

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 LONATO DEL GARDA

PROVINCIA DI BRESCIA
Regione Lombardia

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI NUOVI FABBRICATI NELL'AMBITO DEL PIANO DI LOTTIZZAZIONE COMMERCIALE TIRACOLLO DUE, IN VIA TIRACOLLO

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 E IDROGEOLOGICA R3

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

Committente: *Oxyturbo S.p.A.*

Data:

02 Marzo 2021

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 E IDROGEOLOGICA R1 e R3.....	5
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	5
2.1 Inquadramento Geografico e Geologico	5
2.2 Assetto Geomorfologico.....	7
2.3 Caratteri Idrogeologici locali	8
2.4 Permeabilità dei terreni.....	9
2.5 Rete Idrografica locale.....	10
2.6 Piano di Gestione Rischio Alluvioni.....	11
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
3.1 Scavi esplorativi.....	13
3.2 Permeabilità dei terreni.....	14
3.3 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH).....	18
3.4 Interpretazione dei dati e Modello Geologico locale	18
3.5 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico	19
3.6 Prospezioni sismiche precedenti	27
4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA	29
4.1 Inquadramento sismotettonico	29
4.2 Sismicità locale	30
4.3 Normativa sismica vigente	31
4.4 Azione sismica di progetto.....	31
5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO.....	37
B. RELAZIONE GEOTECNICA R2	40
6. MODELLO GEOTECNICO - VALORI CARATTERISTICI	40
7. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE.....	41
8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI.....	43
8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	43
8.2 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).....	44
9. CONCLUSIONI	46

1. PREMESSA

Su incarico conferito da *Oxyturbo S.p.A.*, e a seguito dei colloqui intercorsi con l'*Arch. Alberto Visconti*, è stato eseguito uno studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di realizzazione di nuovi fabbricati nell'ambito del Piano di Lottizzazione Commerciale TIRACOLLO DUE, in Via Tiracollo, nel Comune di Lonato del Garda (BS).

Lo studio viene eseguito in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (D.M. 14/01/08) e relativo aggiornamento (D.M. 17/01/18), secondo quanto previsto dalle Norme di Piano (D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616) e dalle normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (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 Lonato del Garda e lo *Studio di Microzonazione Sismica comunale (Agosto 2015)*, sulla base dei quali è stata considerata la fattibilità dell'opera di progetto e 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 Lonato del Garda (BS).

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata predisposta un'indagine geognostica condotta mediante esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH e scavi esplorativi. Per la stima delle velocità V_{seq} 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 microtremori sismici ambientali mediante tecnica HVSR. Sono stati inoltre prese in considerazione le indagini geognostiche eseguite in occasione di un precedente studio geologico (*Dott. Geol. Giuliano Donarea - Luglio 2018*) per il medesimo lotto d'interesse progettuale. 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 d'indagine
- ✓ Diagrammi Prove Penetrometriche Dinamiche Standard SCPT-DPSH
- ✓ Stratigrafia 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; DGR 22 Dicembre 2005 n.8/1566 “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*”.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 “*Norme in materia ambientale*” con riferimento alla Parte Terza “*Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche*” - Sezione II “*Tutela delle acque dall’inquinamento*”.
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n° IX/2616 “*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, 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 E IDROGEOLOGICA 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° 124-125-466 del Foglio 47, è ubicata in Via Tiracollo, a circa 500 m in direzione N-NW rispetto al Centro Commerciale Il Leone, nell'estrema porzione orientale del territorio comunale di Lonato del Garda (**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 D6e3 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5032754,42 latitudine N - 1618355,05 longitudine E.



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

L'area di progetto si colloca in un ambito a morfologia da subpianeggiante a debolmente degradante verso E/SE, all'interno dell'apparato morenico del Garda, immediatamente ad Est dei rilievi morenici sui quali sorgono gli abitati di Loc. Brodena e Tiracollo.

Il territorio comunale 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. In particolare, le cerchie più interne sono riferite alla fase glaciale di età *Würmiana* mentre quelle più esterne sono attribuite alla fase di età *Rissiana*, anche se

non esiste uniformità di classificazione delle cerchie moreniche con le singole glaciazioni da parte dei diversi autori.

I depositi glaciali, che costituiscono le colline moreniche sono caratterizzati da materiali eterogenei a deposizione caotica (ghiaie, sabbie e ciottoli, limi e argille), a supporto di matrice, nel quale sono presenti, frequentemente, trovanti di grosse dimensioni tipici dell'ambiente deposizionale glaciale.

Durante le fasi interglaciali lo scioglimento delle masse glaciali originavano torrenti fluvioglaciali che smantellavano i cordoni morenici già formati e deponevano il materiale nelle depressioni rimaste entro le diverse cerchie, formando delle valli di dimensioni variabili e di spessore maggiore nelle aree depocentrali. I depositi fluvioglaciali sono generalmente costituiti da ghiaie e sabbie eterogenee, spesso a deposizione stratificata o gradata, con frazione fine limosa e/o argillosa in percentuale variabile, intercalati da lenti e/o livelli più francamente sabbioso limosi o limoso argillosi.

Laddove l'energia del trasporto delle acque di scioglimento glaciale era minore, si verificava la deposizione di depositi glaciolacustri di depressione intermorenica costituiti generalmente da materiale prevalentemente fine, sabbioso e sabbioso limoso, con frazione ghiaiosa subordinata, a 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 storici.

All'interno dell'anfiteatro morenico, verso il lago, sono presenti depositi di contatto glaciale e depositi morenici di fondo. Tali depositi sono caratterizzati da blande ondulazioni superficiali e sono ampiamente riconoscibili soprattutto fuori dal territorio di Lonato d/G, nelle località di San Martino d/B, Colombare e Lugana (comuni di Desenzano d/G e Sirmione) ma sono rinvenibili anche altrove, come per esempio nell'area di piana di Maguzzano.

L'area di studio è ubicata immediatamente all'esterno dell'anfiteatro morenico dove, trasportati dalle acque di scioglimento glaciale, si sono formati depositi fluvioglaciali a formare un'ampia pianura proglaciale, corrispondente alla piana di Bettola-Molini-Campagna, caratterizzata sostanzialmente da ampie conoidi fluvioglaciali-fluviali, i cui depositi si interdigitano, verso sud, con i depositi alluvionali della Pianura Padana, mentre verso ovest sono contenuti entro la cerchia morenica esterna, più antica, di Ponte San Marco-Calcinato. Tali depositi sono costituiti prevalentemente da spessori considerevoli, anche dell'ordine di centinaia di metri, di ghiaie e sabbie eterogenee, generalmente a deposizione stratificata, nell'ambito dei quali si rinvengono lenti e livelli sabbioso-limosi associate a fasi deposizionali di minore energia.

L'area d'indagine è ubicata quindi nella porzione sub-pianeggiante immediatamente ad Est dei rilievi morenici degli abitati di loc. Brodena e Tiracollo, ed è caratterizzata sulla quasi totalità dell'area di progetto da depositi fluvioglaciali frontali alle cerchie interne (Fig. 2), rappresentati da terreni grossolani ghiaioso-sabbiosi.

A tal proposito si specifica che è possibile riscontrare all'interno dell'area di studio, specialmente nel settore nord-occidentale (piazzale esistente) la presenza in superficie di materiali di riporto (a spessore variabile), messi in posto durante eventuali interventi di bonifica geotecnica passati.

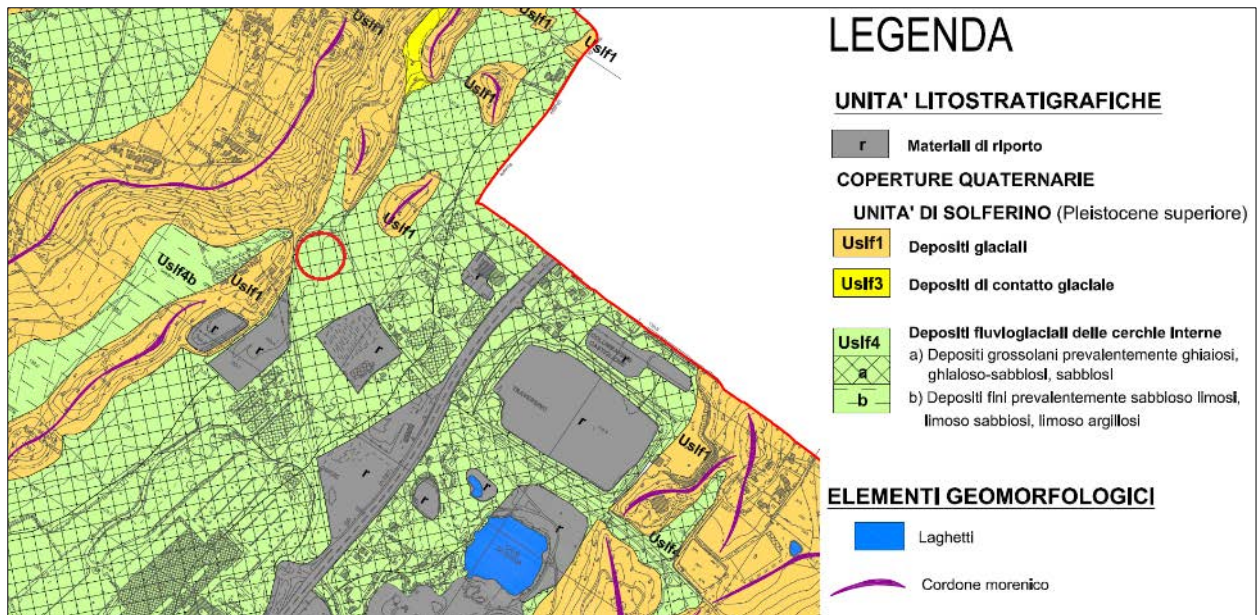


Fig. 2 - Stralcio della "Carta Geologica con elementi geomorfologici e strutturali" (All.1 - Agosto 2015), allegata allo Studio di Microzonazione Sismica comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.2 Assetto Geomorfológico

L'assetto geomorfologico del settore meridionale gardesano è caratterizzato quindi dalla presenza di cerchie moreniche concentriche al lago, talvolta discontinue a morfologia piuttosto arrotondata. Il modellamento dei cordoni morenici, avvenuto ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali, ha prodotto piane e valli intermoreniche talora piuttosto articolate. L'arretramento delle lingue glaciali secondo più fasi, può aver comportato la formazione di depressioni tra archi morenici adiacenti, con conseguente ristagno d'acqua ed individuazione di depressioni intermoreniche e laghi di fronte glaciale.

Il territorio di Lonato del Garda comprende due differenti ambiti geomorfologici, il primo corrisponde al settore collinare riferibile all'entroterra morenico e alle sue varie fasi evolutive. Tale ambito è caratterizzato da una cerchia collinare esterna (Unità di Sedena) piuttosto discontinua e poco pronunciata, a cui si sovrappone una cerchia più continua (cerchia esterna dell'unità di Solferino) e, frapposta tra questa ed il lago, delle alture collinari discontinue (cerchie interne dell'unità di Solferino). Questi sistemi di alture collinari moreniche sono stati parzialmente "smantellati" dall'azione erosiva fluvio-glaciale operata dagli scaricatori fluviali che raccoglievano le acque di scioglimento glaciali, dalla successiva imposizione della rete idrografica olocenica, e dall'attività di modellamento antropica.

Il secondo ambito, all'interno del quale ricade il lotto d'interesse, è riferibile ad una piana fluvio-glaciale, caratterizzata da un ampio settore subpianeggiante, formatosi probabilmente a seguito del ritiro dei ghiacciai più antichi (fase di Carpenedolo) e successivamente recettore delle acque di scioglimento dei ghiacciai delle fasi più recenti, nonché della successiva rete idrografica olocenica.

Nell'ambito della piana sono presenti limitate ondulazioni topografiche, soprattutto a ridosso dei versanti morenici, legate in origine allo scorrimento canalizzato delle acque di scioglimento glaciale e successivamente allo sviluppo di alcuni corsi d'acqua olocenici provenienti dall'ambito morenico. Il transito verso le condizioni climatiche attuali ha

sostituito i fenomeni geomorfici legati all'idrografia superficiale ed alla gravità a quelli prettamente glaciali, apportando ulteriori modifiche al paesaggio. In tempi recenti, l'azione antropica di modifica della topografia, ha portato il territorio all'attuale configurazione.

A tal proposito possono essere presenti materiali rimaneggiati, in relazione ad interventi di regolarizzazione della topografia e in prossimità delle opere di edificazione già avvenute, in particolare per la realizzazione del piazzale già esistente nel settore nord-occidentale dell'area di studio.

Il sito in esame si colloca immediatamente a Est dei rilievi morenici sui quali sorgono gli abitati di Loc. Brodena e Tiracollo, e risulta nel complesso da sub-pianeggiante a debolmente degradante in direzione E-SE (inclinazione $<15^\circ$), con quote circa comprese tra 130,5 m e 140,5 m s.l.m.. L'area di intervento nel complesso risulta stabile e non interessata da fenomeni geomorfici in atto di alcun tipo.

2.3 Caratteri Idrogeologici locali

L'assetto idrogeologico del territorio lonatese 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 d'interesse, il modello idrogeologico di riferimento per il settore di pianura è quello di un acquifero di tipo multistrato, circolante entro i depositi quaternari, in cui i diversi orizzonti acquiferi sono costituiti da livelli ghiaioso-sabbiosi e conglomeratici fessurati separati da intervalli argillosi, argilloso-limosi o conglomeratici compatti.

In generale, per quanto riguarda il modello idrogeologico superficiale di riferimento, si segnala che a seguito dell'esecuzione delle indagini geognostiche eseguite all'interno del sito progettuale, non è stata rinvenuta la presenza di una falda freatica, fino ad almeno 7,5 m di profondità dal p.c.. Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di acquiferi a profondità maggiori rispetto a quelle progettuali.

A tal proposito più in profondità sono presenti falde confinate o semiconfinate contenute negli acquiferi ghiaioso-sabbiosi o ghiaioso-conglomeratici compresi tra intervalli prevalentemente limoso-argillosi.

Nelle piane di Lonato d/G come quella oggetto di studio, le falde medie, presenti a partire da circa -40/-50 m dal p.c. (vedi stratigrafia pozzi in allegato), sono separate da quelle profonde, presenti a partire da circa -70/-80 m dal p.c., da conglomerati e unità argillose, che costituiscono localmente la base del sovrastante acquifero freatico.

Nello specifico, nella quasi totalità dell'area di progetto, si ha la presenza, oltre il primo orizzonte superficiale, di depositi fluvioglaciali, costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli con valori di permeabilità definiti dalle indagini in sito compresi tra $3,92 \times 10^{-4}$ e $1,36 \times 10^{-3}$ m/s.

Come confermato all'interno della "Carta Idrogeologica con indicazione sulla Vulnerabilità degli acquiferi superficiali" (**Fig. 3**), allegata allo studio geologico del PGT del Comune di Lonato d/G si segnala, per il sito d'interesse, un grado di vulnerabilità alto, in funzione dallo scarso grado di protettività dei suoli, caratterizzati da una buona capacità di drenaggio.

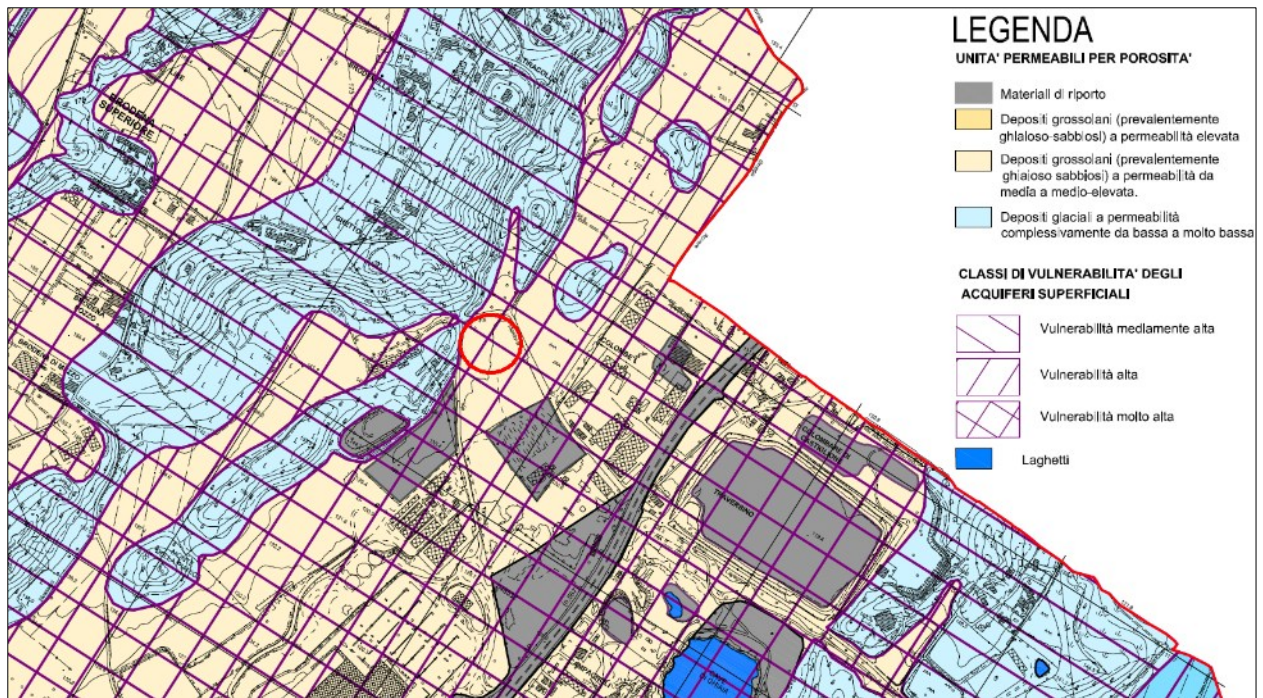


Fig. 3 - Stralcio della "Carta Idrogeologica con indicazioni sulla Vulnerabilità degli Acquiferi Superficiali" (Tav. 6), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.4 Permeabilità dei terreni

Per la stima dei valori di permeabilità k sono stati reperiti dati sia da letteratura, riguardanti le caratteristiche di permeabilità dei terreni, sia da stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella di studio e tenendo in considerazione le indagini geognostiche eseguite dal sottoscritto, all'interno del lotto progettuale.

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 da depositi fluvio-glaciali permeabili per porosità, caratterizzati da una permeabilità complessivamente medio-alta, con sequenze ghiaioso-sabbiose con ciottoli che favoriscono la filtrazione idrica verticale.

In tali terreni i valori del coefficiente di permeabilità risultano variabili, passando da sequenze in prevalenza ghiaiose maggiormente permeabili ($k=1,0 \cdot 10^{-3} / 1,0 \cdot 10^{-4}$) a sequenze ricche di frazione sabbioso-limoso che ne riducono invece la permeabilità ($k=1,0 \cdot 10^{-5} / 1,0 \cdot 10^{-6}$).

Ne consegue che, sulla base dei dati raccolti dalle prove in situ, ai terreni presenti all'interno dell'area d'interesse, possono essere attribuiti valori di permeabilità medi (da $1,36 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ a $3,92 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) con buone capacità di drenaggio.

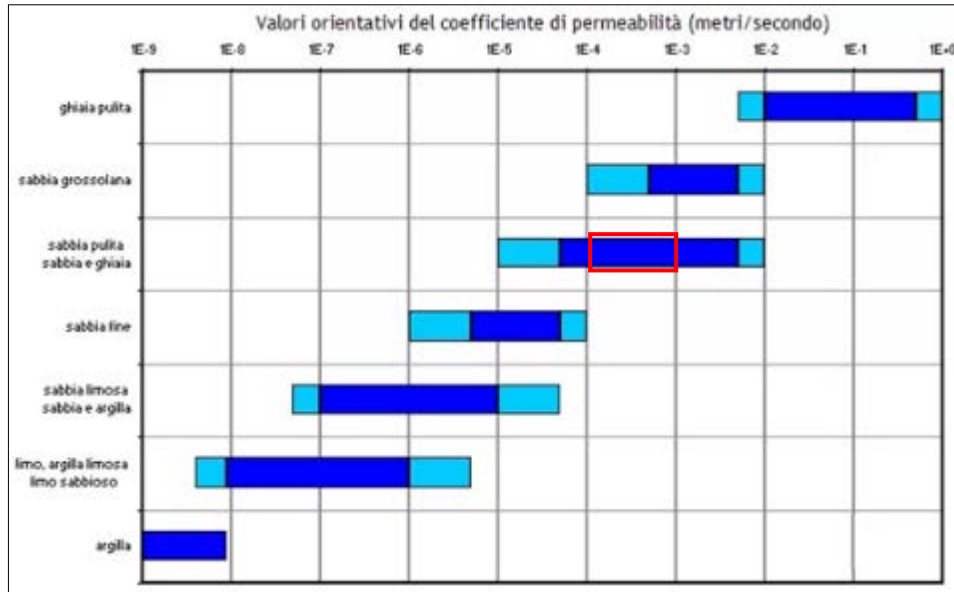


Fig. 4 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità.

2.5 Rete Idrografica locale

La rete idrografica superficiale di tale porzione del territorio comunale è stata pesantemente obliterata dall'urbanizzazione e industrializzazione compiuta in diversi momenti del passato. Gli originari corsi d'acqua raccoglievano le acque provenienti dalle cerchie moreniche e talora dalle piane interposte, prima di sfociare nel lago. Lungo le arterie stradali e attraverso alcune proprietà private e capannoni industriali sono attualmente presenti opere di canalizzazione interrata, in parte afferenti all'attuale rete fognaria, con andamento probabilmente simile all'originaria rete idrografica naturale.

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 delle acque bianche e di quelle nere a servizio degli edifici a destinazione residenziale e/o industriale presenti nelle immediate vicinanze dell'ingombro di progetto (**Fig. 4**).

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 del Reticolo Idrico con indicazioni delle fasce di tutela" (Tav. 3/c), non interferisce con alcun elemento del reticolo idrografico e non rientra all'interno delle fasce di tutela per essi istituite.

Si specifica inoltre che entro l'area di indagine il deflusso idrico superficiale ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale e, presso l'intero lotto di proprietà non si segnala alcuna problematica idraulica.

