

ConsultinGEO Enviroment



STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E AMBIENTALE

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

Proprietà: Spett. Cenedella Vanda Titolare della "Sottovento s.n.c. di Cenedella Vanda e C.", Via
Remato n° 36, Lonato del Garda (BS).

Oggetto: Relazione geologica per un progetto di ampliamento del capannone esistente in Via
Maccarona, n. 9/B, Lonato del Garda (BS).

Desenzano del Garda, 16/07/2019.

Il tecnico:

Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE

Via Antonioli 221 – 25015

Desenzano del Garda (BS) - Italy

Tel. 3345719897

E-mail: studiogeologofedele@libero.it

Massimo Pasquale Fedele



Si specifica che in adempimento alla normativa vigente (D.M. 17/01/18, D.G.R. 10/5001/2016) la presente relazione geologica può essere utilizzata solo per il sito indicato e al progetto come definito nell'oggetto. È vietato ogni utilizzo anche parziale e la riproduzione non autorizzata di questo documento e ogni sua divulgazione incompleta.



INDICE.

1.0	Normativa di riferimento	Pag. 3
2.0	Premessa	Pag. 5
3.0	Inquadramento del sito	Pag. 7
3.1	Inquadramento territoriale ed urbanistico	Pag. 7
3.2	Inquadramento geologico, idrogeologico e litostratigrafico generale e locale	Pag. 7
3.2.1	geomorfologia	Pag. 8
3.2.2	geologia	Pag. 9
3.2.3	idrologia	Pag. 10
3.2.4	neotettonica	Pag. 12
4.0	Rilevamento geologico tecnico	Pag. 13
5.0	Descrizione delle indagini geologiche	Pag. 14
5.1	Scavo geognostico con terna idraulica	Pag. 14
5.2	Descrizione della tecnica Masw	Pag. 16
5.3	Strumentazione utilizzata	Pag. 17
5.4	Tracce	Pag. 18
5.5	Analisi spettrale	Pag. 19
5.6	Categoria di sottosuolo di fondazione	Pag. 21
5.7	Categoria topografica di riferimento	Pag. 22
5.8	Sezione sismica tomografica 2d	Pag. 22
6.0	Modello geologico di riferimento	Pag. 24
7.0	Stima della pericolosità sismica di base	Pag. 26
8.0	Stima della risposta sismica locale con modello monodimensionale	Pag. 28
9.0	Pericolosità geologica e rischio geologico dell'opera	Pag. 32
9.1	Verifica qualitativa alla liquefazione del sito	Pag. 33
10.0	Problematiche geologico tecniche del progetto strutturale	Pag. 34
11.0	Indicazioni conclusive	Pag. 36
12.0	Bibliografia tecnica	Pag. 37



1.0 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Regio Decreto n° 523/1904 (fascia di rispetto dei corsi d'acqua secondari);
- 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";
- 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 7.2 (2002). Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI;
- 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 16.01.2008 n. 4: Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale;
- 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");
- 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";
- Disposizioni contenute all'interno delle Norme Geologiche del P.G.T. del comune di Lonato del Garda ("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", maggio 2010).

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".

Raccomandazioni e specifiche:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana- Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle Indagini Geotecniche (1997);
- ASTM 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).



2.0 PREMESSA

A seguito dell'incarico della proprietà e dei colloqui intercorsi con lo Studio di Architettura dell'arch. Sodini Daniela Maria Cristina, Via Panoramica, 51, 25080 Manerba del Garda e dello Studio Tecnico del Geom. Bonelli Alessandro, Via Trevisago, 68/D, Manerba Del Garda, è stata redatta la presente relazione geologica, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, a supporto di un progetto di nuova costruzione edilizia nel comune di Lonato del Garda (BS).

Il terreno oggetto dell'intervento è riportato in Catasto Fabbricati con il F° 7 particella **282** e ha coordinate geografiche riferite all'ellissoide European Datum 1950 - ED50: latitudine **45.485901°** e longitudine **10.517346°** (Est da Greenwich). Il sito è meglio identificato nella cartografia di dettaglio di seguito riportata. La proprietà prevede di ampliare il capannone prefabbricato esistente adibito ad attività commerciale con un piano fuori terra ed uno seminterrato. La struttura portante sarà formata da pilastri e travi in cemento armato e pannelli prefabbricati di tamponamento. Per tutti i dettagli e le maggiori specificazioni relative alle opere in progetto la cui sicurezza interessa la pubblica incolumità si rimanda alla visione degli elaborati progettuali.

