

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 - crestana@crestanasrls.com

COMUNE DI POZZOLENGO

PROVINCIA DI BRESCIA
Regione Lombardia

PIANO PARTICOLAREGGIATO, AMBITO DI TRASFORMAZIONE AT-A12a e AT-12b

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: *Nuova Pozzolengo S.r.l.*

Data:

28 Ottobre 2022

I Tecnici:

Dott. Geol. Niccolò Crestana

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1691

Dott. Geol. Luigi Renna

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1667



INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 Metodologia di lavoro.....	3
1.2 Riferimenti Normativi.....	4
A. RELAZIONE GEOLOGICA R1 e R3	5
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....	5
2.1 Inquadramento Geografico e Geologico	5
2.2 Assetto Geomorfologico	8
2.3 Caratteri Idrogeologici locali	8
2.4 Permeabilità dei terreni	10
2.5 Rete Idrografica locale	11
2.6 Piano di Gestione Rischio Alluvioni.....	11
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	12
3.1 Scavi esplorativi	12
3.2 Prove di permeabilità in sito.....	13
3.3 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH) e statiche (CPT)	15
3.4 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico	18
4. SISMICITÀ DELL'AREA	26
4.1 Inquadramento sismotettonico.....	26
4.2 Sismicità locale	27
4.3 Normativa sismica vigente.....	28
5. AZIONE SISMICA DI PROGETTO	29
5.1 Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica	29
5.2 Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)	31
5.3 Amplificazione Stratigrafica (Ss)	32
5.4 Stabilità del sito nei confronti della liquefazione.....	32
6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO.....	34
B. RELAZIONE GEOTECNICA R2	37
7. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI	37
8. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE	38
9. CONCLUSIONI.....	41

1. PREMESSA

Su incarico conferito dalla *Nuova Pozzolengo S.r.l.* e a seguito dei colloqui intercorsi con l'Arch. *Alessandro Azzali*, è stato eseguito uno studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del Piano Particolareggiato, Ambito di Trasformazione AT-A12a e AT-A12b, presso Loc. San Giacomo, nel Comune di Pozzolengo (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 (D.G.R. 5001/2016, L.R. 33/2015) e dall'aggiornamento della classificazione sismica regionale (D.G.R. 2129/2014).

1.1 Metodologia di lavoro

Scopo del lavoro è stato quello di valutare la natura litologica dei terreni di fondazione presenti nell'area, verificare la fattibilità delle opere di progetto secondo i regolamenti urbanistici comunali e regionali vigenti e considerare le problematiche 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 ad una seconda fase che ha riguardato l'acquisizione dei dati reperibili in letteratura consultando, tra gli altri, lo *Studio della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica* del Piano di Governo del Territorio di Pozzolengo (Dott. Geol. R. Spagnolo – Dicembre 2006 e s.m.i.) e dell'*Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica* del P.G.T. (Ottobre 2018 – Febbraio 2019), sulla base dei quali è stata considerata la fattibilità dell'opera di progetto e il rispettivo scenario di Pericolosità Sismica Locale. Sono stati inoltre consultati vari studi geologici eseguiti dal Dott. Geol. G. Crestana (di cui si dispone dell'archivio personale), in aree limitrofe a quella oggetto di studio e più in generale nel territorio comunale di Pozzolengo (BS).

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata predisposta un'indagine geognostica condotta mediante esecuzione di Prove Penetrometriche Dinamiche Standard SCPT-DPSH e Statiche CPT.

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 microtremiti 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 dell'area d'indagine e dei pozzi con stratigrafia
- ✓ TAV. 2 – Planimetria di progetto con ubicazione dei punti di indagine
- ✓ Diagrammi Prove Penetrometriche Dinamiche Standard SCPT-DPSH e Statiche CPT
- ✓ Stratigrafie Scavi Esplorativi
- ✓ Allegato fotografico
- ✓ 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 21 Gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle *Norme tecniche per le costruzioni* di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018”.
- 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; D.G.R. 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, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n° 12*”, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n° 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n° 8/7374”
- 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. 19 Giugno 2017 – n° X/6738 “*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 dai *Mappali n°123-198-254 del Foglio 6*, è ubicata presso Loc. San Giacomo, a circa 1,5 Km in direzione Sud rispetto al tracciato autostradale A4, immediatamente a Nord/Nord-Ovest rispetto al centro abitato storico di Pozzolengo, nella porzione centro-settentrionale dell'omonimo territorio comunale (**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 E6a3 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5030888,28 latitudine N - 1627746,54 longitudine E.

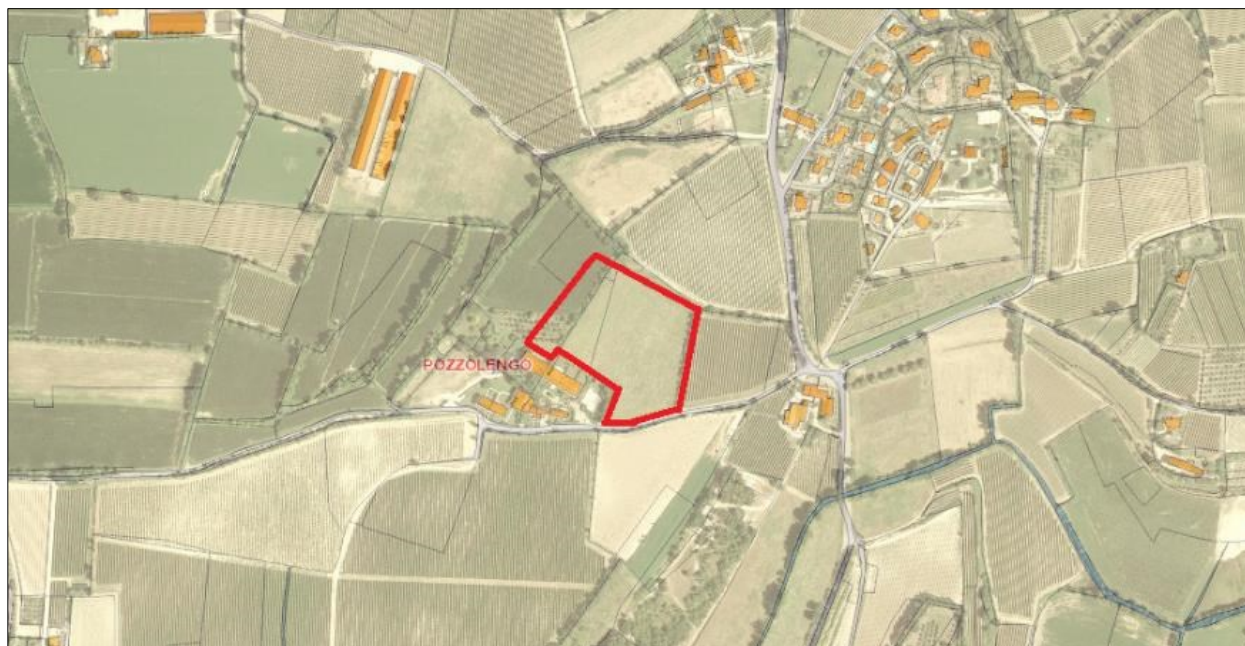


Fig. 1 - Individuazione dell'area oggetto d'interesse (fonte Viewer Geografico Regione Lombardia).

L'area di progetto si colloca immediatamente a Ovest rispetto ai cordoni morenici di Loc. Pirenei e della porzione settentrionale dell'allineamento Monte degli Olivi-Monte Rione-Monte S. Antonio, al di sopra del quale sorge l'abitato storico di Pozzolengo.

Nello specifico il lotto di interesse progettuale si presenta come debolmente inclinato in direzione Est/Nord-Est, e con quote comprese tra 115 (confine Est) e 120 m s.l.m. (confine Ovest).

Dal punto di vista geologico il territorio di Pozzolengo si colloca entro il Basso Garda Bresciano, nell'ambito dell'anfiteatro morenico del Garda, caratterizzato da un complesso

ambiente deposizionale di origine glaciale formatosi a seguito del verificarsi di fasi glaciali e interglaciali susseguitesi in epoca Quaternaria.

La geologia del territorio in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi morenici che costituiscono le cerchie dell'anfiteatro gardesano; inoltre, si riscontrano depositi fluvioglaciali e depositi di natura alluvionale recenti, che caratterizzano le valli intermoreniche. La successione stratigrafica delle unità presenti nel territorio in oggetto è rappresentata prevalentemente da terreni riferibili al Quaternario.

I depositi morenici di cordone formano le cerchie moreniche e rappresentano, i fronti di massima espansione glaciali, in corrispondenza dei quali si aveva l'accumulo caotico dei materiali trasportati dal ghiacciaio. Essi sono rappresentati in prevalenza da materiali eterogenei con uno scheletro grossolano costituito da ghiaie e sabbie in matrice fine limoso argillosa, in percentuale molto variabile. Possono essere presenti depositi più francamente limoso argillosi con presenza subordinata di sabbie e ghiaie. Frequentemente si rinvencono grossi ciottoli e grossi trovanti poligenici. Da un punto di vista pedologico si hanno suoli argilloso limosi che possono localmente risultare ben sviluppati ed assumere spessori fino a valori di qualche metro.

Durante le fasi interglaciali, il ghiacciaio, dopo aver deposto la cerchia morenica costituita dai rilievi di Desenzano d/G, Lonato e Pozzolengo, ha abbandonato la vasta piana ondulata compresa tra questi rilievi ed il lago. Tale superficie subpianeggiante è quindi costituita dalla morena di fondo, formata da depositi limoso-argillosi consistenti, contenenti ciottoli poligenici da arrotondati a subarrotondati. Localmente possono essere presenti depositi argillosi glaciolacustri, legati alla presenza, nella zona di ritiro del ghiacciaio, di laghetti intermorenici, raccolti in avvallamenti prodotti dalla fusione di ghiaccio sepolto e in solchi formati dalle acque di disgelo.

I depositi fluvioglaciali affiorano lungo le depressioni o valli fluvioglaciali e rappresentano l'ambito di deposizione di materiali di tipo glacio-alluvionale con sequenze maggiormente selezionate da un punto di vista idraulico. Sono contraddistinti in superficie da depositi ghiaioso sabbiosi e/o talora da depositi limoso sabbiosi. Tali depositi occupano i settori sub-pianeggianti interposti tra le diverse cerchie moreniche, talora possiedono estensione limitata e andamento meandriforme. In questa porzione del territorio di Pozzolengo sono rappresentati prevalentemente da terreni ghiaioso-sabbiosi con in subordine frazione limoso-sabbiosa. I depositi fluvioglaciali lungo le aree più depresse sono stati nel tempo rielaborati dai corsi d'acqua olocenici ed attuali.

Quando l'energia del trasporto delle acque di scioglimento glaciale subiva sensibili diminuzioni, si verificava la deposizione di depositi glaciolacustri di depressione intermorenica. Essi sono costituiti generalmente da materiale prevalentemente fine sabbioso e sabbioso-limoso, con in subordine frazione ghiaiosa, con disposizione stratificata o gradata. Nelle aree di basso topografico relativo, sono presenti depositi fini e/o torbosi legati alla presenza di specchi lacustri intermorenici, tuttora presenti o bonificati in tempi relativamente recenti.

Lungo alcuni tratti del reticolo idrico possono essere riscontrati depositi alluvionali olocenici e recenti costituiti da terreni fini limoso-sabbiosi debolmente argillosi. In corrispondenza degli stagni e delle zone dove i corsi d'acqua tendono ad impaludarsi si hanno aree di pertinenza dei depositi torbosi.

L'area oggetto d'indagine è inserita nel settore centro-settentrionale del territorio comunale entro un ambito riferibile all'Unità dei cordoni morenici, contrariamente a quanto esposto all'interno della "Carta della litologia di superficie" (Fig. 2) allegata allo Studio Geologico comunale vigente.

Si segnala inoltre che, tali depositi ghiaioso-sabbiosi con ciottoli in matrice limoso-argillosa, risultano essere ricoperti, nella porzione centro-orientale del lotto progettuale, da orizzonti di natura presumibilmente fluvio-glaciale. Questi ultimi depositi sono costituiti da limi-sabbiosi, passanti lateralmente ad argille limose lungo l'estrema fascia orientale dell'area d'interesse, quindi nei settori morfologicamente più depressi.

Quanto riscontrato in sito è confermato all'interno della "Carta di Sintesi della Pericolosità Sismica, Vulnerabilità Idrogeologica e Reticolo Idrico" (Fig. 3) allegata all'aggiornamento dello Studio Geologico comunale in cui i suddetti depositi fluvio-glaciali sono stati cartografati nella porzione sud-orientale del lotto d'interesse.

Nell'ambito del complesso modello deposizionale morenico è possibile riscontrare eterogeneità litologiche con variazioni nel contenuto di frazione fine che risultano talora molto accentuate anche in zone contigue. È possibile riscontrare quindi settori con litologia più francamente limoso-argillosa e in questi casi i depositi glaciali assumono tipica colorazione grigia (più argillosa) o color ocra-nocciola (più limosa).

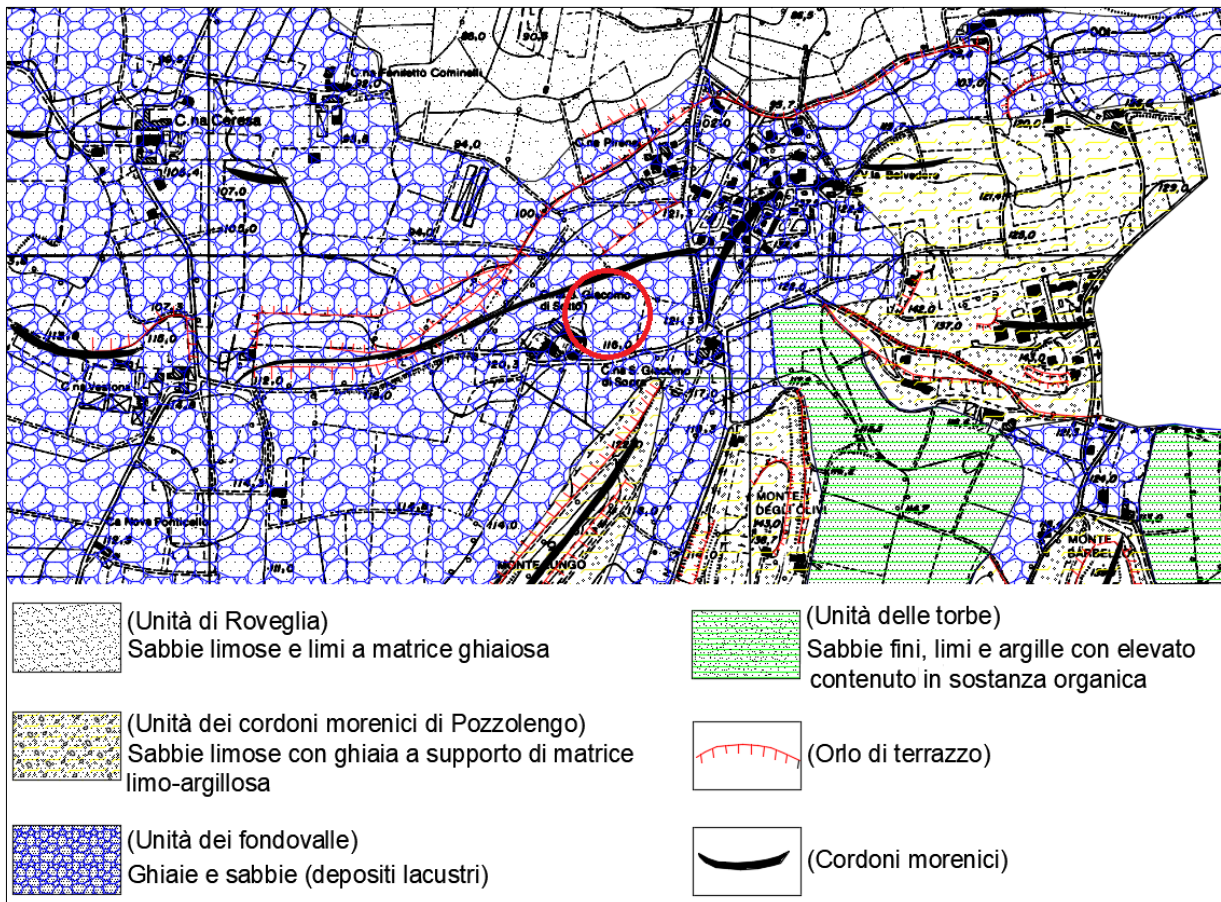


Fig. 2 - Stralcio della "Carta della litologia di superficie" (Tav. 1), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.2 Assetto Geomorfologico

L'assetto geomorfologico del settore meridionale gardesano è caratterizzato dalla presenza di cerchie moreniche concentriche rispetto al lago, talvolta discontinue, a morfologia piuttosto ondulata.

Il territorio di Pozzolengo nello specifico è caratterizzato da una topografia estremamente variabile, esso può presentare pendii fortemente inclinati e scoscesi, legati ai rilievi morenici, e aree con pendenza più moderata, che fanno da raccordo con gli avvallamenti e le piane intermoreniche. Le aree a morfologia infossata corrispondono ad antiche conche lacustri, ancora oggi influenzate da locali fenomeni di ristagno idrico nelle parti più depresse del paesaggio. Il modellamento dei cordoni morenici, infatti, avvenuto ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali, ha prodotto piane e valli intermoreniche talora piuttosto articolate. La variabilità geomorfologica del territorio è legata quindi alle complesse dinamiche di avanzamento, stazionamento e ritiro dei fronti glaciali e la relativa formazione, in più fasi, dei rilievi morenici e alla formazione di terrazzamenti. La continuità delle cerchie collinari è dunque sovente interrotta da piane intermoreniche caratterizzate da ondulazioni topografiche, legate in origine allo scorrimento canalizzato delle acque di scioglimento glaciale e successivamente allo sviluppo di alcuni corsi d'acqua olocenici. Il transito verso le condizioni climatiche attuali ha infatti sostituito i fenomeni legati alla dinamica glaciale con i fenomeni geomorfologici dovuti all'idrografia superficiale ed alla gravità, apportando ulteriori modifiche al paesaggio. In tempi recenti, l'azione antropica di modifica della topografia, essenzialmente legata alle pratiche agricole ed edificatorie, ha portato il territorio all'attuale configurazione.

L'andamento morfologico locale è legato ad un ambiente di origine glaciale e il lotto d'interesse insiste su un'area debolmente acclive e degradante in direzione Est/Nord-Est, a quote comprese tra 115 (confine Est) e 120 m s.l.m. (confine Ovest).