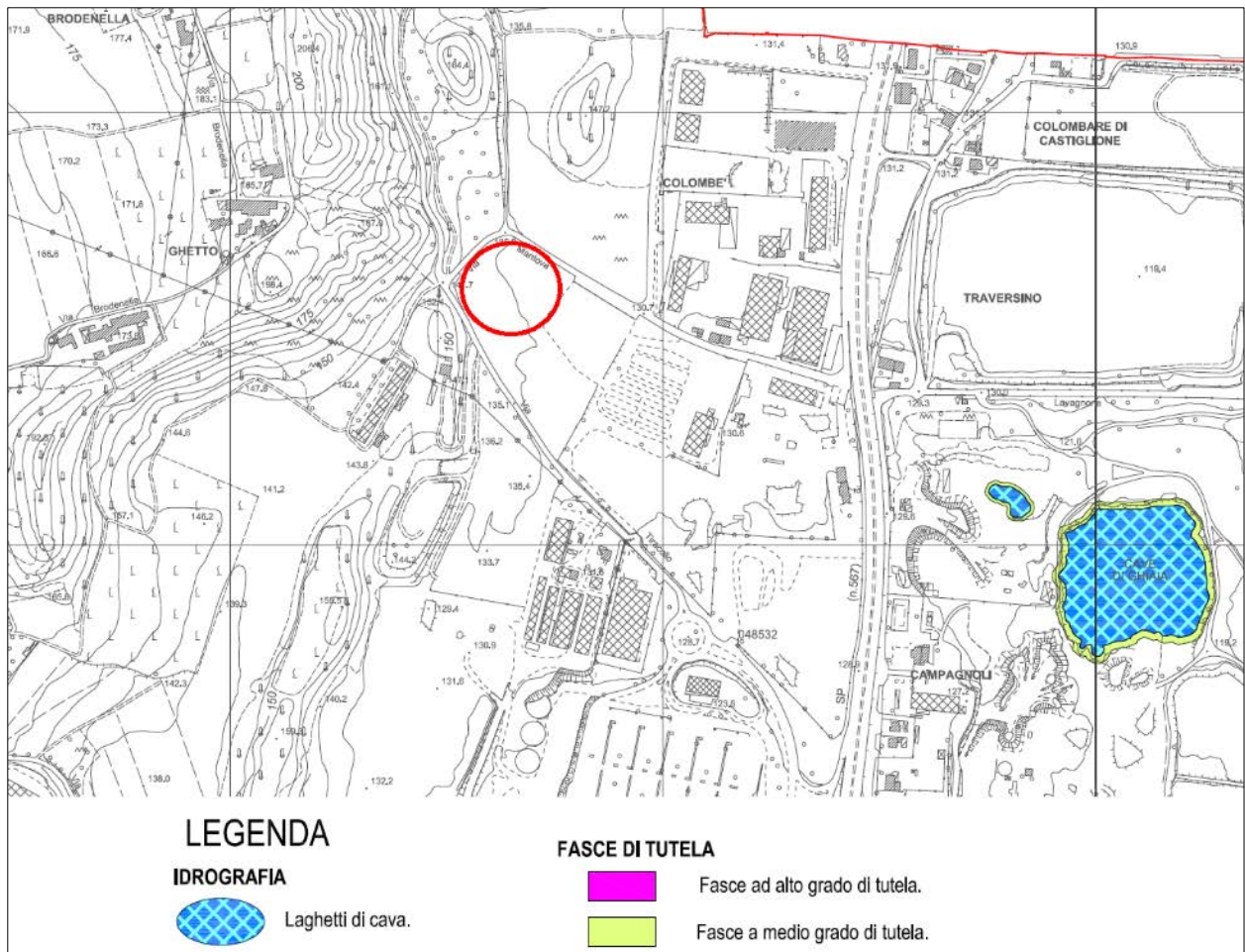


Fig. 5 - Stralcio della "Carta del reticolo idrico con indicazione delle fasce di tutela" (Tav. 3/c), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

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 2019 - Fig. 6), 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).

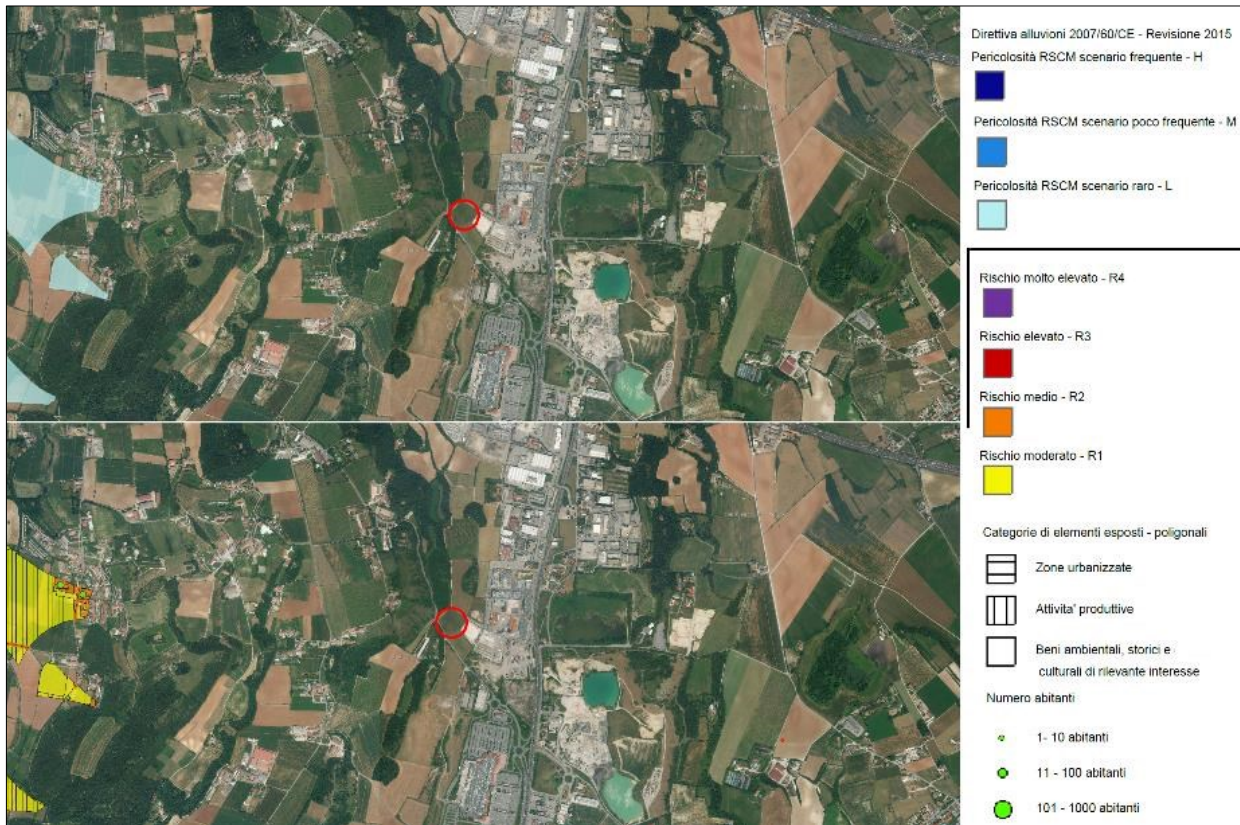


Fig. 6 - Stralcio della Mappa degli Scenari di Pericolosità da alluvione e Mappa del Rischio Alluvioni stralciate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (Dicembre 2019).
Fonte Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, in data 15 Febbraio 2020 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°7 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)** e **n°11 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.

Ad integrazione dei suddetti dati sono stati presi in considerazione i risultati derivanti da prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH) e prospezioni sismiche MASW+HVSR eseguite in occasione di un precedente studio geologico (*Dott. Geol. Giuliano Donarea - Luglio 2018*) per il medesimo lotto d'interesse progettuale (vedi **Tav. 2** per ubicazione).

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

Nell'ubicazione dei punti d'indagine si è tenuto conto della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle opere di progetto (**Tav. 2**). I dati derivanti dalle prove in situ riassunti nei diagrammi in allegato, sono riferiti al piano campagna dell'area di indagine, presente alla data delle indagini.

3.1 Scavi esplorativi

Metodologia di esecuzione

In accordo con i *Tecnici della committenza*, per la presente campagna d'indagine sono stati eseguiti **n° 11 scavi esplorativi**, per la caratterizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione, per l'esecuzione di prove di permeabilità dei terreni e per il prelievo di campioni di terreno da sottoporre a laboratorio per analisi chimiche.

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 Permeabilità dei terreni

Per la definizione delle caratteristiche di permeabilità dei terreni presenti in sito, sono state eseguite, entro gli scavi esplorativi T1, T4 e T5, specifiche **prove di permeabilità a carico variabile**.

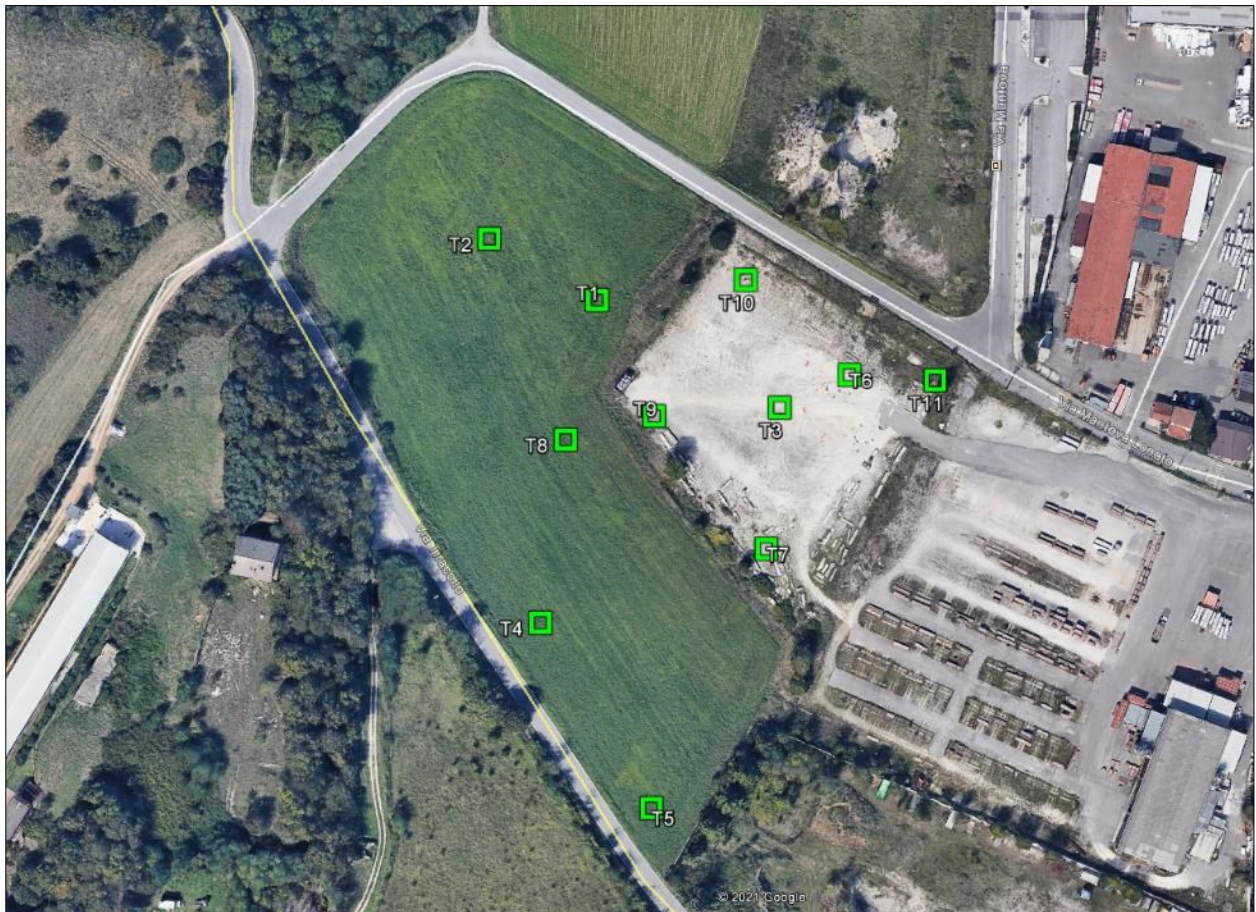


Fig. 7 - Ubicazione Scavi esplorativi.

Metodologia ed esecuzione della prova

La prova di permeabilità è stata eseguita 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. 8 - Esecuzione di prova di permeabilità in sito.

La prova, in questo caso di tipo a carico variabile, è stata eseguita 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):

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

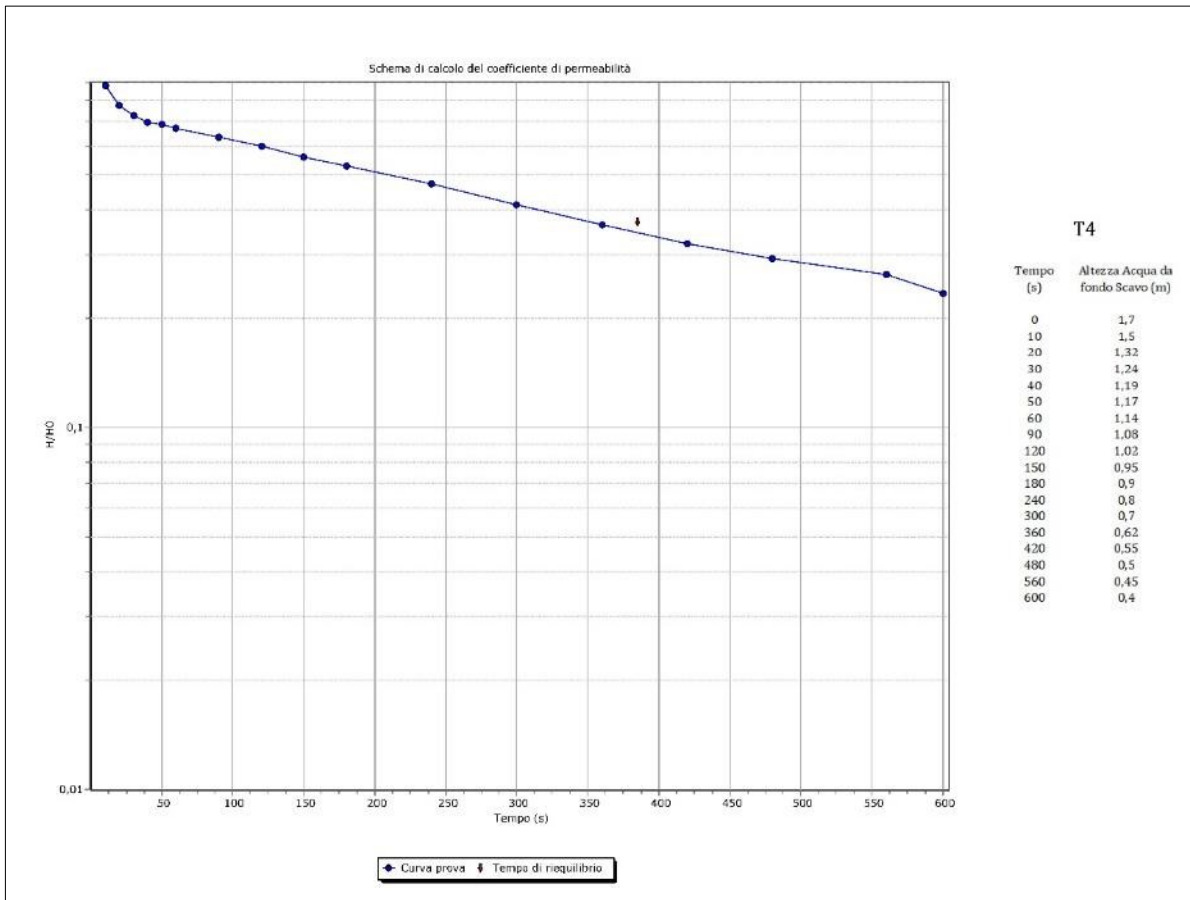
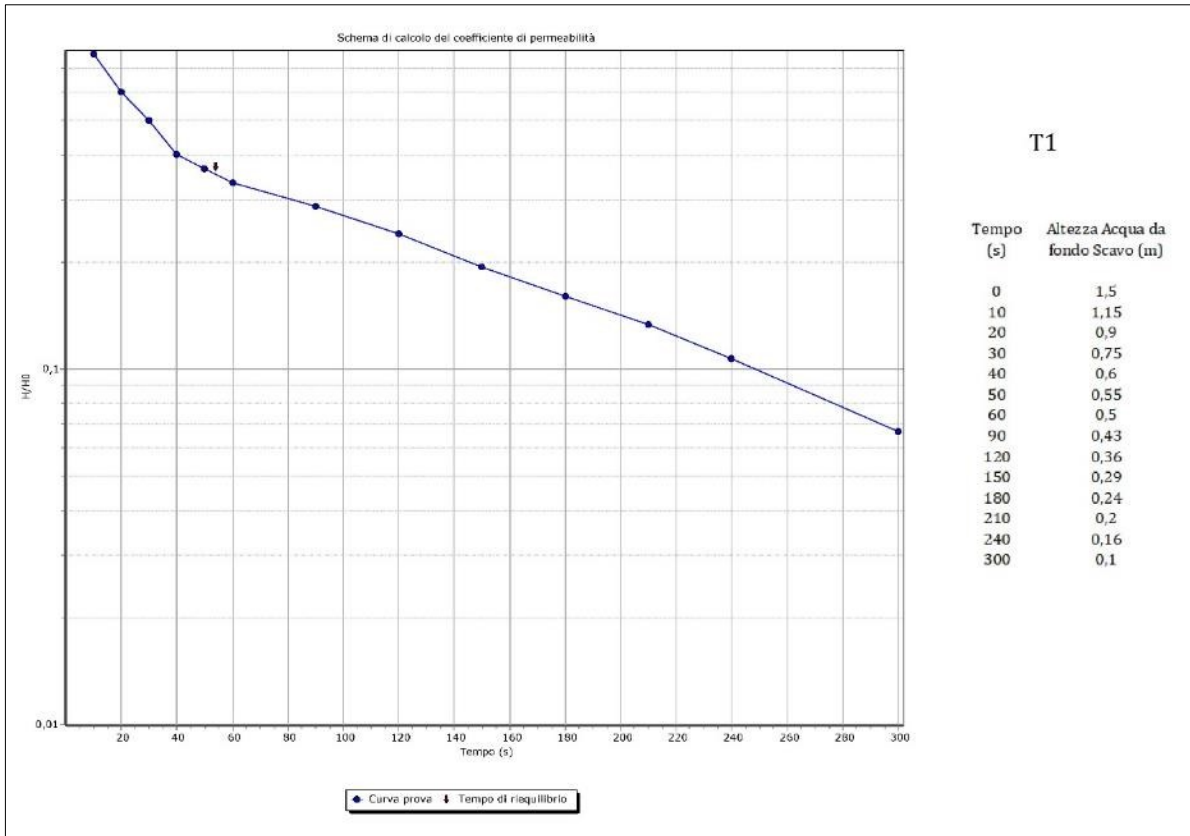
in cui:

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.



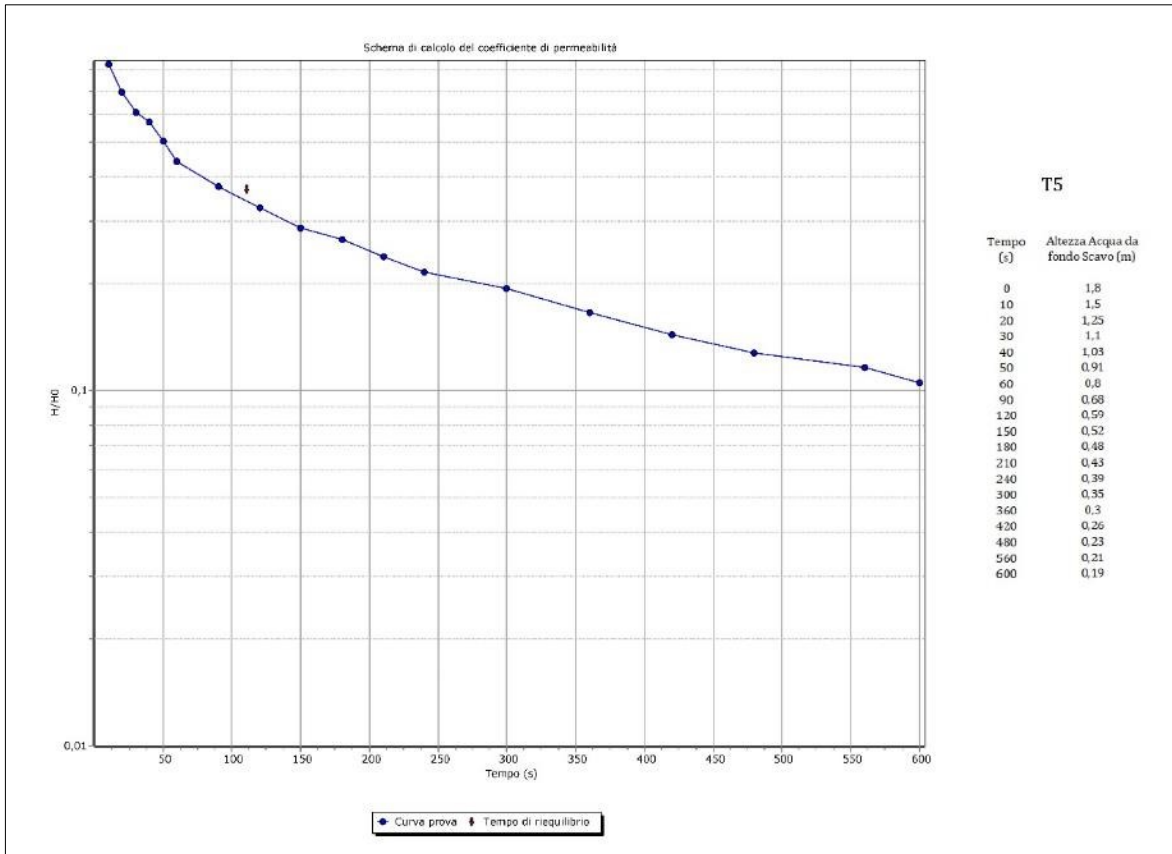


Fig. 9 - Schema di calcolo del coefficiente di permeabilità.

Interpretazione dei risultati

In relazione alla formula riportata e ai risultati presentati in **Fig. 9**, si ottiene il seguente coefficiente di permeabilità (k) di sito:

SCAVO	PROFONDITÀ DEL TRATTO DI PROVA (m da p.c.)	LITOLOGIA	PERMEABILITÀ K
T1	Da -2,0	Ghiaia con sabbia e ciottoli	$2,79 \times 10^{-3}$ m/s
T4	Da -1,8	Sabbia e ghiaia fine con ciottoli	$3,92 \times 10^{-4}$ m/s
T5	Da -1,8	Ghiaia e sabbia	$1,36 \times 10^{-3}$ m/s

Sulla base dei dati raccolti dalle prove in situ, ai terreni presenti all'interno dell'area d'interesse, costituiti prevalentemente da depositi fluvio-glaciali ghiaioso-sabbiosi, sono attribuiti valori di permeabilità medi (da $1,36 \times 10^{-3}$ m/s a $3,92 \times 10^{-4}$ m/s) con buone capacità di drenaggio.

