Garda (BS).

Lo studio viene eseguito in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (D.M. 14/01/08) e relativo aggiornamento (D.M. 17/01/18), secondo quanto previsto dalle Norme di Piano (D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616) e dalle normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (DGR 5001/2016, LR 33/2015) e dall'aggiornamento della classificazione sismica regionale (DGR 2129/2014).

### 1.1 Metodologia di lavoro

Lo scopo del presente lavoro è quello di valutare il contesto geologico, la natura litotecnica dei terreni di fondazione presenti nell'area, verificare la fattibilità delle opere di progetto secondo le norme di piano urbanistiche comunali e regionali vigenti, con particolare riguardo ad eventuali problematiche e conseguenti prescrizioni realizzative.

Lo studio degli aspetti geomorfologici ed idrografici del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato in una prima fase di rilievi geologico-geomorfologici di campagna, eseguiti in un intorno significativo dell'area di progetto.

Quindi si è proceduto all'acquisizione dei dati reperibili in letteratura consultando, tra gli altri, lo Studio della *Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica per il PGT* (Dott. Geol. A. Trivioli – Ottobre 2009), sulla base del quale è stata considerata la fattibilità dell'opera di progetto e il rispettivo scenario di Pericolosità Sismica Locale.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata predisposta un'indagine geognostica condotta mediante prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH).

Per la stima delle velocità  $V_{s,eq}$  e della categoria di sottosuolo di sito, è stata eseguita, entro il sito di progetto, una prospezione sismica multicanale con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW e misura di microtrempi sismici ambientali mediante tecnica HVSr.

Sono stati infine prodotti alcuni allegati cartografici e tecnici a supporto della presente relazione, come di seguito elencati:

- ✓ TAV. 1 – Corografia con ubicazione dei pozzi con stratigrafia in allegato
- ✓ TAV. 2 – Planimetria di progetto con ubicazione dei punti di indagine
- ✓ Diagrammi Prove Penetrometriche SCPT-DPSH
- ✓ Allegato fotografico
- ✓ Stratigrafia Trincea esplorativa
- ✓ Stratigrafie Pozzi

## 1.2 Riferimenti Normativi

- D.M. 14 Gennaio 2008 “Approvazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni” (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008) e relativo aggiornamento (D.M. 17 Gennaio 2018); che sancisce l’obbligo di effettuare la progettazione antisismica e la relazione geologica e geotecnica.
- Circolare 2 Febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008.
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519, recante “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” (G.U. n. 108 del 11/5/2006).
- L.R. 11 Marzo 2005 - n.12 Piani di Governo del Territorio; DGR 22 Dicembre 2005 n.8/1566 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale” con riferimento alla Parte Terza “Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche” - Sezione II “Tutela delle acque dall’inquinamento”.
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n. IX/2616 “Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio” (art. 57 comma 1 della l.r. 11 Marzo 2005 n. 12).
- D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”.
- L.R. 12 Ottobre 2015 - n. 33 “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche” BURL n. 42, suppl. del 16 Ottobre 2015).
- D.G.R. 30 Marzo 2016 – n. X/5001 “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)”.
- D.G.R. X/6738 del 19/06/2017 “Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po”.
- Raccomandazioni per la redazione della “Relazione Geologica” ai sensi delle norme tecniche sulle costruzioni secondo quanto approvato con delibera n.1 del 14/04/2015 dal Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi e con delibera n. 111/2015 del 28/04/2015 del C.N.G..
- Associazione Geotecnica Italiana “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito” (1977).



## A. RELAZIONE GEOLOGICA R1 e R3

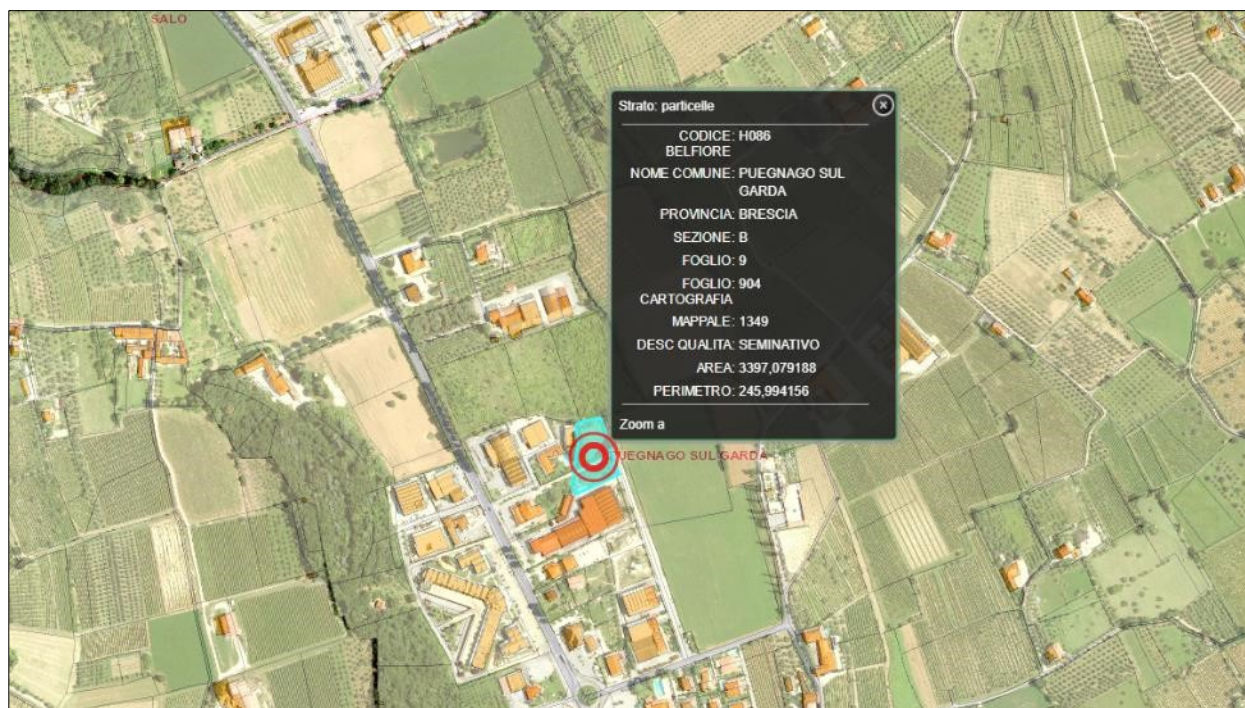
### 2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Nel presente capitolo viene redatto, sulla base di tutti i dati raccolti in letteratura, un inquadramento geografico-geologico, geomorfologico, idrografico ed idrogeologico generale e di dettaglio, dell'area di progetto.

#### 2.1 Inquadramento Geografico e Geologico

L'area di intervento, identificata dal *Mappale n°1349 del Foglio 9*, è ubicata in Via Squassa presso Loc. Raffa, a circa 2 km in direzione W rispetto alla sponda occidentale del Lago di Garda, nel settore nord-orientale del territorio di Puegnago d/G in, a circa 500 m in direzione SE rispetto al confine con il comune di Salò. (**Fig. 1**).

Il lotto d'interesse, in particolare, è individuato nella CTR RL (*Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia*) alla scala 1:10.000 nella tavola D5e5 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5048314,16 latitudine N - 1619117,26 longitudine E.



**Fig. 1** - Individuazione dell'area oggetto d'interesse su mappa catastale (fonte Viewer Geografico Regione Lombardia).

Il territorio d'interesse è inserito all'interno della regione del Basso Garda Bresciano e si estende tra le cerchie moreniche originate nel Quaternario a seguito del ritiro dei ghiacciai alpini canalizzati nel solco strutturale gardesano preesistente.

Le cerchie moreniche, con andamento circa concentrico rispetto alla linea di costa del lago, segnano le diverse fasi di espansione dei ghiacciai. Da un punto di vista cronostratigrafico le cerchie moreniche possiedono in linea generale età crescente

allontanandosi dalla linea di riva. I depositi glaciali di cordone di età wurmiana e rissiana, degradanti verso il lago, costituiscono le cerchie più interne del Garda.

Nelle piane interposte tra i cordoni morenici principali sono per lo più presenti depositi fluvioglaciali o di contatto glaciale, sovrastanti il substrato morenico più antico, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con frazione limoso-argillosa variabile. Durante lo scioglimento delle masse glaciali, infatti, si originavano torrenti fluvioglaciali che smantellavano i cordoni morenici già formati e deponevano il materiale nelle depressioni rimaste entro le diverse cerchie. Nell'ambito dei depositi glaciali e fluvioglaciali, si riscontrano in ogni caso accentuate variazioni litologiche sia laterali che verticali. Studi stratigrafici recenti ("Paleosols and vetusols in the central Po plain -Northern Italy- a study in quaternary Geology and Soil Development" – Cremaschi M., Ed. Unicopli, Milano, 1987) attribuiscono i depositi morenici e fluvioglaciali affioranti nell'area di Desenzano d/G-Padenghe s/G all'Unità di Solferino del Pleistocene Superiore. Le Unità Geologiche affioranti sono riconducibili depositi glaciali e fluvioglaciali. L'Unità di Solferino risulta piuttosto estesa ed articolata e presenta diverse Unità Moreniche intervallate da piane fluvioglaciali. Il ritiro del ghiacciaio solferinese, doveva quindi avvenire lentamente e secondo pulsazioni ripetute e fasi di stazionamento successive. A questa unità sono riconducibili infatti numerose cerchie moreniche, cui si interpongono piane fluvioglaciali ad andamento meandriforme e/o depressioni intramoreniche.

Il sito d'intervento è posto entro l'ambito di piana fluvioglaciale che si estende con discreta continuità ma con andamento articolato dal Crociale di Manerba verso il Crociale di Raffa di Puegnago e verso Cunettone-Villa di Salò, seguendo l'allineamento dei principali cordoni morenici; in particolare l'area d'interesse si colloca entro un lembo pianeggiante interposto tra la collina di Raffa, ad Est, e la collina di M.te Croce, ad Ovest.

La successione stratigrafica delle unità litologiche della zona può essere così schematizzata dalla più antica alla più recente:

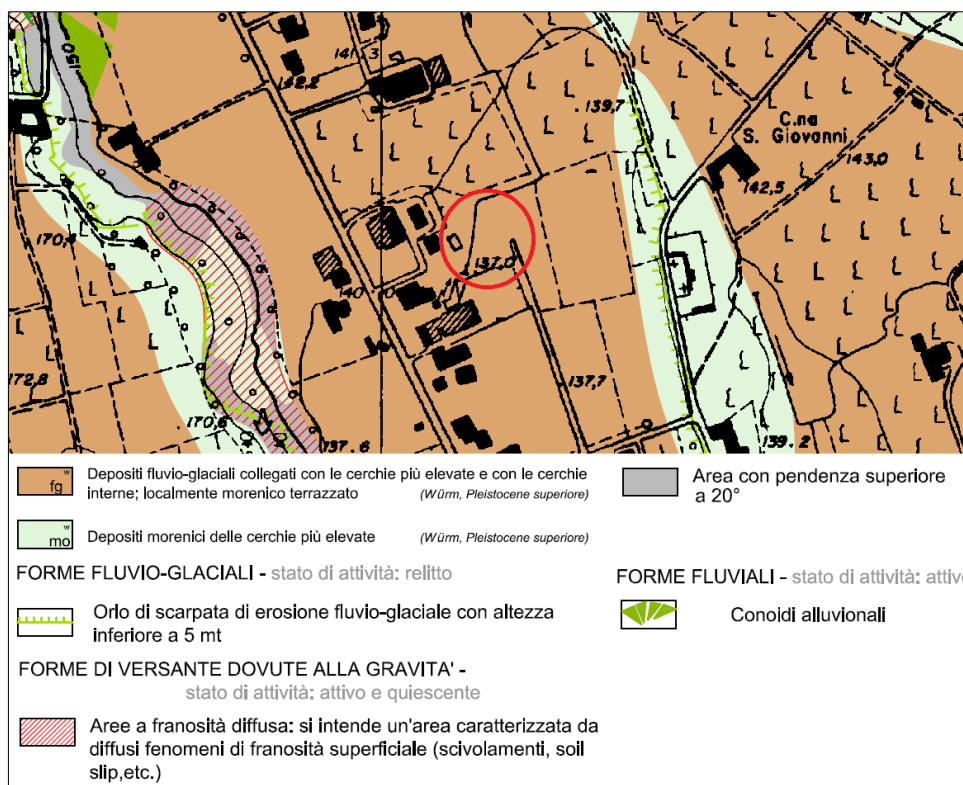
#### DEPOSITI GLACIALI

Si tratta di depositi eterogenei per natura e granulometria, caratterizzati da potenti sequenze deposizionali sabbioso-limoso-argillose sovraconsolidate, con ghiaia in percentuale variabile, alternate secondo intervalli e lenti discontinui. Questi terreni possiedono una marcata variabilità laterale, che determina la presenza di frequenti livelli e/o corpi stratificati grossolani. Entro i depositi morenici si trovano talvolta anche grossi massi di dimensioni notevoli (trovanti). Affiorano nei rilievi collinari esterni all'area d'intervento.

#### DEPOSITI FLUVIOGLACIALI

Presentano un minore assortimento granulometrico rispetto ai depositi morenici; la presenza di termini grossolani, quali ghiaie e sabbie, è da mettere in relazione alla selezione idraulica operata dall'ambiente deposizionale di tipo fluvioglaciale contraddistinto generalmente da corsi d'acqua competenti la cui genesi è connessa allo scioglimento delle masse glaciali. Affiorano estesamente entro il sito d'intervento.

L'area in esame è caratterizzata, in superficie da depositi di prettamente Fluvioglaciali (**Fig. 2**), di natura ghiaioso-sabbiosa. Localmente possono essere presenti coltri di terreno rimaneggiato correlabili agli interventi antropici (terrazzamenti legati ad attività agricole o di ambito turistico).



**Fig. 2 - Stralcio della "Carta Geologica e Geomorfologica" (Tav. 1), allegata allo Studio Geologico del P.G.T., con ubicazione dell'area d'interesse.**

## 2.2 Assetto Geomorfologico

L'assetto geomorfologico della zona è caratterizzato dalla presenza di cordoni morenici ad orientazione prevalente NW-SE e NNW-SSE, cui si interpongono settori pianeggianti intermorenici di contatto glaciale e/o più francamente fluvio-glaciali.

