



STUDIO DI GEOLOGIA E INDAGINI GEOGNOSTICHE

Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE

Via Antonioli 221 – 25015

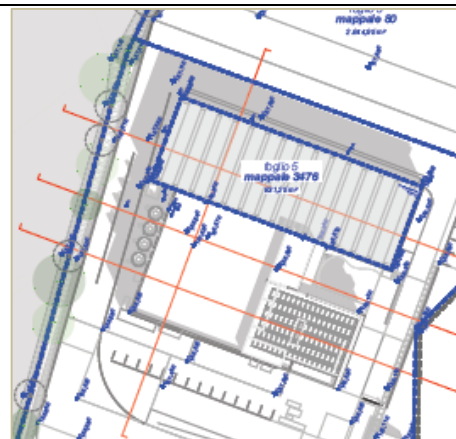
Desenzano del Garda (BS) - Italy

Tel. 3345719897 E-mail: geologofedele@gmail.com

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA (R1) ai sensi dell'NTC 2018 – (R3) ai sensi della DGR 2616/2011

Proprietà: Spett.le. U.V.L. S.r.l., via Roma, 46, 25077, Roè Volciano (BS).
P.IVA e Cod. Fiscale 03023680980

Oggetto: Relazione geologica per SUAP in variante al PGT per
modifica destinazione d'uso e ampliamento di fabbricato
esistente, via Fucine (SP 27), 25080, Prevalle (BS). Fg 5, Mappali 79,
80 e 3476.



Desenzano del Garda, 30/11/2023.

Il geologo:

Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE

Via Antonioli 221 – 25015

Desenzano del Garda (BS) - Italy

Tel. 3345719897

E-mail: studiogeologofedele@libero.it

Massimo Pasquale Fedele

Il presente documento ha esclusiva finalità geologica. Si scoraggia ogni altro uso od interpretazione impropria (ad esempio ambientale o tecnico economica). È vietato ogni utilizzo anche parziale e la riproduzione non autorizzata di questo documento ed ogni sua divulgazione incompleta.



INDICE.

1.0	Normativa di riferimento	Pag. 3
2.0	Premessa	Pag. 5
3.0	Inquadramento del sito	Pag. 6
	3.1 Inquadramento territoriale ed urbanistico	Pag. 6
	3.2 Inquadramento geologico, idrogeologico e litostratigrafico generale e locale	Pag. 7
	3.2.1 Geomorfologia	Pag. 7
	3.2.2 Geologia	Pag. 9
	3.2.3 Idrologia e idrogeologia	Pag. 13
	3.2.4 Neotettonica	Pag. 19
	3.2.5 Microzonazione sismica (MS)	Pag. 25
	3.2.6 La pericolosità sismica di base.	Pag. 29
4.0	Rilevamento geologico tecnico	Pag. 30
5.0	Descrizione delle indagini geognostiche	Pag. 31
	5.1 Descrizione della prova penetrometrica dinamica	Pag. 31
	5.2 Descrizione della tecnica Masw	Pag. 38
	5.2.1 Strumentazione utilizzata	Pag. 39
	5.2.2 Tracce	Pag. 40
	5.2.3 Analisi spettrale	Pag. 40
	5.2.4 Categoria di sottosuolo di fondazione	Pag. 43
	5.2.5 Categoria topografica di riferimento	Pag. 44
	5.3 Descrizione della tecnica d'indagine sismica a rifrazione con il metodo G.R.M.	Pag. 44
	5.4 Descrizione dell'indagine sismica di microtremore (H.V.S.R.)	Pag. 47
	5.4.1 Strumentazione utilizzata	Pag. 48
	5.4.2 Acquisizione del segnale sismico mediante stazione singola	Pag. 48
	5.4.3 Elaborazione dei dati acquisiti	Pag. 49
	5.4.4 Stima delle Vs con il metodo HVSR	Pag. 52
6.0	Modello geologico di riferimento	Pag. 53
7.0	Azione sismica al sito. Stima degli effetti di amplificazione litologica secondo la procedura prevista dalla L.R. 12/05	Pag. 54
8.0	Verifica qualitativa alla liquefazione del sito	Pag. 58
9.0	Problematiche geologico tecniche del progetto strutturale e opere di mitigazione dei rischi geologici	Pag. 59
10.0	Conclusioni	Pag. 63
11.0	Bibliografia tecnica	Pag. 64



1.0 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione ha le sue basi legali nella seguente normativa nazionale (in ordine cronologico):

- Regio Decreto 25 luglio 1904, n. 523, *"Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse Categorie"*;
- Regio Decreto 30-12-1923, n. 3267, *"Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"*;
- Regio Decreto 16 maggio 1926, n. 1126, *"Approvazione del regolamento per l'applicazione del R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267 (2), concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"*;
- Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775, recante *"Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici"*;
- Norma Tecnica A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) *"Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche"*;
- Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988 n° 30483 – *"Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- Norma Tecnica ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) *"Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)"*;
- Legge 18 Maggio 1989, n. 183 - Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), Interventi sulla rete idrografica e sui versanti;
- D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380 e successive modifiche ed integrazioni – *"Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia"*;
- Eurocodice 7.3 (2002). Progettazione assistita con prove in sito – UNI;
- D.L. 42/2004 - *"Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 legge 6 luglio 2002 n. 137"*;
- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 *"Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)"* (Indagini e prove geotecniche - Prove in sito- Parte 2: Prova di penetrazione dinamica. La norma specifica i requisiti per le indagini indirette dei terreni mediante prova di penetrazione dinamica quale parte delle indagini e prove geotecniche previste dall'Eurocodice 7);
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 *"Norme in materia ambientale"* detto (Codice ambientale), come modificato dal D.Lgs. 16 gennaio 2008, n. 4 e dal decreto-legge 29 novembre 2008, n. 185 convertito nella Legge 28 gennaio 2009, n. 2;
- Circolare n. 36 del 27 Luglio 2007 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, contenente *"Pericolosità sismica e Criteri Generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"*;
- Decreto Direttore Generale – 3 agosto 2007, n° 8943, *"Linee Guida di Polizia Idraulica"*;
- Decreto Ministeriale 14.01.2008 recante *"Norme Tecniche per le Costruzioni"*;
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 *"Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro"*;
- Decreto 10 agosto 2012, n. 161 – *"Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo."* (GU n. 221 del 21-9-2012);
- Legge n° 98 del 9 agosto 2013 di conversione, con modifiche, del decreto legge 21 giugno 2013, n° 69, recante *"Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia"* (cd *"decreto Fare"*);
- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 – *"Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164"*;
- Decreto-Legge 20 giugno 2017, n. 91 – *"Disposizioni urgenti per la crescita economica nel Mezzogiorno"*;
- Decreto Ministeriale 17.01.2018 recante *"Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»"*;
- Circolare Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 recante *"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- Decreto Legislativo 3 settembre 2020, n. 116: *"Attuazione della direttiva (UE) 2018/851 che modifica la direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti e attuazione della direttiva (UE) 2018/852 che modifica la direttiva 1994/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio."* (GU Serie Generale n.226 del 11-09-2020);
- Disposizioni contenute all'interno delle Norme Geologiche del P.G.T. del comune di Prevalle (*"Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. secondo i criteri e gli indirizzi dell'art. 57 della L.R. 11/03/2005 e successive modifiche ed integrazioni"*, agosto 2016);



- La normativa regionale interessata è:
- D.G.R. n° 6/15137/1996 - *"Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinati a consumo umano (D.P.R. n° 236/1988)"*;
- D.G.R. 10 aprile 2003 n.7/12693. *"Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5- Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano"*;
- L.R. Lombardia del 12 dicembre 2003 n. 26 *"Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche"*;
- Regolamento Regionale N. 3 del 24 marzo 2006 - *"Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26"*;
- L.R. Lombardia 11 marzo 2005, n. 12 - *"Legge per il governo del territorio"*;
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 - *"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 marzo 2005, n. 12"*;
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/2318 del 05 aprile 2006 - *"Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell'art. 3, comma 1 del Regolamento Reg. 2006, n. 3"*;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 3 *"Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26"*;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 4, *"Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'art.52 comma 1, lettera a, della L.R. 12 dicembre 2003, n.26"*;
- Regolamento regionale 20 luglio 2007 - n. 5 - *"Norme forestali regionali, in attuazione dell'articolo 11 della legge regionale 28 ottobre 2004, n. 27 (Tutela e valorizzazione delle superfici, del paesaggio e dell'economia forestale)"*;
- L.R. 05/12/2008, n. 31 *"Testo unico delle leggi regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale"*;
- D.G.R. Lombardia n. 9/2616 del 30.11.2011 - *"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 della L.R. 11.03.2005 n.12, approvati con D.G.R. 22.12.2005 e successivamente modificati con D.G.R. 28.5.2008 n. 8/7374"*;
- D.G.R. 21 Luglio 2014, n. 2129 *"Aggiornamento delle zone sismiche in regione lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)"*;
- Legge Regionale n. 33 del 12 ottobre 2015, recante *"Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche"*;
- Legge Regionale n. 4 del 15 marzo 2016, *"Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua"*;
- 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);
- Legge Regionale n. 7 del 13/03/2017 *"Recupero dei vani e locali seminterrati esistenti"*;
- 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 così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po"*;
- D.G.R. 15 dicembre 2021 - n. 5714, *"Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica"*.

Standard di riferimento per le analisi in sito e in laboratorio, raccomandazioni e specifiche:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana- Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle Indagini Geotecniche (1997);
- ASTM (American Society to Testing and Materials) D1586-11- Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils (2011);
- NAVFAC DM-7- Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures (1971);
- ITHACA - *Italy Hazard from Capable Faults*. Inventario delle faglie capaci in Italia. Guida alla consultazione e all'utilizzo. ISPRA - Servizio Geologico D'italia. Tavolo tematico *"Tettonica attiva e faglie capaci"* della rete italiana dei servizi geologici (Giugno 2022);
- Raccomandazioni ISMR (International Society for Rock Mechanics);
- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials);
- Norme CNR-UNI (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Ente Italiano di Unificazione);



2.0 PREMESSA

A seguito dell'incarico tecnico da parte dello Studio 70% Architettura Società tra professionisti - S.r.l., costituito da Ing. Berardi Camilla, Ing. Comincioli Michele, Ing. Marini Alberto e Arch. Benedetti Annalisa, Via Bruno Corti 5, 25089, Villanuova Sul Clisi (BS), sono state redatte le presenti relazioni geologiche redatte ai sensi della DGR IX/2616/2011 e delle NTC 2018 ed elaborate in un unico documento (accorpate) in quanto riportano contenuti comuni, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, a supporto di un progetto di nuova costruzione nel comune di Prevalle (BS).

Il terreno oggetto dell'intervento è riportato in Catasto Fabbricati con il F° 5 particelle 79, 80 e 3476 ha coordinate geografiche riferite all'ellissoide European Datum 1950 - ED50: latitudine 45,54778° e longitudine 10,433688° (Est da Greenwich). Il sito è meglio identificato nella cartografia di dettaglio di seguito riportata.

La proprietà intende realizzare un capannone in calcestruzzo prefabbricato, con copertura piana, disposto parallelamente a quello esistente sul lato meridionale. In pianta l'edificio corrisponde ad un rettangolo con un'area pari a circa 900,0 mq. Con riferimento all'aspetto sismico e dal punto di vista generale, l'edificio è essenzialmente basso, regolare e piuttosto rigido.

Per tutti i dettagli e le maggiori specificazioni relative alle opere in progetto, la cui stabilità e sicurezza interessa la pubblica incolumità, si rimanda alla visione degli elaborati progettuali.

Una preliminare disamina delle problematiche geologiche del territorio presenti ha previsto una ricerca bibliografica e l'analisi delle cartografie disponibili, del portale Web della Regione Lombardia, dello studio geologico del territorio comunale allegato al DdP del P.G.T. del comune di Prevalle, del Geoportale Nazionale, l'Inventario dei Fenomeni Franosi (IFFI), del "Catalogo delle faglie capaci - ITHACA", il *Database of Individual Seismogenetic Sources - DISS 3.3.0*", della banca-dati relativa al progetto HIKE (*#Hazard and Impact Knowledge for #Europe*), del sito dell'INGV e, infine, di studi geologici ed indagini geognostiche eseguiti dallo scrivente entro il medesimo contesto geologico e geomorfologico del comune di Prevalle.

E' stato poi compiuto un rilevamento sul campo e analisi dello stato dei luoghi, effettuati per individuare eventuali problematiche di ordine morfologico che potessero interferire negativamente con i manufatti in progetto e per accertare l'esistenza di condizioni logistiche favorevoli all'eseguirsi delle operazioni di cantiere.

Le indagini e prospezioni geologiche, geotecniche e geofisiche sono state concordate con il progettista e finalizzate alla ricostruzione del Modello Geologico di riferimento del sottosuolo (D.M. 17/01/18), Modello geotecnico (D.M. 17/01/18) e Modello Geofisico (D.M. 16/01/96, Ord. 3274/2003, Ord. 3519/2006, D.M. 17/01/18, D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R 10/5001/2016), oltre a verificare la pericolosità del territorio oggetto dell'intervento. Le esplorazioni sono state commisurate in maniera sostanziale agli obiettivi della caratterizzazione, all'importanza dell'opera e alla sua dimensione. Pertanto sono state eseguite una **prova penetrometrica dinamica DPH** (*Dynamic Probing Heavy*) con strumento standardizzato, un'**indagine sismica attiva del tipo Masw** (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) per la misura diretta della velocità equivalente (V_{seq}) di propagazione delle onde di taglio, un'**indagine sismica attiva a rifrazione con il metodo reciproco generalizzato G.R.M.** (*Generalized Reciprocal Method*) per la ricostruzione degli spessori e delle geometrie delle unità geofisiche presenti nel sottosuolo e, infine, un'**indagine sismica passiva HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) del microtremore sismico per la misura diretta dei picchi di risonanza dovuti a contrasti di impedenza acustica.

I metodi geofisici di tipo sismico utilizzati consentono la determinazione nello stato naturale dei terreni e delle rocce, senza l'inevitabile disturbo associato al prelievo dei campioni per le prove in laboratorio, e alla scala d'interesse per le applicazioni¹.

1 "Affidabilità delle prove geofisiche per la caratterizzazione geotecnica in zona sismica", S. Foti. Atti della giornata di studio. Brescia, 20 novembre 2014.

E' stato poi eseguito in seguito uno studio geologico e geomorfologico commisurato all'entità e dimensione dell'intervento stesso e alle effettive problematiche dell'area d'intervento e di un congruo intorno che ha permesso la progettazione d'interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico preesistente del territorio e per il conseguente corretto inserimento dell'opera nel contesto vegetazionale e idrogeologico tale da non recare danno all'assetto idrogeologico del territorio e, quindi, del corrispondente interesse pubblico.

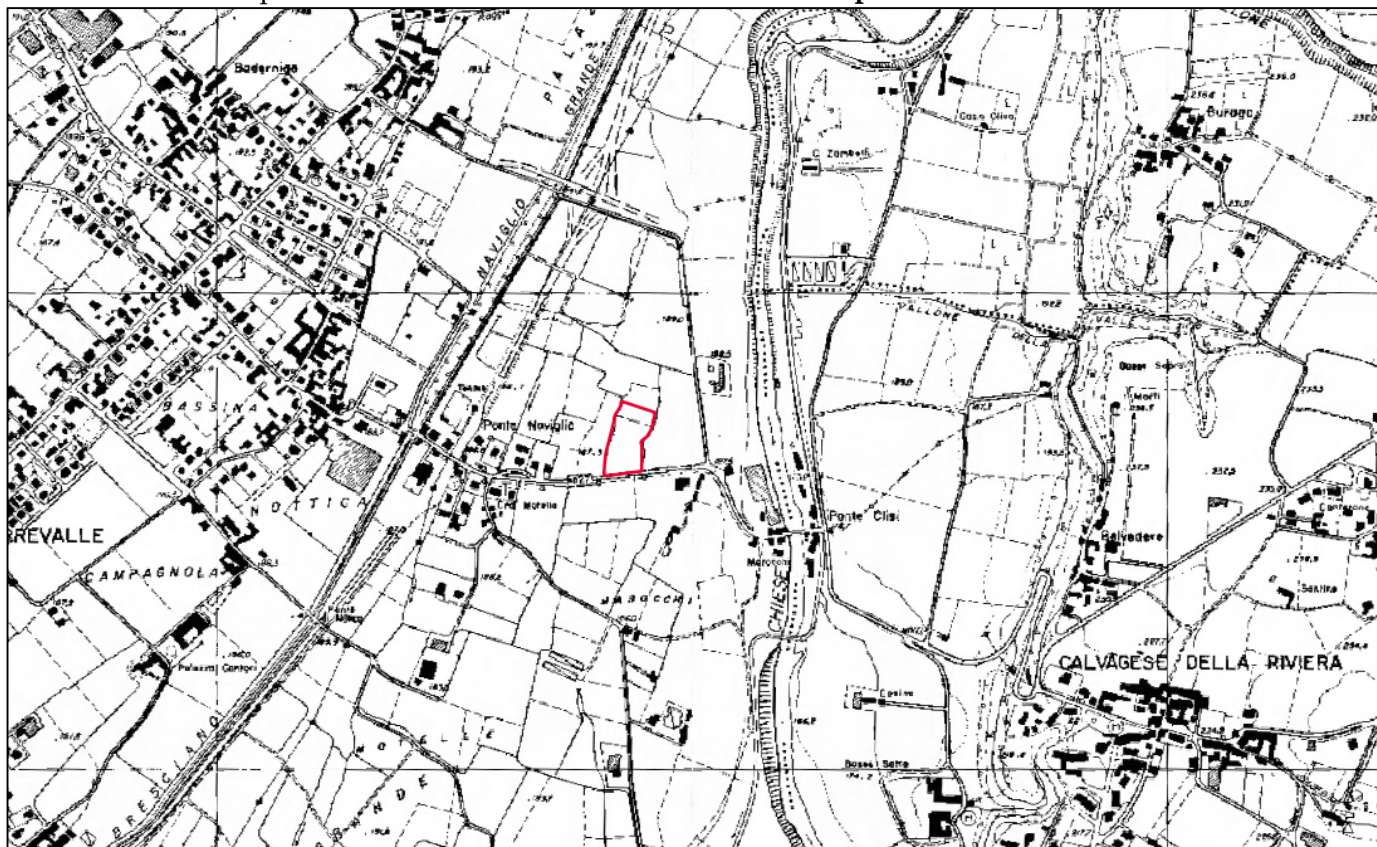
Per ultimo è stata eseguita un'analisi delle problematiche geologico tecniche del progetto strutturale che riguardano la variabilità orizzontale e verticale dei terreni, la loro portanza (su cui andranno fondate le fondazioni della struttura) e la stabilità degli scavi, con espressione finale di un giudizio tecnico e professionale sulla interazione dell'opera di progetto con la vulnerabilità del sito.

3.0 INQUADRAMENTO DEL SITO

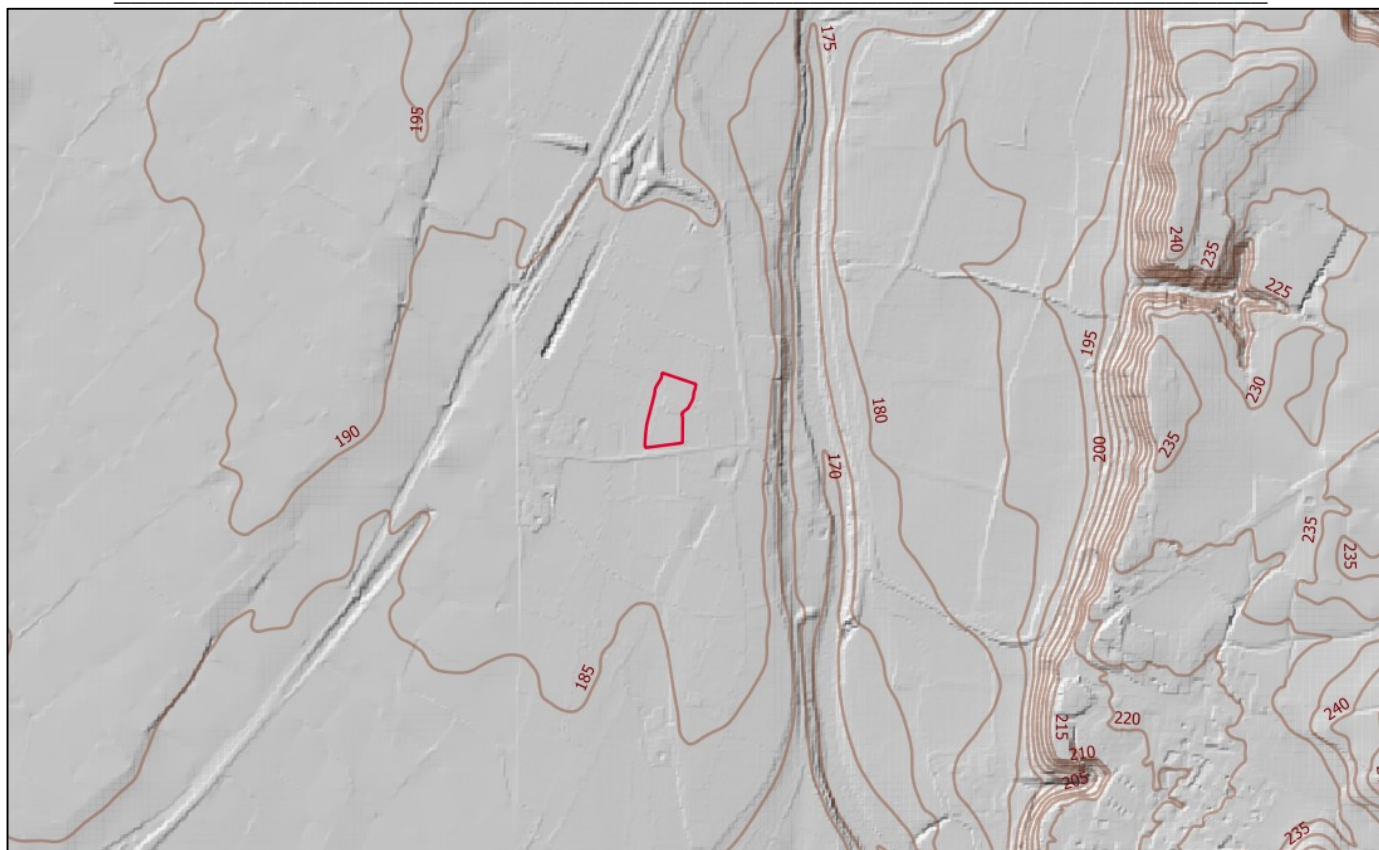
3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO

L'analisi della documentazione dei caratteri del territorio ha compreso il reperimento di tutte le informazioni disponibili al momento della stesura della presente relazione, l'acquisizione degli elementi (lineari e areali) in formato *shp* disponibili nel portale "Cartografia" della Regione Lombardia, nel Catasto dell'Agenzia delle Entrate e si sono recepiti gli scenari di pericolosità e i vincoli individuati negli studi geologici per il PGT. Trattandosi di documenti che possono avere diversi sistemi di coordinate di *layer shp*, si precisa che potrebbero esserci nei vari stralci rappresentativi lievi scostamenti tra i limiti cartografici.

Il progetto delle opere si colloca in un'area stabile subpianeggiante dell'alta pianura fluvio-glaciale, costituita essenzialmente da depositi alluvionali quaternari di tipo fluvio-glaciale e fluviale. La zona in studio è situata a una quota di circa 187,4 mt s.l.m., al limite tra area urbanizzata e campagna ed è caratterizzata dalla presenza di terreni coltivati a **seminativo semplice**.



Estratto dalla Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 (evidenziato in rosso il baricentro dell'area).



Stralcio non in scala del rilievo ombreggiato derivante dal modello digitale del terreno DTM BS 5 X 5 mt.

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E LITOSTRATIGRAFIA GENERALE E LOCALE DEL SOTTOSUOLO

3.2.1 Geomorfologia

Dal punto di vista delle dinamiche geomorfologiche l'area in studio, e parte della zona circostante, si presenta in condizioni di generale stabilità in quanto da molto tempo non è oggetto di importanti fenomeni erosivi o deposizionali.

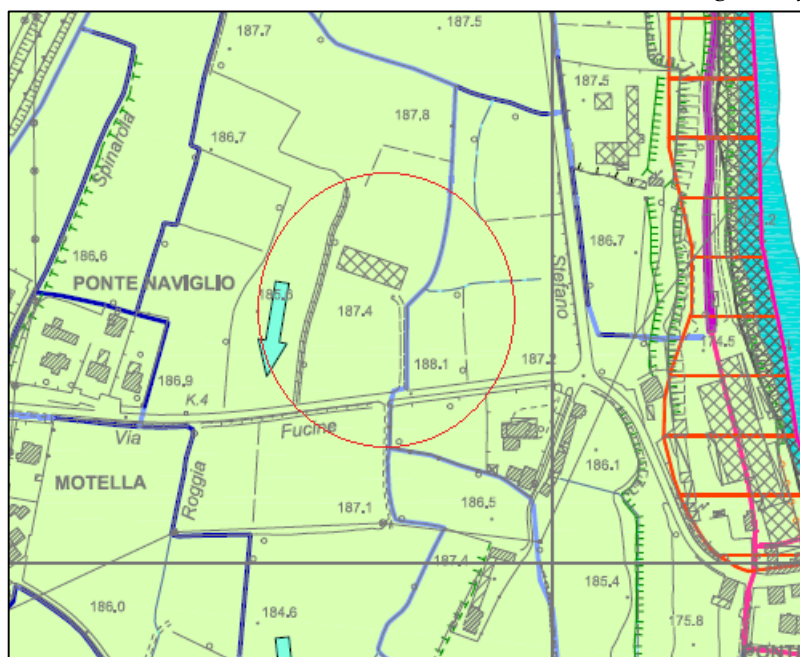
L'area è caratterizzata da una morfologia di **alta pianura fluvioglaciale** posta a est del territorio del comune di Prevalle, in un paesaggio con una topografia subpianeggiante che degrada debolmente verso sud-est legata all'ambiente deposizionale che ha originato questi depositi (morfologia di origine fluvioglaciale).

La facies deposizionale è stata a diverse energie idrodinamiche che si sono tradotte in repentine variazioni delle litologie sia in senso orizzontale sia verticale.

Tali depositi risultano successivamente erosi in corrispondenza della valle del Chiese ad opera del corso d'acqua, che, attraverso fasi erosive e deposizionali, ha costituito i depositi alluvionali più recenti, olocenici, ed i relativi ripiani terrazzati che definiscono nel loro complesso l'incisione valliva a "cassetta" del corso d'acqua. Entro queste ultime alluvioni il fiume sviluppa il proprio corso, più o meno liberamente con andamento tipicamente meandriforme.