Salvo diversa indicazione data dal progettista si è esaminata la Classe d'Uso II (NTC 2018 – 2.4.2).

La presente Relazione Geologica è stata compilata rispettando le indicazioni, le prescrizioni, i criteri, le condizioni di fattibilità indicate nelle Norme Geologiche di Attuazione del P.G.T., le nuove normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (L.R. 33/2015, D.G.R. 5001/2016) e aggiornamento della classificazione sismica regionale (D.G.R. 2129/2014), e sempre tale da garantire la tutela della stabilità e della sicurezza del sito¹. A tal fine, è stata attuata una ricerca bibliografica e delle cartografie disponibili, il portale Web della Regione Lombardia e lo studio geologico del territorio comunale allegato al DdP del P.G.T. del comune di Lonato del Garda e, infine, delle indagini geognostiche eseguite nel 2001 dal geologo dott. Crestana Giorgio per il capannone esistente oggetto di ampliamento e riportate negli allegati dello studio geologico del P.G.T. esistente.

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 il manufatto in progetto e per accertare l'esistenza di condizioni logistiche favorevoli all'eseguirsi delle operazioni di cantiere.

Le ulteriori indagini 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 prove e le indagini sono state commisurate in maniera sostanziale agli obiettivi della

¹ Secondo l'Art. C.6.2.1 Circ. n. 617/2009 che recita: "Il Modello Geologico deve definire con preciso riferimento al progetto i lineamenti morfologici della zona nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità; inoltre, deve illustrare i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea". Ogni progetto avrà il suo specifico Modello Geologico di Riferimento MGR che approfondirà gli aspetti propri e le peculiarità che influiscono direttamente o indirettamente sulla realizzazione e sulla "vita" dell'opera specifica considerata. Il Modello Geologico di Riferimento deve riconoscere e descrivere oltre alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geologico-strutturali, idrogeologiche, anche gli aspetti connessi alla genesi dei diversi litotipi, quali l'ambiente deposizionale, l'ambiente e le condizioni di genesi dei terreni e delle rocce, gli assetti tettonici dell'area in studio. Tutte queste cognizioni sono indispensabili per prevedere le possibili variazioni delle caratteristiche fisiche, geotecniche e geomeccaniche dei materiali e l'evoluzione morfodinamica dell'area. Il Modello Geologico deve essere capace, attraverso procedimenti di analisi sopra evidenziati, di riconoscere e descrivere, il più oggettivamente possibile, le criticità ed i pericoli di natura geologica.



caratterizzazione, all'importanza dell'opera e alle sue dimensioni.

Pertanto sono stati eseguiti all'interno del lotto in indagine un saggio geognostico con terna idraulica e uno stendimento di sismica attiva multicanale con analisi delle onde superficiali MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – Park et al., 1999) secondo quanto prescritto dal par. 3.2.2 delle N.T.C. 17/01/18 e della L. R. n. 33 del 12 ottobre 2015 e della D.G.R. 30 marzo 2016 - n. X/5001.

Il metodo geofisico di tipo sismico utilizzato consente la determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio, esplicitamente legata al modulo elastico di taglio a piccole deformazioni, 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 applicazioni². Il rilievo sismico di discreto dettaglio 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.

Dalla pericolosità sismica di base su suolo rigido e pianeggiante riportata nell'Allegato A della D.G.R. 11 luglio 2014 - n. 2129 (Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia) si è applicato un approfondimento di II livello (L.R. 12/05, Allegato 5), cioè una valutazione quantitativa della risposta sismica locale (RSL) del tipo ridotta con modellazione numerica monodimensionale tramite codici di calcolo matematico, per il calcolo della pericolosità sismica al piano fondazione e per un computo dei valori dei fattori d'amplificazione e per un loro confronto con quelli di soglia della normativa regionale.

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 nuove fondazioni della struttura), la stabilità degli scavi e il rispetto delle esigenze di tutela igienico-sanitaria, di difesa del suolo e di rischio idrogeologico in relazione ai documenti tecnici reperibili sia a livello di pianificazione comunale sia con rispetto a Norme e Piani sovracomunali vigenti, con espressione finale di un giudizio tecnico sulla fattibilità delle opere di progetto e dell'individuazione di eventuali prescrizioni/interventi necessari per il corretto inserimento dell'opera nel contesto idrogeologico tale da non recare danno all'assetto idrogeologico del territorio e, quindi, del corrispondente interesse pubblico.