Esso può essere stato localmente modificato, mediante interventi antropici che hanno condizionano il paesaggio del sito d'interesse. A tal proposito possono essere presenti materiali rimaneggiati, in relazione ad interventi di regolarizzazione della topografia e ad attività edilizie pregresse legate alla realizzazione delle opere già presenti nell'area.

Nel complesso l'area in esame risulta stabile e, alla data dei rilievi, non è interessata da alcun fenomeno geomorfico in atto o di dissesto potenziale, come confermato dalla "Carta PAI-PGRA" (Tav. 1) allegata allo Studio Geologico del PGT comunale di Pozzolengo.

2.3 Caratteri Idrogeologici locali

L'assetto idrogeologico del territorio di Pozzolengo è legato alla circolazione idrica sotterranea che si instaura in funzione della permeabilità delle unità litologiche sopra descritte e ai loro rapporti stratigrafici. Nell'area in esame, il modello idrogeologico di riferimento è caratterizzato da acquiferi superficiali sospesi, discontinui e poco produttivi che circolano all'interno di lenti a granulometria più grossolana, presenti superficialmente nei depositi di origine glaciale.

La falda superficiale, caratteristica dell'area oggetto di indagine, posta a pochi metri di profondità dal piano campagna, è di tipo freatico superficiale, delimitata alla base dai depositi glaciali impermeabili o semimpermeabili, spesso ricchi di frazione argilloso-limosa. Essa è alimentata essenzialmente dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche.

Si segnala che all'interno dell'area di studio, a seguito dell'esecuzione delle indagini geognostiche in sito, sono stati rilevati fenomeni acquiferi a profondità variabili, da circa -2,85

(P6) a -5,6 (P1) m dal p.c. esistente. Si segnala tuttavia che fenomeni di circolazione d'acqua potrebbero in ogni caso comparire anche a profondità inferiori rispetto a quelle rilevate, soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde superficiali, a causa del susseguirsi di periodi caratterizzati da piovosità intensa e prolungata.

Gli acquiferi più sviluppati e di maggiore produttività nell'area in esame, si individuano a partire da circa -80-/90 m di profondità dal p.c.. In essa circolano le falde profonde confinate o semiconfinate da cui attingono i pozzi produttivi della zona (vedi stratigrafie pozzi in allegato), queste risultano avere un'alimentazione di tipo distale, non direttamente collegata alle precipitazioni meteoriche ma alimentate dai settori delle cerchie moreniche e probabilmente, in piccola parte, dalle acque del Lago. Il grado di Vulnerabilità delle acque sotterranee, così come indicato all'interno della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. del Comune di Pozzolengo (**Fig. 3**), risulta da alta a medio-alta, in funzione soprattutto della bassa soggiacenza della falda dal piano campagna.

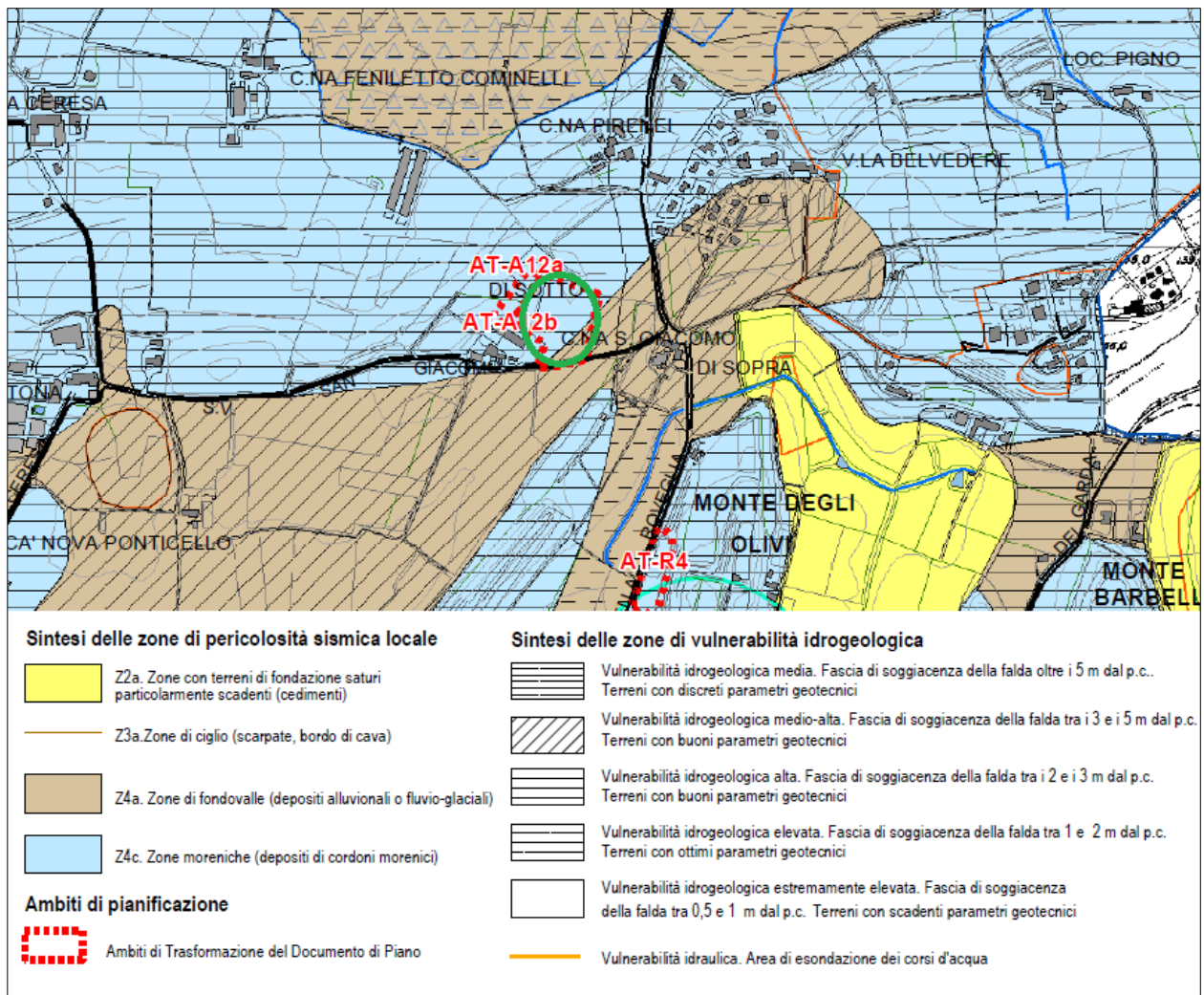


Fig. 3 - Stralcio della "Carta di Sintesi della Pericolosità Sismica, Vulnerabilità Idrogeologica e Reticolo Idrico" (Tav. 13a), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.4 Permeabilità dei terreni

La circolazione idrica sotterranea dell'area di progetto è in funzione della permeabilità delle unità idrogeologiche presenti. In merito, il lotto d'interesse è costituito, oltre un primo orizzonte superficiale vegetale/rimaneggiato, da depositi costituiti da ghiaia con limo sabbioso e ciottoli, permeabili per porosità, caratterizzati da una permeabilità complessivamente media.

Per la stima dei valori di permeabilità k sono state eseguite all'interno del lotto di progetto specifiche prove di permeabilità all'interno degli scavi esplorativi; tali dati sono stati confrontati con i dati reperiti da letteratura, riguardanti le caratteristiche di permeabilità dei terreni, sia da stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella di studio.

Sulla base dei dati elaborati dalle prove in situ, ai depositi superficiali presenti in prossimità dello scavo T1 eseguito all'interno dell'area d'interesse, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie in matrice limoso-argillosa con ciottoli, sono attribuiti valori di permeabilità medi ($5,71 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) con discrete capacità di drenaggio.

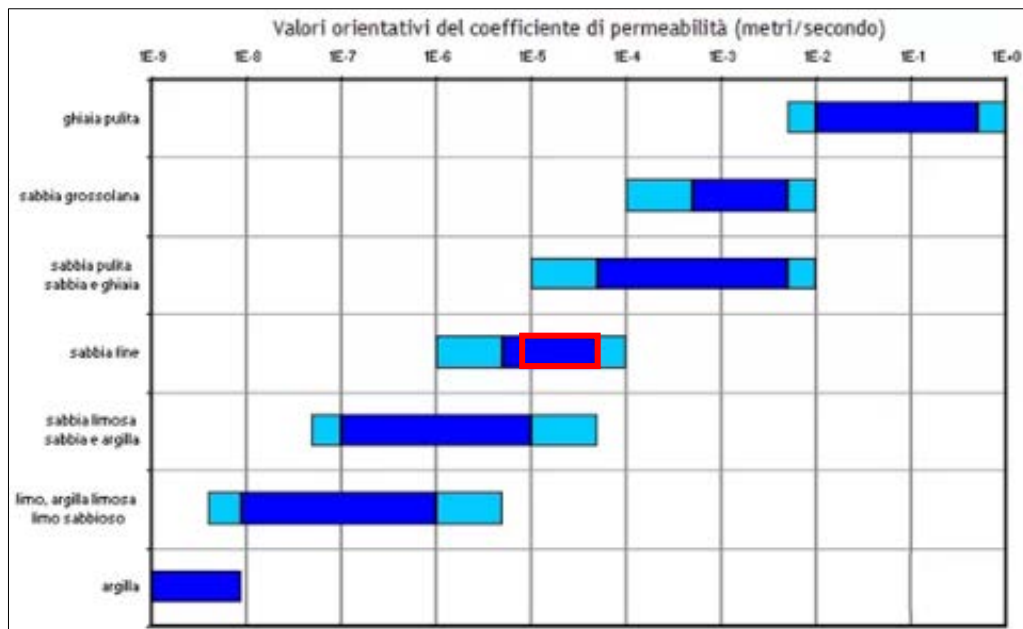


Fig. 4 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità.

2.5 Rete Idrografica locale

La rete idrografica superficiale nelle aree moreniche, e nei settori limitrofi ad esse, è solitamente poco sviluppata, con presenza di rari impluvi che fungono da vettori per le acque meteoriche di scorrimento superficiale. I corsi d'acqua di maggiore importanza possiedono un andamento irregolare, prendono origine dalla base dei versanti collinari, raccolgono le acque delle aste idriche minori. Tali corsi d'acqua afferiscono al reticolo idrografico del Fiume Mincio che scorre ad Est del territorio comunale di Pozzolengo.

L'idrografia del territorio è di fatto poco articolata e subordinata interamente alla presenza della Fossa Redone ed ai suoi differenti rami. Si tratta di un corso d'acqua con andamento irregolare, a tratti meandriforme in funzione della scarsa pendenza dell'alveo.

Nella Fossa Redone confluiscono, mediante fossi e corsi d'acqua minori, i deflussi superficiali del territorio comunale, secondo linee di drenaggio poco accentuate.

Nello specifico, il deflusso idrico superficiale entro l'area di indagine ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale e tramite i collettori idrici a servizio degli edifici a destinazione residenziale presenti nelle immediate vicinanze dell'area di progetto. All'interno della proprietà oggetto d'intervento non si segnalano inoltre zone soggette a problematiche di tipo idraulico.

Per quanto riguarda il reticolo idrografico superficiale, l'area progettuale, come riportato nella "Carta di Sintesi della Pericolosità Sismica, Vulnerabilità Idrogeologica e Reticolo Idrico" (Tav. 13/a), non interferisce con alcun elemento del reticolo idrografico e non rientra all'interno delle fasce di tutela per essi istituite.

2.6 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 (Revisione 2022), evidenziano l'assenza di limitazioni derivanti da quanto previsto dalla D.G.R. X/6738 del 19/06/2017 vigente in materia (nessun scenario di pericolosità e rischio).

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, in data 7 Luglio 2022 la ditta *Crestana S.r.l.s.* ha eseguito un'indagine geognostica, realizzata e progettata al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✓ Caratterizzazione idrogeologica e definizione permeabilità dei terreni superficiali;
- ✓ Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione e verifica della presenza di un'eventuale falda acquifera superficiale;
- ✓ Modello sismostratigrafico e caratterizzazione sismica del sito.

L'indagine ha previsto la realizzazione di **n°5 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)**, **n°2 prove penetrometriche statiche (CPT)** e **n°3 Scavi Esplorativi** per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

È stato eseguito inoltre **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 delle opere di progetto. I dati derivanti dalle prove in situ riassunti nei diagrammi in allegato sono riferiti al piano campagna presente alla data delle indagini (p.c.).

3.1 Scavi esplorativi

Metodologia di esecuzione

In accordo con i *Tecnici della committenza*, per la presente campagna d'indagine sono stati eseguiti **n° 3 scavi esplorativi**, per la caratterizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione e per l'esecuzione di prove di permeabilità dei terreni.

Gli scavi sono stati ubicati in modo da essere complementari alle informazioni geotecniche desumibili dalle prove penetrometriche; essi hanno raggiunto una profondità massima di -2,5 m dal p.c., necessaria a raggiungere gli obiettivi preposti e ad indagare gli orizzonti stratigrafici superficiali interessati dalle future operazioni di scavo e posa fondazioni, nonché per la determinazione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni.

La stratigrafia riscontrata risulta pienamente corrispondente alle caratteristiche dei terreni superficiali individuati con le prove penetrometriche.

La descrizione dei terreni è stata eseguita utilizzando il "*criterio granulometrico*" fissato per la descrizione delle terre dalle (AGI 1977), secondo cui il terreno viene denominato gerarchicamente con il nome della frazione percentuale maggiore. Successivamente, la frazione gerarchicamente inferiore viene preceduta dal termine "*con*" se la percentuale è compresa tra il 25% e il 50% oppure seguita 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%. Le frazioni inferiori al 5% sono indicate con "*... in tracce*".

3.2 Prove di permeabilità in sito

Per la definizione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni presenti in sito, è stata eseguita, entro lo scavo esplorativo T1, una specifica **prova di permeabilità a carico variabile**.

Metodologia ed esecuzione della prova

Le prove di permeabilità sono state eseguite inserendo all'interno dello scavo esplorativo un tubo cieco del diametro di 196 mm e con lunghezza pari a 2,0 m.

Le prove di permeabilità possono essere di due tipologie:

- prove a carico costante, effettuate cioè riempiendo d'acqua il tubo e misurando la portata necessaria per mantenere costante il livello;
- prove a carico variabile, effettuate misurando la velocità di abbassamento in funzione del tempo.



Fig. 5 - Esecuzione di prova di permeabilità in sito.

Le prove, in questo caso di tipo a carico variabile, sono state eseguite nel terreno preventivamente saturato, mediante riempimento del fondo foro, circoscritto dal tubo circolare del diametro di 196 mm, con acqua per quasi l'intera altezza del tubo, con misura della velocità di abbassamento del livello idrico in funzione del tempo.

La stima del *coefficiente di permeabilità* (k), è stata ricavata utilizzando la seguente formula (A.G.I. - 1977):

$$k = \frac{A}{C_L(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

in cui:

A = area di base della tubazione;

h_2-h_1 = altezza dei livelli d'acqua nel foro rispetto al livello della falda indisturbata o al fondo del foro stesso agli istanti t_1 e t_2 ;

t_2-t_1 = tempi ai quali si misurano h_1 e h_2 ;

C_L = coefficiente di forma dipendente dall'area del foro della tubazione e dalla lunghezza del tratto di foro scoperto.

T1

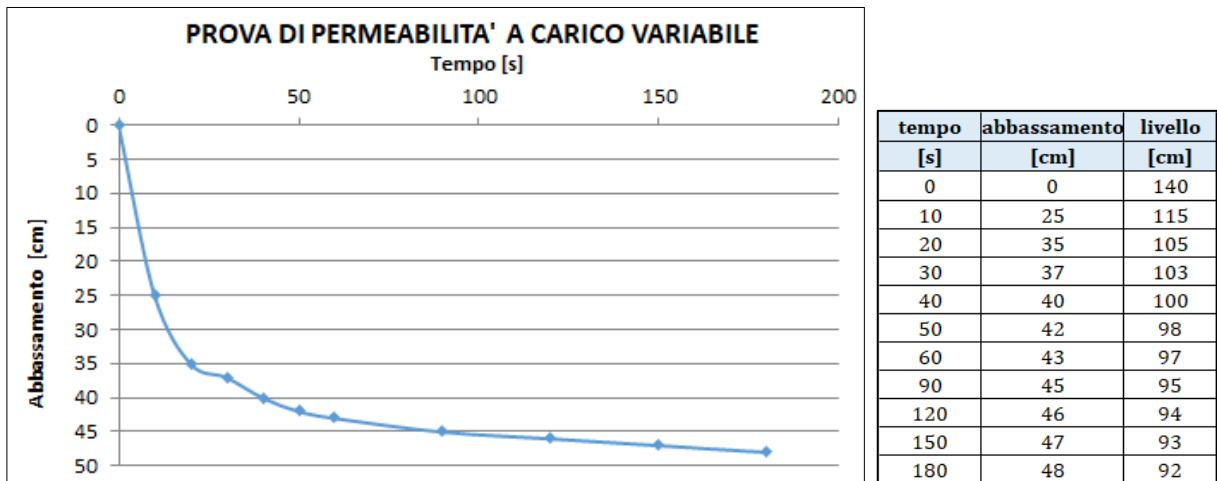


Fig. 6 - Schemi di calcolo del coefficiente di permeabilità.

Interpretazione dei risultati

In relazione alla formula riportata e ai risultati presentati in **Fig. 6**, si ottiene il seguente coefficiente di permeabilità (k) di sito:

SCAVO	PROFONDITÀ DI ESECUZIONE DELLA PROVA (m da p.c.)	LITOLOGIA	PERMEABILITÀ K
T1	Da -2,0	Ghiaia e sabbia in matrice limosa	$5,71 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

Sulla base dei dati raccolti dalle prove in situ, ai depositi superficiali presenti in prossimità dello scavo T1 eseguito all'interno dell'area d'interesse, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie in matrice limosa, sono attribuiti valori di permeabilità medi ($5,71 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) con discrete capacità di drenaggio.

3.3 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH) e statiche (CPT)

Metodologia ed attrezzatura di prova

La **prova penetrometrica statica CPT** (*Cone Penetration Test*) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica, di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno, tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterna e su una interna.

La punta meccanica, di tipo Begemann, possiede un angolo di apertura pari a 60° , un diametro di 35,7 mm e una superficie di 10 cm^2 e viene infissa nel terreno mediante un sistema idraulico di spinta da 20 ton ed una batteria di aste, ad una velocità costante di $2 \text{ cm/s} \pm 0,5 \text{ cm/s}$. Al di sopra della punta, si ha un manicotto scorrevole, con un diametro pari a 35,7 mm, una lunghezza di 133 mm ed una superficie di 150 cm^2 , sul quale viene misurata la resistenza di attrito laterale (f_s). Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico.