3.3 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

Metodologia ed attrezzatura di prova

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, con l'utilizzo di correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici.

Nello specifico sono state eseguite **n°7 prove penetrometriche**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dinamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Emilia* - mod. *Pagani TG 63/200*, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm.

Dal valore di N_{SCPT} (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di $N_{S.P.T.}$ mediante la relazione: $N_{S.P.T.} = N_{DPSH}/C$. Il coefficiente C è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata.

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. 10 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

3.4 Interpretazione dei dati e Modello Geologico locale

Le indagini geotecniche eseguite all'interno del sito di progetto, sono state spinte ad una profondità massima di -7,5 m rispetto al piano campagna generale; 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 delle prove è imputabile all'elevato addensamento dei terreni indagati e/o alla presenza di grossi ciottoli entro l'unità fluvioglaciale attraversata.

A tal proposito si specifica che in corrispondenza dell'ingombro del piazzale esistente, è stato rinvenuto uno spessore di materiale di riporto/rimaneggiato, pari a circa 0,3/0,6 m, nel complesso moderatamente addensato (vedi stratigrafie scavi esplorativi in allegato), a differenza di quanto riscontrato nei settori limitrofi (campi agricoli), interessati inizialmente da un orizzonte di terreno vegetale scarsamente addensato.

Le evidenze lito-stratigrafiche delle verticali d'indagine e il grado di addensamento dei terreni attraversati sono di seguito riassunti:

MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Quota di riferimento p.c. generale	Unità geologica	Caratteristiche litologiche	N _{SPT} medio	Denominazione AGI
STRATO 1	Unità S	Terreno superficiale vegetale limoso-sabbioso/di riporto ghiaioso sabbioso	3-15	Da scarsamente addensato a moderatamente addensato
da 0,0 a -0,6/-0,9 m				
STRATO 2	Unità FG 1	Depositi Fluvioglaciali superficiali ghiaioso sabbiosi con ciottoli	15-25	Moderatamente addensato
da -0,6/-0,9 m a -3,0/-4,5 m				
STRATO 3	Unità FG 2	Depositi Fluvioglaciali ghiaiosi debolmente sabbiosi con ciottoli	27->50	Da moderatamente addensato a molto addensato
Oltre -3,0/-4,5 m dal p.c.				

Durante l'avanzamento delle prove penetrometriche non sono stati riscontrati livelli di umidità. A tal proposito, a seguito della consultazione dei dati relativi alla piezometria riportati all'interno dello studio Geologico del P.G.T. del Comune di Lonato d/G, e dalle stratigrafie dei pozzi in allegato al presente elaborato, si ipotizza la presenza continua di corpi idrici, a partire da almeno -40/-50 m di profondità dal p.c. presente alla data delle indagini. Pertanto si segnala che le operazioni di scavo, da realizzare per la posa delle fondazioni progettuali, non interferiranno in alcun modo con fenomeni di circolazione d'acqua sotterranei.

3.5 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 Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs_{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. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

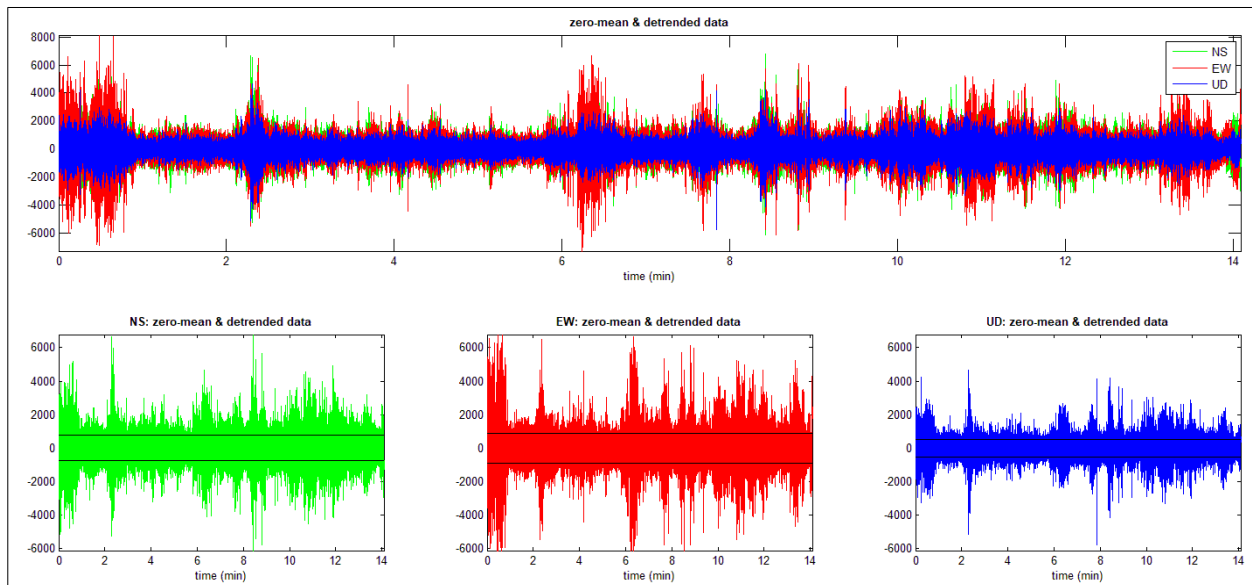


Fig. 11 - Visualizzazione dei dati originali prima della rimozione di eventi transienti.

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.

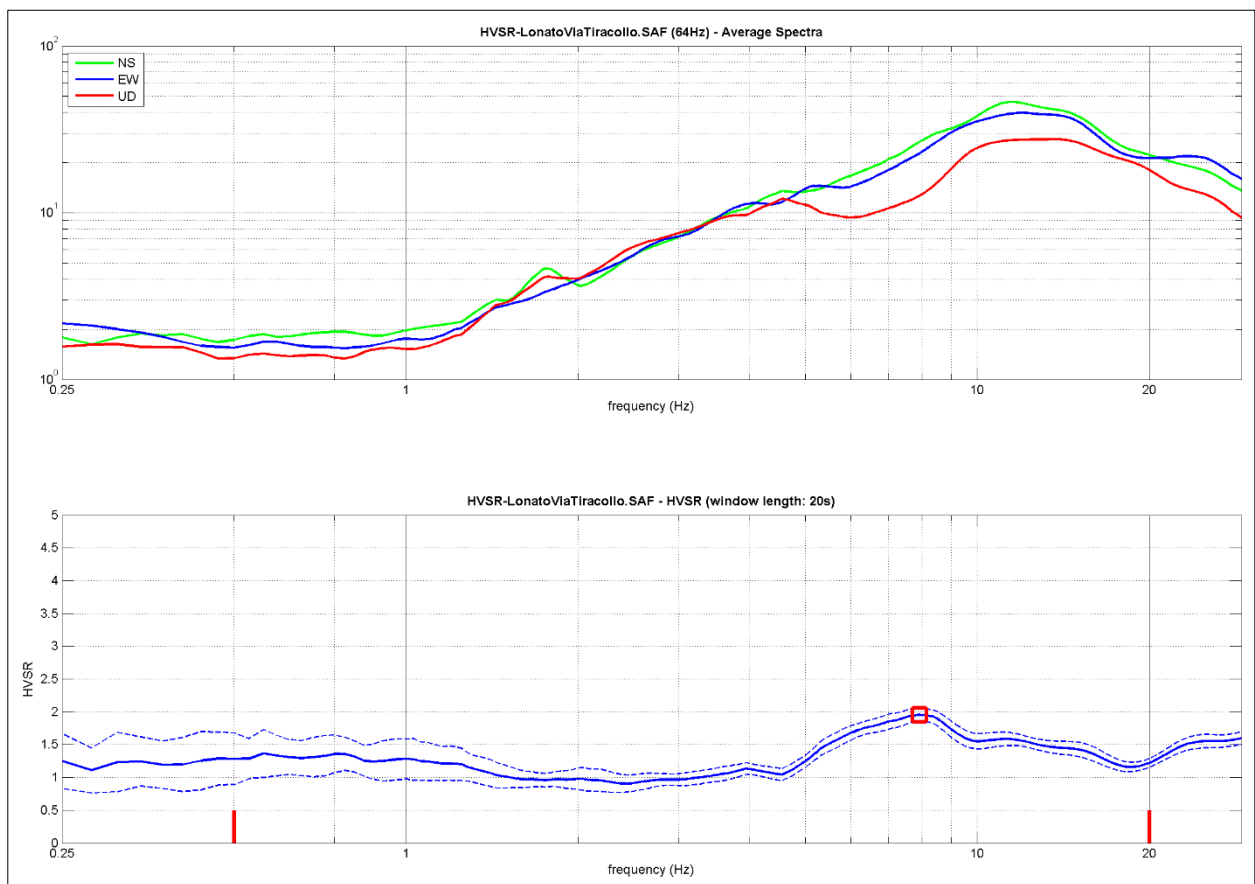


Fig. 12 - HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSR riportata, indica un picco principale a circa 7,9 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. $[f_0 > 10/L_w]$: $7.914 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]$: $11396 > 200$ (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. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.0Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.0 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)]$: $3.646 > 0.396$ (NO)
- #6. $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]$: $0.099 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 7,9 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 7,9 Hz.

Considerato l'andamento delle tre componenti che costituiscono il segnale sismico registrato, nonostante non siano verificati tutti i criteri SESAME, il picco di risonanza del sito indagato può essere attribuito ad un contrasto di impedenza sismica presente, a circa -10,0/-11,0 m di profondità dal p.c., tra i depositi fluvioglaciali che caratterizzano il territorio in cui ricade l'area di indagine, e i sottostanti orizzonti ad elevato grado di addensamento appartenenti alla medesima unità deposizionale.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco principale individuato dall'analisi H/V, e il relativo tratto di curva, sono stati comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR (**Fig. 14**), per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili e integrabili all'analisi MASW di seguito riportata.

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'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i

comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate, sia le onde di Love, che le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

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

Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture progettuali. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-12 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 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 24 geofoni a componente verticale. L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta mediante uno stendimento sismico di 24 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 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 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. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema

di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

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

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 13**). 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.

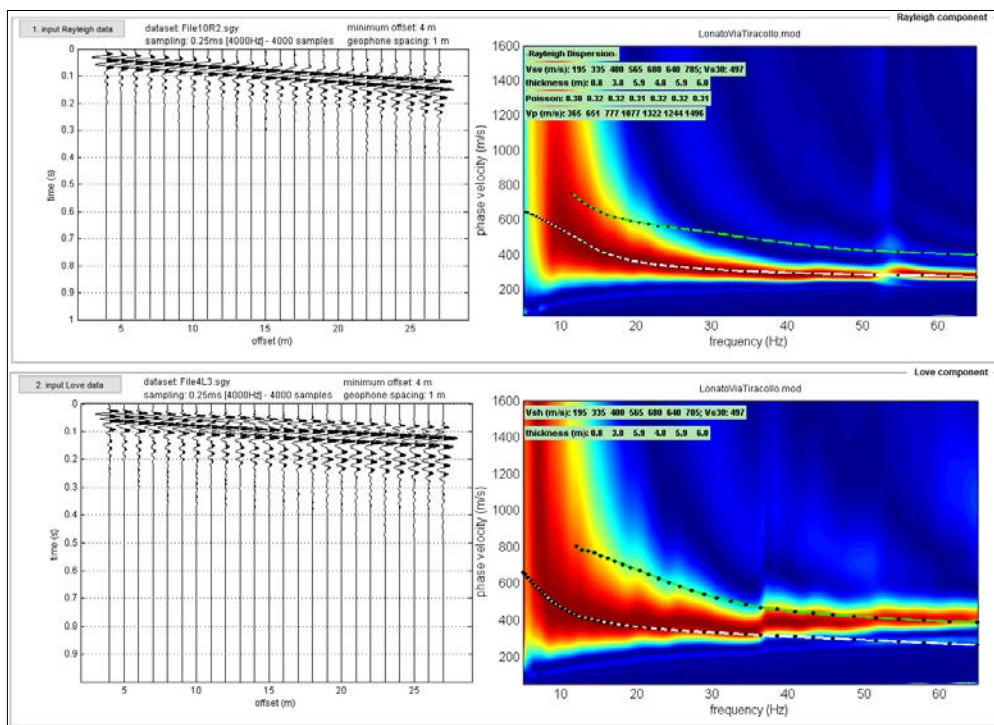


Fig. 13 - Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori, che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).

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

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

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso. Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri (*Rayleigh+Love*), al fine di ottenere un solo modello di velocità (**Fig. 13**). Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<10 Hz), è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVS (**Fig. 14**). In particolare, è stata eseguita un'**analisi congiunta** tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

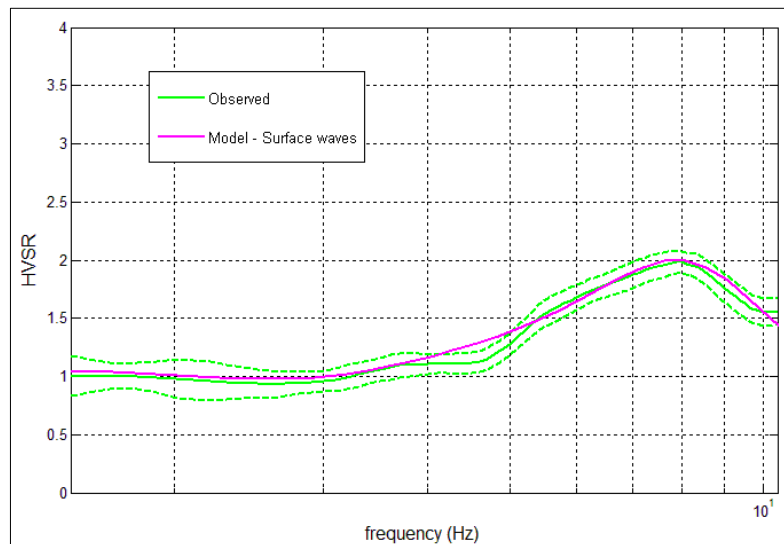


Fig. 14 - Confronto tra H/V sperimentale e teorico, ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

Modello sismostratigrafico

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

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

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Tiracollo - Lonato d/G (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	195	0,8	-0,8	1,81	0,30	69
2	335	3,8	-4,6	1,95	0,32	219
3	400	5,9	-10,5	1,99	0,32	319
4	565	4,8	-15,3	2,07	0,31	661
5	680	5,9	-21,2	2,12	0,32	981
6	640	6,0	-27,2	2,11	0,32	863
7	785	7,8	-35,0	2,15	0,31	1326

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} (m/s)	Profondità del bedrock sismico	Categoria di sottosuolo: B
A partire dal p.c.	497 m/s	Oltre -30,0 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 congiunta MASW+HVSR fino ad una profondità di -35,0 m dal p.c. (**Fig. 15**), utilizzata per il calcolo del parametro V_{S,eq}.

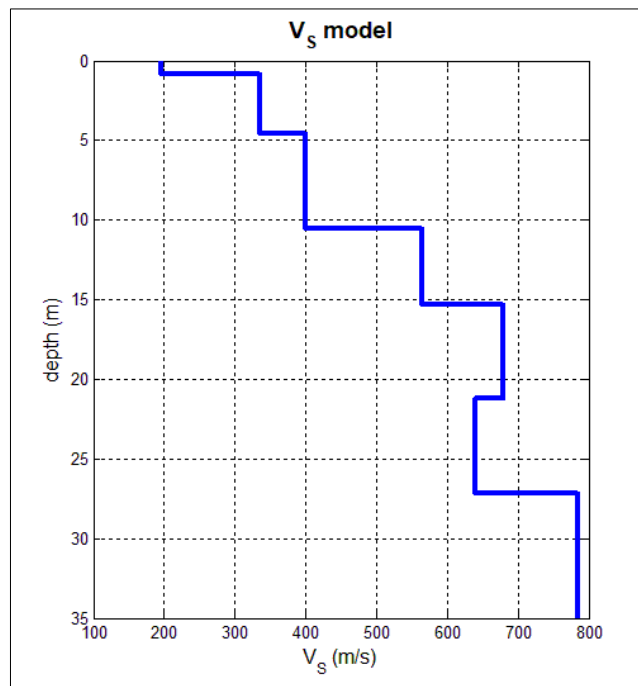


Fig. 15 - Profilo sismostratigrafico.

3.6 Prospezioni sismiche precedenti

Nella medesima area di studio, durante campagne d'indagine precedenti, sono state realizzate n°2 prospezioni sismiche e nello specifico:

- esecuzione di n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie con elaborazione dei dati secondo la procedura MASW – 2009
- 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 - 2018

Si riporta di seguito l'ubicazione delle prospezioni sismiche eseguite presso l'area di studio.



Fig. 16 - Ubicazione Prospezioni Sismiche.

Tralasciando i dettagli delle modalità operative e delle fasi di analisi ed elaborazione eseguite per le prospezioni sismiche già eseguite nell'area di studio evidenziate in giallo in **Fig. 16**, si ritiene opportuno riportare, nelle seguenti tabelle, il modello geofisico medio nel quale si evidenziano i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, ottenuti mediante analisi con metodologia MASW o in alternativa MASW+HVR.

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Linea Sismica 017092L35 - Via Tiracollo - MASW 2009

Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	254	2,0	-2,0
2	372	3,9	-5,9
3	392	5,1	-11,0
4	529	5,6	-16,6
5	777	13,4	-30,0

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	Vs,eq (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m	508	B	Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Tiracollo - MASW+HVSr 2018

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	1,8	-1,8	1,82	0,28	80
2	310	3,7	-5,5	1,93	0,31	185
3	440	9,3	-14,8	2,01	0,30	388
4	390	6,0	-20,8	1,98	0,30	301
5	465	5,4	-26,2	2,02	0,29	436
6	560	6,0	-32,2	2,06	0,28	645
7	690	2,8	-35,0	2,11	0,28	1003

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	Vs,eq (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre 30 m	398	B	Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

4. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA

4.1 Inquadramento sismotettonico

La regione benacense è collocata nel quadro tettonico della formazione delle Alpi, legato ai movimenti della placca euroasiatica e di quella africana, che con la loro collisione produssero l'innalzamento della catena alpina, con formazione della struttura a coltri di ricoprimento. Quest'ultima si interrompe a sud della Linea Insubrica, la quale costituisce il confine tra le Alpi e le Alpi Meridionali che comprendono la regione del Lago di Garda. Il tratto interessato, della Linea Insubrica, alla quale è imputata la formazione dei più importanti elementi strutturali dell'area gardesana, è quella denominata Linea delle Giudicarie. Questa è caratterizzata da strutture aventi direzione NNE-SSW, tra le quali, l'elemento più noto, è la doppia piega anticlinale e sinclinale del monte Baldo, situato lungo la sponda est del lago. Il sistema giudicariense è caratterizzato da sovrascorrimenti con presenza di faglie trasversali, che determinano un assetto strutturale irregolare (**Fig. 17**).

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.

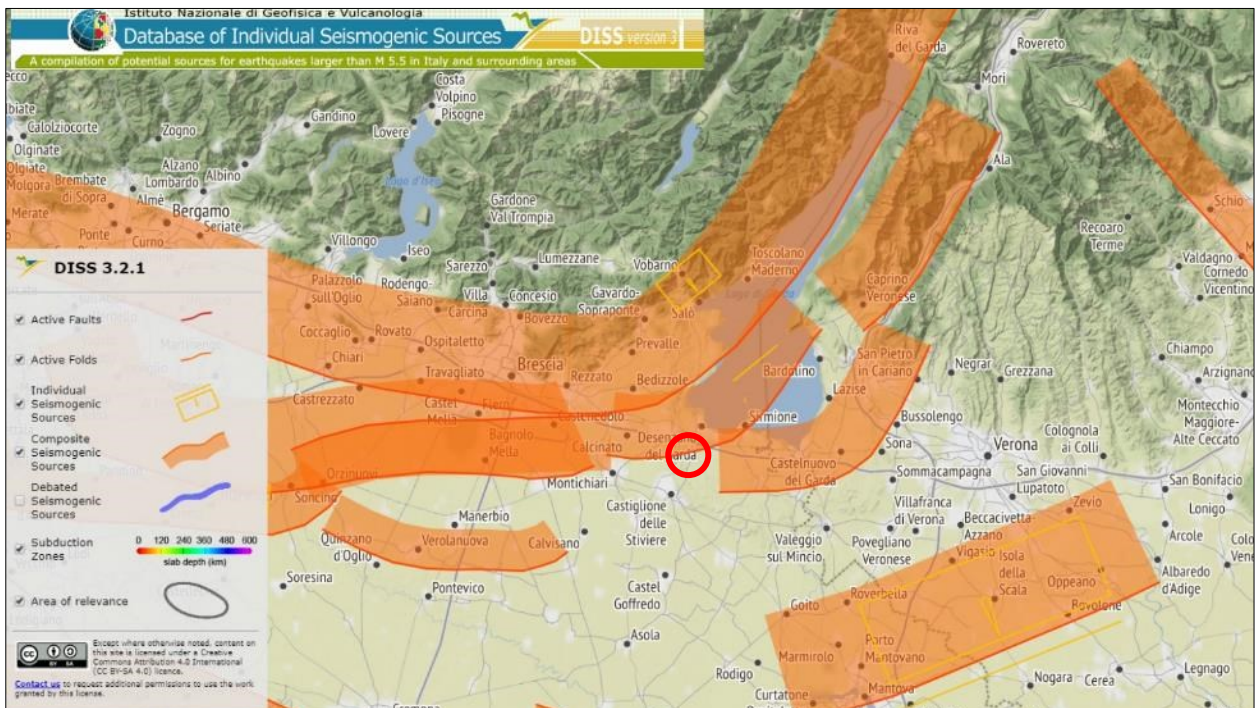


Fig. 17 - Stralcio del Database cartografico delle sorgenti sismogenetiche della regione prealpina e pedemontana gardesana (fonte - DISS.3 by INGV), con ubicazione dell'area di interesse.

4.2 Sismicità locale

L'attività sismica storica nel basso Garda e più ingenerale nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente, nella porzione del 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.