L'arretramento delle lingue glaciali secondo più fasi di stazionamento, può aver comportato infatti la formazione di depressioni o di piane di contatto tra archi morenici adiacenti, cui si correlano rispettivamente condizioni di ristagno d'acqua ed individuazione di depressioni intermoreniche e laghi di fronte glaciale o erosione di vasti terrazzi pianeggianti delimitati da orli di scarpata di contatto glaciale. In alcuni casi il modellamento dei cordoni morenici è avvenuto ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali in grado di erodere e mobilitare parzialmente i depositi morenici precedentemente deposti. Talora le cerchie moreniche appaiono discontinue a seguito dell'azione di sfondamento praticata dagli stessi corsi d'acqua fluvio-glaciali. Con il passaggio verso le attuali condizioni climatiche i fenomeni geomorfici legati all'idrografia superficiale ed alla gravità si sostituirono a quelli glaciali, apportando modifiche al paesaggio. In corrispondenza delle originarie piane o depressioni intermoreniche fenomeni di impaludamento e di ristagno d'acqua possono determinare localmente la formazione di aree palustri, torbiere e stagni.

L'area in esame è posta entro la fascia pianeggiante allungata in direzione N/NW-S/SE tra il versante orientale della collina di Raffa ed il versante occidentale dell'allineamento collinare di Monteacuto e Monte Mondero. Nello specifico il lotto di progetto risulta pianeggiante e non è interessato da fenomeni geomorfici in atto e/o potenziali e risulta pertanto stabile.



## 2.3 Caratteri Idrogeologici locali

**L'assetto idrogeologico** del territorio di Puegnago del Garda è fortemente condizionato dalla presenza di una vasta area riconducibile ad un ambito morenico, piuttosto articolato con presenza di numerose cerchie collinari interrotte da piane intramoreniche e/o fluvioglaciali ad andamento sinuoso e con sedimenti di spessore variabile e per lo più contenuto, che costituiscono la cerchia interna più prossima al Lago.

Nell'area di pertinenza dell'anfiteatro morenico interno si possono riconoscere falde superficiali sospese (settori collinari) o, più limitatamente, freatiche (settori pianeggianti). Le prime possono generare acquiferi discontinui e poco produttivi circolanti al tetto di livelli limoso-argillosi impermeabili, a poca profondità e con direzioni di flusso congrue con la topografia e generalmente di bassa potenzialità, alimentati prevalentemente dalle precipitazioni meteoriche. Le seconde possiedono generalmente scarsa produttività e alimentazione legata agli apporti delle acque di diretta infiltrazione, dei corsi d'acqua provenienti dai versanti delle cerchie moreniche e/o dalle falde sospese circolanti nei depositi glaciali dei settori collinari.

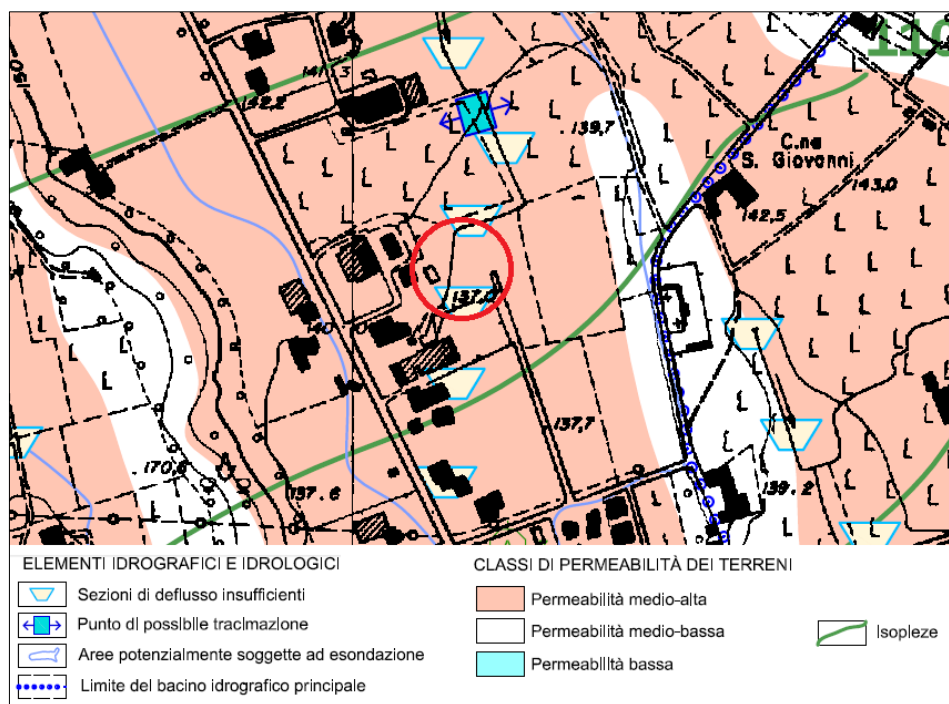
In corrispondenza dell'area oggetto di interesse, la falda freatica risulta entro i depositi fluvioglaciali grossolani (-22,0/-27,0 m circa dal p.c. – vedi stratigrafia pozzo in allegato), e costituisce un acquifero freatico continuo, di buona produttività. L'alimentazione è legata agli apporti delle acque di diretta infiltrazione, di quelle raccolte dai versanti delle cerchie moreniche e dalle falde sospese circolanti nei depositi morenici. Nella piana fluvioglaciale che si allunga in direzione circa N-S, dal Crociale di Manerba al Crociale di Cunettone, la soggiacenza della falda freatica si attesta ad alcune decine di metri dal p.c. (25-30 m), in relazione al maggiore spessore raggiunto dai depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi (**Fig. 3**). Nelle depressioni intramoreniche meno estese, la falda freatica presenta un andamento più marcatamente discontinuo, talora con bassa soggiacenza dal piano campagna. Il livello piezometrico subisce in ogni caso delle naturali oscillazioni stagionali in funzione della piovosità. Il deflusso sotterraneo della falda freatica segue in generale un debole gradiente topografico in direzione degli elementi idrografici drenanti.

## 2.4 Rete Idrografica locale

L'**idrografia** della zona di interesse è poco sviluppata, con impluvi poco accentuati, sede naturale di recapito delle acque meteoriche. In generale i corsi d'acqua individuabili nell'area collinare del territorio comunale hanno come unico recapito il Lago di Garda e il loro andamento è piuttosto diversificato. Nell'attraversamento delle piane fluvioglaciali le aste idriche si presentano con modeste pendenze e lenti deflussi delle acque, viceversa quando solcano i rilievi morenici mostrano forti pendenze e alvei più incisi.

Presso l'area di progetto si segnala la presenza di un corso d'acqua, denominato Fosso Riotto, afferente al R.I.M. di competenza comunale, il quale scorre in adiacenza al limite settentrionale ed occidentale di proprietà, per il quale viene istituita una fascia di rispetto di larghezza pari a 10 m (vedi **Fig. 19** Stralcio della "Carta dei Vincoli"). Si sottolinea in merito che gli edifici di progetto, così come previsti nelle Tavole Progettuali preliminari, non interferiscono con tale elemento del reticolo idrico descritto e non ricadono quindi all'interno della fascia di rispetto, per esso istituita.





**Fig. 3 -** Stralcio della “Carta Idrologica e Idrogeologica” (Tav. 2), allegata allo Studio Geologico di Puegnago del Garda, con ubicazione dell’area d’interesse.

Secondo la *Carta Idrologica e idrogeologica* (**Fig. 3**), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. di Puegnago, in corrispondenza del suddetto corso d’acqua, ed in particolare nel punto di immissione nel tratto intubato (a Sud del lotto di interesse) e nel tratto che scorre a Nord dell’area di proprietà, si segnalano sezioni di deflusso insufficienti.

A riguardo è stato eseguito un rilievo di dettaglio dello stato dei luoghi e del grado di efficienza del corso d’acqua afferente al RIM di competenza comunale, che borda Nord e a Ovest il lotto di progetto, quest’ultimo posizionato in sinistra idrografica (**Fig. 4**).



**Fig. 4 -** A) dettaglio immissione del corso d’acqua, afferente al RIM di competenza comunale, verso il tratto intubato; B) tratto del corso d’acqua ben mantenuto sul limite Ovest del lotto; C) tratto posto a Nord dell’area di interesse non mantenuto.

A riguardo si specifica che il tratto di corso d'acqua che scorre in fregio al limite di proprietà occidentale, è costituito da una canaletta in cemento e, alla data delle indagini, risulta ben mantenuto e pienamente efficiente (*Fig. 4 B*). L'immissione entro il tratto intubato (*Fig. 4 A*), che prosegue verso Sud fino ad intercettare la sede stradale della S.S. 572, risulta libera da eventuali occlusioni e per il suo corretto dimensionamento si rimanda a specifiche considerazioni degli estensori dell'aggiornamento dello Studio del Reticolo Idrografico.

A Nord del lotto di progetto è stata evidenziata una mancanza di manutenzione del suddetto corso d'acqua (*Fig. 4 C*), principalmente in riferimento alla fitta vegetazione arbustiva presente in corrispondenza dell'alveo fluviale.

In ultima analisi, si ritiene che, escluso quest'ultimo tratto, per il quale si rende necessaria una manutenzione ordinaria da parte dell'ente competente in materia, non si segnalano problematiche di natura idraulica e il lotto di progetto non risulta attualmente interessato da fenomeni di esondazione o di sovralluvionamento.

Il deflusso idrico superficiale nell'area di indagine ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale verso il settore del territorio ribassato, che si sviluppa ad Est del lotto di progetto, non sovraccaricando, mediante scarichi o punti di collettamento, il suddetto corso d'acqua.

## **2.5 Piano di Gestione Rischio Alluvioni**

Il **Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)** è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, in particolare dal d.lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico.

Per **alluvione** si intende qualsiasi evento che provoca un allagamento temporaneo di un territorio non abitualmente coperto dall'acqua, purché direttamente imputabile a cause di tipo meteorologico. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA-Po).

Il PGRA, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017.

I dati in termini di pericolosità e di rischio da alluvione, in attuazione a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 e dai successivi indirizzi del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, come previsti nell'ultimo Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po, individuano l'area oggetto d'interesse all'interno dello scenario di Pericolosità bassa "L" (P1) riferita al bacino principale Sarca-Mincio e secondario del Benaco (RSCM), caratterizzato da una scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (*Fig. 5*).

Di conseguenza per quanto riguarda la classe di rischio, il sito progettuale ricade nei settori di Rischio moderato "R1" (porzione centrale e settentrionale del lotto) e medio "R2" (porzione meridionale) con relative classi di danno "D1" e "D2".



Tali settori risultano correlati alla perimetrazione riportata nella “*Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano*” (Tav.5) allegata alla componente Geologica, Idrogeologica e sismica del P.G.T. del comune di Puegnago d/G, e riguardano “*aree interessate da potenziali fenomeni di esondazione e di sovralluvionamento*” per i quali si richiedono valutazioni inerenti la mitigazione di potenziali esondazioni ed alla eventuale insufficienza della rete scolante superficiale. Si specifica che le suddette tematiche sono state affrontate all’interno del presente studio (par. 2.5 e Cap. 5), ed ulteriormente approfondite all’interno dello Studio di Invarianza Idraulica, redatto dallo scrivente per il medesimo sito progettuale, che garantirà, mediante la progettazione di pozzi disperdenti nel sottosuolo, la totale assenza di nuove immissioni nella rete idrografica superficiale delle acque meteoriche derivanti dalle coperture previste dalle opere di progetto proposte.



**Fig. 5 - Stralcio della Mappa degli Scenari di Pericolosità da alluvione e Mappa del Rischio**  
*Alluvioni stralciate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (Ottobre 2016).*  
*Fonte Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia.*

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, in data 13 Marzo 2019 la ditta *Crestana S.r.l.s.* ha eseguito un'indagine geognostica, realizzata e progettata al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✓ Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e verifica della presenza di un'eventuale falda acquifera superficiale (par. 3.1)
- ✓ Modello sismostratigrafico e caratterizzazione sismica del sito (par. 3.2)

L'indagine ha previsto la realizzazione **n° 2 Prove penetrometriche dinamiche (SCPT-DPSH)** e **n°1 trincea esplorativa** per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, **n° 1 stendimento di sismica** multicanale con acquisizione delle onde di superficie, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo **MASW** e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**, per la caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo.

Le indagini sono state eseguite secondo le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle *Raccomandazioni A.G.I. (1977)* ed alla presenza costante del sottoscritto, geologo abilitato.

Nell'ubicazione dei punti d'indagine si è tenuto conto della logistica dei luoghi e dell'ingombro degli edifici progettuali. I dati derivanti dalle prove in situ riassunti nei diagrammi in allegato, sono riferiti al piano campagna dell'area di indagine, presente alla data delle indagini.

#### 3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

##### Metodologia ed attrezzatura di prova

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi  $N_{SCPT}$  necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, attraverso l'utilizzo di alcune correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici. Nello specifico sono state eseguite **n° 3 prove penetrometriche**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dinamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Emilia* - mod. *Pagani TG 63/200*, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm.

Dal valore di  $N_{SCPT}$  (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di  $N_{S.P.T.}$  mediante la relazione:  $N_{S.P.T.} = N_{DPSH}/C$ .

Il coefficiente  $C$  è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata.



<b>Penetrometro dinamico-statico super pesante</b> <b>Tipo: Emilia – Modello: Pagani TG 63-200</b>		
Massa battente (M)	73,0 kg	
Altezza di caduta del maglio (H)	0,75 m	
Avanzamento aste ( $\delta$ )	30 cm	
Apertura punta conica di infissione ( $\alpha$ )	60°	
Diametro punta conica di infissione (D)	50,5 mm	
Base cono di infissione (A)	20 cm <sup>2</sup>	
Diametro batteria d'aste (d)	34 mm	
Lavoro specifico compiuto per ciascuna battuta (L)	234 kJ/m <sup>2</sup>	

**Fig. 6 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.**

### 3.2 Trincee esplorative

#### Metodologia di esecuzione

Entro il medesimo lotto di progetto, è stata eseguita **n° 1 trincea esplorativa**, per la caratterizzazione stratigrafica dei terreni e per l'esecuzione di una prova idrogeologica.

Lo scavo, è stato ubicato in una posizione mediana entro l'ingombro di progetto attuale e ha raggiunto una profondità massima di -1,30 dal p.c. (T1) sufficiente a raggiungere gli obiettivi preposti e ad indagare gli orizzonti stratigrafici superficiali interessati dalla futura posa delle strutture di fondazione.

