



Regione Lombardia



Comune di Lonato del Garda

Costruzione nuovi edifici residenziali – Residence Le Pirlette

Via Lavagnone s.n.c. – Lonato del Garda (BS)

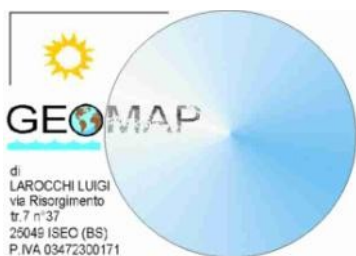
RELAZIONE GEOLOGICA L.R. 12/05 - D.G.R. IX/2616/2011 - D.M. 17/01/2018

(Relazione R3 ai sensi della L.R. 33/2015 e della D.G.R. X/5001/2016)

- RIFERIMENTI PROGETTUALI E NORMATIVI
- COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON LE RISULTANZE DELLO STUDIO GEOLOGICO E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITA', DI VINCOLO E PERICOLOSITA' SISMICA
(Relazione R1 ai sensi della L.R. 33/2015 e della D.G.R. X/5001/2016)
- CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
- ASSETTO IDROGRAFICO
- SISMICITA'
- INDAGINI GEOGNOSTICHE – APPROFONDIMENTO RELATIVO ALLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

COMMITTENTE: MARTINA RE S.p.A. – Viale Bianca Maria n°25 – 20129 – Milano (MI)

Iseo, ottobre 2023



Dott.geol. Luigi Larocchi

N°1172 o.g.l.



1. PREMESSA	3
1.1 LOCALIZZAZIONE DEL SITO	4
1.2 RIFERIMENTI NORMATIVI	7
1.3 COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO CON LE RISULTANZE DELLO STUDIO GEOLOGICO DEL PGT	8
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
2.1 GEOLOGIA	15
2.2 IDROGEOLOGIA	19
3. ANALISI SISMICA CONGIUNTA MASW - HVSR	22
3.1 ANALISI HVSR	22
3.1.1 ATTREZZATURA IMPIEGATA	24
3.1.2 RISULTATI	24
3.2 ANALISI HOLISURFACE	28
3.2.1 ATTREZZATURA IMPIEGATA	29
3.2.2 ANALISI CONGIUNTA HOLISURFACE + HVSR E MODELLO SISMICO	30
3.3 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	33
3.4 APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO	34
3.4.1 ANALISI DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	35
3.5 CATEGORIA TOPOGRAFICA	36
3.6 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO	36
3.7 PARAMETRI SISMICI DI SITO	37
4. INDAGINE GEOGNOSTICA	38
5. ELABORAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI	41
5.1 UNITÀ LITOTECNICHE	41
5.1.1. DESCRIZIONE PARAMETRI CARATTERISTICI NELLE UNITÀ LITOTECNICHE	42
6. MISURA DELLA PERMEABILITÀ	42
6.1 CENNI TEORICI	42
6.2 PROVA IN FORO DI SONDAGGIO	43
6.2.1 PROVA A CARICO COSTANTE	43
7. CONCLUSIONI	45

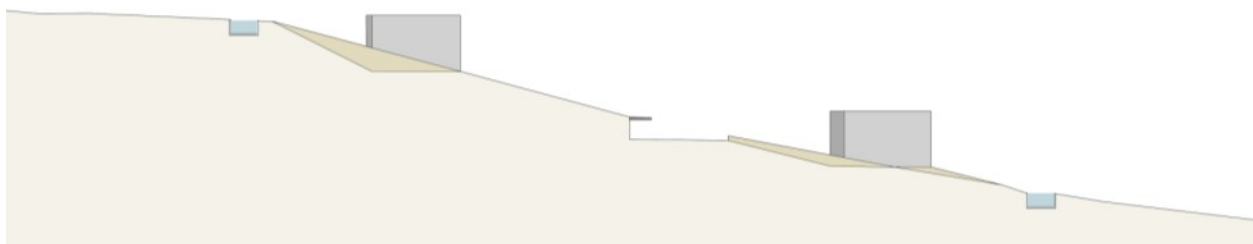
1. PREMESSA

Su incarico della società MARTINA RE S.p.A. con sede in Viale Bianca Maria n°25 nel comune di Milano (MI) in qualità di committente dei lavori e studio tecnico progettista, è stata condotta una campagna di indagini geotecniche, di analisi congiunta della dispersione della componente radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e di sismica passiva con acquisizione del microtremore ambientale, presso i terreni interessati dalle opere in progetto situati in Via Lavagnone s.n.c. nel comune di Lonato del Garda (BS).

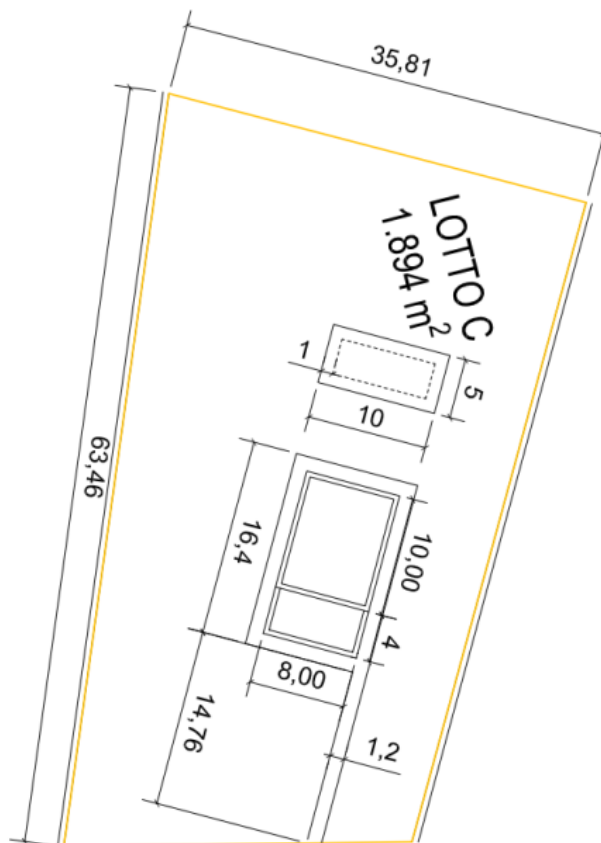
La presente relazione è finalizzata a definire gli elementi geologici, geotecnici e sismici ai sensi della D.g.R. n.IX/2616 del 30 novembre 2011 e del D.M. 17 gennaio 2018 del sito dove è prevista la realizzazione di undici villette residenziali costituite da un piano seminterrato ed un piano fuori terra.



Planimetria generale di progetto



Sezione di progetto



Planimetria villetta singola

Con la documentazione in oggetto si descrive l'assetto territoriale nelle sue componenti geologiche e gli aspetti **geologico-tecnici** del terreno su cui verranno posate le fondazioni delle strutture in progetto.

1.1 Localizzazione del sito

I terreni interessati dalle opere in progetto sono situati nella porzione meridionale del territorio comunale di Lonato del Garda, sul versante di una collina appartenente all'anfiteatro morenico del Garda. I terreni sono in pendenza verso est (pendenza > 15°) e si pongono ad una quota media di 125 metri sul livello del mare (m s.l.m.).

Si tratta di una nuova lottizzazione, dove alcuni dei lotti confinanti sono già stati edificati, altri sono in fase di realizzazione. La zona ovest è caratterizzata da edifici residenziali singoli ed a schiera generalmente di due piani fuori terra, mentre l'area posta ad est è a vocazione agricola.

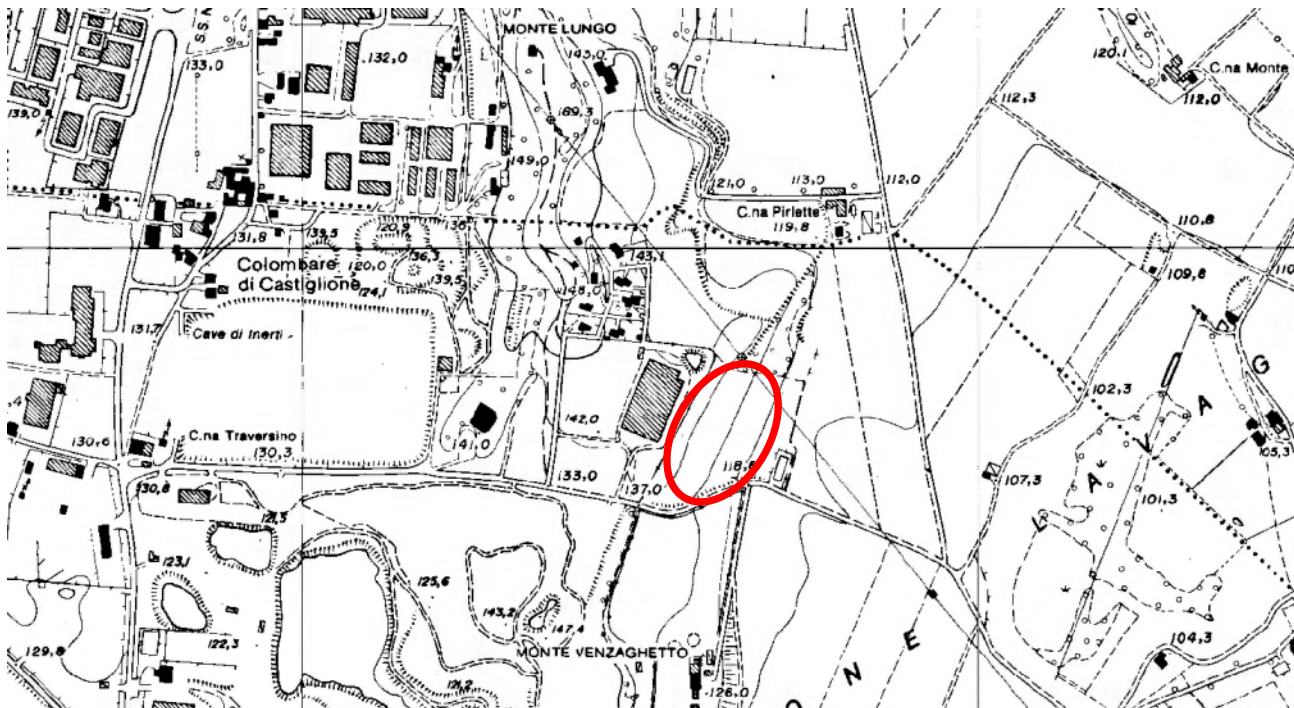
I dati catastali del sito in esame sono i seguenti:

Comune catastale di Lonato del Garda - Foglio NCT 48 – mappali 32-33



<https://www.catasto.servizirl.it/rlter/public/viewer30/index.jsp>

Nell'illustrazione che segue viene mostrata l'ubicazione del sito, interessato dalle indagini, su C.T.R. alla scala 1:10.000 e su immagine satellitare.



C.T.R. scala 1:10.000 con ubicazione area interessata dalle indagini

Il nord coincide con il margine superiore della carta



Immagine satellitare con ubicazione area interessata dalle indagini

Il nord coincide con il margine superiore della fotografia

1.2 Riferimenti normativi

La presente relazione è stata eseguita conformemente alla normativa vigente. Si riportano di seguito le principali norme attuative seguite.

Si è tenuto conto dell'art. 25 della L.R. 12/05 e dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11/03/05 n° 12", emanate con D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011 e con D.G.R. X/2129 del 11/07/14 e D.G.R. n. X/4144 del 08/10/15.

Con delibera dell'Autorità di Bacino n°18 del 26/4/2001 "Adozione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino idrografico di rilievo nazionale del Fiume Po" e del successivo D.P.C.M. del 24/5/2001 (pubblicato sulla G.U. della Repubblica Italiana n°183 del 8/8/2001) di approvazione, il PAI è entrato definitivamente in vigore portando effetti immediati in termini di indirizzi urbanistici e limitazioni d'uso del suolo.

A seguito della Deliberazione n. 2 del 03/03/2016 del Comitato Istituzionale del Bacino del Fiume Po è stato approvato il "Piano di Gestione del Rischio delle Alluvioni nel Distretto del PO (PRGA)" in conformità agli artt. 7 e 8 della Direttiva 2007/60/CE dell'Art. 7 del D. Lgs 49/2010 nonché dell'Art. 4 del D. Lgs. 219/2010. Al PGRA sono allegate le Mappe della Pericolosità e del Rischio Alluvioni predisposte in coerenza con quanto previsto dall'Art.6 dello stesso D. Lgs. 49/2010 e che costituiscono specifici elaborati di Piano. Nelle more dell'adozione definitiva ed approvazione della Variante al PAI ed ai fini del necessario recepimento delle aree di Pericolosità derivanti dal PRGA nello strumento urbanistico si deve tenere conto di quanto richiamato nelle premesse della Deliberazione n. 5/2015, parte integrante e sostanziale della stessa, in particolare laddove per le Aree a Rischio Significativo (ARS) individuate nel PGRA si rimanda alle misure di salvaguardia previste dall'Atto di indirizzo e coordinamento del D.L. 11 giugno 1998, n. 180, approvato con D.P.C.M. 29 settembre 1998, che, fino all'adozione definitiva della Variante al PAI di introduzione del Titolo V, si devono ritenere applicabili per le aree di cui all'art. 1, comma 1, lett. b) del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, convertito con modificazioni nella legge 11 dicembre 2000, n. 365

La Regione Lombardia con D.G.R. X/2129 del 11/07/14 ha approvato un "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", che recepisce definitivamente, ed anche dal punto di vista amministrativo, la classificazione dell'OPCM 3519/2006 e che, sulla base della successiva D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. X/4144, è entrato in vigore a partire dal 10 Aprile 2016.

E' stata pertanto assegnata per il Comune di Lonato del Garda (BS) la **zona sismica 2**

1.3 Compatibilità dell'intervento con le risultanze dello studio geologico del PGT

Lo Studio ha previsto una prima fase di acquisizione di tutti i dati reperibili in letteratura, da precedenti indagini geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geognostiche eseguite in prossimità dell'area in esame. E' stato effettuato il rilevamento geologico e geomorfologico di un intorno significativo.

L'entrata in vigore del D.G.R. datato ottobre 2001 - N° 7/6645, relativo all' "Approvazione delle direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della L.R. 41/97", ha reso necessario l'aggiornamento degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici comunali. Il comune di Lonato del Garda ha quindi predisposto, conformemente alle disposizioni contenute nel punto 5.2.2 della D.G.R. 7365 dell'11 dicembre 2001, una **carta della fattibilità geologica** contenente il quadro dei dissesti esistenti sull'intero territorio comunale, con legenda uniformata a quella del PAI.