Per la zona in studio la visualizzazione della "Carta geomorfologica" comunale (Documento di Piano SG



Depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso sabbiosi a caratteristiche geotecniche buone

Depositi alluvionali a caratteristiche geotecniche mediocri, o localmente scadenti nello strato più superficiale



Traccia di paleovalveo

RETICOLO IDRICO DI COMPETENZA DEI CONSORZI DI BONIFICA - RIB (DC)

Canali di competenza del
CONSORZIO DI BONIFICA CHIESE

Tratti a pelo libero
(con alveo in terra)

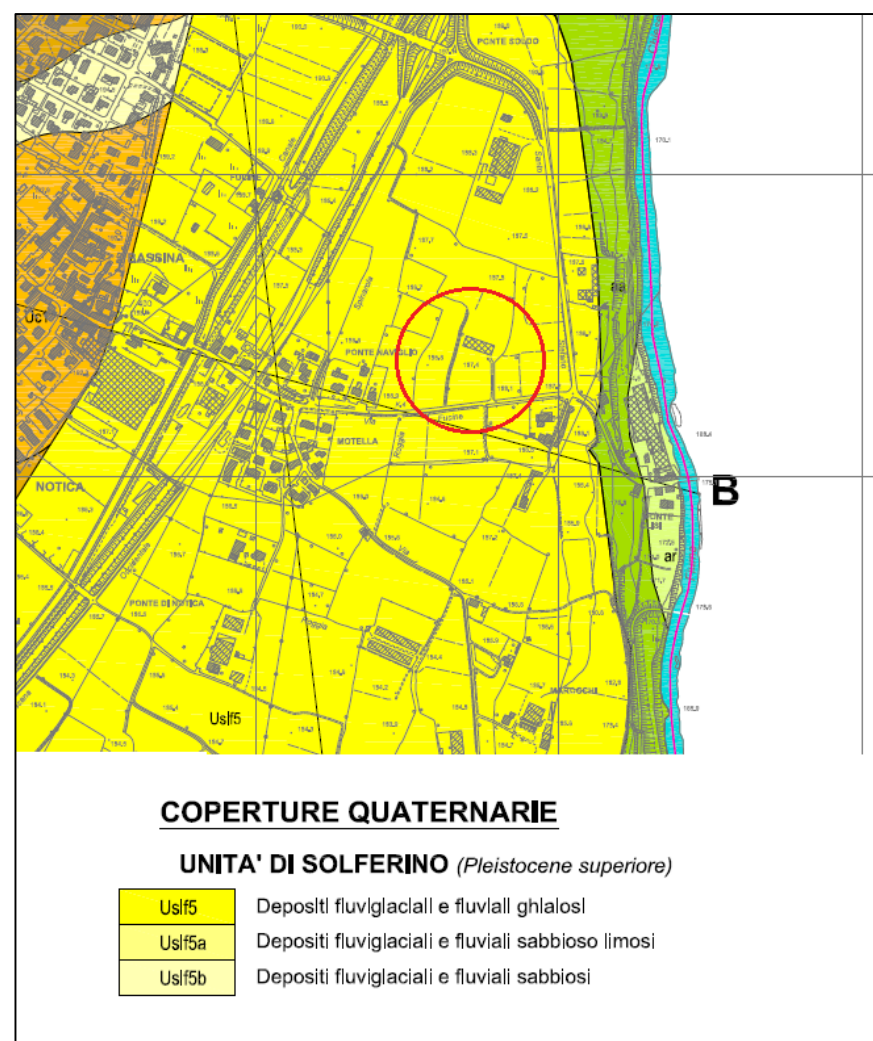
T02), di cui a lato è riportato lo stralcio relativo all'area morfologica in esame, permette di identificare dei **depositi alluvionali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi a caratteristiche geotecniche buone**. L'area è compresa in un terrazzo delimitato da scarpate erosive, rilevato di pochi metri rispetto alla pianura circostante destra orografica del F. Chiese, in un paesaggio con una topografia subpianeggiante che degrada debolmente verso il talweg della valle, quindi con direzione sud-est e con una pendenza media di circa 2°.

La superficie topografica presenta caratteri da pianeggianti a lievemente ondulati con ondulazioni orientate nel senso delle correnti fluvioglaciali che le hanno prodotte, individuabili soprattutto dall'esame delle fotografie aeree, che costituiscono le tracce di un antico sistema fluviale a canali intrecciati (braided). La piana era, infatti, occupata, nel tardo Pleistocene, da corsi d'acqua ad alta energia di tipo torrentizio. I canali abbandonati sono distinguibili dalle barre a essi interposte per la presenza di abbondante matrice limosa e argillosa,

assente nelle barre dove le sabbie e le ghiaie costituiscono la componente nettamente dominante. La piana è stata reincipa da eventi deposizionali più recenti, con formazione di unità morfologiche individuate da orli di terrazzi convergenti nella direzione dei solchi vallivi e scarpate più o meno accentuate rimodellate parzialmente da interventi antropici finalizzati alla coltivazione dei terreni. Come si nota nello stralcio dell'immagine precedente, è riconoscibile un antico **paleoalveo** che solcava la pianura e che ora costituisce un lineamento di una paleoidrografia rappresentata da piccoli corsi d'acqua e da linee di deflusso. I depositi all'interno di tali canali abbandonati sono solitamente più grossolani rispetto alla piana circostante, ma è anche comune che il canale non più attivo, se depresso, abbia accolto acque di esondazione provenienti da alvei attivi vicini e quindi si sia andato riempiendo di depositi da decantazione di acque torbide. In questi casi il riempimento è di solito formato da depositi argillosi e organici.

3.2.2 Geologia

Geologicamente, la "Carta geolitologica con elementi strutturali" (Documento di Piano SG T01) dello Studio



Geologico Comunale riporta **Depositi fluviglaciali – Fase di Solferino/Unità di Solferino (Pleistocene Superiore)**, con caratteristiche geotecniche buone, in potenti sequenze deposizionali con struttura a grosse lenti essenzialmente grossolane quali ghiaie e sabbie con ciottoli poligenici a spigoli arrotondati e massi di notevoli dimensioni (trovanti). I depositi ghiaioso-sabbiosi si presentano localmente cementati per opera di acque ricche di carbonati, che hanno dato luogo a corpi conglomeratici lentiformi e/o a veri e propri orizzonti di spessore variabile e talora di notevole potenza. Sono in ogni caso presenti strati e/o lenti di sedimenti a granulometria più fine (argille, argille limose, limi sabbiosi, ecc.) intercalati e alternati agli strati di ghiaie e sabbie, talora limose, e di conglomerati. È presente un **livello superficiale prevalentemente limoso-argilloso** di colore bruno rossastro con spessore generalmente

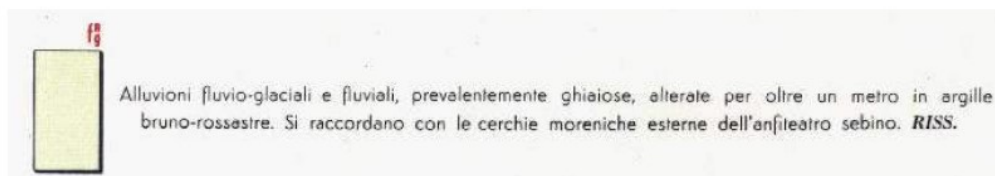
inferiore al metro.

La Carta Geologica d'Italia - Foglio 47 – "Brescia" riporta per l'area in studio la formazione affiorante nota come **fg - alluvioni fluviglaciali e fluviali, prevalentemente ghiaiose, alterate per oltre un metro in argille bruno-rossastre**. Si raccordano con le **cerchie moreniche esterne dell'anfiteatro sebino**. (Pleistocene superiore).

Questi depositi hanno subito un continuo rimaneggiamento da parte delle correnti fluviali e presentano quindi spesso una struttura costituita da lenti interdigitate, rappresentata al loro interno da litotipi a granulometria omogenea. Non è infrequente la presenza accessoria di materiali fini (limoso-argillosi o



torbosi) in corrispondenza dei meandri abbandonati non molto distanti dalla zona in studio, successivamente colmati.



La banca-dati della Regione Lombardia riporta per l'area in studio, e parte della zona circostante, un deposito continentale cartografato con la sigla **ghiaie ben gradate con sabbia**.





Altri dati stratigrafici sono desumibili dalla stratigrafia del pozzo limitrofo Pr3.

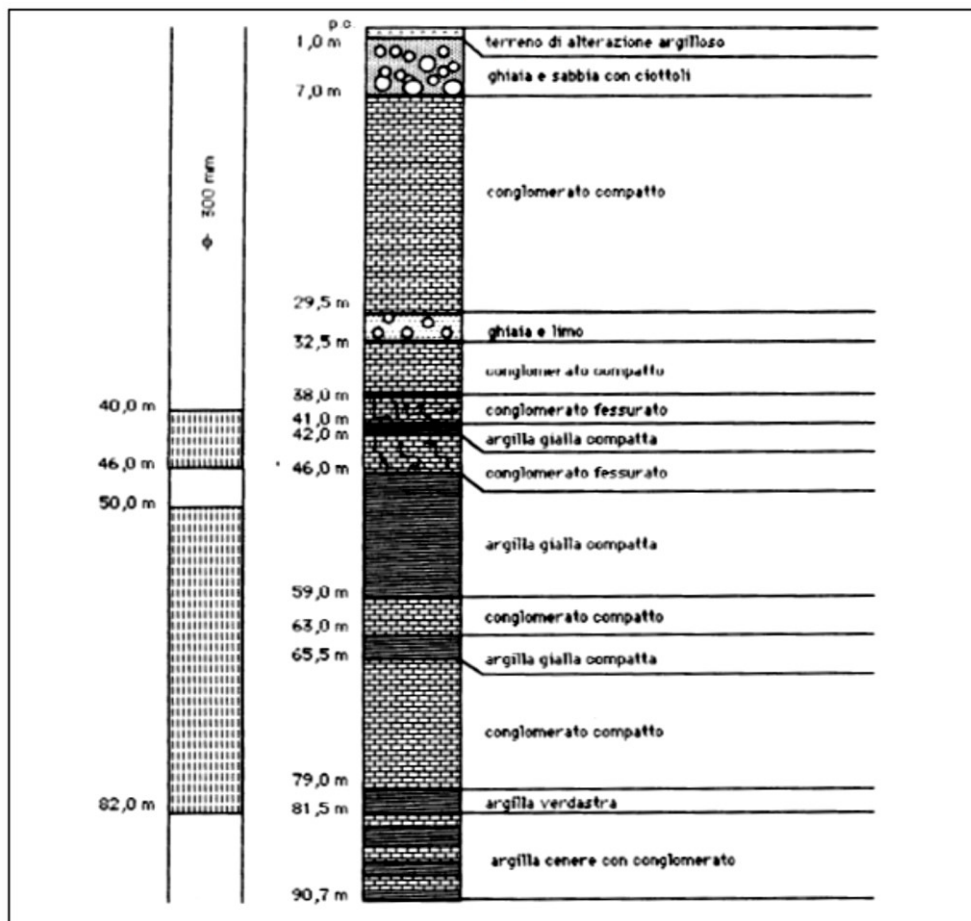
SCHEDA CENSIMENTO POZZI

1. Dati Identificativi

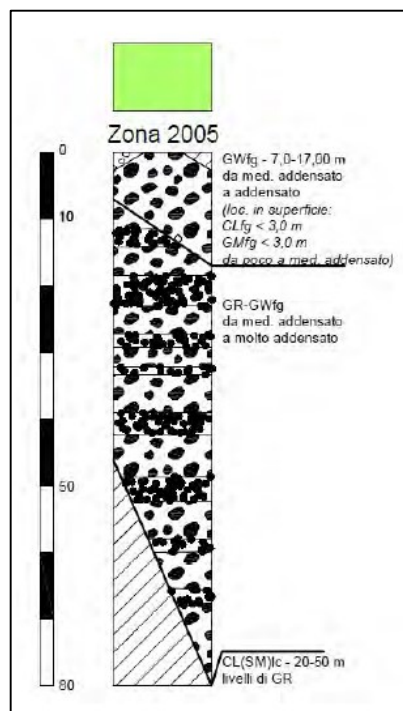
N° di Riferimento e denominazione	Pr3	Cod. TANGRAM: 171550002
Località	Loc. Marocchi	
Comune	Prevalle	
Provincia	Brescia	
Sezione CTR	D6d1	
Coordinate chilometriche Gauss Boaga (da CTR)	Fuso ovest	Latitudine nord 5044350
		Longitudine est 1611740
Quota (m s.l.m.)	186,00 m	
Profondità (m s.l.m.)	90,7 m	



3 Stratigrafia



Nella “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” la sezione stratigrafica rappresentativa del territorio è la “zona 2005” e di cui di a lato si riporta lo stralcio.



La “zona 2005” rappresenta l’esteso ambito di raccordo tra il “pianalto” e l’incisione del F. Chiese, anch’esso allungato in direzione NE-SW, in corrispondenza del quale prevalgono in superficie depositi di ghiaie eterogenee, ghiaie sabbiose (ed in subordine ghiaie debolmente limose) da mediamente addensate a molto addensate, con locali coperture argilloso limose e ghiaioso limose da poco a mediamente addensate; lo spessore complessivo risulta variabile tra 7 e 17 m. Al di sotto sono presenti sequenze ancora ghiaiose e conglomeratiche fluvioglaciali poggianti a partire da circa -50/-80 m dal p.c. su sequenze lacustri più francamente argillose.

3.2.3 Idrologia e idrogeologia.

Dal punto di vista idrografico il corso d’acqua principale d’interesse regionale è il Fiume Chiese



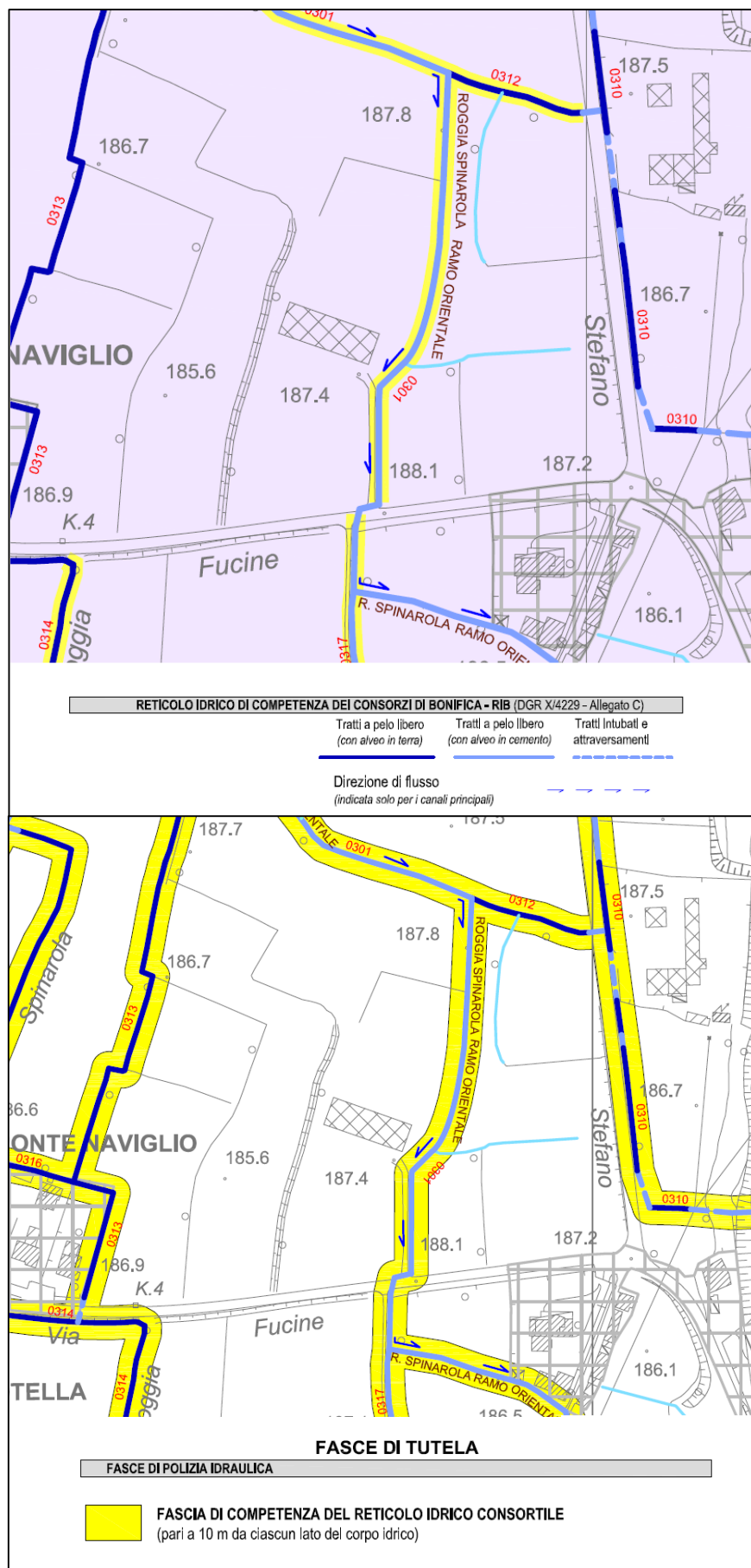
caratterizzato, in questo tratto, da un pattern sinuoso con andamento preferenziale NW-SE. Esso scorre a distanza dal lotto in studio; sono presenti lungo il suo corso le derivazioni da cui hanno origine i canali artificiali a cielo aperto con funzione irrigua per le aree agricole, gestiti dal consorzio di bonifica Consorzio Medio Chiese che svolge direttamente le funzioni operative di

esercizio e manutenzione della rete. Esso consiste di una maglia idrografica caratterizzata da un reticolo a graticcio che segue l’andamento e la forma planimetrica dei fondi.



Nello stralcio della “Carta d’individuazione e di rilievo del reticolo idrico” (Documento di Piano TAV. 1) nell’area

in studio è riportato il tratto del canale a pelo libero e alveo in sezione di cemento denominato Canale Spinarola, appartenente al R.I.B..

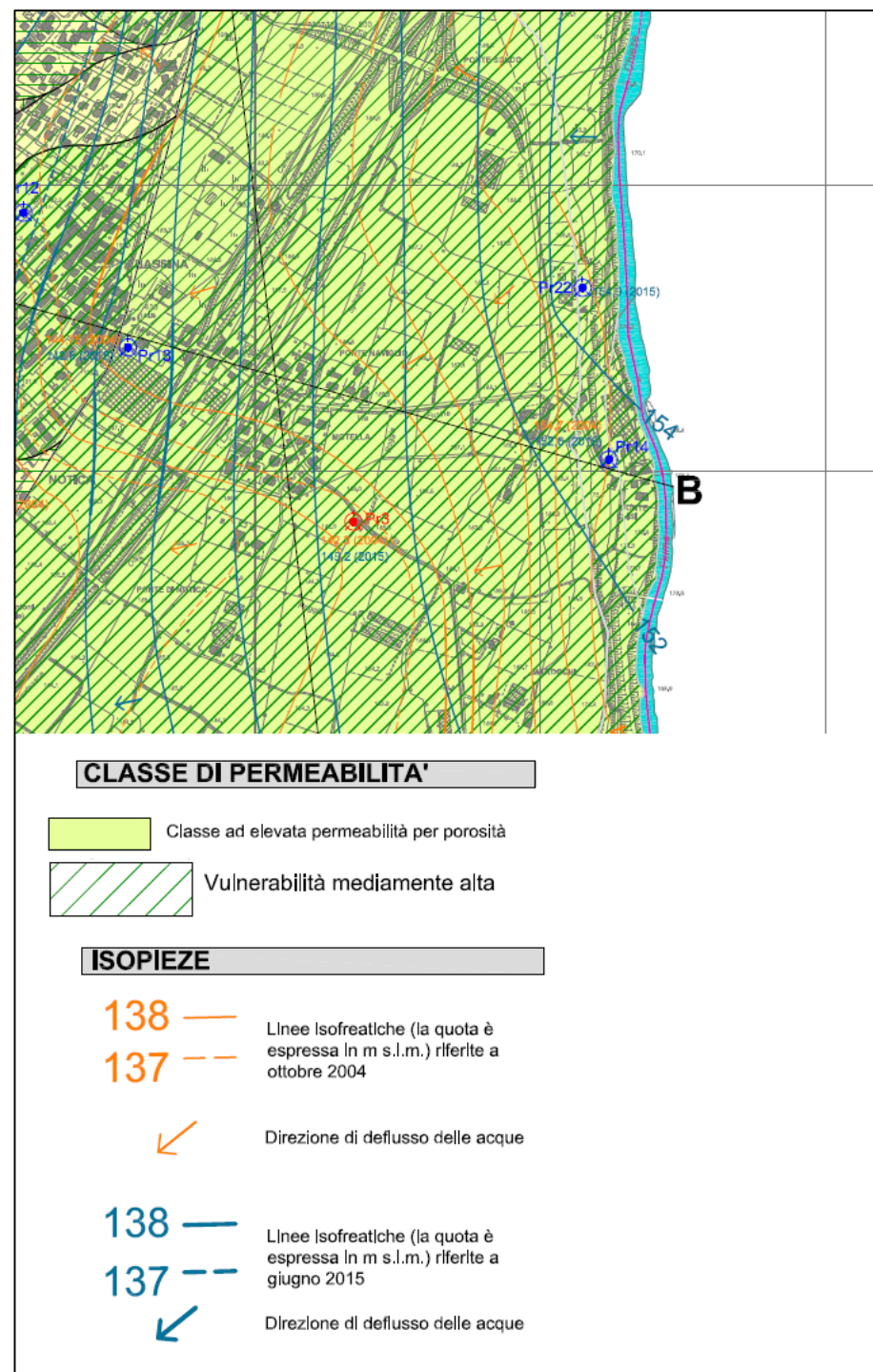


Nello stralcio della “Carta di tutela del reticolo idrico” (Documento di Piano TAV. 2) la zona in studio è prossima al fosso irriguo Canale Spinarola Ramo Orientale (Cod. Canale 0301). Questo presenta una fascia di rispetto² di 10,0 mt da ciascun lato del corpo idrico appartenente al reticolo idrico consortile (rif. legislativo: allegato C del D.G.R. Lombardia n. XI/5714 del 15/12/2021, “Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica”).

² Area destinata a garantire la sicurezza idraulica dei corsi d'acqua e il loro corretto deflusso.

Idrogeologia.

Nella "Carta d'inquadramento idrogeologica con indicazioni sulla vulnerabilità degli acquiferi superficiali"



(Documento di Piano SG T03), di cui a lato è presentato lo stralcio, mostra l'elevata permeabilità della zona oggetto di studio e la vulnerabilità classificata mediamente alta dell'acquifero superficiale.

E' presente, secondo i dati rilevati nel 2015, una curva isopiezometrica a quota circa 148,0 mt., quindi la **falda** si attesta a circa **39,4 mt.** dal p.c.. Questa è captata da pozzi e soggetta a oscillazioni di quota in relazione alle precipitazioni atmosferiche. La direzione di deflusso è verso sud-ovest.

In ragione della elevata soggiacenza della falda e della presenza di livelli a permeabilità ridotta (argilla compatta presente nel pozzo Pr3), la vulnerabilità a fenomeni di inquinamento e contaminazione per infiltrazione dalla superficie dell'acquifero freatico si configura medio bassa. L'assetto idrogeologico può essere spiegato esaminando la successione stratigrafica dei depositi che la pianura e possiamo definirla, partendo dal basso, dall'Unità Villafranchiana (Pleistocene Inferiore), contraddistinta da depositi a granulometria fine (argille, limi, limi sabbiosi e argillosi) posti a profondità di circa 80 ÷ 100 metri.

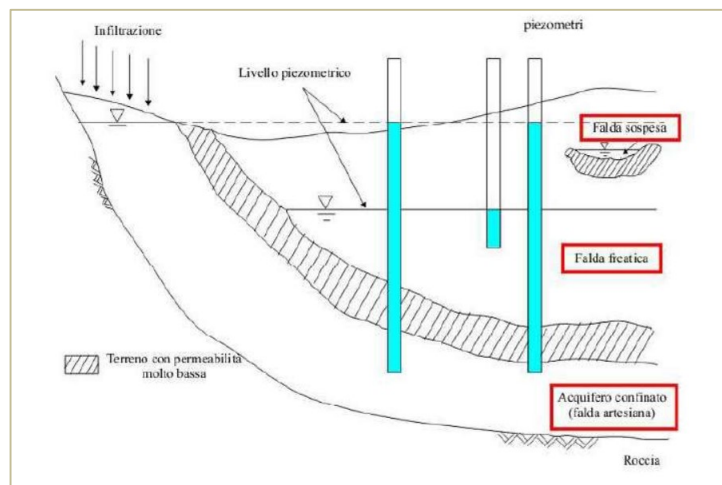
Questa unità svolge il ruolo di substrato impermeabile degli acquiferi soprastanti. Superiormente si ha la sequenza conglomeratica riferibile al Pleistocene Medio (in genere definita "Ceppo"), costituita da conglomerati compatti e/o fessurati permeabili per fratturazione, con intercalazioni di ghiaie, sabbie e talora limi e argille. Questa unità è sede di una falda idrica produttiva, sfruttata dai pozzi esistenti nella zona di studio ed in quelle ad essa vicine. Infine segue il non saturo con la sequenza ghiaioso-sabbiosa (ghiaie e sabbie con ciottoli e trovanti) del Pleistocene Superiore-Olocene, con spessore di circa 30 ÷ 40 metri con permeabilità piuttosto elevata.

È probabile che gli intervalli acquiferi su scala ampia siano tra loro intercomunicanti, in quanto gli orizzonti a bassa permeabilità risultano piuttosto discontinui e con una notevole variabilità laterale e non appaiono

in grado di separare acquiferi diversi.

Pertanto si ha una circolazione idrica sotterranea in diversi livelli sovrapposti, tra loro comunicanti, riconducibili a un'unica falda a pelo libero (freatica) multistrato.

L'alimentazione della falda deriva essenzialmente dalle precipitazioni meteoriche, che sono la fonte principale di alimentazione delle falde acquifere.



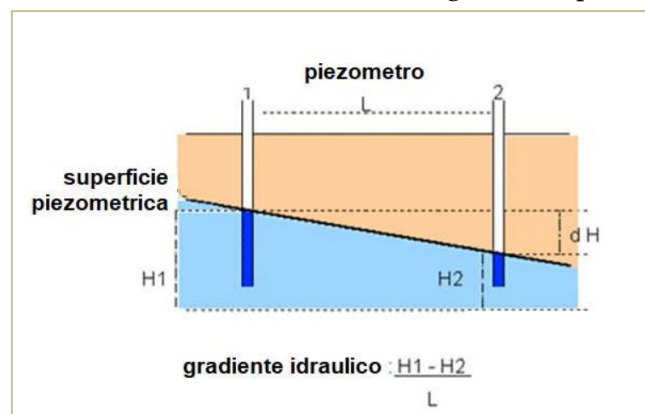
L'acqua piovana o nevosa che cade sul terreno penetra nel suolo e si infiltra nelle zone permeabili, formando le falde. La quantità di acqua che penetra nel terreno dipende da diversi fattori, tra cui la natura del suolo, la topografia e la vegetazione. Le dispersioni da subalveo della rete idrica superficiale sono un'altra importante fonte di alimentazione delle falde. L'acqua dei corsi d'acqua, che scorre sotto al letto dei fiumi e dei torrenti, può infiltrarsi nel terreno e alimentare le falde. Le irrigazioni del semestre aprile-settembre possono anche contribuire

all'alimentazione delle falde. L'acqua utilizzata per irrigare i campi può infiltrarsi nel terreno e alimentare le falde. I contributi ipogei legati alla circolazione idrica di tipo carsico maturata nel substrato roccioso del settore montano e pedemontano sono una fonte di alimentazione secondaria delle falde. Il carsismo è un fenomeno geologico che si verifica in rocce solubili, come il calcare. L'acqua piovana o nevosa che cade su queste rocce le dissolve, formando grotte e cavità. L'acqua che scorre in queste cavità alimenta le falde.

La soggiacenza è la profondità alla quale si trova la superficie libera di una falda acquifera. Nel caso di Prevalle, la soggiacenza è di circa 45,0-50,0 metri dal piano campagna nel settore centro-occidentale, che gradualmente risale spostandosi verso est e nord-est.

Il flusso delle acque sotterranee nel territorio di Prevalle segue l'andamento dell'ampia conoide del fiume Chiese. In prossimità del bordo collinare, il flusso è diretto prevalentemente da nord-est verso sud-ovest. Ciò è dovuto alla presenza del fiume Chiese, che scorre in quella direzione.

La falda freatica di Prevalle ha un gradiente piezometrico dell'ordine del 2% in prossimità del fiume Chiese



e dello 0,25% entro la pianura. Ciò significa che la falda scende di circa 2 centimetri per ogni chilometro percorso in prossimità del fiume Chiese, e di circa 2,5 centimetri per ogni chilometro percorso entro la pianura.

