



Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 – 349 2936733
P.IVA/C.F. 03632850982
mail: info@crestanasrls.com
www.crestanasrls.com

COMUNE DI LONATO DEL GARDA

PROVINCIA DI BRESCIA
Regione Lombardia

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE E CAMBIO DESTINAZIONE D'USO, DI UN LOTTO UBICATO PRESSO S.P.28

RELAZIONE GEOLOGICA R1

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

RELAZIONE GEOTECNICA R2

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

RELAZIONE GEOLOGICA R3

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

Committente: *Ammit S.r.l.*

Data:

14 Ottobre 2024

Il Tecnico:

Dott. Geol. Niccolò Crestana

Ordine dei Geologi della Lombardia n°1691



INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 Metodologia di lavoro.....	3
1.2 Riferimenti Normativi.....	4
A. RELAZIONE GEOLOGICA R1 e R3	5
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO.....	5
2.1 Inquadramento Geografico e Geologico	5
2.2 Assetto Geomorfologico	7
2.3 Caratteri Idrogeologici locali	8
2.4 Permeabilità dei terreni	10
2.5 Rete Idrografica locale	10
2.6 Piano di Gestione Rischio Alluvioni	12
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)	14
3.2 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico	16
4. SISMICITÀ DELL'AREA	24
4.1 Inquadramento sismotettonico	24
4.2 Sismicità locale	25
4.3 Normativa sismica vigente.....	26
5. AZIONE SISMICA DI PROGETTO	27
5.1 Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica	27
5.2 Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)	30
5.3 Amplificazione Stratigrafica (Ss)	30
5.4 Stabilità del sito nei confronti della liquefazione.....	31
6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO.....	32
B. RELAZIONE GEOTECNICA R2	35
7. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI	35
8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI	36
8.1 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)	36
8.2 Elementi per le Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).....	38
9. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE	39
10. CONCLUSIONI.....	41

1. PREMESSA

Su incarico conferito da *Ammit S.r.l.* e a seguito dei colloqui intercorsi con il *Geom. Roberto Abate*, è stato eseguito uno studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di riqualificazione e cambio destinazione d'uso di un lotto ubicato presso S.P.28, nel Comune di Lonato del Garda (BS).

Lo studio viene eseguito in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (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 standard SCPT-DPSH.

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 microtremiti sismici ambientali mediante tecnica HVSR.

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

- ✓ TAV. 1 – Corografia con ubicazione dell'area d'indagine e dei pozzi con stratigrafia
- ✓ TAV. 2 – Planimetria di progetto con ubicazione dei punti d'indagine
- ✓ Diagrammi Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT-DPSH
- ✓ Allegato fotografico
- ✓ Stratigrafie Pozzi



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

1.2 Riferimenti Normativi

- D.M. 14 Gennaio 2008 *"Approvazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni"* (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008) e relativo aggiornamento (D.M. 17 Gennaio 2018); che sancisce l'obbligo di effettuare la progettazione antisismica e la relazione geologica e geotecnica.
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal C.S.LL.PP. *"Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018"*.
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519, recante *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"* (G.U. n. 108 del 11/5/2006).
- L.R. 11 Marzo 2005 - n.12 Piani di Governo del Territorio; D.G.R. 22 Dicembre 2005 n.8/1566 *"Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio"*.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 *"Norme in materia ambientale"* con riferimento alla Parte Terza *"Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche"* - Sezione II *"Tutela delle acque dall'inquinamento"*.
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n° IX/2616 *"Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n° 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n° 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n° 8/7374"*
- D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 *"Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)"*.
- L.R. 12 Ottobre 2015 - n. 33 *"Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche"* BURL n. 42, suppl. del 16 Ottobre 2015).
- D.G.R. 30 Marzo 2016 – n. X/5001 *"Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015)"*.
- D.G.R. 19 Giugno 2017 – n° X/6738 *"Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po"*.
- *Raccomandazioni per la redazione della "Relazione Geologica" ai sensi delle norme tecniche sulle costruzioni* secondo quanto approvato con delibera n.1 del 14/04/2015 dal Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi e con delibera n. 111/2015 del 28/04/2015 del C.N.G..
- Associazione Geotecnica Italiana *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito"* (1977).

A. RELAZIONE GEOLOGICA R1 e R3

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

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

2.1 Inquadramento Geografico e Geologico

L'area di intervento, identificata dal *Mappale n° 225 del Foglio 15*, è ubicata lungo la S.P. 28, in Località Bettola di Lonato d/G, in adiacenza al confine con il territorio comunale di Bedizzole (**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 D6e2 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5037248,98 latitudine N - 1612784,40 longitudine E.

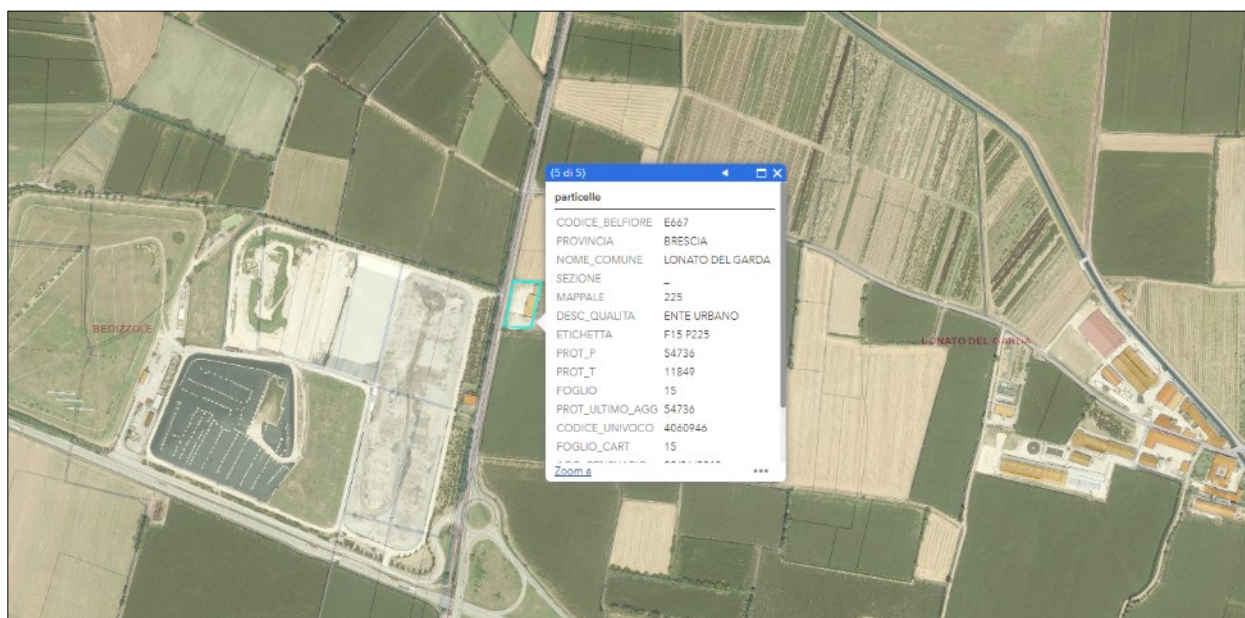


Fig. 1 - Individuazione dell'area oggetto d'interesse
(fonte Viewer Geografico Regione Lombardia).

L'area di progetto si colloca in un ambito a morfologia subpianeggiante, ai margini delle Prealpi Bresciane, all'interno della pianura del Fiume Chiese di origine fluvioglaciale/alluvionale e dell'Alta Pianura Padana Bresciana.

Dal punto di vista geologico, il territorio di Lonato del Garda 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 susseguites in epoca Quaternaria. Nonostante da parte di diversi autori non esista uniformità di classificazione delle cerchie moreniche con le singole glaciazioni, le cerchie più interne sono ricondotte alla fase glaciale di età *Würmiana* mentre quelle più esterne sono attribuite alla fase di età *Rissiana*.

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, nei quali sono presenti, frequentemente, trovanti di grosse dimensioni tipici dell'ambiente deposizionale glaciale.

Durante le fasi interglaciali i fenomeni di 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 spessore in graduale aumento verso le 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 variabile, intercalati da lenti e/o livelli prevalentemente sabbioso-limosi o limoso-argillosi.

Quando l'energia del trasporto delle acque di scioglimento glaciale subiva sensibili diminuzioni, si verificava la deposizione di depositi glaciolacustri di depressione intermorenica. Essi sono costituiti generalmente da materiale prevalentemente fine sabbioso e sabbioso-limoso, con in subordine frazione ghiaiosa, con disposizione stratificata o gradata. Nelle aree di basso topografico relativo, sono presenti depositi fini e/o torbosi legati alla presenza di specchi lacustri intermorenici, tuttora presenti o bonificati in tempi relativamente recenti. All'interno dell'anfiteatro morenico, tra un cordone morenico e l'altro, sono presenti depositi di contatto glaciale, con caratteristico andamento delle superfici ondulate e costituiti in prevalenza da sabbie-ghiaiose con subordinata frazione limoso-argillosa.

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 rinvencono lenti e livelli sabbioso-limosi associate a fasi deposizionali di minore energia.

L'area di studio è situata nell'estrema porzione occidentale del territorio comunale di Lonato del Garda, in prossimità del confine con il vicino territorio di Bedizzole, ed è caratterizzata dalla presenza di **depositi fluvioglaciali** frontali alle cerchie interne Wurmiani (**Fig. 2**) costituiti in prevalenza da ghiaie. Talvolta per tali depositi, possono essere presenti in superficie livelli di limitato spessore di limi sabbiosi, associati a fasi deposizionali di minore energia.

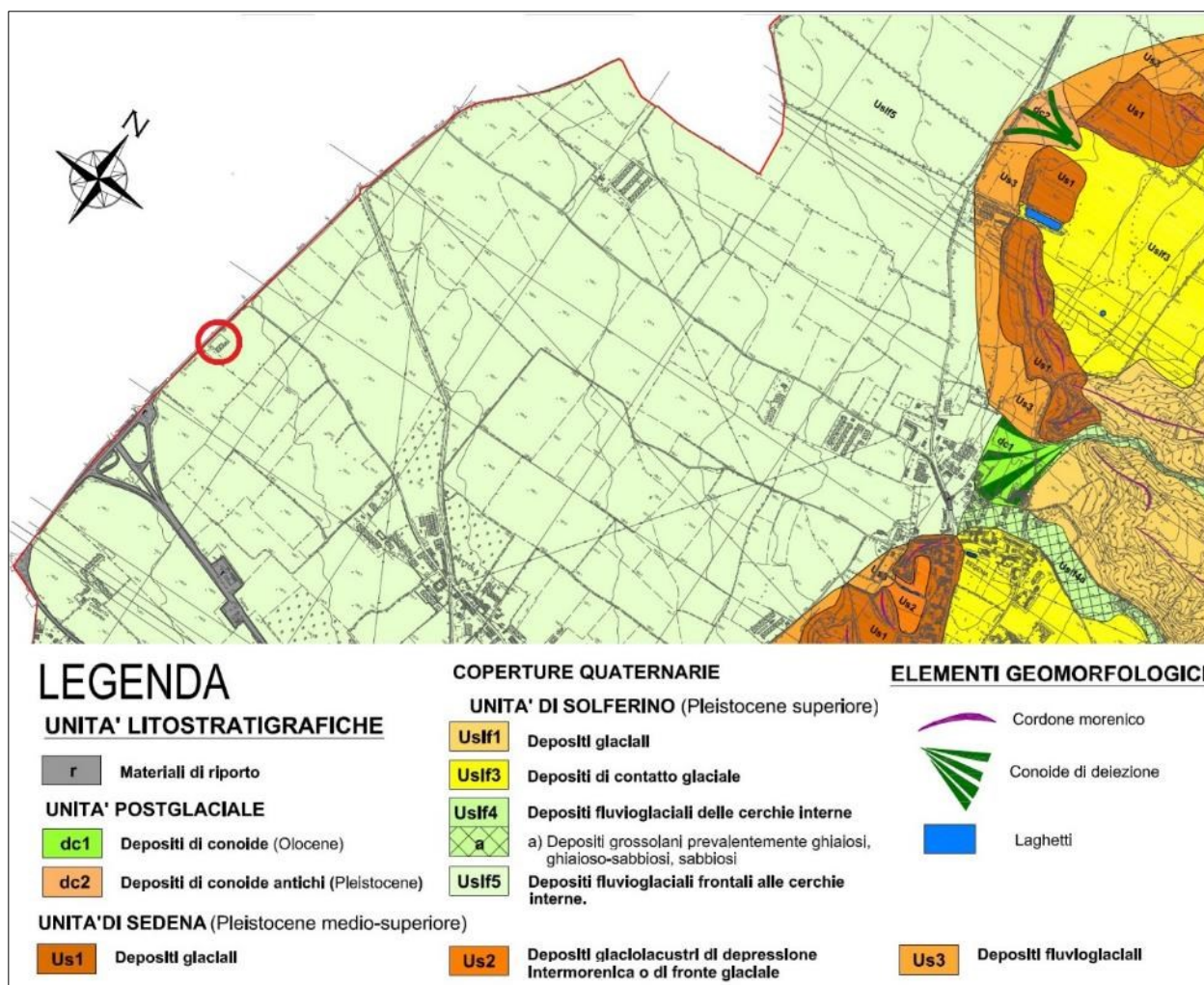


Fig. 2 - Stralcio della "Carta Geologica con elementi geomorfologici e strutturali" (SG Tav.1 – Dicembre 2019), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.2 Assetto Geomorfologico

L'assetto geomorfologico del settore meridionale gardesano ed in particolar modo del Comune di Lonato del Garda è caratterizzato dalla presenza di cerchie moreniche concentriche rispetto al lago, talvolta discontinue, a morfologia piuttosto arrotondata, alternate a fasce fluvioglaciali o di depressione intramorenica.