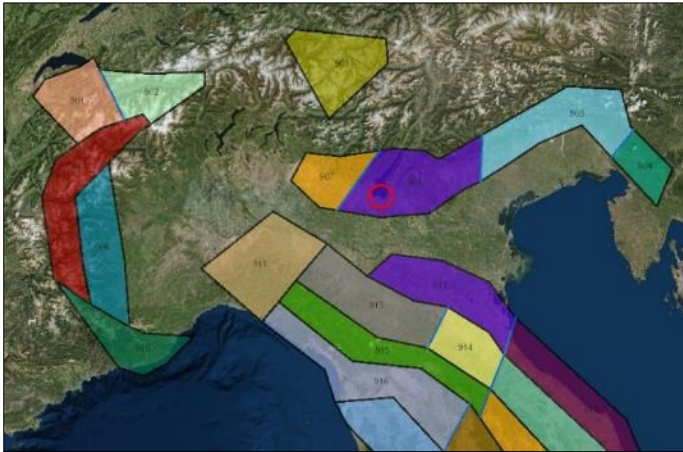
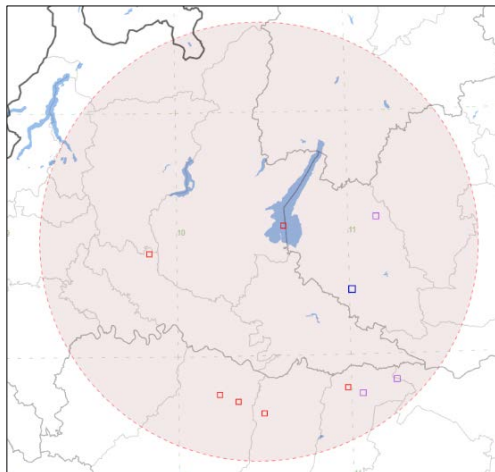


Fig. 18 - Schema Zonazione Sismogenetica ZS9 (tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

Gli eventi sismici storici sono consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (C.P.T.I.15 - progetto INGV-T3 anno 2016) e sono assegnati mediante l'individuazione della "Zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. 18) - 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 Lonato del Garda**:

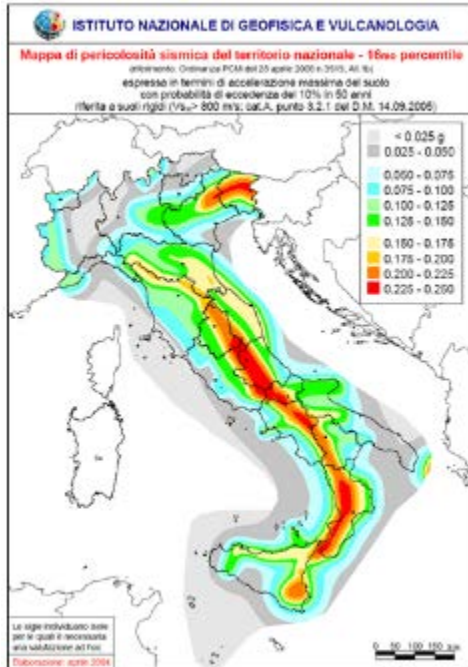


Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
1222	12	25	12	30		Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
1438	06	11	02			Parmense	4	8	5.56
1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
1891	06	07	01	06	14	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
1971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

Fig. 19 - Catalogo multiparametrico dei terremoti italiani con magnitudo (M_w) > 5,5 verificatisi in un'area di raggio pari a 100 km dall'area d'indagine (CPTI15 - progetto INGV-T3 anno 2016).

4.3 Normativa sismica vigente

Con il Testo Unico (D.M. 14/01/08), entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del 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. 20**). 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. 20 - 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 **Lonato del Garda** 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 tutto il territorio di Lonato del Garda in Zona sismica 2, indicando un valore di $a_{g,max}$ pari a 0,159 g.

4.4 Azione sismica di progetto

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

la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, è necessaria la conoscenza e la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti dell'opera di progetto. È stata infine presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018.

■ **Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica**

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

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/18:

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

Secondo il D.M. 17/01/18, quindi, e tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica MASW presa in considerazione, è stato calcolato un valore di V_{seq} pari a 497 m/s e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una "categoria di sottosuolo B".

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area d'intervento è stata classificata, nello *Studio di Microzonazione Sismica* del Comune di Lonato del Garda (*Carta della pericolosità sismica locale Livello 1 - Agosto 2015*), entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4a** "Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi" (**Fig. 21**).

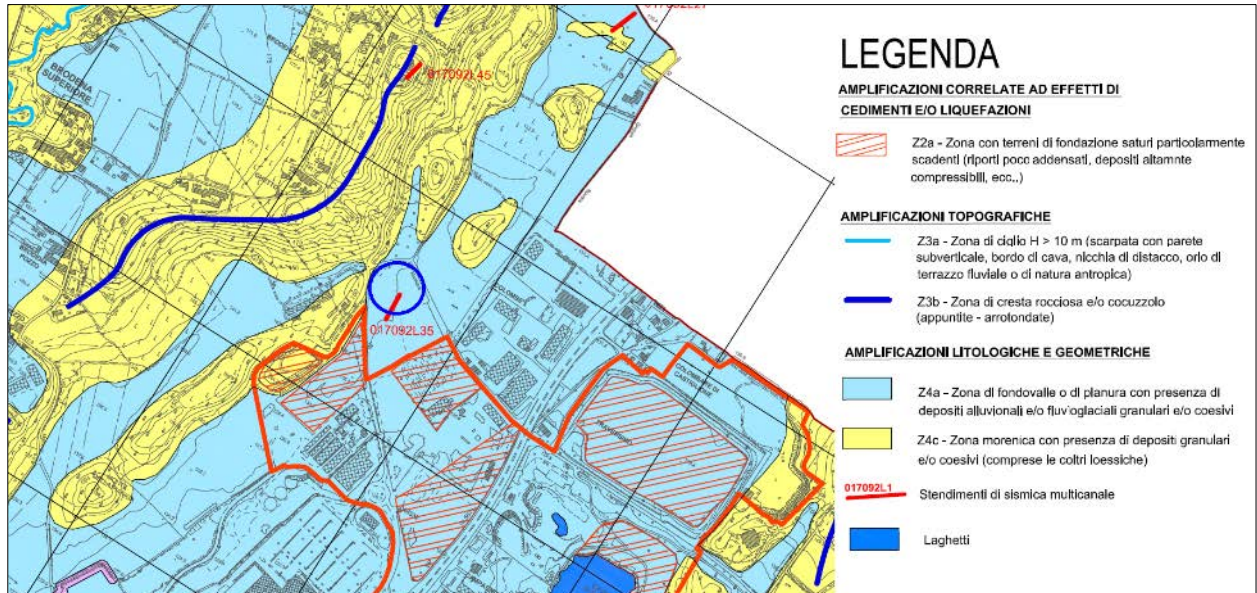


Fig. 21 - Stralcio della "Carta della pericolosità Sismica Locale - Livello 1" (Agosto 2015) allegata allo Studio di Microzonazione Sismica comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello) e, come indicato tra l'altro nella *Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano* (Tav.

14/B), vengono segnalati valori di Fa di sito inferiore a quelli di "soglia" normativa e quindi potenziali fenomeni di amplificazione sismica tali da rendere sufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente (D.M. 17/01/2018), rispetto ad un terreno di categoria "B" ($FAC \leq FAS$).

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

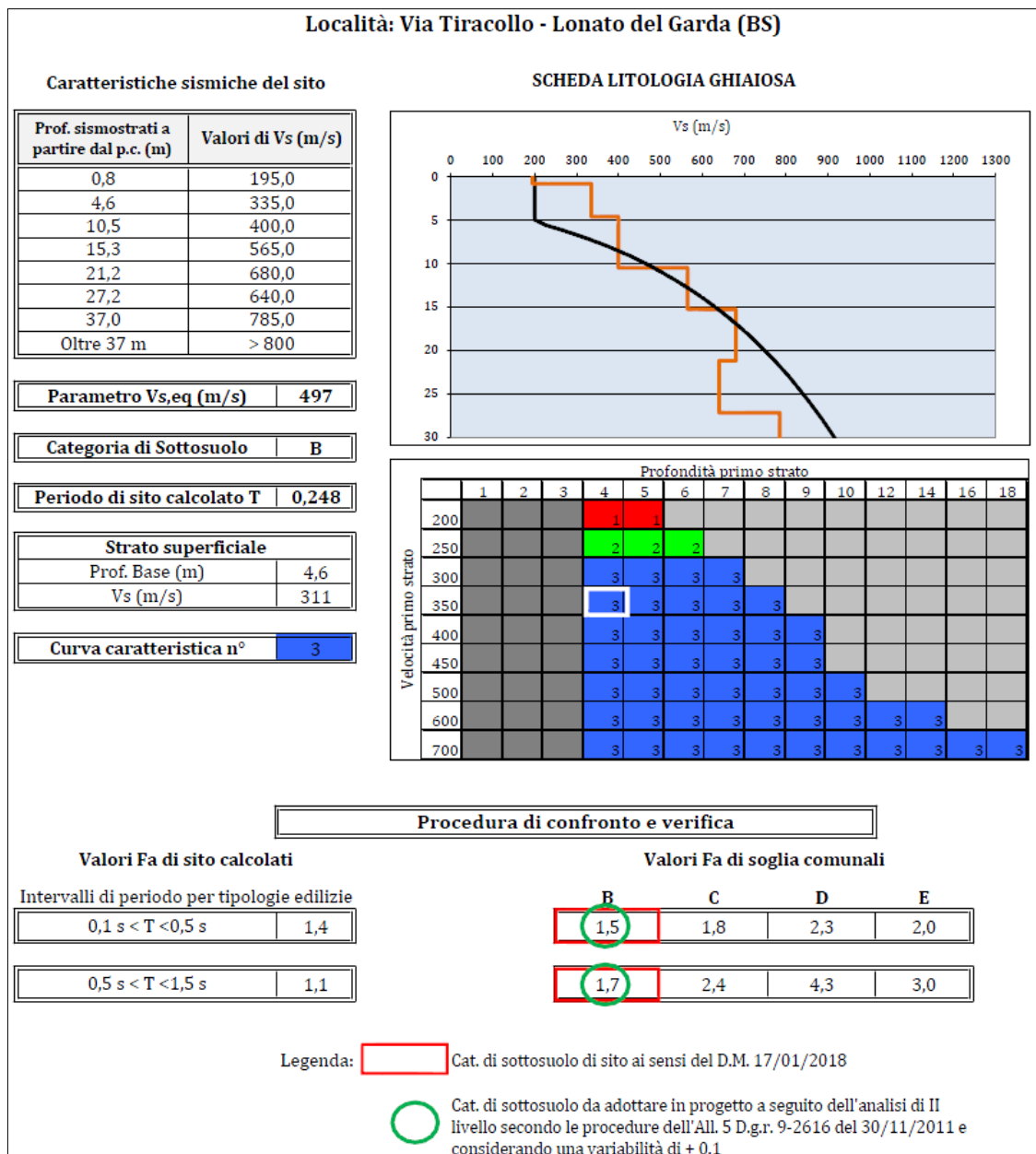


Fig. 22 - Stima degli effetti litologici - Analisi di 2° livello secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.G.R. 9-2616 del 30/11/2011.

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico medio, sono stati riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici".

Si specifica che l'inserimento del profilo sismico, all'interno delle schede di valutazione, è stato effettuato, cautelativamente, a partire dal piano campagna esistente alla data delle indagini, coincidente con lo stesso ripiano dal quale è stata eseguita la prospezione sismica. Rispettando soprattutto le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito e i campi di validità, è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (F_a) rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla litologia "Ghiaiosa - curva 3", di cui si riporta uno stralcio grafico (Fig. 22).

Nell'applicazione del metodo è stato tenuto debitamente conto, come previsto dalla D.G.R. vigente in materia, della possibilità, in caso di inversione di velocità e per velocità >600 m/s, di uscire dal campo di validità.

Con i risultati ottenuti per il sito di progetto è stato verificato che sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s si ottengono valori di F_a di sito compatibili con i valori di F_a di soglia previsti per la **categoria di sottosuolo "B"** (definita per il sito d'interesse) e che pertanto i parametri sismici della normativa sismica vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica ($FAC \leq FAS$).

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 da subpianeggiante a debolmente inclinata con inclinazione media < 15°. 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 **Sr pari a 1,0**.

■ **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: 10,512873 - Latitudine: 45,438119**), 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	B			
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	0,040	2,608	0,226
SLD	50	0,055	2,491	0,247
SLV	475	0,156	2,455	0,275
SLC	975	0,202	2,488	0,277

Si allegano inoltre gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL e i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R associati a ciascun SL (**Fig. 15**).

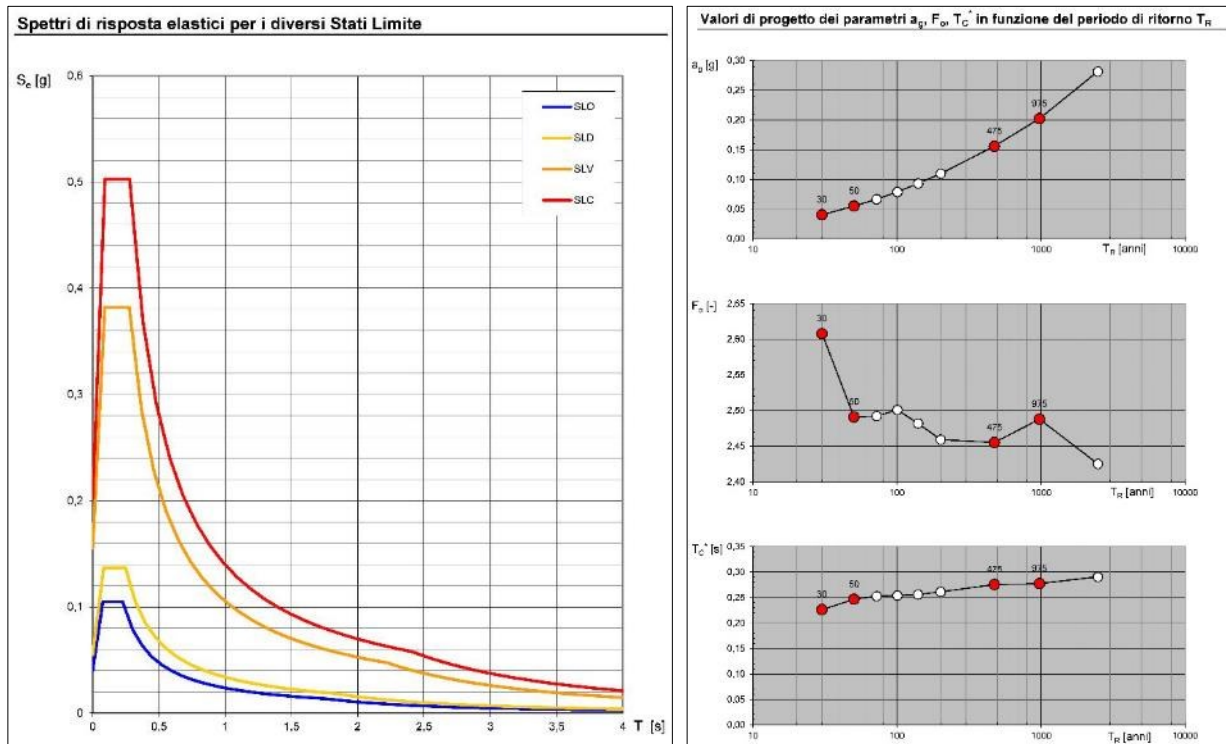


Fig. 23 - Spettri di risposta elastici e diagrammi di variabilità di a_g , F_0 e T_c^* .

■ **Amplificazione Stratigrafica (S_s)**

L'influenza del profilo sismostratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valutata con riferimento alla categoria di sottosuolo. Per l'intervento di progetto e per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si riportano i seguenti valori di *coefficiente di amplificazione stratigrafica (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 B					
SLD	S _s	1,200	SLV	S _s	1,200
	C _c	1,456		C _c	1,424

■ **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 "B", mediante la seguente relazione: $a_{g \max \text{ suolo}} = a_g \times S_s \times S_t$. Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

a _g	0,156
S _s	1,200
S _t	1,0

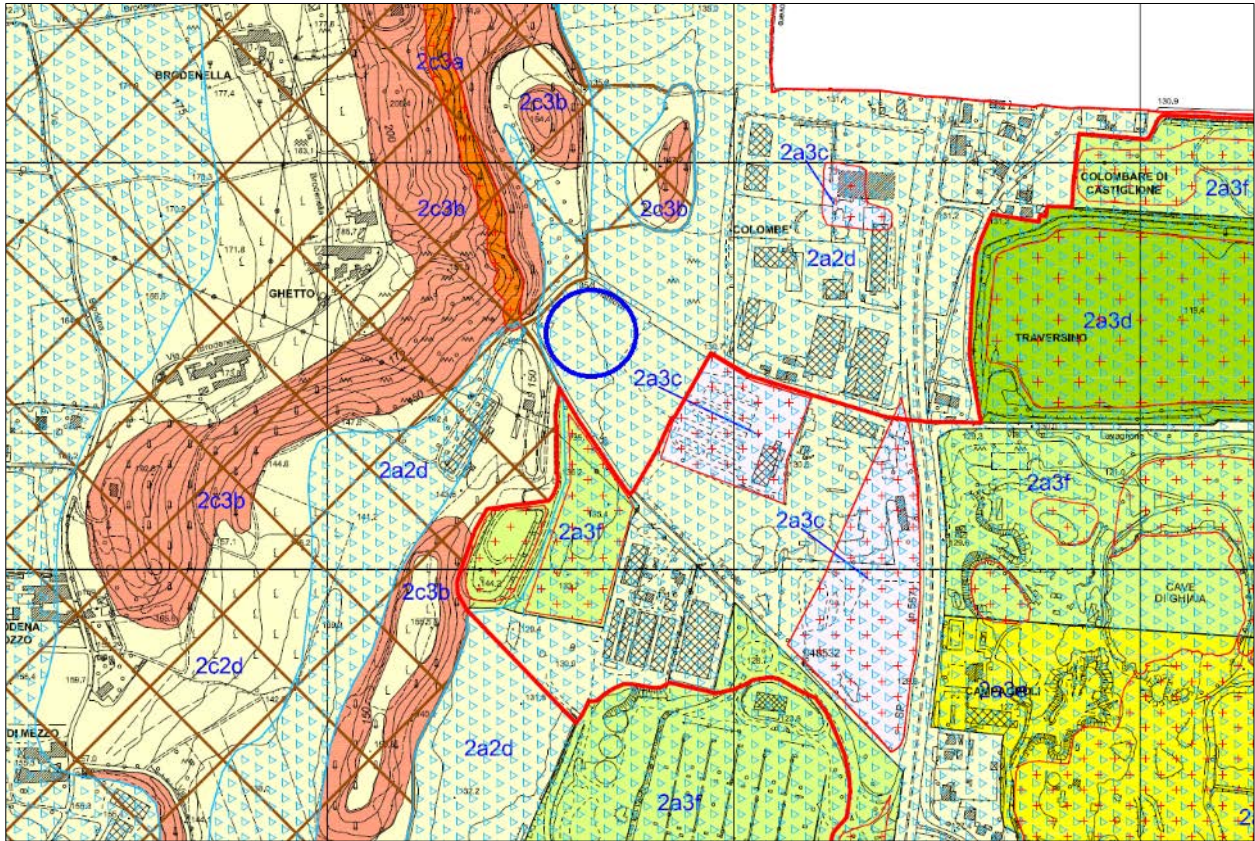
Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,187 g e risulta quindi superiore a quello di esclusione indicato dal *comma 1 (non verificato)*.

comma 2. per l'area oggetto di indagine, alla luce dell'assetto idrogeologico descritto, è stata ipotizzata una falda acquifera libera a partire da circa -40/-50 m dal p.c. e quindi ad una profondità maggiore rispetto a 15 m previsti dal comma 2 (**verificato**).

Essendo verificato almeno uno dei quattro comma si ritiene pertanto, ai sensi del D.M. 17/01/18, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.

5. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO

Dall'analisi della cartografia allegata alla "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio - Tav. 14/C" di Lonato del Garda (Luglio 2009), è stato verificato che il sito di progetto ricade nella **Classe di Fattibilità 2 con modeste limitazioni d'uso**.



LEGENDA FATTIBILITA' GEOLOGICA

CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

- 3a - Area Interessata da diffusi fenomeni di intensa erosione e/o di instabilità superficiale e/o fronti di scavo subverticali abbandonati.
- 3b - Area con versanti acclivi (inclinazione prevalentemente maggiore di 20°)
- 3c - Area con terreni aventi caratteristiche geotecniche scadenti
- 3d - Area di ex discarica non controllata (rifiuti, rifiuti inerti e speciali derubricati inerti, R.S.U.)
- 3e - Piano Cave Provinciale: "Cava di recupero Rg7"
- 3f - Area di cava dismessa - Area di discarica controllata
Ex Area di recupero n° 2 ed ex Area di coltivazione CR31 del Piano Cave Provinciale*

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

- 2a - Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile)
- 2c - Aree di elevato Interesse morfologico paesaggistico (peraltro in parte già rientranti in zone di vincolo ambientale ed idrogeologico):
- Ambito delle colline moreniche maggiormente articolate, a morfologia ondulata con ripiani subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti e prati permanenti.
- Fascia perilacustre.
- 2d - Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (Inclinazione compresa tra 5° e 20°).

NORME GEOLOGICHE DI PIANO CORRELATE AL RISCHIO SISMICO PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)

Scenari PSL Z1c e Z2: Aree con obbligo di approfondimento di 3° livello
Le aree cui corrispondono scenari PSL Z1c e Z2 richiedono in fase progettuale un approfondimento di 3° livello. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si opti in modo tale da eliminare eventuali terreni di fondazione non idonei o disomogenei o si prevedono interventi di stabilizzazione dei versanti. L'eventuale utilizzo di fondazioni profonde, Intestate in corrispondenza delle unità litostratigrafiche a buone caratteristiche geotecniche, comporta l'annullamento del potenziale fenomeno di amplificazione sismica dovuto sia ai cedimenti che alla potenziale liquefabilità dei terreni.

Scenari PSL Z4a: Aree a potenziale amplificazione morfologica e/o litologica con valori di Fa di sito > di Fa di soglia obbligo di approfondimento di 3° livello o di utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.
Per alcune delle aree che ricadono in scenari di PSL Z4a, per lo più laddove associati a scenari di PSL Z2, le analisi di 2° livello eseguite hanno permesso di verificare che i parametri sismici della normativa più recente (D.M. 14/01/08 e D.P.C.M. 28/19 del 27/04/2008), relativi alla categoria di sottosuolo definita in base alle indagini sismiche in situ, risultano sufficientemente cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione sismica litologica per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s.
Al contrario per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s risulta necessaria l'applicazione di una procedura di 3° livello o l'utilizzo dei parametri sismici previsti per la categoria di sottosuolo superiore.

NOTA: Il restante territorio comunale ricade in scenari PSL Z3a, Z3b, Z4a, Z4b, Z4c.
Aree a potenziale amplificazione morfologica e/o litologica con valori di Fa di sito < di Fa di soglia.
Per la maggior parte del territorio le analisi di 2° livello eseguite hanno permesso di verificare che l'utilizzo delle normative vigenti (D.M. 14/01/08 - OPCM 3519 del 27/04/2008) e dei relativi parametri sismici risultano sufficientemente cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione sismica per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 sec e con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 s.