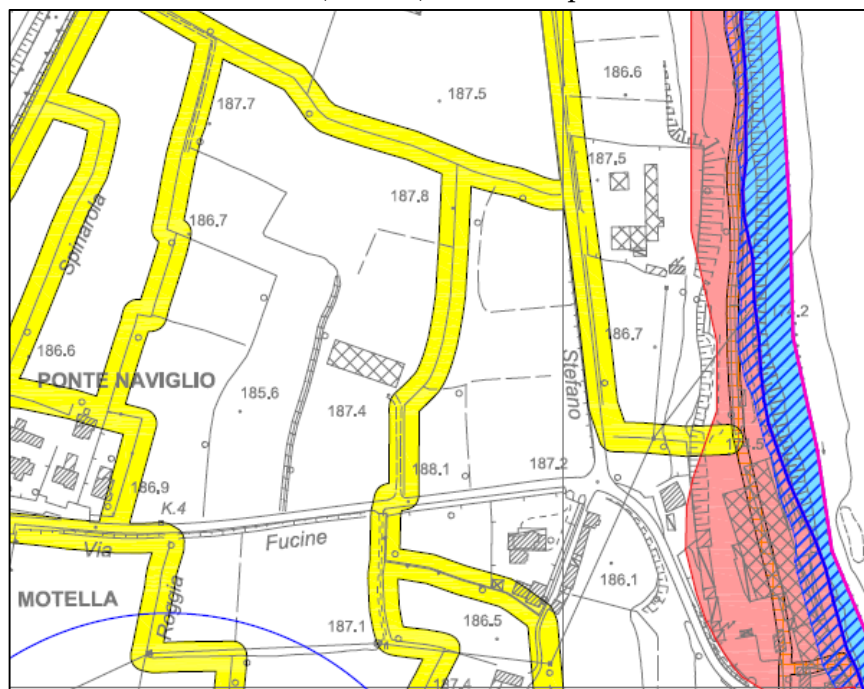
La falda freatica di Prevalle presenta anche una certa escursione stagionale. La minima soggiacenza si registra al termine della stagione estiva, quando le precipitazioni sono scarse e l'evapotraspirazione è elevata. Il massimo abbassamento si registra invece nella stagione invernale-primaverile, quando le

precipitazioni sono più frequenti e l'evapotraspirazione è più bassa. L'escursione stagionale può raggiungere i 1-1,2 metri del livello piezometrico.



Sulla "Carta dei vincoli" (SG T06), di cui si riporta a lato uno stralcio, la zona in studio non riporta un vincolo

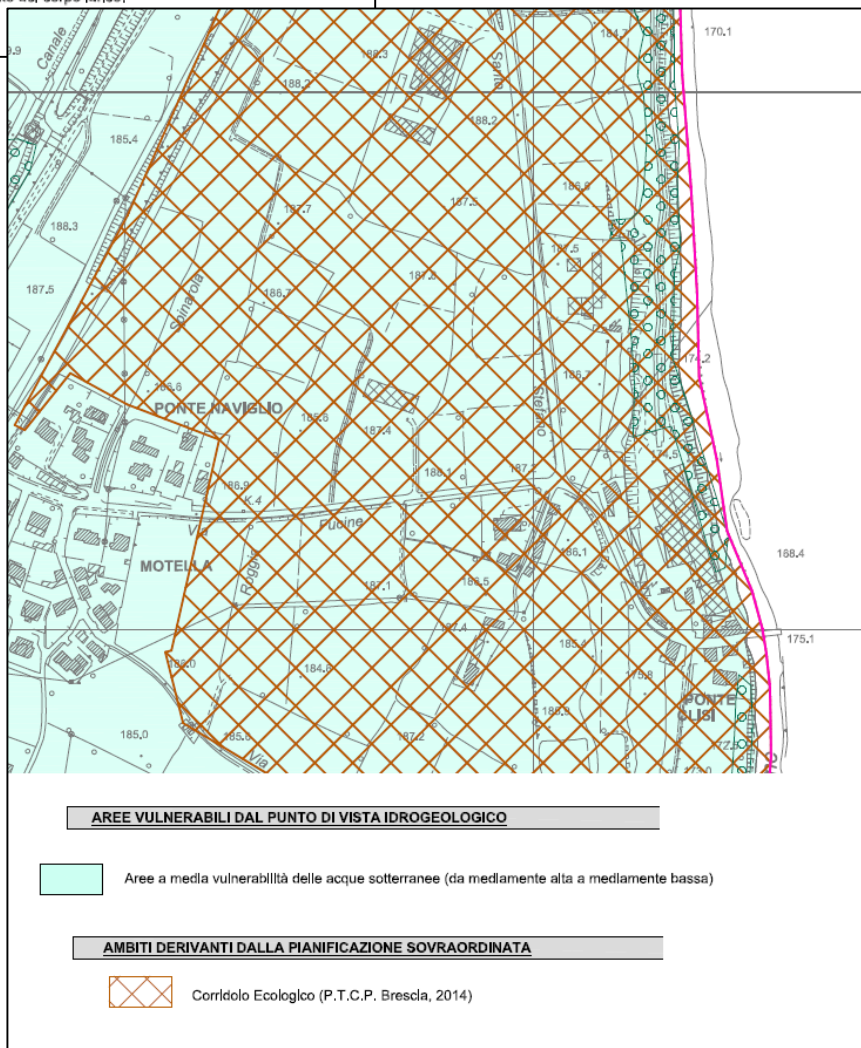
di polizia idraulica dovuto al reticolo idrografico consorziale (rif. legislativo: allegato C del D.G.R. Lombardia n. X/4329 del 23/10/2015, "Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica").



Art. 6 - AREE SOGGETTE A VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA - Doc. di Piano RIM DPI (EN-ET)

Art. 6c - FASCIA DI COMPETENZA del Reticolo Idrico Consorzile
(DGR X/4229 all.C) pari a 10 m da ciascun lato del corpo idrico.

A lato è presente lo stralcio della della "Carta di sintesi" (Documento di Piano SG T07) che ricalca la media vulnerabilità delle acque sotterranee.

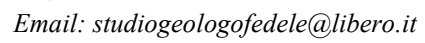


Nella cartografia presentata nella “Carta PAI-PGRA” (Documento di Piano SG T06 - PAI-PGRA), che ha determinato un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo rappresentato dagli Elaborati PAI e di cui di seguito è riportato uno stralcio, nell’area di progetto non sono riportati vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino (Piano stralcio per Assetto Idrogeologico PAI, rif. legislativo: L. 183/89; L. 267/98; L. 365/00; L. 179/02), cioè non s’individuano per il lotto in oggetto fenomeni legati a pericolosità idraulica nè rischi idrogeologici (come aree soggette a fenomeni di intensa erosione o le frane, processi evolutivi più o meno catastrofici, ecc.).

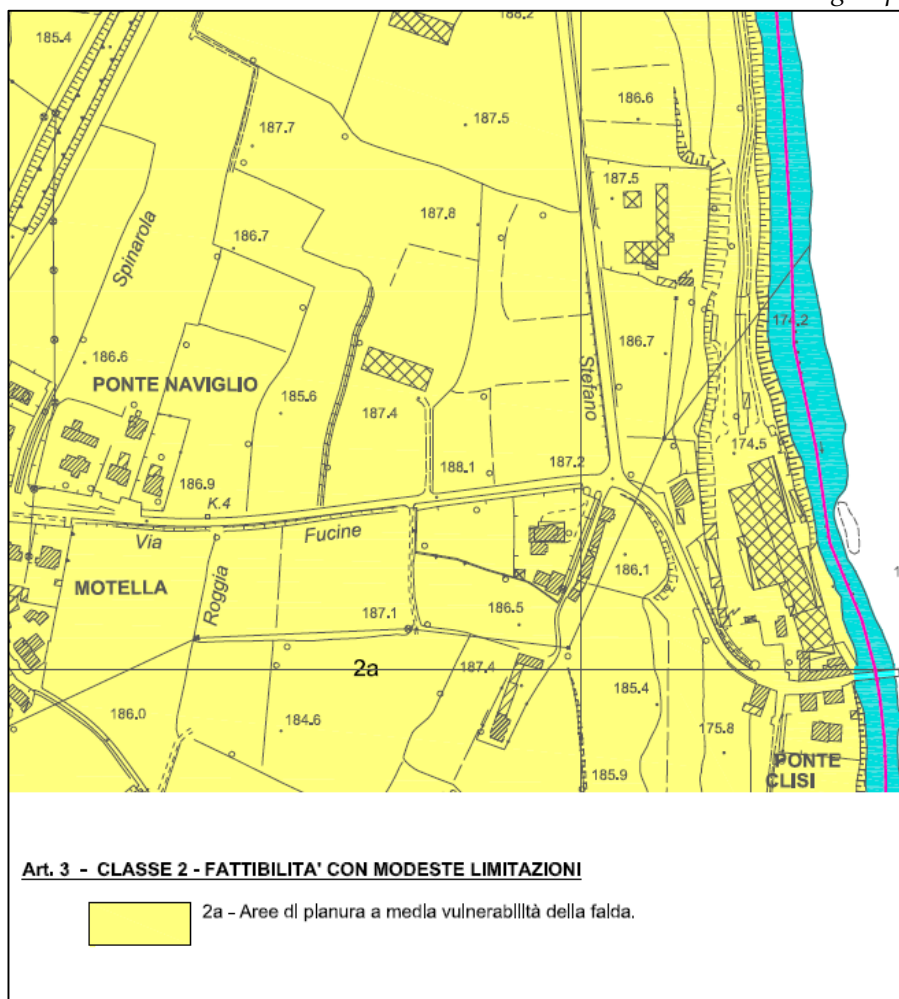


Nella cartografia allegata al “Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel bacino del fiume Po (PGRA)” – revisione 2022, di cui di seguito sono riportati due stralci, l’area di progetto non è inclusa in aree potenzialmente esposte a pericolosità per alluvioni o individuate “Aree a Rischio Significativo (ARS)”.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è un Piano introdotto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. “Direttiva Alluvioni”) con la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti dell’ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.



La visualizzazione della Tavola della "Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" (SG T08b REV04)



dello studio geologico comunale, rende la classe di fattibilità 2a - **aree di pianura a media vulnerabilità della falda.**

In questa classe ricadono le aree per le quali non esistono particolari controindicazioni di carattere geomorfologico (aree subpianeggianti, poco inclinate, ecc.) o geotecnico (terreni di fondazione con caratteristiche geotecniche non scadenti) per l'urbanizzazione o per la modifica della destinazione d'uso.

In caso di insediamenti potenzialmente idroinquinanti la relazione geologica e geotecnica da realizzare ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti verificherà anche la compatibilità dell'intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee e, se necessario, darà apposite prescrizioni sulle modalità di attuazione degli interventi stessi.

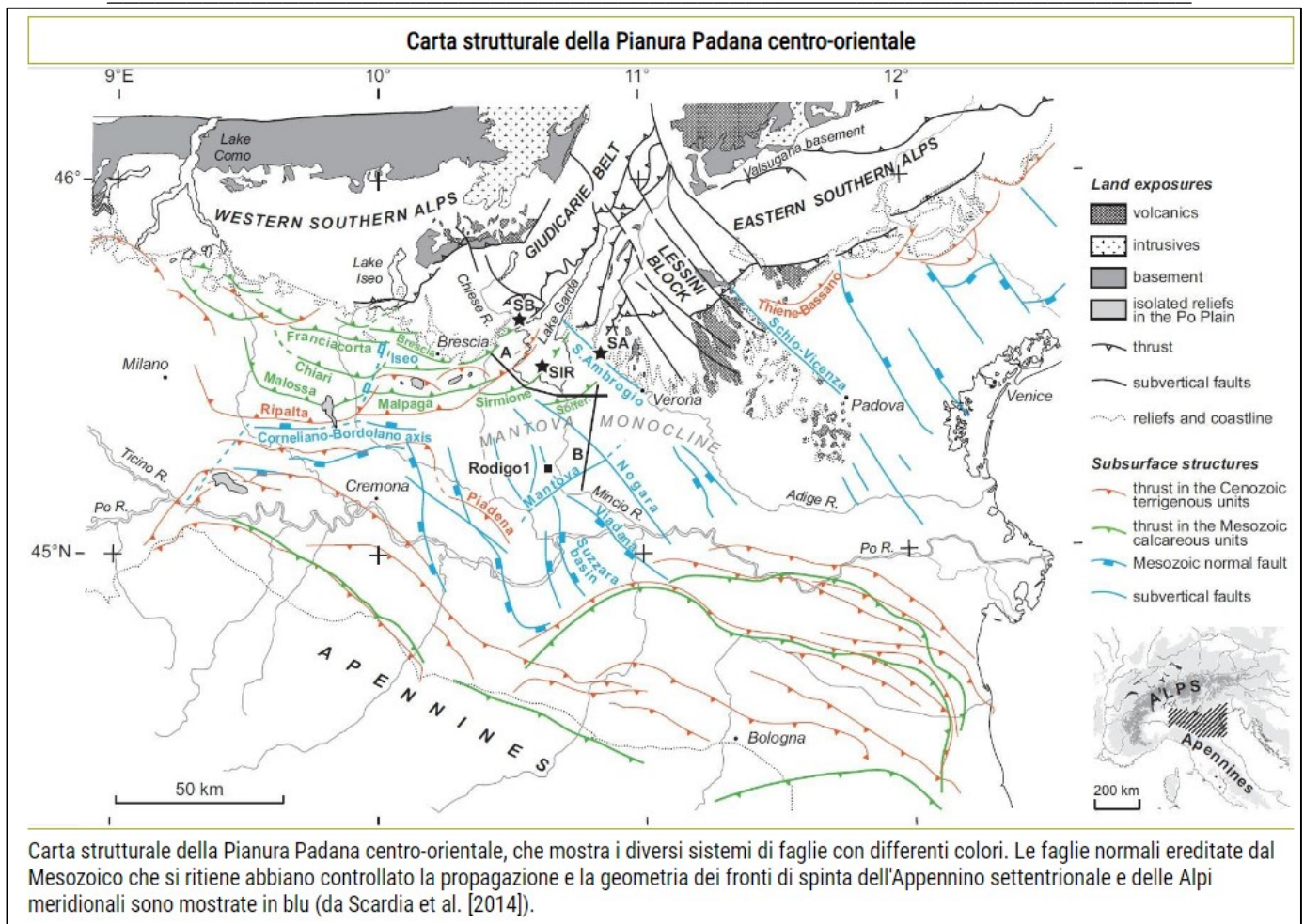
In questa classe ricadono le aree per le quali non esistono particolari controindicazioni di carattere geomorfologico (aree subpianeggianti, poco inclinate, ecc.) per l'urbanizzazione o per la modifica della destinazione d'uso.

3.2.4 Sismotettonica³

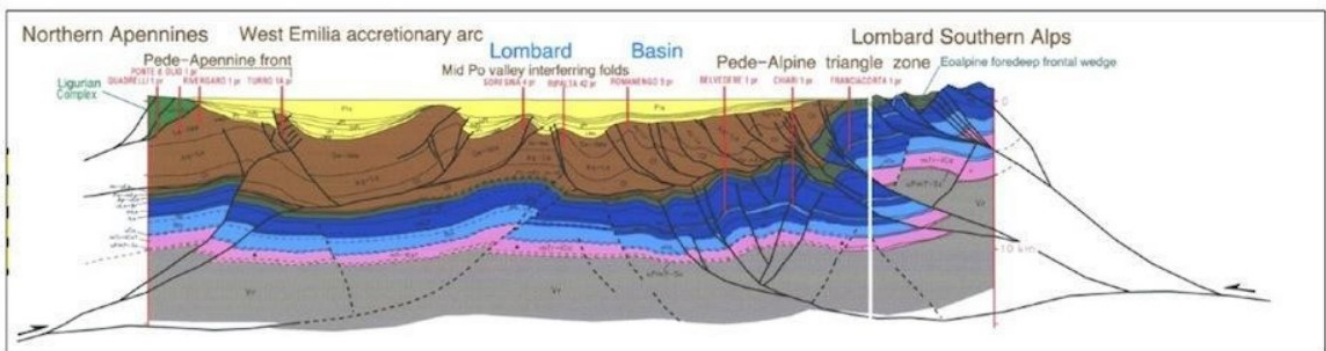
L'area in studio si trova nel comparto settentrionale lombardo dell'**avampaese deformato** della catena sudalpina (Alta Pianura Lombarda) e di cui rappresenta, nel ciclo deformativo alpino, dall'oligocene in poi, il bacino di avanfossa. Essa è il risultato della deformazione, nel contesto di un **marginale di placca convergente**, del margine mesozoico settentrionale della placca continentale africana, a sud, che si è mossa relativamente contro la placca continentale europea, posta a nord⁴.

³ La sismotettonica è la disciplina delle Scienze della Terra che si occupa dei rapporti intercorrenti tra la tettonica e la sismicità di un'area. Essa consiste, in definitiva, nell'individuazione e nella caratterizzazione delle strutture che generano i terremoti e il conseguente scuotimento, ossia le sorgenti sismogenetiche.

⁴ Da questa convergenza hanno avuto origine le due catene montuose delle Alpi e degli Appennini, tuttora in sollevamento e i cui fronti compressivi esterni sono attivi coinvolgendo porzioni sempre più esterne delle rispettive aree di avampaese. Le due catene montuose sono costituite dalla sovrapposizione di unità tettoniche precedenti e contemporanee alla loro formazione (derivanti ad esempio dalla litosfera oceanica dell'antica Tetide e dai depositi di avanfossa) che sono state coinvolte nella deformazione compressiva e sono state sollevate e sono ancora in sollevamento e, conseguentemente, hanno subito e stanno subendo l'azione dell'erosione. L'attuale moto relativo verso NW della placca adriatica (ovverossia della parte più settentrionale della placca africana) contro la placca europea è il motore dell'attività recente del Sudalpino, la porzione di catena retrovergente delle Alpi, i cui fronti più esterni attivi sono sepolti al di sotto della coltre di sedimenti Plio-Pleistocenici della Pianura Padana, che rappresenta una regione ancora solo moderatamente deformata.



L'attuale assetto strutturale è comunque il risultato dell'interazione tra la fase estensiva del rifting mesozoico e la sovrapposta tettonica alpina che ne ha riattivato i piani, determinando strutture d'inversione, sovrapposizioni tettoniche e raccorciamenti crostali. La zona derivante è il "Gomito del Garda", settore che va dalla pianura bresciana alla fascia pedemontana nei pressi di Verona, che presenta numerosi esempi di tettonica compressiva attiva lungo **strutture tettoniche d'importanza regionale** come i **fronti esterni del Sudalpino** e il **Sistema delle Giudicarie** che formano un ampio arco e hanno la zona di giunzione nel settore di pianura a sud del Lago di Garda. I dati di sottosuolo disponibili mostrano che, proprio in questo settore, sono presenti anche i **sistemi di faglie dirette ereditate**, che localmente hanno andamento ortogonale ai fronti compressivi stessi e raggiungono profondità comparabili con quelle dei *thrust*. Il basamento sedimentario in cui sono radicati, formato dalla successione carbonatica mesozoica, descrive infatti una superficie immergente verso SW che definisce la **Monoclinale di Mantova** (Castellarin & Vai, 1986; Mariotti & Doglioni, 2000; Ghielmi et al., 2010). Nel settore a sud del Lago di Garda essa è presente a profondità comprese tra i 2.000 e 4.000 m circa.



Queste strutture sono ben descritte in letteratura sin dagli anni '80 del secolo scorso, essenzialmente grazie

alle dettagliate ricerche condotte durante il programma d'indagini per la localizzazione di centrali nucleari in Lombardia. Qui si collocano, infatti, le faglie sorgenti dei più forti terremoti della Pianura Padana, i terremoti medievali del 25 dicembre 1222 (Brescia⁵, Io = IX-X MCS) e 3 gennaio 1117 (Veronese, Io = IX-X MCS)⁶. Uno studio dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain* (Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise, Pure and Applied Geophysics, Luglio 2014), ha attribuito i terremoti della Pianura Padana a magnitudo compresa tra 5.4 e 5.8, e il terremoto di Salò⁷ storico del 30 Ottobre 1901 di magnitudo 5.7 a sistemi di faglie superficiali (*thrust*) che includono sia i sistemi di faglie che corrono ai piedi dei rispettivi rilievi sia i fronti più esterni in pianura. I dati raccolti nell'area della Pianura Padana e in particolare nel settore gardesano mostrano chiaramente che il sistema di thrust frontali delle Alpi occidentali meridionali, sebbene sepolto sotto la valle del Po, è potenzialmente capace di generare forti terremoti crostali poco profondi, di grandezza confrontabile con quella dei terremoti medievali (1117 e 1222) che hanno devastato la porzione di territorio intorno a Verona e Brescia. Il **terremoto di riferimento** considerato per la Pianura Padana e per l'area gardesana deve essere considerato un evento con magnitudo **M_wmax=7,2**.

Nella "Carta neotettonica dell'Italia" (Ambrosetti et al., 1987, modificata da Cassinis et al., 1980)



visualizzata nella figura a lato, l'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria evidenziata. Il territorio di Prevalle (B) appartiene a un' "area in sollevamento, con zone stabili o in abbassamento durante il Pliocene inferiore, forte sollevamento durante il Pliocene medio e superiore e il Quaternario".

I dati di sismica a riflessione e di geologia di superficie disponibili nell'area di Monte Netto suggeriscono che l'intero fronte strutturale sepolto delle Alpi Meridionali possa essere potenzialmente sede di forti terremoti (M_w=6-7) dovuti a sovrascorrimenti sepolti tellurici tra i 5 e i 10 km di profondità⁸.

⁵ Terremoto del Bresciano/Veronese 1222; evento localizzato nella zona occidentale del Lago di Garda di cui risentì il territorio veronese (Guidoboni et al. 2007).

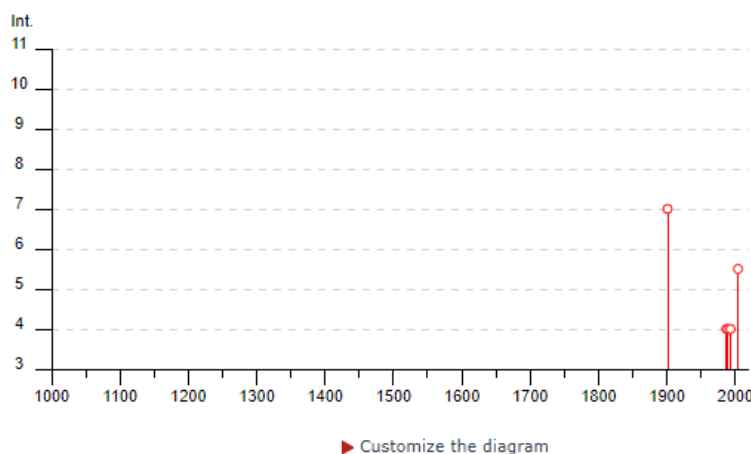
⁶ Per il terremoto del 3 gennaio 1117 di M_w 6.7 (Bernardis et al. 1977) del Veronese esistono diverse ipotesi riguardanti la sorgente sismogenetica responsabile: il database DISS include una soluzione rappresentata da una faglia inversa appartenente al sistema del Sudalpino e quindi generato da una faglia appartenente ai sistemi compressivi neogenici (DISS Working Group, 2010; Vannoli et al., 2015), mentre esso è stato recentemente associato alla riattivazione con cinematica trascorrente di una delle faglie ereditate (Scardia et al., 2015). Si tratta dell'evento più forte avvenuto nel Nord Italia (Guidoboni et al. 2005). È un terremoto che ebbe effetti devastanti in tutta l'area. Approfonditi studi recenti hanno verificato come gli effetti siano dovuti alla concomitanza di più eventi (Guidoboni e Comastri 2005). Esso venne avvertito anche in buona parte dell'Europa centrale e fu causa di sconvolgimenti economico/sociali (Guidoboni e Boschi 1991).

⁷ Terremoto di Salò 1901; generò danni moderati ma diffusi in tutta l'area gardesana (Camassi et al. 2011).

⁸ "Quaternary Faults and Seismic Hazard in the Lake Garda Area Article", in *Ingegneria Sismica* - January 2013.



Per definire la sismicità del territorio è necessario valutare sia i terremoti del passato, di cui si valutano intensità e localizzazione dalle fonti storiche, che quelli più recenti registrati dalle reti di monitoraggio strumentali. I dati di base della sismicità nazionale vengono raccolti ed elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it), che prevede alla compilazione dei cataloghi sismici nazionali, tra i quali il **Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15**, che raccoglie tutti gli eventi noti storici e strumentali, riferendosi ai dati aggiornati di intensità macrosismica (**DataBase Macrosismico Italiano DBMI15 v3.0**). La prossima tabella illustra le intensità macrosismiche massime osservate (Imcs) nel territorio di Prevalle a seguito degli eventi sismici con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 della finestra temporale 1000-2020.

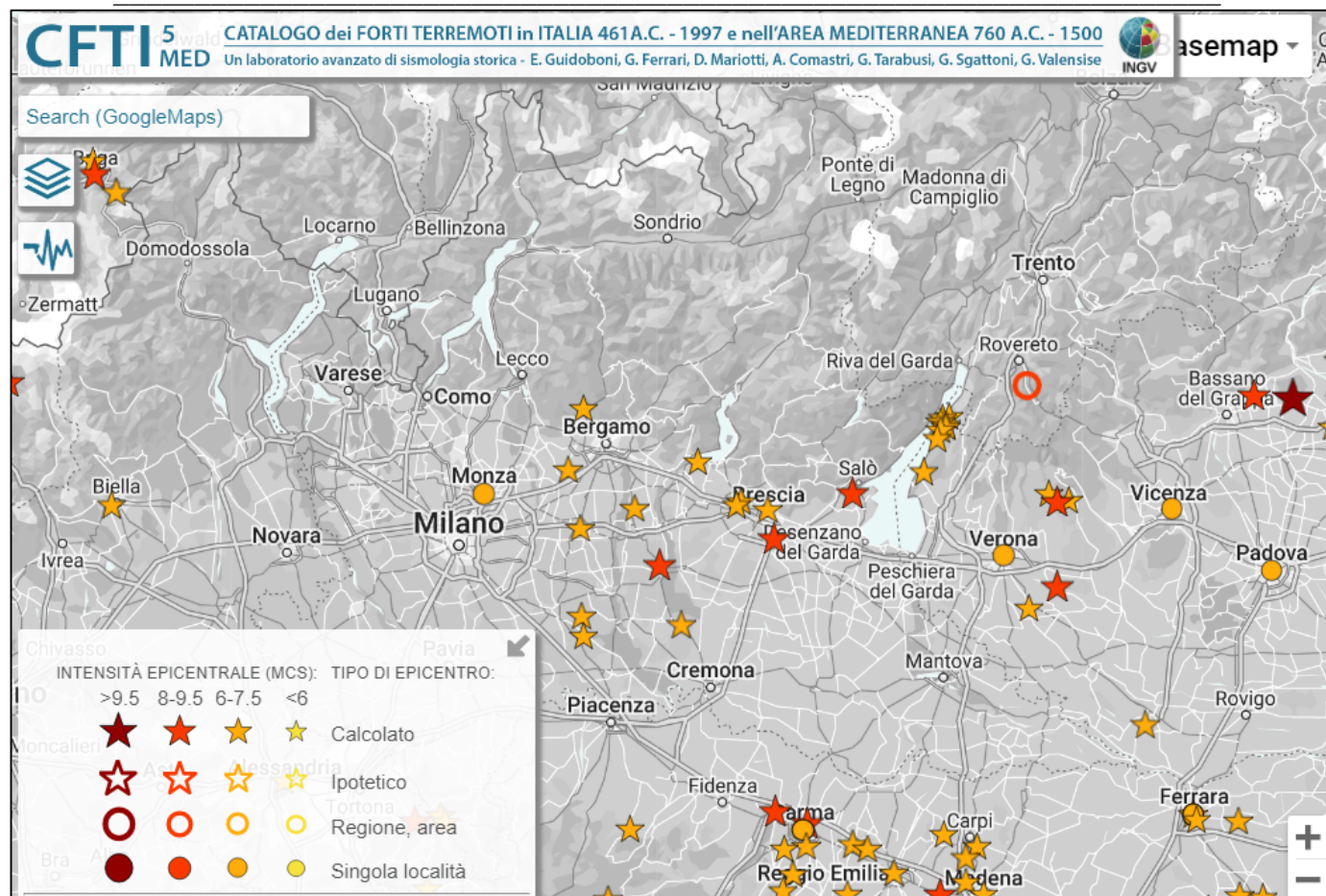


Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1901	10	30	14	49	58	Garda occidentale	289	7-8	5.44
4	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	1989	09	13	21	54	1	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
4	1993	12	09	18	16	5	Lago d'Iseo	175	5	4.11
NF	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78
5-6	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99

dove Int. è l'intensità nella località, NMDP è il numero di punti-dati macrosismici, Io è l'intensità epicentrale e Mw è la magnitudo momento.