Il territorio di Lonato del Garda è caratterizzato da una topografia estremamente variabile, esso può presentare pendii fortemente inclinati e scoscesi e aree con pendenza più moderata, che fanno da raccordo tra gli avvallamenti e le piane intermoreniche. Le aree a morfologia infossata corrispondono invece ad antiche conche lacustri, ancora oggi influenzate da fenomeni di ristagno idrico nelle parti più depresse del paesaggio. Il modellamento dei cordoni morenici, infatti, avvenuto ad opera degli scaricatori fluvioglaciali, 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 collinare presenta evidenti variabilità geomorfologiche, legate proprio alle complesse dinamiche di avanzamento, stazionamento e ritiro dei fronti glaciali e la relativa formazione, in più fasi, dei rilievi morenici e alla formazione di terrazzamenti antropici. La continuità delle cerchie collinari è dunque sovente interrotta da piane intermoreniche ad andamento sinuoso e caratterizzate da 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.

Con il passaggio alle condizioni climatiche attuali, i fenomeni geomorfici correlati alla dinamica glaciale vengono sostituiti da quelli connessi dall'idrografia superficiale ed alla gravità, con conseguente modifica delle caratteristiche geomorfologiche del paesaggio. Le odierne aree di pianura sono state infatti modellate prima dai ghiacciai e dagli scaricatori fluvio-glaciali e successivamente rielaborate dai corsi d'acqua del reticolo idrografico olocenico. 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.

L'andamento morfologico locale è legato ad un ambiente deposizionale fluvio-glaciale e risulta subpianeggiante; localmente possono essere presenti materiali rimaneggiati, in relazione ad interventi di regolarizzazione della topografia e in prossimità delle opere di edificazione già avvenute. L'andamento topografico risulta in parte modificato da interventi antropici, che d'altra parte hanno condizionato fortemente il paesaggio dell'intera pianura Bresciana, in special modo presso i centri abitati ed in corrispondenza di siti interessati da attività di escavazione. Nel complesso l'area in esame risulta stabile e, alla data dei rilievi, non è interessata da alcun fenomeno geomorfico in atto.

2.3 Caratteri Idrogeologici locali

L'assetto idrogeologico del territorio di Lonato del Garda 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 particolare, si può riconoscere un acquifero superficiale corrispondente per lo più alla *falda freatica*, di norma bene alimentata che si sviluppa entro l'unità ghiaioso-sabbiosa recente; essa risulta captata da numerosi pozzi. Localmente possono essere presenti dei livelli impermeabili che separano la falda freatica vera e propria rispetto a falde superficiali da libere a semiconfinite.

L'alimentazione della falda freatica deriva essenzialmente dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche nelle zone di ricarica, che comprendono anche la pianura fluvio-glaciale esterna alla cerchia di Lonato, e dall'apporto degli acquiferi circolanti negli ambiti collinari.

Nelle piane di Lonato del Garda come quella oggetto di studio, la falda freatica è presente a partire da circa -50/-60 m dal p.c., e risulta separata da quelle profonde, da conglomerati e unità argillose, che costituiscono localmente la base del sovrastante acquifero freatico. Esse risultano avere un'alimentazione di tipo distale, non direttamente collegata alle precipitazioni meteoriche.



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

Più in profondità sono presenti falde confinate o semiconfinite contenute negli acquiferi ghiaioso-sabbiosi o ghiaioso-conglomeratici compresi tra intervalli prevalentemente limoso-argillosi a partire da circa -80/-100 m dal p.c..

Pertanto, 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 superficiale, fino ad almeno -3,3 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. Tuttavia, si segnala che possibili livelli di acquiferi superficiali / fenomeni di umidità, potrebbero essere rinvenuti entro i primi metri di profondità dal p.c., soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde superficiali e al susseguirsi di stagioni caratterizzate da piovosità intensa e prolungata.

Il grado di Vulnerabilità dell'acquifero delle acque sotterranee, così come indicato all'interno della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. del Comune di Lonato del Garda ("Carta Idrogeologica con indicazioni sulla Vulnerabilità degli acquiferi superficiali" - Gennaio 2016), risulta mediamente alto, in funzione del basso grado di protettività dei suoli, caratterizzati da una buona capacità di drenaggio (**Fig. 3**).

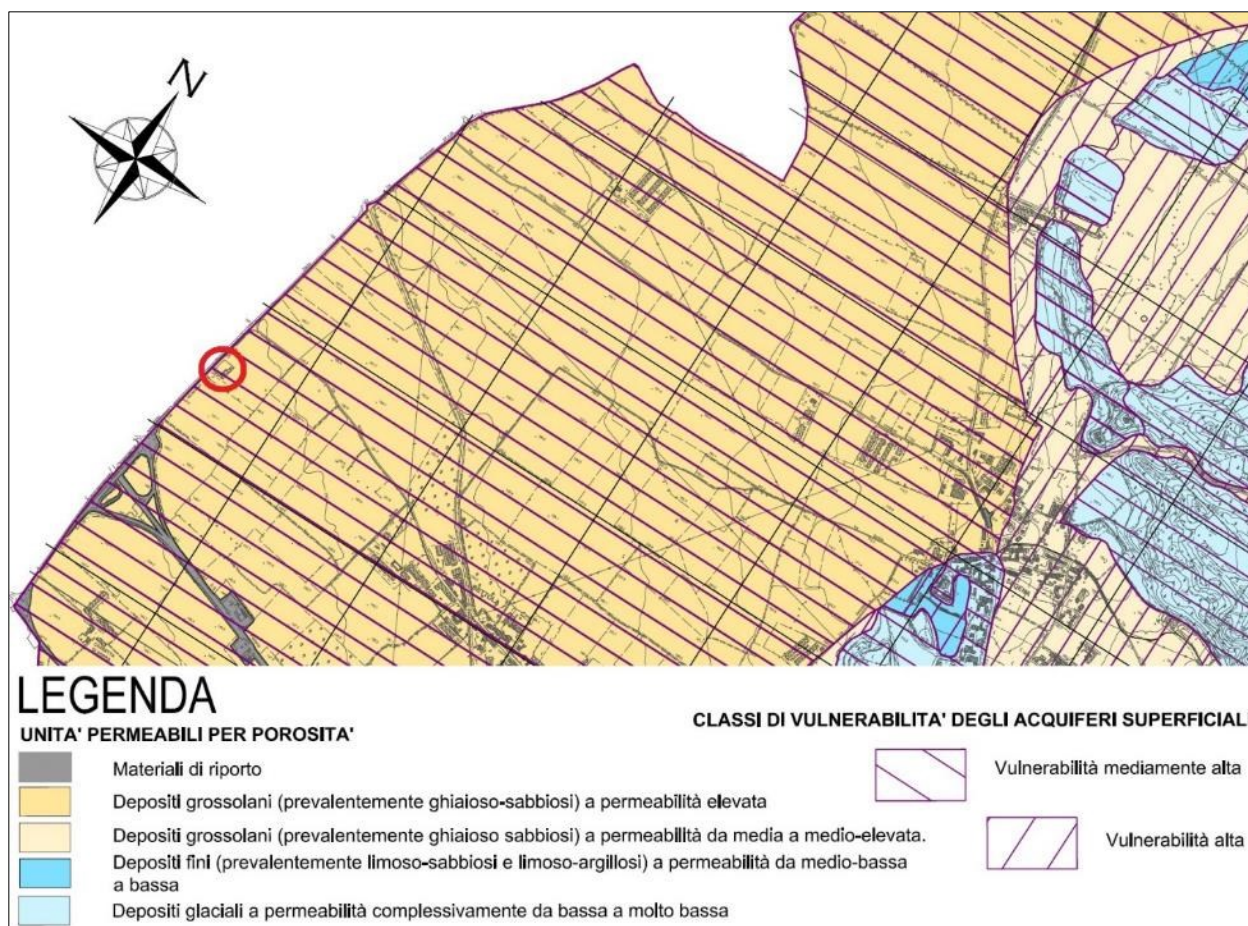


Fig. 3 - Stralcio della "Carta Idrogeologica con indicazioni sulla Vulnerabilità degli Acquiferi Superficiali" (SG Tav. 6 – Luglio 2009), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

2.4 Permeabilità dei terreni

La circolazione idrica sotterranea dell'area di progetto è in funzione della permeabilità delle unità idrogeologiche presenti. In merito, il lotto d'interesse è costituito, oltre una prima coltre superficiale, da depositi di origine fluvioglaciale, permeabili per porosità, caratterizzati da una permeabilità complessivamente medio-alta, con sequenze ghiaioso-sabbiose che favoriscono la filtrazione idrica verticale.

Per la stima dei valori di permeabilità k (**Fig. 4**) 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.

Sulla base dei dati raccolti, ai depositi presenti nell'area di studio, costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie con ciottoli, possono essere attribuiti valori di permeabilità medio-alti ($1,0 \times 10^{-4} / 1,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) con buone capacità di drenaggio.

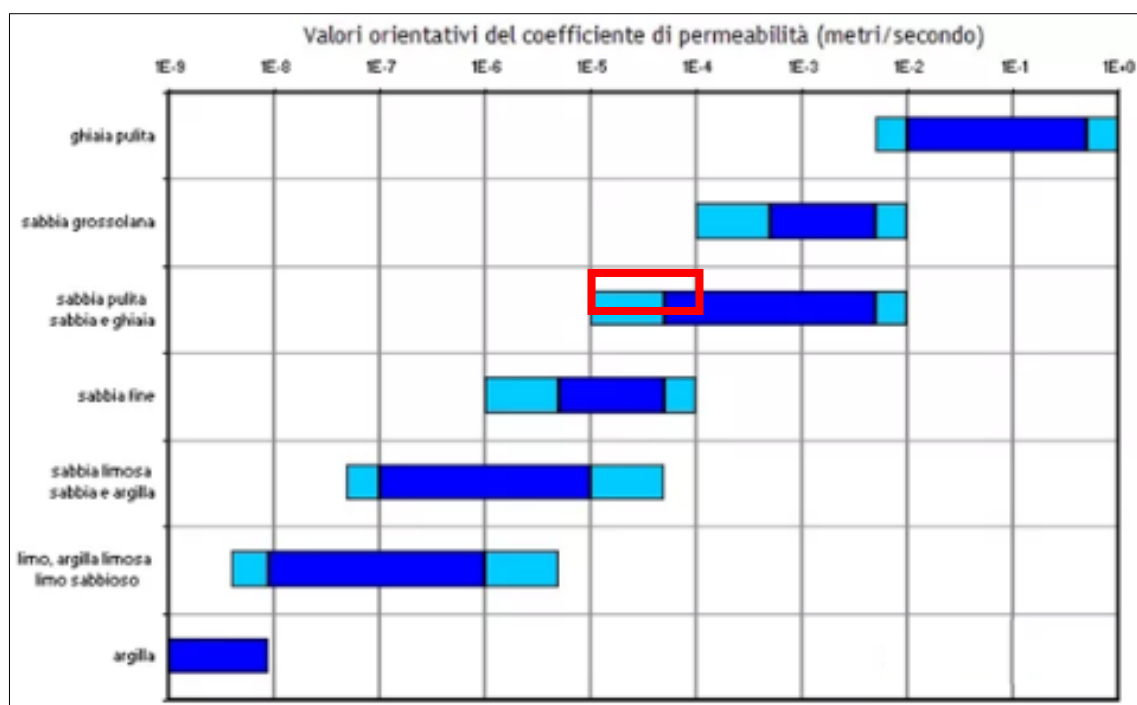


Fig. 4 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità.

2.5 Rete Idrografica locale

La rete idrografica superficiale della piana fluvioglaciale del territorio comunale è connessa al bacino idrografico del *Fiume Chiese*, il cui alveo scorre a circa 2800 m ad Ovest dal sito di interesse progettuale, ed è composta da una fitta rete artificiale di canali e rogge irrigue. Il reticolo idrografico è caratterizzato quindi principalmente da corsi d'acqua, intrecciati tra loro e spesso costituiti da canalette in prefabbricato, da tratti con alveo artificiale o da tratti intubati, soprattutto in corrispondenza delle strade principali.