Ambito oggetto di attività di cava
Entro tale perimetro si rende necessario approfondire nei dettagli il riconoscimento di eventuali scenari di pericolosità sismica, con applicazione di analisi di 2° livello ai sensi dell'art.5 della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008.

Fig. 24 - Stralcio della "Carta della Fattibilità per l'applicazione delle norme geologiche di piano" (Tav. 14/C), con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tali classi 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 2a** (*Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee, prima falda*)

Per questa sottoclasse sono consentite tutte le tipologie di intervento; la loro realizzazione è in ogni caso subordinata ad uno studio idrogeologico, rappresentato dal presente elaborato, 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, entro il sito di progetto, durante l'esecuzione delle indagini geotecniche, non è stata rilevata la presenza di falde acquiferi superficiali e/p sospese; quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di una falda idrica continua a partire da circa -40/-50 m di profondità dal p.c..

Si ritiene quindi che le operazioni di scavo per la realizzazione di nuove strutture progettuali, non intercetteranno acquiferi superficiali. 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, gli interventi di progetto, siano compatibili con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, non introducendo alcun impatto sulle acque di falda.

✓ **CLASSE 2d** (*Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati; inclinazione compresa tra 5° e 20°*)

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. 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 ipotizzate le unità litostratigrafiche che caratterizzano il lotto di progetto.

È stata verificata inoltre la stabilità dell'area in oggetto. In merito è stato eseguito un rilievo geomorfologico di campo, valutando l'andamento della superficie topografica da subpianeggiante a debolmente acclive, degradante in direzione E-SE con inclinazione media del pendio comunque inferiore a 15°. Alla data dei rilievi, l'area di progetto risulta stabile e non presenta fenomeni di instabilità in atto o potenziali.

Per questa sottoclasse sono consentite tutte le tipologie di opere di progetto proposte; 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 non si segnala la presenza, presso l'area di progetto, di **Normative di vincolo** (*Carta dei Vincoli Esistenti - Tav. 11*) correlate ad elementi idrografici o ad altre problematiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche (**Fig. 25**).

Inoltre, secondo quanto previsto dalla "*Carta del dissesto con legenda uniformata PAI*" (*Tav. 15 - Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. - 2010*) è stata inoltre esclusa la presenza di fenomeni franosi o possibili esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio.

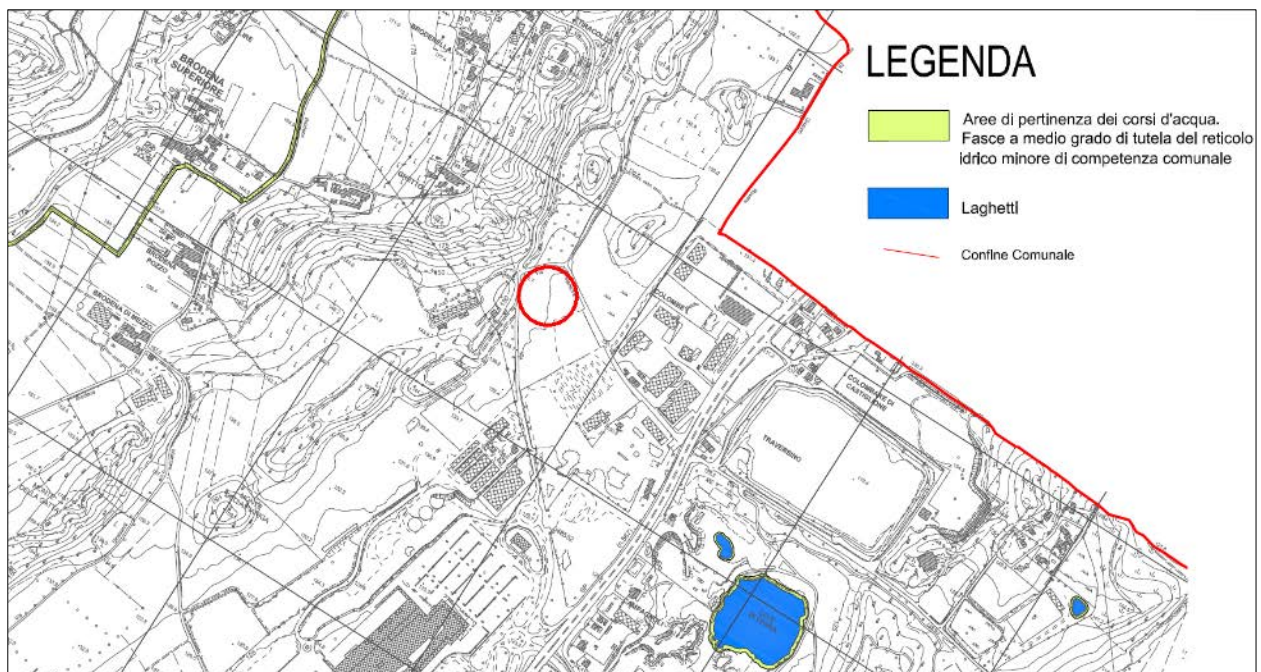


Fig. 25 - Stralcio della "Carta dei Vincoli Esistenti" (Tav. 11), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale vigente, con ubicazione dell'area d'interesse.

B. RELAZIONE GEOTECNICA R2

6. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito (Prove Penetrometriche e Prospezione Sismica MASW) 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/riportato, da limoso sabbioso, scarsamente addensato (terreno vegetale) a ghiaioso sabbioso con ciottoli (terreno di riporto/rimaneggiamento), nel complesso da moderatamente addensato.
- ✓ **Terreno Superficiale S (Strato 1):** Depositi fluvioglaciali superficiali ghiaiosi sabbiosi con ciottoli, nel complesso moderatamente addensati, asciutti.
- ✓ **Unità Geotecnica FG (Strato 2):** Depositi fluvioglaciali prevalentemente ghiaiosi con ciottoli e trovanti, da addensati a molto addensati, asciutti. In accordo con i dati sismostratigrafici, tale unità sembra possedere continuità fino a circa -10/-11 m dal p.c., oltre la quale si segnalano depositi maggiormente addensati afferenti alla medesima sequenza deposizionale.

PARAMETRI GEOTECNICI

Quota di riferimento p.c. generale	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ	Dr %	E _y (kg/cm ²)	Denominazione AGI
STRATO 1	1,75-1,90	28°-30°	30-60	40-90	Da scarsamente addensato a moderatamente addensato
da 0,0 a -0,6/-0,9 m					
STRATO 2	1,85	33°	70	200	Moderatamente addensato
da -0,6/-0,9 m a -3,0/-4,5 m					
STRATO 3	1,90	35°	85	250	Da moderatamente addensato a molto addensato
Oltre -3,0/-4,5 m dal p.c.					

γ_{nat} = Peso unitario del terreno, ϕ = Angolo di resistenza al taglio,
Dr = Densità relativa Skempton, **E** = modulo di deformazione.

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

7. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

Gli interventi proposti dalla *Committenza* riguardano la realizzazione di nuovi fabbricati nell'ambito del Piano di Lottizzazione Commerciale *TIRACOLLO DUE*, in Via Tiracollo, nel Comune di Lonato del Garda (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.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione interessati dal progetto, nel mese di Febbraio 2021 è stata condotta nell'area in esame, un'indagine geognostica consistita nell'esecuzione di n°6 prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH, n°11 scavi esplorativi, n° 3 prove di permeabilità a carico variabile e n°1 prospezione sismica MASW+HVSR.

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:

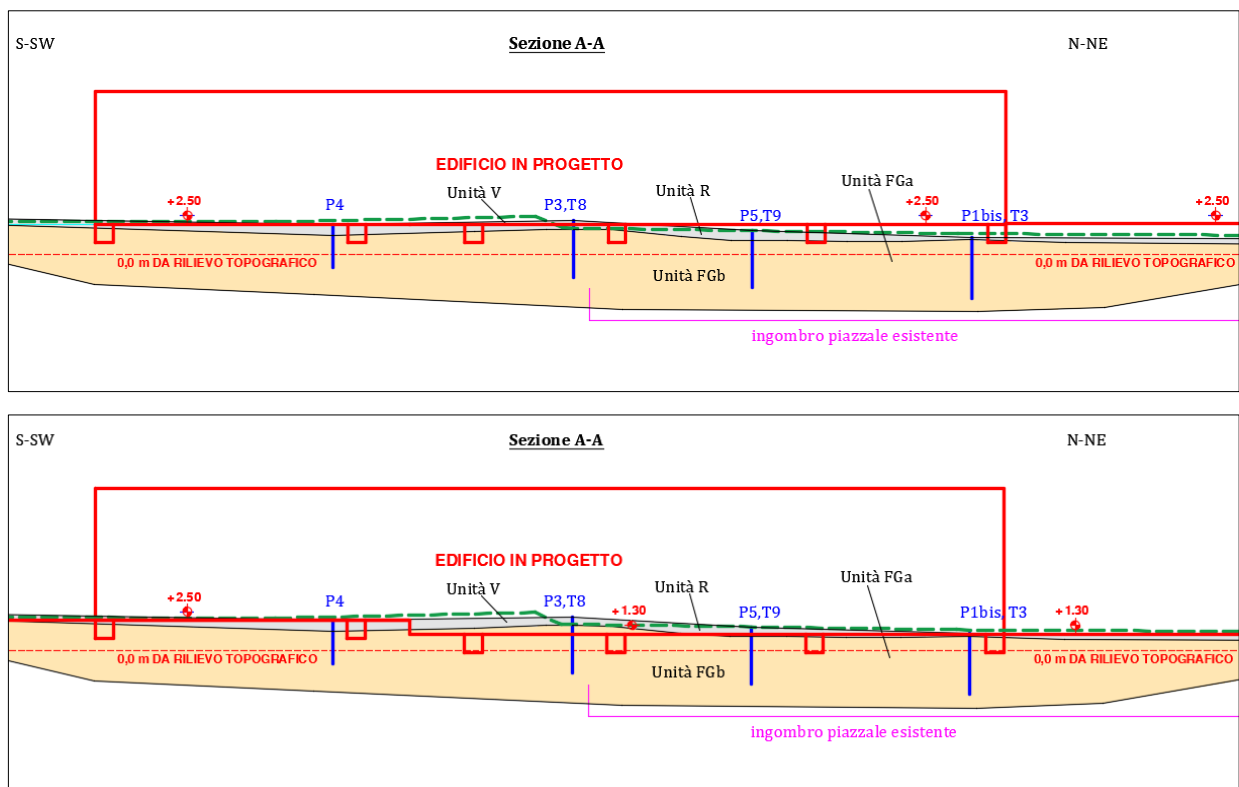


Fig. 26 - Sezioni geologico-geotecniche interpretative (Sez. A-A).

- a.** Dall'analisi delle verticali di prova, è stata constatata inizialmente la presenza, di un primo spessore pari a circa -0,3/-0,6 m caratterizzato da terreno vegetale scarsamente addensato/ di riporto moderatamente addensato (*Unità S - Strato 1*). Oltre -0,3/0,6 m dal p.c. sono stati riscontrati depositi fluvio-glaciali ghiaioso-sabbiosi con ciottoli da moderatamente addensati a molto addensati (*Unità FG - Strato 2*). A tal proposito si specifica che in corrispondenza dell'ingombro del piazzale esistente, è stato rinvenuto

uno spessore di materiale di riporto/rimaneggiato, pari a circa 0,3/0,6 m, nel complesso moderatamente addensato (vedi stratigrafie scavi esplorativi in allegato), a differenza di quanto riscontrato nei settori limitrofi (campi agricoli), interessati inizialmente da un orizzonte di terreno vegetale scarsamente addensato.

- b.** Come si evince dalle tavole e dalle sezioni strutturali fornite dalla *Committenza* (vedi **Fig. 26**), il piano di calpestio progettuale è posto a circa +2,5 m rispetto allo zero progettuale, pertanto ipotizzando una quota di posa delle fondazioni posto ad almeno -1,5 m dal suddetto piano di calpestio (scavo + altezza plinto di fondazione 0,6 m + magrone/strato di misto granulare di sottofondazione), e alla luce della modellazione geologico-geotecnica proposta all'interno del presente elaborato, si prevede dunque un appoggio entro l'*Unità FG (Strato 2)* a buone/ottime caratteristiche geotecniche.
- c.** Nella scelta di questa ipotesi, affidata ai Tecnici progettisti, in fase di preparazione dei piani di appoggio, si dovrà comunque verificare che il fondo non sia caratterizzato da terreni a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti o rimaneggiati dalle operazioni di scavo.
- d.** 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, soprattutto in corrispondenza dell'ingombro del piazzale esistente, 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. In alternativa, si prescrive un approfondimento dello scavo, anche solo in sezione ristretta, mediante operazione di bonifica geotecnica con rimozione dello spessore necessario di terreno a scadenti caratteristiche geotecniche, fino ad intercettare i depositi fluvio-glaciali dell'*Unità FG* ritenuta idonea all'appoggio diretto delle strutture progettuali.
- e.** Si segnala che alla data delle indagini non sono stati rilevati livelli acquiferi fino alla profondità di -7,5 m dal p.c.. Nel presente studio è stata indicata la presenza di una falda acquifera continua a partire da circa -40/-50 m dal p.c. (vedi stratigrafia Pozzi) che non interessa evidentemente le operazioni di scavo per la formazione dei piani di posa di progetto.
- f.** 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.
- g.** 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.

8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI

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

Per la realizzazione del piano di posa della nuova struttura progettuale, si considera, per le tipologie di fondazione proposte, una quota di scavo pari a circa -1,50 m rispetto allo zero progettuale (vedi **Fig. 26**) compreso l'altezza fondazione (0,60 m), magrone/strato di sottofondazione, intercettando quindi l'Unità FG - Strato 2 a buone caratteristiche geotecniche e ritenuta pertanto idonea all'appoggio delle nuove strutture, se rispettate le prescrizioni riportate nel Cap. 7.

In fase di preparazione del piano di appoggio delle fondazioni sarà opportuno verificare che il fondo sia omogeneamente caratterizzato dai depositi delle unità geotecniche previste ed in assenza di materiali di riporto.

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

Tenuto conto del significato puntuale delle indagini e della variabilità laterale che i terreni superficiali potrebbero presentare, si richiedono attente verifiche in fase di scavo e realizzazione delle opere di progetto.

Nei calcoli degli stati limite si è tenuto conto di piani di posa che intercettino l'Unità FG con spessori delle fondazioni e specifiche geometrie ipotizzate come di seguito riportato:

<i>Plinto di fondazione</i>		Parametri geotecnici	
dimensioni (m)	altezza Df (m)	γ_{nat} (t/m ³)	ϕ
1,00x1,00	0,60	1,85	33°
2,00x2,00		1,90	35°
3,00x3,00			
		<i>Strato 2</i>	
		<i>Strato 3</i>	

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

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

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

in cui:

Nc, Nq, Ny = fattori di capacità portante funzione di ϕ

sc, sq, sy = fattori di forma della fondazione

dc, dq, dy = fattori correttivi per l'approfondimento

ic, iq, iy = fattori correttivi per carichi inclinati

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

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

D = altezza della fondazione o del terreno di confinamento

B = lato minore della fondazione

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

<i>Plinto di fondazione</i>	
dimensioni (m)	$Q_{lim M1}$ (kg/cm ²)
1,00x1,00	13,27
2,00x2,00	13,59
3,00x3,00	16,51

Per le verifiche agli stati limite ultimi (**SLU**) è stato utilizzato l'**APPROCCIO 2** con coefficienti parziali riferiti ad Azioni, Parametri Geotecnici e Resistenze con combinazione: A1+M1+R3. Sono state quindi valutate le **Resistenze Rd** applicando, ai valori stimati per i carichi limite, ulteriori coefficienti parziali di sicurezza (γ_R), in funzione della "combinazione" di calcolo utilizzata ($\gamma_R=2,3$). Si riassumono i valori ottenuti per la suddetta combinazione:

<i>Plinto di fondazione</i>	
dimensioni (m)	$R_d (A1+M1+R3)$ (kg/cm ²)
1,00x1,00	5,77
2,00x2,00	5,91
3,00x3,00	7,18

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

<i>Plinto di fondazione</i>	
dimensioni (m)	R_d (kg/cm ²)
1,00x1,00	3,07
2,00x2,00	3,20
3,00x3,00	3,95

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

Il calcolo agli Stati Limite d'Esercizio è stato eseguito considerando i cedimenti di consolidazione immediati, utilizzando i valori di pressione di progetto di esercizio (**PsLE**) ipotizzati la fondazione progettuale. Per le strutture di fondazione considerate e per la tipologia di terreni di fondazione esistenti, il calcolo dei cedimenti (**S**) è stato condotto

utilizzando il metodo di **Schmertmann (1970)**, per terreni nel complesso prevalentemente granulari, utilizzando le seguenti relazioni:

$$S_{TOT} = C1 \times C2 \times Q \times DH \times \text{sommatoria}(Iz/E)$$

in cui:

Q = carico applicato alla fondazione

C1 = fattore correttivo approfondimento fondazione

C2 = fattore correttivo cedimento secondario

DH = spessore di ciascuno strato

E = modulo di deformazione dello strato

Iz = fattore di influenza del carico applicato alla fondazione

<i>Plinto di fondazione</i>					
dimensioni (m)	P_{SLE} (kg/cm ²)	S_{IMM} (mm)	S_{SEC} (mm)	S_{TOT} (mm)	k_w (kg/cm ³)
1,00x1,00	1,20	2,1	1,0	3,1	3,9
	1,40	2,6	1,3	3,9	3,6
	1,60	3,1	1,5	4,6	3,5
	1,80	3,6	1,8	5,4	3,3
2,00x2,00	1,20	3,9	1,9	5,8	2,1
	1,40	4,9	2,4	7,3	1,9
	1,60	5,9	2,9	8,8	1,8
	1,80	6,8	3,4	10,2	1,8
3,00x3,00	1,20	5,6	2,8	8,4	1,4
	1,40	7,0	3,5	10,5	1,3
	1,60	8,4	4,1	12,5	1,3
	1,80	9,7	4,8	14,5	1,2

in cui:

P_{SLE} = pressione di esercizio sulla fondazione

S_{IMM} = cedimento immediato

S_{SEC} = cedimento secondario

S_{TOT} = cedimento totale

k_w = coefficiente di sottofondo di Winkler

Si rimanda a specifiche considerazioni dei *Tecnici Strutturisti* incaricati, per la valutazione della compatibilità del cedimento globale (e non differenziale) stimato, rispetto alla sovrastruttura di progetto. In nessun caso i valori stimati (sia per le resistenze che per i cedimenti) potranno essere utilizzati per fondazioni poggianti su coltri vegetali o su livelli o lenti di materiali a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti o in presenza di terreno rimaneggiato dalle operazioni di scavo e/o di fenomeni di ristagno d'acqua al piano di posa.

9. CONCLUSIONI

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

- ✓ Sulla base del **modello geologico-geotecnico** definito, sono state 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 e/o modificare il valore morfologico-paesaggistico del territorio. Nell'area in esame non si segnalano inoltre **Normative di vincolo** correlate ad elementi idrografici o ad altre problematiche geologiche, idrogeologiche, idrauliche e geomorfologiche.
- ✓ 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 Lonato d/G entro lo scenario di **pericolosità sismica Z4a** "Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi". Per lo scenario di pericolosità Z4a è stata eseguita un'analisi sito-specifica di II Livello (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 sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, che per edifici con periodo compreso tra 0,1 s e 0,5 si ottengono valori di Fa di sito compatibili con i valori di Fa di soglia previsti per la **categoria di sottosuolo "B" (FAC<FAS)**.
- ✓ È stato determinato il potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione considerando le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018, ritenendo in conclusione il **sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione**.
- ✓ Sono stati infine valutati diversi valori di **resistenze limite (Rd)**, ed è stata ipotizzata l'entità dei **cedimenti (S)** riferiti ad alcuni carichi di esercizio (P_{SLE}), considerando strutture di fondazione di tipo plinto, per il progetto di realizzazione dei nuovi fabbricati. Si rimanda al Progettista ogni valutazione inerente i calcoli relativi alle strutture di fondazione.

Considerando infine un certo grado di imprevedibilità intrinseco delle formazioni geologiche, si rimanda al progettista l'onere di verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto (mediante indagine per punti) e quanto effettivamente verrà riscontrato 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 realizzazione dei nuovi fabbricati, 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.