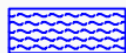
L'intervento da realizzare ricade, nella carta della fattibilità geologica, all'interno delle **classi 2c-2d** di fattibilità (fattibilità con modeste limitazioni) e parzialmente in **classe 3b** (fattibilità con consistenti limitazioni), a motivo dell'acclività del versante, come mostrato nel seguente stralcio della Carta della Fattibilità Geologica tratta dal P.G.T. del comune di Lonato del Garda del dicembre 2019 a cura dei dott. geol. Rosanna Lentini, Mirko Braiato e Damiano Scalvini.

LEGENDA

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI



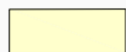
2a - Area ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda non sfruttata ad uso idropotabile)



2b - Area allagata per difficoltà di smaltimento delle acque di pioggia



2c - Aree di elevato interesse morfologico paesaggistico (peraltro in parte già rientranti in zone a vincolo ambientale ed idrogeologico):
- Ambito delle colline moreniche maggiormente articolate, a morfologia ondulata con ripiani subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti e prati permanenti.
- Fascia perilacustre.



2d - Area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°).

CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI - ART. 2

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



Carta della Fattibilità geologica - scala 1:10.000 con ubicazione area interessata dalle indagini.

Il nord coincide con il margine superiore della carta

Nello studio geologico comunale di adeguamento alla L.R. 12/05, nella redazione della carta della PSL alla scala 1:5.000 in applicazione alla D.G.R. 8/7374 del 2009, si nota che il sito in esame è stato inserito in una zona di possibile amplificazione sismica Z4c (zona morenica con presenza di depositi granulari). Tale contesto indica il rischio che un evento sismico ed i relativi scuotimenti producano effetti di amplificazione litologica in grado di alterare i risultati di un sisma sulla base di quanto previsto dalla D.G.R. n.IX/2616 del 30.11 2011.

AMPLIFICAZIONI TOPOGRAFICHE

-  Z3a - Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)
-  Z3b - Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (appuntite - arrotondate)

AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

-  Z4a - Zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi
-  Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio lacustre.
-  Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)



Ambito oggetto di attivita' di cava

017092L1

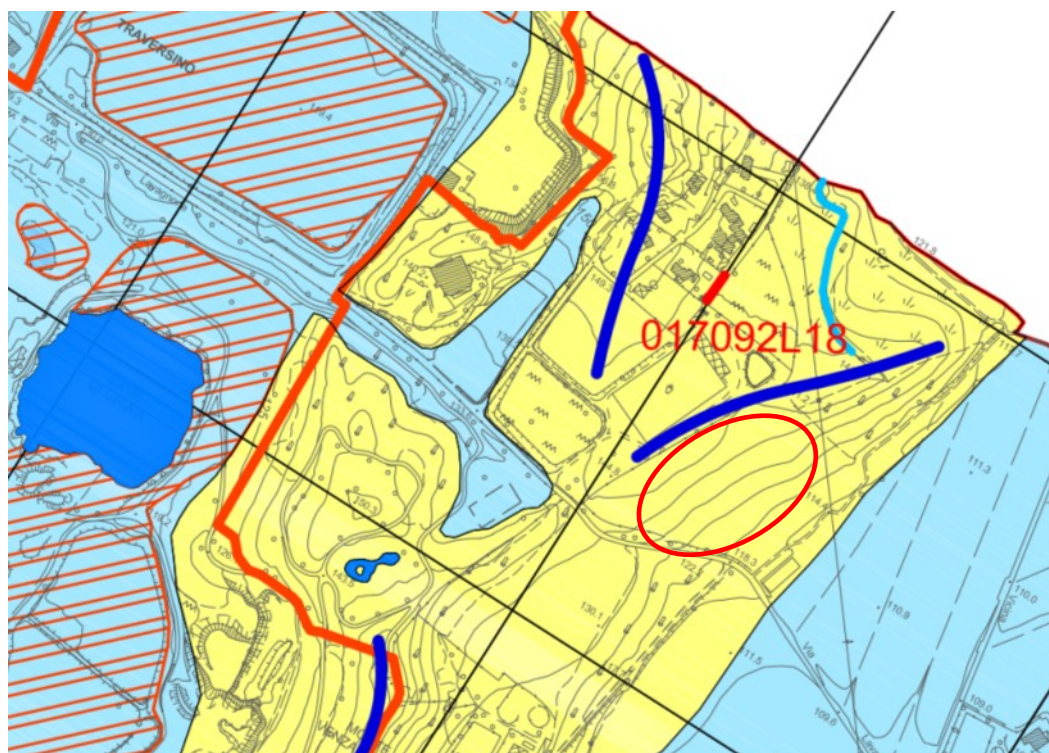
Stendimenti di sismica multicanale
(numerazione relativa all'Archivio Informatico delle Indagini dello Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale)

L1-19

Stendimenti di sismica multicanale
(numerazione relativa al presente studio di Aggiornamento dello Studio Geologico al P.G.T. vigente)



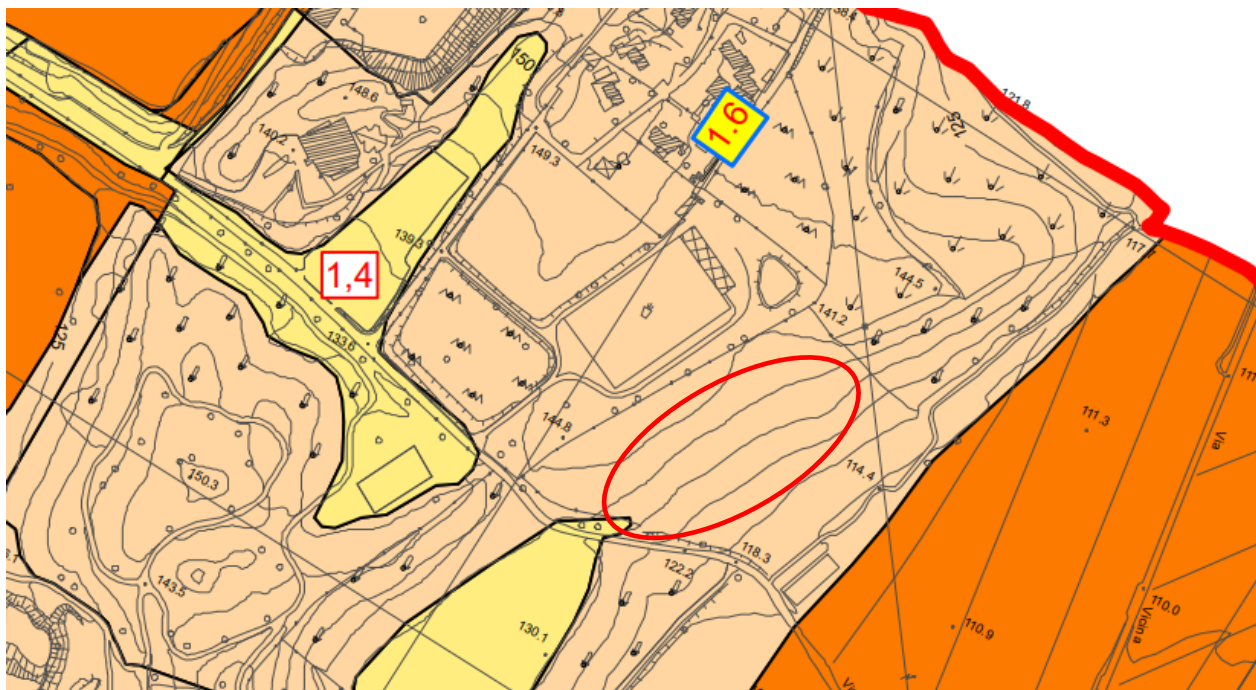
Lagheti



Carta della P.S.L. in scala 1:10.000 con ubicazione area interessata dalle indagini

Il nord coincide con il margine superiore della carta

Per questo contesto la normativa prevede il secondo livello di analisi degli effetti sismici di sito. Il secondo livello si applica a tutti gli scenari suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche e litologiche). La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima del fattore di amplificazione.



Carta di Microzonazione sismica livello II in scala 1:10.000 con ubicazione area interessata dalle indagini

Il nord coincide con il margine superiore della carta

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali litologiche

Fa compreso tra 1,1 e 1,6, per le quali la Categoria di Sottosuolo "B" e conseguentemente anche le Categorie di Sottosuolo "C-D-E", calcolate ai sensi del D.M. 14/01/2008 o del D.M. 17/01/2018, risulta sufficientemente cautelativa.

 $F_x = 1,1 \text{ e } 1,2$

 $F_x = 1,3 \text{ e } 1,4$

 $F_x = 1,5 \text{ e } 1,6$

Fa compreso tra 1,7 e 1,9, per le quali la Categoria di Sottosuolo "B" calcolata ai sensi del D.M. 14/01/2008 o del D.M. 17/01/2018, non risulta sufficientemente cautelativa.

 $F_x = 1,7 \text{ e } 1,8$

 $F_x = 1,9$

Fa compreso tra 2,1 e 2,4, per le quali la Categoria di Sottosuolo "B" e "C" calcolate ai sensi del D.M. 14/01/2008 o del D.M. 17/01/2018, non risultano sufficientemente cautelative.

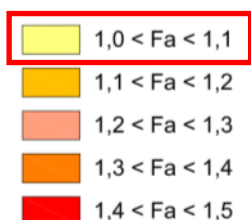
 $F_x = 2,1 \text{ e } 2,2$

 $F_x = 2,4$



Carta di individuazione delle aree di amplificazione topografica in scala 1:10.000
con ubicazione area interessata dalle indagini - Il nord coincide con il margine superiore della carta

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE



Z3a: Zona di ciglio $H > 10$ m

Z3b: Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo:
appuntite - arrotondate.

Nello stesso studio non si segnala la presenza, presso l'area d'interesse, di normative di **vincolo** correlate agli elementi idrografici appartenenti al Reticolo Idrico Minore o ad altre problematiche geologiche-idrogeologiche-geomorfologiche.

La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase per la gestione del rischio di alluvioni, che il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare, nel modo più efficace. Il PGRA, introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le

priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

In particolare è contenuta nel PGRA la cartografia riguardante le aree interessate dal rischio alluvioni, suddivise in base allo scenario di pericolosità e alla frequenza con cui l'evento alluvione possa accadere.

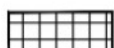
La zona in esame si trova al di fuori delle aree segnalate.



Carta PAI-PGRA 1:10.000 con ubicazione area interessata dalle indagini – Fonte PGT 2019

Il nord coincide con il margine superiore della carta

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)
ADOTTATO CON DEL.COM.IST. N.18 DEL 26/04/2001



Area di conoidi non recentemente riattivati o completamente protette da opere di difesa (Cn)
(Pericolosità media o moderata)

PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)
APPROVATO CON D.P.C.M. 27/10/2016

Ambito territoriale RSP



Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (Aree P3/H)

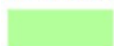


Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (Aree P2/M)



Aree classificate a rischio elevato R3 su RSP all'interno delle quali il Comune è tenuto ad effettuare una valutazione dettagliata della pericolosità e del rischio locale (§. 3.3.4 della D.G.R. n. X/6738/2017).

Ambito territoriale RSCM



Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (Aree P1/L)

Ambito territoriale ACL



Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (Aree P3/H)



Aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (Aree P2/M)



Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (Aree P1/L)

Tenuto conto di quanto sopra verificato relativamente alle Norme di PGT ad oggi vigenti, la presente relazione è redatta sulla base di tutti i dati geognostici raccolti e con particolare riguardo alla valutazione del Modello Geologico (D.M. 17/01/18) e Geofisico (D.M. 16/01/96, Ord. 3274/2003, Ord. 3519/2006, D.M. 14/01/08, D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016) del sito di progetto ed alla verifica della compatibilità dell'intervento con le normative vigenti ed all'individuazione di eventuali prescrizioni/interventi necessari per la sua realizzazione.

Sono stati quindi presi in considerazione anche gli aspetti geologico applicativi, definendo la natura litologica dei terreni presenti entro l'area d'intervento.

- Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione sono state eseguite indagini geognostiche sui terreni interessati dal carico delle fondazioni mediante esecuzione di undici prove penetrometriche DPSH (Prova Dinamica Superpesante). È stata raggiunta una profondità massima dal piano campagna di 6 m nell'area dove è previsto l'intervento, al fine di analizzare le caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni di fondazione, la qualità e quantità del terreno coltivo e/o di eventuali terreni di riporto e la presenza di circolazioni idriche che possano interferire con le strutture di fondazione. L'indagine si è svolta in ottemperanza alle normative di legge vigenti in materia secondo le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle raccomandazioni A.G.I. (1977).
- Per la valutazione delle velocità Vs30 di sito e la definizione del Modello Geofisico di Sito ai fini dell'analisi di 2° livello ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011, sono stati utilizzati i dati derivanti da una indagine di sismica passiva con analisi del microtremore sismico, da un'analisi di sismica attiva multicanale (MASW) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh e della componente trasversale dell'onda di Love.
- Per quanto concerne l'analisi del sistema idrografico si è tenuto conto di quanto riportato nello studio del reticolo idrico dell'intero territorio comunale procedendo, laddove necessario ad un'eventuale analisi di dettaglio secondo i criteri indicati in ultimo dalla D.G.R. n° 10/4229 del 31 ottobre 2015, in ottemperanza alla L.R. 1/2000. Sono state quindi esaminate le caratteristiche idrogeologiche del territorio d'interesse, con la descrizione delle falde circolanti nel sottosuolo dell'area oggetto di intervento. E' stata inoltre eseguita la stima della permeabilità dei terreni e sulla loro capacità disperdente.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio comunale di Lonato d/G occupa una superficie complessiva di circa 72 km² e si trova nella Lombardia Orientale, nella zona occidentale del Basso Garda essendo per buona parte compreso nell'anfiteatro morenico benacense.

I territori comunali contermini della Provincia di Brescia sono rappresentati da Calvagese della Riviera e Padenghe sul Garda verso Nord, Desenzano del Garda verso Est, Pozzolengo verso Est e Sud, Bedizzole, Calcinato e Montichiari verso Ovest. Il limite comunale, verso Sud, è completato da una parte confinante con i comuni di Castiglione delle Stiviere e Solferino (Provincia di Mantova).