I valori acquisiti, ad intervalli regolari di 0,20 m, sono visualizzati su un display digitale e risultano essere alternativamente **LP** (lettura alla punta) e **LL** (lettura laterale). I valori di seguito calcolati **qc**, resistenza alla punta conica (Kg/cm^2), e **fs**, resistenza all'attrito laterale (manicotto) (Kg/cm^2), sono legati da correlazioni empiriche ad alcuni **parametri geotecnici caratteristici** del terreno e permettono dunque di valutare la successione stratigrafica del sottosuolo indagato, identificando la **natura degli strati attraversati**.

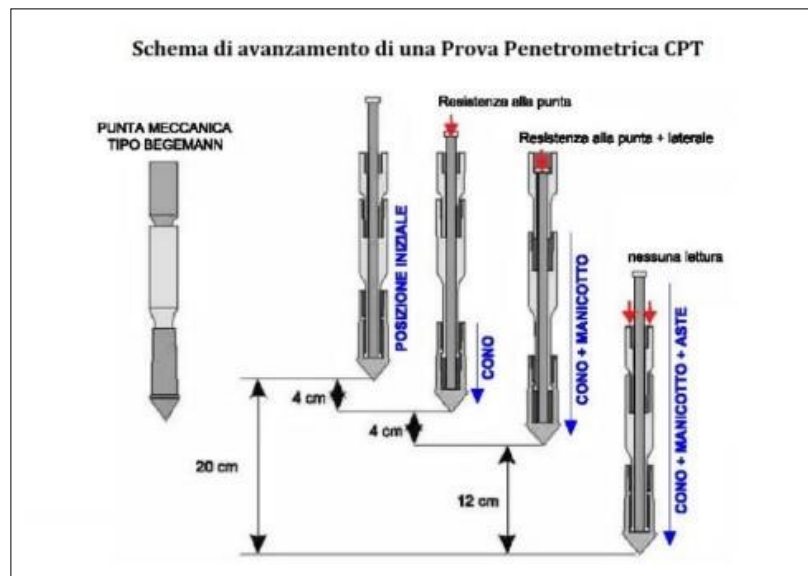


Fig. 7 - Modalità di prova CPT e avanzamento punta Begemann.

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°5 prove penetrometriche dinamiche standard**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dynamic 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.

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



Fig. 8 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

Interpretazione dei dati

Le prove penetrometriche sono state spinte ad una profondità massima di 12,3 m rispetto al p.c. (P7); esse risultano sufficientemente rappresentative dei terreni indagati e correlabili con altre prove eseguite dal sottoscritto in aree limitrofe ed in contesti omologhi a quello di studio. Il prematuro rifiuto strumentale riscontrato solo in alcune delle prove (P3, P5, P6) è imputabile all'elevato addensamento dei terreni indagati e/o alla presenza di grossi ciottoli entro l'unità glaciale attraversata.

Le evidenze lito-stratigrafiche delle verticali d'indagine e il grado di addensamento dei terreni attraversati sono di seguito riassunti, prendendo come riferimento il piano fondazioni dell'edificio esistente. Si specifica che quanto riportato di seguito, è un modello geologico medio e tiene conto dell'elevata eterogeneità litologica riscontrata presso l'area di studio:

MODELLO GEOLOGICO LOCALE

	Unità geologica	Caratteristiche litologiche	N _{SPT} medio	q _c (kg/cm ²)	Denominazione AGI
STRATO 1	Unità S	Terreno vegetale/rimaneggiato prevalentemente ghiaioso-sabbioso con ciottoli	10-32	50-115	Da moderatamente addensato ad addensato
da 0,0 a -0,3/-3,6 m					
STRATO 2	Unità A	Depositi fluvioglaciali superficiali costituiti da limi sabbiosi, e argille limose nel settore centro-orientale dell'area d'indagine	10-25	18-45	Moderatamente addensato
da -0,3/-3,6 m a -4,6/-7,5 m					
STRATO 3	Unità B	Depositi glaciali ghiaioso-sabbiosi con ciottoli in matrice limoso-argillosa	30->50	>150	Da addensato a molto addensato
Oltre -4,6/-7,5 m dal p.c.					

Per la misura del livello di falda, sono stati inseriti tubi piezometrici in PVC, del diametro di 1/2". Le misure effettuate al termine dell'indagine geognostica, sono state riassunte nella seguente tabella:

Punto di misura	Piezometro microfessurato	Falda (m dal p.c.)
P1 (SCPT)	fino a -8,0 m	-5,60
P2 (SCPT)	fino a -6,0 m	-5,00
P3 (CPT)	fino a -3,4 m	Non rilevata
P4 (SCPT)	fino a -6,0 m	-5,80
P5 (SCPT)	fino a -6,0 m	-4,10
P6 (CPT)	fino a -5,0 m	-2,85
P7 (SCPT)	fino a -3,0 m	Non rilevata

Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di acquiferi superficiali circolanti in lenti a maggiore permeabilità, sostenuti alla base da strati più francamente limoso-argillosi semi-impermeabili. Si segnala inoltre che fenomeni di umidità/livelli acquiferi, potranno comparire a profondità inferiori di quelle rilevate, soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde, a causa del susseguirsi di periodi caratterizzati da piovosità intensa e prolungata.

3.4 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** ed analisi congiunta con i dati ottenuti mediante l'esecuzione di **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde di taglio S** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ 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_r 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 tromometro 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. ES-3000*); 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.

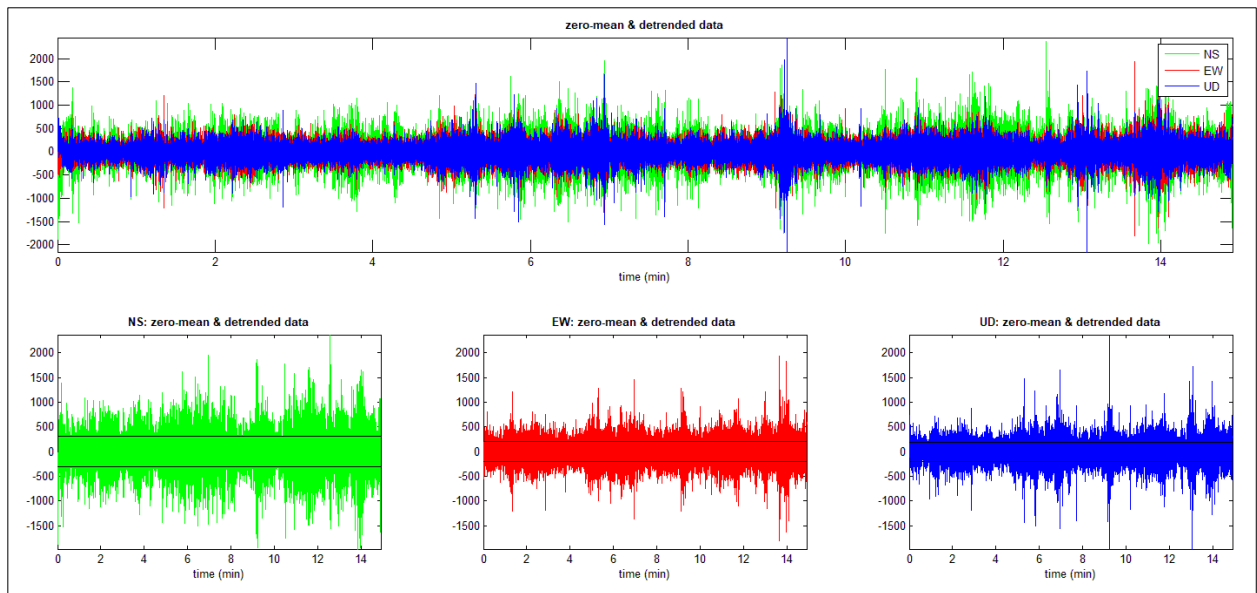


Fig. 9 - Visualizzazione dei dati originali prima della rimozione di eventi transienti.

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.

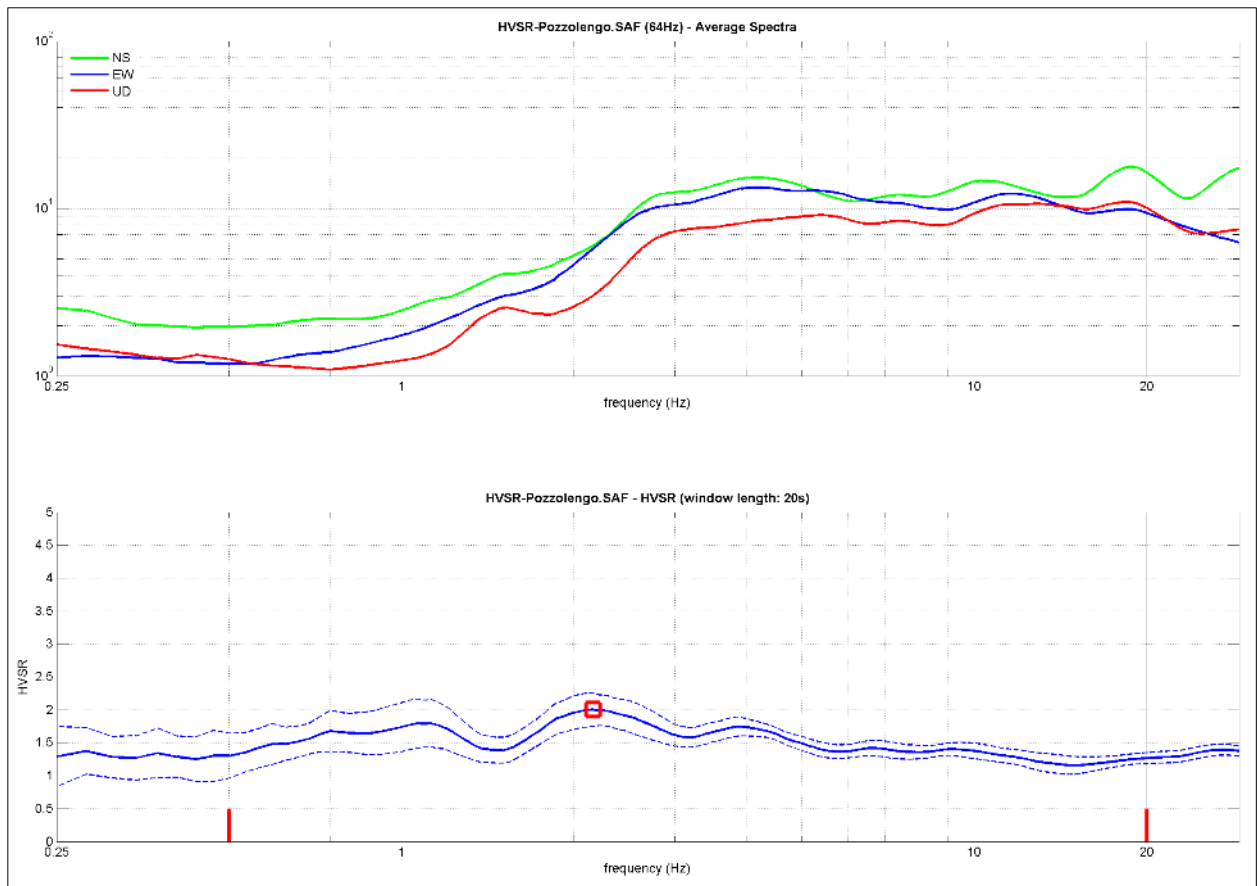


Fig. 10 - HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSr riportata, indica un picco principale a circa 2,2 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. $[f_0 > 10/Lw]: 2.158 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]: 3626 > 200$ (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. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]:$ (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$ (NO)
- #3. $[A_0 > 2]: 2.0 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)]: 1.133 > 0.108$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.252 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 2,2 Hz con ampiezza pari a 2,0 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 2,2 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 contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei depositi 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 (λ), 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'interazione 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 dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture 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 (2-4-6-8-10-15 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 4 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 puntali 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. ES-3000*); 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. 11**). 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

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. 11**).

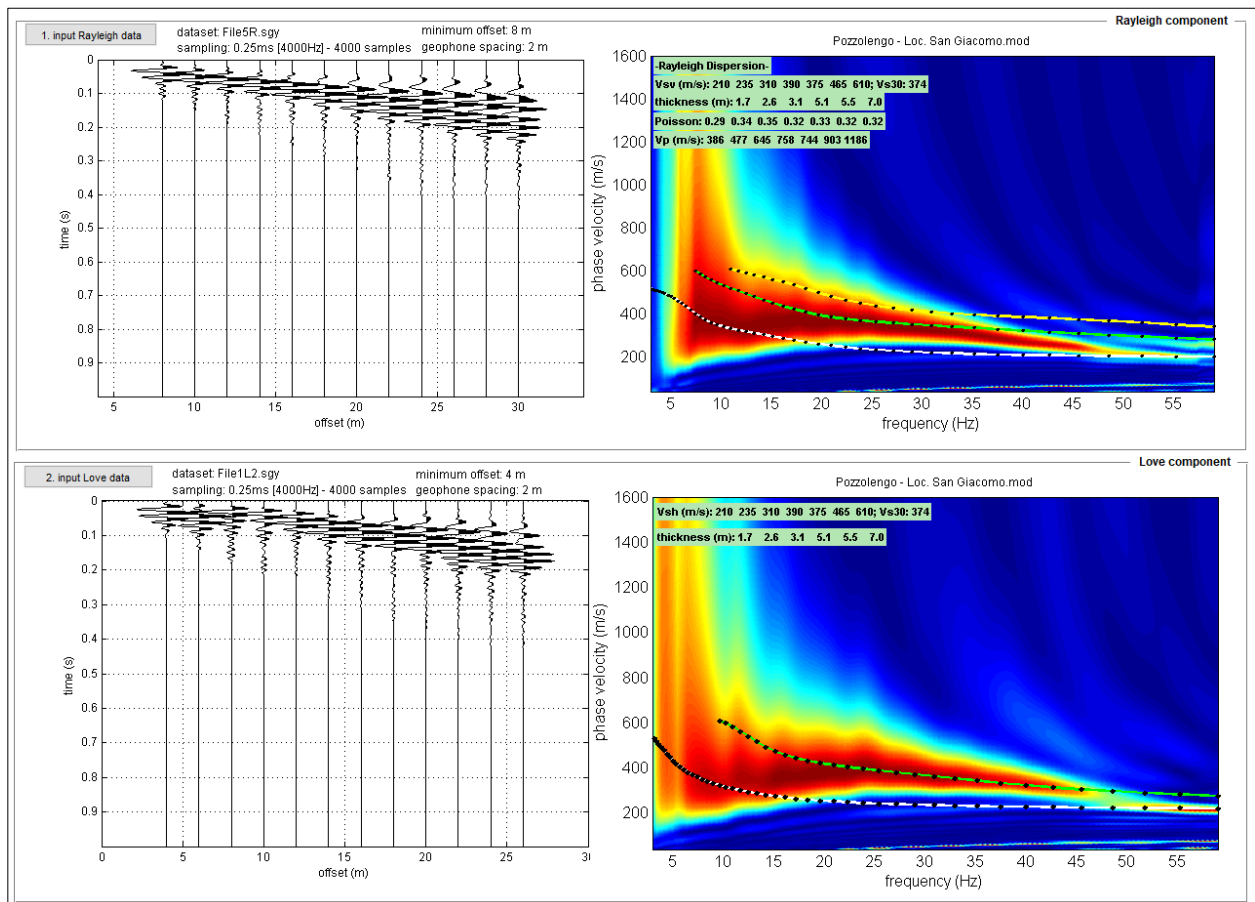


Fig. 11 - Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori, che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).

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.

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 - Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	210	1,7	-1,7	1,82	0,29	80
2	235	2,6	-4,3	1,87	0,34	104
3	310	3,1	-7,4	1,95	0,35	187
4	390	5,1	-12,5	1,99	0,32	302
5	375	5,5	-18,0	1,98	0,33	279
6	465	7,0	-25,0	2,03	0,32	439
7	610	5,0	-30,0	2,10	0,32	780

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 _{S,eq}	Profondità del bedrock sismico	Categoria di sottosuolo: B
A partire dal p.c.	374 m/s	Oltre 30 m dal p.c.	<p>Stimata sulla base del valore di V_{S,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018</p> $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ <p>Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II</p>

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto, mediante analisi MASW in onde di Rayleigh e di Love, fino ad una profondità di -30,0 m dal p.c. (**Fig. 12**), utilizzata per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$.

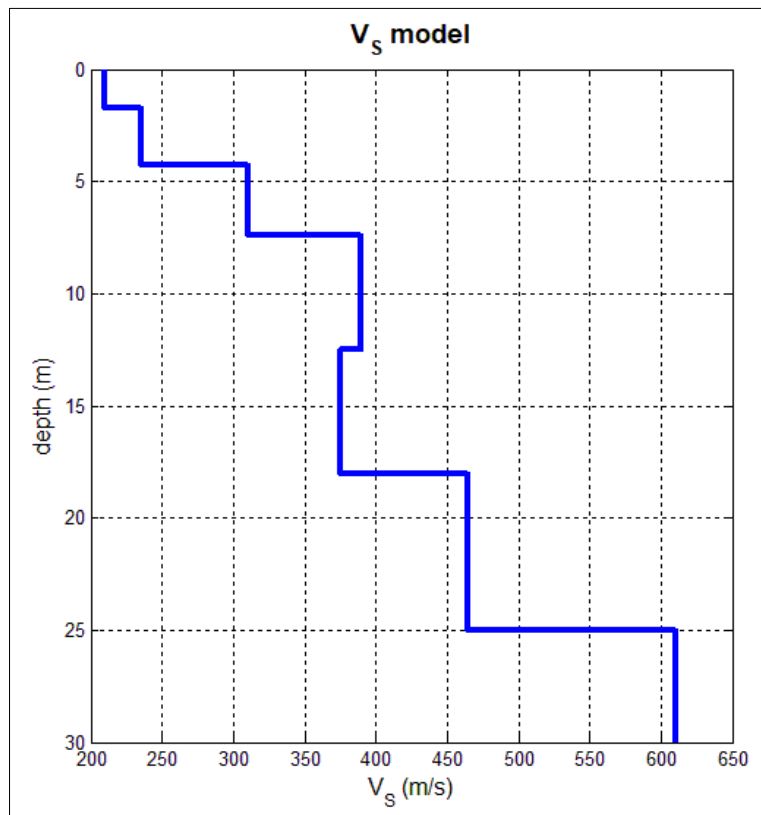


Fig. 12 - Profilo sismostratigrafico.

4. SISMICITÀ DELL'AREA

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. 13**).

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.