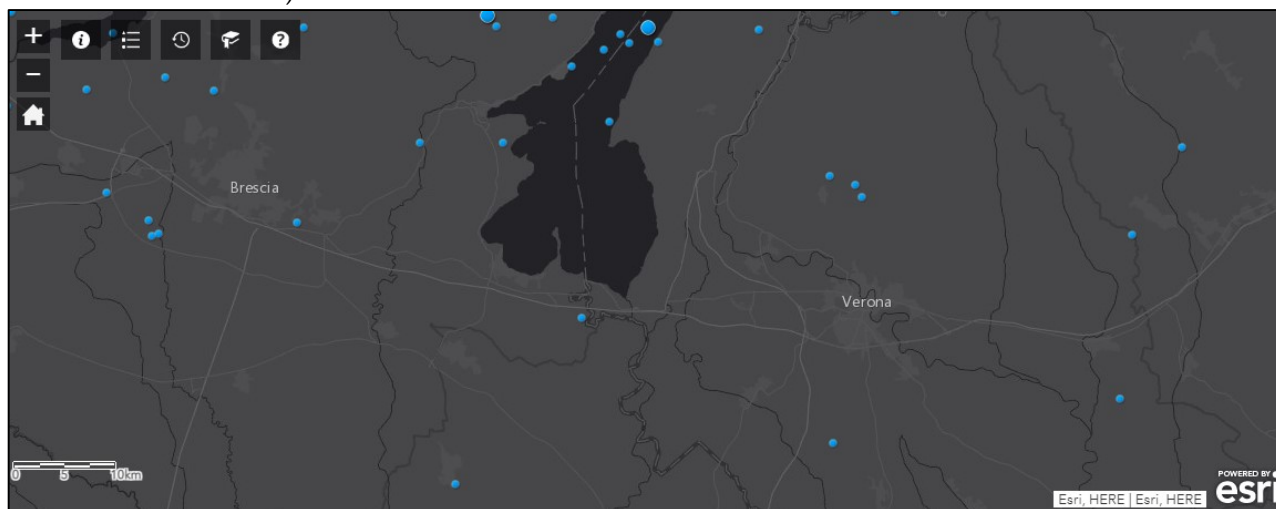
Si può notare come il territorio di Prevalle abbia risentito, con diverse intensità, dell'attività sismica delle zone limitrofe. Considerando solo gli eventi in grado di generare rilevanti danni (Int. ≥ 7 , associate ad eventi con magnitudo momento Mw ≥ 5.4 storicamente occorsi in Lombardia e Veneto e, più recentemente, nei territori limitrofi quali Emilia e Friuli), si osserva come quest'ultimi insistano nelle aree tettonicamente attive della fascia prealpina dei sovrascorrimenti a basso angolo, la zona di svincolo del Garda orientale, e le parti più meridionali della regione che risentono gli effetti dei sovrascorrimenti appenninici.

Il terremoto più significativo dell'area gardesana risale all'inizio del secolo, quando il 30 Ottobre 1901 un evento di magnitudo stimata 5.4 colpì le aree a Sud di Salò (BS) con risentimenti compresi tra il VII e l'VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) in area epicentrale e inferiori al VII grado MCS in vaste aree della Lombardia e del Veneto. Considerando le aree immediatamente a Sud del Lago di Garda, il terremoto storico più rilevante è quello del 3 Gennaio 1117, a cui è associata una magnitudo stimata pari a 6.5, seppur con un alto margine di incertezza.



CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

La prossima immagine rappresenta lo stralcio della mappa interattiva (*dashboard*) dell'INGV terremoti (raggiungibile al link: <https://ingvterremoti.com/storymaps/>) che mostra la distribuzione dei 35 epicentri dei terremoti avvenuti in un'area di circa 6.000 kmq, tra il 1980 e il 2020 (aggiornati al 31 ottobre), con magnitudo pari o superiore a 3.0 che rappresentano solo una piccola parte degli eventi registrati dalle stazioni di monitoraggio sismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica (dal 2001 INGV) e di altri Enti (Osservatori e Università).





Sulla base della sismicità storica e strumentale, integrata con le conoscenze tettoniche, possono essere identificate le strutture responsabili dei terremoti di maggior intensità. Il gruppo di lavoro del “*Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3*” dell’INGV ha individuato su scala nazionale le zone sismogenetiche⁹ capaci di terremoti con magnitudo > 5.5 (Basili et al. 2008; Diss working group 2015).

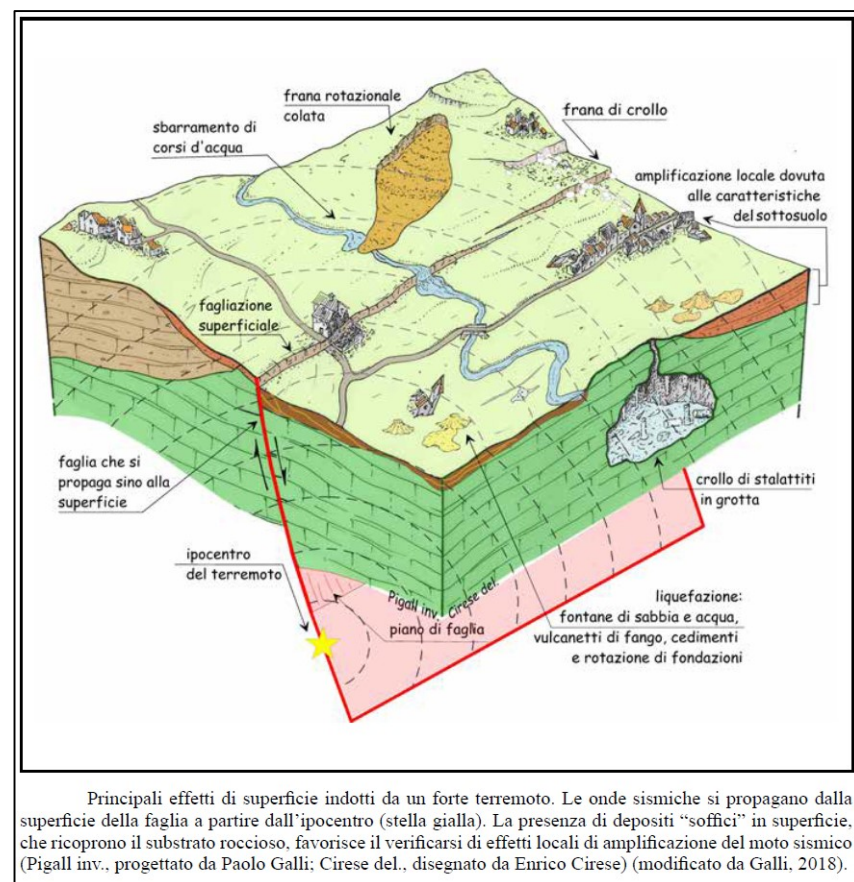
In questa banca-dati l’area in studio è posta entro l’area sismogenetica composita (cioè sistemi di faglia estesi, la cui proiezione in superficie è un poligono di color arancione trasparente nella prossima figura) denominata **Giudicarie** (ITCS048). La faglia è caratterizzata da un piano inclinato che inizia a 5,0 e termina a 10,0 Km di profondità, con immersione variabile da 25° a 35° e prevede una magnitudo momento massima $Mw_{max}=6,0$, cioè la magnitudo massima che tutta la zona tinta in arancione, in ogni suo punto, può potenzialmente generare.



⁹ Ovvero delle strutture di ordine gerarchico principale che possono causare forti terremoti; anche se, come spesso accade, tali strutture sono cieche, ovvero prive di un’espressione superficiale diretta, cioè fragile.

3.2.5 Microzonazione sismica (MS).

La MS è uno strumento che consente di valutare il comportamento di un territorio interessato da un evento



sismico. Gli effetti dei terremoti mostrano non di rado una distribuzione disomogenea. Tale disomogeneità è spesso legata a particolari condizioni locali, che possono indurre amplificazioni del moto sismico e deformazioni permanenti del terreno (ad esempio frane sismoindotte, liquefazioni del terreno, densificazioni, fratture e fagliezioni in superficie).

L'osservazione dei danneggiamenti e degli effetti permanenti indotti dai terremoti ha spesso mostrato una certa disomogeneità nella distribuzione geografica, pur valendo la regola generale della maggior concentrazione di danni ed effetti superficiali in prossimità degli epicentri. Tale disomogeneità è in molti casi legata a particolari condizioni di sito, essenzialmente di natura geologica e geomorfologica,

che possono indurre modificazioni del moto sismico in arrivo, generalmente amplificazioni e modifiche permanenti del terreno.

L'approccio alla MS sviluppato ed applicato in Italia mira a fornire informazioni standardizzate, utili a sostenere le attività di prevenzione del rischio sismico nei Comuni con più elevata pericolosità sismica. In questo senso, gli studi di MS integrano (non sostituiscono) le analisi di risposta sismica locale (del singolo edificio) prescritte dalla normativa sismica per la progettazione, colmando il divario che esiste tra queste ultime e le valutazioni della pericolosità sismica a scala regionale.

Gli studi di MS consistono nella valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo, definite "**microzone**". Secondo ICMS (2008) le microzone sono individuate e caratterizzate secondo tre categorie:

- **zone stabili:** dove non si ipotizzano effetti locali di amplificazione del moto sismico;
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** dove sono attese amplificazioni del moto sismico incidente, dovute alle specifiche caratteristiche litostratigrafiche, geotecniche e geofisiche dei vari terreni attraversati dalle onde sismiche, e/o alla morfologia locale;
- **zone suscettibili di instabilità:** dove gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.

La pericolosità sismica locale nella Regione Lombardia viene definita secondo le indicazioni contenute nella D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, relativa all'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*". Questa metodologia prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale:

Gli studi di MS in Italia vengono realizzati a scala comunale secondo tre livelli di approfondimento, con



complessità ed impegno anche economico crescenti:

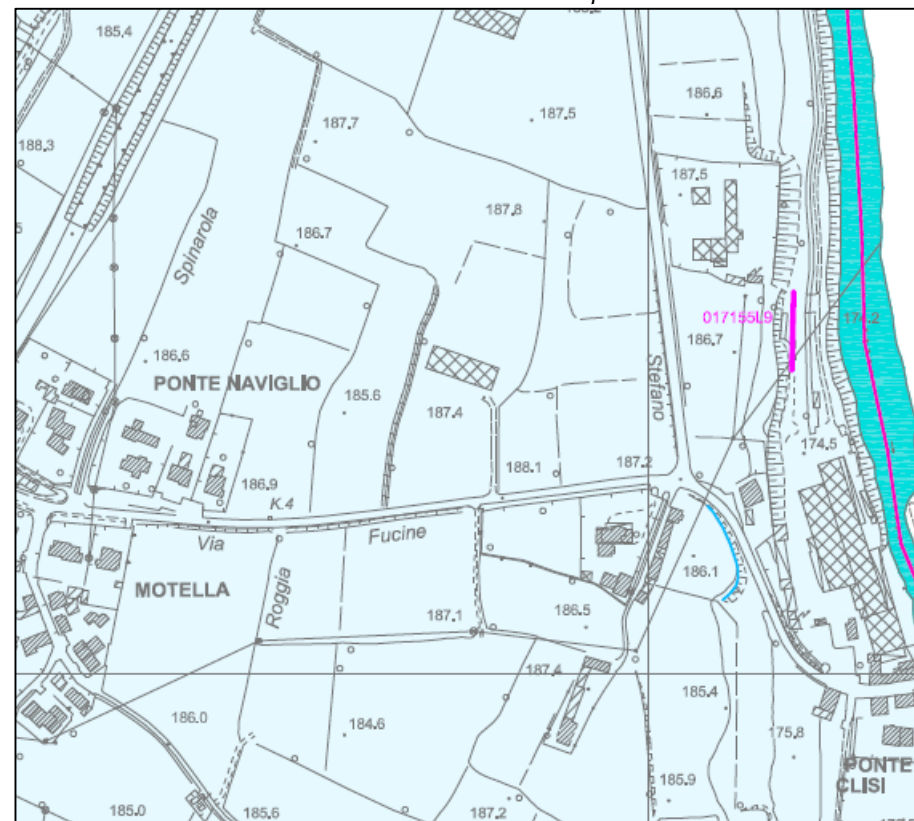
- **Livello 1:** consiste nella raccolta e nell'elaborazione di dati preesistenti allo scopo di suddividere il territorio in microzone con comportamento sismico qualitativamente omogeneo (MOPS - Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica). Il risultato del Livello 1 è la Carta delle MOPS, propedeutica per i successivi livelli di approfondimento.

- **Livello 2:** in questo livello di studio sono realizzati approfondimenti conoscitivi mediante apposite indagini che mirano a ridurre le incertezze individuate nel Livello 1. Le microzone corrispondenti a questo livello sono associate ad elementi quantitativi, espressi come **Fattori di amplificazione (Fa)**, che vengono determinati mediante metodologie semplificate di calcolo (abachi nazionali o regionali). Il risultato di questo livello di approfondimento è la Carta di MS. Il Fattore di Amplificazione (Fa) è un parametro numerico che descrive l'amplificazione del moto sismico in un dato punto rispetto a quello misurato in un sito di riferimento (bedrock), rappresentato da un terreno rigido (roccia) e pianeggiante. Le amplificazioni possono essere legate alle caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area che si sta valutando. Il fattore di amplificazione può essere espresso in termini di accelerazioni (Fa) e/o in termini di velocità, con sigla (Fv). Nella Regione Lombardia l'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema: - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D; - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D; - anziché lo spettro della categoria di suolo D si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

- **Livello 3:** rappresenta il livello di maggiore approfondimento che viene realizzato in aree geologicamente complesse, quali zone suscettibili di amplificazioni e zone instabili, mediante l'esecuzione di nuove indagini appositamente pianificate. I risultati, rappresentati nella Carta di MS e derivanti da calcoli e modellazioni numeriche più avanzate, sono di tipo quantitativo: Fa, gli spettri di risposta per le amplificazioni del moto sismico al sito, ed i parametri e gli indici specifici previsti per le diverse instabilità cosismiche.



La visualizzazione della tavola "Carta della pericolosità sismica locale" (SG-MOPS T07 – PSL, 1° livello di approfondimento) della



AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE



Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

Componente geologica del PGT nel territorio esaminato indica che potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione sismica locale riferibile allo scenario di amplificazione litologica e geometrica: **"Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi"** (Rif. Legislativo: L. 64/74; D.P.R. 380/2001 – capo IV; OPCM N° 3274 del 20.03.2003; OPCM N° 3519 del 28.04.2006; D.M. 14.01.2008; D.G.R. 2129/2014; L.R. 33/2015; D.G.R. 5001/2016; D.G.R. 9/2616/2011).

Trattasi di una zona stabile suscettibile di amplificazione locale, nella quale sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale.



La “Carta di microzonazione sismica. Livello 2 – FH0105” (MS_02_FH0105) riporta per la zona in studio un fattore di amplificazione pari a **1.4**.

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

This aerial map shows the Lake Garda region in Italy. Red dashed lines delineate the boundaries of the 'Lago di Garda' protected area. Labeled towns and locations include Sirmione, Gardone Riviera, Desenzano del Garda, and others. The map also shows the surrounding landscape, including hills and agricultural fields.

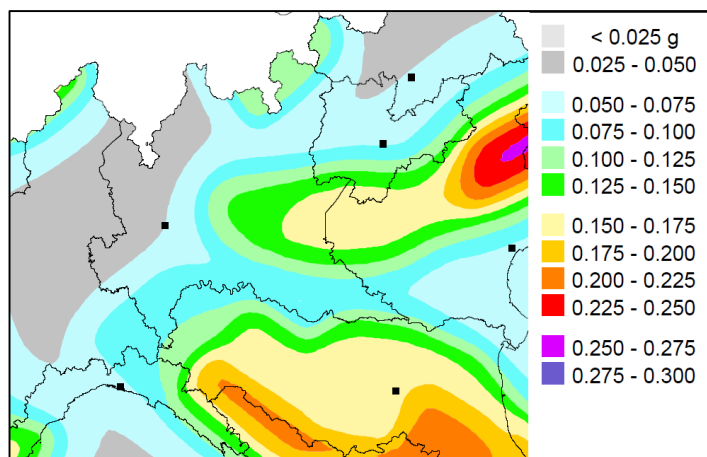
volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), e sono considerate capaci di

raggiungere la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno potenzialmente in grado di creare deformazioni in superficie¹⁰.

3.2.6 La pericolosità sismica di base.

Con **pericolosità sismica** si intende lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un'analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro. Non si tratta pertanto di previsione deterministica dei terremoti, obiettivo lungi dal poter essere raggiunto ancora in tutto il mondo, né del massimo terremoto possibile in un'area, in quanto il terremoto massimo ha comunque probabilità di verificarsi molto basse.

Nel 2004 è stata rilasciata la **mappa della pericolosità sismica** (<http://zonesismiche.mi.ingv.it>) che fornisce un



quadro delle aree più pericolose in Italia. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi e pianeggianti ($V_{s30} > 800$ m/s; suolo di categoria A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale. I colori indicano i diversi valori di accelerazione del

terreno che hanno una probabilità del 10% di essere superati in 50 anni. Indicativamente i colori associati ad accelerazioni più basse indicano zone meno pericolose, dove la frequenza di terremoti più forti è minore rispetto a quelle più pericolose, ma questo non significa che non possano verificarsi.

Secondo la *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS04)* il territorio è inserito in **zona 2 (media sismicità)**.

Ai fini di prevenzione, **fino al 2008**, i valori probabilistici di pericolosità sono stati semplificati in classi, ad ognuna delle quali corrispondevano i parametri per la progettazione degli edifici.

Successivamente le **Norme Tecniche per le Costruzioni** hanno imposto invece criteri di progettazione riferiti direttamente ai valori della mappa di pericolosità per ogni luogo del territorio nazionale. La zonazione sismica resta in vigore come strumento amministrativo delle Regioni, per politiche di prevenzione, interventi di riduzione del rischio, studi sulla valutazione della vulnerabilità degli edifici o di risposta del terreno (microzonazione). Le Regioni, secondo indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, possono modificare la classificazione del proprio territorio. Il territorio italiano è suddiviso in 4 zone: zona 1 dove forti terremoti sono molto probabili; zona 2 e zona 3 con eventi forti e mediamente poco frequenti, o terremoti moderati ma frequenti; zona 4 con rari eventi di energia moderata. Forti terremoti, seppur molto rari, sono comunque possibili. Generalizzando, gli edifici in zona 1 devono essere capaci di resistere, senza crollare, ad un forte terremoto e ancor più a terremoti di energia inferiore. In zona 4 è necessario almeno tutelare la sicurezza di edifici strategici e di elevato affollamento.

Secondo la D.G.R. 11 luglio 2014 - n. 2129 - *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* - il territorio comunale di Prevalle ricade in un'area da un valore di accelerazione massima a_g **0,159141g** (dove $g = 9,81$ m/s², accelerazione di gravità) riferita a suoli rigidi (cat. A).

I dati di partenza di questa pericolosità sismica di base vanno implementati secondo gli *effetti locali* dovuti

¹⁰ Generalmente con questa definizione ci si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).



alle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Si consideri però che tale intensità è calcolata su base probabilistica e non rappresenta il valore di massima accelerazione che può accadere nella zona (generalmente è ridotta della metà o di un terzo di quella massima disponibile). Questo fa sì che nel momento che accade il terremoto massimo di riferimento per la zona, le accelerazioni orizzontali (anche su suolo rigido) saranno inevitabilmente maggiori di quelle previste dalla normativa regionale. Questo fenomeno è stato ampiamente documentato negli ultimi terremoti che si sono verificati in Italia centrale e in Emilia Romagna. Sarebbe allora più opportuno aggiornare il calcolo probabilistico della massima accelerazione al suolo rigido al momento in cui si è verificato l'ultimo evento nel sito in studio.

Si rifletta inoltre che i terremoti sono dei fenomeni che si manifestano in modo sempre diverso, da sito a sito e anche nello stesso sito. È un fenomeno di tipo aleatorio (cioè casuale). L'unica cosa che può dirsi certa è che i terremoti tendono, almeno in alcuni casi, a ripetersi con le stesse caratteristiche negli stessi luoghi e quindi sono in qualche modo prevedibili su una scala temporale secolare.

In considerazione del carattere non prevedibile dei terremoti, la regola tecnica di edificazione, da rispettarsi obbligatoriamente per la costruzione di qualsiasi struttura, è ispirata a finalità di contenimento del rischio di verificazione dell'evento sismico (Sez. 3, n. 38717 del 10/05/2018, Rizzuti e altro, Rv. 273835; Sez. 6, n. 190 del 14/11/2017, dep. 2018, Limatola, Rv. 271845).

4.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO

Il rilievo diretto geologico e geomorfologico del settore subpianeggiante in oggetto è stato finalizzato alla ricerca delle discontinuità del terreno (giunti di deposizione, faglie, diaclasi, fratture) oltre alla diretta osservazione della litologia affiorante nel primo sottosuolo. Esso è stato eseguito secondo il criterio litocronostratigrafico per un intorno di ampiezza congrua con le dimensioni dei processi di modificazione delle forme del rilievo e con le condizioni idrauliche con le quali l'intervento edificatorio previsto può interagire. Il metodo utilizzato è consistito nell'analisi speditiva in sito mediante osservazione visiva e tattile diretta della litologia.

Le modifiche antropiche, legate alla costruzione del capannone esistente, hanno modificato nel tempo l'originaria configurazione dei luoghi e hanno portato le particelle in oggetto all'attuale configurazione. Sono stati infatti possibili interventi limitati di riprofilatura con rimaneggiamento del terreno e locale accumulo di materiali di riporto sulle particelle oggetto dell'intervento in oggetto.

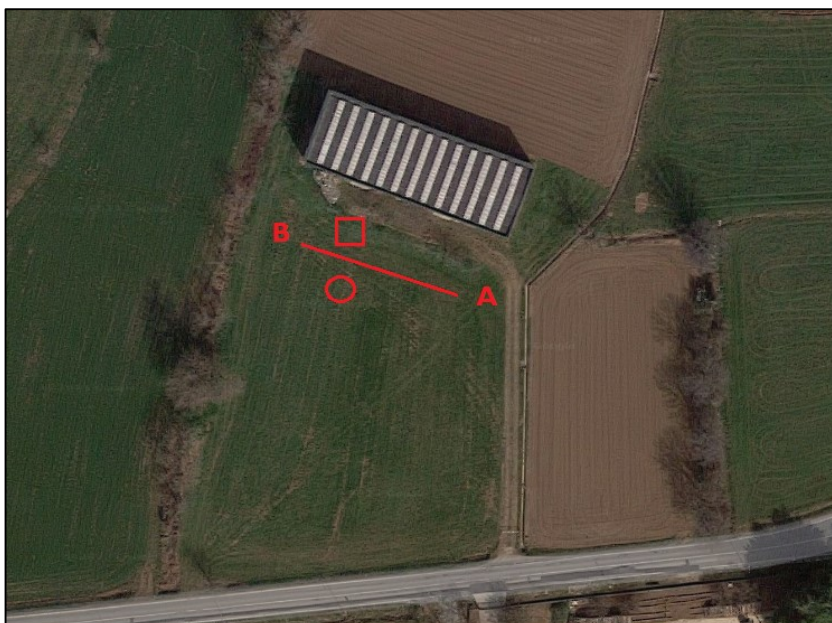
Non si è rilevata la presenza di fenomeni morfogenetici attivi che possano interagire negativamente con l'opera in progetto. L'area al contorno si presenta stabile, come confermano anche le buone condizioni geostatiche del capannone esistente e delle strade che non presentano lesioni significative per la presenza di fenomeni di dissesto in atto. Infatti, anche ridotti spostamenti del terreno, non sempre percettibili visivamente, si manifestano inizialmente con lesioni sulle costruzioni o sulle strade.

S'individua una topografia in debole pendenza di circa 1° verso sud che non crea problemi di stabilità legati alla pendenza dei depositi.

I depositi sono caratterizzati da una medio-alta permeabilità, pertanto l'area non presenta drenaggio superficiale e ristagni in superficie anche in periodi di accentuata piovosità. Sul suolo le acque meteoriche s'infiltrano e si accumulano più in profondità nella falda freatica.

5.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni in situ, propedeutica all'elaborazione di un verosimile



UBICAZIONE DELLE INDAGINI.

-  Traccia dello stendimento sismico
-  Indagine sismica HVSR
-  Prova penetrometrica dinamica

modello geologico e geotecnico del sottosuolo, in ottemperanza alle prescrizioni imposte dalla normativa e dalla classe 2 di fattibilità geologica entro cui ricade il lotto d'indagine, concordata e condivisa con il progettista e la proprietà e alle caratteristiche stratigrafiche più superficiali dell'area in esame, è stata eseguita, sotto la diretta supervisione dello scrivente, una **prova penetrometrica dinamica DPH** (*Dynamic Probing Heavy*) con strumento standardizzato, un'**indagine sismica attiva del tipo Masw** (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) per la misura diretta della velocità equivalente (V_{Seq}) di propagazione delle onde di taglio, un'**indagine sismica attiva a rifrazione con il metodo reciproco generalizzato G.R.M.** (*Generalized Reciprocal Method*) per la ricostruzione degli spessori e delle geometrie delle unità geofisiche presenti nel sottosuolo e, infine, un'**indagine sismica passiva HVSR** (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) del microtremore sismico per la misura diretta dei picchi di risonanza dovuti a contrasti di impedenza acustica.

5.1 DESCRIZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA DINAMICA.

La prova penetrometrica dinamica è stata compiuta mediante **strumento unificato DPH** (*Dynamic Probing Heavy*). Tale sonda DPH standardizzata da parte della competente Commissione europea e le modalità di esecuzione della prova penetrometrica rientra negli Standard di riferimento dei Penetrometri Dinamici Medi normalizzati dalle seguenti norme:

- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)" (Indagini e prove geotecniche - Prove in sito- Parte 2: Prova di penetrazione dinamica. La norma specifica i requisiti per le indagini indirette dei terreni mediante prova di penetrazione dinamica quale parte delle indagini e prove geotecniche previste dall'Eurocodice 7);
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)" dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):
 - tipo LEGGERO (DPL)
 - tipo MEDIO (DPM)



- tipo PESANTE (DPH)

- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (mt)
Leggero	DPL (Light)	M = 10	8
Medio	DPM (Medium)	10<M <40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40<M <60	25
Super pesante	DPSH	M>60	25

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".

Le indagini con sonda DPH consistono nel conteggio del numero dei colpi necessari per infiggere, mediante un peso di 50 kg che cade liberamente da un'altezza di 50 cm., una batteria d'aste nel terreno ogni $\delta = 10$ cm. di penetrazione. L'unica interruzione richiesta nelle operazioni è stata quella di aggiungere delle aste nuove.

L'alleggerimento dell'attrito laterale lungo le aste è affidato alla rotazione manuale delle stesse, eseguendo almeno 1,5 giri ogni metro di penetrazione. Le caratteristiche strumentali sono:

motore Honda, 4 tempi, 9 HP.
aste d'acciaio speciale per la punta di $\square$ 32, L = 100 cm e del peso di 6,0 Kg.
punta conica fissa a perdere, d'area A = 15 cmq., $\square$ = 43,7 mm, angolo d'apertura 60°.
peso del maglio a caduta libera di M = 50 Kg.



frequenza di caduta del maglio di 30 colpi il minuto.
altezza di caduta libera del maglio H = 50 cm. costanti.
estrattore idraulico automatico di 5 t.
energia specifica per colpo (LaCroix e Horn, 1973) $Q = (M \times H / A \times \delta) = 16,67 \text{ Kg/cm}^2$.
coefficiente teorico di energia (Bruschi, 2010): $\beta_t = Q/Q_{spt} = 2,034 (N_{spt} = \beta_t \times N_{DPH})$.

L'elaborazione della penetrometria con software Dynamic Probing della *GeoStru Software* (Versione: 2021.26.5.994), permette di ottenere in automatico, dal numero dei colpi standardizzati N_{DPH} a N_{SPT} , standard penetration test, attraverso l'utilizzo di un'opportuna correlazione empirica β_t che tiene conto del tipo di strumentazione impiegata, un andamento continuo del valore di N_{spt} con la profondità.