Nell'estremo lembo nordorientale del territorio di Lonato d/G è compreso un breve tratto di costa del Lago di Garda.

Il paesaggio prevalente è tipico dell'ambiente collinare morenico, con quote che vanno dal livello del lago (65 m s.l.m.) ai 283 m s.l.m. di Monte Falò, che rappresenta il rilievo altimetricamente più elevato. D'altra parte si hanno estesi settori di pianura intramorenica interposti ai rilievi collinari costituenti i diversi ordini delle cerchie moreniche.

2.1 Geologia

Il territorio di Lonato del Garda è caratterizzato dalla presenza unità Quaternarie legate all'azione dei ghiacciai.

Le unità più rappresentative sono l'Unità di Sedena e l'Unità di Solferino.

L'Unità di Sedena affiora esternamente all'Unità di Solferino, possedendo il ghiacciaio un'estensione leggermente maggiore. In territorio di Lonato d/G è rappresentata la morena più esterna dell'unità (rilievi collinare di Drugolo, C.na Falcone, Sedena, S.Zeno, C.na Pozze, ecc.), disposta nella porzione occidentale e allungata in direzione circa NNW-SSE, a costituire il bordo collinare a ridosso dell'ampia pianura fluvio-glaciale (piana occidentale di Lonato) in parte riconducibile alla stessa fase di Sedena e formatasi a seguito del ritiro del ghiacciaio riferito alla Fase di Carpenedolo, e quindi ad un apparato glaciale più antico e maggiormente esteso.

I depositi morenici di cordone corrispondono ai fronti di massima espansione del ghiacciaio in corrispondenza dei quali si aveva l'accumulo caotico dei materiali glaciali. La fase di Sedena ha dato luogo ad un allineamento ben definito, caratterizzata da poche pulsazioni. I depositi sono costituiti da diamicton massivi per lo più a supporto clastico (Dcm) ma talora a supporto di matrice (Dmm). Risultano frequentemente presenti anche grossi trovanti poligenici con dimensioni fino a vari m³. Nell'ambito del complesso modello deposizionale morenico sono previste eterogeneità litologiche con variazioni nel contenuto di frazione fine che risultano talora molto accentuate anche in zone contigue. Così si possono ritrovare settori con litologia più francamente limoso-sabbiosa prevalente sullo scheletro granulare (Dmm). In questi casi i depositi glaciali assumono tipica colorazione grigia (più argillosa) o color ocra-nocciola (più limosa).

I depositi glacio-lacustri occupano limitati settori depressi entro i cordoni morenici, essendo correlati ad una posizione proglaciale-marginale rispetto al ghiacciaio. Sono rappresentati da depositi a granulometria medio fine, quali limi e sabbie con scarsa presenza di ghiaia (SI, FI) in funzione di un ambiente deposizionale di bassa energia. Sono in ogni caso presenti dei livelli più francamente ghiaioso-sabbiosi. Alla fase di Sedena possono essere attribuiti dei limitati settori intramorenici sviluppati nella porzione settentrionale del territorio, articolate assecondando le irregolarità dei dossi.

I depositi fluvioglaciali sono costituiti prevalentemente da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e si presentano poco stratificati; i ciottoli sono per lo più arrotondati ed in subordine subangolari.

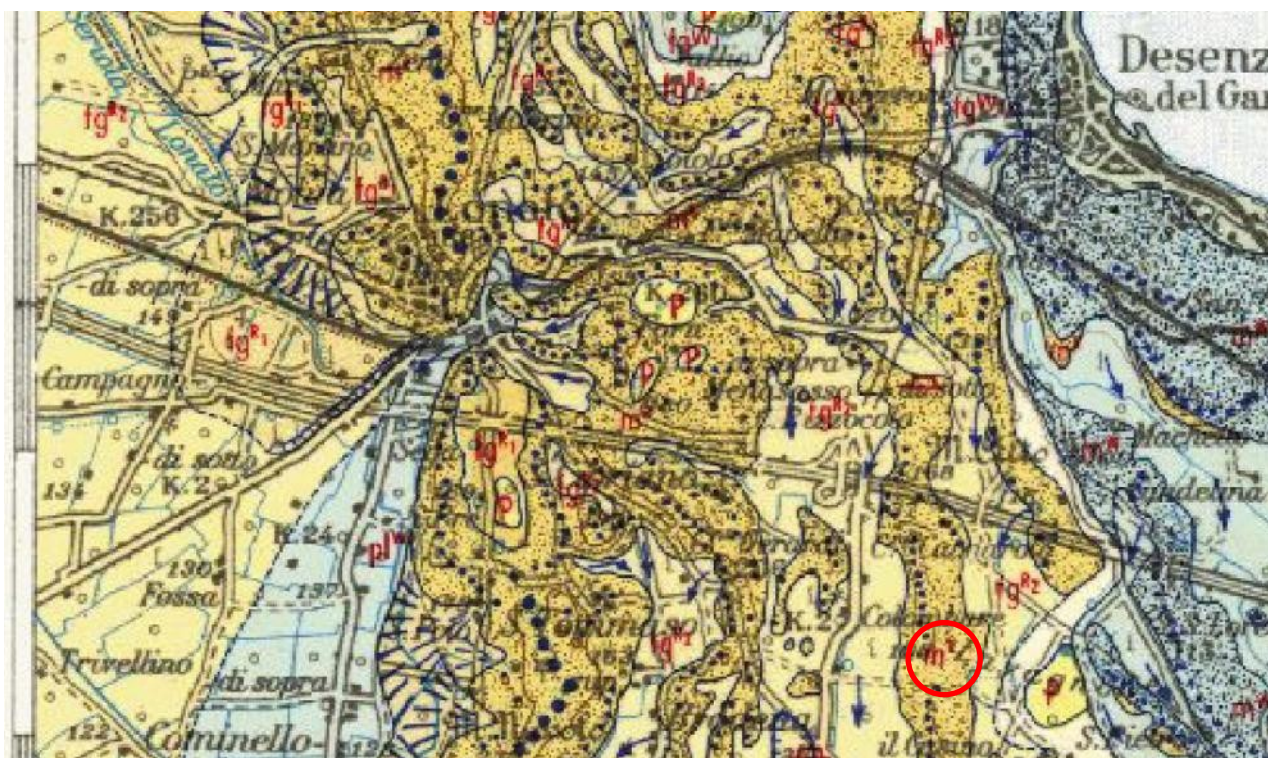


Depositi glaciali presenti in sito



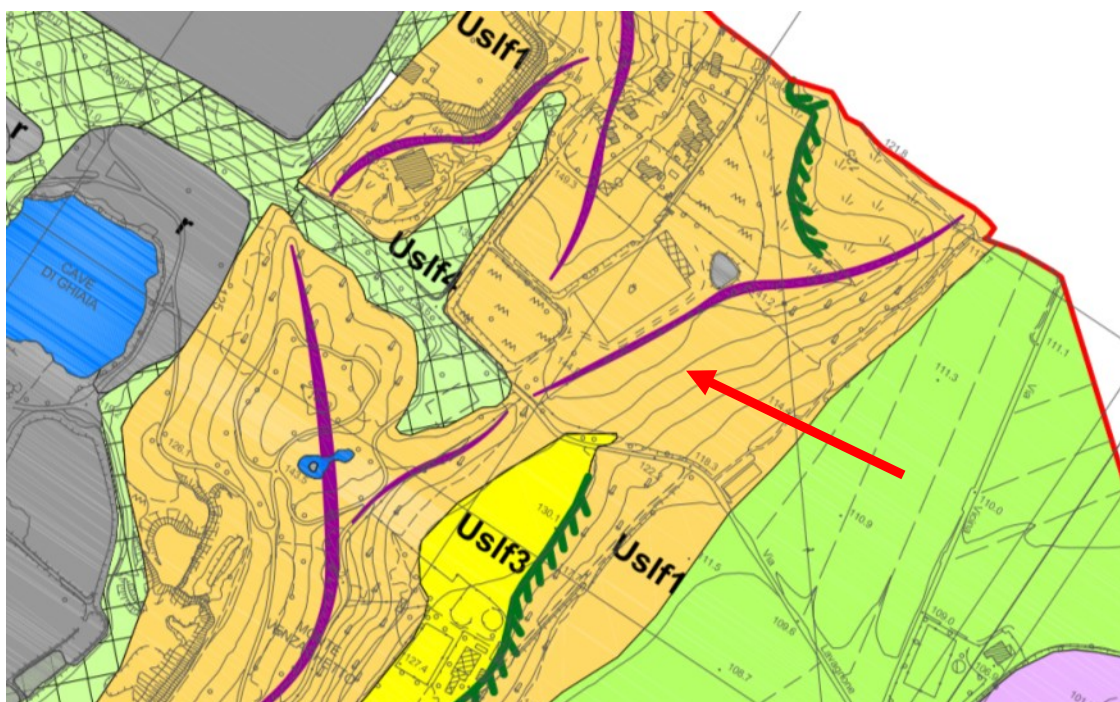
Vista di una sezione di scavo eseguito in sito

Si riporta uno stralcio tratto dalla Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 – Foglio 48 Peschiera del Garda.



- fg^a**
Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente ghiaiose, alterate per oltre un metro in argille rossastre. Terrazze e sospese di 40 e più metri, si raccordano con le cerchie moreniche risiane più esterne dell'anfiteatro del Garda e di quello atesino di Rivoli Veronese. **RISS ANTICO.**
- p^a**
Argille lacustri singlaciali di Incaffi (p^a).
m^a
Morene ghiaiose, talora debolmente cementate, con strato di alterazione argilloso, di colore rossastro o rosso, con qualche ciottolo calcareo, e dello spessore massimo di 1-2 metri. Dove il paleosuolo è dilavato, affiorano le sottostanti ghiaie bianche, anche calcaree, inalterate. Cerchie moreniche maggiori dell'anfiteatro del Garda e di quello atesino di Rivoli Veronese (m^a). **RISS.**
- p^m**
Terreni argillosi, soprastanti ad argille finemente stratificate, lacustri, bruno-grigiastri o biancastro-giallastri, talora a scarsi ciottolini, con concrezioni calcaree: «bambole» («castracan» degli agricoltori) e crostoni («gèss» dei locali), sviluppati a sud-ovest del Foglio (p^m).
p^m
Conglomerati fluviali dell'Adige, potenti più di 60 metri: verso l'alto più grossolani (Anaglaciale Riss), sotto più cementati, minuti e stratificati; conglomerati calcarei di conoide (Gardone). In Val d'Adige anche Würm-Riss (p^m). **INTERGLACIALE RISS-MINDEL.**
- dt^a**
Argille rosse, con detriti spigolosi delle «Radiolariti» e delle lenti silicee del «Medolo» (Monte Covolo a NO del Foglio) (dt^a). **COLLUVIUM POST-MINDEL.**
ct^m
Argille sabbiose glacio-lacustri, con diatomee nivali, pollini di *Pinus* sp., *Abies* sp., *Conifera* di tipo arcaico e ciottoli levigati e striati, talora con crioturbazioni, sottostanti alla scarpata conglomeratica del Riss (Cimitero di S. Rocco presso Salò) (ct^m). **CATAGLACIALE MINDEL.**
- fg^m**
Alluvioni fluvio-glaciali, con strato di alterazione argilloso, dello spessore di 1,5-4 metri, di colore rosso-bruno, con scarsi ciottoli silicati alteratissimi, silicei pressochè inalterati e con assenza di ciottoli calcarei per dissoluzione: «tipico ferretto». Testimoni di altissimo terrazzo, si raccordano con le cerchie moreniche più esterne dell'anfiteatro del Garda (Muscoline, Cabbiano ad ovest del Foglio). **MINDEL.**

Si riporta uno stralcio della carta geologica tratta dal PGT comunale del dicembre 2019 a cura dei dott. geol. Rosanna Lentini, Mirko Braiato e Damiano Scalvini da cui si evince la presenza di depositi glaciali, appartenenti all'Unità di Solferino, in tutta l'area indagata.



Carta Geologica scala 1:10.000 con posizione del sito in esame

UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE

r Materiali di riporto

UNITA' POSTGLACIALE

ds Depositi di spiaggia recenti e attuali (Olocene)

l2 Depositi lacustri (Olocene)
-depositi costieri lacustri ghiaioso sabbiosi
-depositi costieri lacustri limoso argillosi, a tratti torbosi

dc1 Depositi di conoide (Olocene)

dc2 Depositi di conoide antichi (Pleistocene)

t Depositi torbosi (Olocene)

COPERTURE QUATERNARIE

UNITA' DI SOLFERINO (Pleistocene superiore)

Uslf1 Depositi glaciali

Uslf2 Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale

Uslf3 Depositi di contatto glaciale

Uslf4 Depositi fluvio-glaciali delle cerchie interne

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

b) Depositi fini prevalentemente sabbioso limosi, limoso sabbiosi, limoso argillosi

Uslf5 Depositi fluvio-glaciali frontali alle cerchie interne.

UNITA' DI SEDENA (Pleistocene medio-superiore)

Us1 Depositi glaciali

Us2 Depositi glaciolacustri di depressione intermorenica o di fronte glaciale

Us3 Depositi fluvio-glaciali

2.2 Idrogeologia

Da studi precedentemente realizzati si è potuto stabilire la profondità della **falda principale** che si viene a trovare, al di sotto della zona in esame ad una quota di circa 122 m s.l.m.

La permeabilità dei depositi va da bassa a molto bassa.