Le rogge, pur rivestendo una funzione prevalentemente irrigua, attraverso sistemi di saracinesche manuali, in concomitanza di eventi piovosi di una certa intensità raccolgono le acque piovane e regolamentano il deflusso idrico. I tracciati dei corsi d'acqua, della suddetta piana fluvioglaciale, seguono l'andamento e la forma dei campi e posseggono pendenze delle

aste fluviali che risultano molto limitate, di conseguenza il deflusso delle acque avviene lentamente, con limitata capacità erosiva. Inoltre, nella piana fluvioglaciale/alluvionale si hanno per lo più terreni ad alta permeabilità che consentono una buona infiltrazione delle acque superficiali.

Nello specifico, il deflusso idrico superficiale entro l'area di indagine ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale e tramite i collettori idrici a servizio degli edifici e delle strutture presenti nelle vicinanze dell'ingombro di progetto. L'area di progetto, come riportato nella "Carta delle fasce di tutela del Reticolo Idrico" (RIM Tav.3/A - Novembre 2020), allegata al Documento di Polizia Idraulica del Reticolo Idrico Minore comunale vigente, non risulta interessata da alcun corso d'acqua e non rientra in alcuna fascia di tutela per essi istituita (**Fig. 5**).

Tuttavia, si segnala la presenza, in adiacenza al confine meridionale del lotto di interesse progettuale, di un tratto di corso d'acqua (fosso consortile con sezione artificiale) appartenente al Reticolo idrico minore di competenza consortile (denominato "Roggia Lonata - 1° comizio"; codice RIM: 5.5).

In merito si specifica che le opere progettuali non interferiscono con tale elemento idrografico e non rientrano all'interno delle fasce di tutela per esso istituite pari a 10 m da ciascuna sponda.

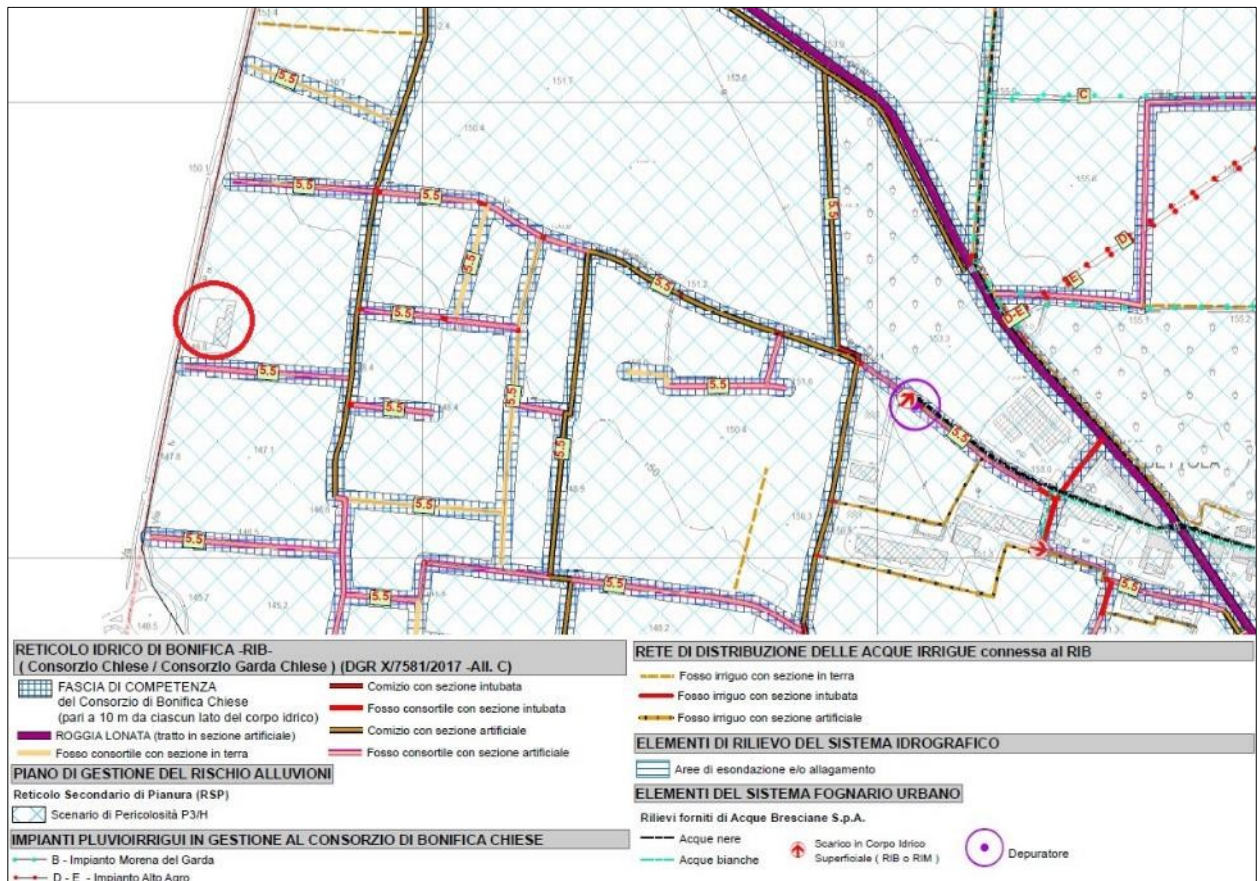


Fig. 5 - Stralcio della "Carta delle fasce di tutela del Reticolo Idrico" (RIM Tav. 3/A), allegata al Documento di Polizia Idraulica del Reticolo Idrico Minore comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

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.

Si mostrano di seguito, i dati in termini di pericolosità e di rischio da alluvione, in attuazione a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 e dai successivi indirizzi del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, come previsti nell'ultimo Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (Revisione 2022 - **Fig. 6**).

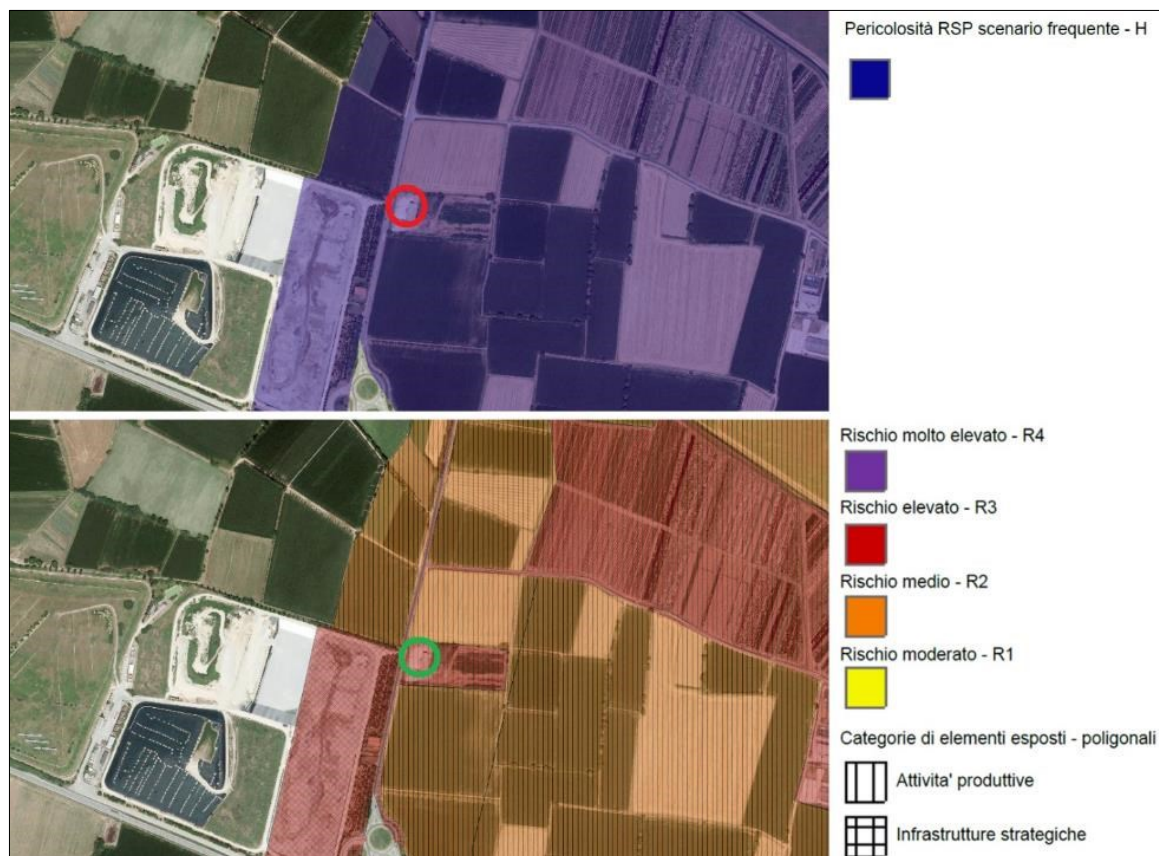


Fig. 6 - Mappa degli Scenari di Pericolosità da Alluvione e Mappa del Rischio
Alluvioni stralciate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (Revisione 2022).
Fonte Viewer Geografico del Geoportale della Regione Lombardia.

Nello specifico l'area in esame rientra in una classe di pericolosità idrogeologica RSP (Reticolo Secondario di Pianura) con scenario frequente (H) di tipo P3.

Tale aspetto è confermato anche all'interno della "Carta PAI-PGRA" (SG Tav. 14 – Dicembre 2019) allegata all'Aggiornamento dello Studio Geologico del P.G.T. comunale (Fig. 7). Secondo la D.G.R. X/6738 del 19/06/2017, in tali aree esondabili per la piena frequente (P3/H) dell'ambito RSP, le caratteristiche delle alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppur caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui. Inoltre: "In questo caso si ritiene quindi che sussistano consistenti limitazioni all'utilizzo per scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Sono pertanto da applicare le limitazioni relative alla classe 3 di fattibilità geologica".

Si ritiene in merito che le opere progettuali, non possano comportare modifiche, riduzioni e/o interferenze della capacità di invaso degli argini e delle opere di difesa esistenti dei corsi d'acqua afferenti al reticolo secondario di pianura consortile.

Per la trattazione nello specifico di tale limitazione si rimanda in ogni caso alla Relazione di Compatibilità Idraulica a firma di Ingegnere Idraulico incaricato dalla Committenza.

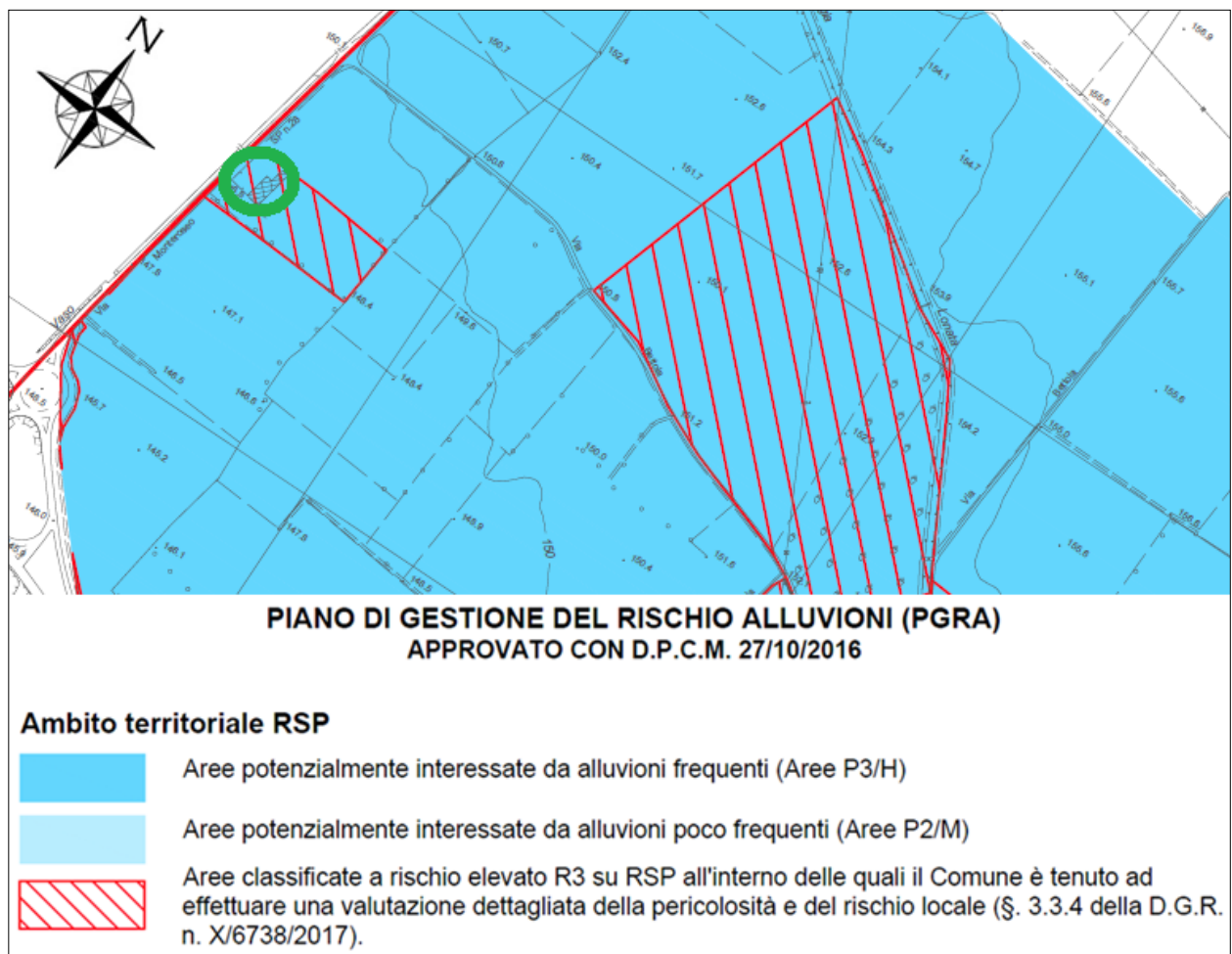


Fig. 7 - Stralcio della "Carta PAI-PGRA" (SG Tav. 14 – Dicembre 2019), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, in data 09 Ottobre 2024 la ditta *Crestana S.r.l.s.* ha eseguito un'indagine geognostica, realizzata e progettata al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

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

L'indagine ha previsto la realizzazione di **n° 2 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)**, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

È stato eseguito inoltre **n° 1 stendimento di sismica** multicanale con acquisizione delle onde di superficie, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo **MASW** e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSr**, per la caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo.