#### Interpretazione dei dati

Le prove penetrometriche, eseguite all'interno del sito di progetto, sono state spinte ad una profondità massima di -4,50 m rispetto al piano campagna (P2); esse risultano sufficientemente rappresentative dei terreni indagati e risultano correlabili con altre prove eseguite dal sottoscritto in aree limitrofe ed in contesti omologhi a quello di studio.

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH non sono stati riscontrati l'insorgere di fenomeni di adesione-coesione tra le aste e pertanto si è ritenuto opportuno non utilizzare gli appositi rivestimenti. Si specifica che il prematuro rifiuto strumentale delle prove è imputabile alla presenza di grossi ciottoli e/o all'elevato grado di addensamento dell'unità litologica fluvioglaciale attraversata. Le evidenze lito-stratigrafiche delle verticali d'indagine e il grado di addensamento dei terreni attraversati sono di seguito riassunti:

#### **MODELLO GEOLOGICO LOCALE**

	Unità geotecnica	Caratteristiche litologiche	NSPT medio	Denominazione AGI
<b>STRATO 1</b>	Unità S	Terreno Superficiale limoso-sabbioso, asciutto.	6	Scarsamente addensato
da 0,0 a -0,6/-1,2 m				
<b>STRATO 2</b>	Unità FG	Depositi Fluvioglaciali costituiti da Ghiaie sabbiose, con presenza di grossi ciottoli e/o trovanti	30	Da moderatamente a molto addensato
Oltre -0,6/-1,2 m				

Si segnala che durante l'avanzamento delle prove non sono state riscontrate aste umide. Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di acquiferi circolanti nei depositi a media e bassa permeabilità ricchi di frazione sabbioso-ghiaiosa dell'Unità Fluvioglaciale a partire da circa -20,0/-30,0 m dal ripiano campagna generale. Si segnala quindi che fenomeni di circolazione d'acqua non dovrebbero in ogni caso interferire con le operazioni di preparazione dei piani di posa delle fondazioni, superficiali ed eventualmente interrati.

### **3.3 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico**

Per la verifica del comportamento sismico dei terreni di fondazione sono state eseguite specifiche indagini per determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie** con elaborazione dei dati secondo la **procedura MASW** e di **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs<sub>eq</sub>** di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il *D.M. 17/01/2018*, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

#### **ANALISI HVSR**

##### **Cenni sulla metodologia HVSR**

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, nota anche come prova Nakamura (1989), consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

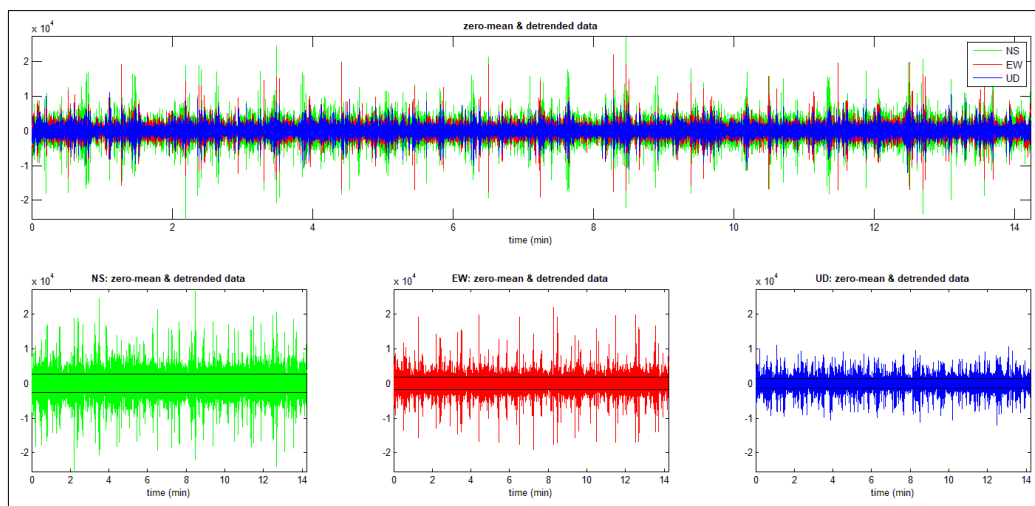
In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza *f<sub>r</sub>* relativa a quella configurazione stratigrafica. Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

##### **Acquisizione dei dati**

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante sismometro a stazione singola, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.



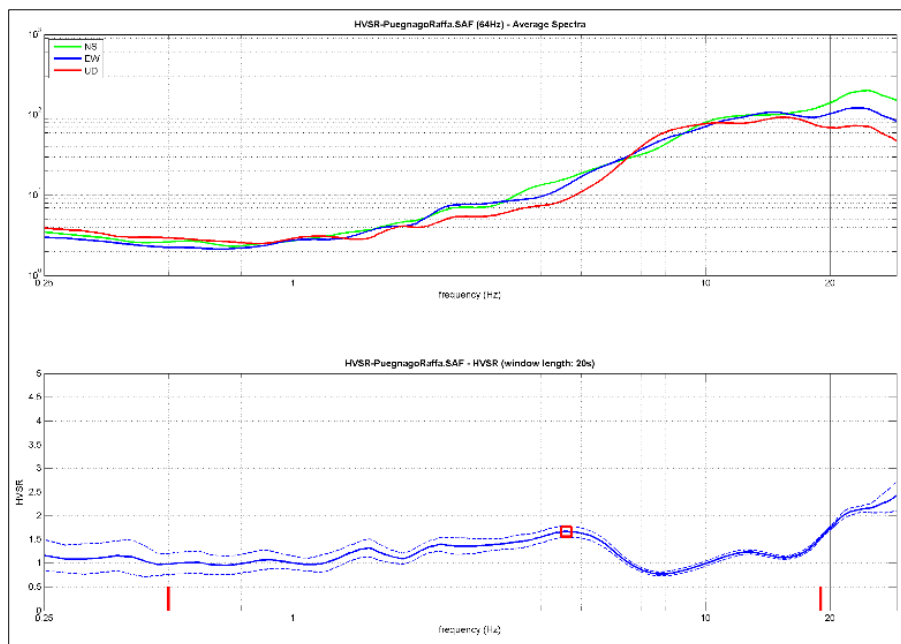
**Fig. 7 - Visualizzazione dei dati originali prima della rimozione di eventi transienti.**

### **Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti**

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.2*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato.
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le N curve HVSR.

I risultati ottenuti sono stati iterativamente verificati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR, durante le fasi di elaborazione della curva stessa.



**Fig. 8 - HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.**

La curva HVSr riportata, indica un picco principale a circa 4,6 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti).

#### **Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)**

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $4.598 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $7449 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

#### **Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)**

- #1.  $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$ : yes (considering standard deviations), at frequency 1.2Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$ : yes, at frequency 7.2Hz (OK)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $1.7 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)
- #5.  $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$ :  $4.086 > 0.230$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.118 < 1.58$  (OK)

#### **Descrizione dei risultati**

Il picco a 4,6 Hz, di ampiezza pari 1,7 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5



criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 4,6 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

L'assenza di picchi di frequenza significativi a profondità di interesse sismostratigrafico per il presente studio è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica, all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

Alla luce di tali ipotesi si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico desunte invece dall'analisi MASW.

## INDAGINE SISMICA MASW

### Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*. Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate, sia le onde di Love, che le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica *MASW* prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio  $V_s$  e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) infatti è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato. Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW con analisi congiunta delle onde di Rayleigh e di Love*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti.

### **Acquisizione dei dati**

L'ubicazione e la lunghezza degli stendimenti sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle opere di progetto. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 2,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 2,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 3 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 12 geofoni a componente verticale. L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta mediante uno stendimento sismico di 12 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 12 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 12 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (*Senshe* con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

### **Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione**

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase. Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 9**). Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love. L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi.

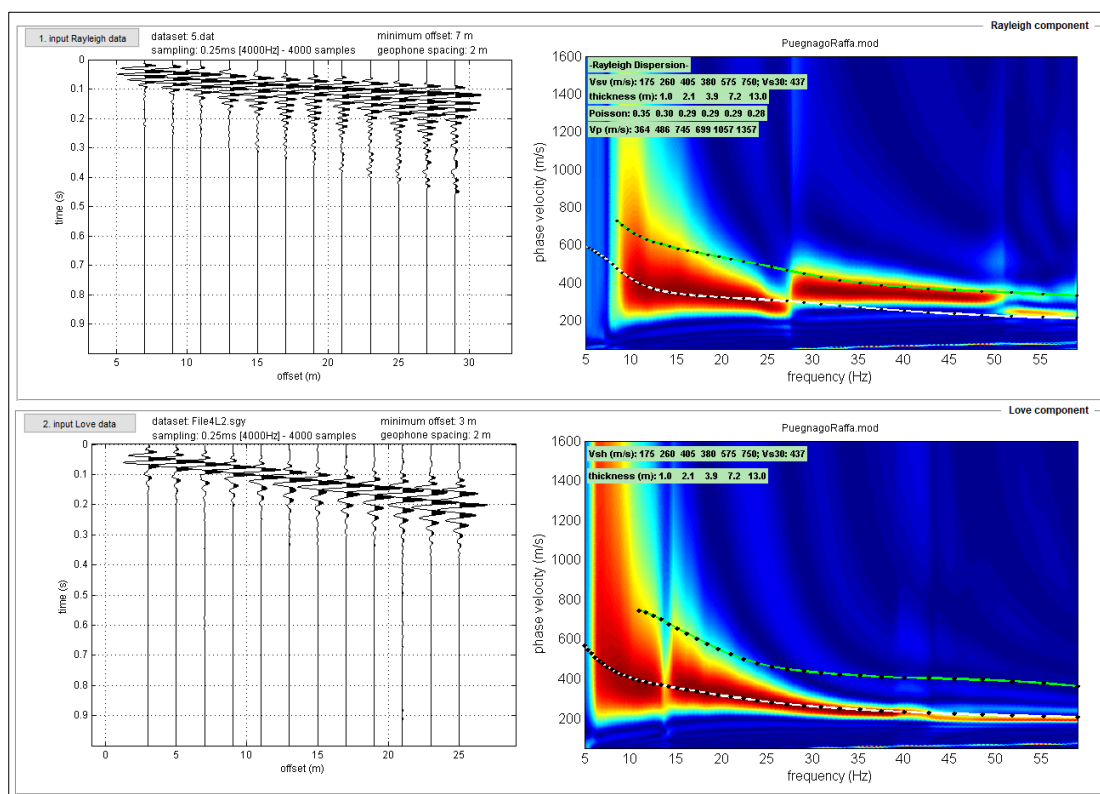
Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti molto differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del

reale andamento dei modi, conducendo all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

### **Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love+HVS**

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna (*sismogramma*).

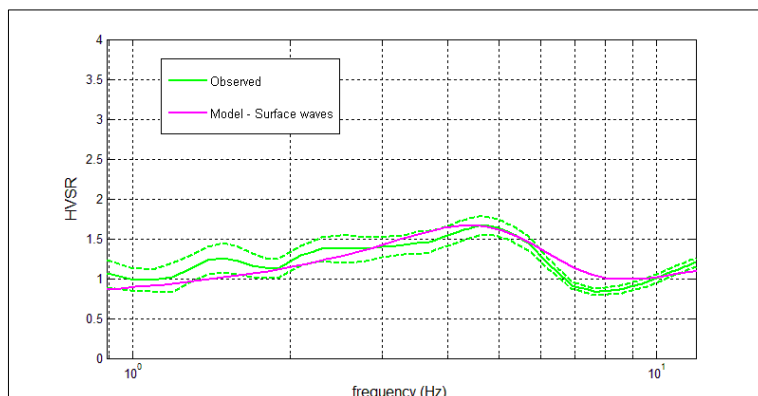
Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso. Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri (*Rayleigh+Love*), al fine di ottenere un solo modello di velocità (**Fig. 9**).



**Fig. 9 - Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale che compone lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).**

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità a medie e basse frequenze (<10 Hz), è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSr. In particolare, è stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità (**Fig. 10**).

Si sottolinea come, solamente l'analisi congiunta MASW+HVSr, abbia consentito di determinare un profilo di Vs completo, potendo superare i limiti di entrambi i metodi; per le indagini MASW l'ambiguità delle Vs dei livelli più profondi (a basse frequenze) e per l'HVSr la non univocità della soluzione.



**Fig. 10** - Confronto tra curva HV sperimentale (verde) e HV teorico modellata (viola), ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato durante l'analisi MASW.

### Modello sismostratigrafico

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love ed in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSr.

Si riportano inoltre le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

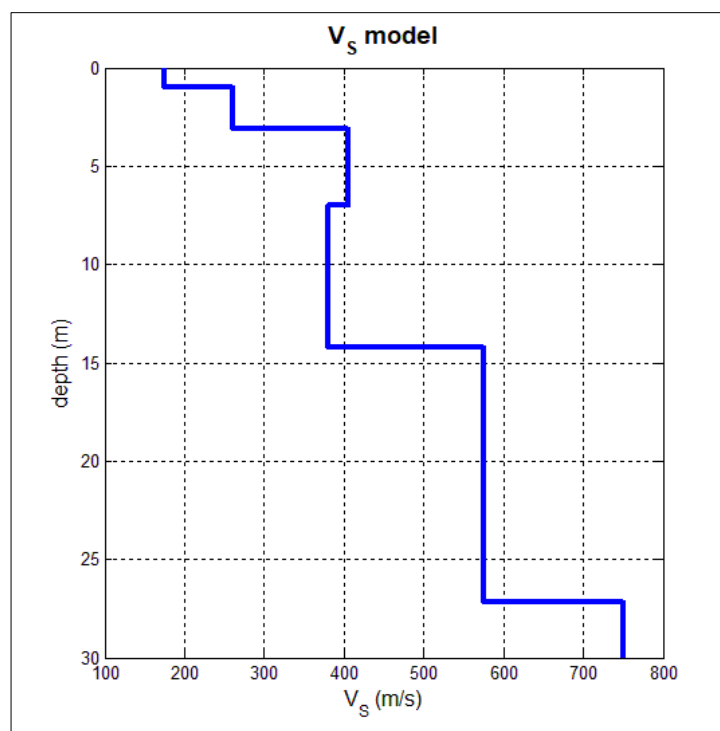
MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Squassa - Puegnago d/G (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	175	1,0	-1,0	1,81	0,35	55
2	260	2,1	-3,1	1,88	0,30	127
3	405	3,9	-7,0	1,98	0,29	325
4	380	7,2	-14,2	1,97	0,29	284
5	575	13,0	-27,2	2,07	0,29	684
6	750	2,8	-30,0	2,13	0,28	1197

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni superiori, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.