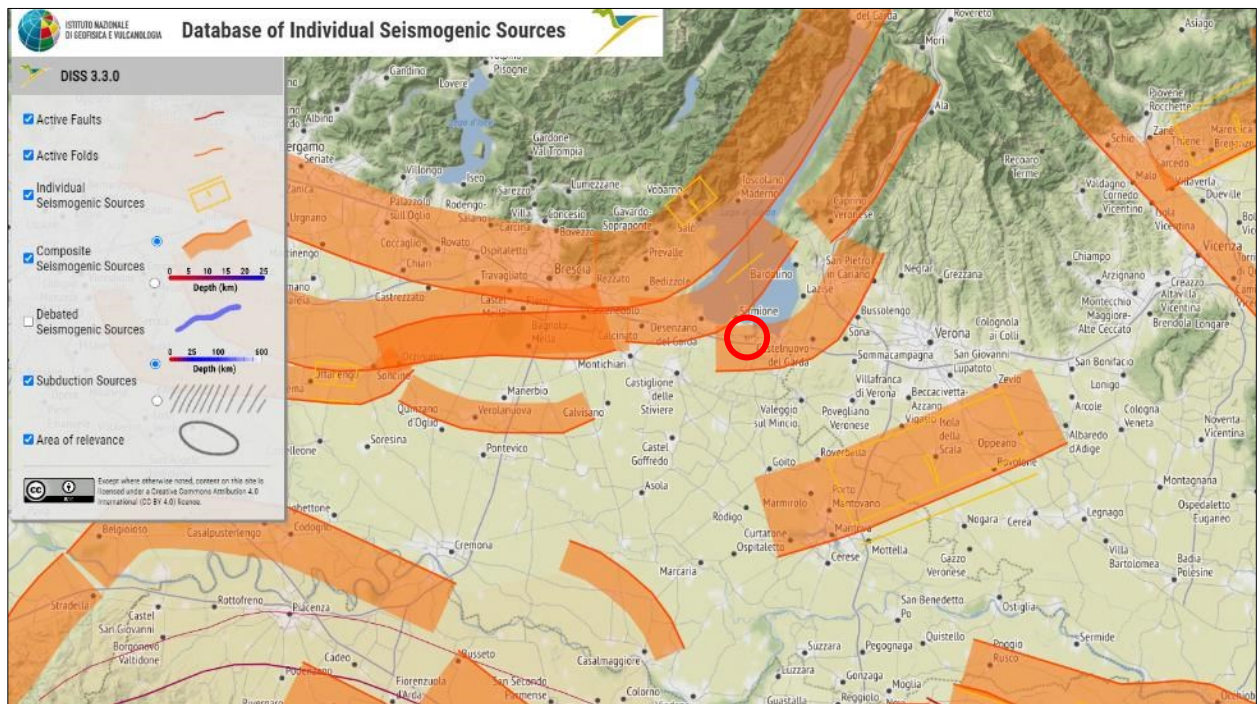


Fig. 13 - Stralcio del Database cartografico delle sorgenti sismogenetiche della regione prealpina e pedemontana gardesana (DISS versione 3.3.0 - INGV), con ubicazione dell'area di interesse.

4.2 Sismicità locale

L'attività sismica storica nel basso Garda 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 basso 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.

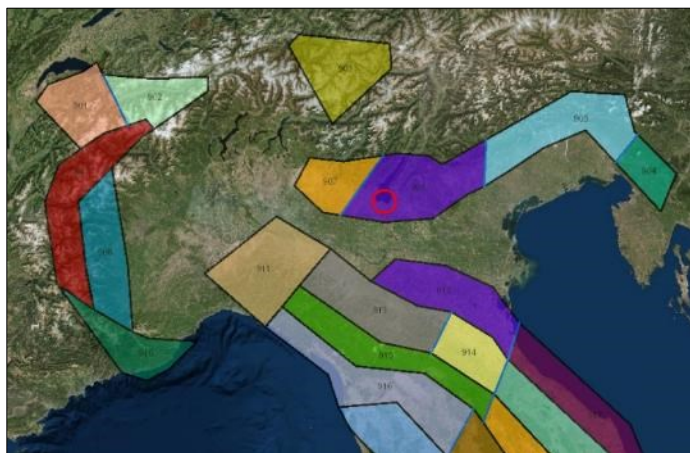


Fig. 14 - Schema Zonazione Sismogenetica ZS9 (tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

Gli eventi sismici storici sono consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (C.P.T.I.15 versione 4.0 – progetto INGV - anno 2022) e sono assegnati mediante l'individuazione della "Zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. 14) – 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 – O.P.C.M. 3274/2003 - INGV).

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 Pozzolengo**:

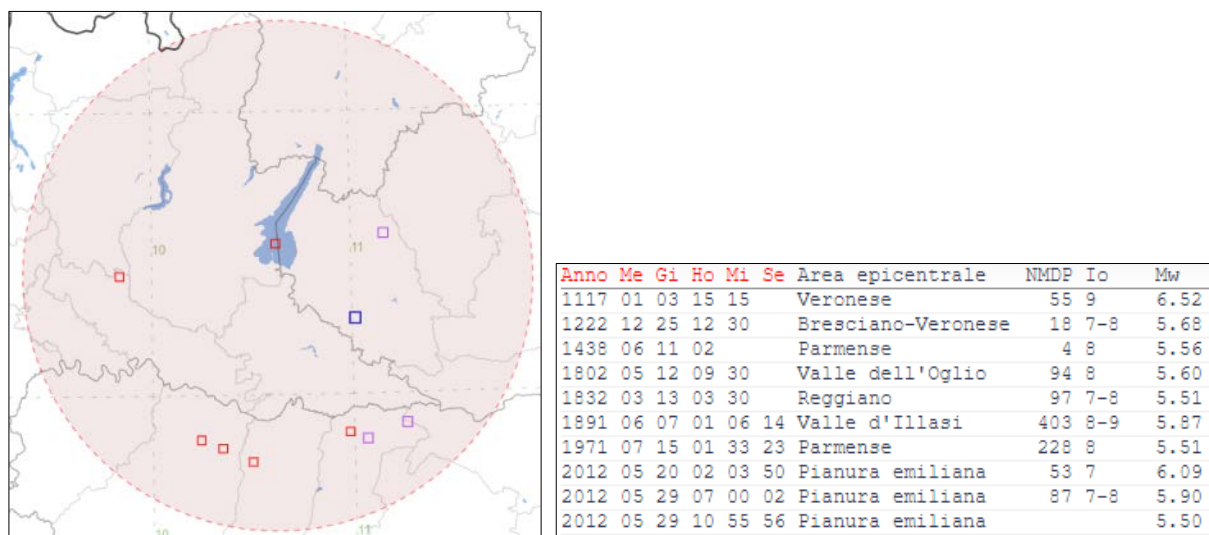
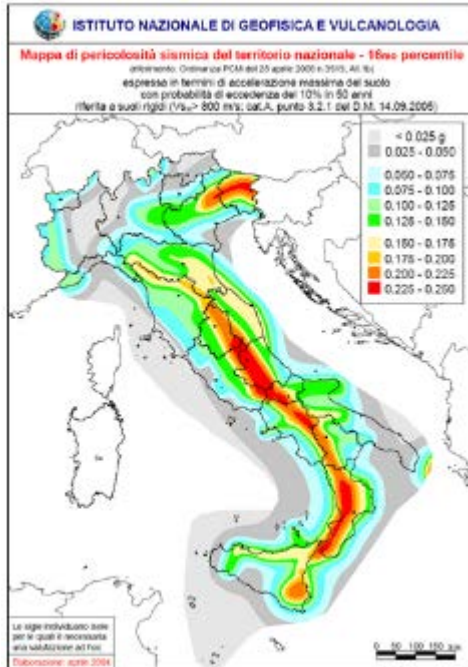


Fig. 15 - Catalogo multiparametrico dei terremoti italiani con magnitudo (M_w) > 5,5 verificatisi in un'area di raggio pari a 100 km dall'area d'indagine (C.P.T.I.15 versione 4.0 – progetto INGV - 2022).

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 D.L. 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. 16**). 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 D.G.R. Lombardia 9/2616/2011 e come regolamentato dalle 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 (L.R. 33/2015, e D.G.R. 5001/2016).

Fig. 16 - Mappa di pericolosità sismica secondo l’O.P.C.M. 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 **Pozzolengo** risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica **a_g compresa tra 0,150 g 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 aggiornato le zone sismiche in Regione Lombardia, ha lasciato il territorio di Pozzolengo in Zona sismica 2, indicando un valore di $a_{g,max}$ pari a 0,163 g.

5. 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.

5.1 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:

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

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 374 m/s e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una “categoria di sottosuolo B”.

Dal punto di vista della *Pericolosità Sismica Locale* la quasi totalità del lotto di interesse è stato classificato, nell’Aggiornamento della “*Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio*” di Pozzolengo, entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4c** “*Zone moreniche (depositi di cordoni morenici)*”, ad esclusione della fascia Sud-Orientale, la quale rientra in uno scenario **Z4a** “*Zone di fondovalle (depositi alluvionali e fluvio-glaciali)*” (vedi **Fig. 3**).

Per lo scenario Z4 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. 9/2616/2011). Secondo l’approfondimento di II livello citato, il lotto di progetto ricadrebbe in un’area in cui sono segnalati, sia per edifici con periodo T compreso tra 0,1 s e 0,5 s che con periodo tra 0,5 e 1,5 s, valori di F_a di sito inferiori ai valori di F_a di soglia previsti per la categoria di sottosuolo considerata 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**

Si specifica che, per i limiti intrinseci della metodologia d'indagine sismica 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). Pertanto, la ricostruzione dell'andamento dei valori di V_s è stata stimata sulla base del gradiente di V_s nei primi 30 m indagati e considerando, la mancanza di strati rigidi fino ad almeno 90-100 m di profondità e il carico litostatico agente a tali profondità. Per queste motivazioni, e tenendo conto dell'andamento della curva di validità della scheda limoso-sabbiosa tipo 2, ritenuta idonea ad eseguire l'analisi di II livello secondo le norme regionali, il bedrock sismico è stato assegnato ad una profondità plausibile di -95,0 m dal piano campagna generale.

I risultati ottenuti indicano, considerando la variabilità di +0,1 concesso nel metodo di calcolo dalla normativa regionale stessa, che per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, è stato calcolato un valore di F_a di sito inferiore al valore di F_a 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 T compreso tra 0,1 e 0,5 s, si ottiene un valore di F_a di sito superiore al valore di F_a di soglia comunale. Sarà quindi necessario, considerando la variabilità di +0,1 concesso nel metodo di calcolo dalla normativa regionale, assumere in progetto la **Categoria di Sottosuolo "C"** ($FAC > FAS$) e i rispettivi 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 sia inserito in un contesto caratterizzato da una morfologia subpianeggiante, debolmente degradante in direzione Ovest, ma 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**.

5.2 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: 10,632416 - Latitudine: 45,419675**), 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 S_t	1,0			
Classe d'uso dell'edificio	II			
Vita Nominale della costruzione (in anni) - V_N	50			
Coefficiente d'uso della costruzione - C_U	1,0			
Periodo di Riferimento per la costruzione (in anni) T_R	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	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0,041	2,552	0,233
SLD	50	0,055	2,485	0,249
SLV	475	0,157	2,426	0,276
SLC	975	0,203	2,476	0,278

5.3 Amplificazione Stratigrafica (S_s)

L'influenza del profilo sismostratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valuta 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 (S_s)* e di *coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo (C_c)*. 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	S_s	1,500	SLV	S_s	1,472
	C_c	1,662		C_c	1,605

5.4 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: $a_{g \text{ max suolo}} = a_g \times S_s \times S_t$. Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

a_g	0,157
S_s	1,472
S_t	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,231 g e risulta quindi superiore a quello di esclusione indicato dal comma 1 (non verificato).

comma 2. per l'area oggetto di indagine, a seguito dell'esecuzione delle indagini in sito, è stata riscontrata la presenza di una falda acquifera a partire da circa -2,85/-5,60 m dal p.c., contenuta nei livelli superficiali della sequenza deposizionale glaciale indagata (non verificato).

comma 3. in base alle indagini svolte in sito e al modello geologico-stratigrafico proposto non sono stati rilevati depositi costituiti da sabbie pulite e quindi tale condizione non risulta direttamente applicabile.

comma 4. dal modello geologico-geotecnico redatto e in accordo con le stratigrafie dei pozzi terebrati nelle vicinanze, il sito risulta caratterizzato, escluso il primo strato superficiale, da depositi fluvio-glaciali prevalentemente costituiti da limi-sabbiosi e argille limose, seguiti in profondità da depositi glaciali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi in matrice limoso-argillosa, con granulometria esterna alle curve normative di *Figura 7.11.1(a) e 7.11.1(b)* del D.M. 17/01/2018 (verificato).

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

6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO

Dall'analisi della cartografia allegata all' *Aggiornamento dello Studio della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica* del Piano di Governo del Territorio di Pozzolengo (Febbraio 2019), è stato verificato che il sito di progetto ricade nella **Classe di Fattibilità 2**, con **modeste limitazioni d'uso**.

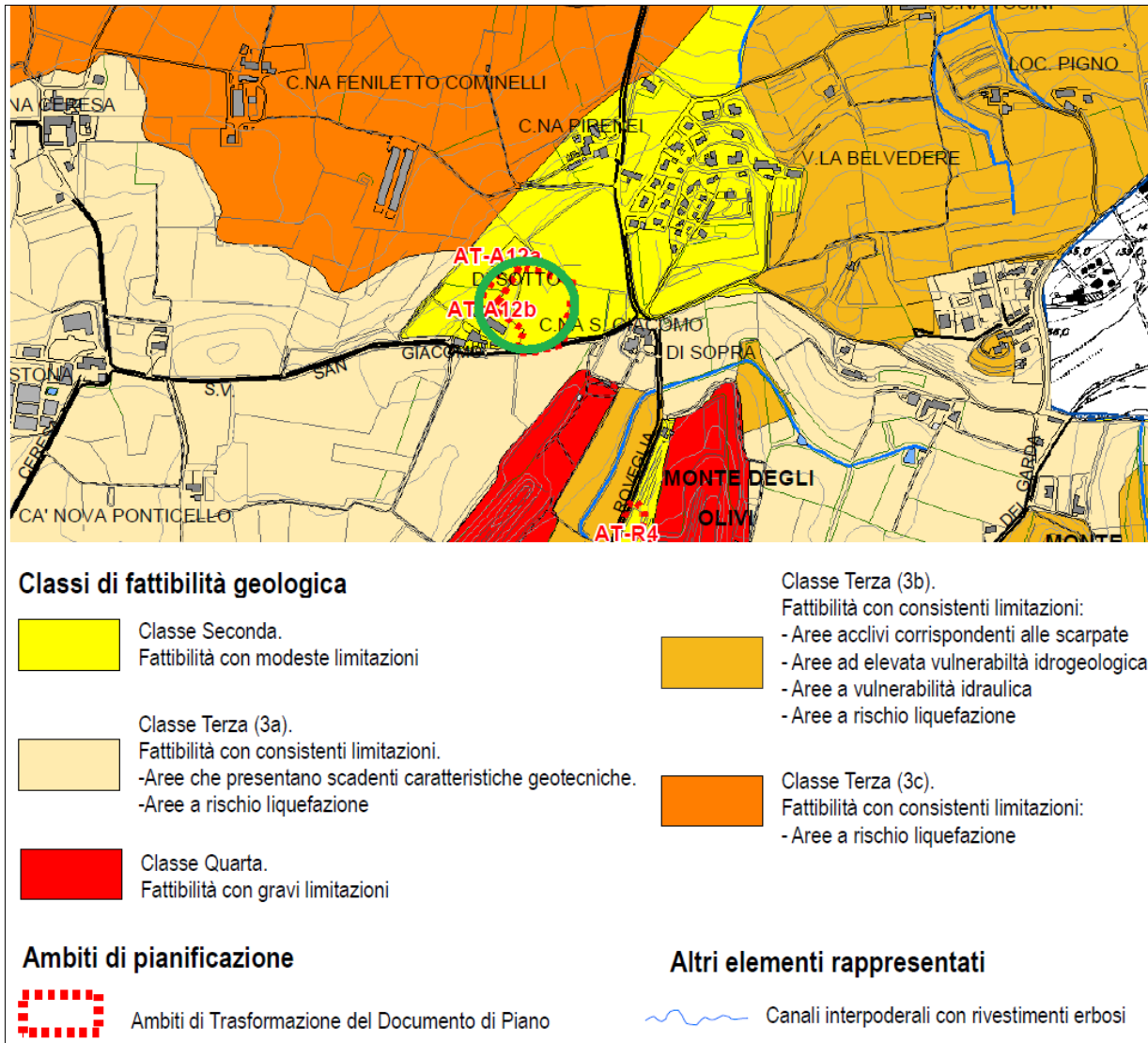


Fig. 18 - Stralcio della "Carta della Fattibilità Geologica" (Tav. DP 13b), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tale classe di Fattibilità Geologica, 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, in funzione delle sottoclassi individuate, di seguito enunciate:

✓ **CLASSE 2** (Aree stabili, con profondità della falda prossima al p.c.)

Per questa sottoclasse sono previste le tipologie di opere di progetto e per essa è stata valutata la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area, con particolare attenzione alla caratterizzazione geotecnica, accertando lo spessore delle coperture superficiali e i parametri caratteristici dei terreni indagati. In base al modello geotecnico di seguito proposto, nel presente elaborato, redatto in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, sono state indicate le unità litostratigrafiche idonee all'intestazione delle nuove fondazioni delle opere di progetto.

Inoltre, la realizzazione delle opere è subordinata ad uno studio idrogeologico che accerti la compatibilità dell'intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, valutando il possibile impatto sulle acque sotterranee e che preveda, se necessario, l'adozione di accorgimenti in grado di tutelare la falda acquifera e di sistemi di controllo.

A tal proposito, le prove penetrometriche, realizzate all'interno del lotto progettuale, hanno rilevato la presenza di falde acquifere superficiali a partire da circa -2,85/-5,60 m dal p.c. esistente. Inoltre, si segnala che possibili livelli di acquiferi superficiali potrebbero essere rinvenuti anche a profondità inferiori di quelle rilevate, soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde superficiali e al susseguirsi di stagioni caratterizzate da piovosità intensa e prolungata.

Sulla base delle quote progettuali fornite dalla *Committenza* alla data di stesura del presente elaborato, si ritiene che le operazioni di scavo per la realizzazione delle fondazioni del piano interrato progettuale, non interferiranno con tali livelli acquiferi.

In ogni caso, la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee, dovrà essere garantita operando in cantiere mediante procedure non potenzialmente idroinquinanti e adoperando idonei materiali e tecniche costruttive per l'isolamento delle strutture di fondazione. Si ritiene inoltre che, l'intervento di realizzazione delle opere progettuali, sia compatibile con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, non introducendo alcun impatto sulle acque di falda, prevedendo la messa in opera delle idonee reti fognarie di smaltimento reflui e di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche.