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

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

3.1 Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

Metodologia ed attrezzatura di prova

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, 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° 2 prove penetrometriche dinamiche**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dinamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Meardi (AGI) - 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.



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

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

Fig. 8 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

Interpretazione dei dati

Le prove penetrometriche eseguite all'interno del sito di progetto, sono state spinte ad una profondità massima di -3,3 m (P2) 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.

Le evidenze lito-stratigrafiche delle verticali d'indagine e il grado di addensamento dei terreni attraversati sono di seguito riassunti, assumendo come piano campagna la sede stradale esistente:

MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Quota di riferimento p.c. generale	Unità geologica	Caratteristiche litologiche	N _{SPT} medio	Denominazione AGI
STRATO 1	Unità S	Terreno superficiale rimaneggiato e/o riportato limoso-sabbioso con ciottoli	7-13	Da scarsamente a moderatamente addensato
da 0,0 m a -1,2 m				
STRATO 2	Unità FG	Depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli	33->50	Da addensato a molto addensato
Oltre -1,2 m dal p.c.				

Si segnala che, durante l'avanzamento della prove non è stata rilevata la presenza di acquiferi superficiali, fino ad almeno -3,3 m dal p.c..

Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di livelli acquiferi continui a partire da circa -50/-60 m dal p.c., circolanti nei depositi della sequenza deposizionale fluvioglaciale ad elevata permeabilità. Si segnala in definitiva che le opere di progetto non interferiranno con fenomeni di circolazione d'acqua sotterranea.

3.2 Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico

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

ANALISI HVSR

Cenni sulla metodologia HVSR

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

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

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa a quella configurazione stratigrafica (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). 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.



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

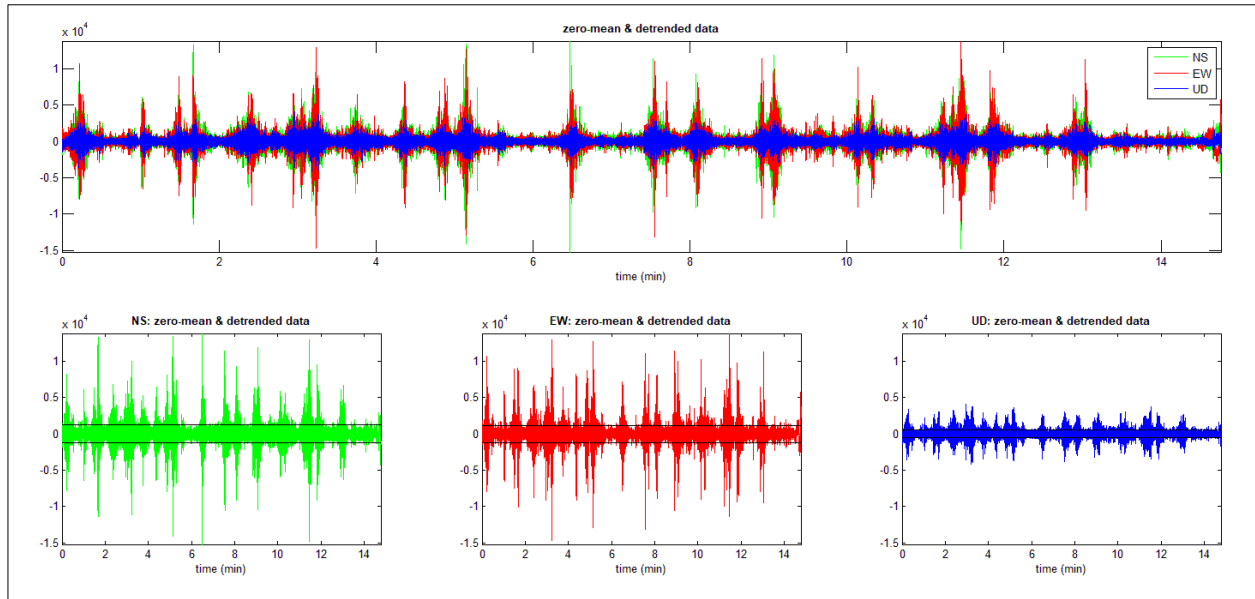


Fig. 9 - Visualizzazione dei dati originali dopo la rimozione di eventi transienti.

Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

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

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

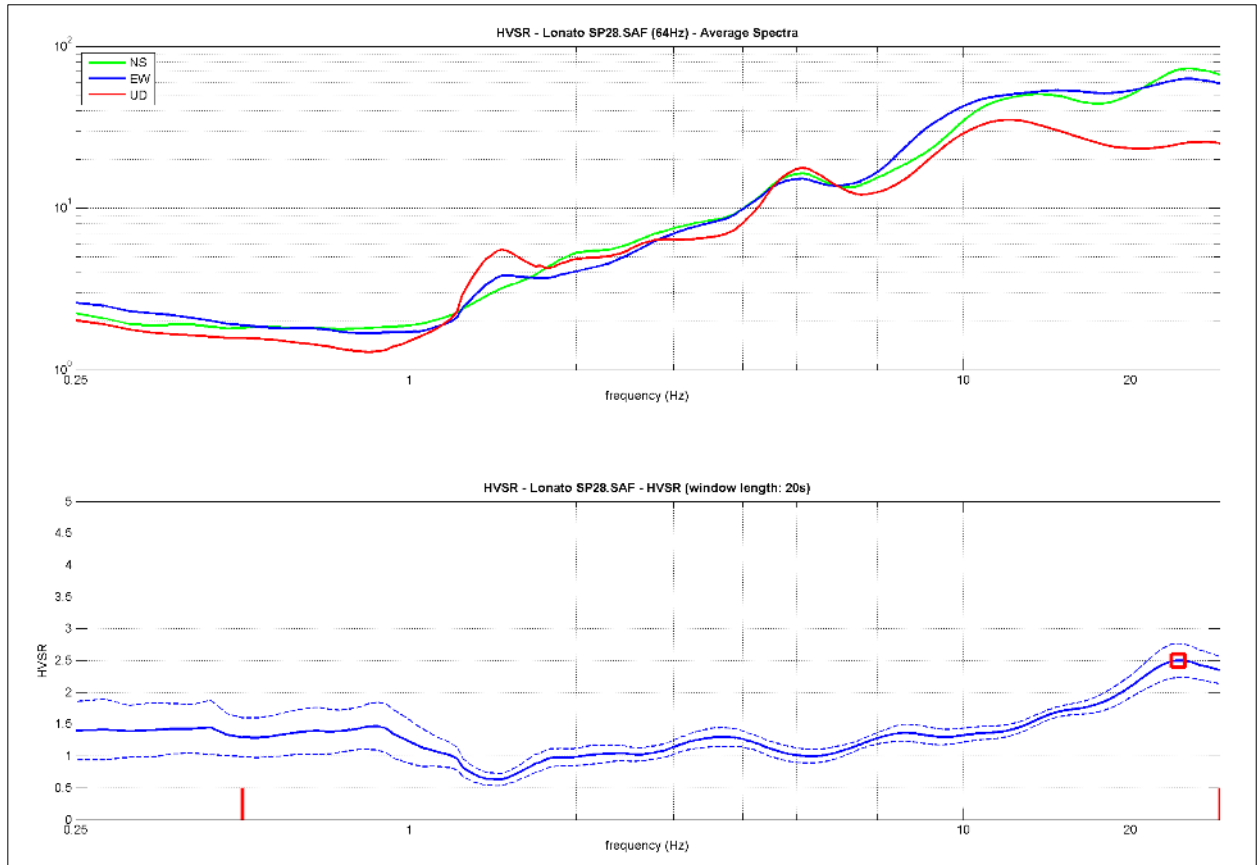


Fig. 10 - HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSr riportata, indica un picco principale a circa 24,4 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti).

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

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $24.368 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $41425 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

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

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 6.1Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.5 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)]$: $10.307 > 1.218$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.268 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 24,4 Hz, di ampiezza pari a 2,5 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 29,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico tali da includere il picco principale ad alta frequenza) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 24,4 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Considerato l'andamento delle tre componenti che costituiscono il segnale sismico registrato, il picco di risonanza principale del sito indagato, seppur non rispettando tutti i criteri *SESAME*, può essere ritenuto comunque di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica molto superficiale, presente a circa -2,0/-3,0 m di profondità dal p.c., tra i terreni di copertura superficiale e i sottostanti depositi della sequenza deposizionale fluvioglaciale caratteristica della zona in cui ricade l'area in esame.

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. 10**), per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili da integrare all'elaborazione sismica 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'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo 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 (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.



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

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.

Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle opere di progetto. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (4-6-8-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione.

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. 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 da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) a frequenza di 4,5 Hz e tripodi in alluminio, 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. 11**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i *modi* correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad *Offset* variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del sismogramma prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso.

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+HVSr

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 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). Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 11**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

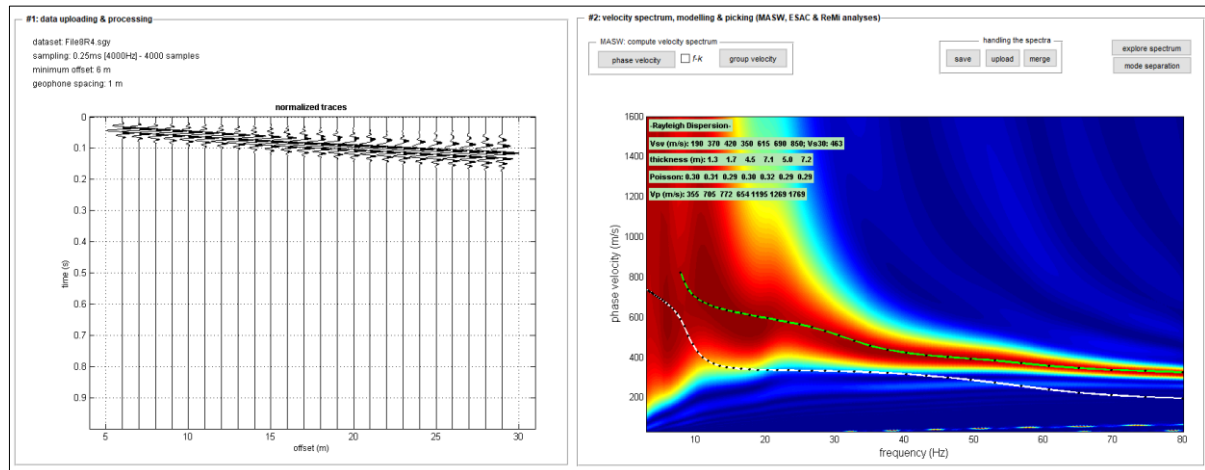


Fig. 11 - Visualizzazione del sismogramma acquisito (sx) e modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori, che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (dx).

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<30 Hz), è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSr (**Fig. 12**). 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.

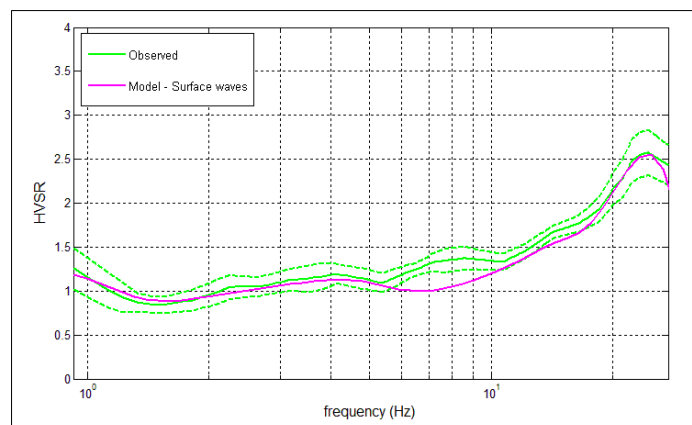


Fig. 12 - Confronto tra H/V sperimentale e teorico, ottenuto per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

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 in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSr.