Un'idea della pressione ammissibile è stata ottenuta con l'applicazione della "*formula degli Olandesi*" alle risultanze della resistenza dinamica R_d della prova penetrometrica, usando un coefficiente di sicurezza "ETA" = 20. La formula $R_d/20$ è riportata nel manuale del geologo, ed è comprensiva già del fattore di sicurezza. Siccome le formule per ricavare la R_d contengono solo parametri "meccanici" relativi al sistema d'infissione e valgono per qualsiasi tipologia e condizione del terreno, ciò porta a un certo grado d'incertezza nella determinazione. I risultati sono attendibili per terreni incoerenti e se le caratteristiche di resistenza si mantengono pressoché costanti con la profondità.

La verifica per la pressione di contatto ammissibile dipende, però direttamente dalla tipologia fondazionale che si utilizza e dalla profondità del piano di posa della stessa.

L'andamento delle prove è riassunto nei prossimi diagrammi. La quota sui grafici di penetrazione è riferita al piano d'inizio della prova penetrometrica dinamica continua, e non allo "zero" di progetto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

$\odot$ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo ($\odot / N$);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.



Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{Pa / \sigma'_{vo}} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \times (ER/60) \times C_S \times C_R \times C_d$$

ER/60: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_S : Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_R : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico *Dynamic Probing* della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di *Dynamic Probing*, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.



Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Nella stratigrafia, la distinzione in "strati" della colonna di terreno non si basa esclusivamente su criteri geologici e/o sedimentologici ma anche su criteri di tipo geotecnico, come il comportamento coesivo o incoerente.

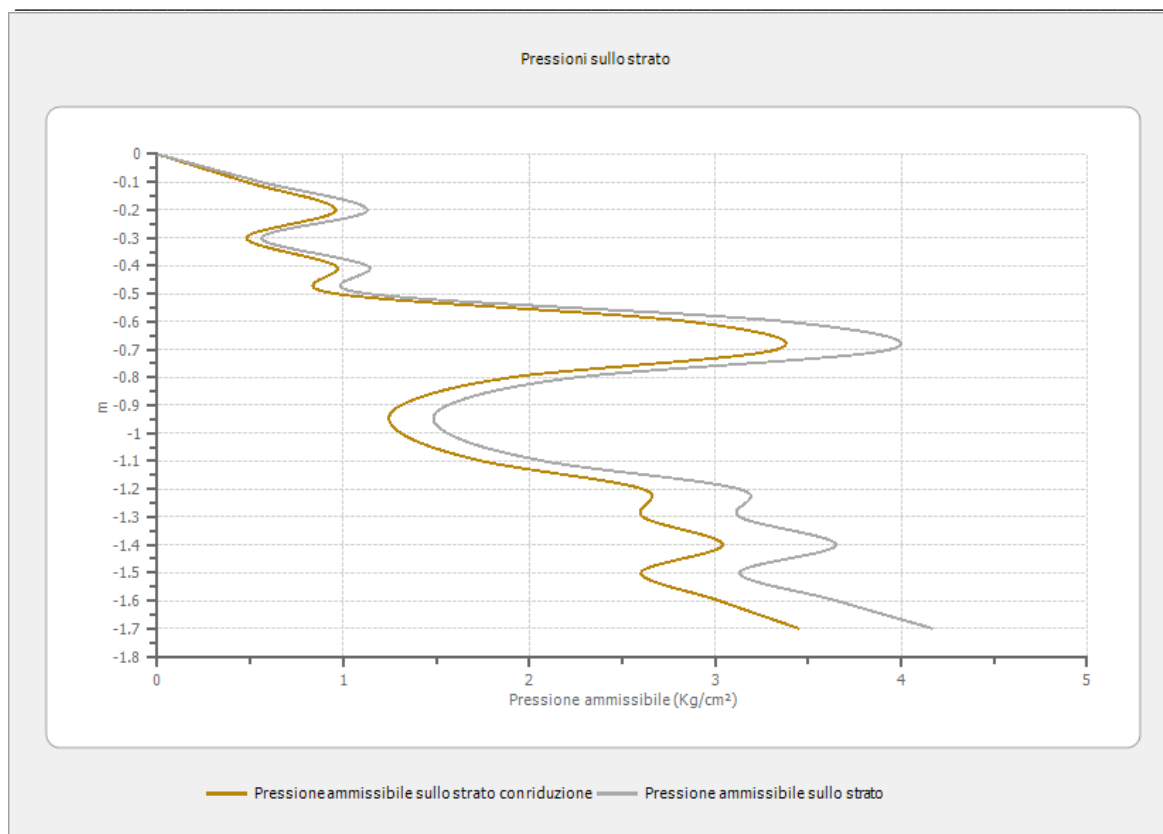
Occorre precisare che il metodo d'indagine utilizzato non consente il campionamento, pertanto la successione stratigrafica desunta, ricavata dagli indici di resistenza, è di carattere indicativo. L'elaborazione delle prove penetrometriche permette, infatti, una stima, più o meno attendibile, delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni attraversati nei punti indagati. La ricostruzione esatta della natura del sottosuolo è possibile solo attraverso scavi esplorativi e sondaggi a carotaggio continuo.

PROVA ... Nr.1

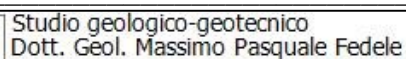
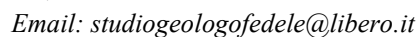
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	1	0.857	9.65	11.26	0.48	0.56
0.20	2	0.855	19.25	22.52	0.96	1.13
0.30	1	0.853	9.60	11.26	0.48	0.56
0.40	2	0.851	19.16	22.52	0.96	1.13
0.50	2	0.849	19.12	22.52	0.96	1.13
0.60	6	0.847	57.23	67.57	2.86	3.38
0.70	7	0.845	66.62	78.83	3.33	3.94
0.80	4	0.843	37.99	45.05	1.90	2.25
0.90	3	0.842	26.30	31.25	1.31	1.56
1.00	3	0.840	26.24	31.25	1.31	1.56
1.10	4	0.838	34.92	41.67	1.75	2.08
1.20	6	0.836	52.27	62.50	2.61	3.13
1.30	6	0.835	52.16	62.50	2.61	3.13
1.40	7	0.833	60.73	72.92	3.04	3.65
1.50	6	0.831	51.95	62.50	2.60	3.13
1.60	7	0.830	60.49	72.92	3.02	3.65
1.70	8	0.828	68.99	83.33	3.45	4.17

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con N_{spt}	NSPT	Descrizione
0.5	1.6	18.02	Coesivo	0	1.65	1.86	0.04	2.03	3.25	terreno vegetale
1.7	5.58	59.36	Coesivo	0	2.0	2.2	0.2	2.03	11.35	limo argilloso



Il segnale della prova penetrometrica ha rilevato una litologia superficiale di comportamento prevalentemente coerente di scarsa consistenza fino alla profondità di 0,7 mt, caratterizzata da resistenze alla punta medie correlabili a fenomeni di essiccamento a ciclo stagionale con riduzioni volumetriche del terreno, pertanto non si considerano ai fini progettuali. Segue uno strato con spessore di 1,2 mt di presumibile limo argilloso con resistenze alla punta da scarse a buone. Segue l'arresto strumentale della punta penetrometrica in corrispondenza di una litologia molto consistente. Nel momento in cui sono state estratte le aste non si è rilevata umidità.



Scala 1:9





5.2 DESCRIZIONE DELLA TECNICA D'INDAGINE MASW.

Il metodo MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva–Park et al., 1999) è stato eseguito nella particella catastale in oggetto ed è stato utile, oltre che per la ricostruzione della successione stratigrafica e dello spessore dei sedimenti sciolti, anche per la successiva valutazione delle caratteristiche geotecniche propedeutiche all'elaborazione di un modello geotecnico del sottosuolo.

Il metodo MASW è una tecnica d'indagine attiva non invasiva che permette di individuare, a seguito di un'energizzazione sviluppata in senso perpendicolare al terreno, il profilo di velocità monodimensionale delle onde di taglio verticali S_v in centro stendimento (assumendo che il moto sismico si propaghi in un piano verticale dal basso verso l'alto all'interno di un semispazio stratificato).

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 60-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30 mt-50 mt, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento a un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- calcolo della **curva di dispersione sperimentale apparente** numerica (risultato dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori, rilevabile nel grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
- calcolo della **curva di dispersione effettiva** numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998);
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_{sv} e di compressione V_P (o in alternativa il coefficiente di Poisson ν), la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo d'inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

Le **onde di Rayleigh** sono onde elastiche che si propagano secondo fronti d'onda cilindrici come quelle del mare. Esse una volta generate insieme alle onde P e S in un punto sulla superficie del suolo, eccitano il sottosuolo a diverse profondità e viaggiano alla velocità che caratterizza il suolo a quelle diverse profondità. Il loro segnale è registrato simultaneamente da uno stendimento lineare di geofoni (sensori capaci di misurare gli spostamenti del terreno nell'unità di tempo) in diverse posizioni nel tempo, e ricostruito a seguito di una trasformata di Fourier in uno **spettro di velocità di fase**, che indica la velocità di rotazione più probabile delle onde a ciascuna frequenza di propagazione. Nel dominio trasformato è semplice andare a separare il segnale concernente le onde di Rayleigh da altri tipi di segnale, poiché queste sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie) e leggermente più lente di quelle delle onde di taglio S. Le massime ampiezze dello spettro tracciano approssimativamente una **curva di dispersione sperimentale**, risultata dall'interazione tra tutti i modi di Rayleigh e lo stesso sistema di misura costituito dai ricevitori. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

La curva di dispersione sperimentale deve essere confrontata con quella relativa a un predeterminato modello sintetico del suolo. In base alle differenze riscontrate tra le due curve si modificherà

opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_{sv} e il coefficiente di Poisson ν (e quindi le velocità delle onde di compressione V_P), la densità di massa ρ degli strati, tendendo a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la **curva di dispersione effettiva** corrispondente al nuovo modello di suolo calcolato. Questa delicata fase d'interpretazione è comunemente detta **fase d'inversione**. L'affidabilità del profilo di velocità V_s trovato durante il processo d'inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

Dalla relazione: $h=V_s/4T$ (dove h =profondità dal piano campagna, V_s velocità di taglio, P periodo), si ricavano le varie velocità di taglio e gli spessori.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento a un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20° , sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

Rispetto alla sismica a rifrazione il metodo MASW presenta i vantaggi di superare i problemi legati alla presenza della falda superficiale, che nasconde gli strati di terreno con velocità delle onde P inferiore alla velocità delle onde nell'acqua. La presenza della falda è modellata assegnando un valore del coefficiente di Poisson prossimo a 0,5, tra 0,4 e 0,5, in funzione del grado di saturazione.

5.2.1 Strumentazione utilizzata.

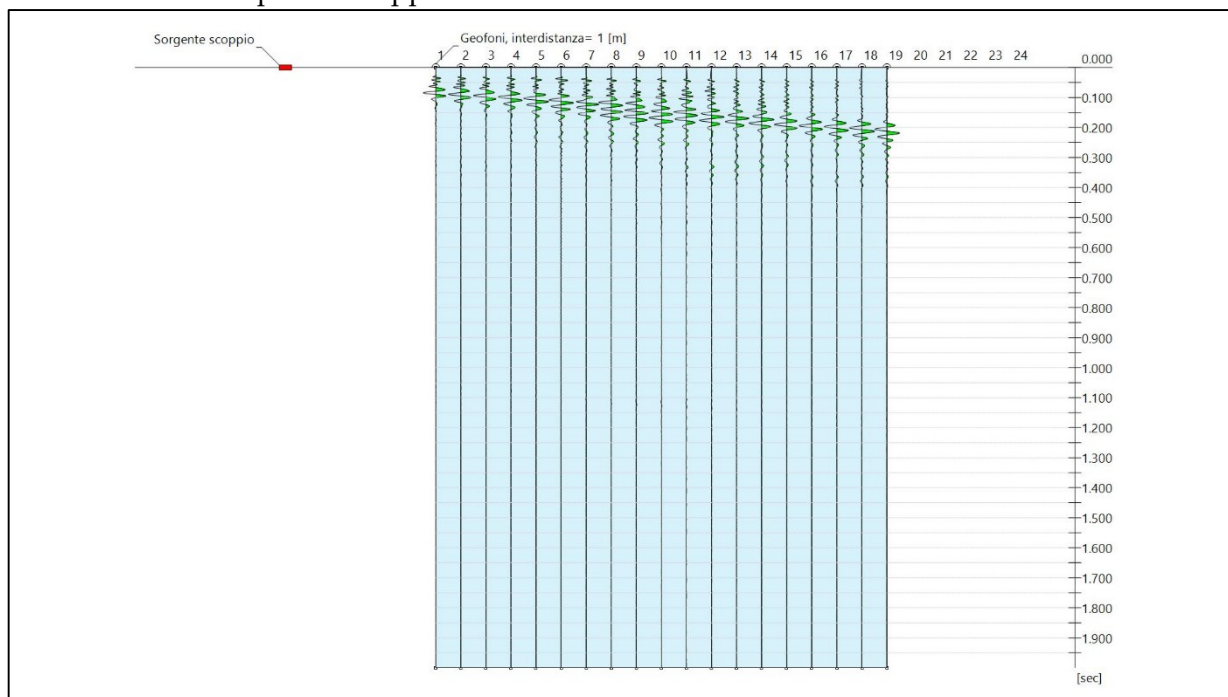
L'indagine è stata condotta con un sismografo DoReMi della *Sara electronics instruments S.r.l.* a 24 bit effettivi (in dotazione allo Studio scrivente), un sismografo modulare canale per canale, e 24 geofoni verticali con frequenza di risonanza di 4,5 Hz. La frequenza di campionamento è stata di 5000 Hz, mentre la durata del campionamento di 2 secondi. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori.

È stata eseguita una **linea sismica della lunghezza di 23,0 metri con 24 geofoni con interdistanza 1,0 metri**. Come sorgente di energia delle onde P e secondariamente di onde SV sono stati eseguiti diversi scoppi con mazza da 8 kg su piatto di battuta di 25 cm posto direttamente sul piano campagna, alla distanza di 3,0 mt. dal primo geofono della stesa sismica. Si sono così generate onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. La scelta di avere un discreto *offset*, cioè una congrua distanza tra lo scoppio e l'ultimo geofono, è stata dettata dalla necessità d'investigare quanto più possibile in profondità i terreni.



5.2.2 Tracce.

La geometria dello stendimento è stata definita con la posizione della sorgente energizzante, la coordinata iniziale e finale dello stendimento di geofoni e la loro spaziatura. L'acquisizione di dati è avvenuta dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di *time-break*. Il controllo della qualità dei dati acquisiti è stato verificato immediatamente dopo ogni energizzazione. I dati sperimentali acquisiti sono stati trasferiti su PC e analizzati con l'apposito software (*EasyMasw*, Versione: 2023.26.5.938) prodotto dalla Geostru, di cui si dispone regolare licenza d'uso. Sia la fase di misurazione che quella d'interpretazione sono state fatte tenendo conto delle indicazioni delineate dalla comunità scientifica nel corso di esperienze applicative della tecnica Masw avute su vari siti di studio.

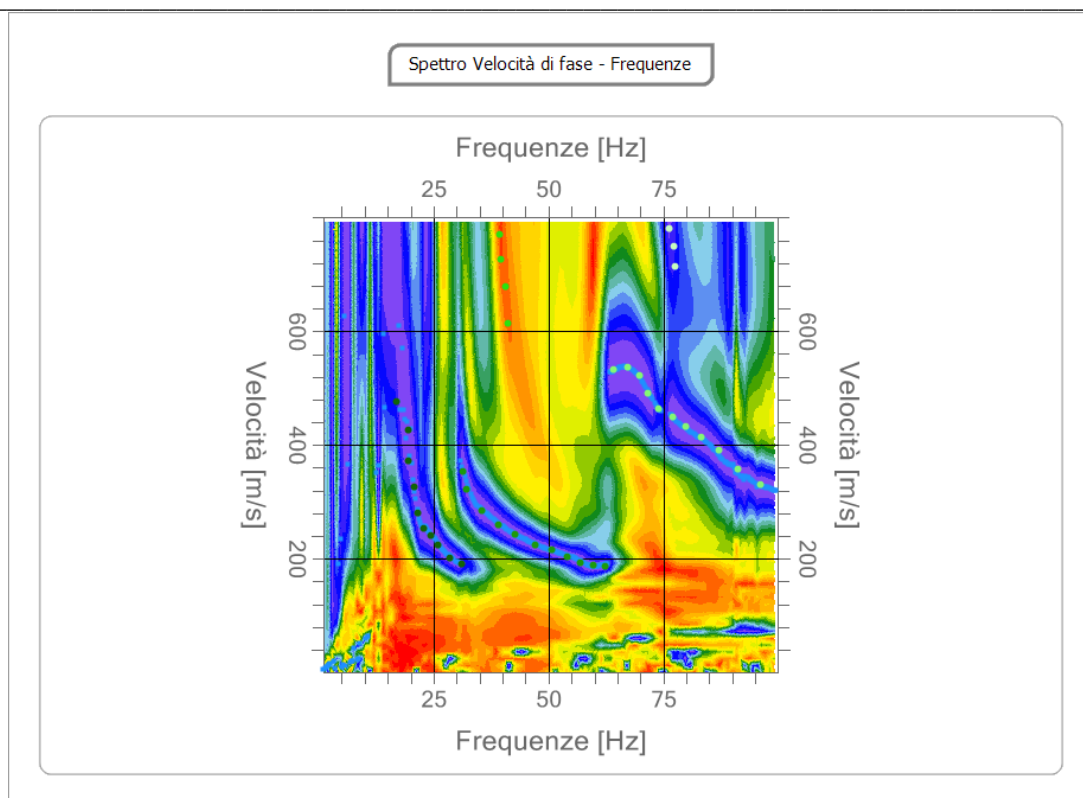


5.2.3 Analisi spettrale

Nella prima fase elaborativa dei record mi sono limitato a eseguire alcuni passi obbligati quali la conversione del file in formato .seg2dat e il *preprocess* semiautomatizzato che filtra ed equalizza le tracce. Il file .seg2 prodotto dalla misura di campagna è stato importato all'interno del software *EasyMasw* della Geostru. I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Nel grafico della **curva di dispersione sperimentale non elaborata** sono riportati i picchi assoluti dello spettro (massimi di "coerenza" della velocità di fase) in corrispondenza di ogni frequenza prefissata. La valutazione della curva di dispersione sperimentale è stata fatta con una qualche cautela, per evitare errori provocati dalla presenza di modi di vibrazione del terreno superiori a quello fondamentale. I modi per le onde di Rayleigh sono dovuti al fatto che un mezzo stratificato è dispersivo e la velocità di fase di ogni modo varia con la frequenza.



Si osserva dallo spettro il fenomeno della **dispersione** geometrica, cioè un fenomeno che si verifica quando un'onda composta da più fasi attraversa un mezzo eterogeneo, quale è il terreno in natura, che modifica la velocità delle diverse fasi in funzione della frequenza (mezzo dispersivo). Un mezzo eterogeneo può essere inteso come una corda tesa che vibra: su tale corda ci possono essere diverse frequenze simultaneamente che viaggiano a diverse velocità ed ognuna di essa corrisponde ad un modo di propagazione. I **modi superiori** avendo velocità superiori possono dare informazioni più in profondità e si sviluppano specialmente quando c'è una inversione di velocità e sono più legate alle caratteristiche della V_s del suolo. In virtù della presenza di diversi modi superiori di propagazione, le informazioni ottenute dall'analisi spettrale sono differenti secondo i parametri meccanici e geometrici del deposito, per cui il programma segnala la loro identificazione con diverse **curve di dispersione apparente** (o teoriche).

A basse frequenze (<18 Hz) non è evidente un andamento ben definito della curva di dispersione, perché c'è maggiore dispersione e incertezza dei dati

Lo spettro della velocità di fase delle onde di Rayleigh relativo al **modo fondamentale** di propagazione delle onde superficiali è chiaro nell'intervallo di frequenze da circa 18 Hz a 30 Hz.

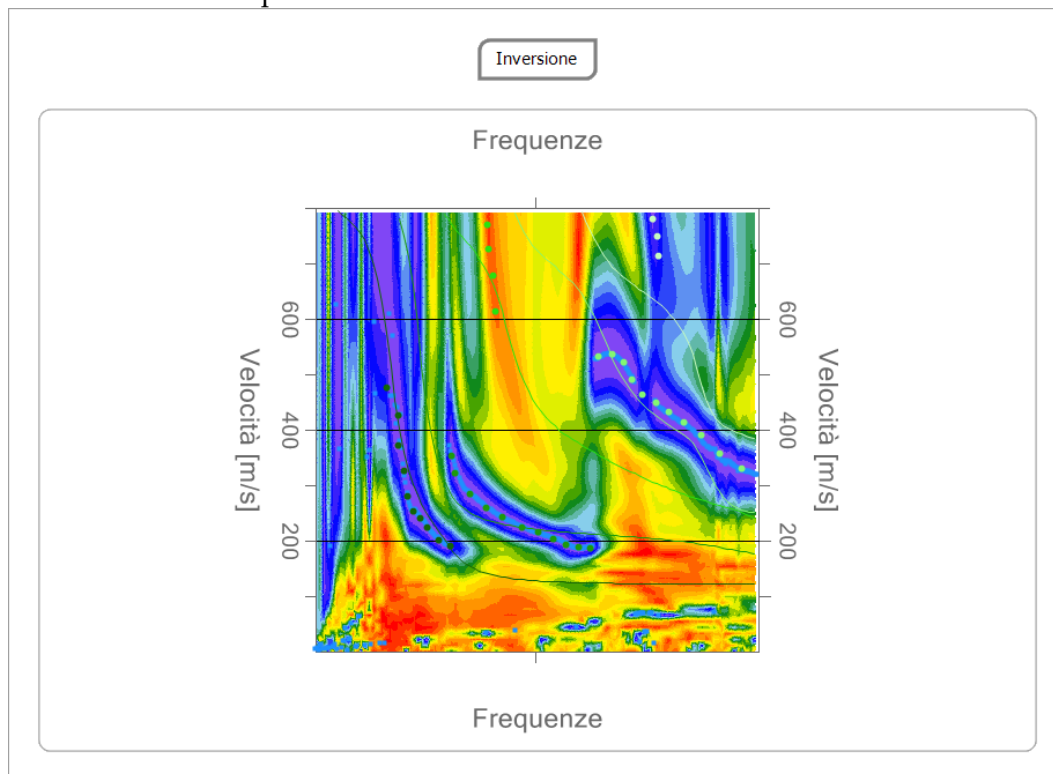
A più alte frequenze si manifestano dei tratti discontinui (**4 modi superiori**) della curva di dispersione sperimentale legati all'eterogeneità laterale e verticale degli strati più superficiali.

Inversione

Le informazioni sperimentali riguardanti la curva di dispersione sono utilizzate per la caratterizzazione del terreno, risolvendo un problema matematico inverso con un approccio iterativo: da un profilo di primo tentativo, costruito in conformità a metodi semplificati, d'informazioni a priori riguardo alla stratigrafia e di dati acquisiti dal piccaggio dei primi arrivi delle onde P sulle tracce dei sismogrammi, il problema diretto è risolto diverse volte con metodi stocastici variando i parametri che definiscono il modello fino al raggiungimento del miglior accordo (migliore grado d'interpolazione) tra la curva di dispersione simulata e quella sperimentale, consentendo di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità. Il modello matematico usualmente considerato è quello di mezzo elastico lineare a strati omogenei e isotropi, i cui parametri necessari a descriverlo sono due costanti elastiche, lo spessore e la densità di ciascuno strato.



Durante il processo d'inversione mi sono avvalso dei dati acquisiti dal piccaggio dei primi arrivi delle onde P sulle tracce dei sismogrammi con il software DoReMi della *Sara electronics instruments S.r.l* in modo da minimizzare l'errore tra curva sperimentale e curva numerica.



Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è stato possibile scegliere il **modello geofisico** ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area.

Il **profilo di velocità di sottosuolo** sotto riportato rappresenta la soluzione ritenuta più attendibile dell'inversione della curva di dispersione sperimentale apparente ottenuta per il sito di analisi. Il bedrock sismico (cioè l'interfaccia più profonda oltre alla quale i materiali che lo costituiscono determinano un semispazio di spessore significativo, rigido ($V_s \geq 800$ m/s) e omogeneo, per cui è lecito non aspettarsi altri fenomeni di amplificazione) è stato raggiunto alla profondità di 7,69 mt dal p.c..

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.69	1.69	1375.1	0.16	No	211.7	134.7
2	5.69	4.00	1687.8	0.30	No	752.7	402.3
3	7.69	2.00	1848.6	0.35	No	1479.8	710.9
4	9.69	2.00	2000.0	0.35	No	1837.5	882.7
5	16.69	7.00	2200.0	0.35	No	1843.3	885.5
6	oo	oo	2200.0	0.35	No	1843.3	885.5

Percentuale di errore 1.352 %

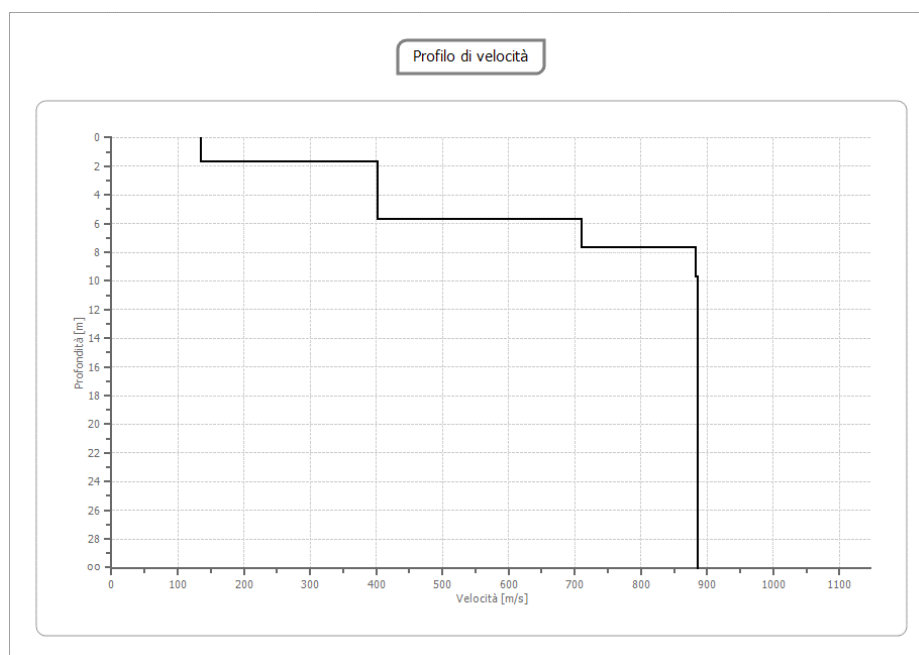
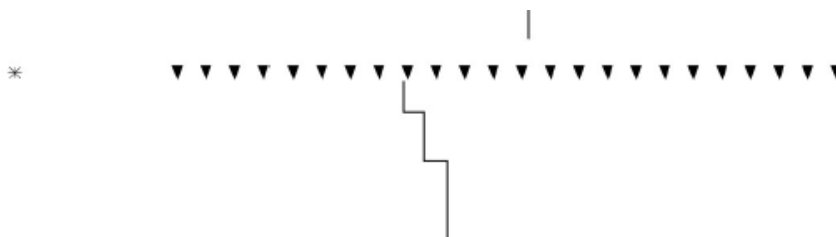
Fattore di disadattamento della soluzione 0.118

La prospezione sismica ha individuato di sotto a una copertura soffice dello spessore di circa 1,7 metri e con velocità di 134,7 m/s costituita da depositi sciolti o coesivi non consolidati, un'altra unità sismica con caratteristiche moderatamente rigide (402,3 m/s) costituita da depositi sciolti o coesivi in parte consolidati. Più in profondità sono presenti ghiaie più o meno addensate ed orizzonti cementati o conglomeratici rigidi. Nella prossima figura è mostrato il **modello 1D finale** il cui posizionamento è a metà dell'offset massimo, anche se va considerato che generalmente il mezzo attraversato ha proprietà filtranti (filtro passa basso) quindi le alte frequenze sono più presenti nella prossimità scoppio, mentre mano a mano che ci si abbassa



di frequenza tali informazioni sono la media di porzioni di sezione più ampia e quindi più distanti dallo scoppio.

a metà dell'offset massimo



Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine e che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale: nel caso in esame la risoluzione del metodo non permette precisioni in termini di spessore inferiori al metro e i valori di velocità V_P e V_S sono da intendere come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata.