D.M. 17/01/2018	V <sub>s,eq</sub> (m/s)	Profondità del bedrock sismico	Categoria di sottosuolo: B
Calcolo eseguito a partire dal p.c.	<b>437</b>	Oltre 30 m	Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II e stimata sulla base del valore di V <sub>s,eq</sub> calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$
Calcolo eseguito a partire da -1,0 m dal p.c.	<b>466</b>	Oltre 30 m	

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto, mediante elaborazione MASW congiuntamente alla modellazione diretta della curva HVSR, fino ad una profondità massima di -30,0 m dal p.c. (**Fig. 11**), utilizzata per il calcolo del parametro V<sub>s,eq</sub>.



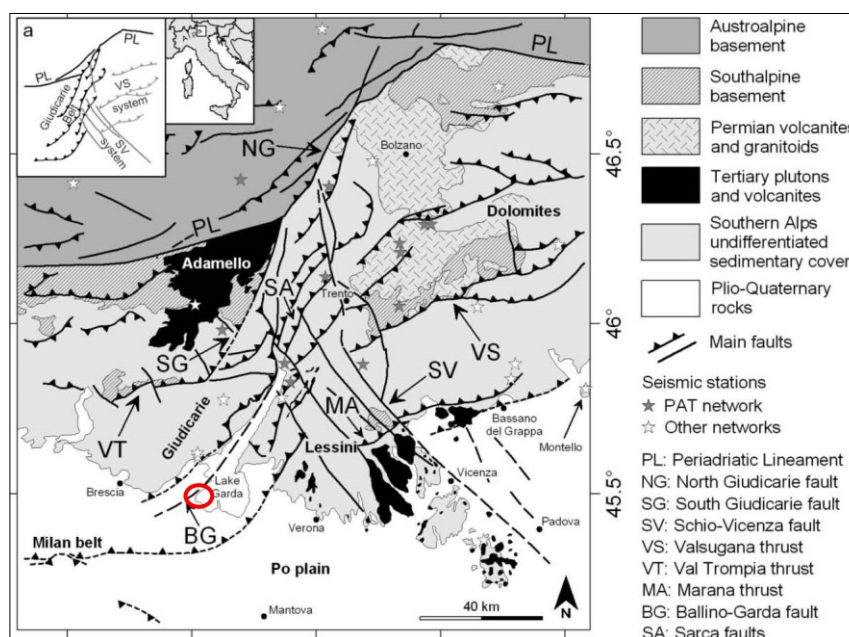
**Fig. 11** - Profilo sismostratigrafico.

## 4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA

### 4.1 Inquadramento sismotettonico

La regione benacense è collocata nel quadro tettonico della formazione delle Alpi, legato ai movimenti della placca euroasiatica e di quella africana, che con la loro collisione produssero l'innalzamento della catena alpina, con formazione della struttura a coltri di ricoprimento. Quest'ultima si interrompe a sud della Linea Insubrica, la quale costituisce il confine tra le Alpi e le Alpi Meridionali che comprendono la regione del Lago di Garda. Il tratto interessato, della Linea Insubrica, alla quale è imputata la formazione dei più importanti elementi strutturali dell'area gardesana, è quella denominata Linea delle Giudicarie. Questa è caratterizzata da strutture aventi direzione NNE-SSW, tra le quali, l'elemento più noto, è la doppia piega anticlinale e sinclinale del monte Baldo, situato lungo la sponda est del lago. Il sistema giudicariense è caratterizzato da sovrascorrimenti con presenza di faglie trasversali, che determinano un assetto strutturale irregolare (**Fig. 12**).

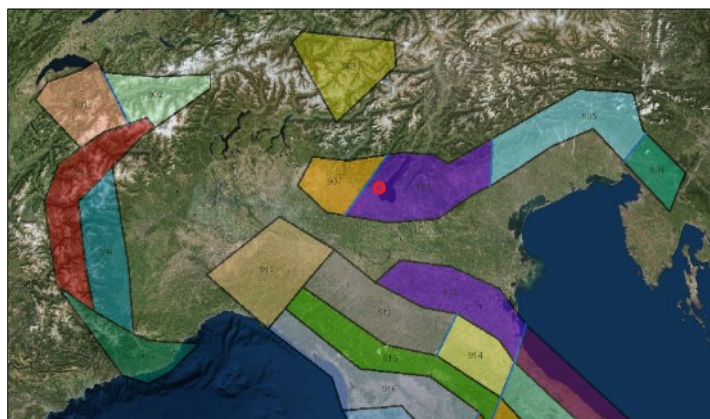
In particolare, gli affioramenti del substrato roccioso nel Medio e Basso Garda sono da mettere in relazione ad un pronunciato sistema di *thrust*. Tra gli affioramenti delle formazioni paleogeniche, collegate a questo sistema strutturale, rientrano quelle affioranti nella parte settentrionale della penisola di Sirmione. Tale sistema tettonico è correlabile principalmente a fasi compressive neogeniche, ma l'attività tettonica persiste anche durante il Plio-Pleistocene e l'Olocene, così come documentato dalla sismicità storica e recente dell'area gardesana.



**Fig. 12** - Schema tettonico delle Alpi meridionali (tratta dal Viganò et al. 2009).

## 4.2 Sismicità locale

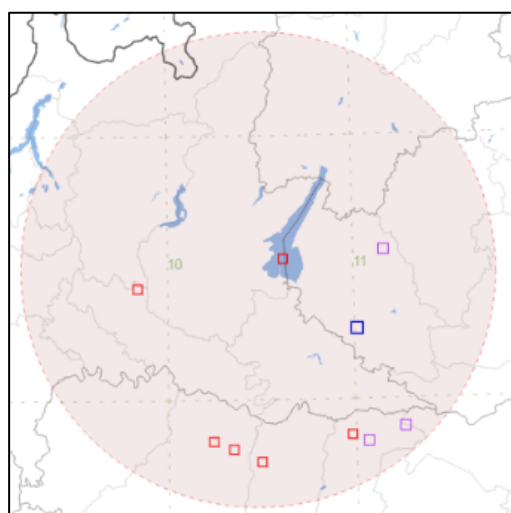
L'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente, nella porzione del Garda, si risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree epicentrali dei forti terremoti storici, che colpiscono le provincie di Brescia e Verona. Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.



Gli eventi sismici storici sono consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI15 - progetto INGV-T3 anno 2016) e sono assegnati mediante l'individuazione della "Zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. 13) - App. 2 al Rapporto Conclusivo - Marzo 2004" a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV)

**Fig. 13 -** Schema Zonazione Sismogenetica ZS9  
(tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

L'area in esame, secondo il modello sismotettonico riassunto nella zonazione sismogenetica ZS9, ricade nella zona sorgente 906. Per tale zona sorgente e per quelle limitrofe, si elencano i terremoti, con epicentro collocabile in un'area circolare di raggio pari a circa 100 km e centro in corrispondenza del **Comune di Puegnago del Garda**:

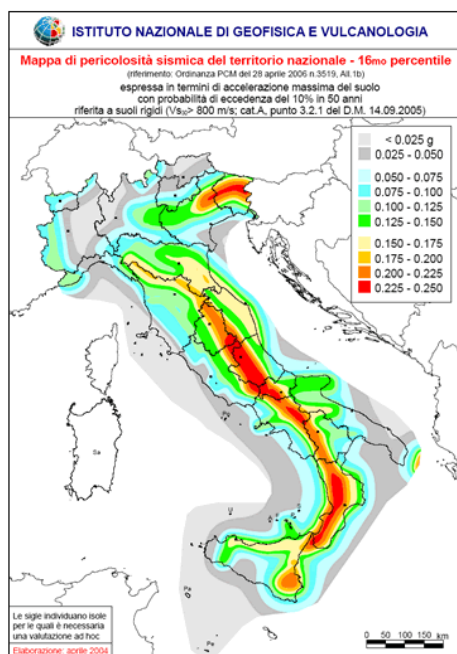


Anno	Me	Gi	Mo	Mi	Se	Area epicentrale	MMDF	Io	Mw
1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
1222	12	25	12	30		Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
1438	06	11	02			Parmense	4	8	5.56
1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
1891	06	07	01	06	14	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
1971	07	15	01	33	23	Parmense	228	8	5.51
2012	05	20	02	03	50	Pianura emiliana	53	7	6.09
2012	05	29	07	00	02	Pianura emiliana	87	7-8	5.90
2012	05	29	10	55	56	Pianura emiliana			5.50

**Fig. 13 -** Catalogo multiparametrico dei terremoti italiani con magnitudo ( $M_w$ ) > 5,5 verificatisi in un'area di raggio pari a 100 km dall'area d'indagine (CPTI15 - progetto INGV-T3 anno 2016).

#### 4.3 Normativa sismica vigente

Con il Testo Unico (D.M. 14/01/08), entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del DL 39/2009 (Decreto "Abruzzo"), è divenuto vigente l'obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica. In particolare, con l'Allegato A sono state adottate definitivamente le stime di pericolosità sismica del progetto S1 già comprese nella citata Ordinanza 3519/2006 (**Fig. 14**). Accedendo



al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, si possono scaricare i dati di pericolosità sismica rappresentati dai valori di  $a_g$  per diverse frequenze annuali di superamento, relativamente ai 10751 punti di una griglia in cui è stato diviso il territorio nazionale. Per qualsiasi punto del territorio Italiano è quindi possibile calcolare i parametri di azione sismica grazie a formule di interpolazione definite nella Circolare esplicativa 617/09. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale sulla base di 4 zone sismiche. Il concetto di zona sismica comunale tuttavia mantiene una funzione prevalentemente amministrativa così come chiarito, dalla DGR Lombardia 9/2616/2011 e come regolamentato dalle recenti normative regionali in termini di nuova classificazione sismica (D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129) e di normative di indirizzo per la vigilanza sulle costruzioni in zona sismica (LR 33/2015, e DGR 5001/2016).

**Fig. 14** - Mappa di pericolosità sismica secondo l'OPCM n. 3519 del 28/4/2006.

La redazione della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (espressa come accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) allegata all'O.P.C.M. n. 3519/2006 indica che il comune di **Puegnago sul Garda** risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica  **$a_g$  compresa tra 0,150g e 0,175g** (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferibile quindi a una **Zona sismica 2**.

La D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 che ha aggiornamento recentemente le zone sismiche in Regione Lombardia, ha lasciato tutto il territorio del Comune di Puegnago del Garda in Zona sismica 2, indicando un valore di  $a_{gmax}$  pari a 0,159g.

#### 4.4 Azione sismica di progetto

Per la valutazione dell'Azione Sismica sono stati utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/18. In questo paragrafo si affrontano quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, le eventuali prescrizioni sismiche di pianificazione urbanistica e, considerando le apposite analisi sismiche e geomorfologiche, si forniscono la Cat. di Sottosuolo e la Cat. Topografica di sito, che potranno essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione prevista. Mediante il foglio elettronico Excel "Spettri-NTC (ver. 1.0.3)" è stato possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica utilizzabili per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV. Per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, è



necessaria la conoscenza e la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti dell'opera di progetto.

È stata infine presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018.

### ■ **Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica**

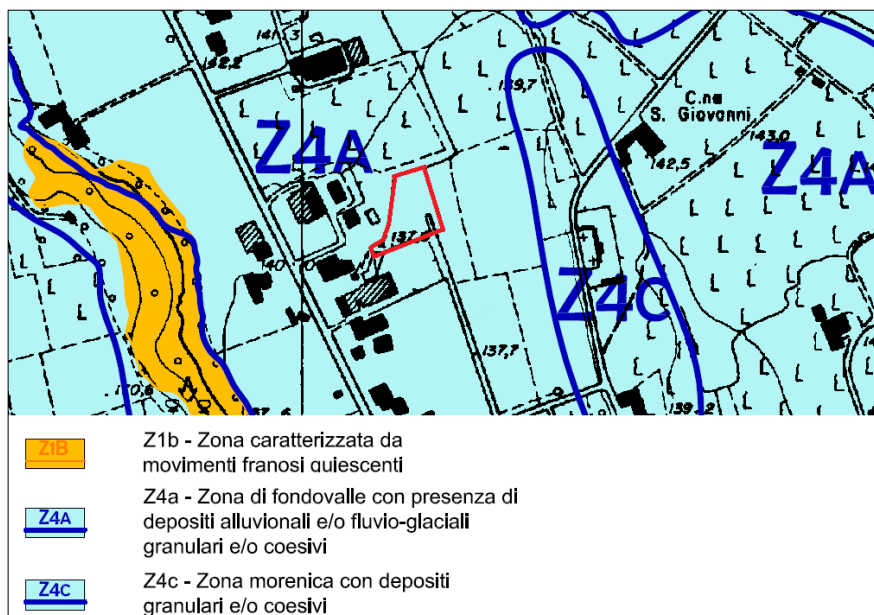
Viene di seguito eseguita la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle norme tecniche allegate al D.M. 17/01/18 ed in particolare tenendo conto di quanto indicato nella *Tabella 3.2.II* (Categorie di sottosuolo), allegate al testo unico.

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 3.2.1 del D.M. 17/01/18:

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

Secondo il D.M. 17/01/18, quindi, e tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica MASW eseguita all'interno del lotto di progetto, è stato calcolato un valore di  $V_{s,eq}$  pari a 437 m/s e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una "categoria di sottosuolo B", confermata anche se si considerasse un piano di posa delle fondazioni posto a circa -1,0 m dal p.c. (profondità delle fondazioni previste rispetto al settore in corrispondenza del quale è stato eseguito lo stendimento simico).

Dal punto di vista della *Pericolosità Sismica Locale* l'area d'intervento è stata classificata, nella "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Puegnago del Garda, entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4a** (**Fig. 15**) definita come "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".



**Fig. 15** - Stralcio della "Carta di Pericolosità Sismica Locale"  
allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 8/7374/2008). Si ritiene che la D.G.R. 9/2616/2011, di aggiornamento alla D.G.R. 8/7374/2008 non comporti modifiche alle procedure regionali e che pertanto i relativi risultati possano essere considerati validi.

Secondo l'approfondimento di II livello comunale citato, il lotto di progetto ricadrebbe in un'area in cui sono segnalati, sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s, valori di Fa di sito risultano inferiori ai valori di Fa di soglia previsti per la categoria di sottosuolo considerata (Categoria B) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica ( **$FAC < FAS$** ).