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

MODELLO GEOFISICO MEDIO – S.P. 28 – Lonato del Garda (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	190	1,3	-1,3	1,80	0,30	65
2	370	1,7	-3,0	1,97	0,31	270
3	420	4,5	-7,5	1,99	0,29	351
4	350	7,1	-14,6	1,95	0,30	239
5	615	5,0	-19,6	2,10	0,32	793
6	690	7,2	-26,8	2,11	0,29	1005
7	850	8,2	-35,0	2,19	0,29	1584

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	Vs_{eq}	Profondità del bedrock sismico	Categoria di sottosuolo: B
A partire dal p.c.	439 m/s	Oltre 30 m dal p.c.	Stimata sulla base del valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto, mediante analisi MASW+HVSr fino ad una profondità di -35,0 m dal p.c. (**Fig. 13**), utilizzata per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$.

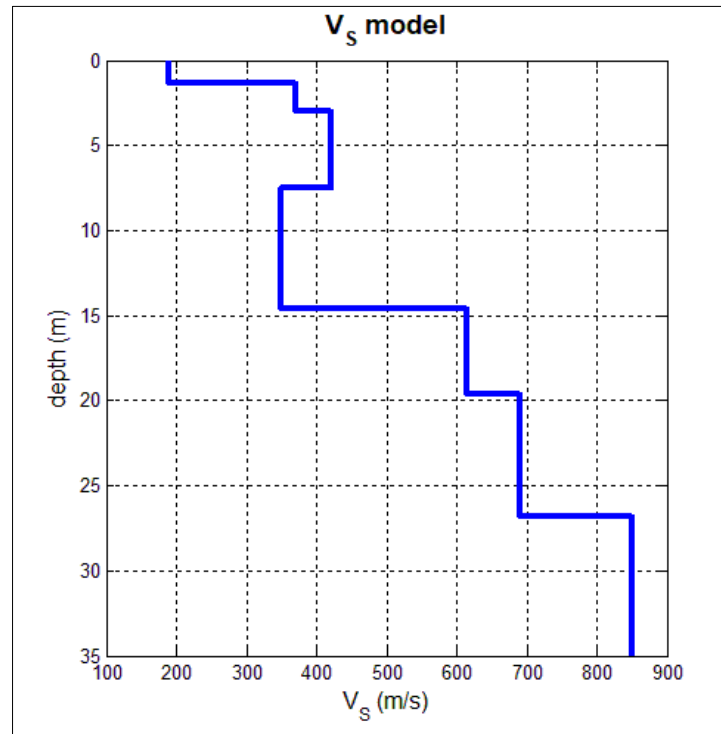


Fig. 13 - Profilo sismostratigrafico.

4. SISMICITÀ DELL'AREA

4.1 Inquadramento sismotettonico

La regione benacense è collocata nel quadro tettonico della formazione delle Alpi, legato ai movimenti della placca euroasiatica e di quella africana, che con la loro collisione produssero l'innalzamento della catena alpina, con formazione della struttura a coltri di ricoprimento. Quest'ultima si interrompe a sud della Linea Insubrica, la quale costituisce il confine tra le Alpi e le Alpi Meridionali che comprendono la regione del Lago di Garda. Il tratto interessato, della Linea Insubrica, alla quale è imputata la formazione dei più importanti elementi strutturali dell'area gardesana, è quella denominata Linea delle Giudicarie. Questa è caratterizzata da strutture aventi direzione NNE-SSW, tra le quali, l'elemento più noto, è la doppia piega anticlinale e sinclinale del monte Baldo, situato lungo la sponda est del lago. Il sistema giudicariense è caratterizzato da sovrascorrimenti con presenza di faglie trasversali, che determinano un assetto strutturale irregolare (**Fig. 14**).

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.

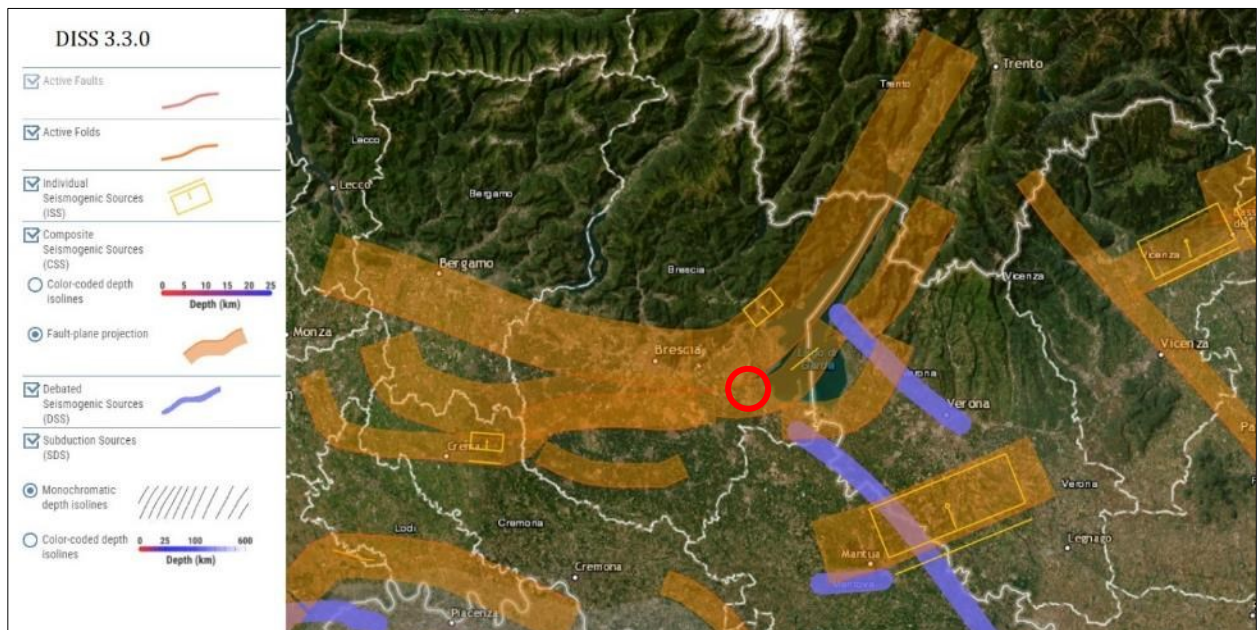
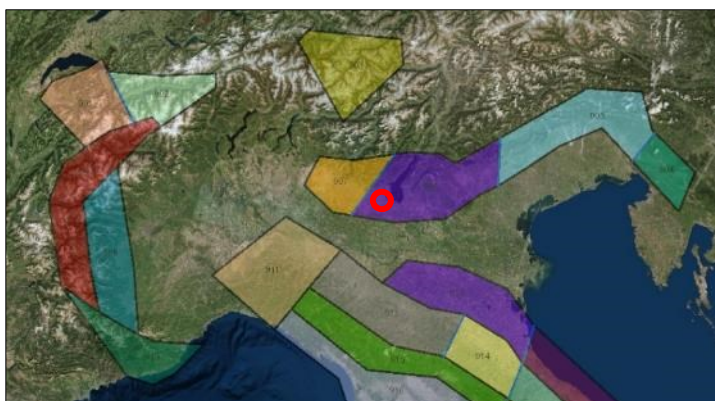


Fig. 14 - Stralcio del Database cartografico delle sorgenti sismogenetiche della regione prealpina e pedemontana gardesana (fonte – DISS 3.3.0 -INGV), con ubicazione dell'area di interesse.

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 province di Brescia e Verona. Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.



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

Fig. 15 - Schema Zonazione Sismogenetica ZS9
(tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

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

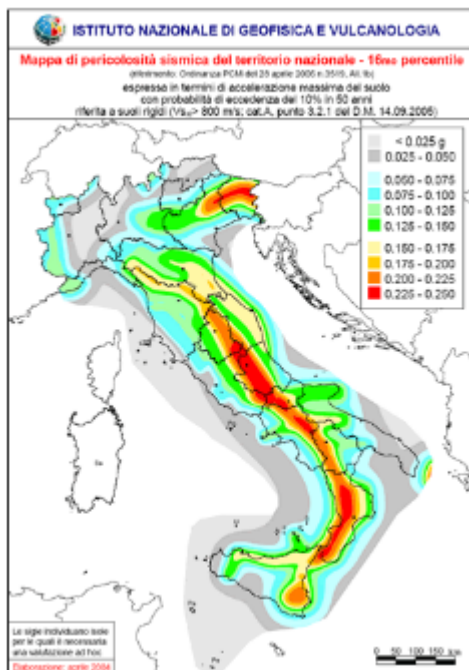


Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDF	Io	Mw
1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
1222	12	25	12	30		Bresciano-Veronese	18	7-8	5.68
1438	06	11	02			Parmense	4	8	5.56
1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
1891	06	07	01	06	14	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
1971	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. 16 - Catalogo multiparametrico dei terremoti italiani con magnitudo (Mw) > 5,5 verificatisi in un'area di raggio pari a 100 km dall'area d'indagine (C.P.T.I.15 versione 4.0 – progetto INGV - 2022).

4.3 Normativa sismica vigente

Con il Testo Unico (D.M. 14/01/08), entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del D.L. 39/2009 (Decreto “Abruzzo”), è divenuto vigente l’obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica. In particolare, con l’Allegato A sono state adottate definitivamente le stime di pericolosità sismica del progetto S1 già comprese nella citata Ordinanza 3519/2006 (**Fig. 17**). 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. 17 - 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_{gmax} pari a 0,159 g.

5. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Per la valutazione dell'Azione Sismica sono stati utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/18. In questo paragrafo si affrontano quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, le eventuali prescrizioni sismiche di pianificazione urbanistica e, considerando le apposite analisi sismiche e geomorfologiche, si forniscono la Cat. di Sottosuolo e la Cat. Topografica di sito, che potranno essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione prevista. Mediante il foglio elettronico Excel "Spettri-NTC (ver. 1.0.3)" è stato possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica utilizzabili per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV. Per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, è necessaria la conoscenza e la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti dell'opera di progetto. È stata infine presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018.

5.1 Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

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

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

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

Secondo il D.M. 17/01/18, quindi, e tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica MASW eseguita nel sito di progetto, è stato calcolato un valore di V_{seq} pari a 439 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 Geologico del P.G.T. comunale* di Lonato del Garda (*Carta di pericolosità sismica locale Livello 1 – Dicembre 2019*), entro lo scenario di pericolosità sismica **Z4a** "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" (**Fig. 18**).

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico Comunale, un'analisi sito-specifica per la *Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. IX/2616 del 2011)*.

Secondo l'approfondimento di II livello comunale citato, e come indicato tra l'altro nella *Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano* (**Fig. 20**), vengono segnalati per l'area in esame valori di F_a di sito inferiori a quelli di "soglia" normativa (**$F_{AC} \leq F_{AS}$**) 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".

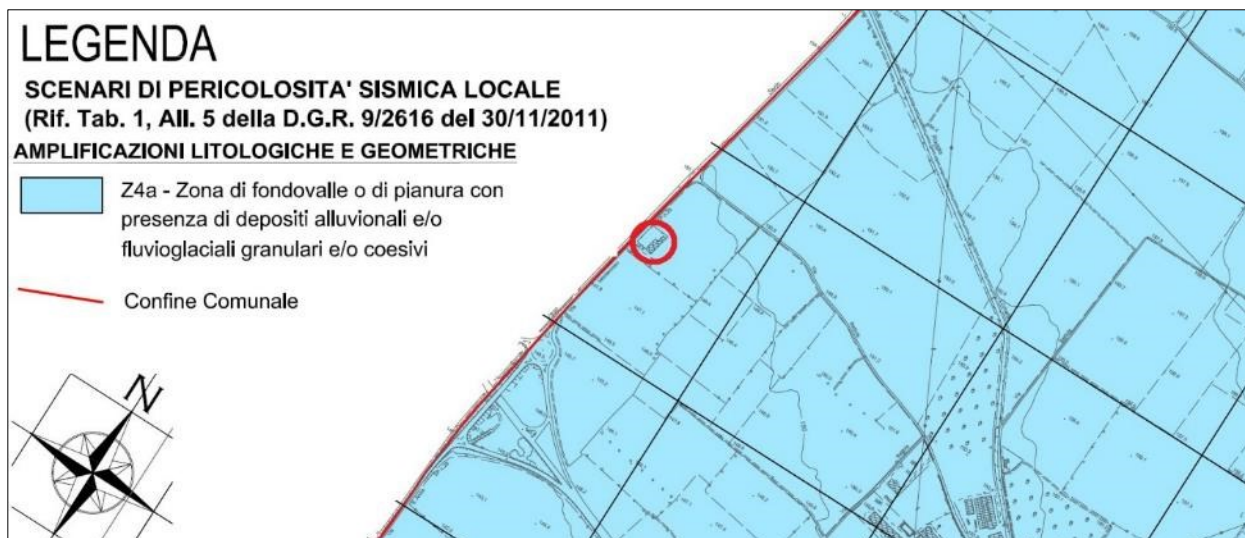


Fig. 18 - Stralcio della "Carta di pericolosità Sismica Locale - Livello 1" (SG Tav. 8 - Dicembre 2019) allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico medio partendo cautelativamente dal piano campagna, sono stati riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici". Rispettando soprattutto i campi di validità e le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito è stata eseguita una verifica dei valori dei Fattori di amplificazione di sito (F_a) rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla "litologia limoso-sabbiosa tipo 2 - curva caratteristica 3", di cui si riporta l'esplicazione grafica ed analitica (**Fig. 19**).