Nelle sottoclassi individuate risultano consentite tutte le tipologie di intervento. Secondo i regolamenti di Piano, la loro realizzazione è subordinata comunque alla predisposizione di una relazione geologica e geotecnica eseguita attualmente ai sensi del D.M. 17/01/2018, così come ampiamente trattato nel presente elaborato.

Nell'area in esame, non si segnalano quindi, per la classe di Fattibilità Geologica prevista e per le corrispondenti limitazioni, situazioni e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche idrogeologiche, idrografiche e geomorfologiche dell'area. Inoltre, si ritiene che gli interventi di progetto non risultino in grado di indurre situazioni di dissesto o modificare il valore morfologico-paesaggistico del territorio.

Nella sottoclasse individuata risultano consentite le opere di progetto previste; la loro realizzazione è subordinata alla predisposizione di una Relazione Geologica e Geotecnica, eseguita ai sensi del (D.M. 17/01/2018), rappresentata dal presente elaborato, che valuti la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed

idrogeologiche dell'area, con particolare attenzione alla stabilità dei versanti, alla regimazione delle acque superficiali ed in funzione degli eventuali interventi di messa in sicurezza del versante, accertando l'eventuale presenza di fenomeni di instabilità.

In definitiva nell'area in esame non si segnalano, per la Fattibilità Geologica assegnata e per le corrispondenti limitazioni previste, scelte progettuali e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche ed idrografiche dell'area.

Alla luce quindi del presente studio geologico e in base alla caratterizzazione geotecnica di seguito proposta, si specifica che gli interventi di progetto, se eseguiti secondo le modalità realizzative prescritte sono compatibili con lo scenario fattibilità generale previsto per l'area oggetto di studio.

Nello stesso Studio Geologico comunale segnala la presenza, lungo il confine meridionale del lotto d'interesse, di **Normative di vincolo** (Carta dei vincoli - Tav. DP4 SUD) correlate alla fascia di rispetto della viabilità vicinale, pari a 10 m. (strade tipo F; **Fig. 19**). Si specifica in merito che gli ingombri degli edifici progettuali ricadono al di fuori della sede stradale e quindi dalla relativa fascia di rispetto per essa istituita. Gli interventi progettuali non comporteranno nessun tipo di sopravanzamento verso tale strada.

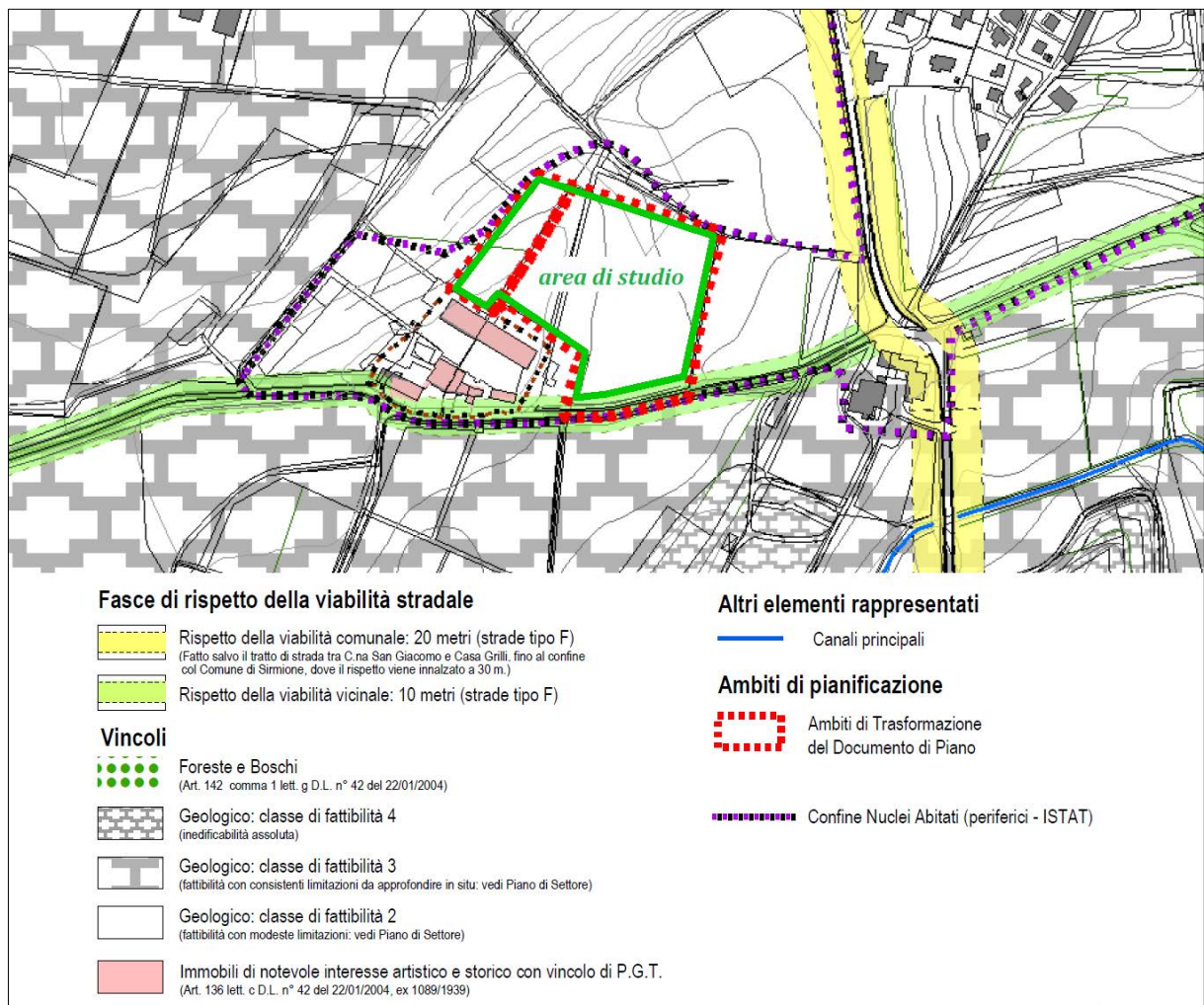


Fig. 19 - Stralcio della carta "Carta dei Vincoli" (Tav. DP 4 SUD), allegata alla Variante dello Studio Geologico del P.G.T. comunale (Febbraio 2019), con ubicazione dell'area d'interesse.

B. RELAZIONE GEOTECNICA R2

7. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito eseguite (Prove Penetrometriche, Scavi esplorativi 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 proposto, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento il piano campagna esistente alla data di esecuzione delle indagini (p.c.).

- ✓ Terreno Superficiale S (Strato 1): Terreno superficiale vegetale/rimaneggiato prevalentemente ghiaioso-sabbioso con ciottoli, da moderatamente addensato ad addensato.
- ✓ Unità Geotecnica A (Strato 2): Depositi fluvioglaciali costituiti da limi sabbiosi moderatamente addensati, e argille limose nel settore centro-orientale dell'area d'indagine, nel complesso consistenti.
- ✓ Unità Geotecnica B (Strato 3): Depositi glaciali costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli in matrice limoso-argillosa, da addensati a molto addensati. Dai dati sismostratigrafici tale unità sembra possedere continuità fino a circa -20/-25 m dal p.c. oltre la quale si ipotizza la presenza di depositi maggiormente addensati della medesima sequenza deposizionale.

✓ PARAMETRI GEOTECNICI

	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ	Cu (kg/cm ²)	Dr %	Ed (kg/cm ²)	E_v (kg/cm ²)	Denominazione AGI
STRATO 1	1,80	31°	--	50	--	130	Da moderatamente addensato ad addensato
da 0,0 a -0,3/-3,6 m							
STRATO 2	1,85	30°	--	45	--	100	Moderatamente addensato
da -0,3/-3,6 m a -4,6/-7,5 m							
STRATO 3	1,95	34°	--	75	--	250	Da addensato a molto addensato
Oltre -4,6/-7,5 m dal p.c.							

γ_{nat} = Peso unitario del terreno, **Cu** = Resistenza non drenata, ϕ = Angolo di resistenza al taglio, **Dr** = Densità relativa Skempton, **E_v** = modulo di Young per terreni granulari, **E_D** = modulo edometrico per terreni coesivi.

Alla luce del modello geotecnico redatto in base ai 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.

8. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

Gli interventi proposti dalla *Committenza* riguardano le opere di realizzazione di un nuovo edificio a destinazione turistico-alberghiero, all'interno del Piano Particolareggiato, Ambito di Trasformazione AT-A12a e AT-A12b, presso Loc. San Giacomo, nel Comune di Pozzolengo (BS).

In fase esecutiva, 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, è stata constatata inizialmente la presenza, di un primo spessore pari a circa -0,3/-3,6 m correlabile ad uno strato vegetale superficiale/rimaneggiato (*Unità S - Strato 1*), da moderatamente addensato ad addensato. Da -0,3/-3,6 m a -4,6/-7,5 m dal p.c. si rinvencono depositi fluvioglaciali costituiti da limi sabbiosi moderatamente addensati, e argille limose nel settore centro-orientale dell'area d'indagine, nel complesso consistenti (*Unità A - Strato 2*). Oltre -4,6/-7,5 m si rinvencono depositi glaciali, costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli in matrice limoso-argillosa, moderatamente addensati (*Unità B - Strato 3*).
- b.** Si segnala che, durante l'esecuzione delle indagini geotecniche, è stata rinvenuta una falda a partire da profondità variabili da circa -1,8 m (P1) a -5,30 m (P6) dal piano campagna generale, localizzata in livelli superficiali discontinui a maggiore permeabilità, sostenuti alla base da materiale fine semi-permeabile o impermeabile dell'unità eluvio-colluviale prevalentemente argilloso-limoso. Si ritiene che fenomeni di umidità potranno comparire a profondità inferiori a quelle rilevate, soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde, a causa del susseguirsi di periodi caratterizzati da piovosità intensa e prolungata.
- c.** Pertanto, in fase di scavo, bisognerà tener conto che potrebbero essere presenti fenomeni di circolazione d'acqua a profondità anche inferiori di quelle rinvenute, soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde superficiali, a causa del susseguirsi di periodi caratterizzati da piovosità intensa e prolungata. Si prescrive in merito una messa in opera di adeguati interventi di impermeabilizzazione dei manufatti di fondazione e delle strutture murarie, con guaine e giunti impermeabili da apporre alla base della fondazione, della pavimentazione e della porzione dei muri in elevazione al piano di calpestio, con eventuali sistemi permanenti di drenaggio e allontanamento delle acque sotterranee, da installare alla base dello scavo, e perimetralmente all'edificio di progetto.
- d.** Per la realizzazione dei piani di posa delle nuove fondazioni, si ipotizza, per tutto il lotto d'interesse progettuale, una profondità di scavo compresa tra -2,3 m (settore occidentale) e circa -1,0 m (settore orientale) rispetto al p.c. attualmente esistente, comprese di fondazioni, intercettando quindi, l'*Unità S - Strato 1* a discrete caratteristiche geotecniche.
- e.** In nessun caso le strutture di fondazione potranno poggiare su coltri vegetali o su livelli o lenti di materiali a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti (eventualmente non rilevati con le prove penetrometriche eseguite in sito), o in presenza di terreno rimaneggiato dalle operazioni di scavo.

- f.** Data la forte variabilità litologica riscontrata in sito, si richiede di attenzionare, in fase di scavo, soprattutto la porzione orientale del lotto di progetto (ingombro P5, P6, P7), nella quale l'Unità A – Strato 2 è stata rilevata ad una profondità prossima a quella di imposta delle fondazioni del piano interrato progettuale. Si dovrà pertanto tenere in considerazione la possibilità che le fondazioni progettuali potranno essere caratterizzate da appoggi differenti, specialmente nel suddetto settore.
- g.** Si consiglia inoltre ai *Tecnici Progettisti* di procedere con le verifiche agli Stati di Limite, Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE), mediante l'utilizzo di una fondazione di tipo a platea. Tale soluzione contribuirà ad una quanto più esaustiva distribuzione dei carichi progettuali, e soprattutto nel caso si dovessero riscontrare eterogeneità degli appoggi, a minimizzare i conseguenti cedimenti differenziali che si protrarranno nel tempo.
- h.** Si rimanda in ogni caso al Progettista incaricato ogni valutazione inerente la tipologia delle fondazioni da utilizzare, in funzione delle suddette verifiche agli Stati di Limite. Si rimane altresì disponibili ad ulteriori calcoli e confronti diretti in merito alle Verifiche agli Stati Limite e per quanto concerne la valutazione dei cedimenti attesi.
- i.** A fine scavo di preparazione per la posa delle fondazioni, in caso di presenza di terreni a scadenti caratteristiche geotecniche a profondità superiori a quelle considerate, 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.
- j.** In tal senso si potrà valutare l'esecuzione di un'indagine geognostica sito-specifica integrativa, allo scopo di verificare le caratteristiche geotecniche dei futuri terreni di fondazione, gli spessori e i loro rapporti stratigrafici, relativamente all'evoluzione e agli sviluppi delle fasi progettuali.
- k.** Al fine di garantire l'esecuzione degli interventi di scavo, nel rispetto delle condizioni di stabilità dei fronti, si dovrà operare con cautela mantenendo altezze ed inclinazioni rapportabili con le caratteristiche geotecniche dei terreni esistenti e idonee modalità realizzative, soprattutto se in presenza di fenomeni di circolazione d'acqua superficiale.
- l.** A tal proposito nella fase di realizzazione degli sbancamenti, si raccomanda in ogni caso di ridurre l'esposizione dei fronti di scavi, evitando prolungati fermi di cantieri con scavo in corso. Inoltre, si consiglia di non intraprendere le operazioni di sbancamento in concomitanza di giornate caratterizzate da piogge intense. Alla realizzazione degli scavi dovrà comunque seguire celermente la fase di getto in opera delle strutture al fine di sostenere tempestivamente il terreno.
- m.** Per tutti gli sbancamenti si raccomanda di non abbandonare i fronti di scavo aperti per periodi di tempo prolungati, formando per essi angoli di declivio non superiori a 45°-50°. A seguito di piogge intense tali fronti potranno essere soggetti a fenomeni di dilavamento con conseguenti crolli delle pareti di scavo. In caso di pioggia i fronti di scavo dovranno essere protetti dal dilavamento superficiale mediante teloni impermeabili. In merito si prescrive di non posizionare in alcun modo sovraccarichi a bordo scavo, inoltre, in mancanza di sistemi di sostegno provvisori, si consiglia di procedere con operazioni di scavo per setti progressivi.

- n.** Si specifica che, qualora non fosse possibile ottenere fronti di scavo con inclinazioni sopracitate, ritenute idonee per la stabilità dei versanti di scavo, si consiglia in merito la realizzazione di opere di sostegno provvisorie (berlinese in micropali opportunamente armata e tirantata, diaframmi in c.a., palancole) per garantire la stabilità dei luoghi e delle aree di cantiere. In alternativa, qualora non fossero realizzati (a discrezione della direzione lavori) sistemi di sostegno delle pareti provvisorie o permanenti, si prescrive di procedere con operazioni di scavo per setti progressivi di lunghezza non superiore a 5-6 metri e con angoli di pendenza come sopra riportati. In alternativa potranno essere previsti altri sistemi di sostegno provvisorio dei fronti di scavo, purché compatibili con lo scenario di cantiere previsto e condivisi con la Direzione Lavori ed il sottoscritto.
- o.** Per tutti gli sbancamenti per la formazione delle strutture di progetto e del piano di posa delle nuove fondazioni, si richiede che vengano rispettate le procedure e le precauzioni previste dalla normativa vigente in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro (D. Lgs. n° 81/08) e per l'esecuzione degli scavi con altezza superiore a 1,5 m.

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 Pozzolengo (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 individuate le unità geotecniche che costituiscono il sottosuolo di fondazione, fornendo le prescrizioni sulle procedure progettuali da adottare in merito agli interventi proposti, in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti entro l'ingombro di progetto previsto.
- ✓ Dall'analisi della cartografia allegata alle Norme di piano comunale, nell'area in esame, non si segnalano, per la classe di **Fattibilità Geologica 2**, e per le corrispondenti limitazioni previste, situazioni e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e idrografiche dell'area. Si ritiene che gli interventi di progetto, come configurati, non risultino in grado di indurre situazioni di pericolo a carattere geologico ed idrogeologico. Nell'area in esame si segnalano inoltre **Normative di vincolo** correlate alla fascia di rispetto della viabilità vicinale, pari a 10 m. (strade tipo F). Si specifica in merito che gli ingombri degli edifici progettuali ricadono al di fuori della sede stradale e quindi dalla relativa fascia di rispetto per essa istituita. Gli interventi progettuali non comporteranno nessun tipo di sopravanzamento verso tale strada.
- ✓ 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 Pozzolengo entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4c** "Zone moreniche (depositi di cordoni morenici)", ad esclusione della fascia Sud-Orientale, la quale rientra in uno scenario **Z4a** "Zone di fondovalle (depositi alluvionali e fluvio-glaciali)".
- ✓ Per lo scenario di pericolosità Z4 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 compreso tra 0,1 s e 0,5 s, si ottiene un valore di F_a di sito superiore al valore di F_a di soglia comunale (**FAC \geq FAS**). Sarà quindi necessario assumere in progetto la **Categoria di Sottosuolo "C"** e 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**.

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 in fase realizzativa, 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 di realizzazione del nuovo edificio progettuale, 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.