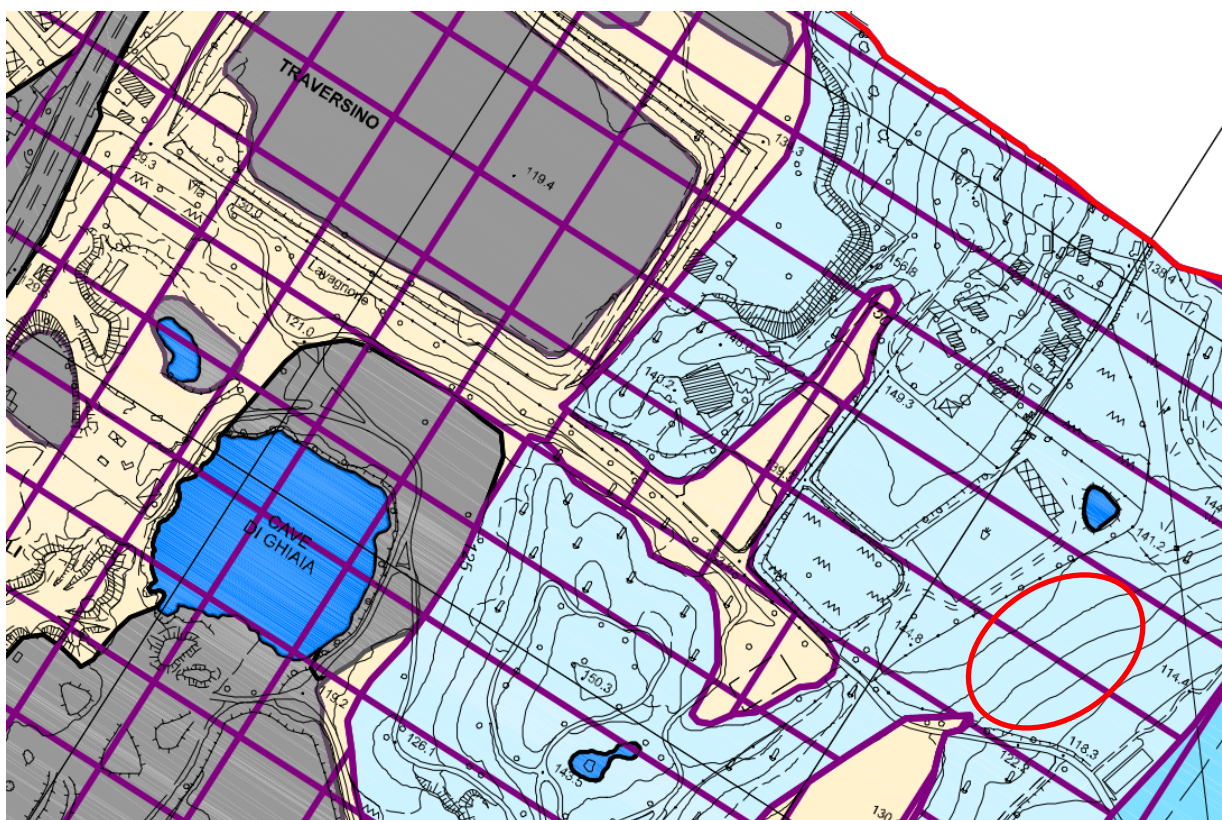
Si riporta uno stralcio della carta idrogeologica contenuta nel P.G.T. a cura del dott. geol. Rosanna Lentini del luglio 2009 e del marzo 2021.

UNITA' PERMEABILI PER POROSITA'

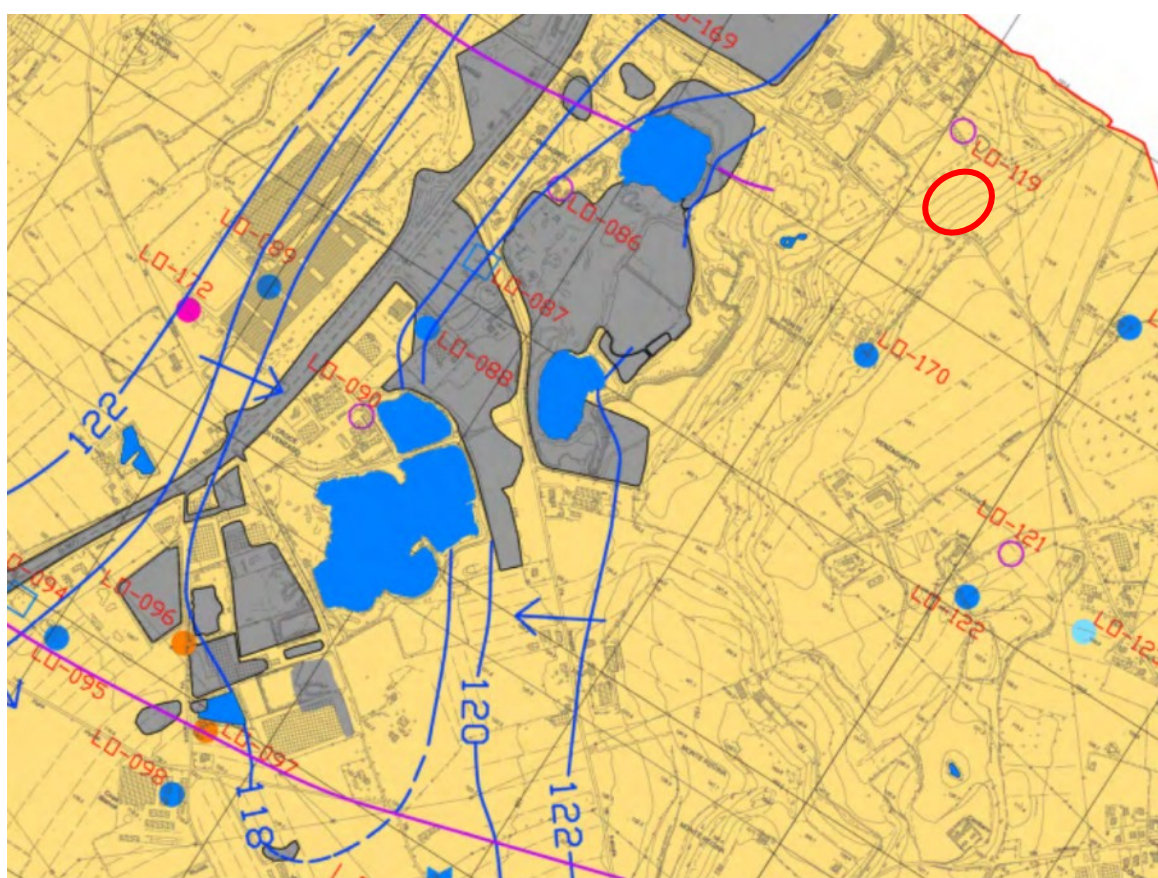
	Materiali di riporto
	Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso-sabbiosi) a permeabilità elevata
	Depositi grossolani (prevalentemente ghiaioso sabbiosi) a permeabilità da media a medio-elevata.
	Depositi fini (prevalentemente limoso-sabbiosi e limoso-argillosi) a permeabilità da medio-bassa a bassa
	Depositi glaciali a permeabilità complessivamente da bassa a molto bassa

CLASSI DI VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI SUPERFICIALI

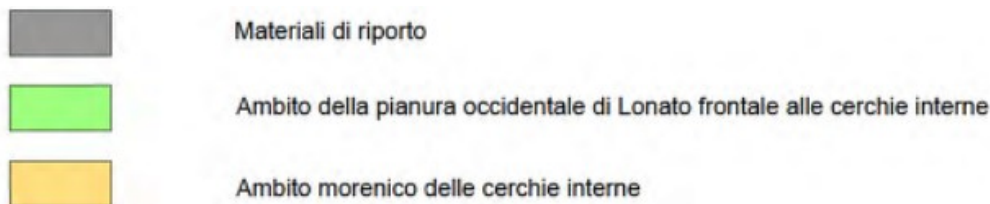
	Vulnerabilità mediamente alta
	Vulnerabilità alta
	Vulnerabilità molto alta



Carta idrogeologica luglio 2009 alla scala 1:10.000



Carta idrogeologica del marzo 2021 alla scala 1:10.000



	Superficiale	Sup / Media	Media	Media / Prof	Profonda	Superficiale Media Profonda
Pozzi comunali						
Pozzi Privati con stratigrafia						
senza stratigrafia						
Sorgente						
Vasche e pozzi superficiali						

= doppia colonna

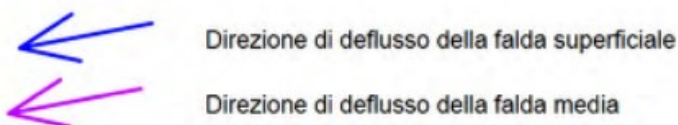
PIANA OCCIDENTALE

87 — — Linee isofreatiche (quota della falda superficiale espressa in m s.l.m. indicate in stratigrafia)

PIANA di CROCE DI VENZAGO - CAMPAGNOLI

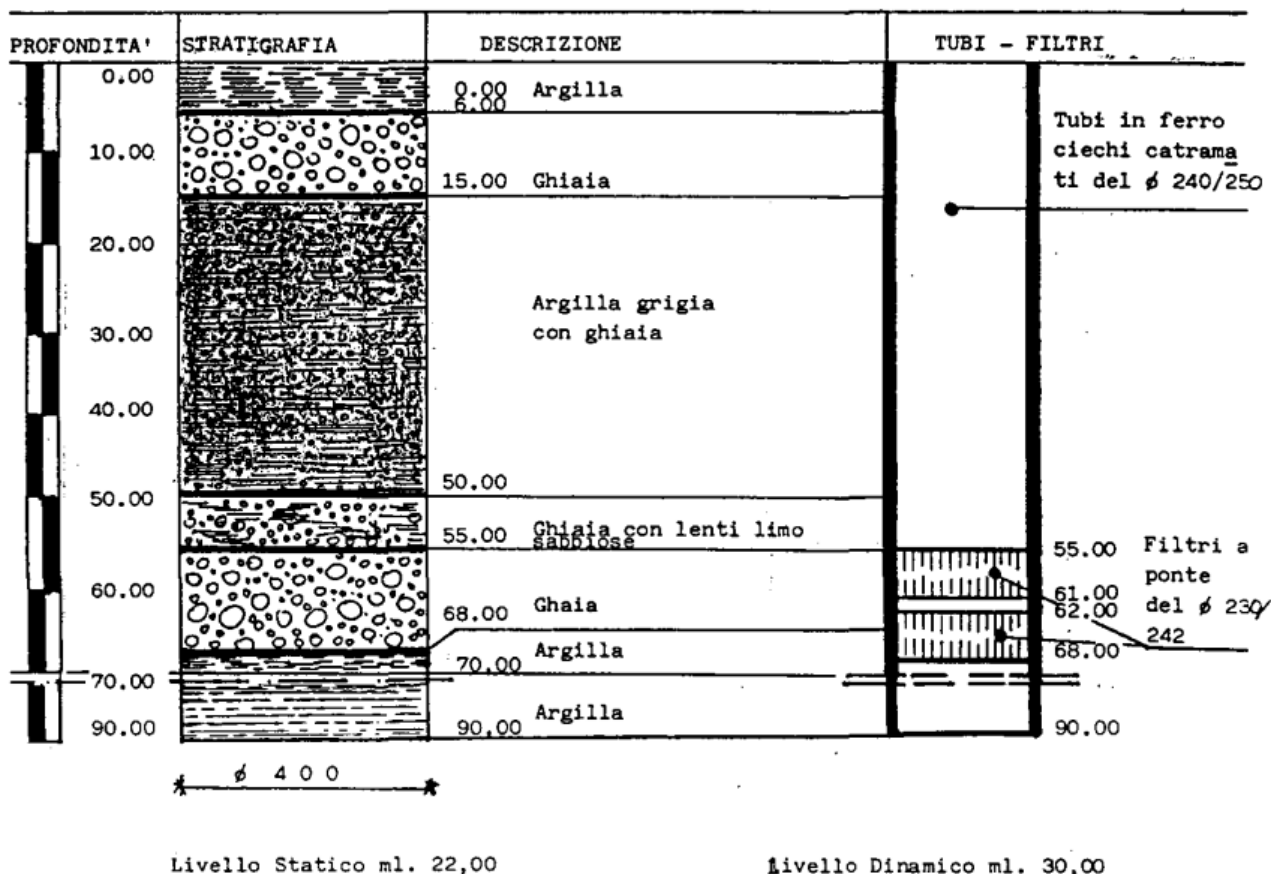
120 — Linee isofreatiche (quota della falda superficiale espressa in m s.l.m. - marzo 2001)

87 — Linee isopiezometriche (quota della falda media espressa in m s.l.m. - marzo 2001)



Rimangono tuttavia da valutare le falde sospese. **Durante l'esecuzione delle prove geognostiche in data 12/10/2023, fino ad una profondità di 6 m dal p.c. non sono state intercettate falde sospese.**

Si riporta la stratigrafia del vicino pozzo LO-170 di cui è riportata l'ubicazione nella precedente carta idrogeologica.



3. ANALISI SISMICA CONGIUNTA MASW - HVSR

Per la valutazione delle velocità Vs30 di sito e la definizione del Modello Geofisico di Sito ai fini dell'analisi di 2° livello ai sensi dell'All.5 della D.G.R 9/2616/2011, sono stati utilizzati i dati derivanti da una indagine di sismica attiva con analisi congiunta della dispersione della componente radiale e verticale dell'onda di Rayleigh, della componente trasversale dell'onda di Love, e passiva con analisi del microtremore sismico.

3.1 Analisi HVSR

La tecnica HVSR (o di Nakamura) è una tecnica sperimentale che consente di valutare alcune caratteristiche di depositi sedimentari. Si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, generato da fenomeni naturali (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, oltre che dall'attività dinamica terrestre. Il rumore sismico si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole. I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato appositamente, utilizzando ad esempio esplosioni o la caduta di un grave, come per acquisizioni di onde rifratte o riflesse tipiche della sismica attiva.

La tecnica dei rapporti spettrali H/V consiste nel calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H (generalmente lo spettro H viene calcolato come media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali NS ed EW) e della componente verticale V. Il metodo è applicabile alle misure di rumore registrate in una singola stazione posta su sedimenti. La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è principalmente finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo. Per tale procedura necessitano dei vincoli. In questo caso i vincoli al modello vengono forniti dalle indagini geotecniche effettuate in sito. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici.