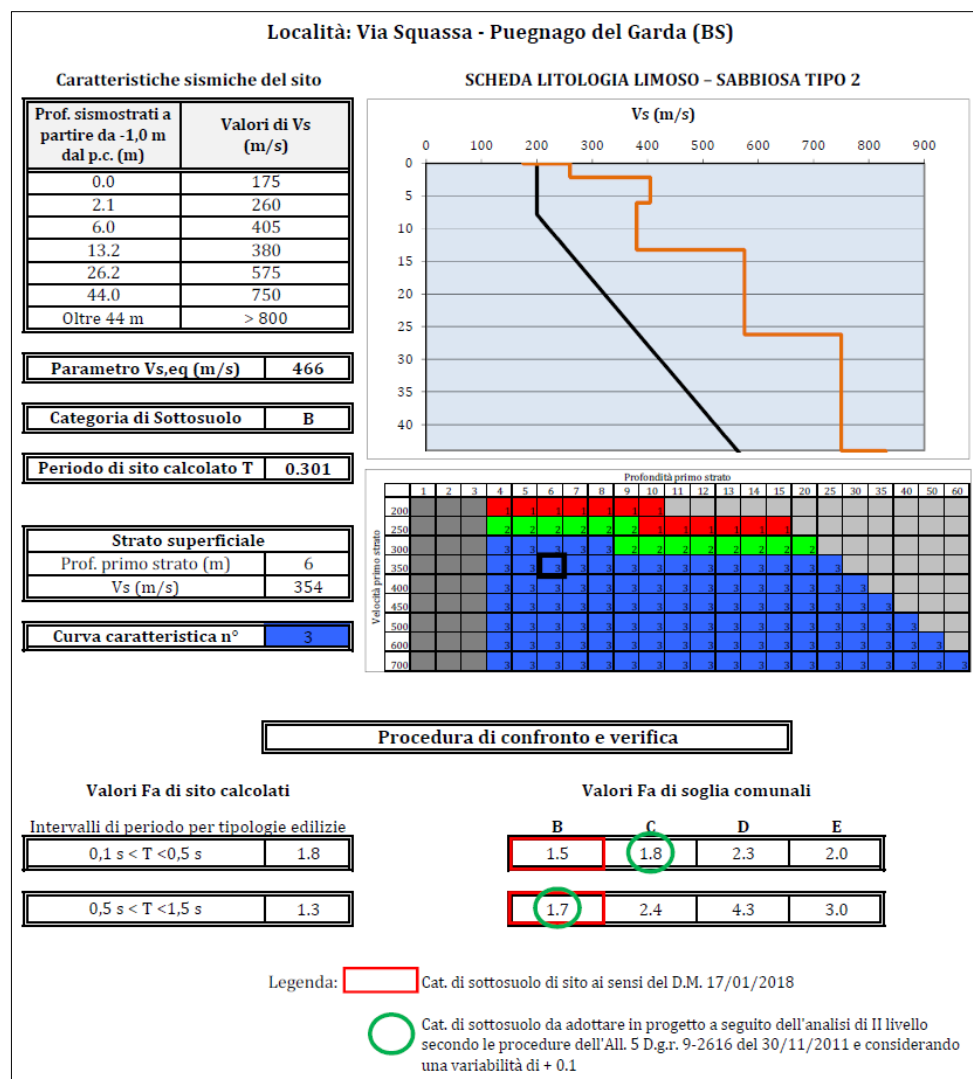
Considerato che per lo scenario di Pericolosità sismica individuato la normativa prevede possibili fenomeni di amplificazione litologica, e avendo a disposizione un profilo sismostratigrafico dell'area oggetto di studio, è **stato scelto di eseguire comunque un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011)**, utilizzando il profilo sismico riportato nel par. 3.2 del presente studio.

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico medio partendo dal piano di posa delle fondazioni, sono stati riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici". Rispettando soprattutto i campi di validità e le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (Fa) rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla *litologia "limoso-argillosa tipo 2 – Curva 3"*, di cui si riporta l'esplicazione grafica ed analitica (**Fig. 16**).

Si specifica che, per i limiti intrinseci della metodologia d'indagine utilizzata e della tipologia della successione stratigrafica del sito in esame, non è stato possibile raggiungere il bedrock sismico ( $V_s \geq 800$  m/s), utile per il calcolo del periodo di vibrazione del sito (T). Per questo motivo, la ricostruzione dell'andamento dei valori di Vs fino al valore di 800 m/s è stata stimata sulla base del gradiente di Vs nei primi 30 m indagati e considerando la presenza di precisi strati ipotizzabili rigidi, e quindi associabili al univocamente al bed rock sismico, come desunto dalla stratigrafia del Pozzo 1 in allegato, terebrato in vicinanza e in un contesto omologo a quello dell'area oggetto di studio. Considerando quindi il gradiente di Vs, e la stratigrafia del Pozzo 1, il bedrock sismico è stato assegnato ad una profondità di -45 m dal piano di riferimento considerato (p.c.).

I risultati ottenuti, per il calcolo del fattore di amplificazione Fa, tenendo conto della variabilità di +0,1 concessa dalla Regione al metodo utilizzato, indicano che per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s, è stato calcolato un valore di Fa di sito inferiore al valore di Fa di soglia previsto per la categoria di sottosuolo "B" e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica ( **$FAC \leq FAS$** ). Al contrario per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s, si ottiene un valore di Fa di sito superiore al valore di Fa di soglia comunale. Sarà quindi necessario assumere in progetto la **Categoria di Sottosuolo "C"** ( **$FAC \geq FAS$** ) e i relativi parametri sismici.

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche facendo riferimento alla tabella 3.2.III del D.M. 17/01/2018 e analizzando la cartografia dell'area di studio a scale da 1:5.000 a 1:10.000, si ritiene che il sito di progetto è inserito in un contesto caratterizzato da una morfologia debolmente acclive con inclinazione media  $< 15^\circ$ . Si potrà dunque tenere conto di una **categoria topografica T1**, alla quale, secondo quanto riportato nella sopracitata Tabella 3.2.III, corrisponde un coefficiente topografico  $S_T$  pari a **1,0**.



**Fig. 16 - Stima degli effetti litologici - Analisi di 2° livello**  
secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.G.R. 9-2616 del 30/11/2011.

### ■ **Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)**

Attraverso il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, partendo dall'identificazione geografica del punto mediano del sito di progetto (**Longitudine: 10,526394 - Latitudine: 45,577992**), sono stati stimati, per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) relativi alla Pericolosità Sismica.

Per l'analisi dell'azione sismica di progetto sono stati utilizzati i parametri di seguito riassunti. In funzione delle scelte progettuali adottate è stata considerata un'opera di **Classe d'Uso II** con vita utile 50 anni.

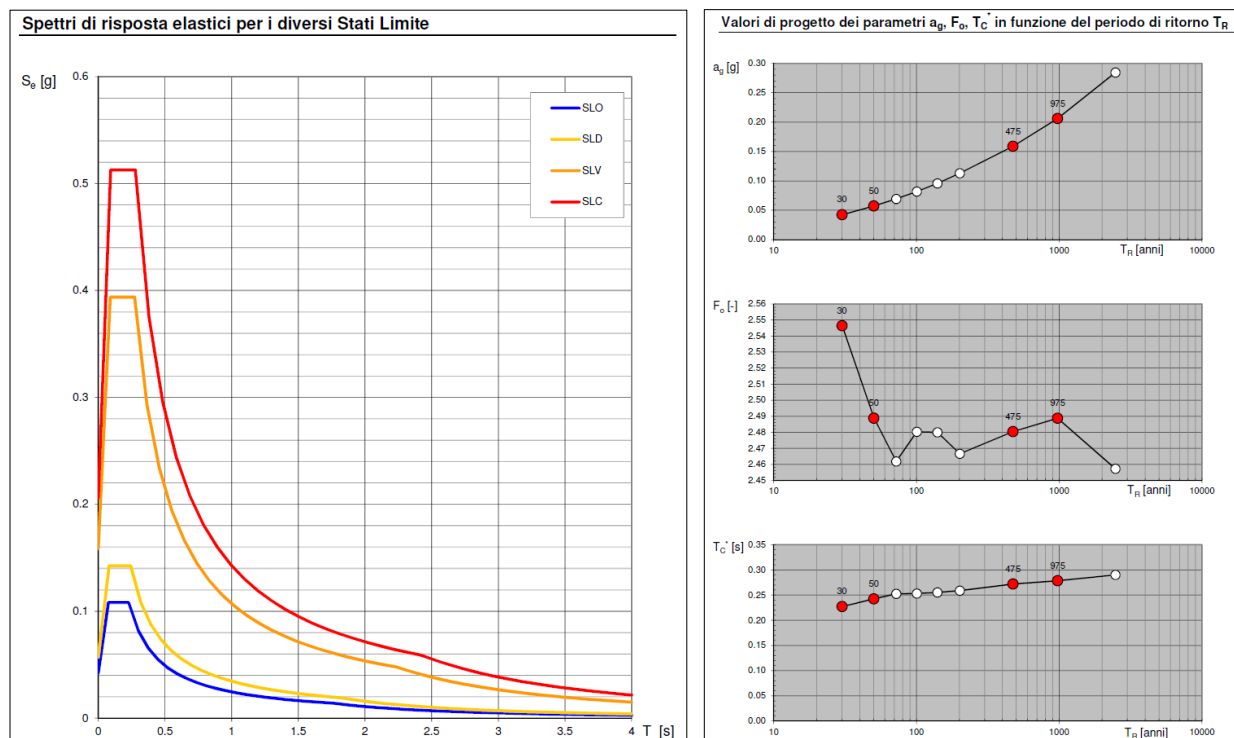
Categoria di sottosuolo	C			
Categoria Topografica	T1			
Fattore di amplificazione morfologica St	1,0			
Classe d’uso dell’edificio	II			
Vita Nominale della costruzione (in anni) - V <sub>N</sub>	50			
Coefficiente d’uso della costruzione - C <sub>U</sub>	1,0			
Periodo di Riferimento per la costruzione (in anni) T <sub>R</sub>	SLO 30	SLD 50	SLV 475	SLC 975

Parametri di input per la determinazione dell'azione di progetto.

Vengono di seguito riportati i valori dei parametri sismici normativi ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) relativi alla pericolosità sismica, calcolati secondo la strategia di progettazione ordinaria.

STATO LIMITE	TR (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
SLO	30	0.042	2.546	0.227
SLD	50	0.057	2.489	0.242
SLV	475	0.159	2.480	0.272
SLC	975	0.206	2.489	0.278

Si allegano inoltre gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL e i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$  associati a ciascun SL (**Fig. 17**).



**Fig. 17 - Spettri di risposta elastici e diagrammi di variabilità di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ .**

### **Amplificazione Stratigrafica (Ss)**

L'influenza del profilo sismostratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valutata con riferimento alla categoria di sottosuolo. Per l'intervento di progetto e per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si riportano i seguenti valori di *coefficiente di amplificazione stratigrafica (Ss)* e di *coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo (Cc)*. Questi sono stati calcolati in funzione di  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite dalla *Tabella 3.2.IV* del D.M. 17/01/18.

Categoria di sottosuolo C					
SLD	Ss	1,500	SLV	Ss	1,464
	Cc	1,676		Cc	1,614

### ■ **Stabilità del sito nei confronti della liquefazione**

Il fenomeno della liquefazione è governato dalla generazione e dall'accumulo di eccessi di pressione interstiziale, in occasione di un terremoto, in sabbie e sabbie limose, sature e poco addensate. I dati sperimentali di letteratura mettono in evidenza che l'incremento della pressione interstiziale avviene in risposta alle sollecitazioni cicliche tangenziali a cui un elemento di volume di terreno è sottoposto in condizioni non drenate durante lo scuotimento sismico. Per tale elemento di volume, il valore finale della pressione interstiziale è funzione delle caratteristiche del moto sismico, cioè ampiezza, contenuto in frequenza e numero di cicli, ovvero durata. Per la determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione, sono state considerate le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018. Secondo il suddetto punto, (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile omettere la verifica alla liquefazione quando si manifesta, in ordine, almeno una delle seguenti condizioni:

#### **Analisi delle condizioni per l'esclusione alla verifica a liquefazione:**

**comma 1.** l'accelerazione massima attesa al piano campagna viene *calcolata* considerando i parametri riferiti allo Stato Limite Ultimo SLV, relativi alla categoria "C", mediante la seguente relazione:  $a_{g \max \text{ suolo}} = a_g \times S_s \times S_t$ . Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

$a_g$	0,159
$S_s$	1,464
$S_t$	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,233 g e risulta quindi superiore a quello di esclusione indicato dal **comma 1 (non verificato)**.

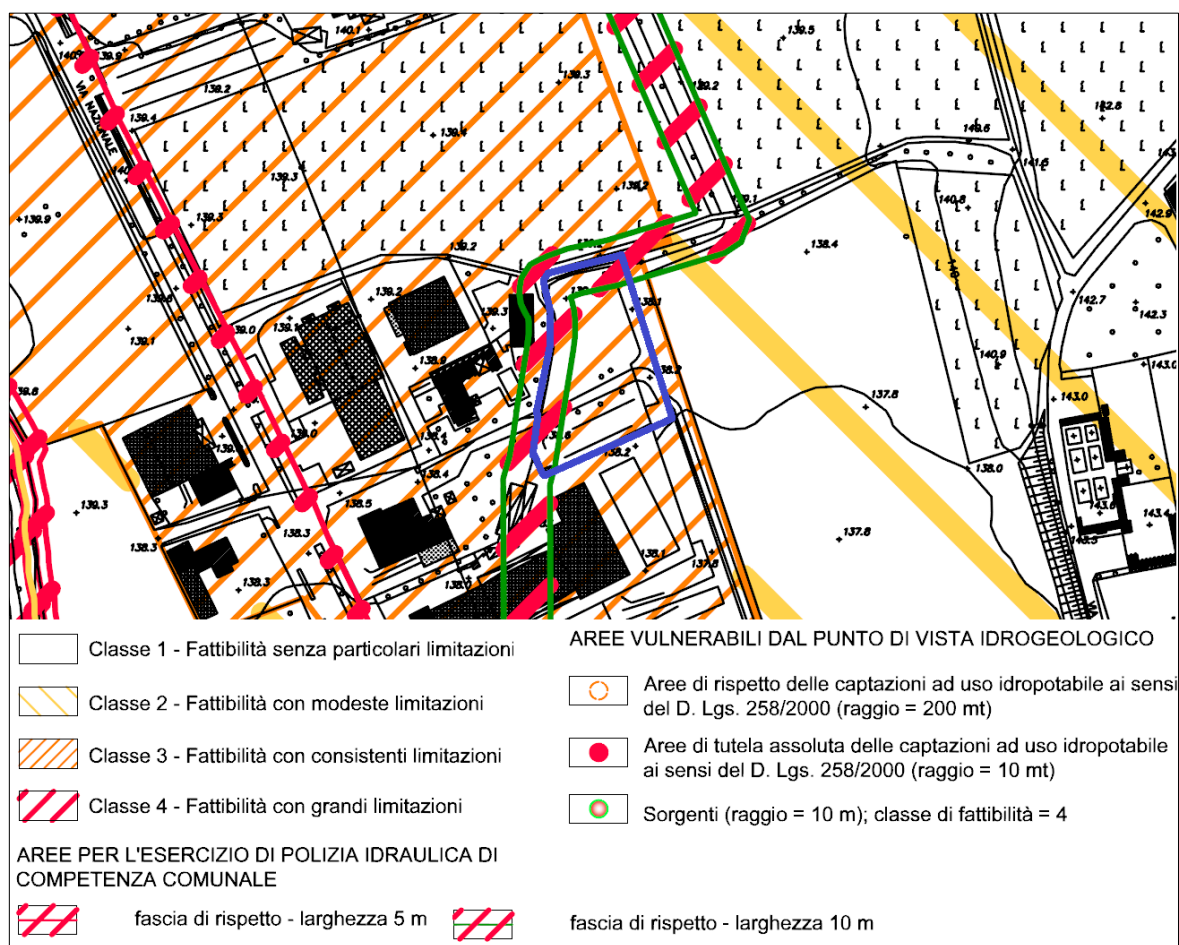
**comma 2.** per l'area oggetto di indagine, in base a quanto indicato nella Carta Idrologica e idrogeologica allegata al P.G.T. comunale e nella stratigrafia del Pozzo in allegato, si segnalano acquiferi circolanti nei depositi a media e bassa permeabilità ricchi di frazione sabbioso-ghiaiosa dell'Unità Fluvio-glaciale a partire da circa -22,0/-27,0 m dal ripiano campagna generale.