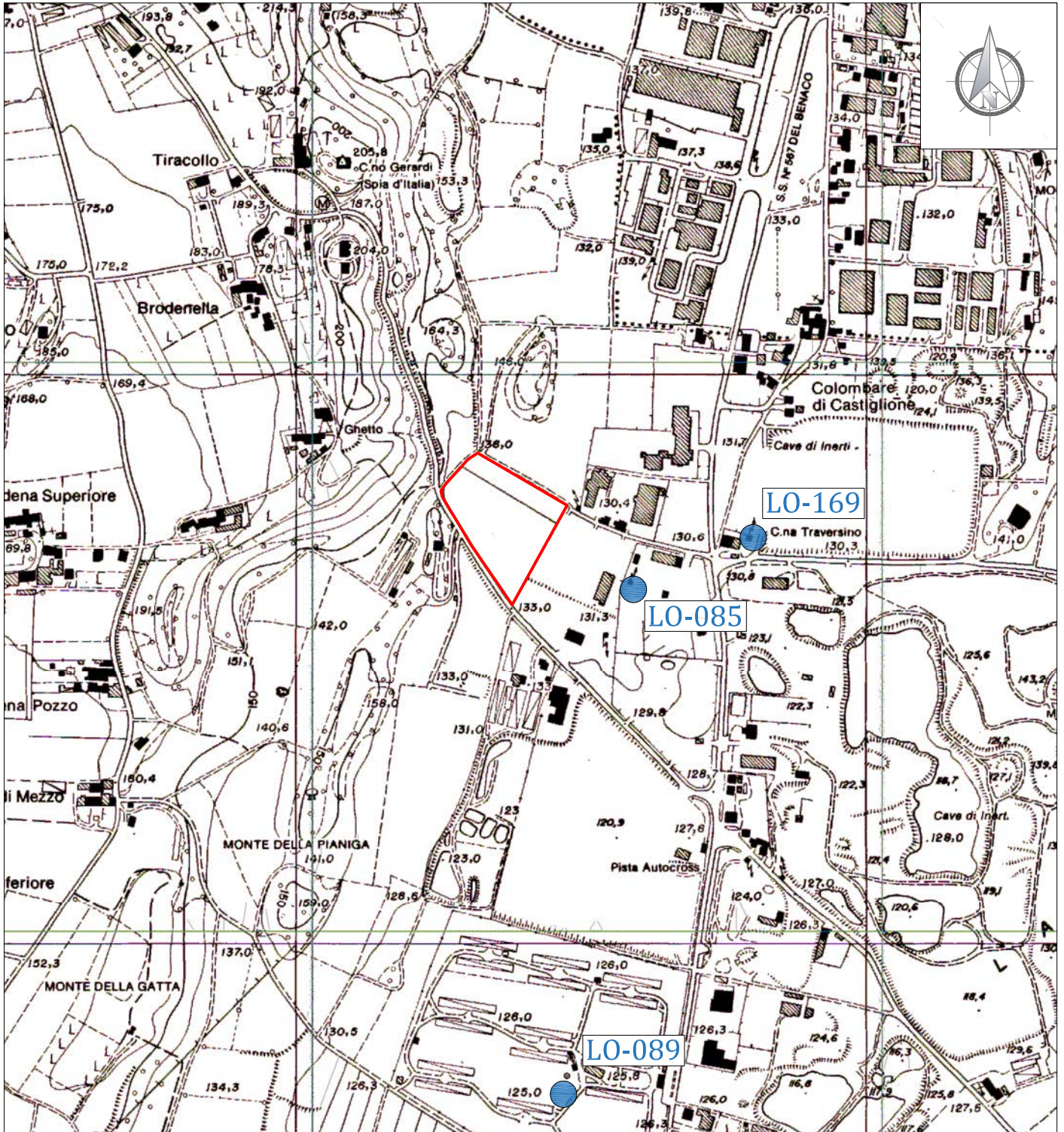
Desenzano del Garda, 02 Marzo 2020

Dott. Geol. Niccolò Crestana

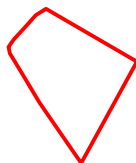


COROGRAFIA CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INDAGINE
E DEI POZZI CON STRATIGRAFIA
SCALA 1:10.000

Tav. 1



LEGENDA



Area in esame

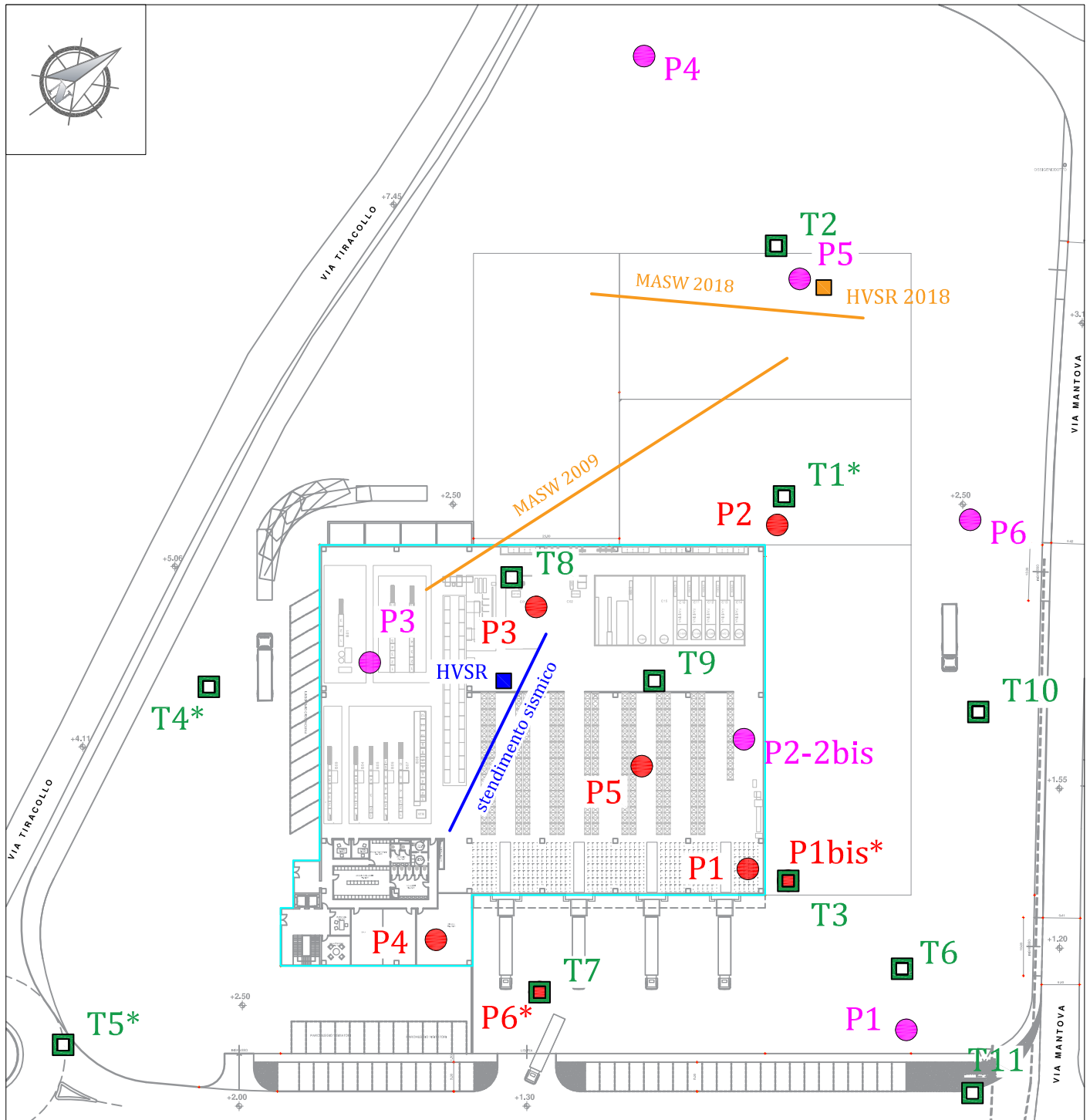
LO-085



Pozzo con stratigrafia in allegato

PLANIMETRIA DI PROGETTO CON UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE
 SCALA 1:1.000

Tav. 2



LEGENDA

- | | | | |
|-------------|--|----------------------------|---|
| P1 ● | Prova penetrometrica dinamica standard (SCPT-DPSH)
(*) esecuzione della prova all'interno dello scavo esplorativo ritombato | □ | Ingombro edificio di progetto |
| P1 ● | Prova penetrometrica dinamica standard (SCPT-DPSH) pregressa
(Dott. Geol. G. Donaera - 2018) | HVSRS ■ | Misura del microtremore sismico ambientale mediante tecnica HVSRS |
| T4 □ | Scavo esplorativo
(* con esecuzione prova di permeabilità a carico variabile) | <i>stendimento sismico</i> | Prospezione sismica MASW |
| | | HVSRS ■ | Indagini sismiche pregresse |
| | | <i>MASW 2018</i> | |



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: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

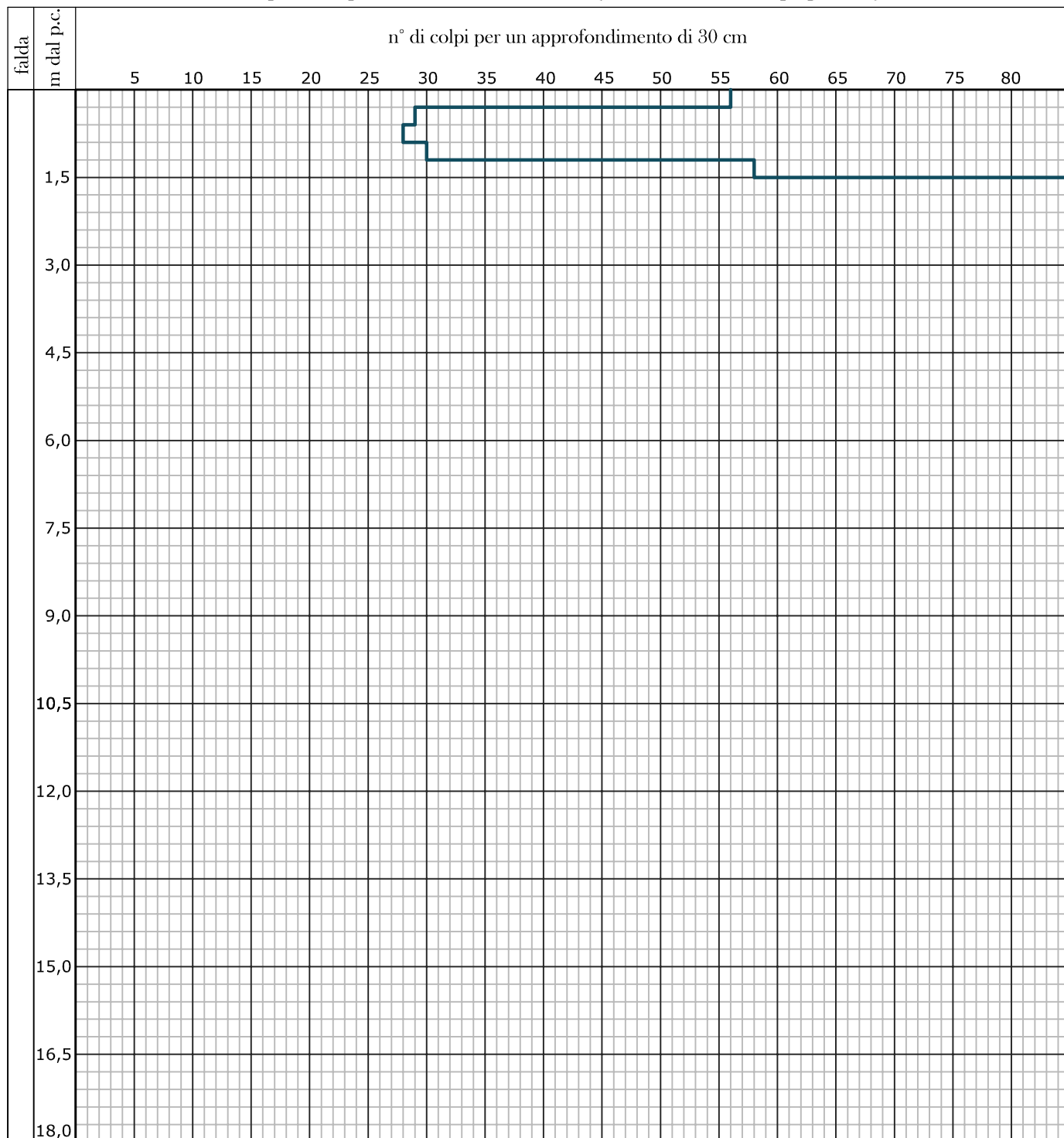


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova a partire da circa +1,53 m (desunto rilievo topografico).



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: **P1bis**

LOCALITÀ: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

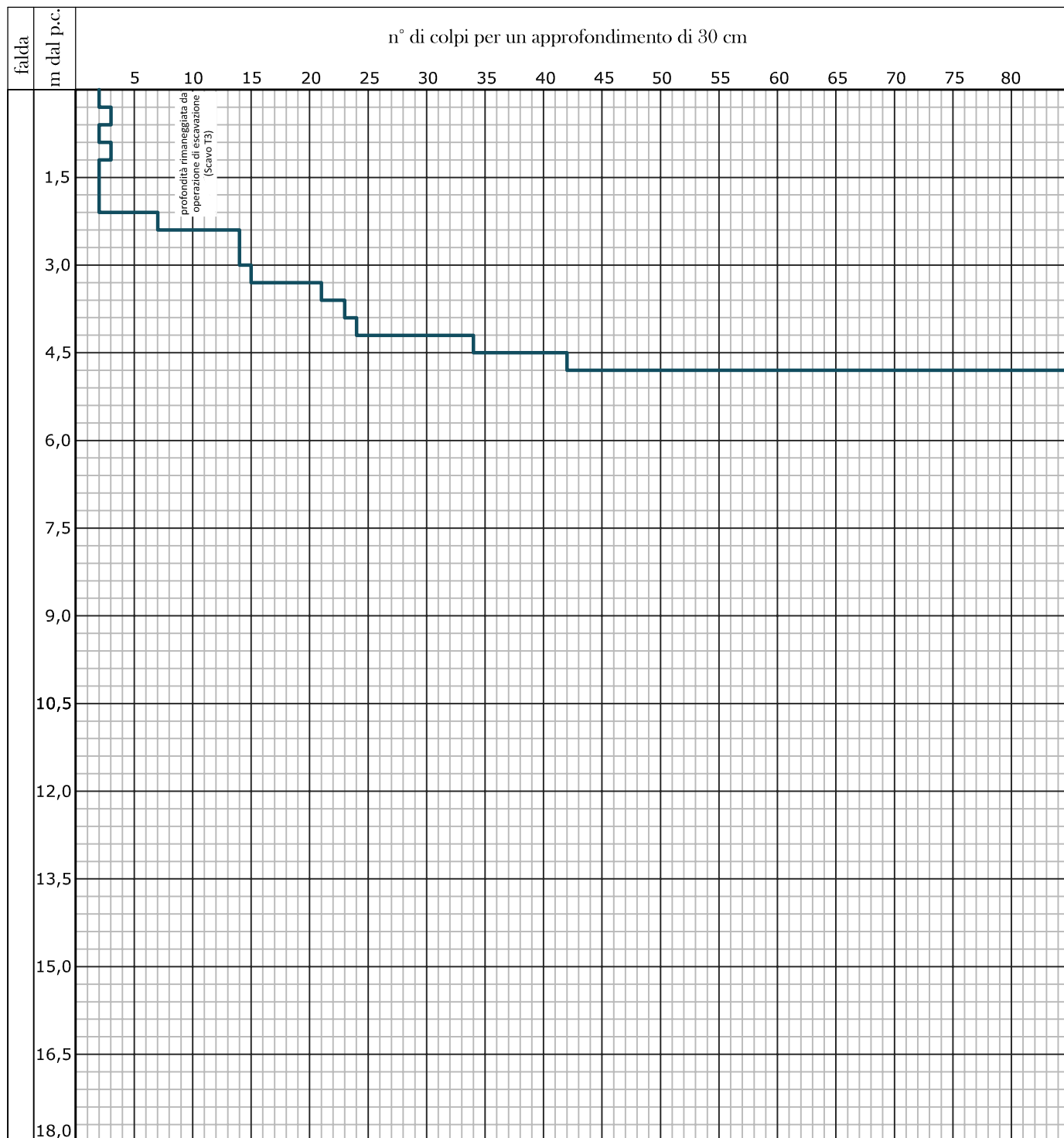


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova all'interno dello scavo T3 dopo ritombamento, a partire da circa +1,40 m (desunto da rilievo topografico).



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: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

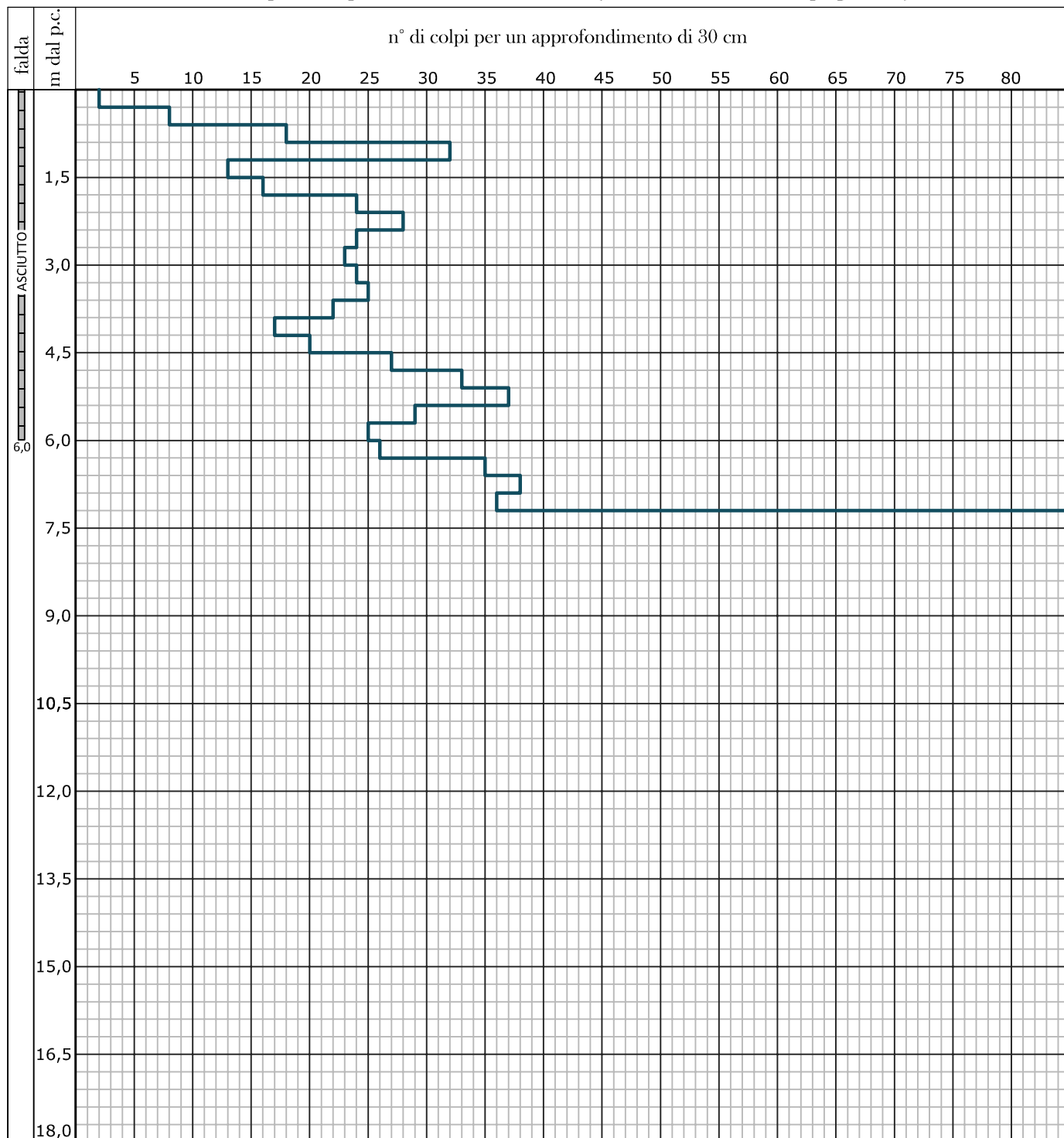


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova a partire da circa +2,49 m (desunto da rilievo topografico).



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: **P3**

LOCALITÀ: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

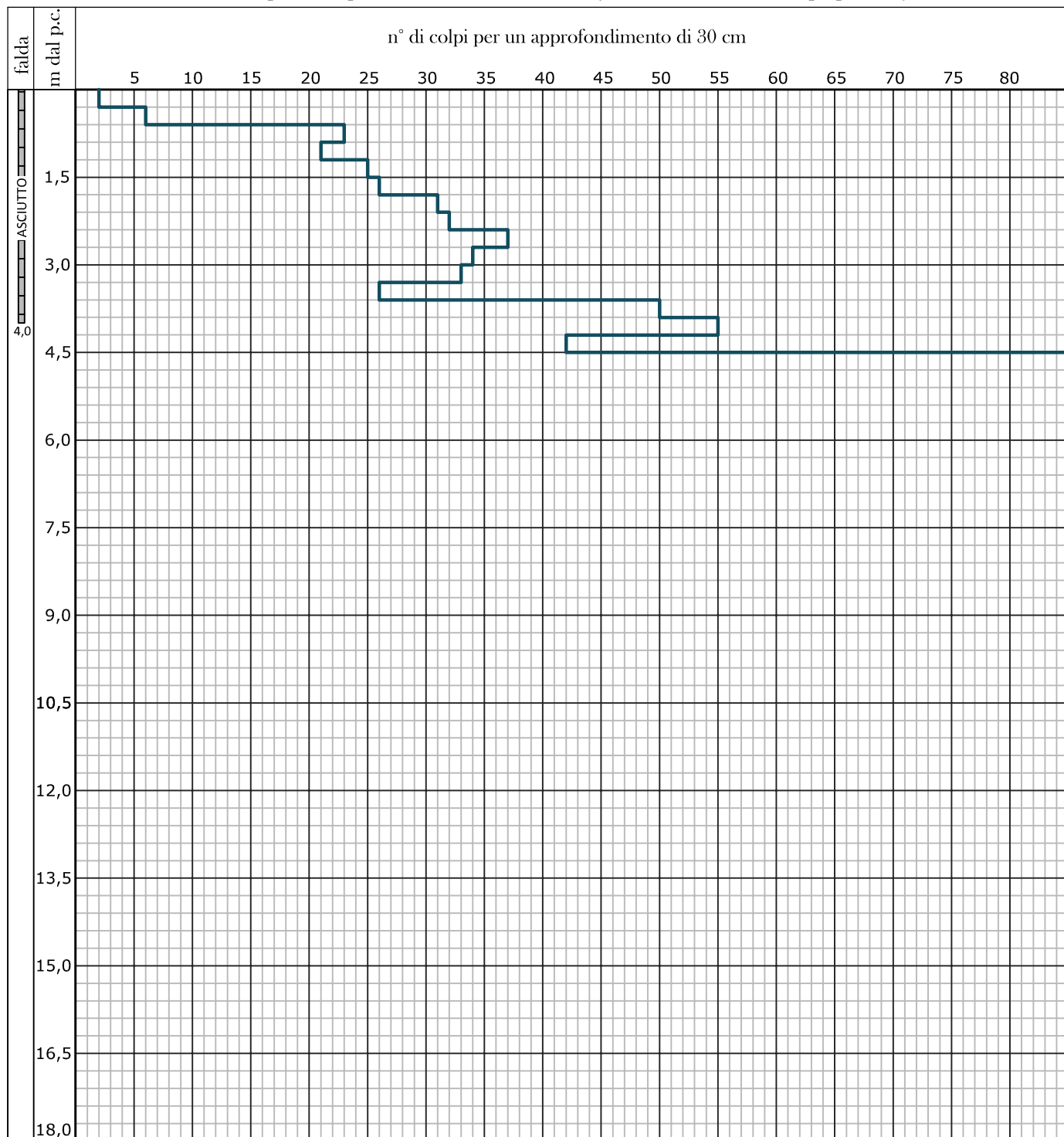


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova a partire da circa +2,82 m (desunto da rilievo topografico).