Il periodo proprio di sito è indicato dalla seguente e nota formula:

$$T_0 = 4H/V_s$$

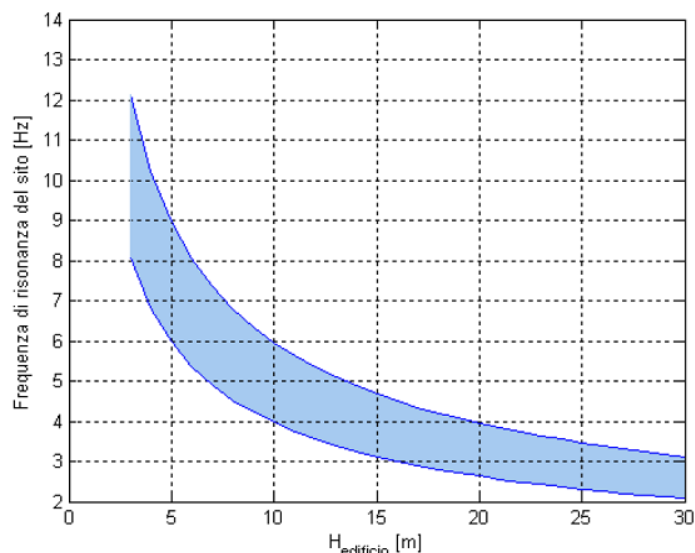
dove: $V_s = V_s$ media sino al bedrock

H = spessore dei sedimenti sovrastanti il bedrock (cosa sia da considerare bedrock è argomento complesso ma possiamo sintetizzare la cosa dicendo che è un orizzonte con forte contrasto di V_s , che da origine ad un picco dell'H/V)

Naturalmente, la frequenza di risonanza del sito sarà:

$$f_0 = 1/T_0 \text{ e quindi } f_0 = V_s/4H$$

Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito f_0 , denominata **frequenza fondamentale di risonanza**. Sarà infatti necessario porre attenzione a fenomeni di “doppia risonanza”, che si potrebbero verificare in caso di corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati. La frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere calcolata in prima approssimazione con il seguente grafico.



Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato:
la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza

3.1.1 Attrezzatura impiegata

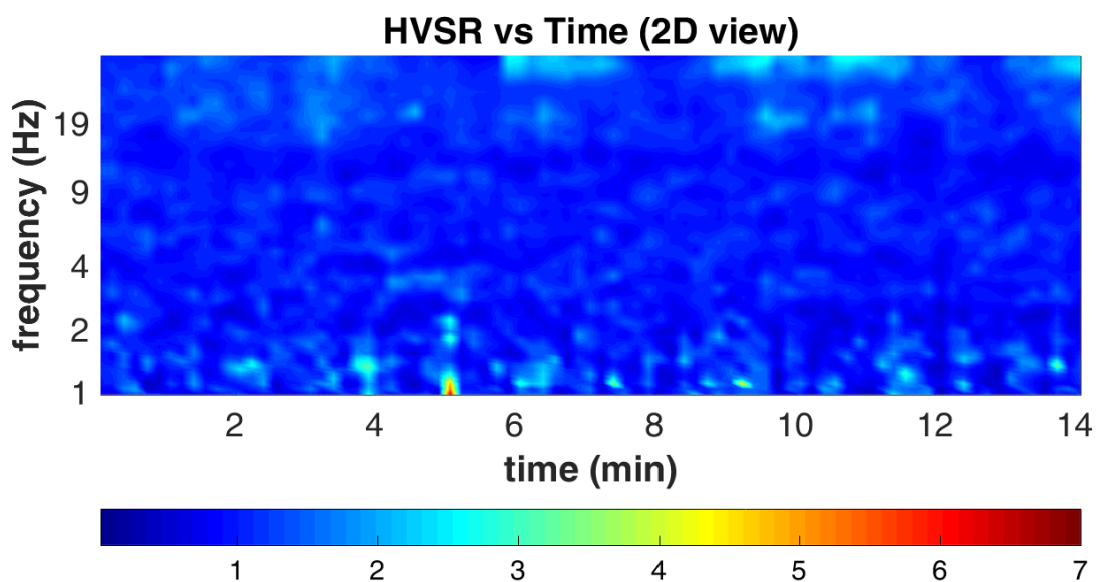
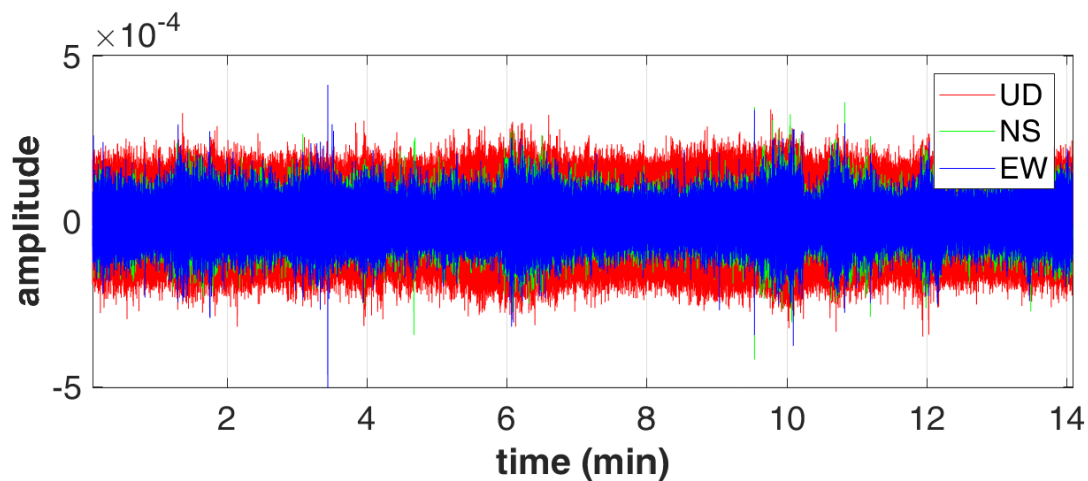
Le acquisizioni sono state svolte utilizzando il geofono triassiale Holi3C, cioè una terna calibrata con geofoni da 4,5 Hz (frequenza propria) ed avvalendosi poi per le analisi del software HoliSurface (Eliosoft).



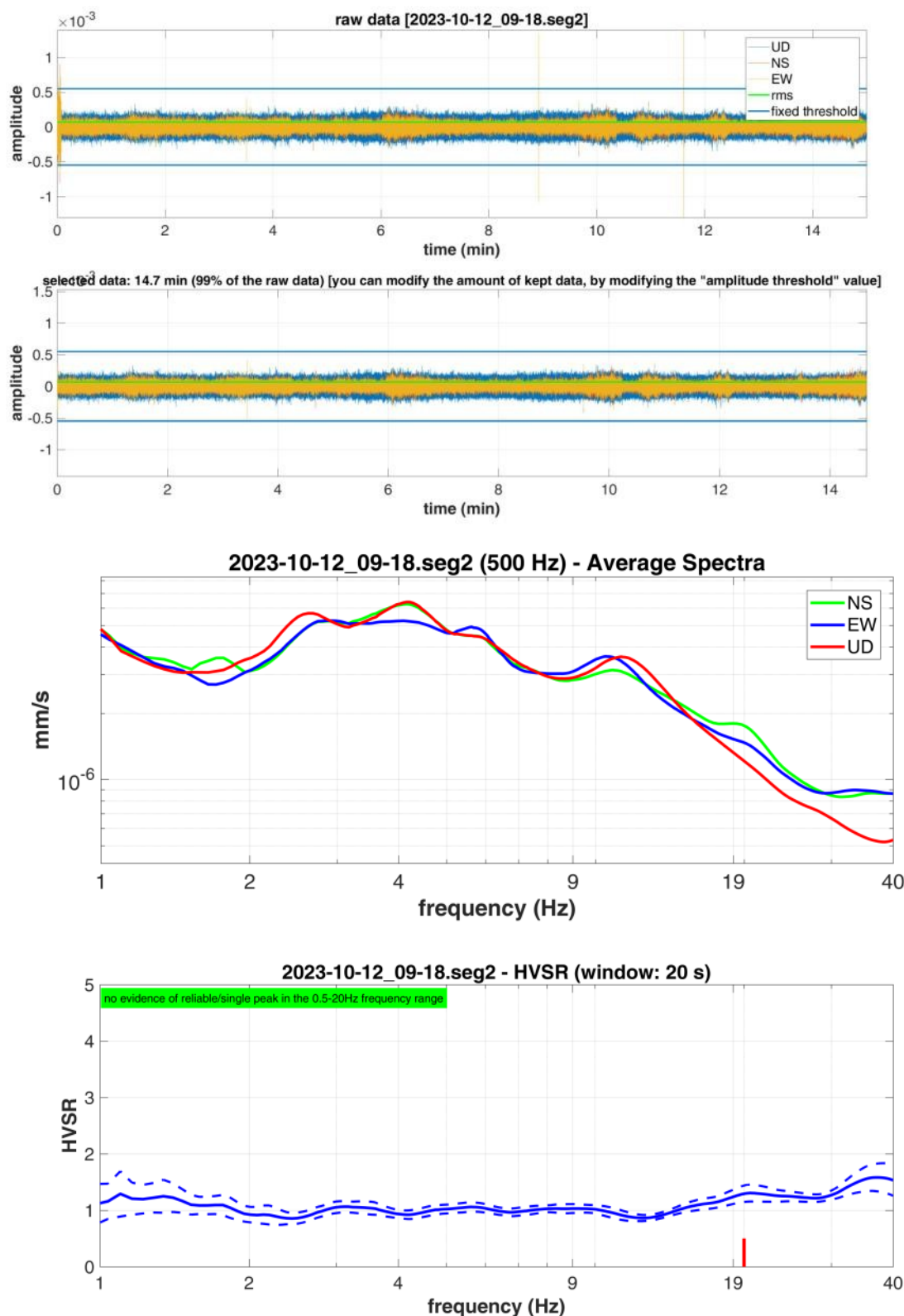
Sismografo Triassiale sul terreno

3.1.2 Risultati

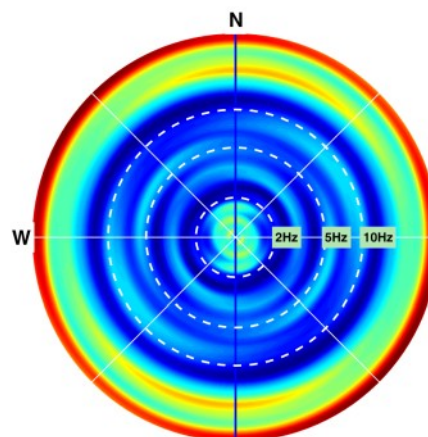
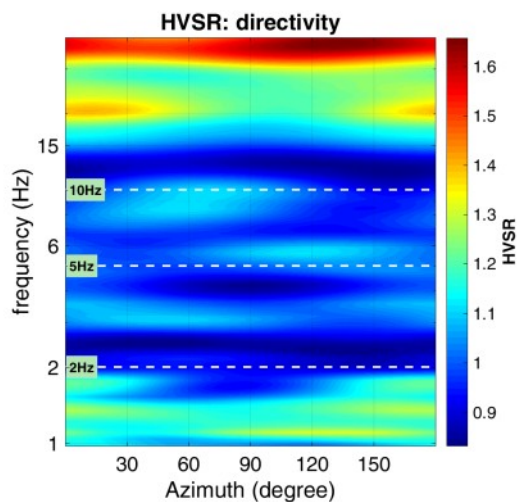
Sono state eseguite n. 1 registrazioni sismiche di microtremore (rumore di fondo) dove sono state effettuate le registrazioni di sismica attiva. La durata temporale della registrazione è stata assunta di 15 minuti (900 s). Le analisi sono state effettuate seguendo le linee guida del progetto SESAME.



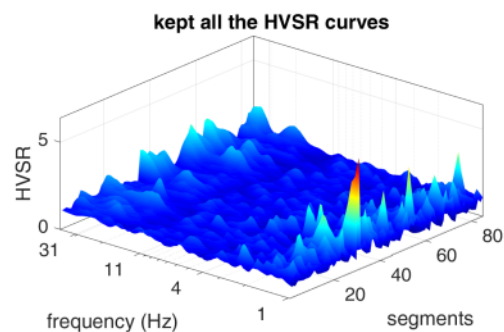
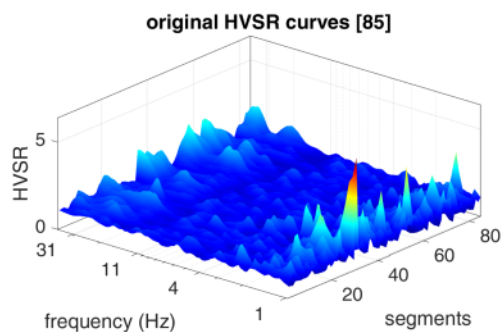
Dati registrati – durata 15 minuti



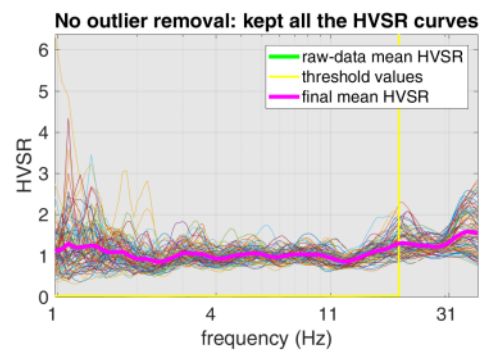
Curva H/V – Frequenza La linea continua blu rappresenta il rapporto H/V medio