5.2.4 Categoria di sottosuolo di fondazione.

La classificazione del sottosuolo si esegue in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei terreni superiori e H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Profondità piano di posa [m]	1.90
$V_{s,eq}$ [m/sec] ($H=5.69$ m)	474.84
Categoria del suolo	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



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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	Depositi 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	Depositi 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.

Anche se il modello di riferimento è monodimensionale e riguarda l'intero volume sottostante lo stendimento di misura in cui le variazioni laterali possono essere importanti e anche se potenzialmente esistono altri profili di Vs simili a quello trovato che siano in buon accordo con la curva sperimentale, le variazioni verticali di Vs non comportano una sensibile variazione della V_{se} e quindi la categoria sismica è la stessa. Da un punto di vista progettuale il profilo di Vs ottenuto è valido.

5.2.5 Categoria topografica di riferimento.

Per quanto riguarda la classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.III e 3.2.VI delle NTC,

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 $i > 30^\circ$

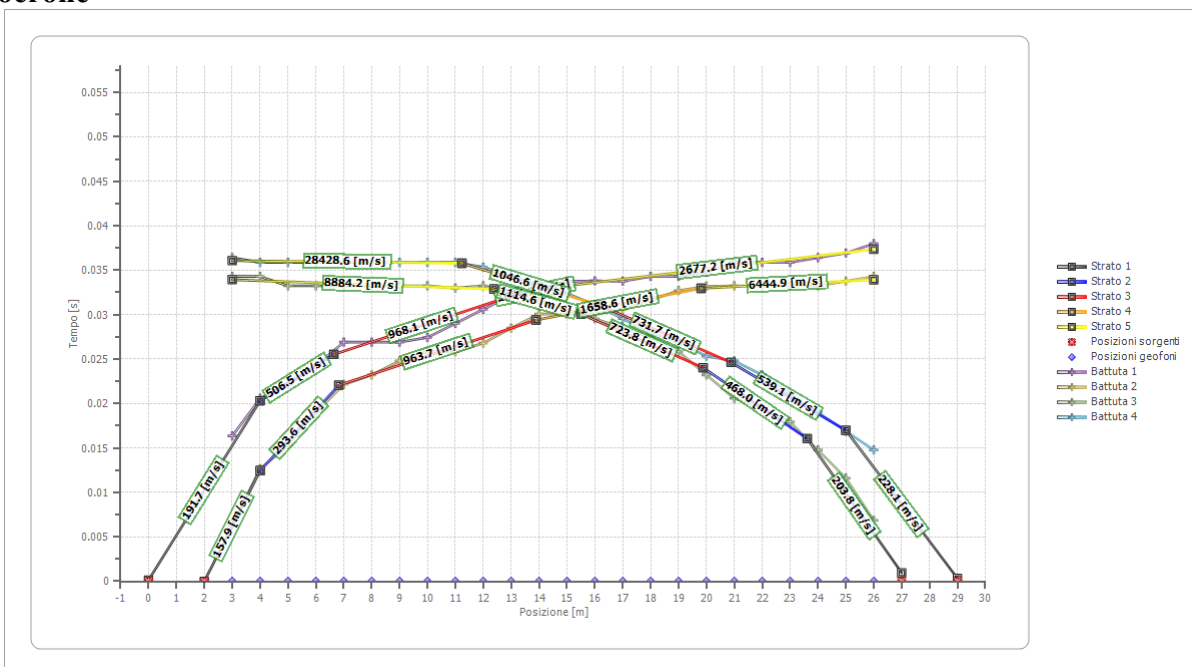
la superficie topografica può essere catalogata come appartenente alla **categoria T1**, perché il sito è in debole pendenza, cui corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica S_t pari a 1. Il rischio di amplificazione topografico è nullo.

5.3 DESCRIZIONE DELLA TECNICA D'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE CON IL METODO G.R.M.

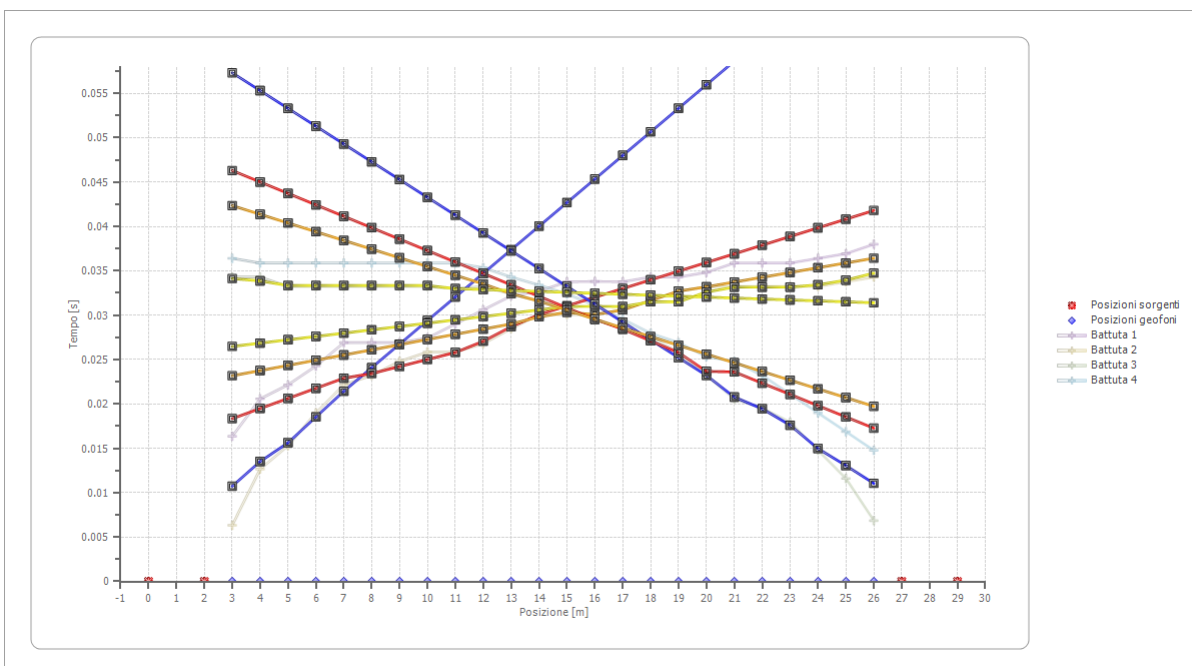
L'indagine geofisica di sismica a rifrazione con il metodo G.R.M. di R. Palmer (reciproco generalizzato) con il software licenziato *EasyRefract* della Geostru, versione 2023.21.4.900, permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse. Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo delle **onde prime P** (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione. Si ricostruisce in tal modo un modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni: la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.



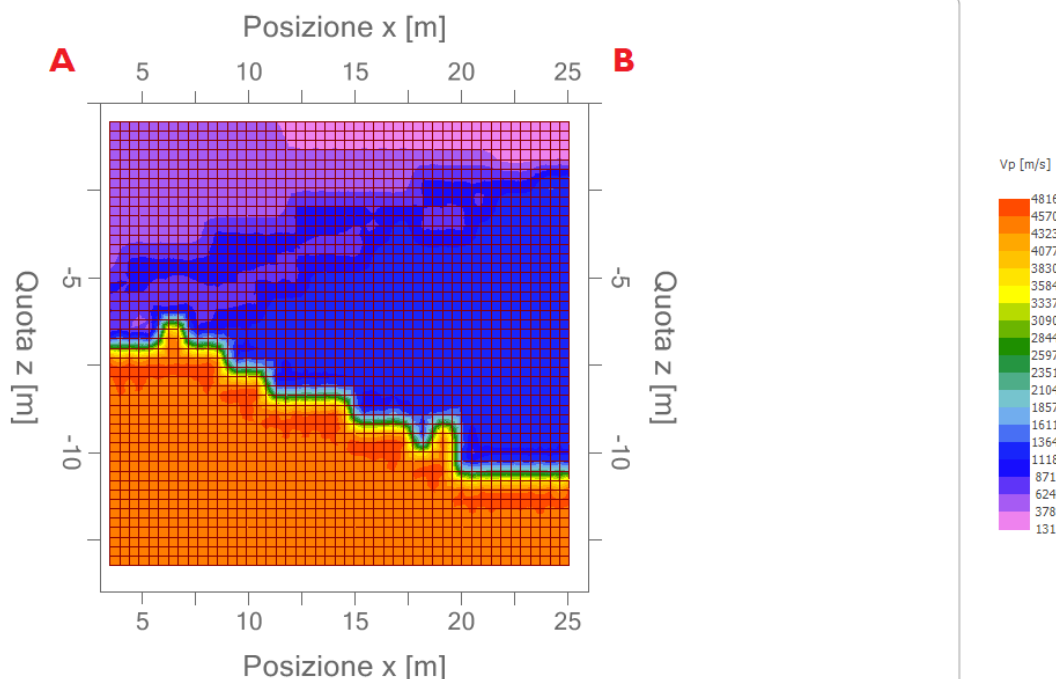
Dromocrone



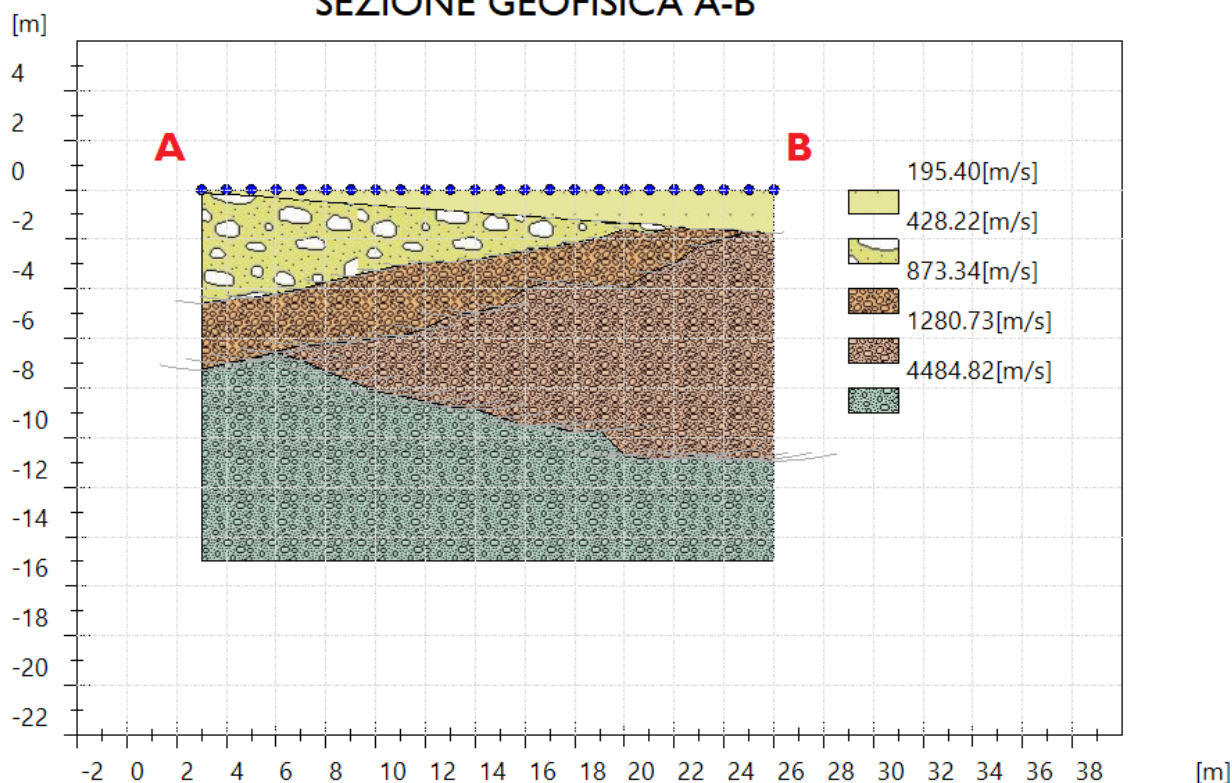
Dromocrone traslate



Segue la sezione geofisica relativa allo stendimento AB.



SEZIONE GEOFISICA A-B



Questo tipo d'indagine sismica ha evidenziato una disomogeneità litologia e geotecnica dei terreni di fondazione indagati. Dalla superficie fino a profondità di circa 2,0 mt s'incontra un primo sismo-strato a bassa velocità ($V_p = 195,4$ m/sec) correlabile a terreni argillosi poco consistenti con lenti di limi sabbiosi e argillosi. Segue in profondità un secondo sismo-strato caratterizzato da velocità variabile $V_p = 400,0-600,0$ m/sec, riferibile a sabbie e ghiaie sabbiose più o meno addensate presumibilmente di origine fluvioglaciale, con modeste inversioni di velocità dovuti a termini litologici meno addensati di forma lenticolare. Il banco sabbioso-ghiaioso giace in eteropia laterale con un'unità mediamente rigida con una V_p media di circa



1000,0 m/sec, costituita presumibilmente da ghiaie sabbiose molto addensate. Al di sotto si attesta un substrato molto rigido e variamente conformato, costituito probabilmente da un conglomerato calcareo. L'esatta attribuzione delle litologie ai vari sismostrati individuati dalla prospezione e la reale composizione granulometria dei terreni potrebbero essere compiute utilizzando le informazioni geologiche di superficie integrate con altri dati del sottosuolo (carotaggi continui e scavi esplorativi): pertanto si tratta d'indicazioni di carattere generale.

5.4 DESCRIZIONE DELL'INDAGINE SISMICA DI MICROTREMORE (H.V.S.R.).

La metodologia di misura e confronto H/V concretizzata per la prima volta da Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*. QR of RTRI, Vol. 30, pp. 25-33, si basa sull'acquisizione dei **microtremori ambientali**, in altre parole movimenti micrometrici della crosta terrestre a livello locale, entro frequenze dell'ordine di 0,1–1 Hz (microsismi); 1–20 Hz (microtremori), eccitate in maniera diffusa dall'attività antropica o ambientale locale nella gamma di frequenze tra 1 e 20 Hz. Queste vibrazioni indotte, costituiscono un rumore diffuso che permette di focalizzare con precisione superfici che determinano contrasti d'impedenza sismica con notevole precisione, tali contrasti modificano anche le velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) e inducono il terreno soprastante alla risonanza con la frequenza di oscillazione evidenziata dall'indagine.

Il rumore sismico diffuso, non puntuale e sufficientemente lontano, agisce come sorgente di eccitazione, più o meno come la luce bianca diffusa dalla nebbia illumina gli oggetti più vicini all'osservatore, eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e permettendo una percezione chiara degli oggetti vicini anche nella nebbia stessa che di per sé nasconde tutto ovvero mascherando (tagliando) le informazioni lontane.

Affinché si abbia una registrazione di segnale sismico significativa per lo studio delle caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo, anche a profondità di alcune decine o addirittura centinaia di metri, è necessario eseguire misure con frequenze di registrazione comprese almeno tra 0,1 e 128 Hz, per un tempo di circa 20 minuti (1200 sec). Tale intervallo è necessario affinché sia possibile eseguire un'interpretazione corretta del segnale registrato alle varie frequenze, poiché si basa sull'analisi statistica del segnale stesso (registrazione di eventi stocastici).

Le ipotesi alla base della tecnica di sismica passiva (H.V.S.R.) sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente di sotto i 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale attraverso l'utilizzo di un geofono triassiale in tre direzioni diverse: due, orizzontali, vibrano in direzione N-S ed E-W, il terzo vibra rispetto al piano dello zenit (verticale UD). Tale registrazione deve essere eseguita, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate sono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre sono filtrate secondo dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, è valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo è sottoposto a *tapering* e/o **lisciamento** secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.



Poi si prendono in considerazione gli spettri delle finestre concernenti le tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione E-W, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione N-S, vale a dire che riguardano finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie è eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Le misure acquisite sono poi campionate in finestre temporali (*time window*), su cui è compiuta una **trasformazione di Fourier (FFT)** in modo da ottenere una rappresentazione grafica con asse x in Hertz (Hz) e in asse y in un fattore di amplificazione delle misure orizzontali rispetto a quelle verticali z. Questo permette quindi di ottenere il ricercato **rapporto spettrale H/V** per tutti gli intervalli temporali in cui è suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

5.4.1 Strumentazione utilizzata

L'indagine è stata condotta con un sismografo SR04-Geobox della *Sara electronics instruments S.r.l.* (in dotazione allo Studio scrivente) con tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) ad alta risoluzione con frequenza propria di 4,5 Hz. Tale sismografo è collegato a una scheda di acquisizione a 24 bit effettivi con la possibilità di impostare diverse funzioni (filtri, sensibilità, frequenza di campionamento, ecc...).

5.4.2 Acquisizione del segnale sismico mediante stazione singola

I dati sperimentali acquisiti per ciascun'area di misura sono stati trasferiti su PC e analizzati con l'apposito software. Sia la fase di misurazione che quella d'interpretazione sono state fatte tenendo conto delle linee guida SESAME¹¹ (*Site EffectS assessment using AMbient Excitations*), e delle indicazioni delineate dalla comunità scientifica nel corso di esperienze applicative della tecnica HVSR avute su vari siti di studio.

Il sismografo è stato posato sulla superficie del suolo in posizione orizzontale e reso solidale con il terreno per mezzo dei tre piedi conici presenti alla base dello strumento; dopo, è stato collegato con il sismografo al fine di registrare il rumore sismico ambientale.

La misura è stata eseguita per un intervallo pari a 30 minuti (1800 sec). Il segnale sismico è stato acquisito con una frequenza di campionamento di 300 Hz. Le tracce ottenute per le tre diverse direzioni sono state salvate in un file con estensione .saf.

Le condizioni al contorno sono state:

1) Condizioni meteo: presenza di raffiche di vento (scala 1: 10) = 1.

¹¹ <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>



2) Traffico lontano elevato di auto e di moto. Rumore costante esercitato dal canale ad uso irriguo.

5.4.3 Elaborazione dei dati acquisiti.

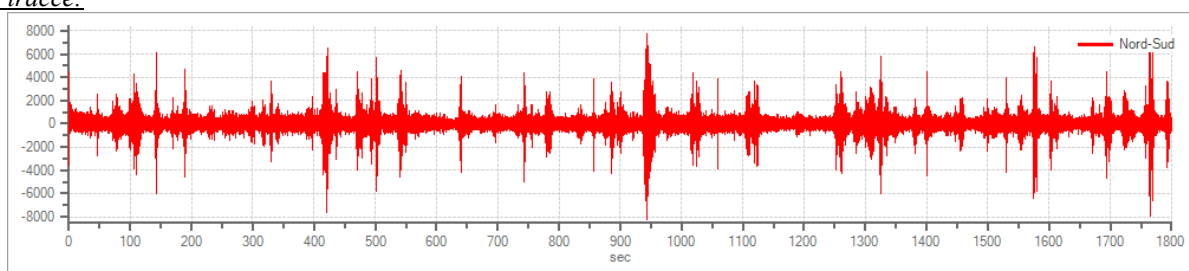
Il file .saf prodotto dalla misura di campagna è stato importato all'interno del software EasyHVSr (Versione: 2022.26.4.953) della Geostru. Le tracce concernenti il segnale sismico, registrato nelle tre direzioni NS, EW e UD, sono state visualizzate e sottoposte a un processo manuale di rimozione dei transienti individuati (eventi temporanei).

Tracce in input

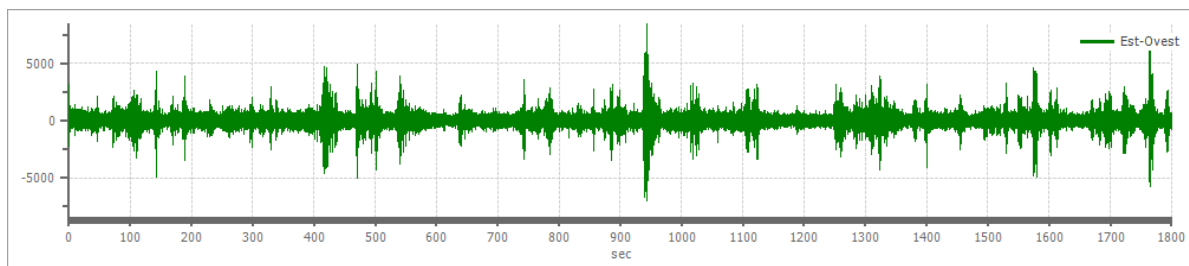
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	300.00 Hz
Numero campioni:	540000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

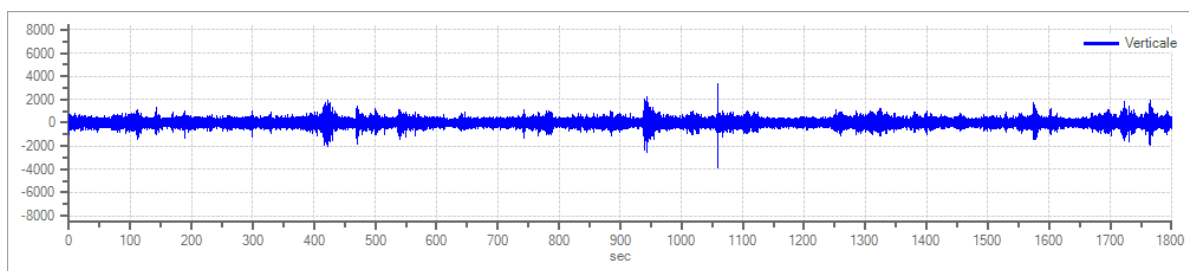
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

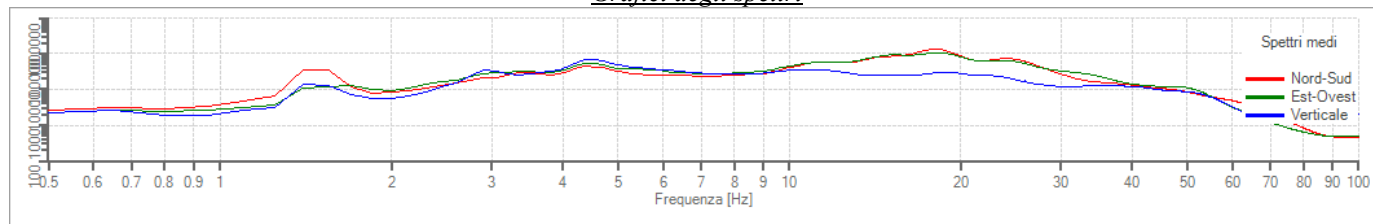
Quest'ultime hanno prodotto un nuovo segnale sismico di durata inferiore, sul quale è stata compiuta l'interpretazione secondo il metodo Nakamura.

L'analisi statistica del segnale è stata fatta suddividendo la registrazione in finestre temporali di 20 secondi e applicando i seguenti parametri:

- tapering: 10%
- spectral smoothing (tringular window): 40%.



Grafici degli spettri



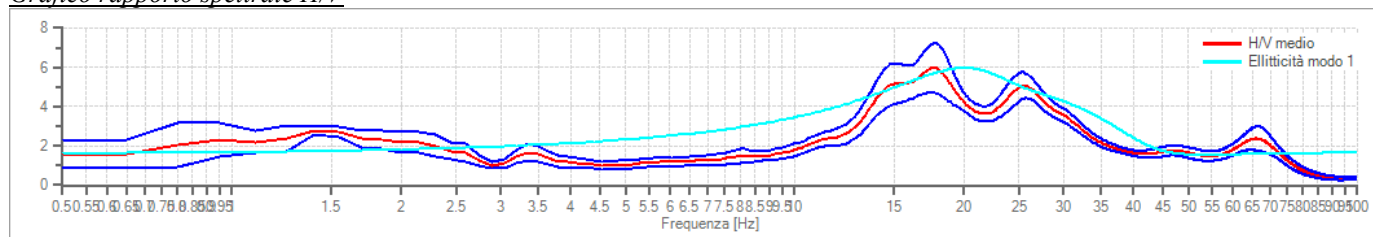
Spettri medi nelle tre direzioni

A seguito della selezione delle parti del tracciato da conservare, si è proceduto eseguendo per ciascuna frequenza dei rapporti spettrali una media sulle varie finestre, ottenendo il **rapporto spettrale H/V medio**, la cui **frequenza fondamentale f_0** (o frequenza di risonanza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso), se presente, rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. La frequenza di risonanza f_0 è legata alla profondità h di un rifrattore e alla velocità delle onde S dell'orizzonte superiore (attraversato dal raggio sismico incidente), dalla seguente formula semplificata del quarto dell'onda: $f_0 = V_s/4h$

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V:	17,75 Hz $\pm$ 0,21 Hz con un rapporto H/V di circa 6
--	---

Grafico rapporto spettrale H/V



Ciascun picco nel grafico H/V corrisponde a un possibile livello sismostratigrafico (riflettore) che presenta un contrasto d'impedenza rispetto al livello confinante; maggiore è il contrasto d'impedenza maggiore è l'ampiezza del picco amplificativo, sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare. Ampiezze di 2-3 dei picchi dimostrano scarse capacità di amplificazione dei suoli.

Pertanto, l'ampiezza H/V di circa 6 della **frequenza fondamentale f_0** a **17,75 Hz** denota l'esistenza di un rifrattore caratterizzato da elevato contrasto d'impedenza sismica. Il picco f_0 è molto largo ed è dovuto a un sismostrato variamente inclinato composto da sabbie ghiaiose addensate situate attorno a -2,2/-5,0 mt dal piano di campagna, come peraltro rilevato dalla sismica a rifrazione. Lo strato ha generato nel piano x, y delle onde S con due picchi a frequenza diversa, quasi a formarne 2.

È poi riconoscibile nella curva H/V un picco ad alta frequenza (**65,0 Hz**) relativo a un livello molto superficiale, mentre non sono identificabili picchi significativi ai fini dell'amplificazione sismica del sottosuolo a frequenze più basse relativi a strati profondi o discontinuità all'interno della formazione geologica. Ciò succede perché a **3,35 Hz** è presente un picco spurio, slanciato e stretto a forma di delta, ben definito su tutte e tre le componenti spettrali e con ampiezza dissimile sulle tre componenti (artefatto di natura antropica), che distorce e maschera la presenza di picchi a frequenze più basse. La causa di tale disturbo nella forma di vibrazioni fortemente concentrate attorno ad una specifica frequenza è data molto probabilmente dal continuo scorrere dell'acqua nel canale irriguo cementizio.

La curva del rapporto spettrale H/V, ottenuta dalle fasi di trattamento sopra descritte, è risultata, in generale, coerente con le linee guida SESAME¹² (*Site EffectS assessment using AMbient Excitations*), sia per

¹² <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>

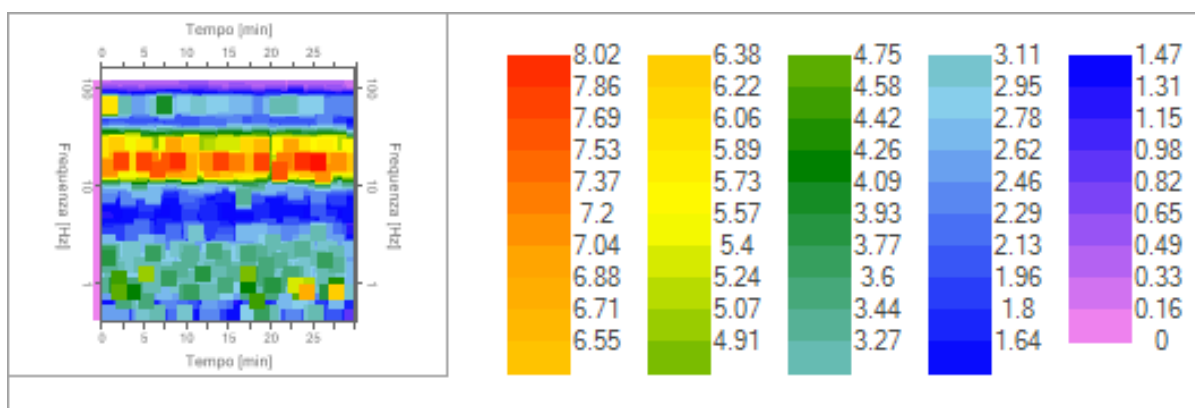


quanto concerne gli aspetti generali della curva H/V (es. parametro della deviazione standard), che per gli aspetti concernenti l'individuazione del picco di risonanza.