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: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

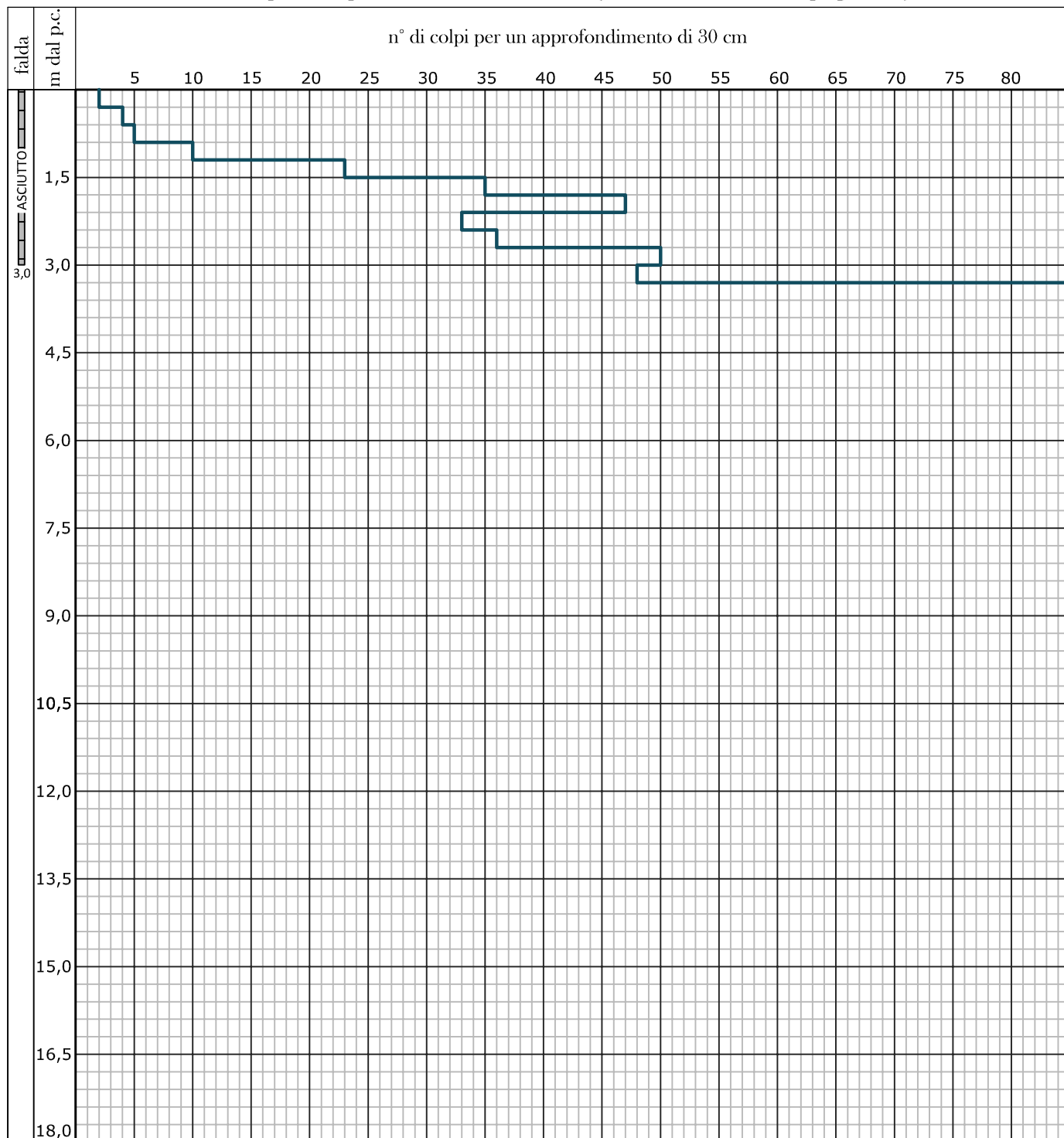


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova a partire da circa +2,50 m (desunto da rilievo topografico).



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: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

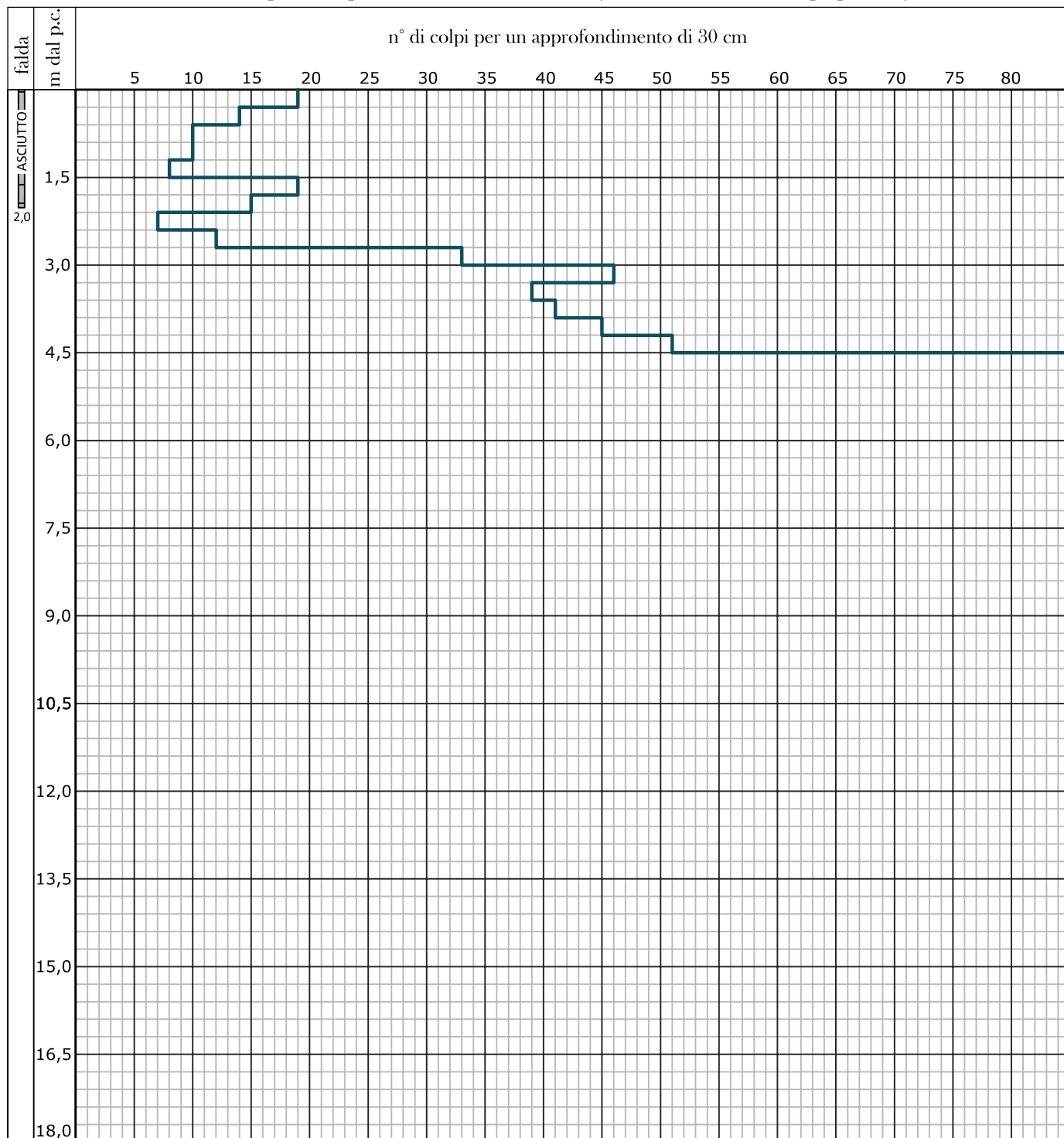


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova a partire da circa +1,98 m (desunto da rilievo topografico).



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: **P6**

LOCALITÀ: Via Tiracollo - Lonato d/G (BS)

Data di esecuzione: 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

Scala diagramma: **1:100**

Avanzamento punta: 

Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

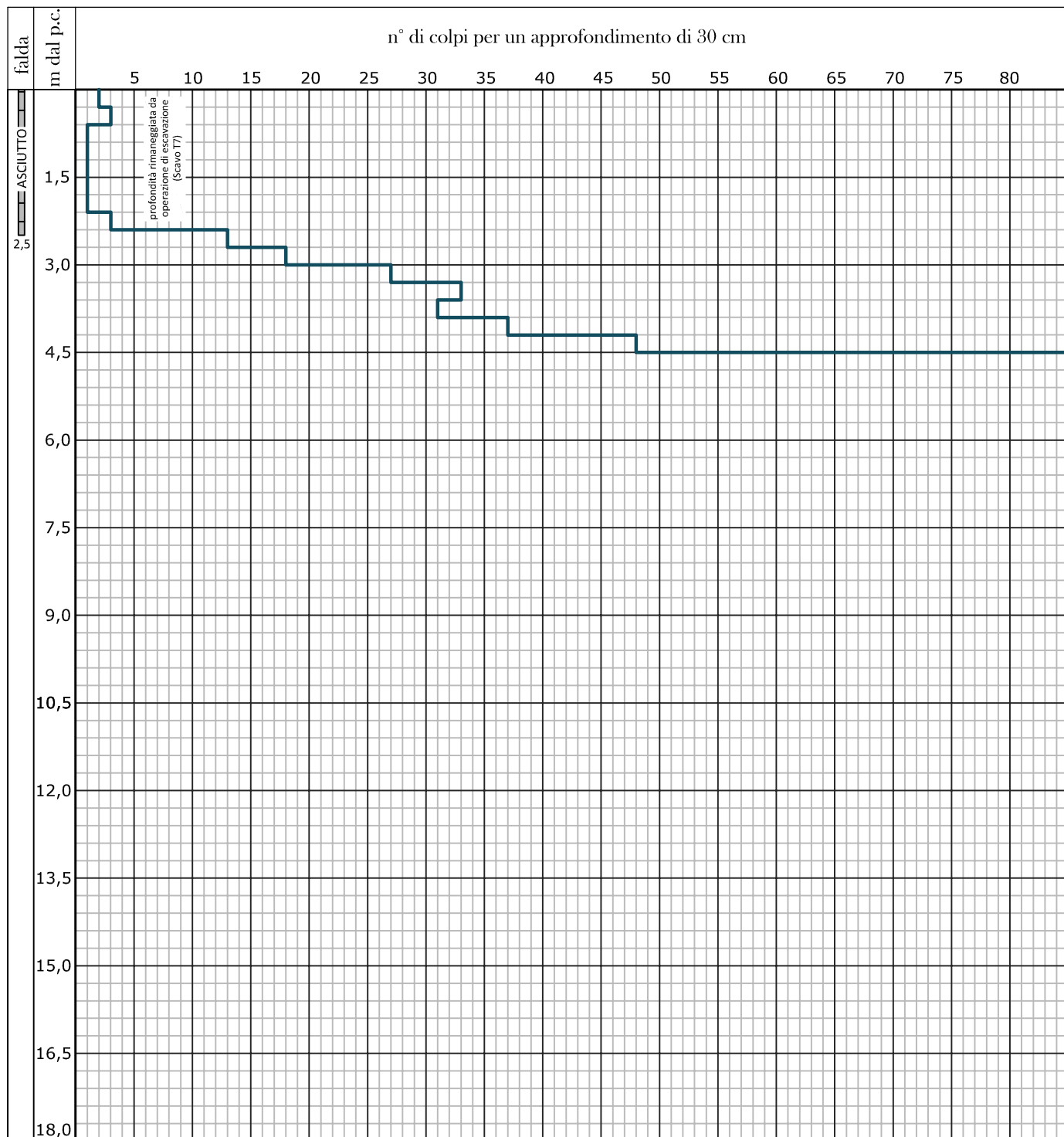


tratto cieco



tratto fessurato

Note: aste asciutte; inizio prova all'interno dello scavo T7 dopo ritombamento, a partire da circa +1,50 m (desunto da rilievo topografico).



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

web: www.crestanasrls.com

P.IVA e C.F. 03632850982

Località: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T1

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,90		0,00 T1-C1 1,00	TERRENO VEGETALE Limo e sabbia con ciottoli, asciutto, di colore marrone scuro.			
2,00			DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia e sabbia debolmente limosa, con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
			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%.			$K = 2,79 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$



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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

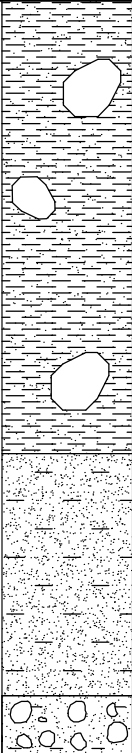
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T2

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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 T2-C1 1,00 1,50 2,30 2,50	<p>TERRENO VEGETALE</p> <p>Limo sabbioso con ciottoli, asciutto, di colore marrone scuro.</p> <p>DEPOSITI FLUVIOGLACIALI</p> <p>Sabbia limosa, asciutta, di colore marrone chiaro/beige.</p> <p>Ghiaia e sabbia debolmente limosa, con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.</p>			
			<p>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%.</p>			



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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

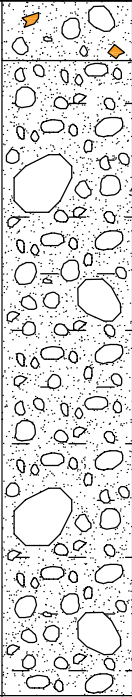
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T3

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,20		0,00 T3-C1 1,00	<p>TERRENO DI RIPORTO</p> <p>Ghiaia e sabbia con ciottoli e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.</p> <p>DEPOSITI FLUVIOGLACIALI</p> <p>Ghiaia e sabbia debolmente limosa, con ciottoli sub-arrotondati e trovanti, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.</p>			
2,30			<p>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%.</p>			



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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T4

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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			TERRENO VEGETALE Limo e sabbia con ciottoli, asciutto, di colore marrone scuro.			
0,40		T4-C1	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Sabbia limosa, asciutta, di colore marrone chiaro.			
1,30			Sabbia e ghiaia fine debolmente limosa, con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
1,80					1,80	$K = 3,92 \cdot 10^{-4}$ 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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

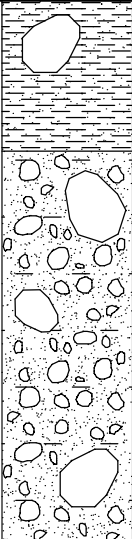
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T5

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,50		0,00 T5-C1 1,00	TERRENO VEGETALE Limo sabbioso con ciottoli, asciutto, di colore marrone scuro. DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia e sabbia debolmente limosa, con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.		1,80	$K = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
1,80			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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

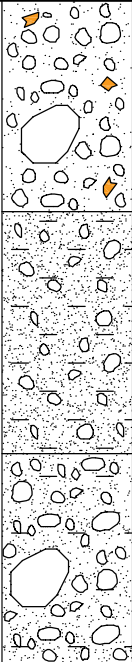
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T6

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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 T6-C1	TERRENO DI RIPORTO Ghiaia sabbiosa con ciottoli e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
		1,00	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Sabbia limosa debolmente ghiaiosa, asciutta, di colore da marrone chiaro a grigio.			
		1,50	Ghiaia e sabbia debolmente limosa con ciottoli, asciutta, di colore marrone chiaro.			
2,20			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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

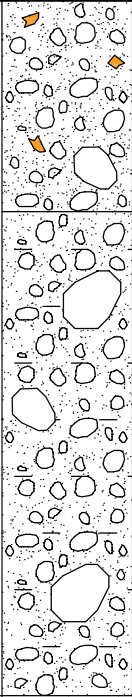
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T7

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,70		0,00 T7-C1	TERRENO DI RIPORTO Ghiaia e sabbia con ciottoli e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
2,30		1,00	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia con sabbia debolmente limosa con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore marrone.			
			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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

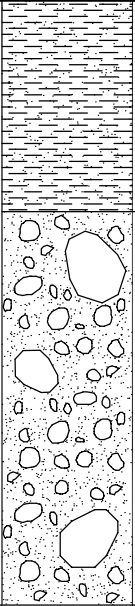
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T8

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,70		0,00 T8-C1 1,00	TERRENO VEGETALE Limo sabbioso, asciutto, di colore marrone. DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia e sabbia con ciottoli, asciutta, di colore da grigio 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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA **15/02/2021**

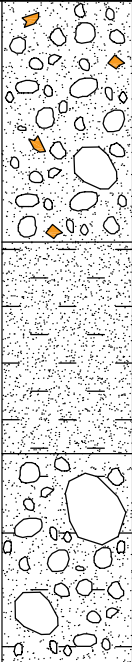
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO **T9**

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO **p.c.**

Escavatore: Terna 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 T9-C1 1,00	TERRENO DI RIPORTO Ghiaia e sabbia con ciottoli, trovanti e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
0,80			DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Sabbia limosa, asciutta, di colore beige.			
1,50			Ghiaia e sabbia debolmente limosa con ciottoli, asciutta, di colore grigio.			
2,20			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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA **15/02/2021**

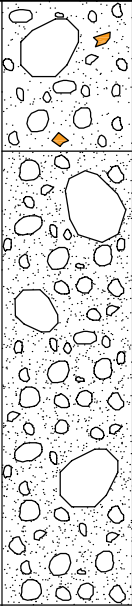
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO **T10**

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO **p.c.**

Escavatore: Terna 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
0,50		0,00 T10-C1	TERRENO DI RIPORTO Ghiaia sabbiosa con ciottoli e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
2,00		1,00	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia e sabbia con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore marrone.			
			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: Via Tiracollo - Lonato del Garda (BS)

DATA 15/02/2021

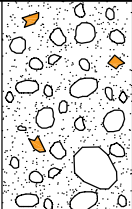
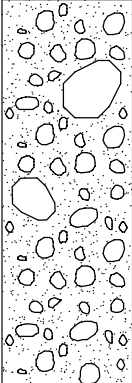
Committente: Oxyturbo S.p.a.

SCAVO T11

Tecnico: Dott. Geol. N. Crestana

QUOTA INIZIO p.c.

Escavatore: Terna 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
0,70		0,00 T11-C1	TERRENO DI RIPORTO Ghiaia e sabbia con ciottoli e frammenti laterizi, asciutta, di colore da grigio a marrone chiaro.			
2,00		1,00	DEPOSITI FLUVIOGLACIALI Ghiaia con sabbia con ciottoli sub-arrotondati, asciutta, di colore marrone.			
			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 MASW



Acquisizione del microtremore sismico mediante tecnica HVSR



Shot sismico verticale per la generazione delle onde di Rayleigh (Offset 8 m)



Esecuzione Prova Penetrometrica P1



Esecuzione Prova Penetrometrica P1bis



Esecuzione Prova Penetrometrica P2



Esecuzione Prova Penetrometrica P3



Esecuzione Prova Penetrometrica P4



Esecuzione Prova Penetrometrica P5



Esecuzione Prova Penetrometrica P6



Postazione scavo esplorativo – T1



Scavo esplorativo – T1



Postazione scavo esplorativo – T2



Scavo esplorativo – T2



Postazione scavo esplorativo – T3



Scavo esplorativo – T3



Postazione scavo esplorativo – T4



Scavo esplorativo – T4



Postazione scavo esplorativo – T5



Scavo esplorativo – T5



Postazione scavo esplorativo – T6



Scavo esplorativo – T6



Postazione scavo esplorativo – T7



Scavo esplorativo – T7



Postazione scavo esplorativo – T8



Scavo esplorativo – T8



Postazione scavo esplorativo – T9



Scavo esplorativo – T9



Postazione scavo esplorativo – T10



Scavo esplorativo – T10



Postazione scavo esplorativo – T11



Scavo esplorativo – T11

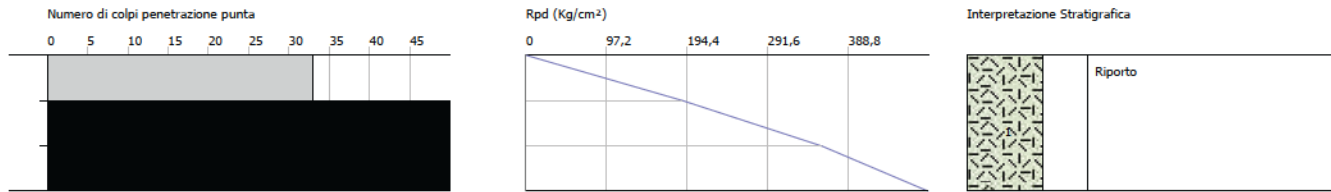
***Prove estrapolate da un precedente studio geologico
redatto per il medesimo lotto d'interesse
(Dott. Geol. Giuliano Donaera - Luglio 2018)***

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 2
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOI COSTRUZIONI S.A.S.
Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50

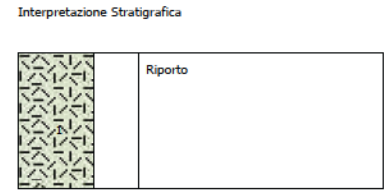
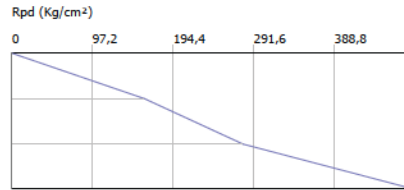
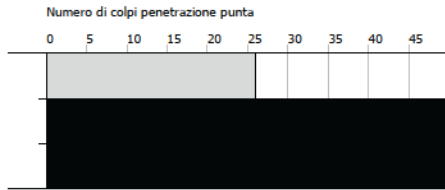


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 2 BIS
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOI COSTRUZIONI S.A.S.
Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50

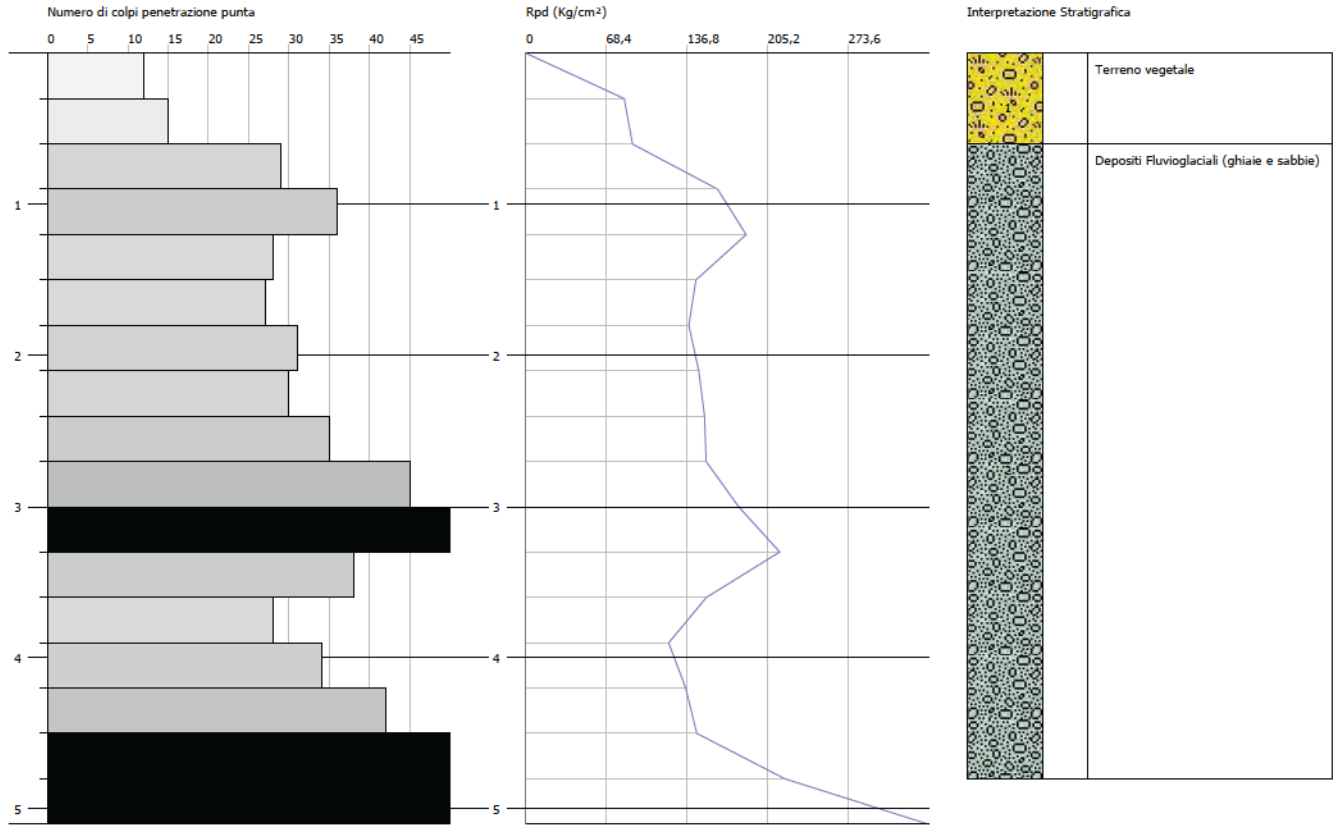


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 3
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOLI COSTRUZIONI S.A.S.
 Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
 Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50