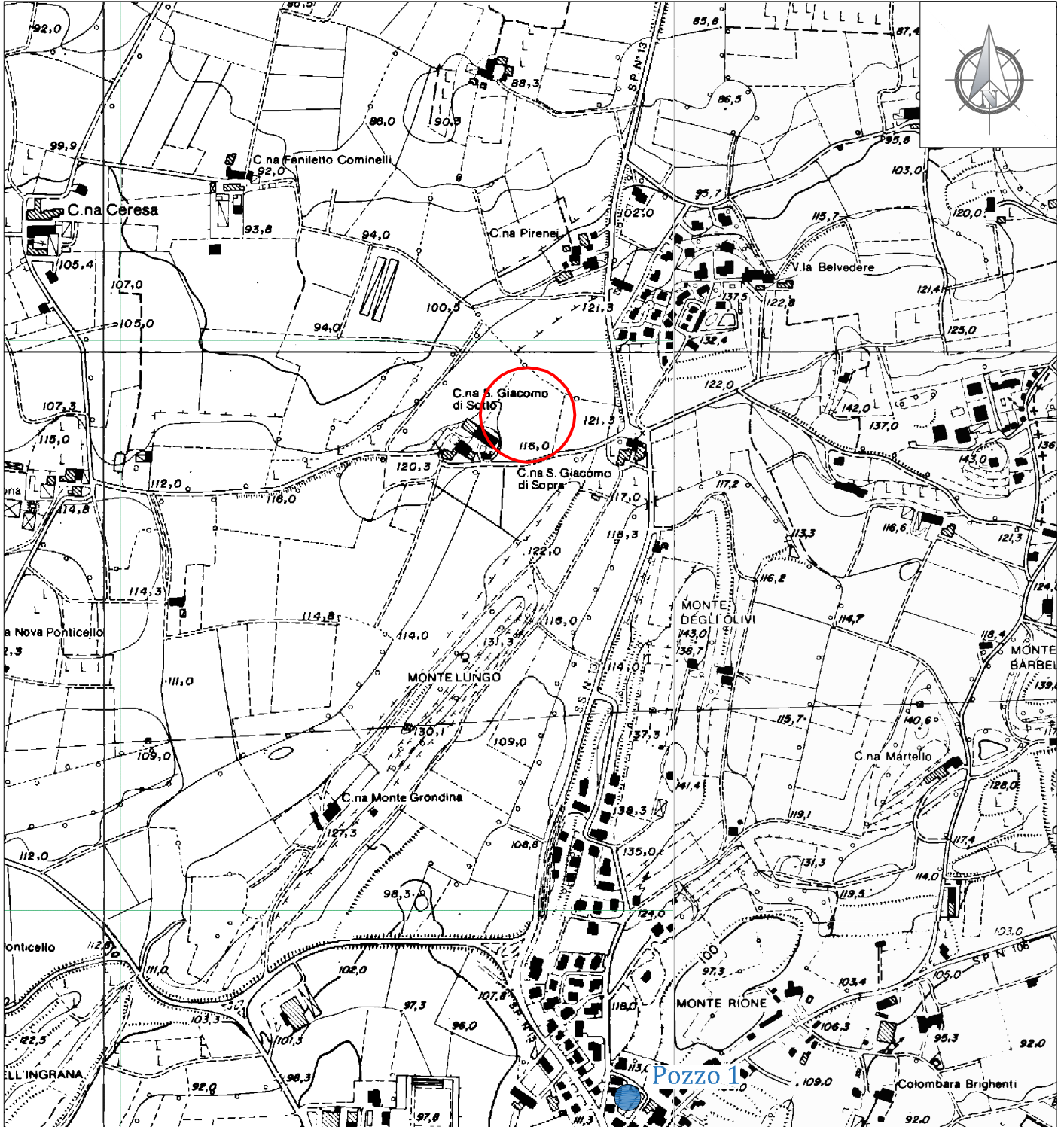
Desenzano del Garda, 28 Ottobre 2022

Dott. Geol. Niccolò Crestana

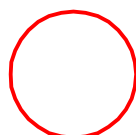


COROGRAFIA CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INDAGINE
E DEI POZZI CON STRATIGRAFIA IN ALLEGATO
SCALA 1:10.000

Tav. 1



LEGENDA



Area in esame

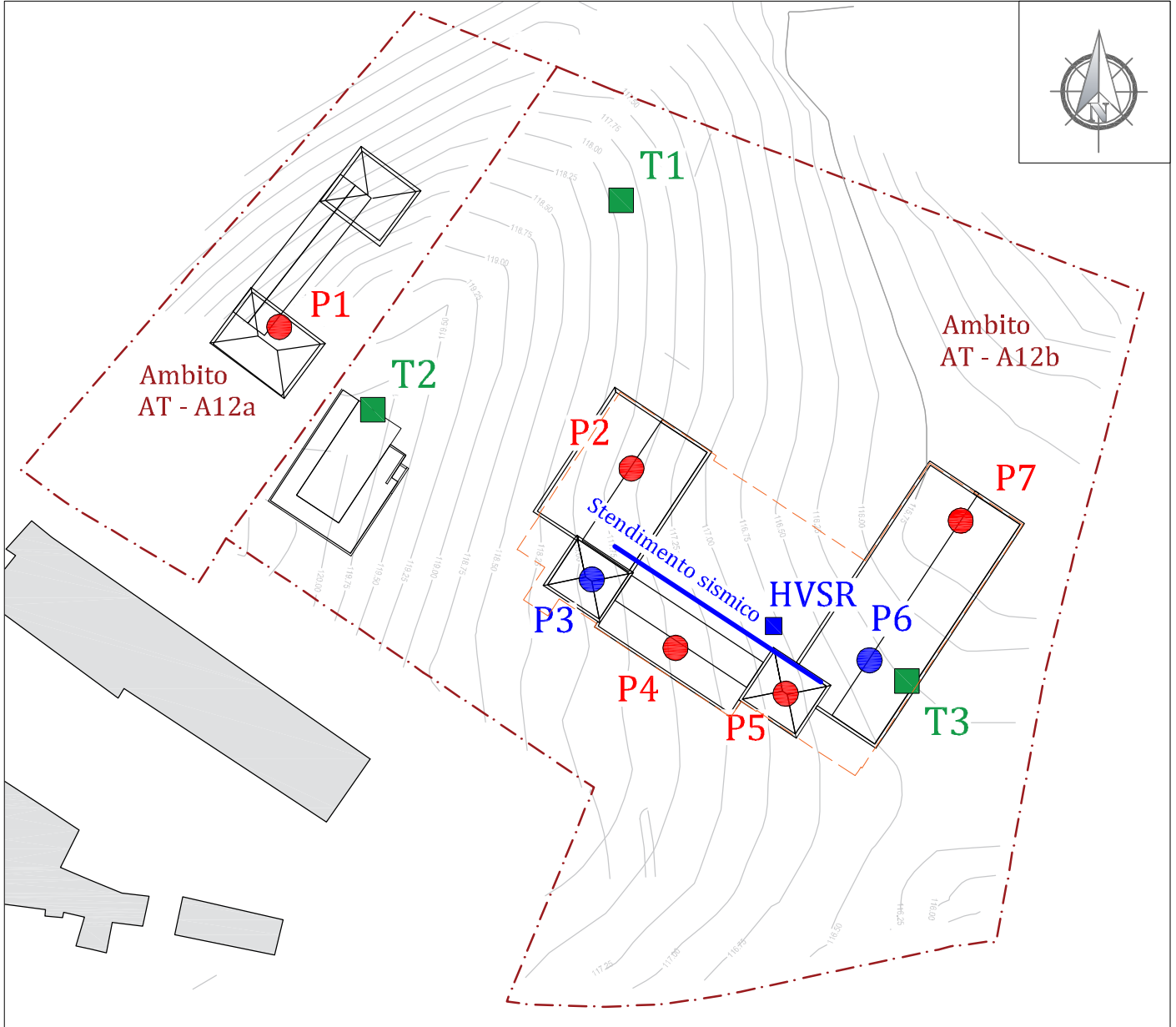
Pozzo 1







Pozzo con stratigrafia
in allegato

PLANIMETRIA DI PROGETTO CON UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE
 SCALA 1:1000

Tav. 2

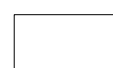


LEGENDA

- P1**  Prova penetrometrica dinamica standard (SCPT-DPSH)
- P1**  Prova penetrometrica statica CPT
- T1**  Scavo Esplorativo
- HVSr**  Misura del microtremore sismico ambientale mediante tecnica HVSr



Prospezione Sismica MASW



Ingombro strutture progettuali



Ingombro piano interrato progettuale



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
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P1**

LOCALITÀ: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

Data di esecuzione: 07/07/2022


Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

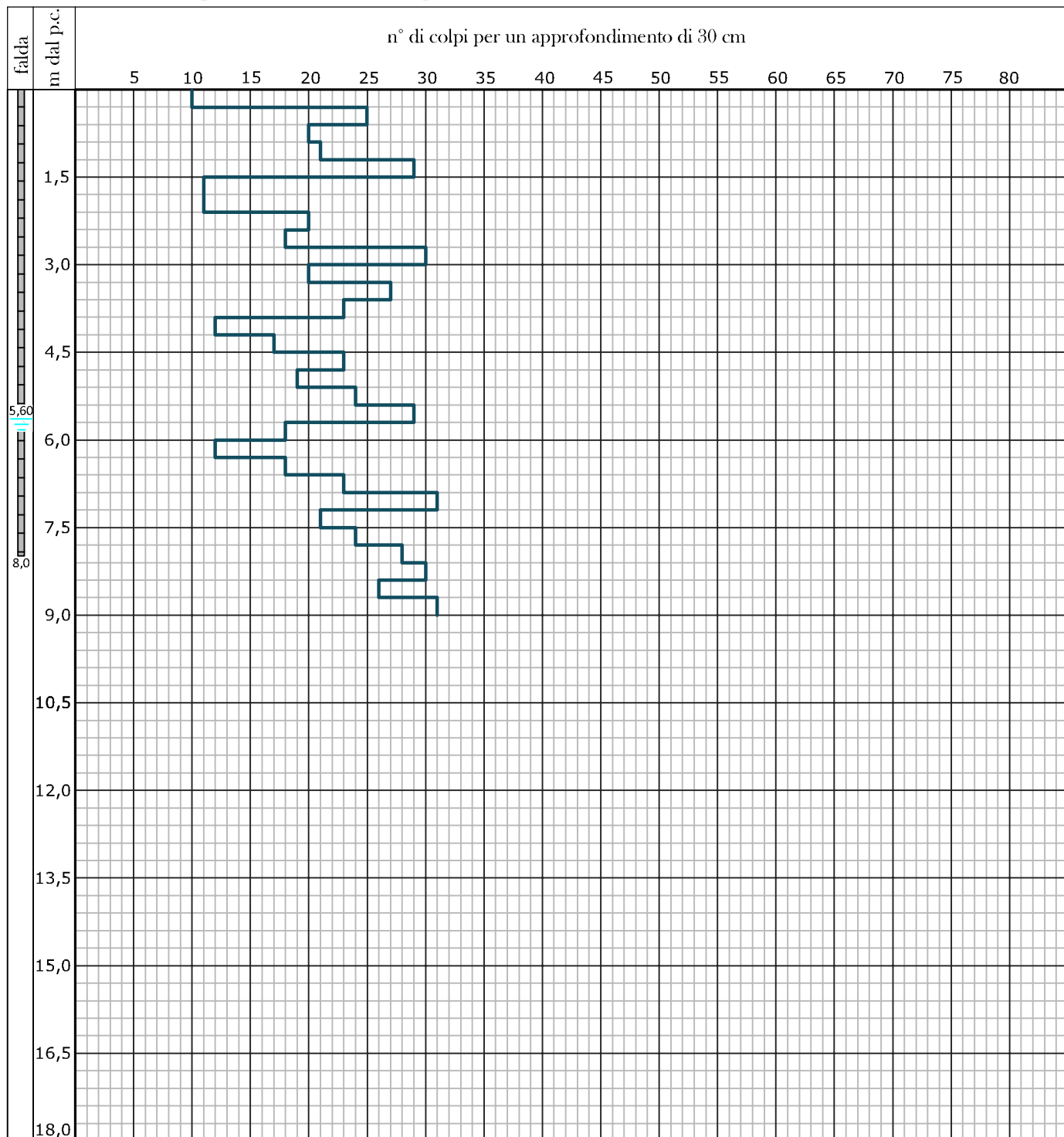
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -6,00 m dal p.c..



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
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P2**

LOCALITÀ: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

Data di esecuzione: 07/07/2022


Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

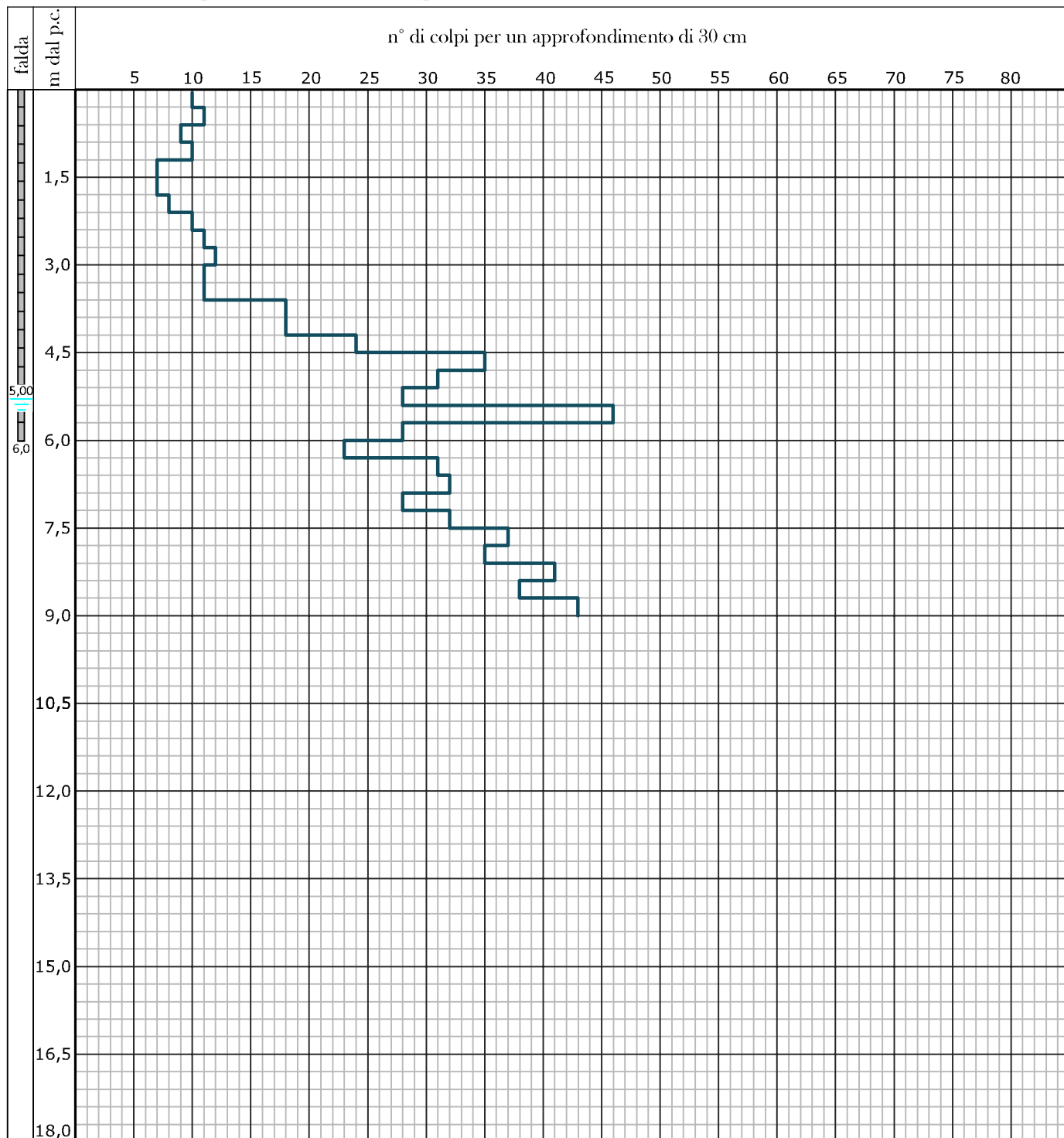
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -6,00 m dal p.c..



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
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P4**

LOCALITÀ: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

Data di esecuzione: 07/07/2022

Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta:

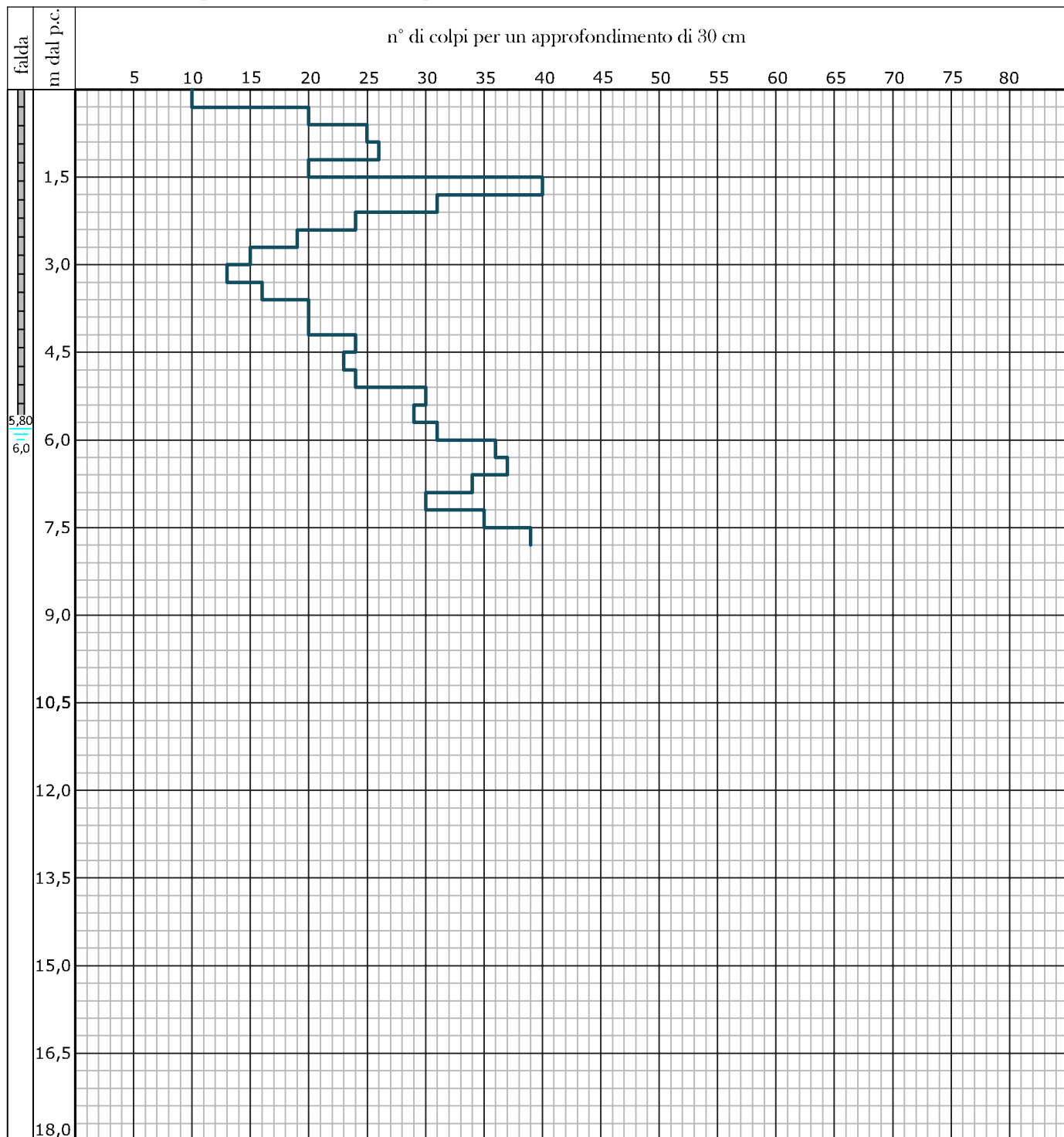
Avanzamento rivestimento:

Piezometro Φ 1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -6,00 m dal p.c..