Si ritiene pertanto, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.

## 5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO

Dall'analisi della cartografia allegata alla “*Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica*” del PGT del Comune di Puegnago d/G (Ottobre 2008), è stato verificato che il sito di progetto, ed in particolare gli ingombri dei due ingombri di progetto, ricade nella **Classe di Fattibilità 3 (Fig. 18)** con **consistenti limitazioni d'uso**.



**Fig. 18** - Stralcio della “Carta di Fattibilità delle azioni di piano” (Tav.5) allegata alla Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del comune di Puegnago d/G (Ottobre 2009), con ubicazione dell’area d’interesse (perimetro blu).

Lungo le fasce perimetrali dei settori occidentali e settentrionali del lotto di progetto si segnala l'individuazione di una Classe di Fattibilità 4, istituita per la fascia di rispetto di larghezza pari a 10 m da ciascuna sponda del Fosso Riotto, per la quale è indicato il divieto di edificazione e all'interno della quale non rientrano gli edifici di progetto.

Per la classe di Fattibilità Geologica 3 in cui ricadono le opere di progetto, lo Studio Geologico allegato P.G.T. comunale prevede solo alcune limitazioni ed eventuali approfondimenti da effettuare in funzione delle specifiche costruttive degli interventi edificatori, di seguito descritti:

✓ **CLASSE 3** (aree interessate da potenziali fenomeni di esondazione e di sovralluvionamento).

Per tale classe di fattibilità l'elaborato testuale dello Studio Geologico comunale è richiesta la necessità di effettuare valutazioni *"in merito al rischio idraulico e idrogeologico al fine di mitigare la pericolosità per esondazione dei corsi d'acqua e di insufficienza della rete scolante"*, di conseguenza si dovranno attenzionare la presenza e il corretto funzionamento di sistemi di smaltimento e collettamento delle acque meteoriche, prevedendo le opportune verifiche idrogeologiche per definire i sistemi di drenaggio più idonei; dovranno altresì essere verificate le condizioni di stabilità locali e la compatibilità degli interventi urbanistici".

Si specifica che nel presente studio (vedi **par. 2.4**) è stata affrontata la tematica legata al rischio idraulico e alla pericolosità di esondazioni mediante un rilievo di dettaglio del corso d'acqua denominato Fosso Riotto che scorre in adiacenza al limite settentrionale ed occidentale di proprietà. A riguardo si conferma, escluso il tratto che scorre a Nord del lotto, per il quale si rende necessaria una manutenzione ordinaria da parte dell'ente competente in materia, l'assenza di problematiche di natura idraulica e il lotto di progetto non risulta attualmente interessato da fenomeni di esondazione o di sovralluvionamento.

Il deflusso idrico superficiale nell'area di indagine ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale verso il settore del territorio ribassato, che si sviluppa ad Est del lotto di progetto, non sovraccaricando attualmente, mediante scarichi o punti di collettamento, il suddetto corso d'acqua.

Si ritiene inoltre che l'assenza di nuovi sovraccarichi di progetto verso il Reticolo Idrico Minore, così come prescritto nello Studio di Invarianza Idraulica che sarà redatto dal sottoscritto in una successiva fase progettuale, garantirà la conservazione dell'attuale regime delle acque superficiali, privo di fenomeni di sovralluvionamento.

In accordo con i tecnici progettisti infatti, il collettamento di tutte le acque meteoriche di scorrimento superficiale, provenienti dalle superfici impermeabili e semipermeabili di progetto, viene direzionato verso una batteria di pozzi perdenti, idoneamente progettati e dimensionati, secondo quanto prescritto dal Regolamento Regionale n°7 del 27 Novembre 2017 *"Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica"*, annullando eventuali fenomeni di ruscellamento superficiale.

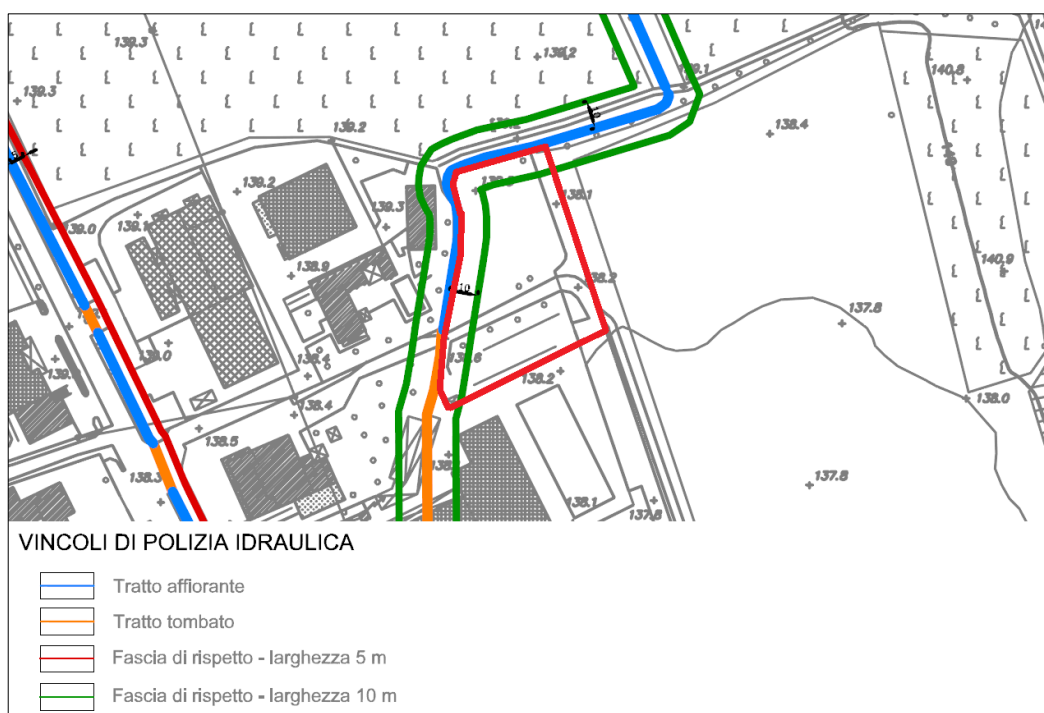
Pertanto, si ritiene che per questa classe di fattibilità geologica siano consentite le opere in oggetto, subordinatamente comunque alla predisposizione di una campagna di indagine in sito e la redazione di una relazione geologica eseguita ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della D.G.R. 9/2616/2011, rappresentata dal presente elaborato tecnico.

In merito alle limitazioni previste, è stata valutata la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche del sito, con particolare attenzione alla caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica dei terreni di fondazione e la

stabilità dell'area in oggetto garantendo che non vengano alterati gli elementi idrografici che interessano il territorio.

Alla luce delle considerazioni geotecniche ed idrogeologiche, si specifica quindi che gli interventi di progetto, se eseguiti secondo le modalità realizzative prescritte anche nei capitoli successivi, sono compatibili con lo scenario fattibilità generale previsto per l'area oggetto di studio.

Infine, come già precedentemente anticipato, nello Studio Geologico comunale si segnala la presenza, presso l'area di progetto, di **Normative di vincolo** (Carta dei vincoli – Tav. 6 allegata allo Studio geologico comunale-Ottobre 2009) correlate ad un corso d'acqua affacente al R.I.M. di competenza comunale, il quale scorre in adiacenza al settore settentrionale ed occidentale, del limite di proprietà progettuale e per il quale viene istituita una fascia di rispetto pari a 10 m di larghezza (**Fig. 19**). Si sottolinea in merito che gli edifici di progetto, così come indicati nelle Tavole Progettuali preliminari, non interferiscono con tale elemento del reticolo idrico descritto e non ricadono quindi all'interno della fascia di rispetto per esso istituita.



**Fig. 19 -** Stralcio della “Carta dei Vincoli”, allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse (rosso).

## B. RELAZIONE GEOTECNICA R2

### 6. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito (Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT e Prospezione Sismica MASW+HVSr) e dall'elaborazione degli stessi, mediante formule di letteratura, sono stati individuati, da una stima ragionata e cautelativa, i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Viene di seguito schematizzata la successione stratigrafica delle unità geotecniche riconosciute, riportando i valori del modello geotecnico medio adottato, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento il ripiano alto su cui sorge l'edificio esistente di progetto.

- ✓ **Unità Geotecnica S (Strato 1):** Depositi superficiali vegetali, eterogenei e nel complesso limoso-argilloso-sabbiosi, asciutti e *non idonei alla posa delle fondazioni di progetto*.
- ✓ **Unità Geotecnica FG (Strato 2):** Depositi Fluvioglaciali costituiti prevalentemente da ghiaie sabbiose con presenza di grossi ciottoli e/o trovanti, asciutti e *idonei alla posa delle strutture di fondazione in progetto*. Dai dati sismostratigrafici, e in accordo con le stratigrafie di alcuni pozzi perforati nel medesimo contesto geologico in esame, l'Unità FG possiede continuità fino a profondità di almeno 30 m ed è caratterizzata dalla possibile presenza, a profondità variabili, di rare intercalazioni limoso-argillose.

#### PARAMETRI GEOTECNICI

	$\gamma_{nat}$ (t/m <sup>3</sup> )	Cu (kPa)	$\phi$	Dr %	Ed (kg/cm <sup>2</sup> )	Vs (m/s)	Denominazione AGI
<b>STRATO 1</b>							
da 0,0 a -0,6/-1,2 m	1,75	--	27°	55	30-40	175	Scarsamente addensato
<b>STRATO 2</b>							
Oltre -0,6/-1,2 m	1,95	--	32°-35°	85	170-185	260-405	Da moderatamente a molto addensato

$\gamma_{nat}$  = Peso unitario del terreno, Cu = Resistenza non drenata,  $\phi$  = Angolo di resistenza al taglio, Dr = Densità relativa Skempton, Ed = modulo di deformazione, Vs = velocità delle onde di taglio (S).

Alla luce di tale ipotesi evidenziate dai risultati delle prove penetrometriche nel sito di indagine, si ritiene di poter eseguire i calcoli geotecnici in condizioni drenate, trascurando cautelativamente la componente coesiva dei terreni di fondazione.



## 7. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

Gli interventi di progetto considerati riguardano la realizzazione di n° 2 nuovi edifici residenziali, costituiti da un piano fuori terra e privi di piani interrati, in Via Squassa nel Comune di Puegnago del Garda (BS).

In fase esecutiva delle nuove strutture di progetto, le scelte progettuali ed i criteri realizzativi dovranno garantire la sicurezza e la stabilità dei luoghi, la verifica della pressione limite, delle resistenze e della pressione d'esercizio dei terreni di fondazione, nonché la compatibilità con l'assetto geomorfologico, idrogeologico ed idrografico del territorio.

In funzione del modello geologico e geotecnico redatto e dello stato dei luoghi, si riportano di seguito le principali prescrizioni da tenere in considerazione in fase esecutiva:

- a. Dall'analisi delle verticali di prova, eseguite entro i due ingombri di progetto, è stato possibile verificare che l'area in esame è caratterizzata, fino a circa -0,6/-1,2 m dal p.c., dalla presenza di terreni superficiali vegetali di natura limoso-argilloso-sabbiosa (*Unità S - Strato 1*), non idonei alla posa di strutture di fondazione. Oltre -0,6/-1,2 si rinvencono depositi da moderatamente a molto addensati (*Strato 2*), afferenti a depositi fluvio-glaciali, idonei all'appoggio delle strutture di fondazione.
- b. Durante la preparazione del piano di appoggio delle nuove fondazioni si dovrà quindi porre particolare attenzione nella verifica della presenza omogenea sul fondo dei terreni dell'Unità FG, previsti a partire da -0,6/-1,2 m dal p.c.. In ogni caso il piano di fondazione dovrà essere posto oltre i terreni dello Strato 1 e al di sotto di possibili coltri superficiali e/o di eventuali lenti limoso-argillose scarsamente addensate o materiali di riporto. A fine scavo di preparazione per la posa delle fondazioni, in caso di presenza di terreni a scadenti caratteristiche geotecniche oltre le profondità di interesse fondazionale, si prescrive un approfondimento del piano di posa delle fondazioni mediante operazioni di bonifica geotecnica con rimozione di un idoneo strato di terreno, a cui far seguire il getto di magrone o, secondo scelte del progettista, la posa di uno strato di materiale grossolano idoneamente realizzato e vibrocompattato, per raggiungere la quota d'imposta di progetto prevista.
- c. Si segnala che durante le indagini in sito non è stata rilevata la presenza di acquiferi superficiali e alla luce dell'assetto idrogeologico descritto nel presente elaborato, si ipotizza la presenza di acquiferi freatici a partire da circa -22,0/-27,0 m di profondità dal p.c.. Pertanto, si ritiene che le fondazioni superficiali di progetto non interferiranno con tali livelli acquiferi. Qualora in fase realizzativa degli scavi, risultassero comunque fenomeni di umidità sul fondo scavo, si consiglia una messa in opera di adeguati interventi di impermeabilizzazione dei manufatti.