² "Affidabilità delle prove geofisiche per la caratterizzazione geotecnica in zona sismica", S. Foti. Atti della giornata di studio. Brescia, 20 novembre 2014.



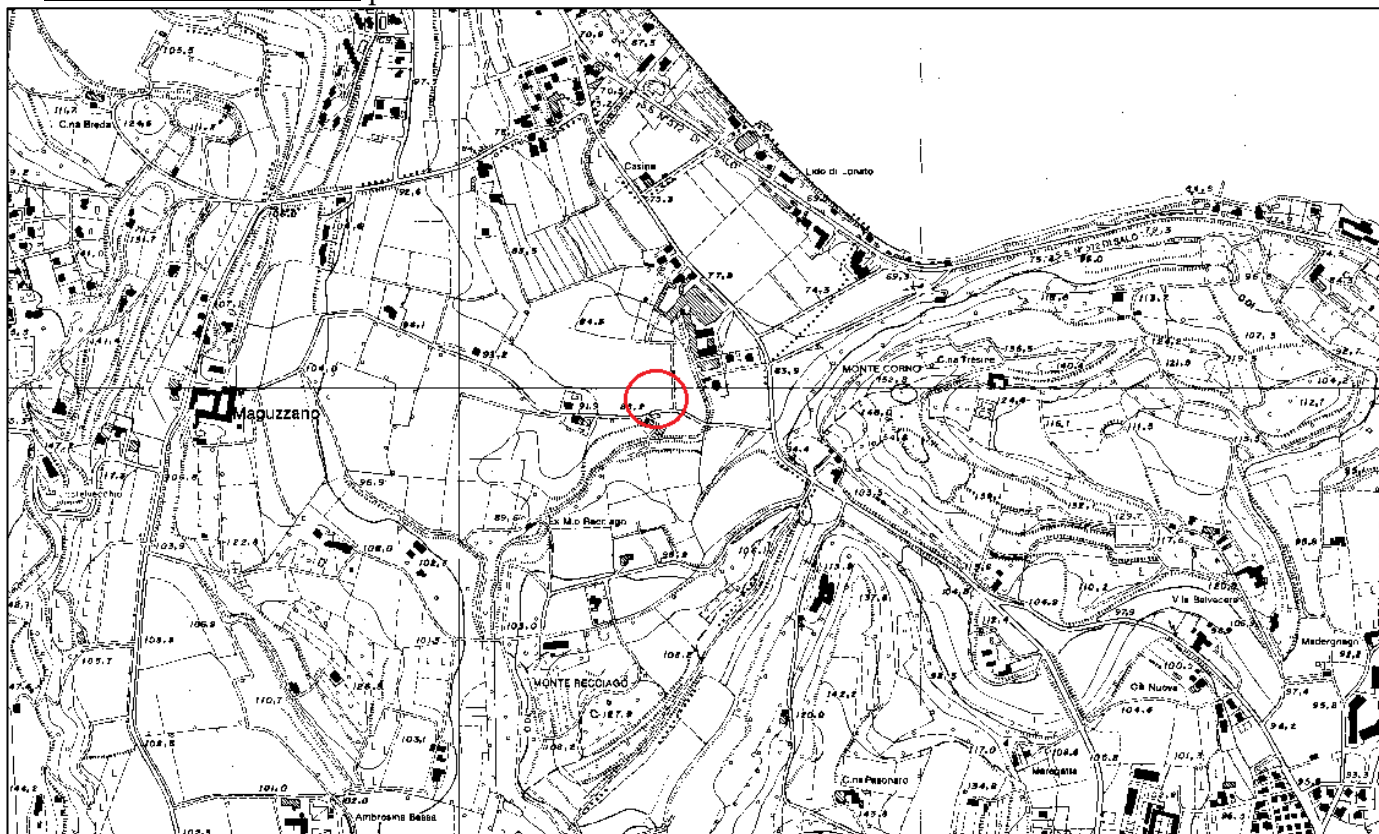
3.0 INQUADRAMENTO DEL SITO

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, il portale Web della Regione Lombardia, la relazione geologica di supporto alla redazione del P.G.T. del comune di Lonato del Garda e nell'analisi critica di tutto il materiale recuperato.