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
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P5**

LOCALITÀ: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

Data di esecuzione: 07/07/2022

Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

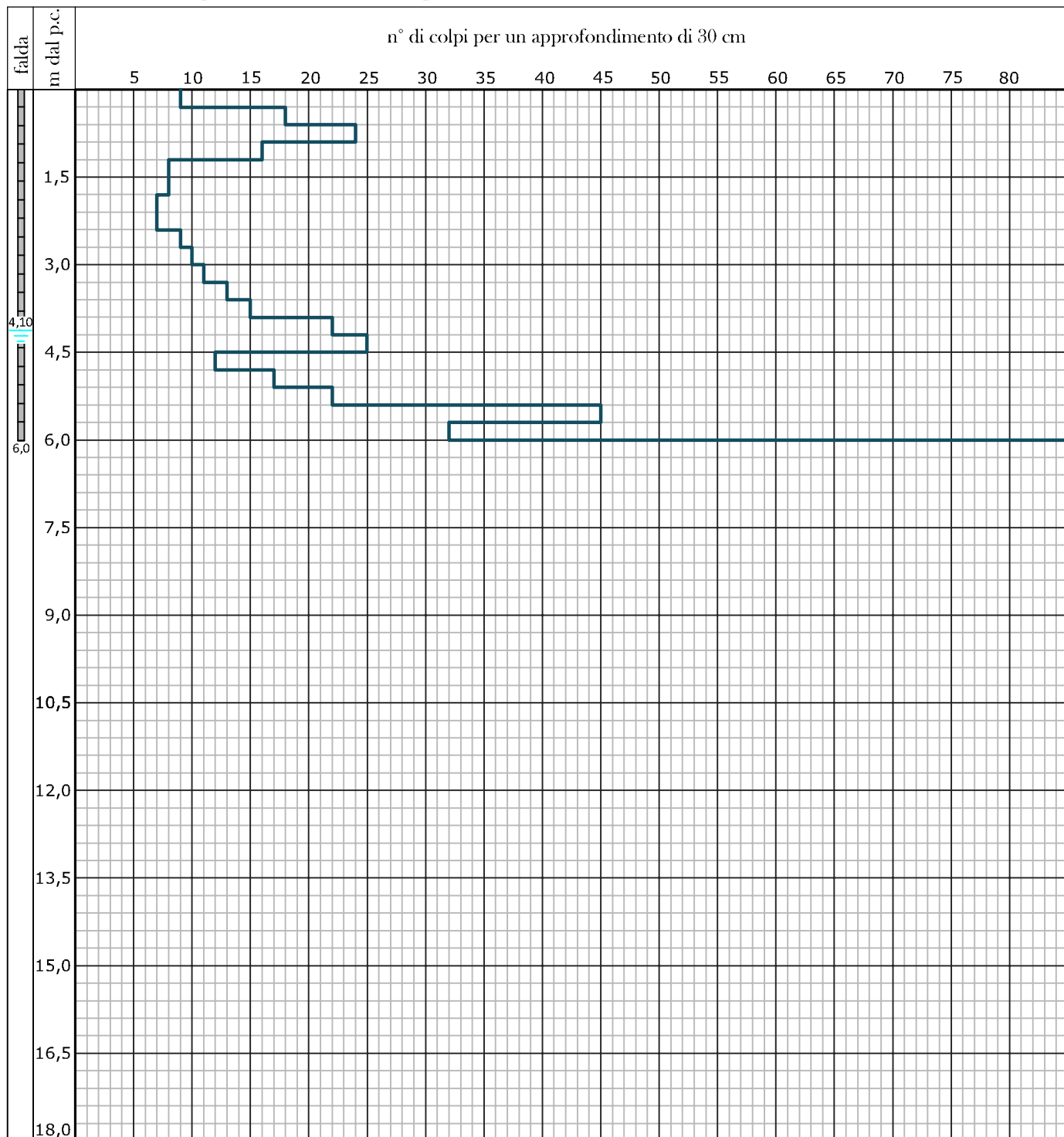
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -4,00 m dal p.c..



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
www.crestanasrls.com

PROVA PENETROMETRICA SCPT: **P7**

LOCALITÀ: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

Data di esecuzione: 07/07/2022

Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

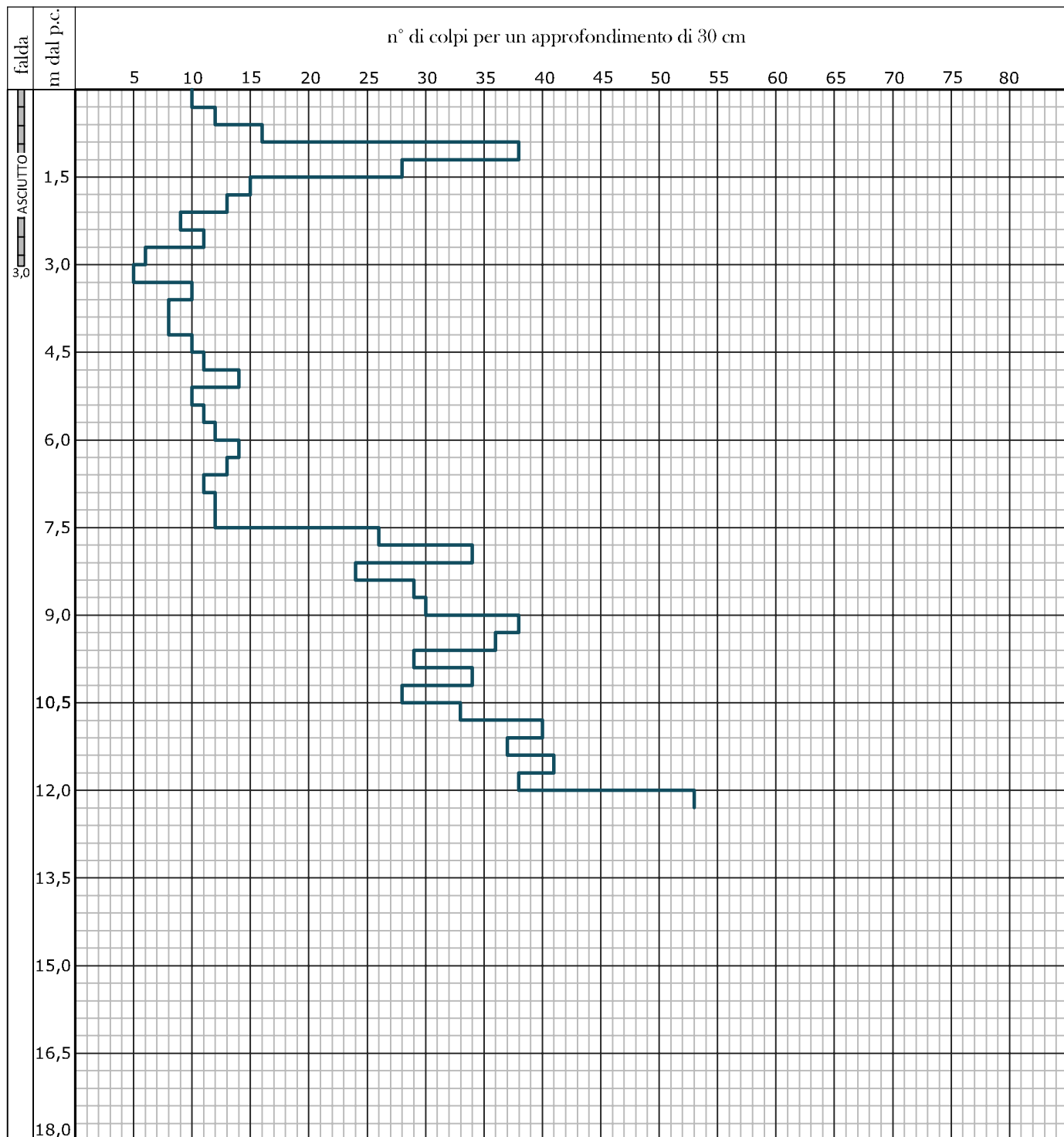
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT

3

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. **07/07/2022**

Pagina **1**

Elaborato

Falda

H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf	H	L1	L2	Lt	qc	fs	F	Rf
m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%	m	-	-	-	kg/cm ²	kg/cm ²	-	%
0,20	0,0	0,0	-	0,00	0,00	-	-								
0,40	0,0	0,0	-	0,00	1,27	0	-								
0,60	116,0	135,0	-	116,00	2,20	53	1,9								
0,80	62,0	95,0	-	62,00	3,20	19	5,2								
1,00	70,0	118,0	-	70,00	3,20	22	4,6								
1,20	104,0	152,0	-	104,00	4,27	24	4,1								
1,40	85,0	149,0	-	85,00	7,93	11	9,3								
1,60	90,0	209,0	-	90,00	7,73	12	8,6								
1,80	110,0	226,0	-	110,00	8,40	13	7,6								
2,00	115,0	241,0	-	115,00	9,80	12	8,5								
2,20	107,0	254,0	-	107,00	3,27	33	3,1								
2,40	165,0	214,0	-	165,00	11,87	14	7,2								
2,60	117,0	295,0	-	117,00	5,20	23	4,4								
2,80	94,0	172,0	-	94,00	3,13	30	3,3								
3,00	99,0	146,0	-	99,00	5,20	19	5,3								
3,20	75,0	153,0	-	75,00	-	-	-								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

0,20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

3

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

U.M.: **kg/cm²**

Scala: 1:20

Pagina 1

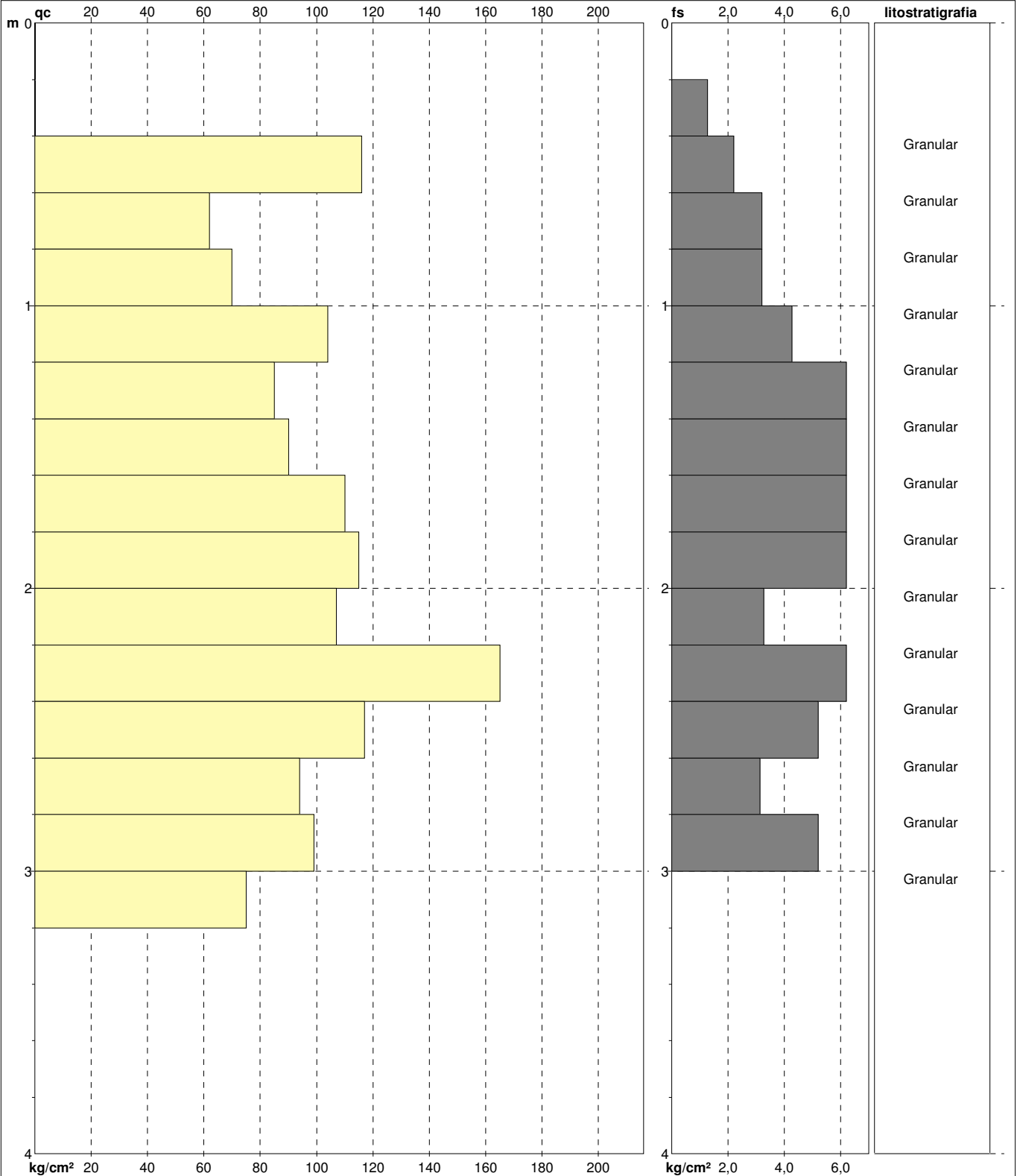
Elaborato

Data esec.

07/07/2022

Quota inizio:

Falda



Litology: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone
 Penetrometro: TG63-200Stat
 Responsabile:
 Assistente:

preforo m
 Corr.astine: kg/ml
 Cod. tip:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

3

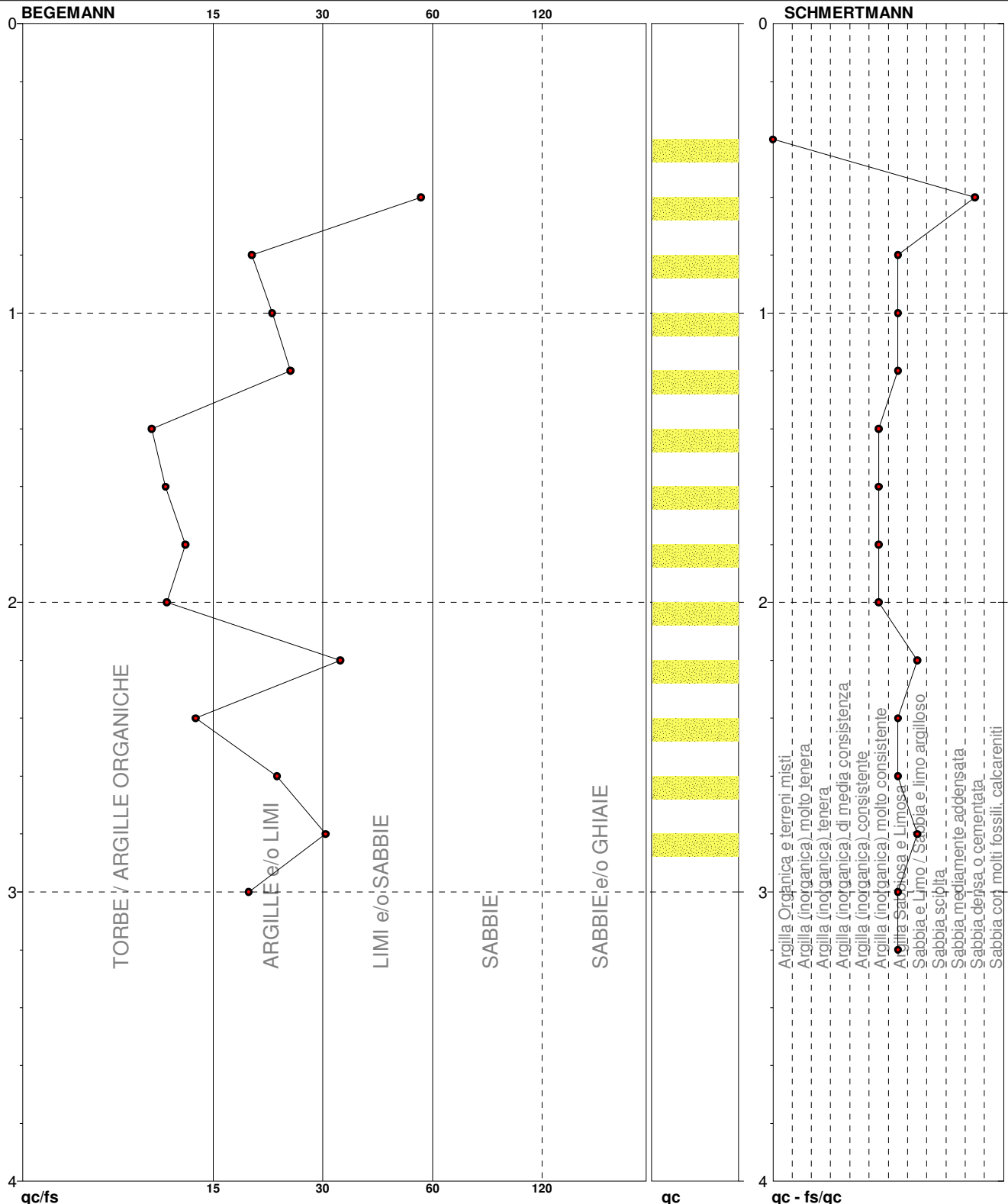
Riferimento

Committente
Cantiere
Località **Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: **1:20**
Pagina **1**
Elaborato

Data esec. **07/07/2022**

Falda



TORBE / ARGILLE ORGANICHE	7 punti, 43,75%	Argilla (inorganica) molto consistente	4 punti, 25,00%	Argilla Sabbiosa e Limosa	6 punti, 37,50%
ARGILLE e/o LIMI	5 punti, 31,25%			Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	2 punti, 12,50%
LIMI e/o SABBIE	3 punti, 18,75%			Sabbia densa o cementata	1 punto, 6,25%

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
PARAMETRI GEOTECNICI

CPT

3

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

U.M.: **kg/cm²**

Data esec. **07/07/2022**

Pagina **1**

Elaborato

Falda

NATURA COESIVA

NATURA GRANULARE

H	qc	qc/fs	zone	γ'	$\sigma'vo$	Vs	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
m	U.M.			t/m ³	U.M.	m/s	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
							U.M.	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,60	116,00	52,73	3	2,02	0,11	--	--	--	--	--	--	100	42	44	42	39	45	35	193,3	290,0	348,0	--	--
0,80	62,00	19,38	4	2,02	0,15	2,07	99,9	351,3	527,0	186,0	100	42	40	37	34	43	32	103,3	155,0	186,0	--	--	
1,00	70,00	21,88	4	2,03	0,20	2,33	99,9	396,7	595,0	210,0	100	42	39	36	34	43	32	116,7	175,0	210,0	--	--	
1,20	104,00	24,36	4	2,05	0,24	3,47	99,9	589,3	884,0	312,0	100	42	40	37	35	43	34	173,3	260,0	312,0	--	--	
1,40	85,00	10,72	4	2,04	0,28	2,83	99,9	481,7	722,5	255,0	98	42	38	36	33	42	33	141,7	212,5	255,0	--	--	
1,60	90,00	11,64	4	2,04	0,32	3,00	99,9	510,0	765,0	270,0	96	41	38	35	33	42	33	150,0	225,0	270,0	--	--	
1,80	110,00	13,10	4	2,06	0,36	3,67	99,9	623,3	935,0	330,0	100	42	38	36	33	42	34	183,3	275,0	330,0	--	--	
2,00	115,00	11,73	4	2,06	0,40	3,83	99,9	651,7	977,5	345,0	99	42	38	35	33	42	35	191,7	287,5	345,0	--	--	
2,20	107,00	32,72	3	2,01	0,44	--	--	--	--	--	94	41	37	34	32	41	34	178,3	267,5	321,0	--	--	
2,40	165,00	13,90	4	2,10	0,48	5,50	99,9	935,0	1402,5	495,0	100	42	39	36	34	42	37	275,0	412,5	495,0	--	--	
2,60	117,00	22,50	4	2,06	0,52	3,90	77,2	663,0	994,5	351,0	93	41	37	34	32	41	35	195,0	292,5	351,0	--	--	
2,80	94,00	30,03	3	1,99	0,56	--	--	--	--	--	84	40	35	32	30	39	34	156,7	235,0	282,0	--	--	
3,00	99,00	19,04	4	2,05	0,60	3,30	52,4	561,0	841,5	297,0	84	40	35	32	30	39	34	165,0	247,5	297,0	--	--	
3,20	75,00	--	3	1,96	0,64	--	--	--	--	--	73	38	33	31	29	38	32	125,0	187,5	225,0	--	--	

**PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI**

CPT

6

Riferimento

Committente

Cantiere

Località

Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

U.M.: **kg/cm²**

Data esec.