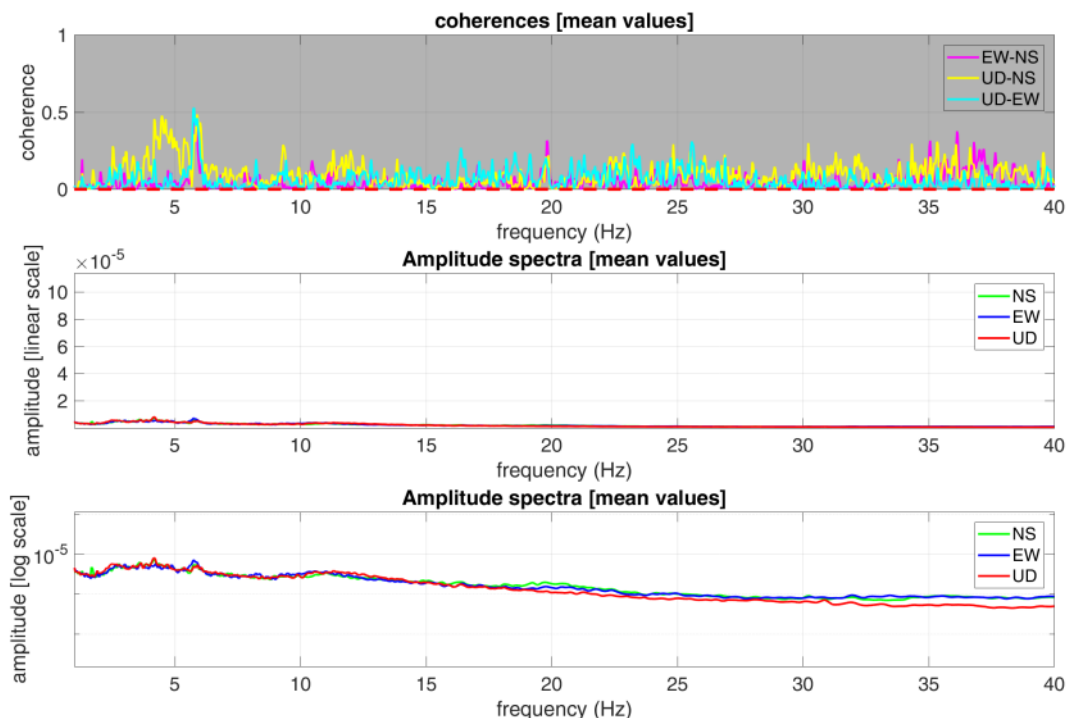


Direzionalità del rapporto H/V



www.wlnmasw.com





Spettri delle singole componenti

3.2 Analisi HoliSurface

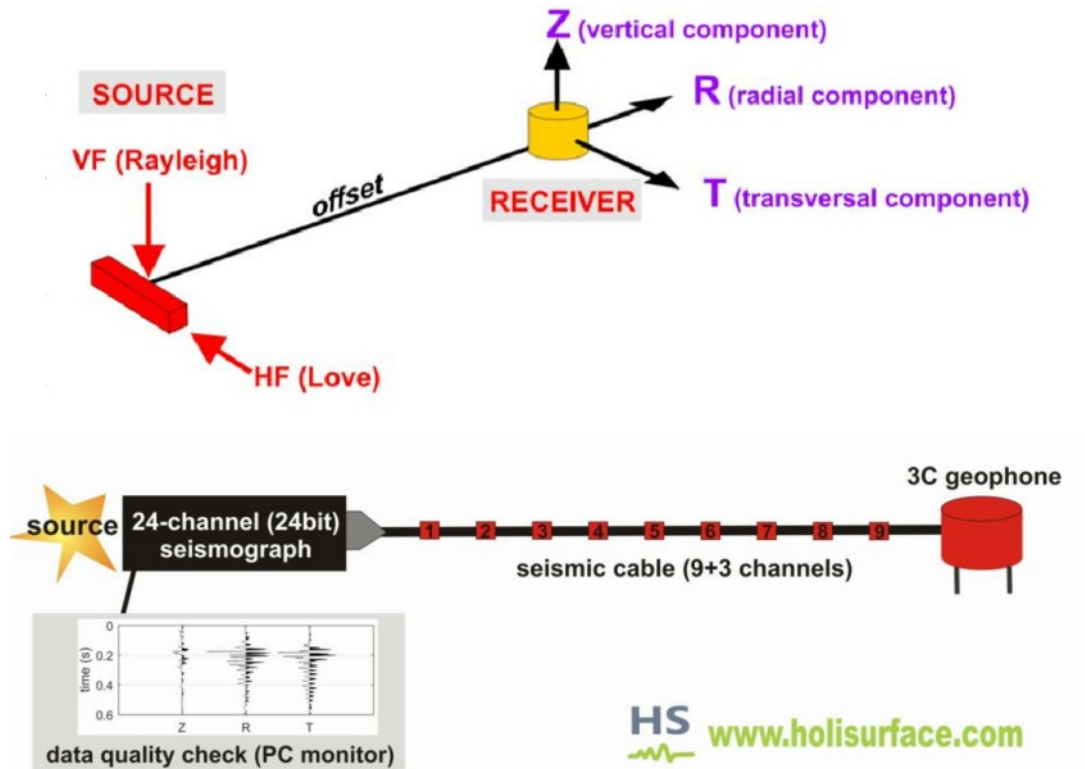
Al fine di caratterizzare in modo più stringente il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (V_s), si sono effettuate acquisizioni ed analisi secondo la tecnica MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Herrmann, 2013; Pedersen et al., 2003) adattata a sfruttare in maniera olistica tanto la componente radiale che quella orizzontale dell'onda di Rayleigh qui considerata (anche considerando l'RVSR - Radial-to-Vertical Spectral Ratio – metodologia HoliSurface).

Le misure di microtremori, atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR), unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, sono state utilizzate a meglio vincolare il profilo V_s (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione, una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazione sulle V_s da parte di misure di sismica attiva (MASW o MFA) non risulta in grado di definire il profilo V_s . Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM gennaio 2018. Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito (quindi l'eventuale amplificazione dello scuotimento del suolo in caso di sisma) alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

Acquisire un dato per analisi HoliSurface® non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva per, ad esempio, analisi MASW o rifrazione (lo zero dei tempi è fissato dal trigger). La differenza sostanziale è che in questo caso si è utilizzato un unico geofono

a tre componenti (3C - spesso indicato anche come 3D in quanto si tratta di un geofono con 3 sensori orientati in tre direzioni spaziali ortogonali) la cui orientazione rispetto alla sorgente è però fondamentale. Questo significa che, per fare analisi HoliSurface®, è necessario orientare il NS dello strumento in assetto radiale rispetto alla sorgente.

E' stata effettuata un'acquisizione per le onde di Rayleigh (quindi con martellata verticale). Si è ottenuto così un file in cui le prime due tracce rappresentano il moto delle onde di Rayleigh nella componente radiale e verticale. Si è ripetuta l'acquisizione per la componente trasversale delle onde di Love (quindi con martellata trasversale).



Schema acquisizione Holisurface

3.2.1 Attrezzatura impiegata

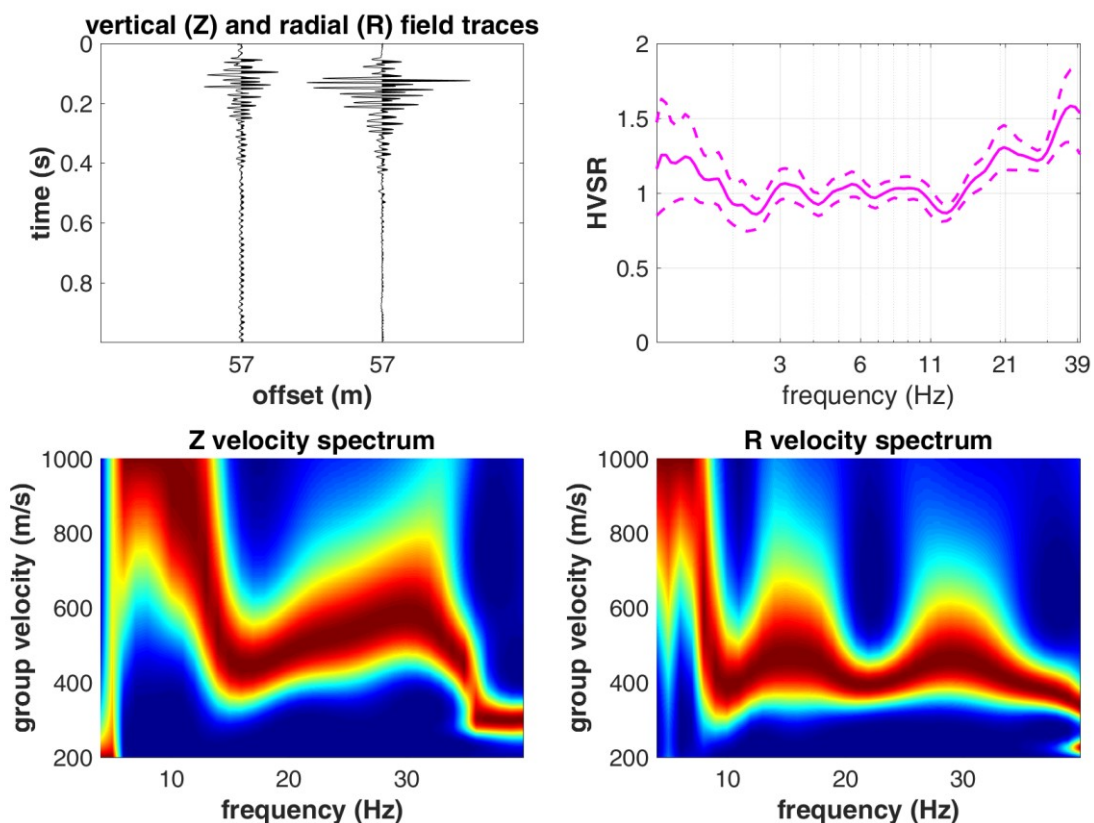
Le acquisizioni sono state svolte utilizzando il geofono triassiale Holi3C, cioè una terna calibrata con geofoni da 4,5 Hz (frequenza propria) ed avvalendosi poi per le analisi del software HoliSurface (Eliosoft).



Sismografo utilizzato e punto di battuta

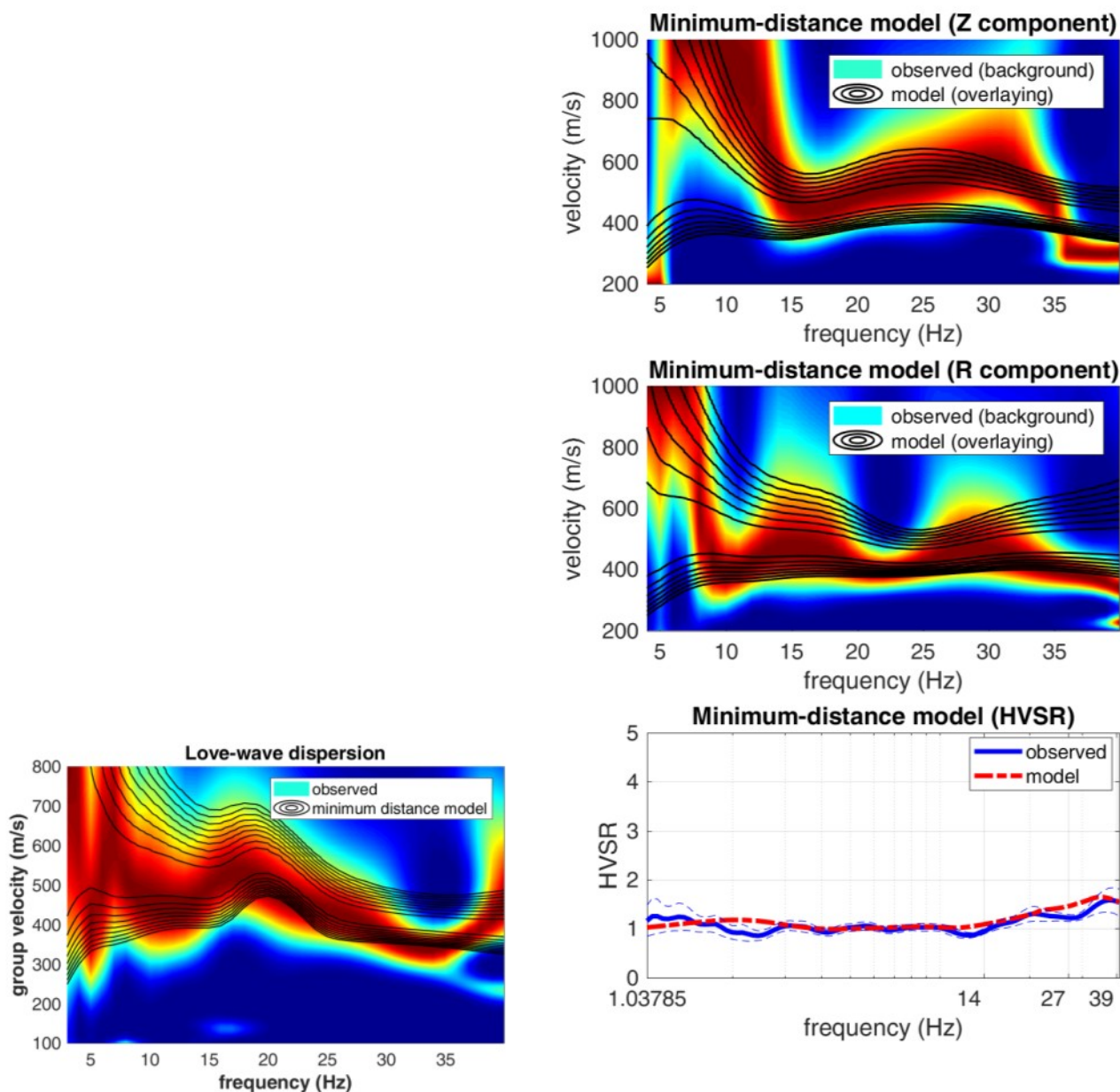
3.2.2 Analisi congiunta Holisurface + HVSR e modello sismico

La figura seguente riporta le tracce acquisite in modalità attiva e gli spettri di velocità di gruppo (metodo MFA - Multiple Filter Analysis) delle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh con, in alto a destra è riportato anche il Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR).