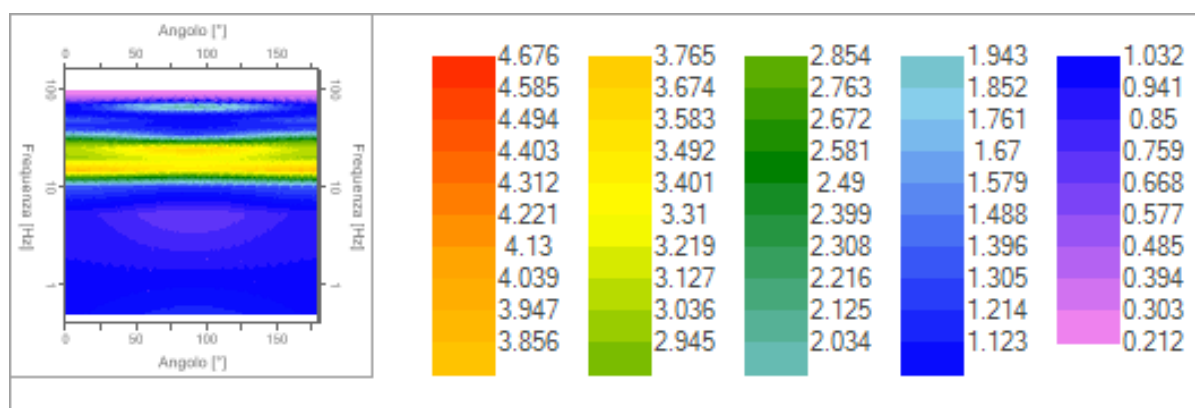
Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Il picco di frequenza 17,75 Hz è significativo perché non solo sono rispettati tutti i criteri previsti dalle indicazioni SESAME, ma anche dalla persistenza del segnale che lo ha generato, sia dal punto di vista direzionale (persistenza direzionale ben evidente), che dal punto di vista temporale (traccia del segnale sufficientemente osservabile per tutto il tempo di registrazione). L'ampiezza del picco H/V è rappresentata dalla sfumatura di colore.



Mapa della stazionarietà degli spettri



Mapa della direzionalità degli spettri



5.4.4 Stima delle Vs con il metodo HVSr.

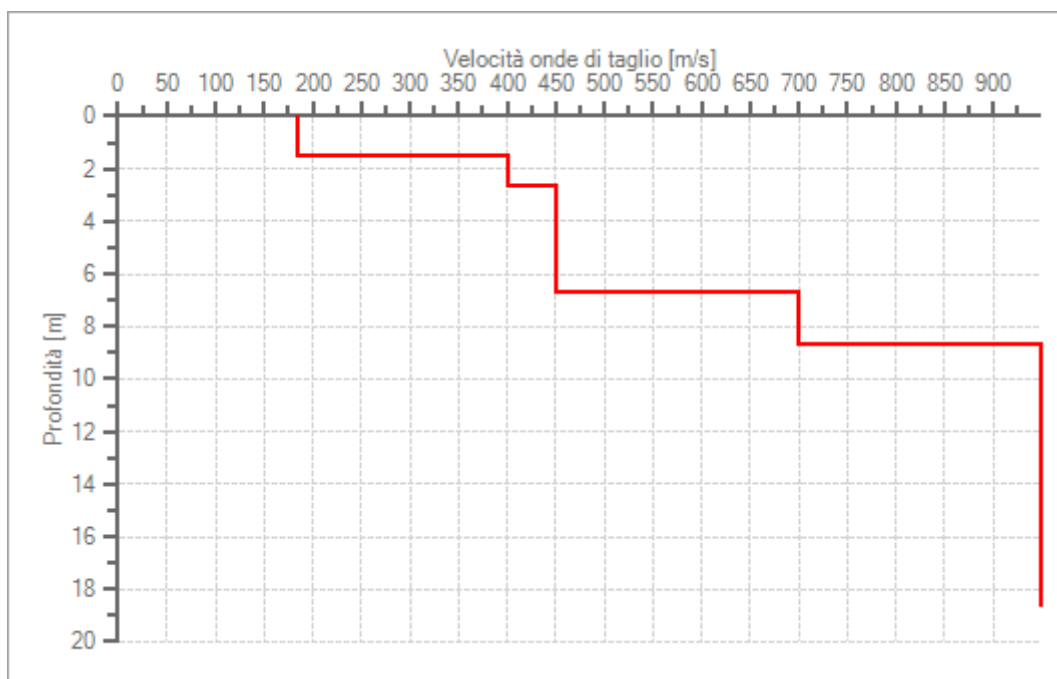
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 5
Frequenza del picco dell'ellitticità: 20.00 Hz
Valore di disadattamento: 1.59
Valore Vseq: 380.68 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.5	16	0.2	185
2	1.5	1.2	18	0.35	400
3	2.7	4	22	0.35	450
4	6.7	2	22	0.35	700
5	8.7	10	18	0.3	950



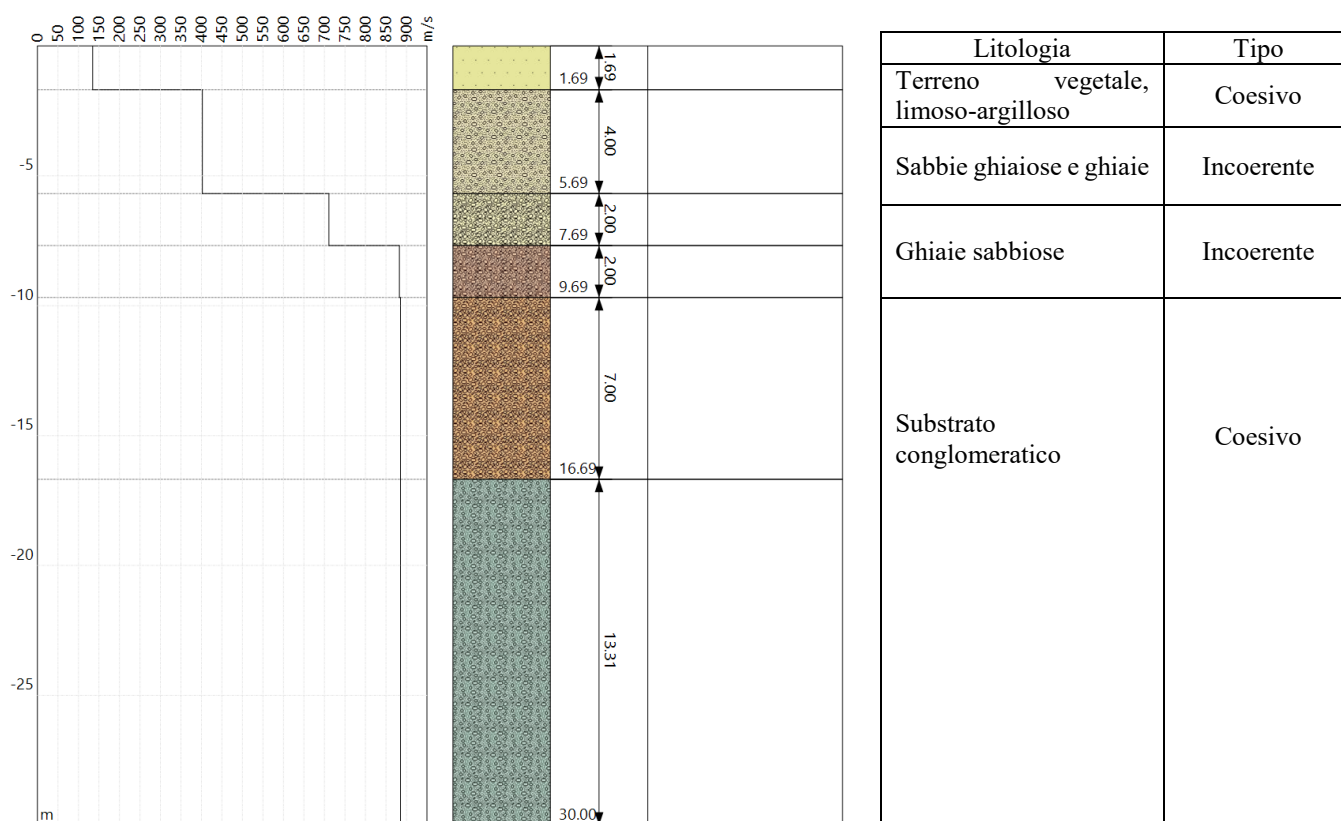
Seppur aventi approcci differenti per determinare la velocità delle onde sismiche trasversali, per il sito in studio si riscontra una convergenza tra i profili monodimensionali di Vs ottenuti con le diverse metodologie d'indagine sismica.



6.0 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (M.G.R)

Sulla base dei dati acquisiti nella particella catastale in oggetto, integrati con altri dati riportati nello studio geologico comunale del P.G.T., è stato possibile descrivere il Modello Geologico di Riferimento di cui al § 6.2.1. delle NTC 2018 e da cui sono emersi i seguenti aspetti da tenere in considerazione durante la progettazione:

1) il profilo litostratigrafico previsto è essenzialmente composto di un'unità geologico-tecnica che presenta natura litologica e comportamento variabile sia lateralmente sia con la profondità, collegata all'eterogeneità dell'ambiente di deposizione fluvio-glaciale, ascrivibile secondo il *Cancelli* all'Unità Geologica delle Terre di Copertura (terreni a comportamento pseudocoerente), comprendente, di sotto lo strato di **terreno limoso-argilloso** agrario superficiale, strati di **sabbia ghiaiosa** da mediamente a ben addensata, con intercalazioni lenticolari di terreni sabbiosi e limosi meno addensati. La facies deposizionale è a diverse energie idrodinamiche perché la sedimentazione fluvio-glaciale è tipicamente rapida e discontinua: ciò si traduce in repentine variazioni delle litologie sia in senso orizzontale sia verticale. I depositi che ne derivano sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria, aggregati in lenti allungate nel senso della corrente che le ha depositate. Considerata la struttura lenticolare delle varie unità litotecniche, il loro limite è da ritenersi del tutto indicativo. Ci si riserva pertanto di ridefinire accuratamente tale dato, mediante indagini geognostiche approfondite e/o semplici osservazioni dirette, in fase di progettazione esecutiva.



2) per quanto concerne la **falda freatica** nel sito oggetto dell'intervento non è stata rilevata la sua presenza in quanto profonda. Si segnala, a carattere stagionale, la possibilità di rinvenimento di acqua all'interno di qualche livello sabbioso-ghiaioso a più alta permeabilità relativa.

In relazione con la qualità e la quantità delle informazioni reperite, delle indagini eseguite e con la complessità geologico-strutturale dell'area in studio, si qualifica il modello geologico di riferimento del sito attraverso un grado di attendibilità buono.

7.0 STIMA DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA SECONDO LA PROCEDURA PREVISTA DALLA L.R. 12/05

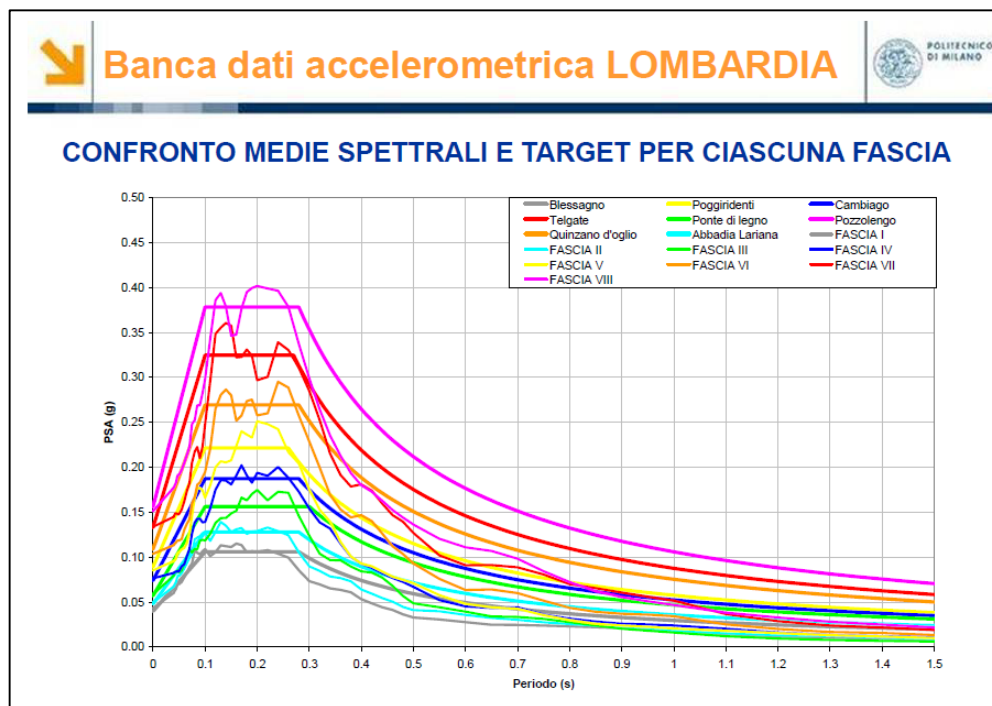
L'area in studio rientra nel retino delle aree suscettibili di amplificazioni in cui F_a sito < F_a di soglia della "Carta di Fattibilità" dello studio geologico comunale, in altre parole l'area si colloca in corrispondenza di un'area in cui è possibile una compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito. In ogni caso, per cautela, è stata condotta una verifica secondo il 2° grado dell'approfondimento relativo agli aspetti sismici della D.G.R. IX 2616/2011, per il calcolo dei fattori di amplificazione F_a con il software *RSL III* della Geostru, versione 2022.21.5.990, in quanto aumenta il grado di accuratezza di tale parametro rispetto a quanto stimabile dagli abachi semplificati. Si è pertanto utilizzata la **modellazione numerica della risposta sismica locale (R.S.L.) del tipo ridotta** (cioè che non parte da una valutazione sperimentale delle curve di degradazione di G e delle curve di smorzamento, ma utilizza quelle note dalla letteratura) al piano delle fondazioni, utilizzando lo specifico codice di calcolo monodimensionale. Questo si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da sismostrati (*layer*), caratterizzati da contrasti d'impedenza coerenti con gli esiti dell'acquisizione sismica eseguita nell'area di studio.

Per il substrato bedrock si è assunto un damping (fattore di smorzamento costante) pari allo 0%, considerandolo così deformabile in modo da evitare l'intrappolamento, all'interno del modello, dell'energia associata alle onde riflesse, $V_s = 800$ m/s e $\gamma = 24,0$ kN/m³. La falda non è stata considerata.

In seguito, per precedere il comportamento non lineare del suolo in occasione di terremoti particolarmente significativi, in altre parole per medio/grandi livelli deformativi, sono stati presi in considerazione i **cinque accelerogrammi**¹³ registrati riferiti al bedrock ($T_R = 475$ anni, probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni)

con smorzamento pari al 5%, estratti dal database della Regione Lombardia (rappresentativi della sismicità del sito in analisi, compatibili con le caratteristiche sismogenetiche della sorgente, con la coppia magnitudo-distanza dalla sorgente e con la massima accelerazione orizzontale attesa e registrate su bedrock sismico, Politecnico di Milano, 2009¹⁴) facenti riferimento al territorio comunale di Prevalle (fascia



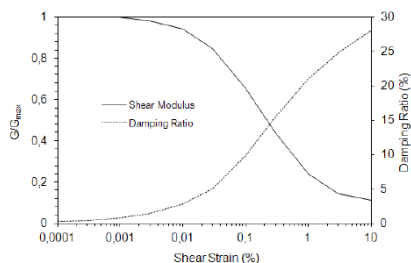
¹³ C7.11.3.5 Stabilità dei pendii della Circolare 2009 alle NTC 2008, pag. 273, "In assenza di tali studi, è consigliabile confrontare gli effetti di più accelerogrammi (almeno 5), registrati in zone prossime al sito e opportunamente scalati."

¹⁴ Meccanismo prevalentemente compressivo con subordinato meccanismo trascorrente, profondità sismogenetica prevalente compresa tra 5 e 20 km, coppia magnitudo - distanza compatibile con valore di a_{max} atteso (GdL, 2004), attraverso disaggregazione (M compresa tra 5 e 6 e D tra 5 e 80 km).

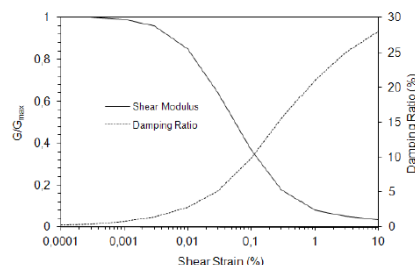


caratterizzata da severità sismica omogenea n. 8) e opportunamente scalati secondo il fattore di scala.

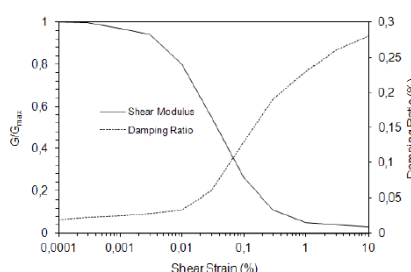
Per quanto riguarda le **curve di degrado G/G_0 - γ e D - γ** , che rappresentano la variazione del modulo di taglio normalizzato e del fattore di smorzamento con la deformazione tangenziale, si sono considerate quelle elaborate dalla Regione Lombardia (*curve_lombardia.xls*), considerando che i depositi fluvio-glaciali rientrano nel campo di validità delle ghiaie e dei limi sabbiosi.



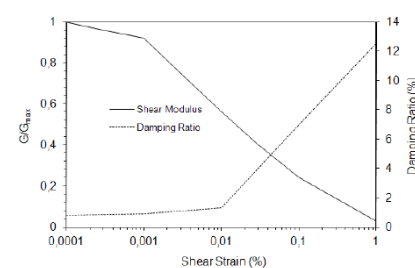
Argille Seed Idriss 1970



Sabbia Seed Idriss 1970



Limi argillosi (regione Lombardia)

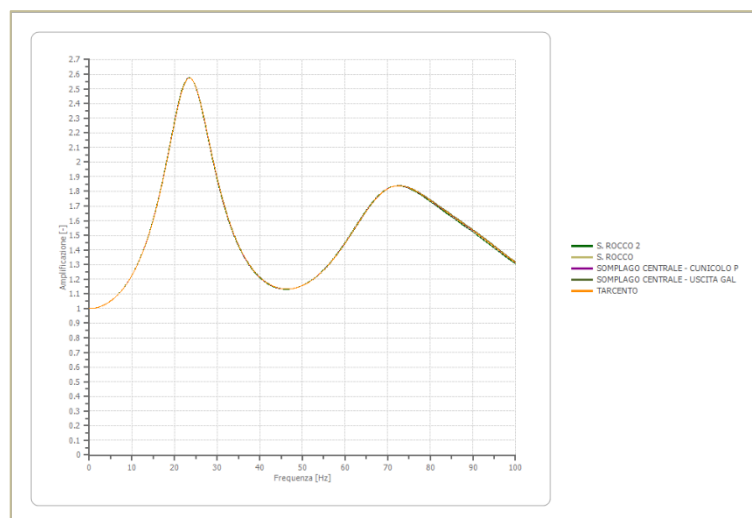


Ghiaie (regione Lombardia)

Seconda fase di elaborazione

Numero di iterazioni	100
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima	0.5
Tipo di modulo elastico	Shake
Massimo errore percentuale di convergenza	$7.85 \cdot 10^{-5}$

Il codice di calcolo Shake tiene in considerazione l'eterogeneità verticale del sottosuolo. Il programma adotta l'analisi lineare equivalente per considerare, nella soluzione dell'equilibrio dinamico del sistema, il legame non lineare.



La descrizione sintetica ed efficace dell'effetto filtrante esercitato dal terreno sul moto sismico è dato dalla **funzione di amplificazione**¹⁵, da cui si nota che il livello di amplificazione è decrescente con l'aumento della frequenza a causa del comportamento visco-elastico (smorzamento) del terreno. In particolare il moto sismico risulta amplificato in corrispondenza di determinate frequenze f_n che corrispondono alle frequenze naturali del deposito. Il picco massimo lo si ha in corrispondenza della **frequenza fondamentale**, cioè del primo modo di vibrare: $F_0 = 23,6 \text{ Hz} \rightarrow T_0 = 0,04 \text{ sec}$.

¹⁵ Variazione in funzione della frequenza del rapporto $a_{max,r}/a_{max,s}$ tra l'accelerazione di picco su affioramento rigido $a_{max,r}$ e l'accelerazione sulla superficie del deposito $a_{max,s}$.



Quindi si sono determinati gli **accelerogrammi convoluti** al piano campagna, i quali sono definiti in funzione dell'accelerazione (g), della velocità (cm/sec) e dello spostamento (cm) di cui di seguito sono plottate le *time-history*. Il software restituisce i valori della pga (accelerazione massima in superficie), della pga₀ (accelerazione massima al bedrock) e del rapporto pga/pga₀ (cioè il fattore amplificativo) per ogni singolo accelerogramma.

Si sono calcolate e plottate le **trasformate di Fourier** relative a tutti gli accelerogrammi con riferimento allo strato superficiale.

Gli **spettri di risposta elastici** delle accelerazioni e delle velocità in superficie sono stati calcolati mediando gli spettri di risposta dei cinque accelerogrammi d'input filtrati attraverso la funzione di trasferimento del terreno.

Per l'individuazione dei parametri dello spettro elastico delle accelerazioni di Normativa adattato, da utilizzare in fase di progettazione, si è fatto riferimento allo **spettro elastico medio**, utilizzando il criterio grafico.

Sono poi calcolati tutti i parametri che servono per definire, partendo dagli spettri medi in accelerazione e velocità in input e output, lo **spettro normalizzato** per come definito in Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, parti I e II, cioè lo spettro normalizzato similnormativa "cucito" sullo spettro medio di output.

Il valore del **Fattore di Amplificazione spettrale (FA)** è relativo ai corti periodi, determinato intorno al periodo per cui si ha il massimo della risposta in accelerazione; FV è un fattore di amplificazione relativo ai periodi lunghi, determinato intorno al periodo per cui si ha la massima risposta in pseudovelocità:

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.140 [s]
Tvi	0.270 [s]
Tao	0.140 [s]
Tvo	0.270 [s]
Sami	3.538 [m/s ²]
Svmi	0.155 [m/s]
Samo	3.854 [m/s ²]
Svmo	0.160 [m/s]
Fa	1.089 [-]
Fv	1.036 [-]
TB	0.113 [s]
TC	0.238 [s]
TD	2.236 [s]
SA(0)	0.190 [g]
SA(TB)	0.469 [g]

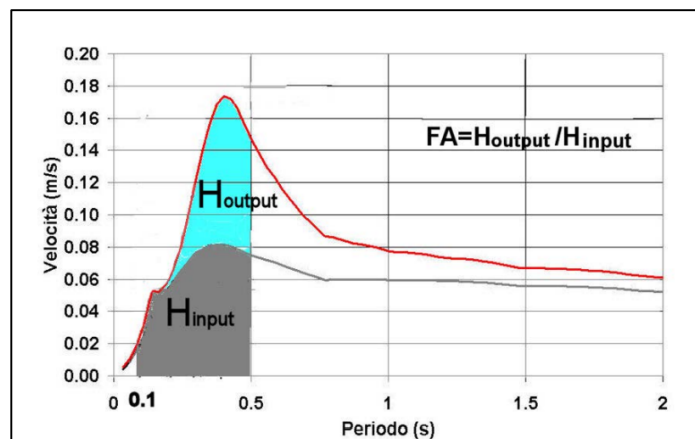
dove: Tai (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di input), Tvi (periodo di massimo valore dello spettro di velocità di input), Tao (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di output), Tvo (periodo di massimo valore degli spettri di velocità di output), Sami (valori medi degli spettri di input nell'intorno di T_{Ai}), Svmi (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di T_{Vi}), Samo (valori medi degli spettri di output nell'intorno di T_{Ao}), Svmo (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di T_{Vo}), SA(0) (valore dello spettro in 0s), SA(TB) (valore dello spettro in TB), **Fa** fattore di amplificazione determinato intorno al periodo proprio per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione (pari al rapporto Samo/Sami), **Fv** fattore di amplificazione per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità (pari al rapporto Svmo/Svmi).

Fattori di amplificazione FAC su intensità spettrale

Il **fattore SI, Intensità di Housner** è definito dalla relazione:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\xi=5\%)} dt \quad \text{dove PSV è lo spettro di risposta in velocità.}$$

L'Intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output in un dato intervallo e l'analogo spettro d'input



per il medesimo intervallo ed è direttamente correlabile all'energia che è dissipata nelle strutture durante un terremoto e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento degli edifici e/o opere.

Con il rapporto tra l'intensità di Housner ricavata dall'accelerogramma di partenza (al bedrock) e quella ricavata dall'accelerogramma al suolo, in prestabiliti intervalli di periodo, scelti in funzione della tipologia strutturale (in Lombardia ad es.: 0,1-0,5sec - strutture in muratura o calcestruzzo cls con meno di 3-4 piani e 0,5-1,5sec - strutture alte in

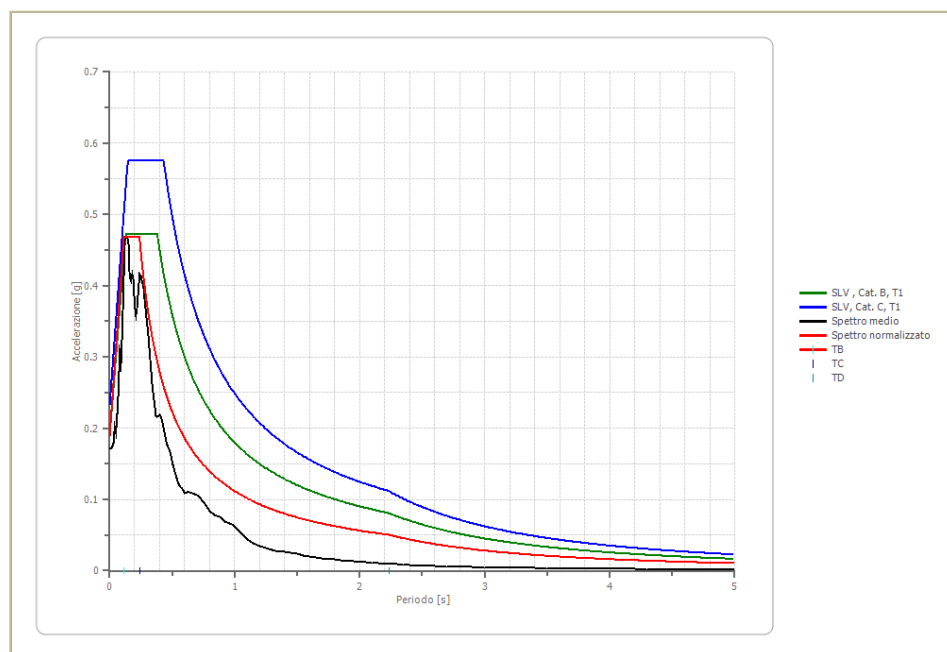
muratura o cls) è possibile desumere anche i relativi fattori di amplificazione dell'Intensità di Housner.

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FAC
0.100	0.500	0.051	0.053	0.200	1.039
0.500	1.500	0.111	0.113	0.333	1.014

I valori di FAC calcolati per gli intervalli 0,1 – 0,5s e 0,5 – 1,5s dovuti agli effetti litologici e responsabili della modifica dell'evento atteso nell'area per un tempo di ritorno di 475 anni, sono stati confrontati con i valori del **Fattore di Amplificazione soglia comunale (FAS)** per il comune in oggetto, fissati dalla D.G.R. 9/2616/2011, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene conto della variabilità del valore di FAS (come suggerisce la metodologia regionale). Essi sono:

Intervallo di periodo 0,1 – 0,5s		Intervallo di periodo 0,5 – 1,5s	
FAC Suolo	FAS Suolo tipo B	FAC Suolo	FAS Suolo tipo B
1,0	1,5	1,0	1,7

Dal confronto emerge che sia per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5s sia per quelle con periodo proprio compreso tra 0,5 e 1,5s è previsto l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della **categoria di sottosuolo B** (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2), in quanto è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica locale presenti al sito.