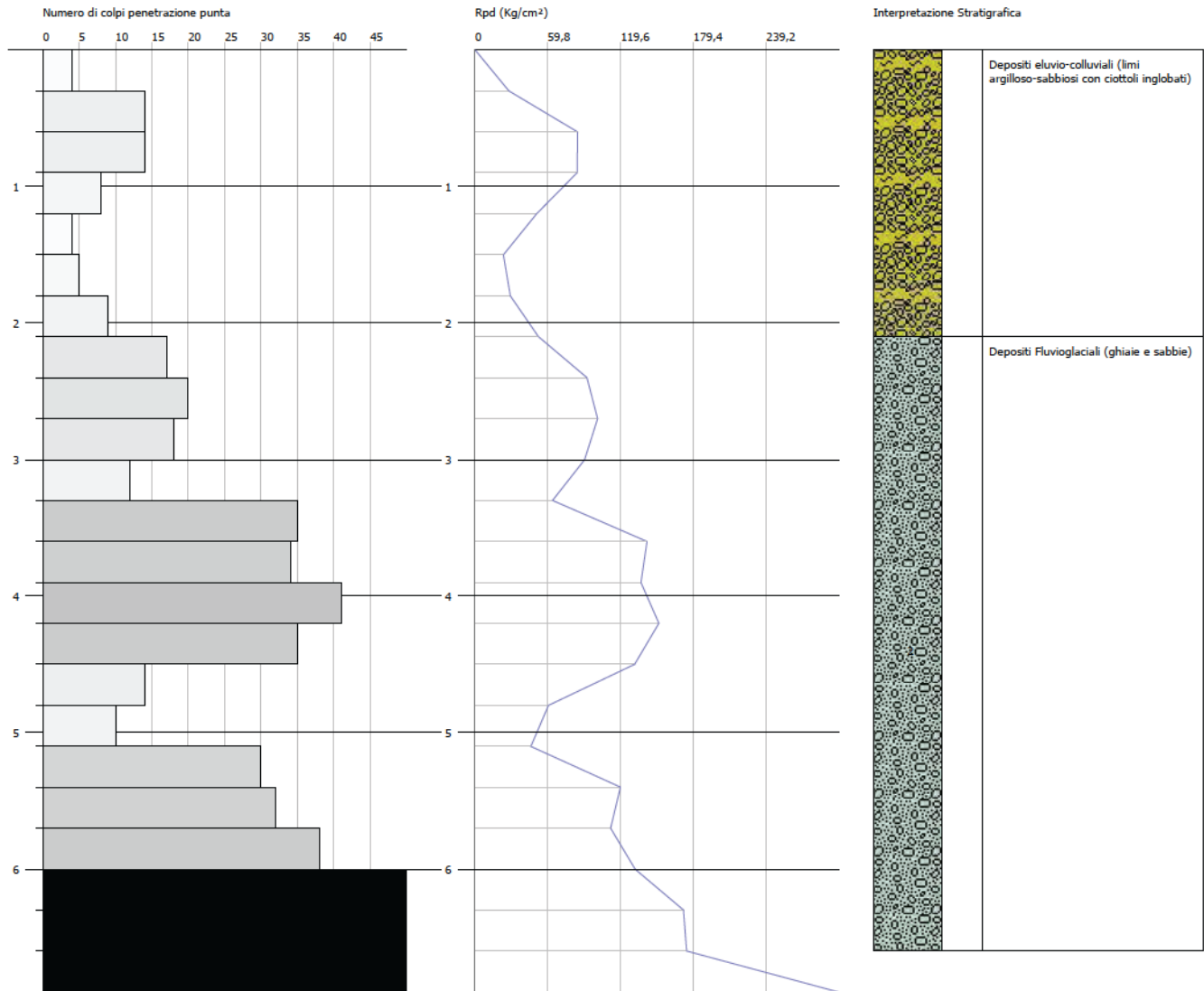


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 4
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOLI COSTRUZIONI S.A.S.
 Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
 Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50

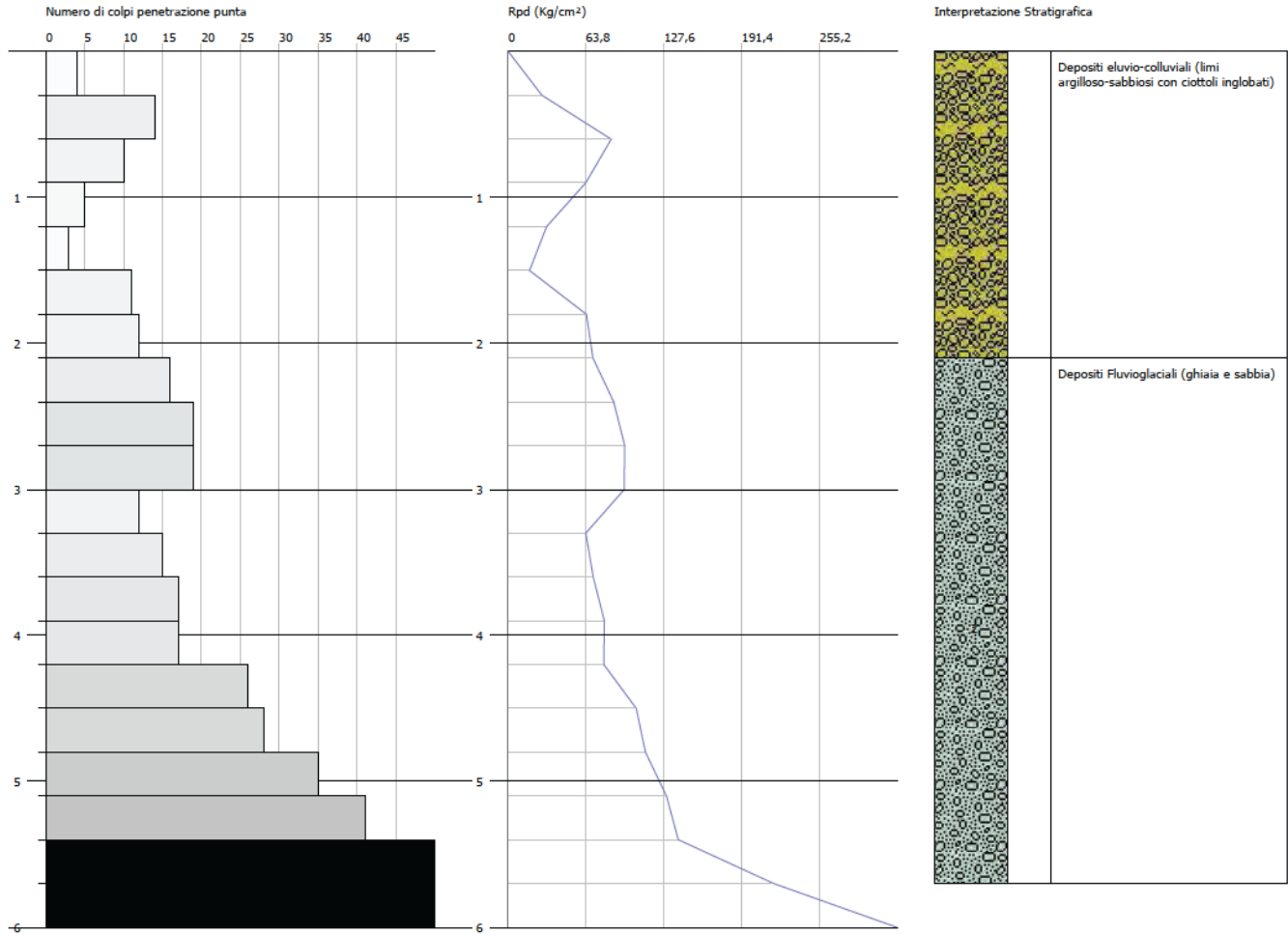


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 5
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOLI COSTRUZIONI S.A.S.
 Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
 Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50

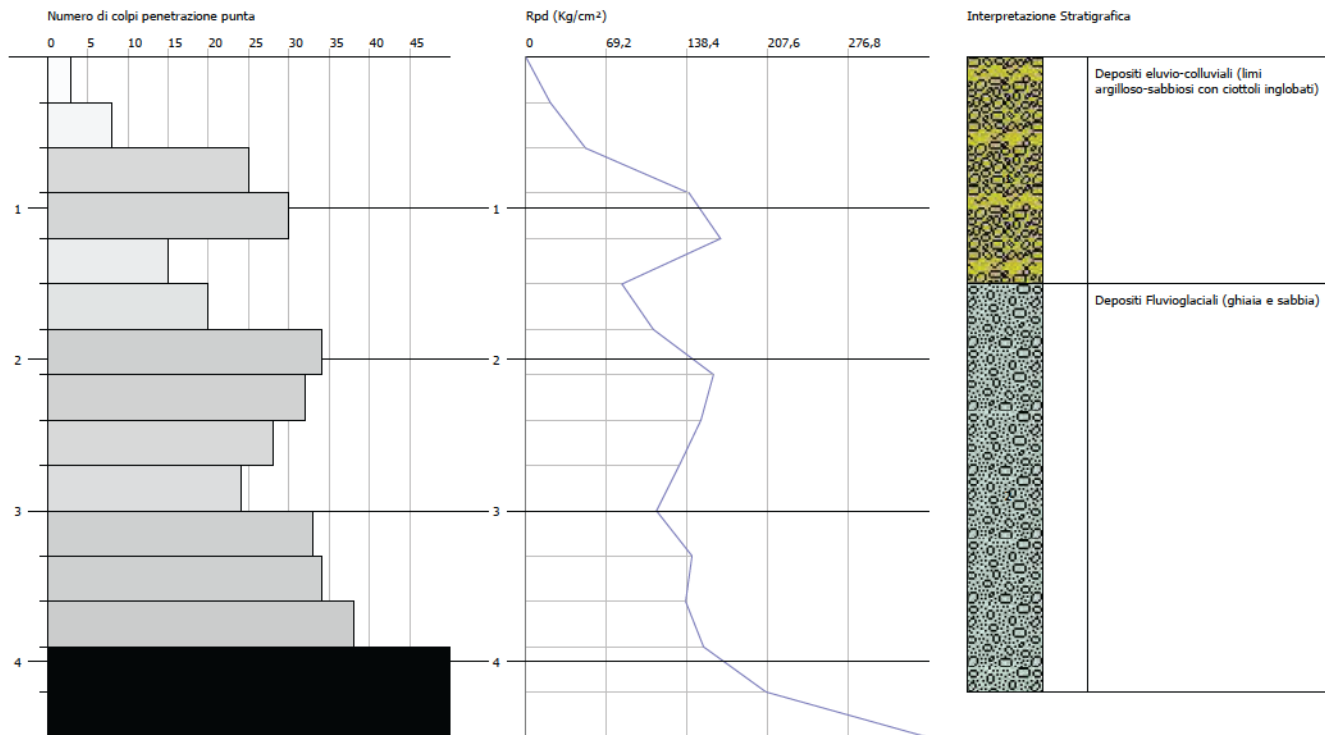


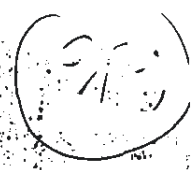
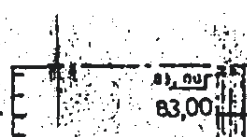
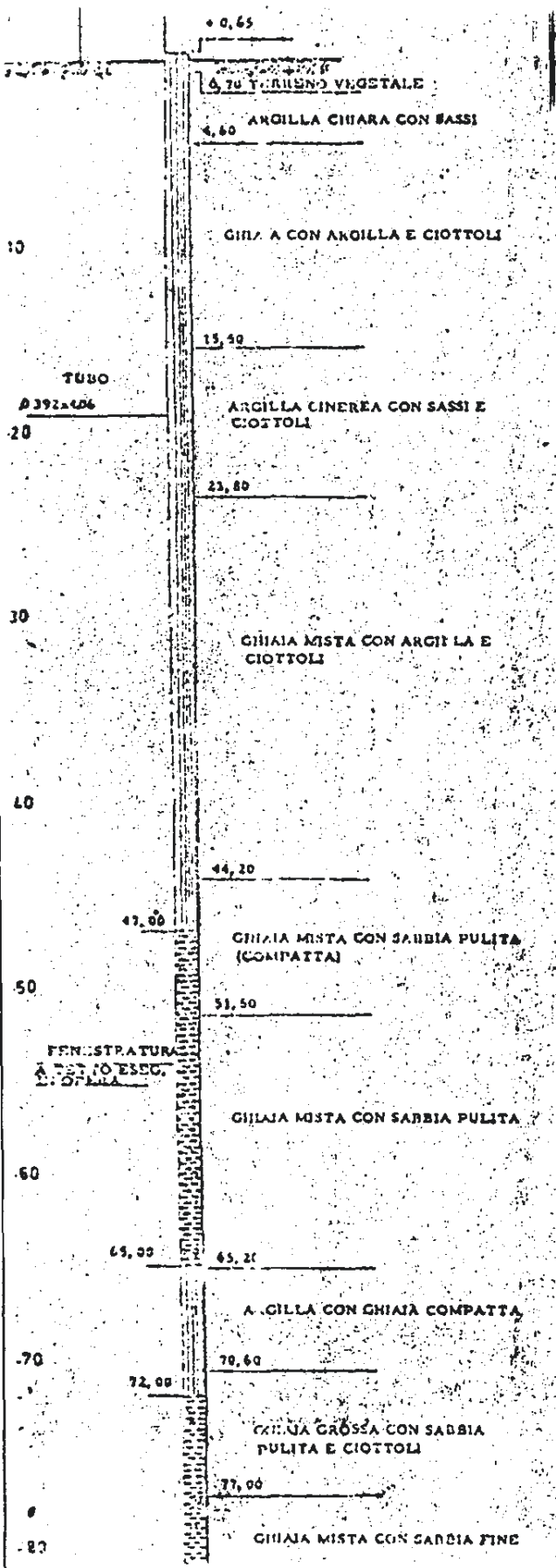
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA SCPT 6
Strumento utilizzato... SCPT TG 63-200 PAGANI

Committente: SEAL S.R.L. - IMMOBILIARE MOROSINI S.R.L. - GILIOLI COSTRUZIONI S.A.S.
Descrizione: PIANO DI LOTTIZZAZIONE ARTIGIANALE/COMMERCIALE
Località: VIA TIRACOLLO, LONATO DEL GARDA (BS)

Data: 18/07/2018

Scala 1:50





Handwritten signature

Stratigrafia

	Pozzo eseguito per IMPRESA BINACCHI S in loc. Campagnoli di Lonato
	POZZO N° _____ ultimato il 1974

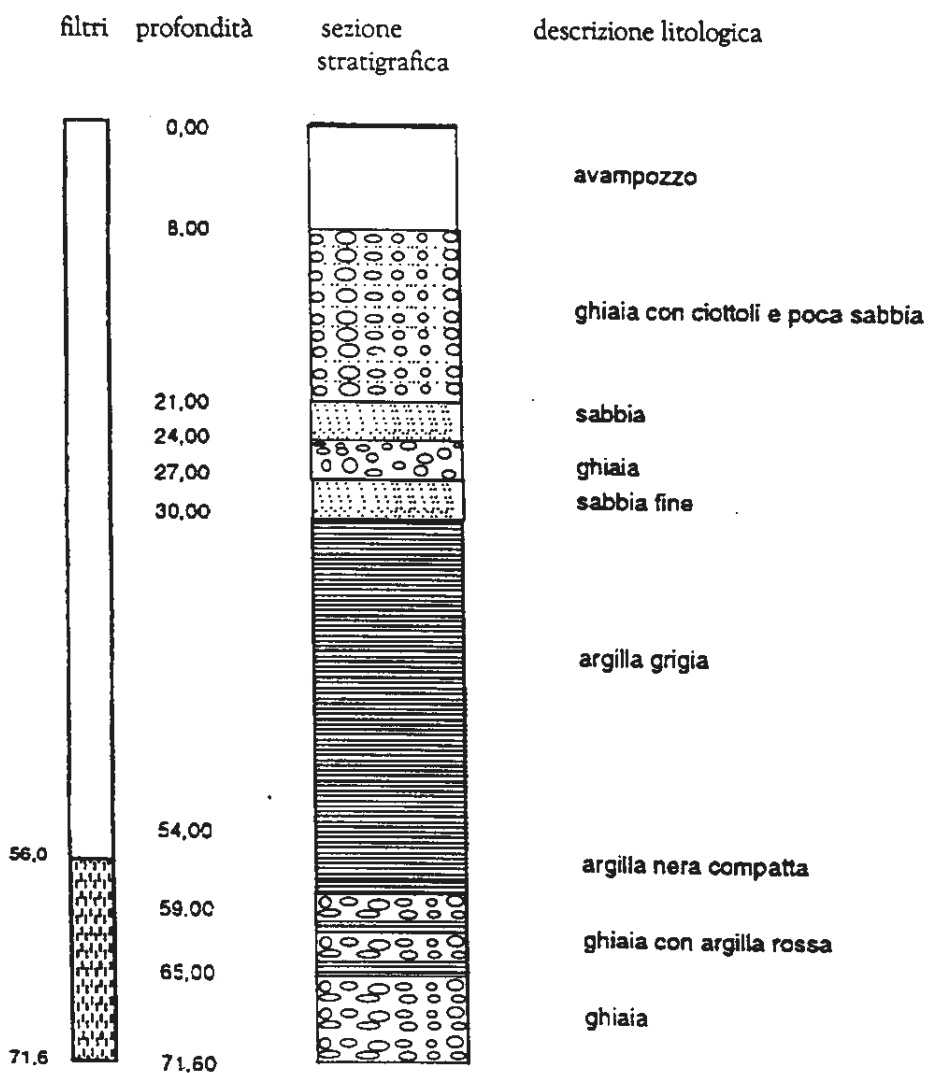
OTT. GEOL. GIORGIO CRESTANA

Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale
 Via Rambotti, 6 - 25015 Desenzano del Garda (BS) Tel. 030/9991430

Data: 1963

Proprietario: Ex Cip Zoo

Comune: Desenzano



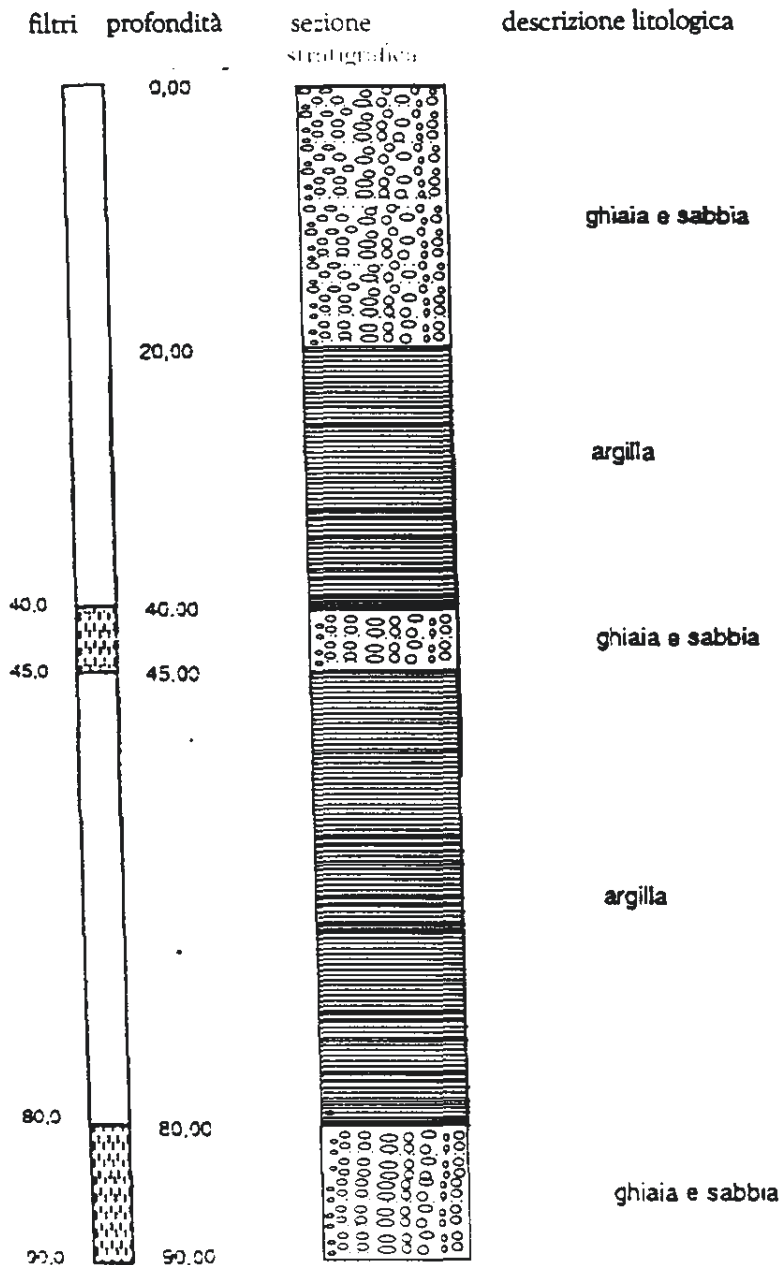
Livello statico collaudo: 21 m da p.c.
 Livello dinamico collaudo: 23 m da p.c.

Scala 1:500

DOTT. GEOL. GIORGIO CRESTANA
Studio di Geologia Tecnica ed Ambientale
Via Rambotti, 6 - 25015 Desenzano del Garda (BS) Tel. 030/9991430

Località: C.na Traversino

Comune: Lonato



Scala 1:500