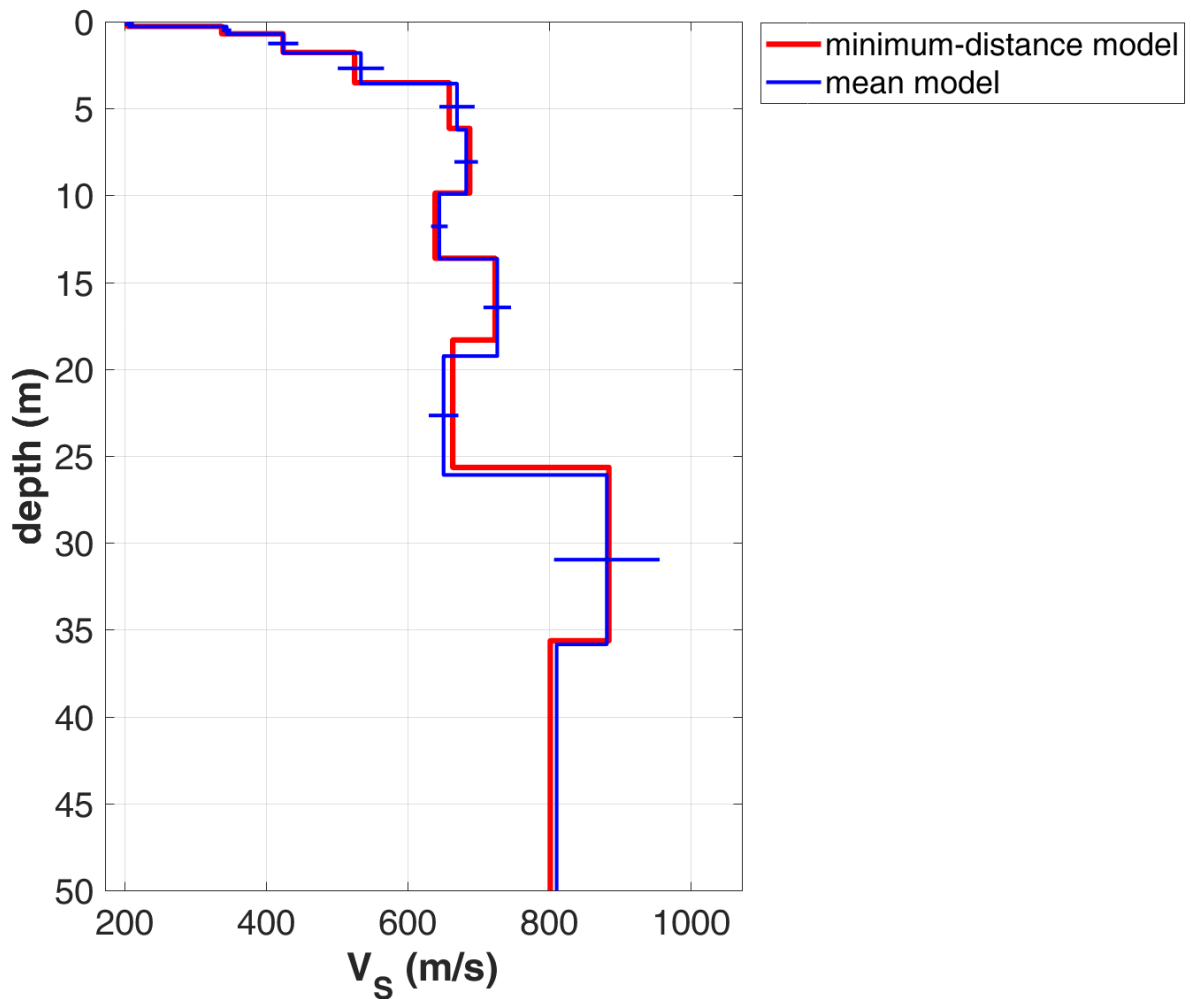


Si riportano i risultati della modellazione congiunta degli spettri di velocità di gruppo relativi alle componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh congiuntamente all'H/V (sismica passiva). I

colori sullo sfondo rappresentano i dati di campagna mentre le contour lines nere i dati del modello identificato (si noti la sovrapposizione).



Di seguito si riporta il profilo verticale della V_s identificato dalla modellazione congiunta di tutti i dati acquisiti. I numeri riportati riportano il valore della V_s (m/s) e lo spessore (m).



Group velocity spectra and HVSR (active and passive data)

offset: 57 m

Analysis: Rayleigh Waves (group velocities)

Velocità (m/s)	204	337	424	525	659	688	639	724	664	885	802	1109
Spessore (m)	0.3	0.4	1.1	1.7	2.6	3.7	3.8	4.7	7.3	10	47.3	
Profondità (m)	0.3	0.7	1.8	3.5	6.1	9.8	13.6	18.3	25.6	35.6	82.9	

Vs30 =	650	m/s	
Vs25 =	622	m/s	
T =	0,16	s	

I valori di velocità delle onde sismiche presenti nelle prime decine di metri di profondità sono stati utilizzati per il calcolo della Vs delle onde sismiche di taglio, per comprendere in quale classe di terreno si pone il sito in esame.

Il periodo proprio del sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione contenuta nell'allegato 5 dei criteri regionali di cui alla D.G.R. del 22 dicembre 2005 n°VIII/1566 "Criteri e

indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T, è stato calcolato in base a spessori e V_s nei sismostrati fino al *bedrock* sismico.

3.3 Classificazione sismica del sito

Nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo 2003 e nel D.M. 14-09-2005 vengono inserite specifiche norme per il progetto delle fondazioni e delle opere di sostegno. Per poter definire l'azione sismica di progetto le norme stabiliscono 5 categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità sono riferite al piano di posa delle fondazioni) identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri e definite da parametri indicati nell'EUROCODICE 8.

Le 5 categorie del suolo di fondazione vengono di seguito descritte, così come riportato nel paragrafo 3.2.2 del D.M. 17/01/2018

- A* - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B* - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- C* - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D* - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E* - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per l'applicazione delle stesse norme, inoltre, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo di categoria A. Questi valori da adottare in ciascuna delle zone sismiche, espressi come frazione della gravità g , sono:

Zona	Valori di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Lonato del Garda è stato classificato nel 2014 come comune appartenente alla **zona sismica 3**. Per questa zona è stata prevista una accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g) pari a 0,15 (corrispondente ad un coefficiente di intensità sismica 0,04). I valori di velocità delle onde sismiche presenti nelle prime decine di metri di profondità sono stati utilizzati per il calcolo della V_{s30} delle onde sismiche di taglio per comprendere in quale classe di terreno si pone il sito in esame.

Il valore di V_{s30} ricavato è stato di 650 m/s ($V_{s25} = 622$ m/s), facendo ricadere il terreno di fondazione nella classe B (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti).

3.4 Approfondimento di 2°livello

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a . Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili. Nel caso oggetto di studio si considera il fattore di amplificazione di riferimento per l'intervallo di periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.

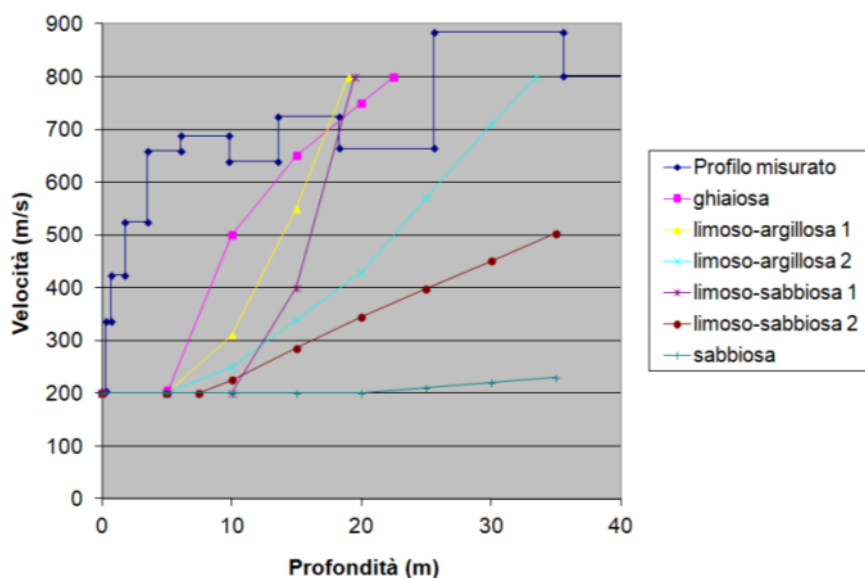
La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

3.4.1 Analisi degli effetti di amplificazione litologica

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici ricavati dalle prove DPH, correlabili al numero di colpi della prova SPT, è stata individuata la litologia prevalente presente nel sito corrispondente a sabbia e ghiaia per la quale è stata scelta la relativa scheda di valutazione di riferimento (scheda Litologia ghiaiosa).

Confronto con schede litologiche DGR 8/1566 del 22/12/05



Individuata la scheda di riferimento si è provveduto alla verifica della validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità. All'interno della scheda di valutazione è stato scelto il valore di Fa nell'intervallo 0,1-0,5 s in base al valore del periodo proprio del sito T (T=0,16 – curva 3). Il valore di Fa determinato è pari a

$$Fa_{0,1-0,5} = -4,7 T^2 + 3,0 T + 0,92 = 1,28$$

e indica il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente. Arrotondando ed aggiungendo $\pm 0,1$ come da normativa (Allegato 5 alla DGR IX/2616 del 30/11/2011 - nota n. 125/2016 del 25 ottobre 2016) si ottiene una variabilità di valori compresa tra 1,2 e 1,4.

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per il comune di Lonato del Garda, per la classe B e per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s. Per il comune di Lonato del Garda il valore soglia Fa per il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito è pari a 1,5. Si può quindi affermare che il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione

anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si utilizzerà la classe di riferimento misurata, ovvero la classe B.

3.5 Categoria topografica

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche si potrà fare riferimento alla tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Per il sito di progetto, inserito in un contesto acclive, si dovrà tenere conto di una categoria topografica **T2**.

Anche in questo caso tale categoria dovrà risultare compatibile con quanto risultante dall'analisi di rischio sismico di 1° e 2° livello ai sensi della normativa regionale All. 5 alla D.G.R. 9/2616/2011.

3.6 Vita nominale e Classe d'uso

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N sono riportati nella tabella 2.4.I. delle NTC 2018 al paragrafo 2.4.1.

Per la struttura in progetto si propone una $V_N = 50$

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

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

Si prevede per la struttura in progetto una **Classe d'Uso II** (paragrafo 2.4.2 NTC-18) secondo la descrizione riportata dal legislatore.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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

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

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

Si rimanda al Tecnico Progettista l'eventuale definizione di una diversa classe d'uso e di conseguenza di una strategia di progettazione differente.

3.7 Parametri sismici di sito

Stati limite

Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.040	2.596	0.227
Danno (SLD)	50	0.055	2.487	0.247
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.156	2.449	0.275
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.202	2.484	0.277
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1 us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo B

Cat. Topografica T2

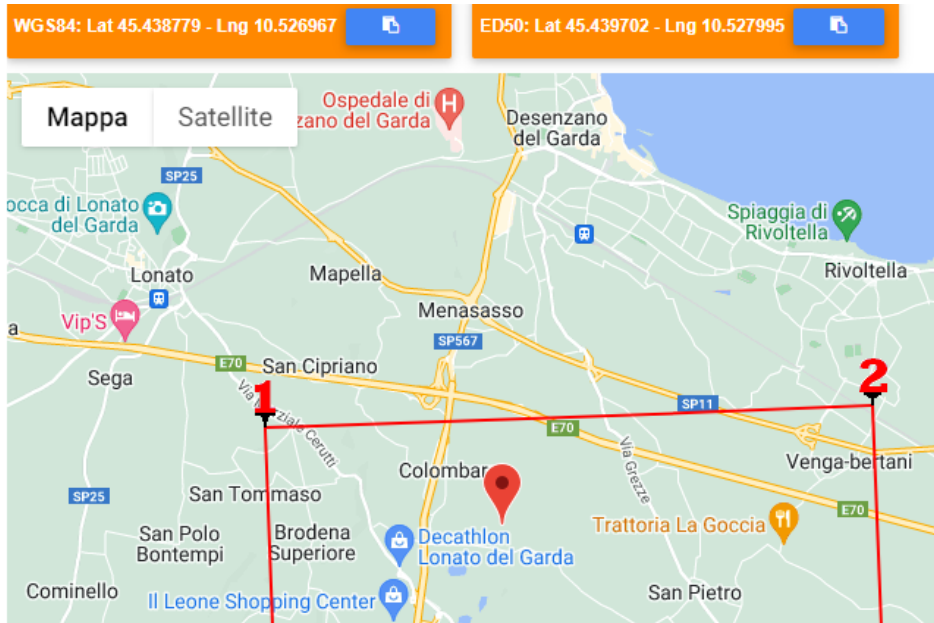
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,48	1,45	1,42	1,42
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.016	0.054	0.081
kv	0.006	0.008	0.027	0.041
Amax [m/s²]	0.566	0.771	2.198	2.853
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Parametri sismici di sito

Tratto da <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>



Dove:

- Probabilità di superamento = probabilità che in un determinato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R) nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato;
- T_R = tempo di ritorno di un dato evento sismico;
- a_g = valore nominale dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido A;
- F_O = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- C_c = coefficiente funzione di T^*_C ;
- S_t = coefficiente di amplificazione topografica;
- K_h = coefficiente sismico orizzontale;
- K_v = coefficiente sismico verticale;
- A_{max} = accelerazione massima attesa al sito (m/s^2) data da $a_g \times S_s \times S_t$;
- $Beta$ = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Per conoscere in dettaglio la stratigrafia del terreno in profondità sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH. Questo tipo di prova consiste nell'infioccare verticalmente

nel terreno, mediante battitura, una punta conica metallica posta ad una estremità di un'asta di acciaio.

La battitura si ottiene dalla caduta di un maglio da un'altezza stabilita. Per queste prove è stato utilizzato un penetrometro dinamico con massa battente di 63 kg ed altezza di caduta di 0,73 m. La resistenza del terreno è funzione diretta del numero di colpi necessari per l'approfondimento dell'asta di 20 cm; con l'aumentare della profondità, vengono giuntate aste successive che trasmettono la pressione alla punta. Per misurare l'attrito laterale delle aste contro i terreni attraversati, si è utilizzata una chiave dinamometrica con scala 10-200 Nxm. La misura del momento torcente è stata effettuata ad ogni giunzione di asta ed al termine della prova.

In allegato si riportano le caratteristiche dello strumento utilizzato e le elaborazioni ottenute a partire dai dati ricavati dalle prove.