Il progetto dell'opera ricade nella parte settentrionale del comune di Lonato del Garda, a una quota di circa 80,0 mt s.l.m., in un'area con uso del suolo costituito da un piazzale asfaltato.

La destinazione urbanistica prevista secondo il P.G.T. è riferibile all'ambito 20.



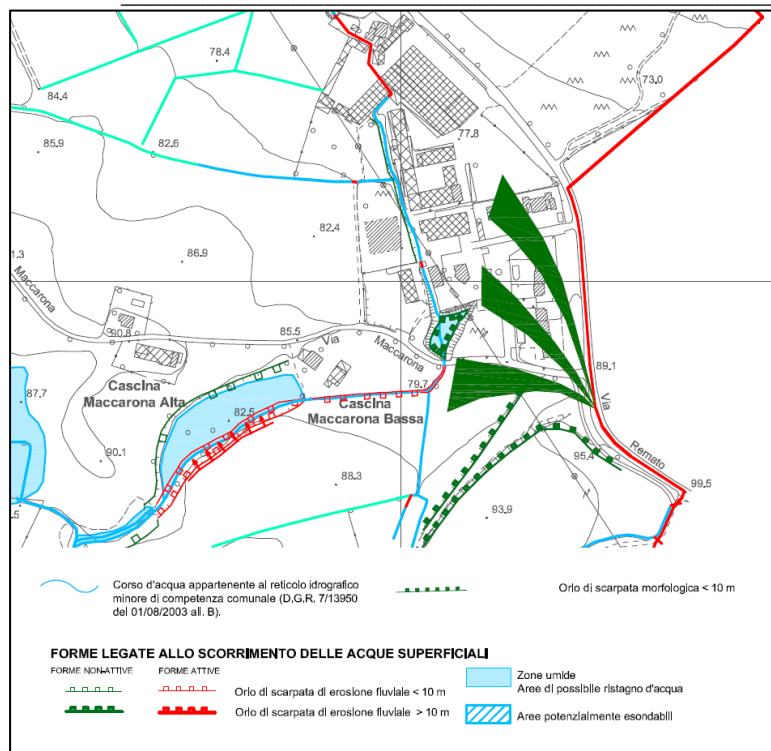
Estratto dalla Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 (evidenziato in rosso il baricentro dell'area)

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO E LITOSTRATIGRAFIA GENERALE E LOCALE DEL SOTTOSUOLO

3.2.1 Geomorfologia

Geomorfologicamente la regione si estende in un tratto terminale di versante di bassa collina. La topografia è generalmente regolare, legata all'ambiente deposizionale che ha originato questi depositi (**morfologia di origine glacio-lacustre**) costituenti una **piana retroglaciale** compresa tra due ripiani collinari sommitali, assecondando le irregolarità dei due grandi argini frontali (detti cordoni morenici) del Sistema Morenico Frontale del Garda originato durante il Pleistocene in fasi successive (**fase di avanzamento glaciale di Solferino** secondo il Cremaschi M., 1987).