## 8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI

Il D.M. 17/01/2018 prevede che la valutazione della sicurezza del progetto sia intesa in termini di stati limite per tutte le situazioni di funzionamento ipotizzabili, così come riassunto al par. 2.2.1 e 2.2.2, secondo l'approccio evidenziato al par. 6.4.2.1., definiti dalla diversa combinazione di coefficienti parziali. Il Progettista dovrà verificare che per ogni stato limite sia rispettata la condizione:  $Ed \leq Rd$  (dove:  $Ed$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e  $Rd$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico).

Per la realizzazione dei piani di posa delle nuove fondazioni, si prescrive di raggiungere una quota di scavo di -0,9/-1,2 m dal p.c., che comprenda quindi lo spessore delle fondazioni, del magrone ed eventuali strati di sottofondazione per il riporto in quota delle strutture, poggianti quindi necessariamente entro l'Unità FG (*Strato 2*) a buone caratteristiche geotecniche.

In fase di preparazione del piano di appoggio sarà quindi opportuno verificare che il fondo sia omogeneamente caratterizzato dai depositi delle unità geotecniche prescritte e comunque privi di lenti argilloso-limose scarsamente addensate.

Considerando la natura dei depositi presenti, in accordo con quanto descritto nei capitoli precedenti e con i *Tecnici della Committenza*, si ipotizza, per la realizzazione delle nuove fondazioni, l'utilizzo di **strutture di tipo nastriforme**.

Tenuto conto del significato puntuale delle indagini e della variabilità laterale che i terreni superficiali potrebbero presentare, si richiedono attente verifiche in fase di scavo per la posa delle strutture di fondazione.

Di seguito si riportano le specifiche geometrie delle fondazioni e i parametri geotecnici caratteristici utilizzati:

Nastriforme	
Larghezza B (m)	Altezza Df (m)
0,80	0,4
1,00	0,4
1,20	0,4

Parametri geotecnici	
$\gamma_{nat}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$
1,95	32°

### 8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Il calcolo della pressione limite ( $Q_{lim}$ ) è stato eseguito per carichi centrati ed in condizioni statiche e sismiche, utilizzando il criterio di **Brinch-Hansen (1970)**, considerando, cautelativamente, terreni di fondazione unicamente granulari ( $\phi > 0^\circ$ ,  $C_u = 0$ ), in condizioni drenate:

$$Q_{lim} = c \times N_c \times s_c \times d_c \times i_c \times b_c \times g_c + s_q \times y_1 \times D \times N_q \times d_q \times i_q \times b_q \times g_q + 0.5 \times y_2 \times B \times N_y \times s_y \times d_y \times i_y \times b_y \times g_y \text{ (per } \phi > 0);$$

in cui:

**$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_y$**  = fattori di capacità portante funzione di  $\phi$

**$s_c$ ,  $s_q$ ,  $s_y$**  = fattori di forma della fondazione

**$d_c$ ,  $d_q$ ,  $d_y$**  = fattori correttivi per l'approfondimento

**ic, dq, dy** = fattori correttivi per carichi inclinati

**gc, gq, gy** = fattori correttivi per fondazioni su pendio

**bc, bq, by** = fattori correttivi per l'inclinazione della base della fondazione

**D** = altezza della fondazione o del terreno di confinamento

**B** = lato minore della fondazione

Per le diverse geometrie delle fondazioni considerate, si ottengono i seguenti valori della Pressione limite, riassunti nella seguente tabella:

Nastriforme	
Larghezza B (m)	$Q_{lim M1}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0,80	4,42
1,00	5,17
1,20	5,34

Per le verifiche agli stati limite ultimi è stato utilizzato l'**APPROCCIO 2** con coefficienti parziali riferiti ad Azioni, Parametri Geotecnici e Resistenze con combinazione: A1+M1+R3.

Sono state quindi valutate le **Resistenze Rd** applicando, ai valori stimati per i carichi limite, ulteriori coefficienti parziali di sicurezza ( $\gamma_R$ ), in funzione della "combinazione" di calcolo utilizzata ( $\gamma_R=2,3$ ). Si riassumono i valori ottenuti per la suddetta combinazione:

Nastriforme	
Larghezza B (m)	$R_d (A1+M1+R3)$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0,80	1,92
1,00	2,25
1,20	2,32

In **condizioni sismiche**, sono stati calcolati quindi i valori di resistenza del terreno di fondazione  $R_d$  considerando le eccentricità dei carichi dovute all'azione dei momenti agenti e alle azioni di taglio mediante il metodo proposto da Paolucci e Pecker.

Nastriforme	
Larghezza B (m)	$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0,80	1,14
1,00	1,35
1,20	1,45

### 8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE)

Il calcolo agli Stati Limite d'Esercizio è stato eseguito considerando i cedimenti di consolidazione immediati, utilizzando i valori di pressione di progetto di esercizio ( $P_{SLE}$ ) ipotizzati in funzione delle due diverse tipologie di opere di progetto.

Per le strutture di fondazione considerate e per la tipologia di terreni di fondazione esistenti, il calcolo dei cedimenti ( $S_{tot}$ ) è stato condotto utilizzando il metodo di **Burland-Burbidge (1983)**, considerando un valore di  $N_{spt}$  medio dei terreni di appoggio pari a 30 mediante la seguente formula:

$$S_{tot} = F_s \times F_h \times [P_f \times (B^{0.7}) \times (I_c / 3) + (Q - P_f) \times (B^{0.7}) \times I_c] \times F_t$$

in cui:

$F_s, F_h, F_t$  = fattori correttivi di forma

$P_f$  = pressione efficace al piano di posa della fondazione

$I_c$  = indice di compressibilità funzione di  $N_{spt}$

$Q$  = carico applicato alla fondazione

$B$  = lato corto della fondazione

Nastriforme		
$P_{SLE}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	B (m)	S (mm)
1,00	0,80	2
	1,00	2
	1,20	2
1,20	1,00	2
	1,20	3
1,30	1,00	3
	1,20	3

in cui:

$P_{SLE}$  = pressione di esercizio sulla fondazione

$S$  = cedimento complessivo

Si rimanda a specifiche considerazioni dei Tecnici Strutturisti incaricati, per la valutazione della compatibilità del cedimento globale (e non differenziale) stimato, rispetto alla sovrastruttura di progetto.

In nessun caso i valori stimati (sia per le resistenze che per i cedimenti) potranno essere utilizzati per fondazioni poggianti su coltri vegetali o su livelli o lenti di materiali a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti o in presenza di terreno rimaneggiato dalle operazioni di scavo e/o di fenomeni di ristagno d'acqua al piano di posa.



## 9. CONCLUSIONI

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del **D.M. 17/01/2018** e contempla i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica ivi prescritti, costituendo documento idoneo per il rilascio della concessione edilizia, sulla base del progetto ad esso allegato. Lo studio inoltre è stato condotto secondo le normative regionali vigenti e considerando la **D.G.R. 30 Novembre 2011 - n. IX/2616** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" (art. 57 comma 1 della l.r. 11 Marzo 2005 n. 12) e secondo quanto previsto dal P.G.T. del comune di Puegnago del Garda (BS). Nel presente elaborato sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti di carattere geologico e normativo:

- ✓ Sulla base del **modello geologico-geotecnico** definito, sono state prescritte le unità geotecniche ritenute idonee all'appoggio delle strutture di fondazione di progetto (*Unità FG- Strato 2*) e sono state fornite le prescrizioni sulle procedure progettuali da adottare in merito agli interventi proposti, in funzione anche, e soprattutto, delle caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche del sito di progetto.
- ✓ Dall'analisi della cartografia allegata alle Norme di piano comunale, nell'area in esame, non si segnalano, per la classe di **Fattibilità Geologica 3** e per le corrispondenti limitazioni previste, fenomeni idraulici in atto o potenziali, in grado di innescare pericoli di esondazione. Si ritiene che gli interventi di progetto, come configurati, non risultino in grado di indurre situazioni di dissesto e di pericolo a carattere idrogeologico.
- ✓ Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area in esame è stata classificata, nella "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T." di Puegnago del Garda, entro lo scenario di **pericolosità sismica Z4a** "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".
- ✓ Per lo scenario di pericolosità Z4a è stata eseguita un'analisi sito-specifica (I Grado di approfondimento - APP 5 secondo quanto indicato nella DGR 5001/2016) per la Stima del Fattore di Amplificazione di sito. I risultati ottenuti hanno verificato che per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, si ottengono valori di Fa di sito inferiori ai valori di Fa di soglia previsti, mentre per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 si ottengono valori di Fa di sito superiori ai valori di Fa di soglia (FAC > FAS) previsti per la *categoria di sottosuolo "B"*. Pertanto, si ritiene necessario assumere in fase progettuale la **Categoria di Sottosuolo "C"** ed i relativi parametri sismici.
- ✓ È stato determinato il potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione considerando le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018, ritenendo in conclusione il **sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione**.
- ✓ Sono stati infine valutati diversi valori di **resistenze limite (Rd)**, ed è stata ipotizzata l'entità dei **cedimenti (S)** riferiti ad alcuni carichi di esercizio (P<sub>SLE</sub>), considerando fondazioni superficiali di tipo a trave, per il progetto di realizzazione delle nuove strutture progettuali. Si rimanda al Progettista ogni valutazione inerente i calcoli relativi alle strutture di fondazione.

Considerando infine un certo grado di imprevedibilità intrinseco delle formazioni geologiche, si rimanda al progettista l'onere di verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto (mediante indagine per punti) e quanto effettivamente verrà riscontrato (arealmente durante gli scavi superficiali per la preparazione dei piani di posa), adottando in caso idonee soluzioni progettuali.

Sulla base del quadro normativo fornito e delle caratteristiche geologico-geotecniche ed idrogeologiche dell'area in oggetto, gli interventi progettuali di realizzazione di due nuove unità residenziali, se eseguiti secondo le indicazioni e le prescrizioni riportate nel presente studio, risultano compatibili con la destinazione d'uso prevista e con le Norme di Piano vigenti.

Il presente elaborato è conforme a quanto previsto dalle nuove normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (**L.R. 33/2015, D.G.R. 5001/2016**) e aggiornamento della classificazione sismica regionale (**DGR 2129/2014**).

In merito alla procedura di "*richiesta di autorizzazione sismica del progetto*" (zona sismica 2), si allega la modulistica riportante i dati anagrafici del sottoscritto, il Modulo 9 di dichiarazione/asseverazione del Geologo e il Modulo 10 di dichiarazione/asseverazione dell'estensore della Relazione Geotecnica, firmati anche digitalmente per l'eventuale gestione informatica della pratica sui portali web dedicati.

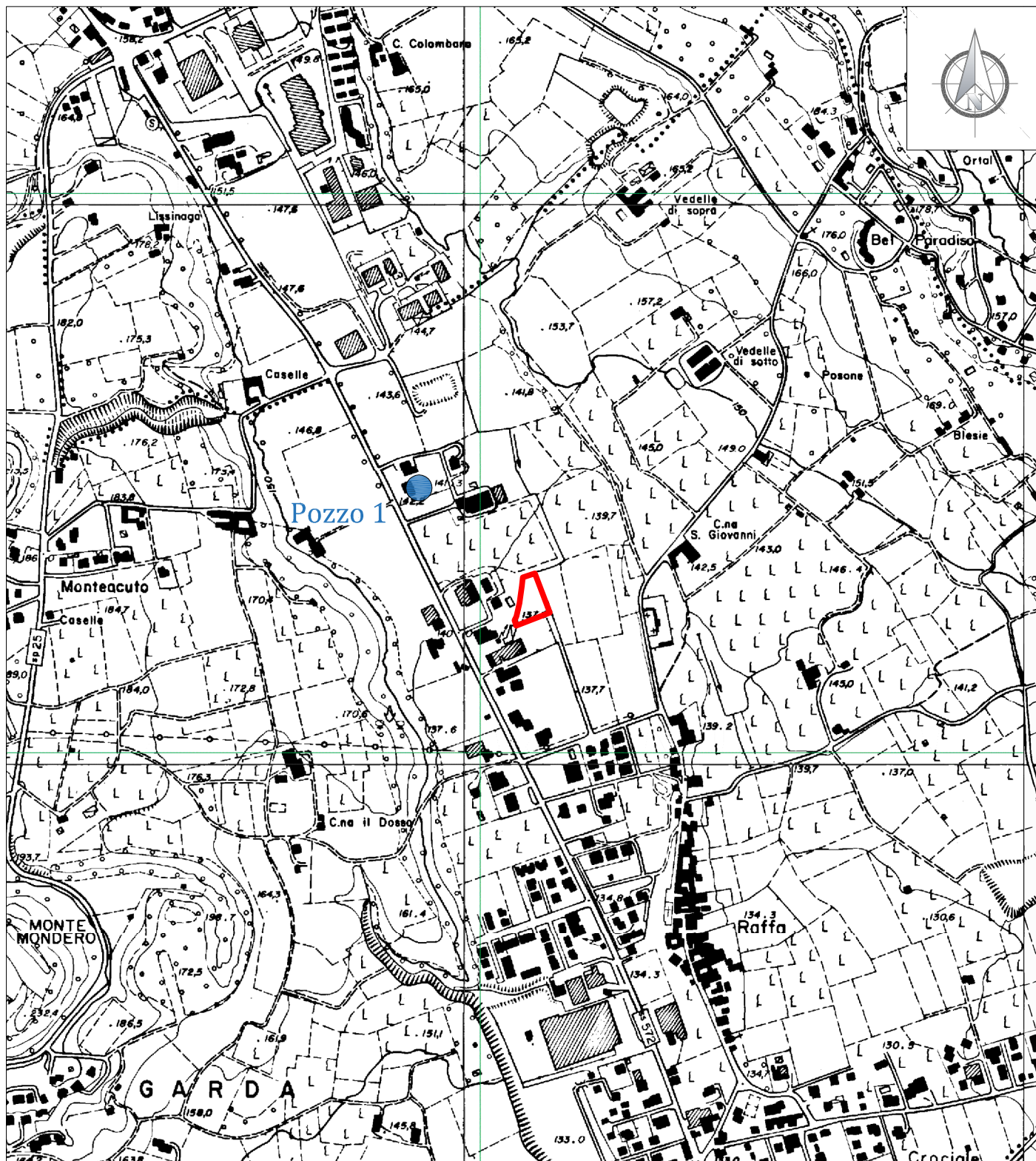
Desenzano del Garda, 25 Marzo 2019

Dott. Geol. Luigi Renna



COROGRAFIA CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INDAGINE  
SCALA 1:10.000