I risultati ottenuti dall'applicazione del II Livello, considerando la variabilità di +0,1 in termini di F_a prevista dalla normativa, hanno verificato che sia per edifici con periodo T compreso tra 0,5 e 1,5 s, che per edifici con periodo T compreso tra 0,1 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 ($F_{AC} \leq F_{AS}$).

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

Località: S.P. 28 - Lonato del Garda (BS)

Caratteristiche sismiche del sito

Prof. sismostrati a partire dal p.c.	Valori di Vs (m/s)
1,3	190
3,0	370
7,5	420
14,6	350
19,6	615
26,8	690
Oltre 26,8 m	> 800

Parametro Vs,eq (m/s)	439
-----------------------	-----

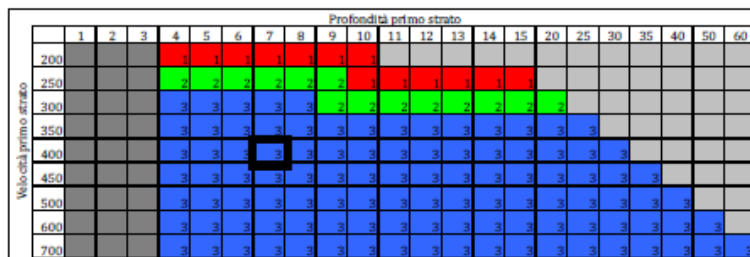
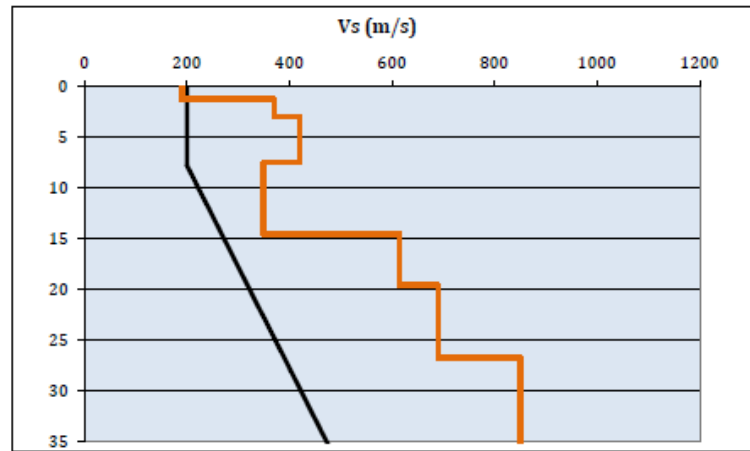
Categoria di Sottosuolo	B
-------------------------	---

Periodo di sito calcolato T	0,216
-----------------------------	-------

Strato superficiale	
Prof. primo strato (m)	7,5
Vs (m/s)	369

Curva caratteristica n°	3
-------------------------	---

SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - SABBIOSA TIPO 2



Procedura di confronto e verifica

Valori Fa di sito calcolati
Intervalli di periodo per tipologie edilizie

0,1 s < T < 0,5 s	1,6
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1,2
-------------------	-----

Valori Fa di soglia comunali

B	C	D	E
1,5	1,8	2,3	2,0

1,7	2,4	4,3	3,0
-----	-----	-----	-----

Legenda: 1,5 Cat. di sottosuolo di sito ai sensi del D.M. 17/01/2018



Cat. di sottosuolo da adottare in progetto a seguito dell'analisi di II livello secondo le procedure dell'All. 5 D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011 e considerando una variabilità di + 0.1

Fig. 19 - Stima degli effetti litologici - Analisi di 2° livello secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.G.R. 9-2616 del 30/11/2011.

5.2 Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)

Attraverso il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, partendo dall'identificazione geografica del punto mediano del sito di progetto (**Longitudine: 10,442703 - Latitudine: 45,479482**), 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	0,041	2,613	0,218
SLD	50	0,056	2,491	0,243
SLV	475	0,157	2,480	0,269
SLC	975	0,204	2,474	0,278

5.3 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	1,460		C_c	1,431

5.4 Stabilità del sito nei confronti della liquefazione

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

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

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

a_g	0,157
S_s	1,200
S_t	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,188 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 -50/-60 m dal p.c. e quindi ad una profondità maggiore rispetto a 15 m previsti dal comma 2 (**verificato**).

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

6. FATTIBILITÀ GEOLOGICA E VINCOLI DELL'AREA DI PROGETTO

Dall'analisi della cartografia allegata allo *Studio Geologico redatto per l'Aggiornamento della "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio"* di Lonato del Garda (Luglio 2009 - Rev. 01 Dicembre 2019), è stato verificato che il sito di progetto ricade nella **Classe di Fattibilità 1 senza particolari limitazioni d'uso**.

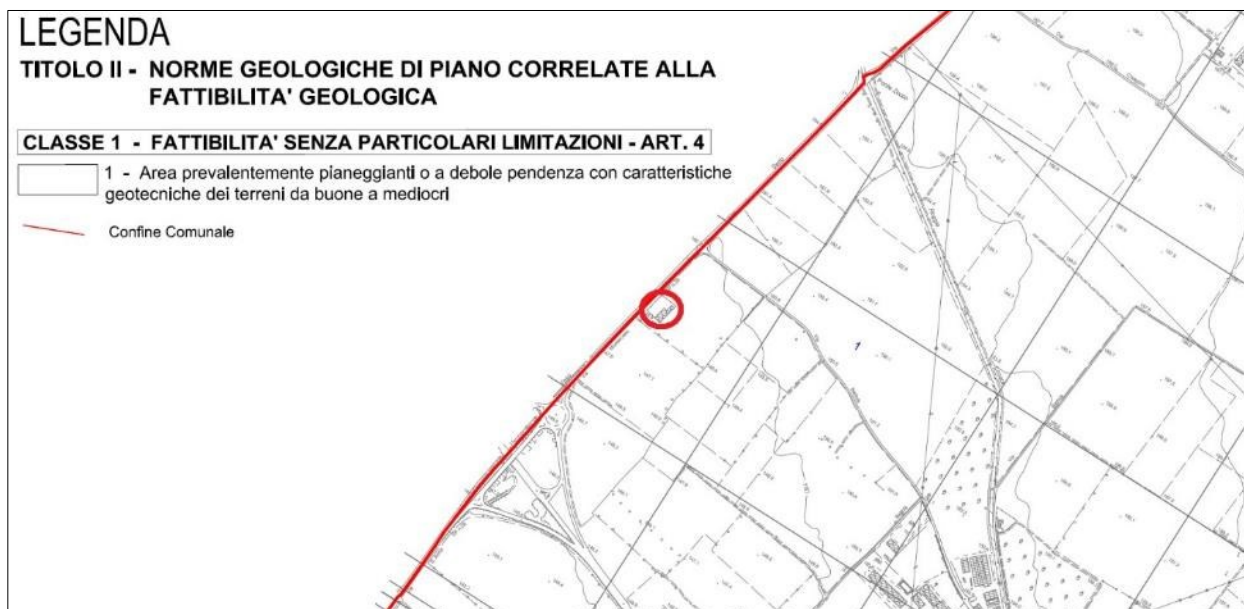


Fig. 20 - Stralcio della "Carta di Fattibilità per l'Applicazione delle Norme Geologiche di Piano" (SG Tav. 13), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

Per tale classe di Fattibilità Geologica, lo Studio Geologico allegato P.G.T. comunale prevede solo alcune limitazioni ed eventuali approfondimenti da effettuare in funzione delle specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione delle sottoclassi individuate, di seguito enunciate:

✓ **CLASSE 1** (Aree prevalentemente pianeggianti o a debole pendenza con caratteristiche geotecniche dei terreni da buone a mediocri)

In questa sottoclasse ricadono le aree per le quali non esistono particolari limitazioni di carattere geomorfologico, idrogeologico o geotecnico per l'urbanizzazione o la modifica della destinazione d'uso.

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

È stata verificata inoltre 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.

Si segnala in merito che, a seguito dell'esecuzione delle indagini geognostiche in sito, non è stato rilevato alcun livello acquifero fino a -3,3 m di profondità dal p.c..

Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di livelli acquiferi continui a partire da circa -50/-60 m dal p.c., circolanti nei depositi della sequenza deposizionale fluvioglaciale ad elevata permeabilità. Si segnala in definitiva che le opere di progetto non interferiranno con fenomeni di circolazione d'acqua sotterranea.

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.

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

Nell'area in esame, non si segnalano, per questa classe di Fattibilità Geologica e per le corrispondenti limitazioni previste, scelte progettuali e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche ed idrografiche dell'area. Inoltre, si ritiene che le opere di progetto, non risultano in grado di alterare gli elementi geomorfologici che strutturano il paesaggio.

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 gli scenari di fattibilità generale previsti per l'area oggetto di studio.

Nello stesso Studio Geologico comunale si segnala la presenza, presso l'area di progetto, di **Normative di vincolo** (*Carta dei vincoli – Tav. 11 - Agosto 2022*) correlate allo scenario di pericolosità frequente da alluvione (H) di tipo P3, relativo al Reticolo Secondario di Pianura (RSP) (**Fig. 21**).

Secondo la D.G.R. X/6738 del 19/06/2017, in tali aree esondabili per la piena frequente (P3/H) dell'ambito RSP, le caratteristiche delle alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppur caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui. Inoltre: "In questo caso si ritiene quindi che sussistano consistenti limitazioni all'utilizzo per scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Sono pertanto da applicare le limitazioni relative alla classe 3 di fattibilità geologica".

Si ritiene in merito che le opere progettuali, non possano comportare modifiche, riduzioni e/o interferenze della capacità di invaso degli argini e delle opere di difesa esistenti dei corsi d'acqua afferenti al reticolo secondario di pianura consortile.

Per la trattazione nello specifico di tale vincolo si rimanda in ogni caso alla Relazione di Compatibilità Idraulica a firma dell'Ingegnere Idraulico incaricato dalla Committenza.

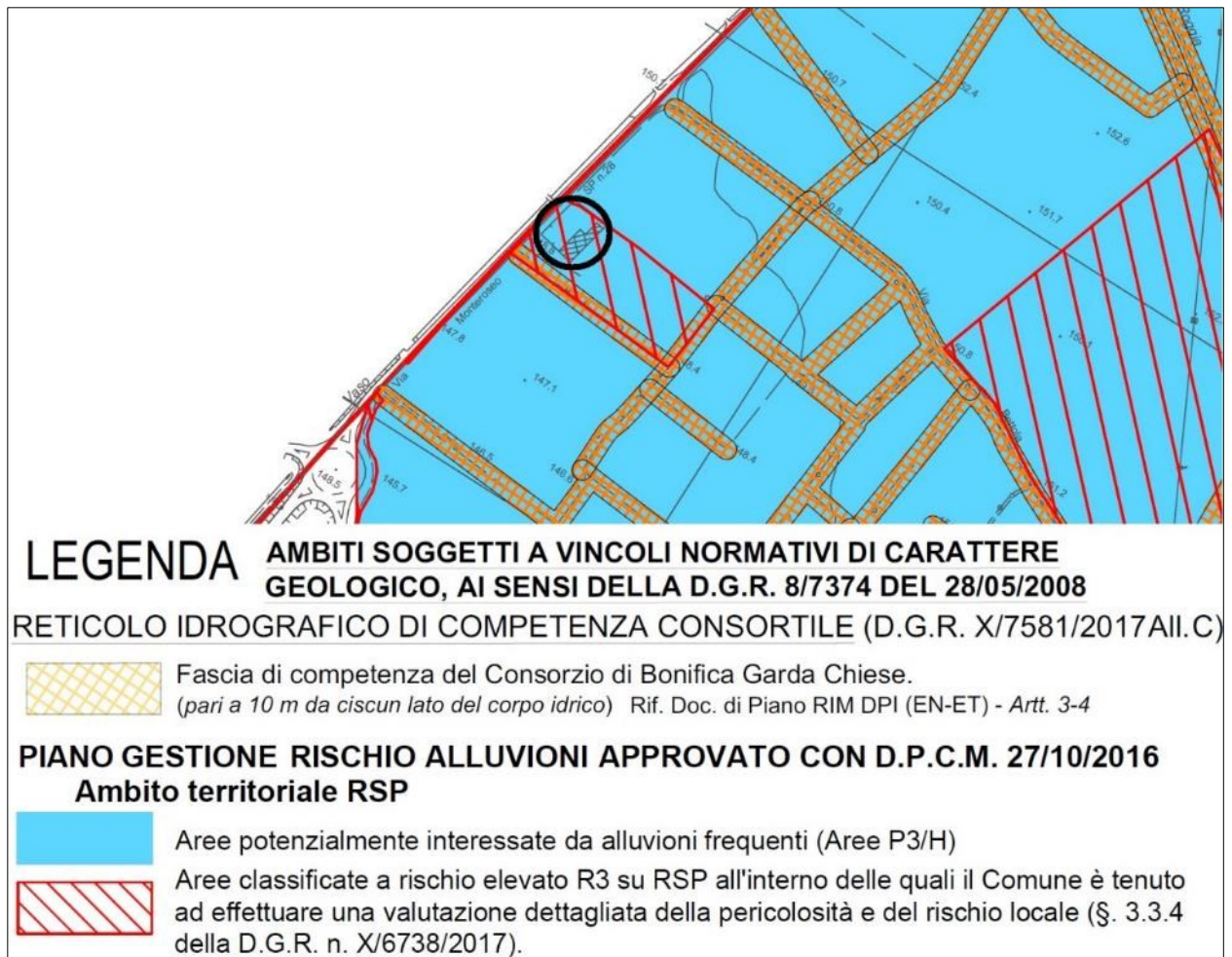


Fig. 21 - Stralcio della "Carta dei Vincoli Geologici" (SG Tav. 11), allegata allo Studio Geologico del P.G.T. comunale, con ubicazione dell'area d'interesse.