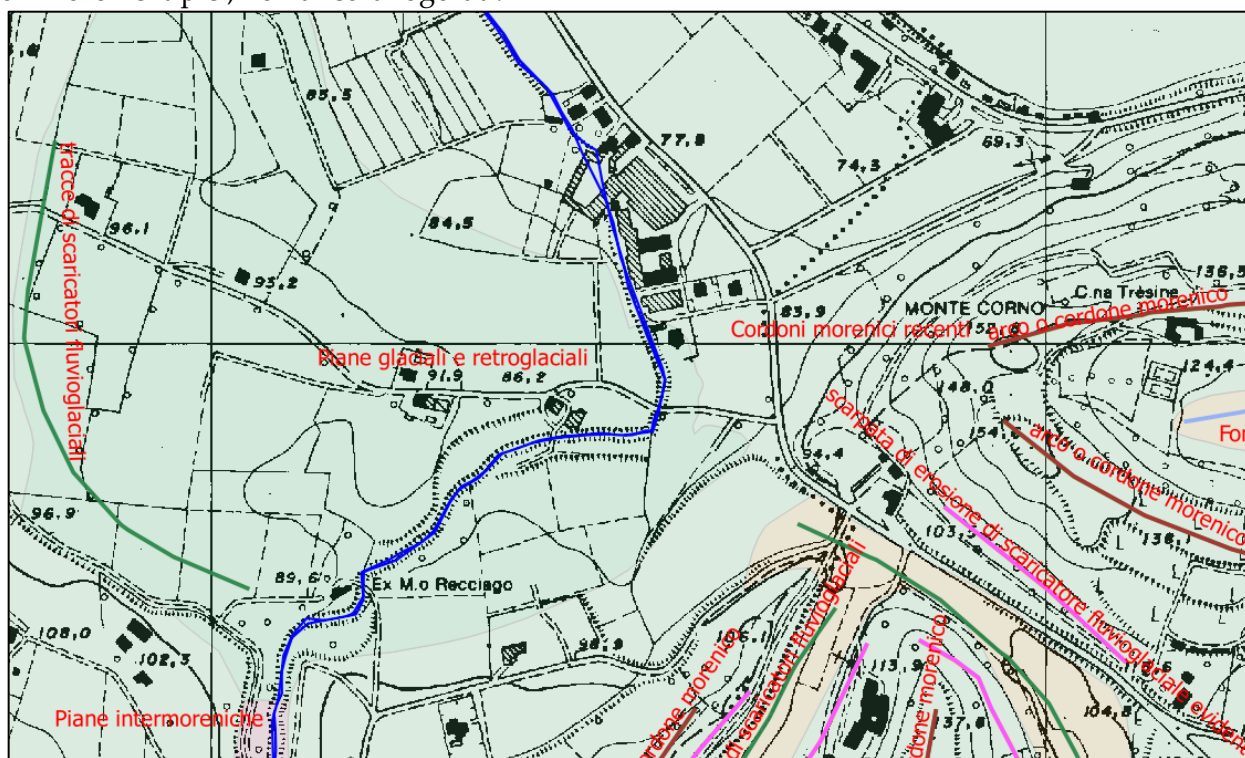
L'alternarsi di periodi glaciali freddi e di periodi interglaciali temperati determinò diverse oscillazioni della lingua glaciale che nei periodi di espansione raggiunse estensioni differenti e depositò direttamente una serie di cordoni morenici, costituiti da materiali detritici, disposti all'incirca ad archi concentrici sovente interrotti, che formano le colline arcuate dell'anfiteatro morenico. Sono tipicamente costituiti da elementi molto vari per granulometria (dai grossi blocchi, alle sabbie, fino ai limi) mescolati assieme, e di solito non



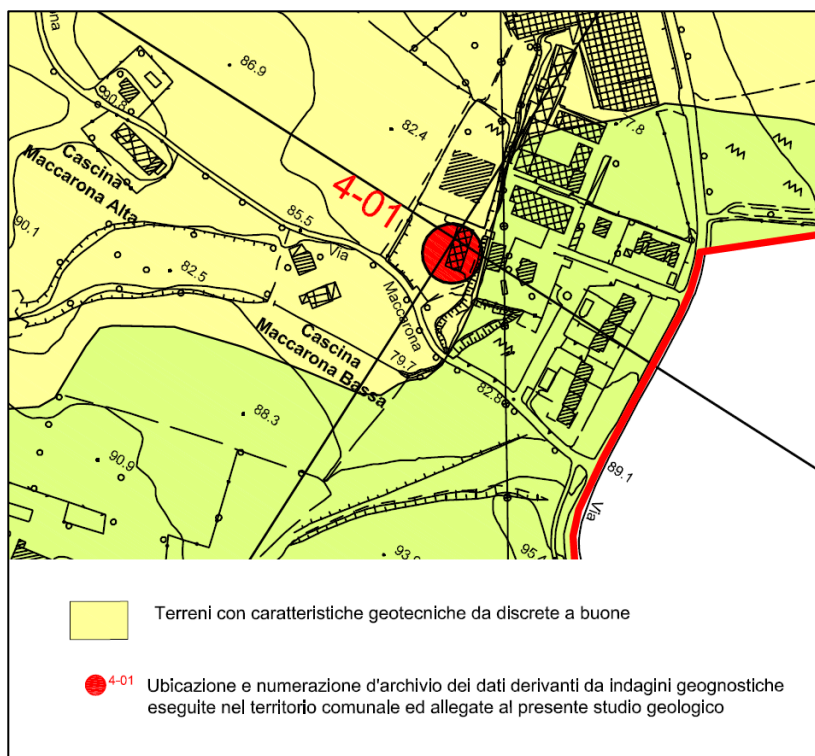
presentano stratificazione. Nella forma dei ciottoli si nota una forma d'insieme sfaccettata, spigoli smussati o con moderato arrotondamento, striati.