Tav. 1



LEGENDA



Area in esame

Pozzo 1



Pozzo con stratigrafia  
in allegato



PLANIMETRIA DI PROGETTO CON UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE  
 SCALA 1:500

Tav. 2



LEGENDA

- P1** Indagini geognostiche  
 Prova penetrometrica dinamica standard SCPT-DPSH
- T1** Trincea esplorativa/Prova di permeabilità

Lotto di interesse progettuale

Ingombro edifici progettuali

**stendimento sismico**  
 Prospezione sismica MASW

Area di possibile futuro interesse progettuale

**HVSr** Misura del microtremore sismico ambientale mediante tecnica HVSr





**CRESTANA S.r.l.s.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI  
Viale Michelangelo, 40  
25015 Desenzano del Garda (BS)  
Cell: 347.9428449 - 349.2936733  
mail: [info@crestanasrls.com](mailto:info@crestanasrls.com)  
[www.crestanasrls.com](http://www.crestanasrls.com)

## PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P1**

LOCALITÀ: Via Squassa - Puegnago d/G (BS)

Data di esecuzione: 13/03/2019

Committente: KERMA di Maffizzoli Lucio e c. s.n.c.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: ————

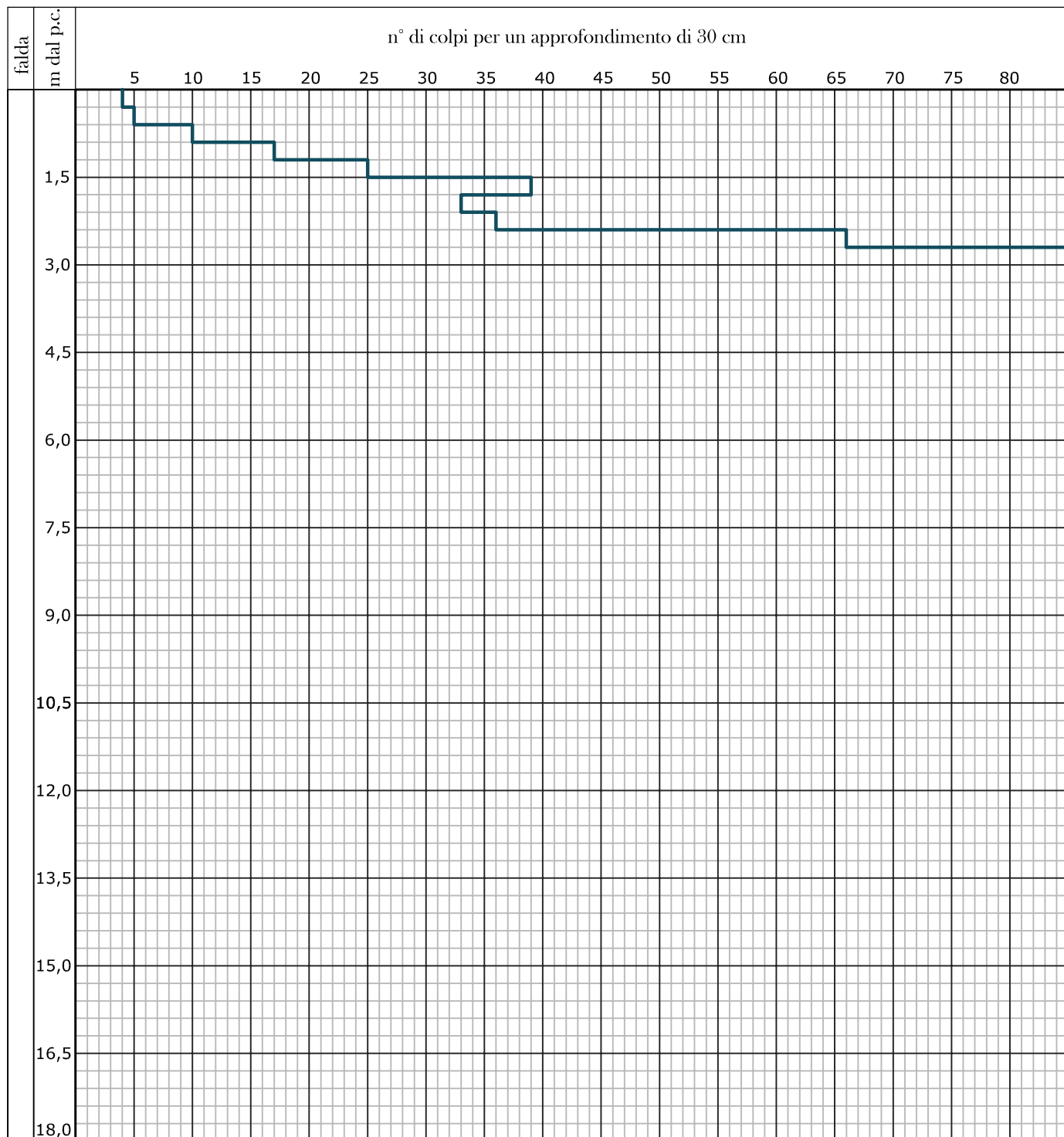
Avanzamento rivestimento: ————

Piezometro  $\Phi$  1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



**CRESTANA S.r.l.s.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI  
Viale Michelangelo, 40  
25015 Desenzano del Garda (BS)  
Cell: 347.9428449 - 349.2936733  
mail: [info@crestanasrls.com](mailto:info@crestanasrls.com)  
[www.crestanasrls.com](http://www.crestanasrls.com)

## PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P2**

LOCALITÀ: Via Squassa - Puegnago d/G (BS)

Data di esecuzione: 13/03/2019

Committente: KERMA di Maffizzoli Lucio e c. s.n.c.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: ————

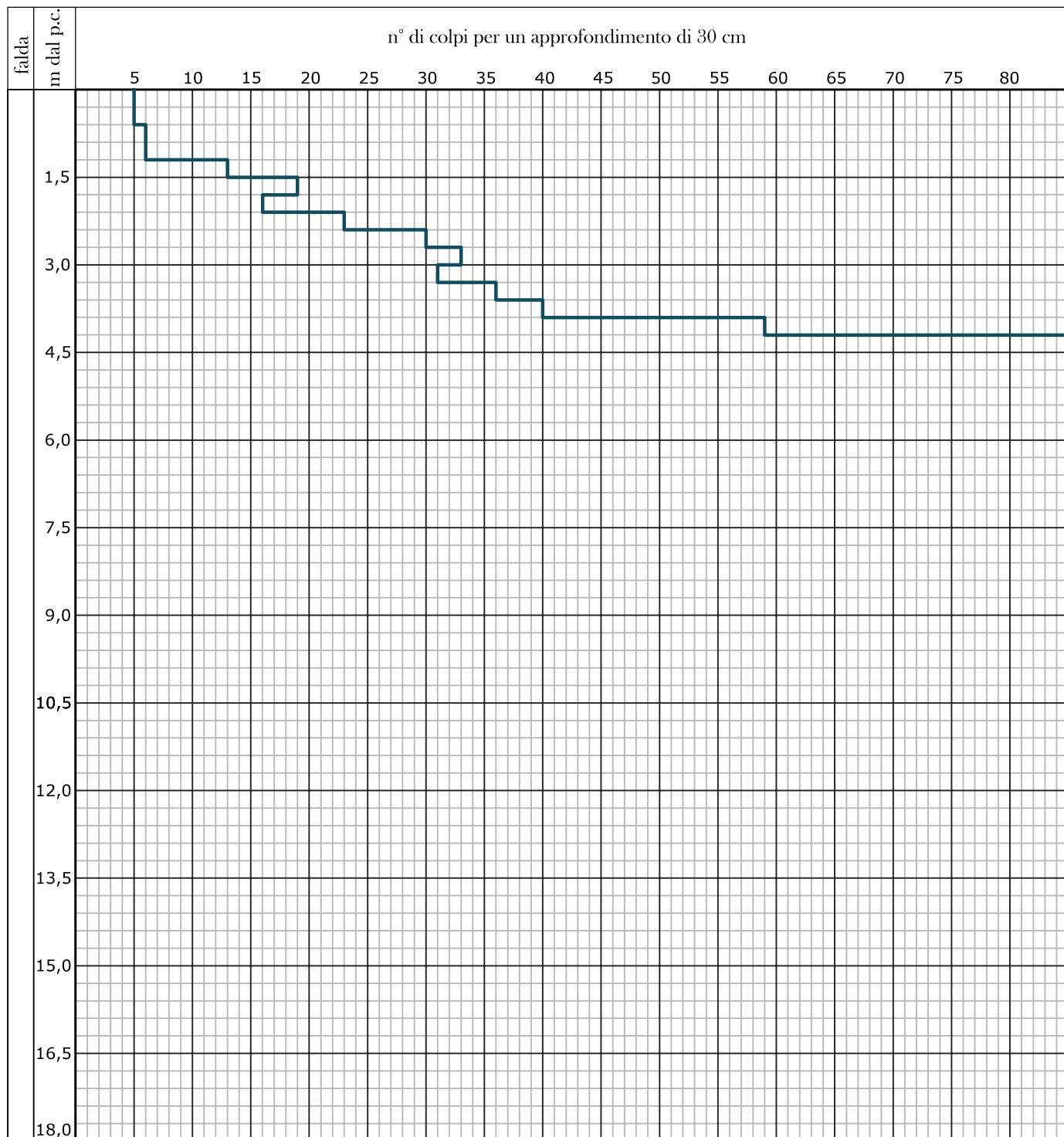
Avanzamento rivestimento: ————

Piezometro  $\Phi$  1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



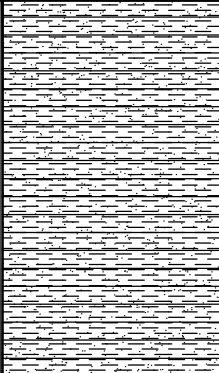
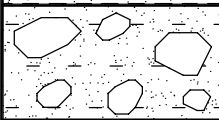
**CRESTANA S.r.l.s.**  
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI  
Viale Michelangelo, 40  
25015 Desenzano del Garda (BS)  
Cell: 347.9428449 - 349.2936733  
mail: [info@crestanasrls.com](mailto:info@crestanasrls.com)  
[www.crestanasrls.com](http://www.crestanasrls.com)

## STRATIGRAFIA SCAVO ESPLORATIVO T1 (scala 1:20)

LOCALITA': Via Squassa - Puegnago del Garda (BS)

Data di esecuzione: 25/03/2018

Committente: KERMA di Maffizzoli Lucio e c. s.n.c.

Profondità (m. dal p.c.)	Sezione Terreno	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Campione di terreno sottoposto ad analisi granulometrica	Prova di permeabilità a carico variabile
1,00		<b>TERRENO VEGETALE</b> Limo sabbioso argilloso, asciutto, di colore marrone.		
1,30		<b>TERRENO NATURALE: DEPOSITI FLUVIOGLACIALI</b> Ghiaia sabbiosa debolmente limosa, con ciottoli subarrotondati, asciutta, di colore da marrone chiaro a grigio chiaro		-1,02 m ↓
				-1,30 m

Descrizione eseguita utilizzando il criterio granulometrico per le terre (AGI 1977), secondo cui il terreno viene denominato gerarchicamente con il nome della frazione con percentuale maggiore. Successivamente, la frazione gerarchicamente inferiore viene preceduta dal termine "**con**" se la percentuale è compresa tra il 25% e il 50%, dal suffisso "**...oso**" se la percentuale è compresa tra il 10 % e il 25 % oppure dal suffisso "**debolmente ...oso**" se la percentuale è compresa tra il 5% e il 10 %.

FOTO MATERIALE ESCAVATO



FOTO SCAVO





## ALLEGATO FOTOGRAFICO



*Prova Penetrometrica SCPT - P1*



*Prova Penetrometrica SCPT – P2*




*Stendimento sismico MASW*

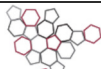


*Acquisizione del microtremore  
sismico mediante tecnica HVSR*





**ISPRA**  
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



**Sistema Nazionale**  
per la Protezione  
dell'Ambiente

**Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale**


**Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)**

**Dati generali**

**Codice:** 20209  
**Regione:** LOMBARDIA  
**Provincia:** BRESCIA  
**Comune:** PUEGNAGO SUL GARDA  
**Tipologia:** PERFORAZIONE  
**Opera:** POZZO PER ACQUA  
**Profondità (m):** 100,00  
**Quota pc slm (m):** 149,00  
**Anno realizzazione:** 1998  
**Numero diametri:** 1  
**Presenza acqua:** SI  
**Portata massima (l/s):** 10,000  
**Portata esercizio (l/s):** 1,000  
**Numero falde:** 1  
**Numero filtri:** 1  
**Numero piezometrie:** 1  
**Stratigrafia:** SI  
**Certificazione(\*):** SI  
**Numero strati:** 8  
**Longitudine WGS84 (dd):** 10,523942  
**Latitudine WGS84 (dd):** 45,579628  
**Longitudine WGS84 (dms):** 10° 31' 26.26" E  
**Latitudine WGS84 (dms):** 45° 34' 46.46" N

(\*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

**Ubicazione indicativa dell'area d'indagine**



**DIAMETRI PERFORAZIONE**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	100,00	100,00	250

**FALDE ACQUIFERE**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	75,00	97,00	22,00

**POSIZIONE FILTRI**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	85,00	95,00	10,00	125

**MISURE PIEZOMETRICHE**

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
set/1998	22,00	25,00	3,00	10,000

**STRATIGRAFIA**

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,00	2,00		ARG. MARR. CON CIOTTOLI E GHIAIA
2	2,00	23,00	21,00		GHIAIA E CIOTTOLI
3	23,00	28,00	5,00		ARG. MARR. E GRIGIA CON POCA GH.
4	28,00	42,00	14,00		SABBIA GRIGIA CON GHIAIA
5	42,00	45,00	3,00		GHIAIA
6	45,00	75,00	30,00		CEPPO BIANCO COMPATTO LIMOSO CON GHIAIA
7	75,00	97,00	22,00		GHIAIA CON POCO CEPPO BIANCO
8	97,00	100,00	3,00		ARG. LIMOSA CON POCA GHIAIA