B. RELAZIONE GEOTECNICA R2

7. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito (Prove Penetrometriche e Prospezioni Sismiche) 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 rimaneggiato e/o riportato limoso-sabbioso con ciottoli, da scarsamente a moderatamente addensato.
- ✓ Unità Geotecnica FG (Strato 2): Depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli, da addensati a molto addensati. Dai dati sismostratigrafici tale unità sembra possedere continuità fino a circa 25-30 m dal p.c.; oltre la quale si ipotizza la presenza di depositi particolarmente addensati/cementati della 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	1,80	28°	40	45	Da scarsamente a moderatamente addensato
da 0,0 m a -1,2 m					
STRATO 2	1,95	34°	80	250	Da addensato a molto addensato
Oltre -1,2 m dal p.c.					

γ_{nat} = Peso unitario del terreno, ϕ = Angolo di resistenza al taglio,

Dr = Densità relativa Skempton, E_y = modulo di Young per terreni granulari

Alla luce del modello geotecnico redatto in base ai risultati delle prove penetrometriche eseguite nel sito di indagine, si ritiene di poter eseguire i calcoli geotecnici in condizioni drenate, trascurando cautelativamente la componente coesiva dei terreni di fondazione.

8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DELLE FONDAZIONI

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

Per la realizzazione dei piani di posa delle nuove fondazioni, è stata quindi ipotizzata una profondità di scavo media pari a circa -1,2 m rispetto al p.c., per le opere di progetto previste, comprese di fondazione e magrone, intercettando quindi l'Unità FG - Strato 2 a buone caratteristiche geotecniche.

In fase di preparazione del piano di appoggio sarà quindi opportuno verificare che il fondo sia omogeneamente caratterizzato dai depositi dell'unità geotecnica prevista e comunque privo di lenti argilloso-limose scarsamente addensate o di eventuali 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 in questa sede, per la realizzazione delle fondazioni del nuovo deposito progettuale, l'utilizzo di **strutture a trave rovescia**.

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.

Di seguito si riportano le specifiche geometrie ipotizzate e i parametri geotecnici caratteristici dei terreni di sottofondazione:

Trave di fondazione	
larghezza (m)	altezza Df (m)
0,80	0,40
1,00	
1,20	

Strato 1

Strato 2

Parametri geotecnici	
γ_{nat} (t/m ³)	ϕ
1,80	28°
1,95	34°

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:

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

in cui:

N_c, N_q, N_y = fattori di capacità portante funzione di ϕ

s_c, s_q, s_y = fattori di forma della fondazione



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 - 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

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

ic, dq, dy = fattori correttivi per carichi inclinati

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

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

D = altezza della fondazione o del terreno di confinamento

B = lato minore della fondazione

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

Trave di fondazione	
larghezza (m)	$Q_{lim\ M1}$ (kg/cm ²)
0,80	10,02
1,00	10,39
1,20	10,94

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:

Trave di fondazione	
larghezza (m)	$R_d\ (A1+M1+R3)$ (kg/cm ²)
0,80	4,36
1,00	4,52
1,20	4,76

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.

Trave di fondazione	
larghezza (m)	R_d (kg/cm ²)
0,80	2,50
1,00	2,57
1,20	2,68

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 (P_{SLE}) ipotizzati in funzione delle opere di progetto.

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

Trave di fondazione		
P_{SLE} (kg/cm ²)	larghezza (m)	S_{TOT} (mm)
1,40	0,80	3,8
	1,00	4,7
	1,20	5,5
1,60	0,80	4,4
	1,00	5,6
	1,20	6,5
1,80	0,80	5,1
	1,00	6,4
	1,20	7,6

in cui:

P_{SLE} = pressione di esercizio sulla fondazione

S_{TOT} = cedimento totale

Per i terreni di fondazione potranno essere utilizzati valori del **coefficiente di sottofondazione di Winkler (k_w) pari a 2,5/3,0 kg/cm³**.

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. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

Gli interventi proposti dalla *Committenza* riguardano le opere di riqualificazione e cambio destinazione d'uso di un lotto ubicato presso S.P. 28, 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.

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

- a.** Dall'analisi delle verticali di prova, è stata verificata la presenza, di un primo spessore pari a circa 1,2 m di terreno di copertura superficiale rimaneggiato e/o di riporto (*Unità S - Strato 1*), da scarsamente a moderatamente addensato. Oltre -1,2 m dal p.c., sono presenti depositi fluvioglaciali costituiti in prevalenza da ghiaie e sabbie con ciottoli, da addensati a molto addensati (*Unità FG - Strato 2*).
- b.** Si segnala che alla data delle indagini non sono stati rilevati livelli acquiferi fino alla profondità di circa -3,3 m dal p.c.. Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato dalla presenza di una *falda freatica*, presente a circa -50,0/-60,0 m di profondità dal p.c.. Tuttavia, si segnala che possibili livelli di acquiferi superficiali / fenomeni di umidità, potrebbero essere rinvenuti entro i primi metri di profondità dal p.c., soprattutto in condizione di elevata alimentazione delle falde superficiali e al susseguirsi di stagioni caratterizzate da piovosità intensa e prolungata.
- c.** Per la realizzazione dei piani di posa delle nuove fondazioni, si considera una profondità di scavo pari a circa -1,20 m rispetto al p.c. (comprensivo di fondazione e magrone), intercettando quindi l'*Unità FG - Strato 2* a buone caratteristiche geotecniche.
- d.** Nella scelta di questa ipotesi, affidata ai *Tecnici progettisti*, in fase di preparazione del piano 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. In nessun caso, infatti, le nuove strutture di fondazione potranno poggiare su coltri vegetali o su terreni a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti (eventualmente non rilevati con le prove penetrometriche eseguite in sito), o in presenza di terreno rimaneggiato dalle operazioni di scavo.
- e.** Considerando la natura dei depositi presenti, in accordo con quanto descritto nei capitoli precedenti e con i *Tecnici della Committenza*, si ipotizza, per la realizzazione delle nuove fondazioni l'utilizzo di **strutture a trave rovescia**.
- f.** Si rimanda in ogni caso al Progettista incaricato ogni valutazione inerente la tipologia delle fondazioni da utilizzare, soprattutto in funzione delle verifiche indicative agli Stati di Limite, Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE), riportate nel precedente capitolo. Si rimane altresì disponibili ad ulteriori calcoli e confronti diretti in merito alle Verifiche agli Stati Limite e per quanto concerne la valutazione dei cedimenti attesi.
- g.** A fine scavo di preparazione per la posa delle fondazioni quindi, in caso di presenza di terreni a caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti, 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.

- h.** 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.
- i.** 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.

10.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 1** 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 si segnalano inoltre **Normative di vincolo** correlate allo scenario di pericolosità frequente da alluvione (H) di tipo P3, relativo al Reticolo Secondario di Pianura (RSP) Si ritiene in merito che le opere progettuali, non possano comportare modifiche, riduzioni e/o interferenze della capacità di invaso degli argini e delle opere di difesa esistenti dei corsi d'acqua afferenti al reticolo secondario di pianura consortile. Per la trattazione nello specifico di tale vincolo si rimanda in ogni caso alla Relazione di Compatibilità Idraulica a firma dell'Ingegnere Idraulico incaricato dalla *Committenza*.
- ✓ 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 del Garda entro lo scenario di **pericolosità sismica Z4a** “*Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*”.
- ✓ Per lo scenario di pericolosità Z4 è stata eseguita un'analisi sito-specifica (I Grado - II Livello di approfondimento – APP 5 secondo quanto indicato nella D.G.R. 30/11/2011 n° IX/2616) per la Stima del Fattore di Amplificazione di sito. I risultati ottenuti per il calcolo del fattore di amplificazione, considerando la variabilità di +0,1 in termini di Fa prevista dalla normativa, indicano che sia per edifici con periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s, che per edifici con periodo compreso tra 0,5 e 1,5 s, si ottengono valori di Fa di sito inferiori ai valori di Fa di soglia comunale 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 ≤ FAS**).



CRESTANA S.r.l.s.

Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

- ✓ 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 (R_d)**, ed è stata ipotizzata l'entità dei **cedimenti (S)** riferiti ad alcuni carichi di esercizio (P_{SLE}), considerando fondazioni superficiali di tipo nastriformi, per le opere di progetto previste. 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 di riqualificazione e cambio destinazione d'uso, 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, 14 Ottobre 2024

Dott. Geol. Niccolò Crestana



CRESTANA S.r.l.s.

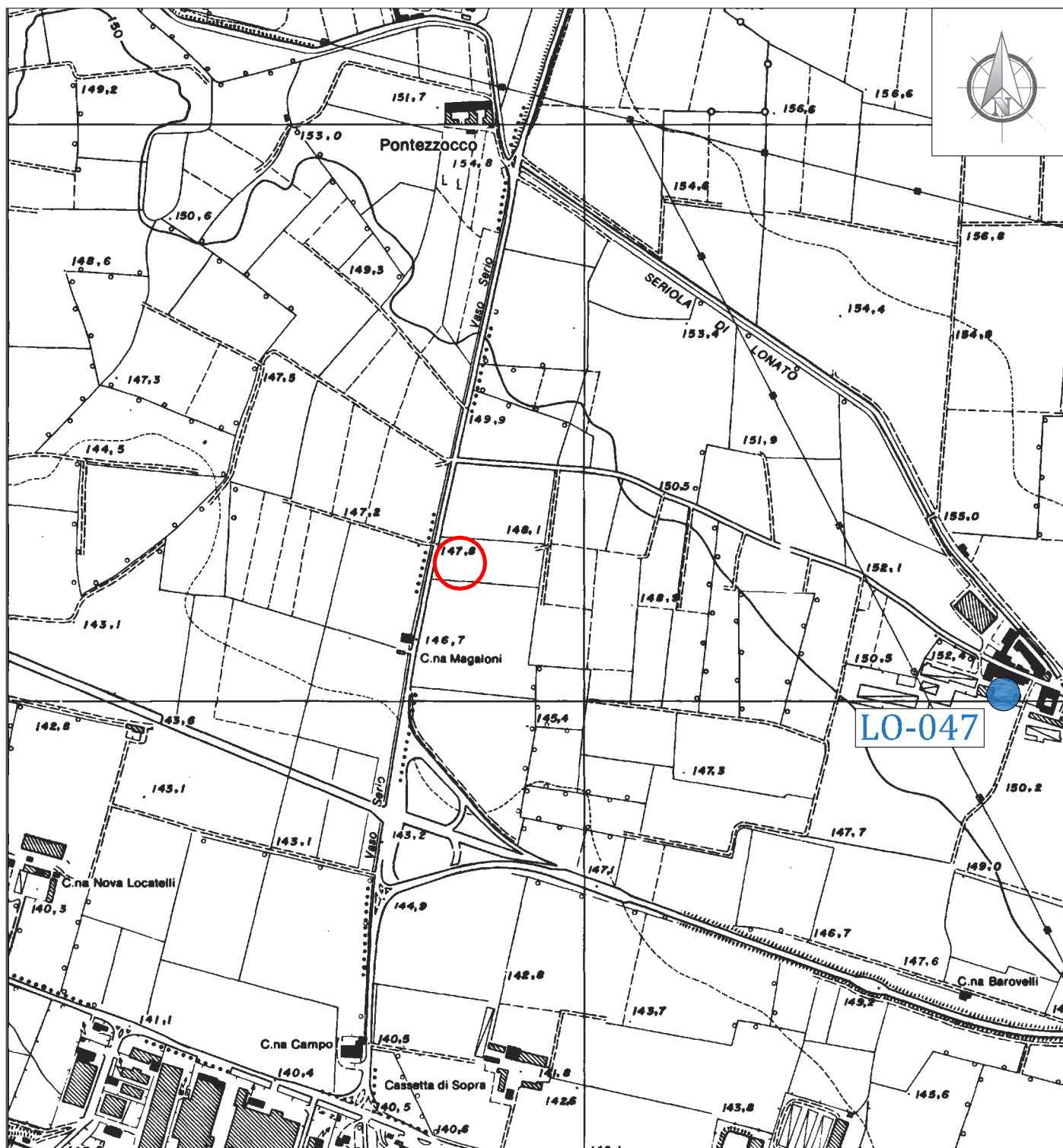
Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 – 349 2936733