07/07/2022

Pagina

1

Elaborato

Falda

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm ²	fs kg/cm ²	F -	Rf %
0,20	0,0	0,0	-	0,00	0,00	-	-								
0,40	0,0	0,0	-	0,00	1,53	0	-								
0,60	110,0	133,0	-	110,00	2,67	41	2,4								
0,80	70,0	110,0	-	70,00	1,80	39	2,6								
1,00	43,0	70,0	-	43,00	1,67	26	3,9								
1,20	29,0	54,0	-	29,00	2,00	15	6,9								
1,40	18,0	48,0	-	18,00	1,47	12	8,2								
1,60	18,0	40,0	-	18,00	1,07	17	5,9								
1,80	19,0	35,0	-	19,00	1,20	16	6,3								
2,00	18,0	36,0	-	18,00	1,27	14	7,1								
2,20	18,0	37,0	-	18,00	1,27	14	7,1								
2,40	20,0	39,0	-	20,00	1,73	12	8,7								
2,60	31,0	57,0	-	31,00	2,53	12	8,2								
2,80	54,0	92,0	-	54,00	3,73	14	6,9								
3,00	60,0	116,0	-	60,00	1,13	53	1,9								
3,20	122,0	139,0	-	122,00	4,40	28	3,6								
3,40	50,0	116,0	-	50,00	2,40	21	4,8								
3,60	36,0	72,0	-	36,00	1,73	21	4,8								
3,80	33,0	59,0	-	33,00	1,47	22	4,5								
4,00	27,0	49,0	-	27,00	1,00	27	3,7								
4,20	30,0	45,0	-	30,00	2,00	15	6,7								
4,40	54,0	84,0	-	54,00	3,40	16	6,3								
4,60	50,0	101,0	-	50,00	1,27	39	2,5								
4,80	116,0	135,0	-	116,00	5,07	23	4,4								
5,00	104,0	180,0	-	104,00	6,73	15	6,5								
5,20	108,0	209,0	-	108,00	4,87	22	4,5								
5,40	153,0	226,0	-	153,00	-	-	-								

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

0,20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT

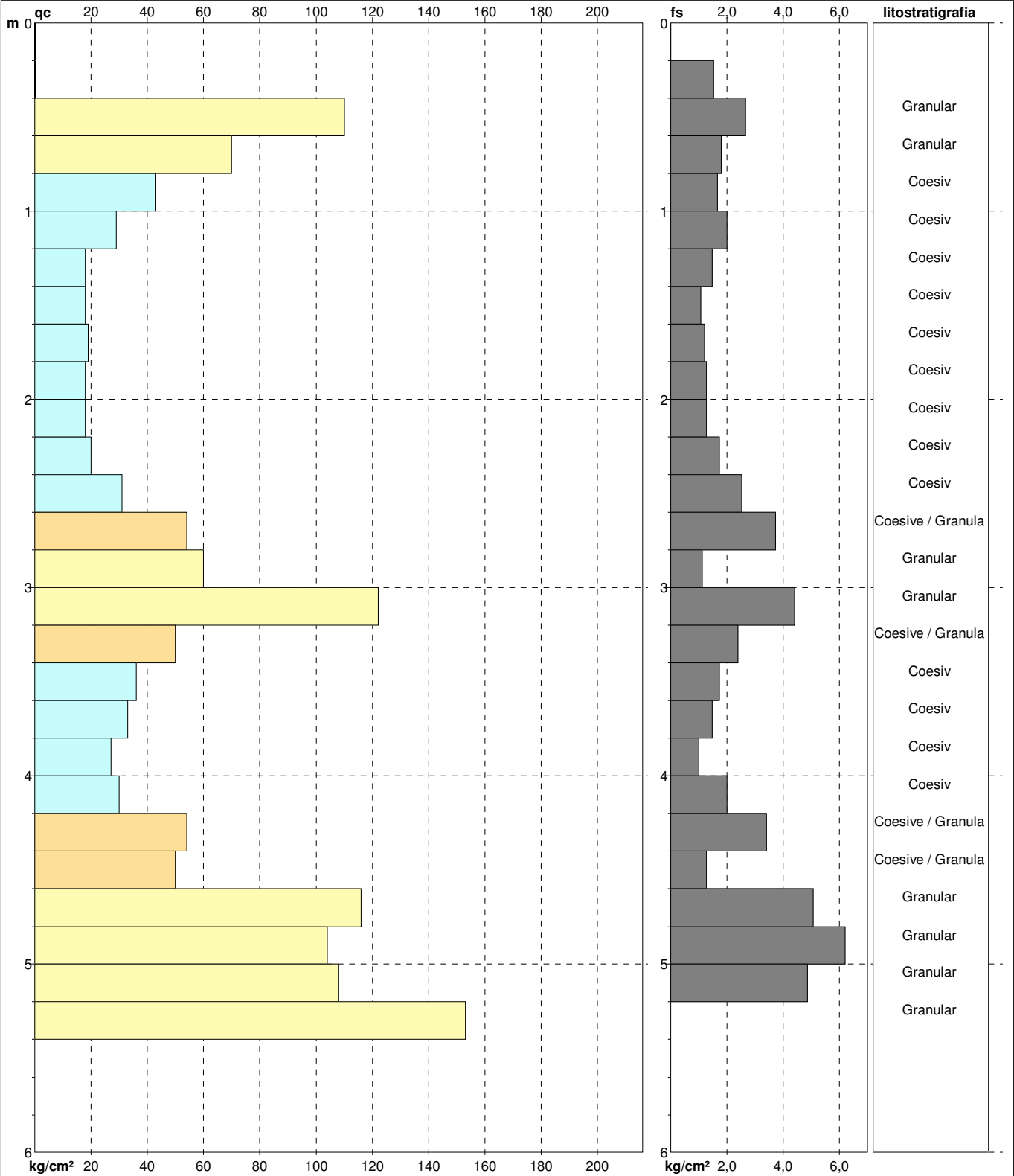
6

Riferimento

Committente
 Cantiere
 Località **Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)**

U.M.: **kg/cm²**
 Scala: 1:30
 Pagina 1
 Elaborato

Data esec. 07/07/2022
 Quota inizio:
 Falda



Litology: Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone
 Penetrometro: TG63-200Stat
 Responsabile:
 Assistente:

preforo m
 Corr.astine: kg/ml
 Cod. tip:

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

6

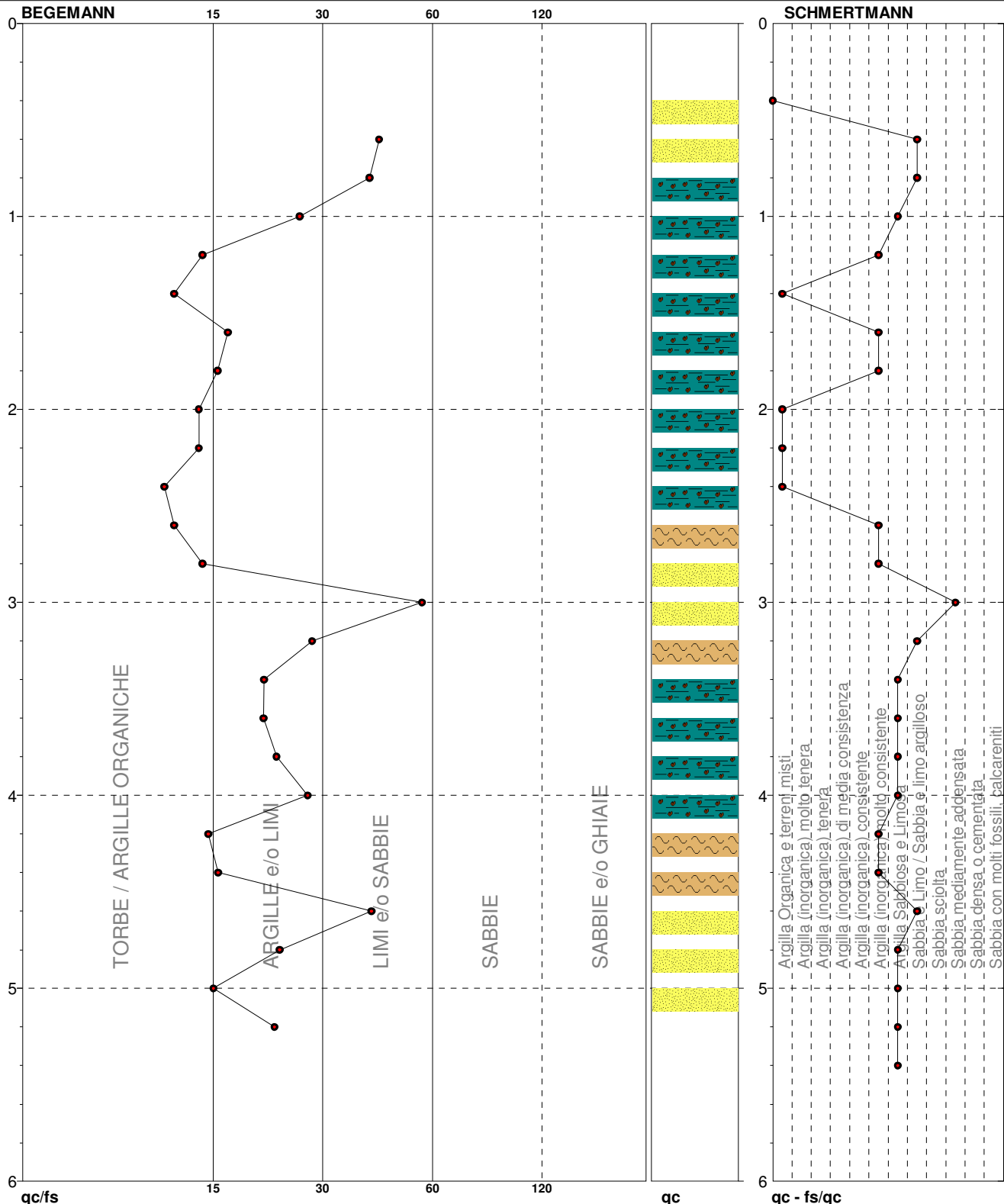
Riferimento

Committente
Cantiere
Località **Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)**

U.M.: **kg/cm²**
Scala: 1:30
Pagina 1
Elaborato

Data esec. 07/07/2022

Falda



TORBE / ARGILLE ORGANICHE	4 punti, 37,04%	Argilla Organica e terreni misti	4 punti, 14,81%	Argilla Sabbiosa e Limosa	8 punti, 29,63%
ARGILLE e/o LIMI	12 punti, 44,44%	Argilla (inorganica) molto consistente	7 punti, 25,93%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	4 punti, 14,81%
LIMI e/o SABBIE	4 punti, 14,81%			Sabbia mediamente addensata	1 punti, 3,70%



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
web: www.crestanasrls.com
P.IVA e C.F. 03632850982

Località: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

DATA 07/07/2022

Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

SCAVO T1

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: JCB 3CX

Profondità m da p.c.	Stratigrafia	Campioni profondità da p.c.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	VOC	Profondità m da p.c.	Prova di permeabilità a carico variabile
0,00			Sabbia con ghiaia limosa, asciutta, di colore marrone chiaro.			
0,80			Ghiaia e sabbia limosa, asciutta, di colore da beige a marrone chiaro.			
2,00					2,00	$K=5,71 \cdot 10^{-5}$ m/s
			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%.			



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
web: www.crestanasrls.com
P.IVA e C.F. 03632850982

Località: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

DATA **07/07/2022**

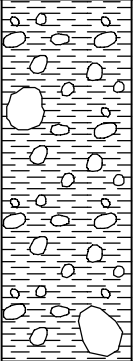
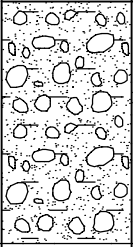
Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

SCAVO **T2**

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO **p.c.**

Escavatore: JCB 3CX

Profondità m da p.c.	Stratigrafia	Campioni profondità da p.c.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	VOC	Profondità m da p.c.	Prova di permeabilità a carico variabile
0,00			Limo ghiaioso con ciottoli, asciutto di colore marrone chiaro.			
1,20			Ghiaia e sabbia limosa, asciutta, di colore da beige a marrone chiaro.			
2,00			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%.			



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
web: www.crestanasrls.com
P.IVA e C.F. 03632850982

Località: Loc. San Giacomo - Pozzolengo (BS)

DATA 07/07/2022

Committente: Nuova Pozzolengo S.r.l.

SCAVO T3

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: JCB 3CX

Profondità m da p.c.	Stratigrafia	Campioni profondità da p.c.	DESCRIZIONE LITOLOGICA	VOC	Profondità m da p.c.	Prova di permeabilità a carico variabile
0,00			Limo sabbioso, asciutto di colore marrone chiaro.			
0,60			Limo sabbioso con ghiaia, asciutto, di colore marrone.			
1,80			Argilla limosa con ciottoli, asciutta, di colore grigio scuro.			
2,50			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%.			

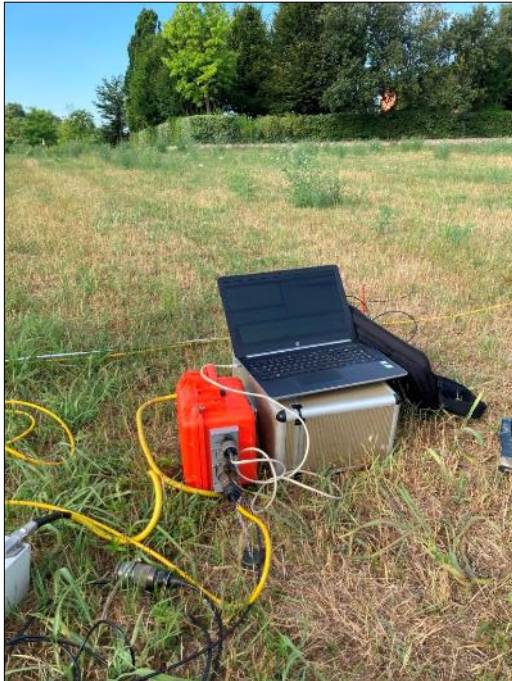
ALLEGATO FOTOGRAFICO



Stendimento sismico M.A.S.W.



*Misura del microtremore sismico
mediante tecnica H.V.S.R.*



*Acquisizione del segnale sismico
mediante Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*



*Shot sismico verticale per la
generazione delle onde di Rayleigh*



Prova penetrometrica SCPT-P1



Prova penetrometrica SCPT-P2



Prova penetrometrica SCPT-P3



Prova penetrometrica SCPT-P4



Prova penetrometrica SCPT-P5



Prova penetrometrica SCPT-P6



Prova penetrometrica SCPT-P7



Postazione scavo esplorativo T1



Scavo esplorativo T1



Postazione scavo esplorativo T2



Scavo esplorativo T2



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
www.crestanasrls.com



Postazione scavo esplorativo T3



Scavo esplorativo T3

 		<p align="center">Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</p>			
<p align="center">Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</p>					
<p align="center">Dati generali</p>		<p align="center">Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</p>			
<p> Codice: 20168 Regione: LOMBARDIA Provincia: BRESCIA Comune: POZZOLENGO Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 102,00 Quota pc slm (m): 102,00 Anno realizzazione: 2005 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 1,600 Portata esercizio (l/s): 0,500 Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 2 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 7 Longitudine WGS84 (dd): 10,634375 Latitudine WGS84 (dd): 45,408911 Longitudine WGS84 (dms): 10° 38' 03.76" E Latitudine WGS84 (dms): 45° 24' 32.08" N </p> <p>(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>					
<p align="center">DIAMETRI PERFORAZIONE</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	0,00	102,00	102,00	200	
<p align="center">FALDE ACQUIFERE</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)		
1	82,00	95,00	13,00		
<p align="center">POSIZIONE FILTRI</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	
1	85,00	95,00	10,00	125	
<p align="center">MISURE PIEZOMETRICHE</p>					
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	
ago/2005	56,20	56,45	0,25	0,667	
ago/2005	56,20	57,10	0,90	1,583	
<p align="center">STRATIGRAFIA</p>					
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	23,00	23,00		ARGILLA CON GHIAIA E GROSSI TROVANTI
2	23,00	32,00	9,00		GHIAIA
3	32,00	63,00	31,00		CEPPO BIANCO E GRIGIO
4	63,00	70,00	7,00		ARGILLA LIMOSA GRIGIA
5	70,00	82,00	12,00		CEPPO BIANCO E GRIGIO
6	82,00	95,00	13,00		GHIAIA CON POCO CEPPO BIANCO
7	95,00	102,00	7,00		ARGILLA ROSSA