Strumento utilizzato per i sondaggi

Per la determinazione del valore N_{SPT} dalle prove penetrometriche dinamiche continue DPSH è stata utilizzata la seguente correlazione (Cestari 2005 – AGI 1977):

$$N_{SPT (60\%)} = N_{20 (60\%)} \times C$$

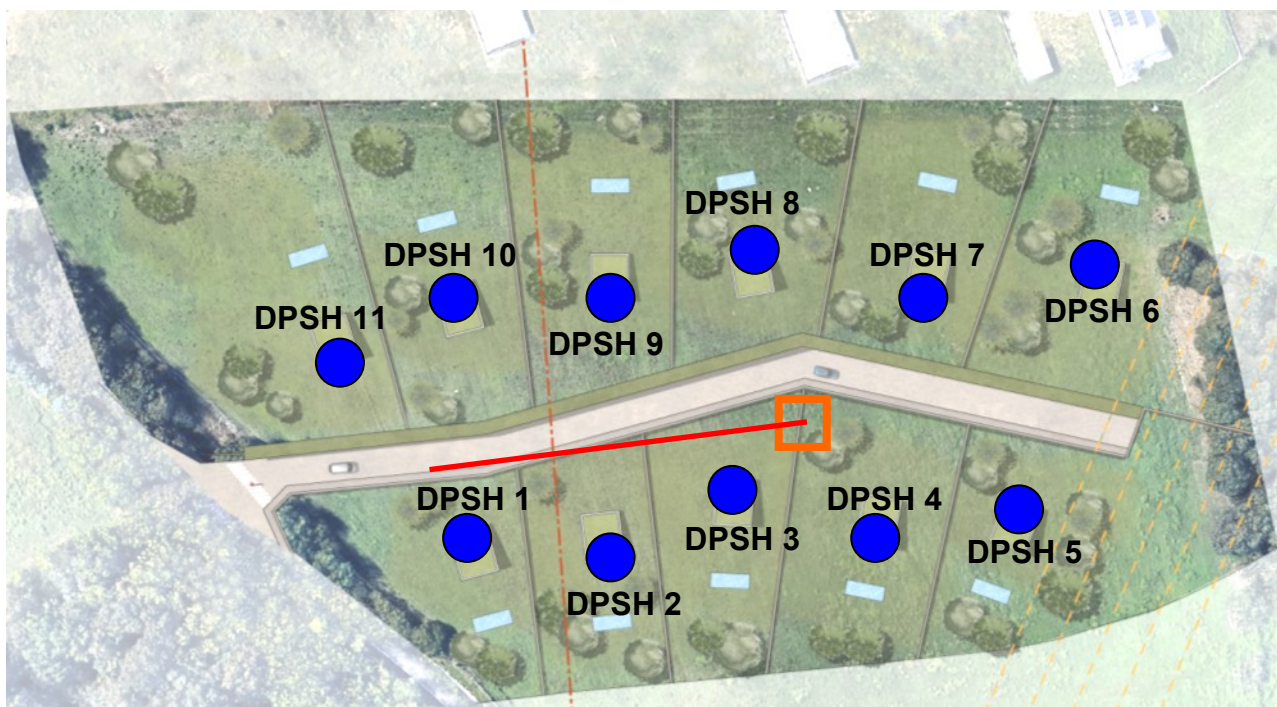
Dove C è un coefficiente di conversione che dipende dal tipo di terreno ed assume i valori riportati nella seguente tabella.

Terreno	C
Ghiaioso	1.50-2.00
Sabbioso	2.00-2.80
Argilloso	2.80-4.00

Si applica inoltre la correzione $C_{AGI} = 0,58 C$

Un'ulteriore correzione è stata introdotta in base alla lettura del momento torcente ad ogni metro di avanzamento delle aste. Dato che maggiore è l'attrito laterale offerto dal terreno sulla superficie laterale delle aste e minore è l'energia effettiva che la caduta del maglio trasmette alla punta, si è calcolato un coefficiente di riduzione che tenga conto di questo fenomeno e vada progressivamente a diminuire il coefficiente C all'aumentare del momento torcente misurato.

Il coefficiente è stato calcolato dallo scrivente utilizzando i dati raccolti in numerose campagne di indagini utilizzando lo strumento DPSH 73/63 GeoDeepDrill, realizzate in terreni con stratigrafia nota e affiancate a prove eseguite utilizzando il rivestimento metallico in dotazione allo strumento.



Ubicazione delle prove DPSH in colore blu, della linea sismica in colore rosso e del punto di misura del microtremore in colore arancio

La campagna d'indagine può essere considerata idonea ad ottemperare a quanto richiesto per la Classe di Fattibilità 2. Le indagini sono state eseguite secondo le Prescrizioni e gli oneri contenuti nelle Raccomandazioni A.G.I. (1977) ed alla presenza costante del geologo.

5. ELABORAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI

5.1 Unità litotecniche

Le prove penetrometriche hanno permesso di individuare le caratteristiche degli strati posti al di sotto del piano campagna in modo da definire strati, il più possibile omogenei da un punto di vista meccanico, da utilizzare per la determinazione di sezioni geotecniche adeguate ai fini del calcolo della capacità portante e dei cedimenti.

Le unità litotecniche sono state definite in funzione della loro resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica. Ricordo quindi che le unità litotecniche proposte, potrebbero non coincidere con strati a granulometria omogenea, ma solamente a terreni che oppongono resistenze simili all'avanzamento delle aste.

Segue la descrizione schematica delle unità, la definizione del loro spessore e i parametri geotecnici calcolati utilizzando le formule seguenti:

Parametro	Formula utilizzata
Dr (densità relativa)	Terzaghi – Peck (1967)
φ (angolo di attrito efficace)	Hatanaka – Uchida (1996)
E' (modulo di deformazione elastica)	AASHTO (1996)
M (modulo edometrico)	Shultze e Muhs (1966)
γ (peso di volume)	Bruschi (1980-2005)
Cu (coesione)	Bruschi (2004)

Per ogni parametro, per ciascuna delle unità litotecniche in cui è stato diviso il sottosuolo, è stato valutato il valore caratteristico utilizzando l'approccio statistico (come suggerito negli Eurocodici si è considerato il 5-percentile).

Tutti i valori dei parametri che compaiono nelle seguenti tabelle, utilizzati nei calcoli dei paragrafi successivi, sono quindi valori caratteristici (f_k), cioè valori rappresentativi del parametro considerato all'interno di ciascun strato (D.M. 14.09.2005 - D.M. 17.01.2018).

5.1.1. Descrizione parametri caratteristici nelle Unità litotecniche

Unità litotecnica A	Sabbia limosa	
	N°SPT medio	8
	Spessore (m)	1

Dr (densità relativa)	37 %
φ_k (angolo di attrito efficace)	29.4 °
E ₅₀ (modulo elastico)	112 kg/cmq
M (modulo edometrico)	139 kg/cmq
γ_k (peso di volume)	1.76 t/mc

Unità litotecnica B	Ghiaia e sabbia con ciottoli	
	N°SPT medio	20
	Spessore (m)	6

Dr (densità relativa)	58 %
φ_k (angolo di attrito efficace)	32.8 °
E ₅₀ (modulo elastico)	256 kg/cmq
M (modulo edometrico)	280 kg/cmq
γ_k (peso di volume)	1.95 t/mc

6. MISURA DELLA PERMEABILITÀ

6.1 Cenni teorici

Nei materiali sciolti, permeabili per porosità, nei quali è verificata la legge di Darcy, la permeabilità si esprime attraverso il coefficiente di permeabilità k che ha le dimensioni di cm/s o m/s.

La scelta del metodo di prova va effettuata in funzione del tipo di terreno e della precisione desiderata. L'attendibilità delle prove, come suggerito dall'AGI nelle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (giugno 1977), può essere migliorata adottando i seguenti accorgimenti:

- conoscenza della distribuzione delle pressioni neutre nel terreno prima della prova;
- conoscenza esatta, per quanto possibile, del profilo stratigrafico;
- realizzazione con la prova di condizioni di moto laminare in regime permanente;
- adozione in tutte le prove che comportano immissione d'acqua nel terreno, di acqua limpida.

6.2 Prova in foro di sondaggio

Le prove in foro di sondaggio permettono di determinare la permeabilità di terreni al di sopra o al di sotto del livello di falda. Possono essere eseguite durante la trivellazione del foro a diverse profondità oppure alla fine della trivellazione sul solo tratto terminale.

Per l'esecuzione delle prove è necessario che:

- le pareti della perforazione siano rivestite con una tubazione per tutto il tratto del sondaggio non interessato dalla prova;
- nel caso di terreni che tendono a franare o a rifluire, il tratto di prova deve essere riempito con materiale filtrante di granulometria adatta ed isolato mediante un tampone impermeabile.

Le prove si dividono in prove a carico costante o a carico variabile.

6.2.1 Prova a carico costante

Le prove a carico costante si eseguono misurando la portata necessaria per mantenere costante il livello dell'acqua nel foro, in condizioni di regime costante. Si possono eseguire anche nel terreno al di sopra del livello di falda; in questo caso è necessario saturare preventivamente il terreno in modo da stabilire un regime di flusso permanente.

Il coefficiente di permeabilità è dato dalla:

$$k = \frac{q}{mh}$$

con

q = portata immessa;

h = livello dell'acqua in foro;

m = coefficiente di forma = 2,85D

con D= diametro del foro

(N.B.: per prove sopra il livello di falda, h è misurato rispetto alla base del foro).

Il coefficiente m assume valori differenti, in funzione delle condizioni di filtrazione, secondo la tabella:

Condizioni	Coefficiente
Filtro sferico in terreno uniforme	$2\pi D$
Filtro emisferico al confine con uno strato confinato	πD

Fondo filtrante piano al confine con uno strato confinato	$2D$
Fondo filtrante piano in terreno uniforme	$2,75D$
Tubo parzialmente riempito al confine con uno strato confinato	$\frac{2D}{1 + \frac{8LK_h}{\pi DK_v}}$
Tubo parzialmente riempito in terreno uniforme	$\frac{2,75D}{1 + \frac{11LK_h}{\pi DK_v}}$
Filtro cilindrico in terreno uniforme	$\frac{3\pi L}{\ln \left[\frac{3L}{D} + 1 + \left(\frac{3L}{D} \right)^2 \right]}$

Dove:

- L= Lunghezza del tratto filtrante;
 Kh= Permeabilità orizzontale del terreno;
 Kv= Permeabilità verticale del terreno.

La prova a carico costante è stata eseguita nel foro del sondaggio DPSH 2 all'interno dell'unità litotecnica B

Calcolo permeabilità k (cm/s)

Foro di sondaggio a carico costante

30	litri immessi
984	tempo (s)
400	altezza acqua dal fondo foro (cm)
5	diametro foro (cm)
390	lunghezza tratto filtrante (cm)
6.7343198	coefficiente m
4.98E-05	Permeabilità K (m/s)

Il valore misurato corrisponde ad una permeabilità medio-bassa

K [m/s]	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
PERMEABILITÀ	alta			media				bassa	molto bassa		impermeabile	
DRENAGGIO	buono						povero			praticamente nullo		
TERRENO	ghiaie pulite		sabbie pulite e miscele di ghiaie e sabbie pulite				sabbie fini, limi, miscele di sabbie, limi e argille, depositi di argille stratificati			Argille omogenee non alterate		
							Argille alterate					

7. CONCLUSIONI

Il terreno che costituisce il pendio su cui verranno realizzati i nuovi edifici residenziali è costituito da una coltre superficiale di sabbia limosa dello spessore di circa 1 m dalle caratteristiche geotecniche mediocri. Segue un potente strato di ghiaie sabbiose con ciottoli in matrice limosa dello spessore di alcune decine di metri dalle caratteristiche geotecniche buone.

La stratigrafia si evince, oltre che dalle prove penetrometriche realizzate, anche dall'indagine sismica eseguita in sito.

I parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione oltre 1 m di profondità dal p.c. sono:

φ (angolo di attrito)	32,8°
γ (peso di volume)	1,95 t/mc

Le opere in progetto dovranno avere un carico uniforme sul terreno. Saranno da evitare plinti isolati o porzioni di edificio poggianti a livelli diversi dal piano campagna.

Al fine di garantire l'esecuzione degli interventi di scavo nel rispetto delle condizioni di stabilità dei fronti, si dovrà in ogni caso operare con cautela mantenendo altezze ed inclinazioni rapportabili con le caratteristiche geotecniche dei terreni esistenti; per il sito in esame potrebbero essere considerate sufficienti le garanzie di tenuta dello scavo a breve termine, mantenendo inclinazioni del fronte non superiori a circa 65°, tenendo anche conto di un contributo della coesione sul breve termine. Gli interventi di sbancamento dovranno essere sempre eseguiti a distanza di sicurezza dalle proprietà contermini e dai manufatti esistenti.

Si rammenta che i parametri geotecnici interpretativi sono stati elaborati sulla base di dati puntuali, riscontrati direttamente dalle prove penetrometriche. Non si possono escludere però eventuali variazioni laterali sia della litologia sia dello spessore e delle profondità degli strati di terreno che si potrebbero rinvenire in fase di scavo.

La falda, in data 12/10/2023, non è stata incontrata durante le fasi di indagine (prove DPSH), fino alla profondità di 6 m dal p.c. Per avere maggiori informazioni relative all'oscillazione stagionale della falda sarebbe necessario installare un piezometro ed effettuare misure a cadenza mensile per una durata che copra almeno l'arco delle quattro stagioni.

I terreni non sono liquefacibili.

Il suolo rientra nella categoria sismica B e nella categoria topografica T2.

Data la tipologia della struttura in progetto e la sua funzione, si è stabilita una vita nominale $V_N = 50$ anni e una classe d'uso II.

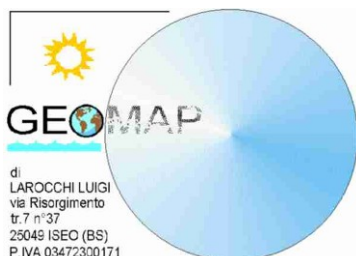
Come riportato in premessa della relazione geologica, l'intervento da realizzare ricade, nella carta del rischio, all'interno della **classe 2** di fattibilità (fattibilità con modeste limitazioni) e parzialmente in **classe 3** di fattibilità (fattibilità con consistenti limitazioni) a motivo di alcuni tratti di versante con pendenza di poco superiore a 20° , come evidenziato nella Carta della Fattibilità Geologica del P.G.T.

Tenuto conto di quanto sopra relativamente alle Norme di PGT ad oggi vigenti, la relazione è redatta sulla base di tutti i dati geognostici raccolti e con particolare riguardo alla valutazione del Modello Geologico (D.M. 17/01/18) e Geofisico (D.M. 16/01/96, Ord. 3274/2003, Ord. 3519/2006, D.M. 14/01/08, D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016) del sito di progetto ed alla verifica della compatibilità dell'intervento con le normative vigenti ed all'individuazione di eventuali prescrizioni/interventi necessarie per la sua realizzazione.

L'intervento di progetto, se eseguito secondo le prescrizioni del presente studio, risulta compatibile con la Classe di Fattibilità Geologica individuata e con le Normative di Vincolo Geologico e di Pericolosità Sismica vigenti.

Rimango a disposizione per ogni eventuale chiarimento.

Iseo, ottobre 2023



dott. geol. Luigi Larocchi

n. 1172 o.g.l.