mail: info@crestanasrls.com www.crestanasrls.com

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

Tav. 1



LEGENDA



Area in esame

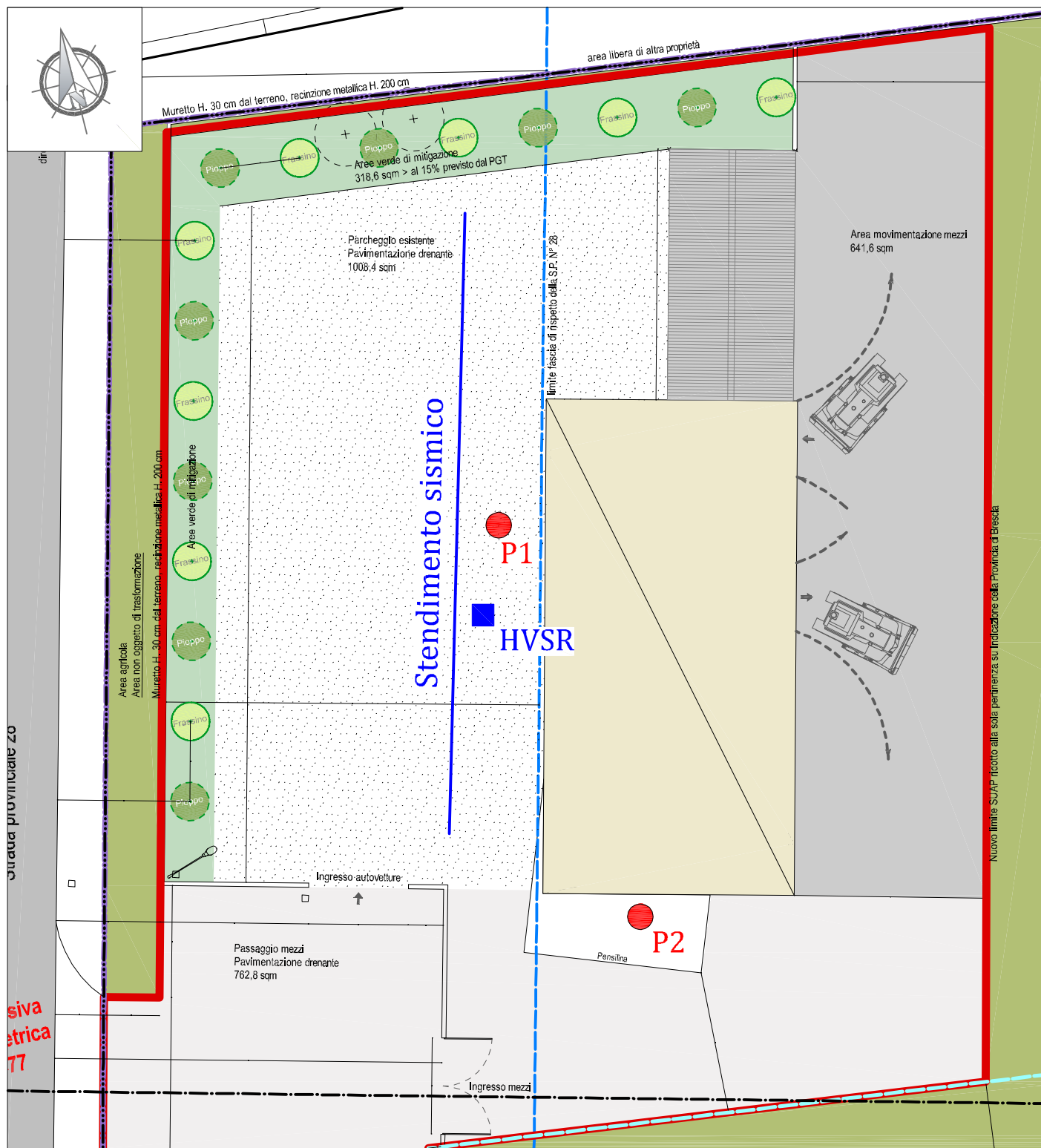
LO-047



Pozzo con stratigrafia
in allegato

PLANIMETRIA DI PROGETTO CON UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE
SCALA 1:250

Tav. 2



LEGENDA

P1



Prova penetrometrica
 dinamica standard
 SCPT-DPSH

HVSr



Misura del microtremore
 sismico ambientale
 mediante tecnica HVSr

stendimento sismico

Prospezione
 sismica MASW



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: S.P. 28 - Lonato del Garda (BS)

Data di esecuzione: 09/10/2024

Committente: Ammit S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

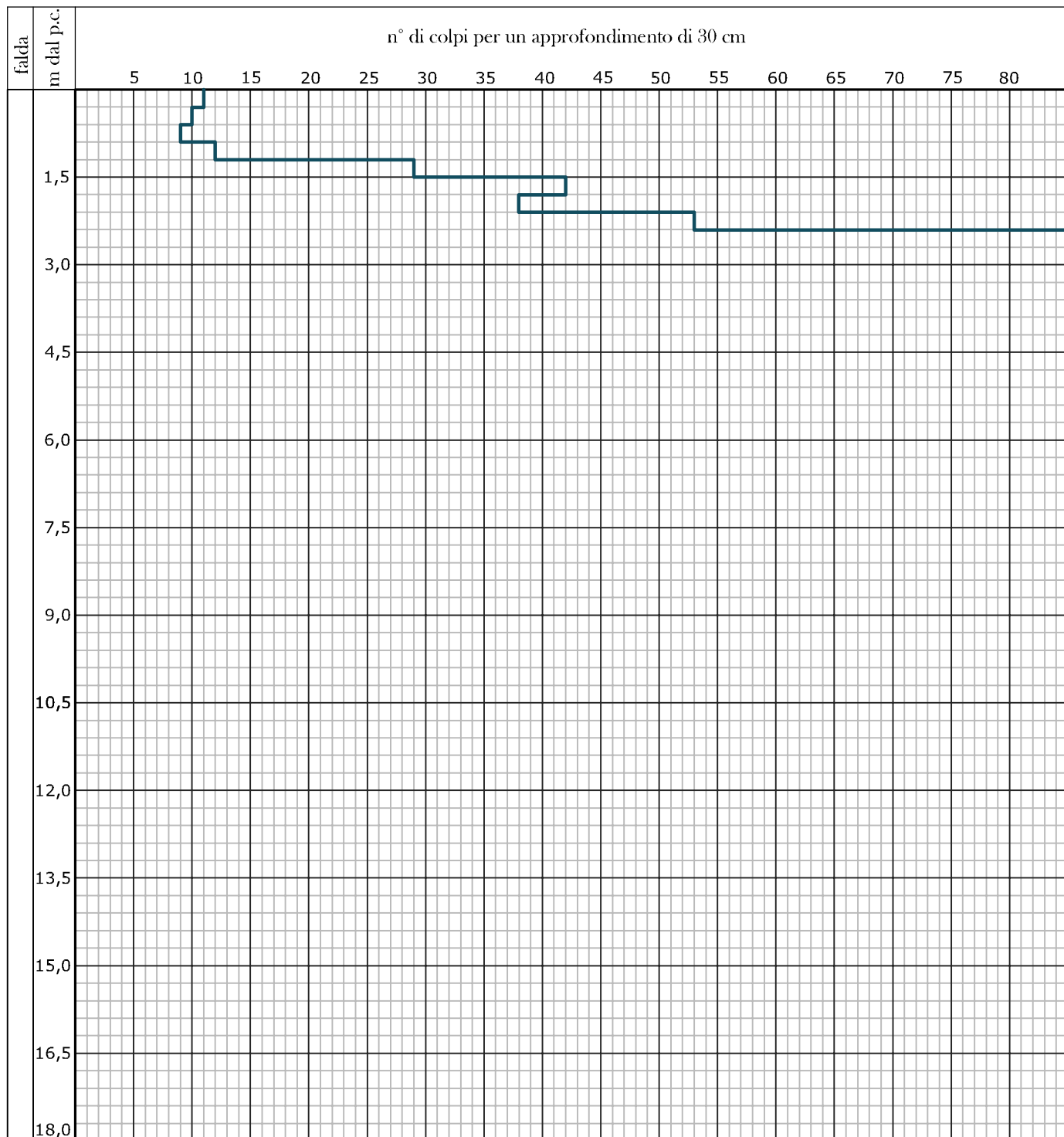
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



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: S.P. 28 - Lonato del Garda (BS)

Data di esecuzione: 09/10/2024

Committente: Ammit S.r.l.

Scala diagramma: 1:100

Avanzamento punta: 

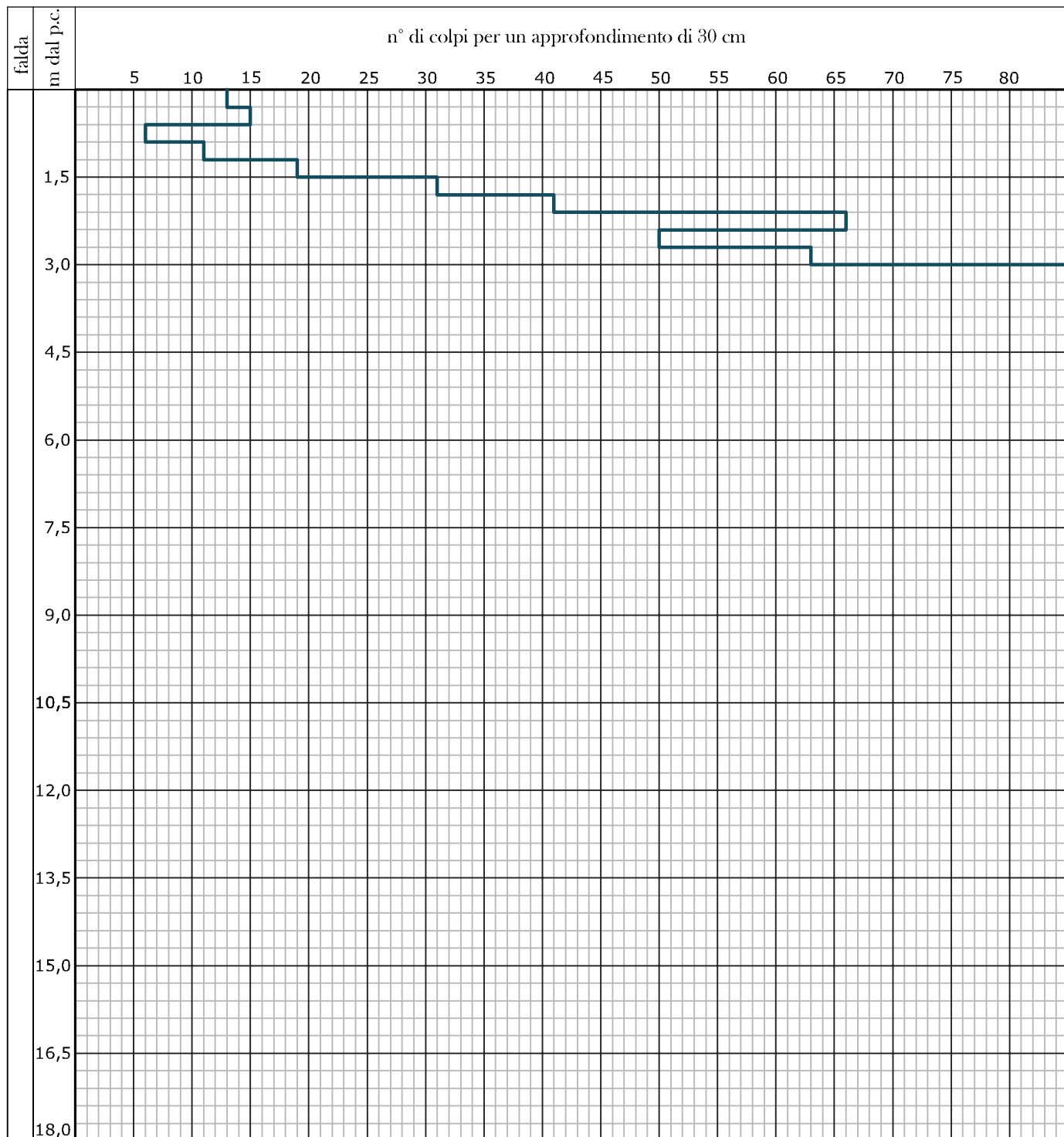
Avanzamento rivestimento: 

Piezometro Φ 1/2"

 tratto cieco

 tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200

ALLEGATO FOTOGRAFICO



Stendimento sismico M.A.S.W.



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



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



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



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



Prova penetrometrica SCPT – P2