Infine, il confronto degli spettri di risposta elastici di normativa associati alle relative "Categorie di sottosuolo" con il corrispondente spettro di risposta elastico normalizzato (o standardizzato) ottenuto con l'analisi di RSL con un coefficiente di smorzamento critico ξ pari al 5% calcolato in "free field" e riferito a un tempo di ritorno di 475 anni, mostra come lo spettro medio delle accelerazioni dei cinque sismi rimane in gran parte all'interno degli spettri di normativa.



8.0 VERIFICA QUALITATIVA ALLA LIQUEFAZIONE DEL SITO

La liquefazione dei terreni granulari (sabbie fini e/o limi con densità da media a bassa) saturi consiste in una perdita totale o parziale di resistenza del terreno, causata dall'accumulo di sovrappressioni inerziali dovute al moto ciclico indotto dal terremoto, che si manifesta con un'eccitazione di frequenza molto elevata rispetto ai tempi necessari alla consolidazione. La suscettibilità di un terreno alla liquefazione dipende dalla tendenza alla diminuzione o aumento di volume che esso manifesta per effetto di uno sforzo di taglio ciclico oltre che dall'entità e durata dello scuotimento. I materiali potenzialmente liquefacibili sono per lo più le sabbie fini (sabbia limosa, sabbia argillosa) sciolte o poco addensate e le sabbie e i limi non gradati, recenti. La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dal grado di addensamento (bassi valori di N_{spt} , e in ogni caso inferiori a 2h (in mt.);
- dalla granulometria e forma dei granuli (Diametro medio dei grani D_{50} compreso tra 0.02 mm e 1.00 mm e Coefficiente di Uniformità $C_u < 15$). Sono maggiormente suscettibili di liquefazione i terreni monogranulari fini (cioè con buona classazione del sedimento);
- contenuto in fini inferiore al 10% e Indice di plasticità $I_p < 10$;
- dalle condizioni di drenaggio. Lo strato liquefacibile deve avere spessore maggiore di 3 mt oppure due contorni impermeabili e può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione (formato da argilla, limo, ghiaia e terreni organici) è più sottile di 3 mt;
- dall'età del deposito. I depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno una "bassa" probabilità di liquefarsi (sono solamente i sedimenti di deposizione recente (Olocene) e recentissima (meno di 500 anni), con falda posizionata nei primi cinque metri dal piano campagna, a presentare un'alta pericolosità per la liquefazione (Youd e Perkins, 1978 – CNR, 1983, e letteratura geologica)). In particolare sono sede di liquefazione le zone di contatto tra le alluvioni recenti e quelle più antiche, il cui passaggio avviene lungo piccole scarpate. Sono meno suscettibili alla liquefazione le formazioni sovraconsolidate di età pleistocenica o pre-pleistocenica con falda sotto i 5 metri di profondità. In un territorio di piana alluvionale i terreni che possono essere soggetti a liquefazione poiché di natura sabbiosa, immersi in falda, quindi possibile presenza di suoli di categoria S2, sono i paleocordoni di dune e paleoalvei di riempimento attivo;
- dalla profondità della linea di falda o Soggiacenza della Falda (SF). Juan e Elton nel 1991 hanno valutato la Suscettibilità alla Liquefazione (SL) di un sito in funzione della SL: SL Molto alta - $SF < 1,5$ mt; SL Alta - $1,5 \text{ mt} < SF < 3,0$ mt; SL Media - $3,0 \text{ mt} < SF < 6,0$ mt; SL Bassa - $6,0 \text{ mt} < SF < 10,0$ mt; SL Molto Bassa - $SF > 10,0$ mt. Con l'aumentare della profondità del deposito diminuisce la SL dello stesso durante l'evento sismico.

Le NTC al punto 7.11.3.4.2 recitano che *"La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze"*:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 mt dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Il valore di accelerazione sismica orizzontale locale calcolato nella relazione di modellazione sismica sono superiori a quelli di esclusione indicati nel comma 1.

Pertanto si è continuato nella verifica delle situazioni di esclusione attinenti ai fattori geologico-geotecnici



secondo i commi 3 e 4: è verificato il comma 2 perché non è presente una falda freatica continua entro 15 mt dal piano campagna, è verificato il comma 3 perché non sono presenti sabbie pulite e il comma 4 perché sono presenti terreni prevalentemente ghiaioso-sabbioso-limosi con granulometria esterna ai fusi granulometrici di normativa.

Di conseguenza l'esecuzione dell'opera in programma in prossimità dei depositi in studio, rientra nel campo delle condizioni a esclusione di verifica alla liquefazione ed esclude una potenziale liquefacibilità dei sedimenti presenti in sito ai sensi del § 7.11.3.4.2 delle NTC.

9.0 PROBLEMATICHE GEOLOGICO TECNICHE DEL PROGETTO STRUTTURALE E OPERE DI MITIGAZIONE DEI RISCHI GEOLOGICI.

Com'è noto, le NTC08 si riferiscono nei contenuti, anche se non reso comprensibile chiaramente nel testo, al 'progetto strutturale', che, ovviamente, è cosa diversa dal "progetto generale dell'opera" che deve ottemperare a un quadro normativo più ampio sia a livello nazionale (D.P.R. n. 380 del 06/06/01, D. Lgs. 03/04/06 n. 152, Norme Autorità di Bacino, ecc.) sia a scala locale (vincolo idrogeologico, Piani urbanistici, leggi sismiche regionali, ecc.).

Nel campo dei fenomeni naturali "geologici", oltre alla pericolosità sismica considerata nei paragrafi precedenti dovuta a fenomeni di amplificazione sismica come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (zona stabile suscettibile di amplificazione locale), vi sono le pericolosità geotecnica e geomorfologica. In generale, con il termine "pericolosità" s'intende "la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità occorra in un dato periodo e in una determinata area" (CNR – GNDICI, 1994), ed è quindi espressa in termini di probabilità annuale (o "tempo di ritorno"): vi sono quindi diverse "pericolosità".

La pericolosità geomorfologica data dal rischio frana s.l. è assente insistendo le opere di progetto su superficie subpianeggiante.

Per ciò che concerne la pericolosità idrogeologica, alla luce della profondità alla quale si colloca la falda e delle caratteristiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area d'interesse, le opere in progetto non interferiranno con il normale deflusso idrico sotterraneo delle acque.

La pericolosità idraulica da esondazione è assente, poiché il dislivello altimetrico occorrente (circa 17,0 metri) è tale da evitare possibili interferenze negative correlabili alla dinamica fluviale ordinaria o eccezionale. Analoga considerazione è valida con riferimento al canale che lambisce l'area d'indagine lungo il lato orientale, giacché tale vettore ad uso esclusivamente irriguo è percorso da un flusso idrico e quindi da una portata controllata.

La pericolosità sismica è dedotta dalle indagini geologiche e geognostiche citate nei precedenti paragrafi: queste suggeriscono che si possono verificare fenomeni di amplificazione sismica come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (zona stabile suscettibile di amplificazione locale).

Esclusa la possibilità di liquefazione dei terreni trattata nel precedente paragrafo, la pericolosità geotecnica potrebbe essere data dal verificarsi dei cedimenti differenziali sui terreni eterogenei e dalle problematiche legate agli scavi.

Allora per le pericolosità rilevate la scelta obbligata è la prevenzione, cioè preparare il territorio in modo da minimizzare o annullare completamente la probabilità di gravi danni.

Gli **interventi di mitigazione del rischio sismico** sono programmati attraverso il parametro della vita nominale nel quale la struttura può essere considerata sicura, in altre parole saranno progettati per ridurre l'amplificazione sismica locale a un livello tale che la struttura non subisca danni strutturali in caso di terremoto di magnitudo pari a quella della sua classificazione sismica.

Per la **mitigazione del rischio geotecnico** è fondamentale la progettazione geotecnica, cioè un processo complesso di progettazione e di realizzazione in sicurezza di opere in relazione alle caratteristiche del terreno.



Dallo studio degli elaborati di progetto si evince che la nuova costruzione non prevede la realizzazione di volumi interrati significativi. Gli **scavi**¹⁶ relativi alle opere di fondazione potranno avere un'altezza di circa 2,0 metri e saranno limitati all'impronta fondazionale. Essi non dovranno interferire con le fondazioni del capannone esistente di lato, pertanto, se il progettista lo riterrà opportuno, dovranno essere predisposte le opportune opere di sostegno provvisionali al fine di garantire le condizioni di stabilità delle scarpate durante la fase di cantiere.

I terreni superficiali a prevalente granulometria fine sono facilmente asportabili con i comuni mezzi meccanici in uso nei cantieri edili. Il materiale di riporto derivante dalle operazioni di scavo dovrà essere allontanato dal bordo degli scavi di diversi metri.

Le operazioni riguardanti lo sbancamento del terreno per l'alloggiamento della struttura fondazionale, oltre a comportare un'alta sorveglianza da parte di personale qualificato, dovranno garantire le condizioni di sicurezza per gli operai addetti alle lavorazioni.

Un **piano di sicurezza** specifico prevedrà le fasi di organizzazione degli scavi e la gestione di eventuali situazioni di emergenza connesse alle peculiarità del cantiere.

Le fondazioni dell'edificio da realizzare dovranno poggiare su di un substrato omogeneo dal punto di vista geotecnico, tenendo conto delle risultanze ottenute ed illustrate nel presente studio.

Per le **strutture di fondazione** la quota di posa di progetto (a circa -2,0 mt dal p.c.) è coerente con la profondità a cui si rinvencono i depositi sabbioso-ghiaiosi addensati a buone caratteristiche geotecniche, tali da conferire la necessaria sicurezza a tutta l'opera. Dopo aver livellato il terreno, se si dovessero rinvenire alcune sacche o strati di terreno coesivo di più scadenti caratteristiche geotecniche, questi dovranno essere sostituiti e bonificati con materiali idonei (per esempio sabbia ghiaia e ciottoli, appartenente ai gruppi A1, A2-4, A2-5, A3 del sistema UNI-CNR 10006). Pertanto sarà indispensabile verificare puntualmente i terreni durante gli scavi di fondazione assicurandosi che sul piano di posa affiori terreno incoerente di buone caratteristiche geotecniche.

Si consiglia di realizzare un **magrone di sottofondazione**, cioè uno strato di calcestruzzo a basso contenuto di cemento e una curva granulometrica degli inerti a dimensione abbastanza grossa, di spessore variabile da 5 a 10 cm, il cui compito è quello di fornire la base livellata di appoggio alle strutture di fondazione ed evitare il contatto diretto delle armature con il terreno, nonché a proteggere le fondazioni dall'umidità del terreno che può causare corrosione e degradazione del calcestruzzo. Sopra di esso e lungo le superfici delle pareti interrate del suo perimetro si potranno posare in aderenza i materiali impermeabili¹⁷ a base bituminosa o non bituminosa. Le operazioni potranno essere condotte fino al piano campagna in totale

¹⁶ Per quanto attiene ai potenziali fenomeni d'instabilità dei fronti di scavo, si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza (Articolo 118 Testo unico sulla sicurezza sul lavoro (TUSL), D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 [Aggiornato al 31/03/2021]):

1. Nei lavori di splancamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, è vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete.
2. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno.
3. Nei lavori di escavazione con mezzi meccanici deve essere vietata la presenza degli operai nel campo di azione dell'escavatore e sul ciglio del fronte di attacco.
4. Il posto di manovra dell'addetto all'escavatore, quando questo non sia munito di cabina metallica, deve essere protetto con solido riparo.
5. Ai lavoratori deve essere fatto esplicito divieto di avvicinarsi alla base della parete di attacco e, in quanto necessario in relazione all'altezza dello scavo o alle condizioni di accessibilità del ciglio della platea superiore, la zona superiore di pericolo deve essere almeno delimitata mediante opportune segnalazioni spostabili col proseguire dello scavo.

¹⁷ Le impermeabilizzazioni, come citato dalle NTC 2018, "devono essere tali da evitare che infiltrazioni d'acqua possano arrecare danno alle strutture portanti", e non solo, "le opere di impermeabilizzazione [...] devono essere eseguiti con materiali di qualità e con cura esecutiva tali da garantire la massima durata e tali da ridurre interventi di manutenzione e rifacimenti". Il prodotto e la tecnologia applicativa sono direttamente conseguenti alle scelte tecniche fatte dal progettista.



aderenza alle strutture (fondazione e pareti), senza lasciare alcun punto di discontinuità.

Per scongiurare il ristagno d'acqua, potrà essere costruito un **drenaggio perimetrale** ottenuto mediante la posa di tubi forati con una pendenza dell'1,5%, posti in un letto di materiale poco capillare (come il pietrisco) al livello delle fondazioni.

Dopodiché si potrà dare il via immediatamente e nel più breve tempo possibile alle fondazioni, alle strutture in elevazione e alla copertura formata di materiali impermeabili. Le finiture interne (come i pavimenti, i rivestimenti, gli infissi e gli impianti) e il rinterro delle porzioni interrato completeranno le opere. Quest'ultima operazione consiste nel riempimento delle trincee di fondazione con materiale terroso, in modo da livellare il terreno e ripristinare le condizioni originarie.

Le acque chiare di precipitazione raccolte dai tetti e dalle aree impermeabili secondo le indicazioni del R.R. 7/2017 e del R.R. 8/2019 potranno essere opportunamente raccolte con idonei dispositivi e restituite al loro ciclo naturale. Data l'eterogeneità dei terreni e la presenza di litologie piuttosto argillose poco permeabili nei primi metri di profondità, per la loro infiltrazione sotterranea sarà indispensabile raggiungere l'unità sabbiosa ghiaiosa mediamente addensata per la quale si può stimare una discreta permeabilità, sull'ordine dei 10^{-5} m/s. Quindi per consentire l'infiltrazione delle acque occorrerà raggiungere in sito profondità variabili tra i 2,5 ed i 4,0 metri di profondità.

Il progetto edilizio autorizzatorio prevedrà, infine, prima dell'inizio dei lavori di scavo, una dichiarazione del proponente o del produttore per gestire le **terre da scavo**¹⁸ come sottoprodotti (invece che come rifiuti) ai sensi della generale disciplina in materia dettata dall'articolo 41bis del Decreto Legge 21 giugno 2013, n° 69, recante disposizione urgente per il rilancio dell'economia, convertito con modifiche nella legge n° 98 del 9 agosto 2013. Tale comunicazione attesterà il rispetto dei quattro punti (comma 1) che consentono di considerare i materiali da scavo come sottoprodotti e non rifiuti mediante una "autocertificazione" (dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà, ai sensi del DPR 445/2000) da presentare all'Arpa (comma 2) territorialmente competente.

Le attività di scavo devono essere autorizzate dagli enti competenti perché attività edilizie e quindi il processo di autocertificazione dovranno comunque essere coordinati con l'iter edilizio. Il produttore (comma 3) deve inoltre confermare l'avvenuto utilizzo alle Arpa con riferimento al luogo di produzione e di utilizzo. Il trasporto (comma 4) avviene come bene/prodotto.

Ai fini dell'utilizzo, come previsto dal comma 1, lettera b), dell'art. 41bis, si dichiara che i materiali da scavo, destinati a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, rispettano i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B Tabella 1 allegato 5 del Titolo V, parte IV, del D. Lgs. 152/06 e s.m.i., con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione e che i materiali non costituiscono fonte di contaminazione diretta o indiretta per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale. Il sito non è mai stato interessato da interventi di bonifica ai sensi della parte Quarta, Titolo V, del D. Lgs. 152/06 e s.m.i..

La dichiarazione deve prevedere che i materiali da scavo destinati a essere utilizzati nei siti prescelti non

¹⁸ Secondo la lettera b) del comma 1 dell'art. 1 del D.M. 161/2012, sono materiali da scavo "il suolo o sottosuolo, con eventuali presenze di riporto, derivanti dalla realizzazione di un'opera quali, a titolo esemplificativo: scavi in genere (sbancamento, fondazioni, trincee, ecc.); perforazione, trivellazione, palificazione, consolidamento, ecc.; opere infrastrutturali in generale (galleria, diga, strada, ecc.); rimozione e livellamento di opere in terra; materiali litoidi in genere e comunque tutte le altre plausibili frazioni granulometriche provenienti da escavazioni effettuate negli alvei, sia dei corpi idrici superficiali che del reticolo idrico scolante, in zone golenali dei corsi d'acqua, spiagge, fondali lacustri e marini; residui di lavorazione di materiali lapidei (marmi, graniti, pietre, ecc.) anche non connessi alla realizzazione di un'opera e non contenenti sostanze pericolose (quali ad esempio flocculanti con acrilamide o poliacrilamide)".

La stessa lettera b) dispone, altresì, che "i materiali da scavo possono contenere, sempreché la composizione media dell'intera massa non presenti concentrazioni di inquinanti superiori ai limiti massimi previsti dal presente Regolamento, anche i seguenti materiali: calcestruzzo, bentonite, polivinilcloruro (PVC), vetroresina e miscele cementizie e additivi per scavo meccanizzato". Se le concentrazioni sono maggiori le terre e rocce da scavo sono rifiuti speciali (codice CER 170504) la cui gestione deve avvenire ai sensi della normativa in materia di gestione rifiuti (Parte IV del D.Lgs. 152/06 s.m.i.).



richiedono essere sottoposti ad alcun preventivo trattamento, fatte salve le normali pratiche industriali e di cantiere; hanno caratteristiche chimico e chimico-fisiche tali che il loro impiego nei suddetti siti non determina rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate; saranno conferiti con modalità tali da assicurare il rispetto delle norme di tutela delle acque superficiali e sotterranee, della flora, della fauna, degli habitat e delle aree naturali protette; non sono contaminati con riferimento alla destinazione d'uso dei rispettivi siti prescelti e sono compatibili con i medesimi siti; soddisfano i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo a emissioni e impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli autorizzati per l'impianto dove sono destinati a essere utilizzati.

Si ricordi che il committente, in qualità di produttore del rifiuto, è responsabile della corretta gestione ai sensi dell'art.188 d.lgs. 152/2006 e che in tale accezione, si potrebbero configurare i reati penali di gestione illecita di rifiuti art. 256, traffico illecito di rifiuti art. 259 e violazione degli obblighi di cui all'art. 258.



10.0 CONCLUSIONI

Il presente elaborato, compilato in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17 gennaio 2018 *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”*, permette di dichiarare che le indagini geologiche eseguite per l’area in studio e le conoscenze disponibili permettono la fattibilità geologica e la fattibilità geotecnica delle opere con le prescrizioni e gli interventi di mitigazione dei rischi descritti nel paragrafo precedente.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici l’intervento di progetto è pertanto compatibile con le normative geologiche di fattibilità, di vincolo e di pericolosità sismica.

I risultati resi nella presente relazione geologica si basano soltanto sui dati raccolti ed interpretati con il minor grado d’incertezza. Pertanto in fase di esecuzione degli scavi per la realizzazione delle opere quanto presentato dovrà essere attentamente appurato da personale qualificato, in rapporto a discontinuità geotecniche ed eterogeneità particolari e puntuali anche in profondità, non riscontrabili in fase d’indagine geognostica, che siano in grado di limitare la validità del modello geologico assunto. L’indagine effettuata in questa fase di progettazione, infatti, essendo localizzata (in generale solo una piccolissima frazione del volume significativo) può non rilevare eventuali variazioni della composizione del terreno che solamente in fase di sbancamento dei terreni potrebbero manifestarsi e suggerire sondaggi geognostici integrativi, sulla base dei quali potranno essere formulate raccomandazioni più mirate e/o dovranno essere valutate azioni correttive a vantaggio della sicurezza delle opere.

Inoltre, in fase di sbancamento dei terreni e nel corso dei lavori, si accertino le condizioni idrogeologiche del terreno da edificare, quali eventuali locali falde sospese o le infiltrazioni d’acqua che si possono verificare in occasione di situazioni meteorologiche avverse rivelatrici di possibili fattori di rischio, tali da consigliare accorgimenti specifici o prendere particolari precauzioni idonee a garantire la realizzazione dell’opera senza difetti costruttivi.

Tanto dovevo secondo le conoscenze tecniche specifiche e l’accurata diligenza in concreto per l’incarico ricevuto, a tutela della pubblica e privata incolumità.

Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE






11.0 BIBLIOGRAFIA TECNICA

(in ordine alfabetico)

- APAT "Indicazioni per l'utilizzo e la Gestione delle Terre e Rocce da Scavo nei Lavori Privati sottoposti a Dia o a Permesso di Costruire" (2009).
- Basili R., Kastelic V., Demircioglu MB, Garcia Moreno D., Nemser ES, Petricca P., Sboras SP, Besana-Ostman GM, Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti MM, Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013). Il database europeo delle faglie sismiche (EDSF) compilato nell'ambito del progetto SHARE. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, MM Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), versione 3: sintesi di 20 anni di ricerca sulla geologia dei terremoti in Italia, Tettonofisica.
- Basili R., Danciu L., Beauval C., Sesetyan K., Vilanova S. P., Adamia S., Arroucau P., Atanackov J., Baize S., Canora C., Caputo R., Carafa M. M. C., Cushing M. E., Custódio S., Demircioglu Tumsa M. B., Duarte J. C., Ganas A., García-Mayordomo J., Gómez de la Peña L., . . . Zupančič P. (2022). *European Fault-Source Model 2020 (EFSM20): online data on fault geometry and activity parameters [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Boni A., Cassinis G. (1973) – "Carta geologica delle Prealpi bresciane a Sud dell'Adamello", in scala 1:50.000.
- Bruschi Alberto (2010). "Prove geotecniche in situ". Dario Flaccovio Editore.
- Carta Geologica d'Italia - Foglio 47 – "Brescia".
- Cestari F. (1990). "Prove Geotecniche in Sito". Geo-Graph. Pp. 207-284.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - *CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>
- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019) - *CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area*, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>
- Ispra (2015). "Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol)". Rapporti ISPRA, 234/2015.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Mappe interattive di pericolosità sismica. http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php.
- Jamiolkowski, M., Pasqualini, E. (1974) - "Previsione dei cedimenti delle fondazioni superficiali poggianti su terreni sabbiosi ..." (V ciclo annuale di conferenze dedicate ai problemi di ingegneria delle fondazioni).
- Locati M., Camassi R. & Stucchi M. (2011) *Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11*.
- Meletti C. & Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9. App. 2 al rapporto conclusivo.
- Moscatelli Massimiliano, Albarello Dario, Scarascia Mugnozza Gabriele & Dolce Mauro (2020) – "L'approccio italiano alla microzonazione sismica". Bollettino di ingegneria sismica volume 18, pagine 5425 - 5440.
- Mulargia F., Castellaro S. e Rossi P.L. (2007). – "Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica".
- Ordini Geologici vari, Standard metodologico di lavoro.
- Regione Emilia Romagna, Assessorato all'Ambiente. Regione del Veneto, Assessorato Agricoltura e foreste. (1998) "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica".
- Regione Lombardia (1997) – "I suoli dell'area morenica gardesana settore bresciano" (Progetto Carta Pedologica – ERSAL).
- Riga Giulio (2010) – "Modellazione geologica e geotecnica." Dario Flaccovio Editore.
- Società Geologica Italiana (2002). "Alpi e Prealpi Lombarde". Guide Geologiche Regionali. BE-MA Editrice.
- Stucchi R., Camassi, Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti E. C., Migliavacca P., Bernardini F. & Azzaro R. (2007) - DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.
- S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) della Regione Lombardia.
- Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. *TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size* (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (2007).
- Vallario A. (1993) – "Frane e territorio. Le frane nella morfogenesi dei versanti e nell'uso del territorio". Liguori editore.



- Venzo S. (1965) – “Rilevamento geologico dell’anfiteatro morenico del Garda, dal Chiese all’Adige”, con carta Geologica in scala 1: 40.000.
- Viggiani, C. – (1999-2003) “Fondazioni” (Hevelius Edizioni).

BIBLIOGRAFIA INERENTE ALLA GEOFISICA.

- Albarello D., S. Castellaro. Ingegneria sismica n. 2 – 2011. *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola.*
- Albarello D., Cesi C., Eulilli V., Guerrini F., Lunedei E., Paolucci E., Puzilli L.M. (2010) - *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzonation: an example from the area damaged by the 26th April, 2009 L’Aquila (Italy) earthquake.* Boll. Geofis. Teor. Appl., 52 (3).
- Castellaro S., Panzeri R., Mesiti F., Bertello L. – Anno XV 2015 – N. 53. Ordine dei Geologi Emilia Romagna “Vs e potenziale di liquefazione”.
- Coccia S., V. Del Gaudio, M.R. Gallipoli, M. Mucciarelli e J. Wasowski. *Identificazione di direzionalità nella risposta di sito dall’analisi spettrale di microtremori.*
- Colombi A., M. Compagnoni, F. Pergalani. Ingegneria sismica n. 2 – 2011. *Risposta sismica locale: la MS come strumento discriminante per l’utilizzo di approcci semplificati o di specifiche analisi.*
- Dispense del corso di APC. 15–22 gennaio 2010. *RSL: metodologie e casi applicativi alla luce anche del D.M. 14 gennaio 2008 – NTC. Casi studio e procedure per la caratterizzazione geofisica dei terreni tramite l’analisi delle onde superficiali.*
- Ditommaso R. e M. Mucciarelli, Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia applicata, Università degli Studi della Basilicata. *Influenza dell’edificato su misure accelerometriche e di microtremore.*
- Foti Sebastiano, Filippo Santucci de Magistris, Francesco Silvestri, Claudio Eva. Contributi per l’aggiornamento degli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, 2008, Supplemento alla rivista Ingegneria sismica, Anno XXVIII - n. 2 – 2011. *“Valutazione degli standard di esecuzione e dell’efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva”.*
- Gruppo di lavoro MS, 2008. 3 vol. e DVD. *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica.*
- Falcone G., Acunzo G., Mendicelli A., Mori F., Naso G., Peronace aE., Porchia A., Romagnoli G., Tarquini E., Moscatelli M. *Mappe di amplificazione sismica dell’Italia basate su dataset di microzonazione site-specific e approccio numerico unidimensionale.* CNR-IGAG, Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Area della Ricerca di Roma 1, Roma (maggio 2021).
- Ibs-von Seht M. and Wohlenberg J. (1999). *Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments.* Bull. Seism. Soc. Am., 89.
- Lippelli A., A. Stamile. Ingenium Edizioni - 2014. *Guida pratica alla Risposta Sismica locale 1D.*
- Lombardo G., Rigano S. e Panzera F., Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania. *Applicazione delle metodologie proposte a diversi casi studio - Effetti di sito in faglie, cavità e rilievi topografici.*
- Martelli L. - 2021, 11. Geoscienze. Case Studi dalla pianura Emilia-Romagna. *“Valutazione del bedrock sismico nelle profonde pianure alluvionali”.*
- Mucciarelli Marco (2011). Progetto Stessa. *Tecniche sismiche per la stima dell’amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali.*
- Mucciarelli M. & Gallipoli M.R. (2011) – *A critical review of 10 years of microtremor HVSr technique.* Boll Geofis. Teorica Appl., 42, 255-266.
- M. R. Gallipoli, D. Albarello, M. Mucciarelli e M. Bianca. (2011). Progetto Stessa. - *Il caso Abruzzo.*
- Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface.* QR of RTRI, Vol. 30, pp. 25-33.
- Pergalani F., Compagnoni M. e Petrini V. (aprile 2009). *Definizione di procedure per la valutazione degli effetti sismici di sito nel territorio lombardo. Rapporto integrativo. Individuazione degli accelerogrammi registrati.*
- Roccaforte F. - Cucinotta C. – “*Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata. Correlazioni tra parametri sismici e geotecnici per la pratica professionale*”. Dario Flaccovio Editore S.r.l. Palermo. Ristampa Terza, agosto 2021.
- SESAME Project (2004) - *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements processing and interpretation, WP12, deliverable no.D23.12, [Http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf)*
- Valentino R., Caleffi C., Grassi N. Anidis. *Valutazione della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove SPT in depositi sabbiosi finalizzata alla classificazione sismica.* Bari (2011).