Durante i periodi interglaciali i principali processi geomorfologici attivi furono la sedimentazione fluvio-glaciale da parte dell'acqua dei torrenti glaciali. Le caratteristiche dei depositi, e le loro forme, dipendono dal comportamento idrologico di questi torrenti e dal tipo di materiali ch'essi trasportano, ma soprattutto dall'ambiente di deposizione. Si può distinguere un ambiente *subglaciale* e un ambiente *proglaciale* (cioè antistante la fronte); ma esistono anche depositi laterali ai ghiacciai, e tutta una serie di altri depositi caratteristici delle fasi di "deglacializzazione", quando a contatto con masse di ghiaccio in via di fusione si accumulano materiali trasportati dall'acqua,

destinati a risistemarsi man mano che la fusione del ghiaccio si svolge. Sono questi i **depositi di contatto glaciale**, come quelli presenti nell'area in studio. Quanto alla struttura, i depositi fluvio-glaciali si presentano in genere stratificati, o a disposizione lenticolare, con una selezione più o meno pronunciata dei materiali secondo la loro granulometria; questi caratteri indicano che la deposizione è legata alle acque correnti. L'accentuata variabilità delle portate liquide e solide, l'altissima torbidità delle acque nei periodi di attività massima, la vicinanza (o contiguità) dell'ambiente glaciale fa derivare nei depositi in questione la frequenza di elementi assai grossolani, mescolati con materiali di altre dimensioni, e con percentuali abbastanza alte di limo; la presenza di elementi con scarso arrotondamento, e l'eventuale presenza di ciottoli morenici tipici, non ancora logorati.

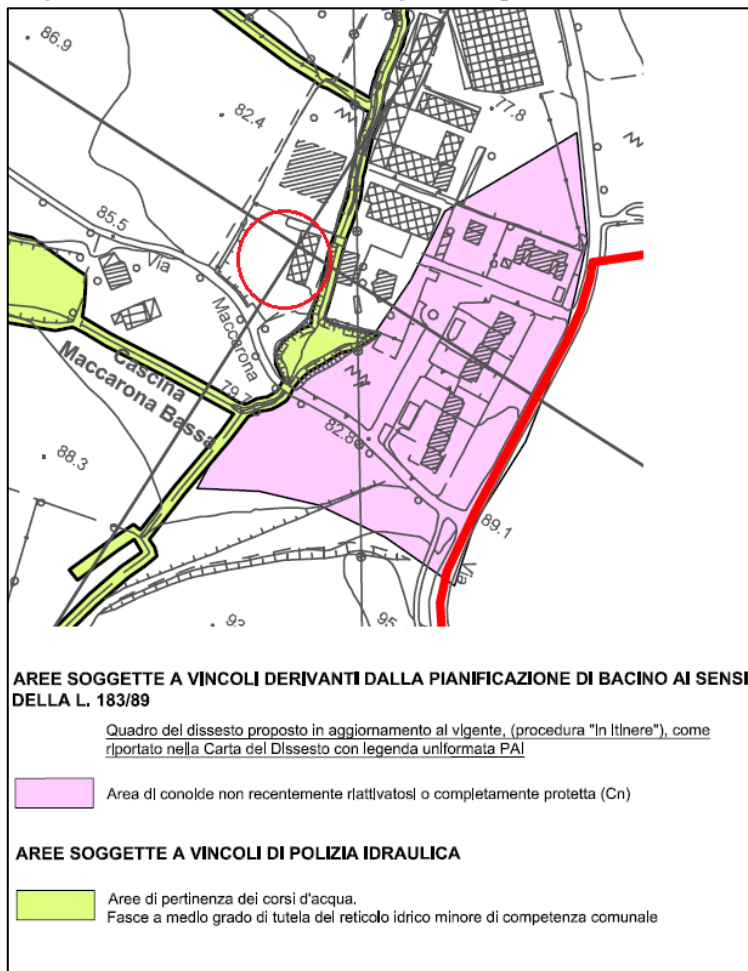


Nella “Carta di ubicazione delle indagini e di prima caratterizzazione geotecnica dei terreni” l’area è segnalata con caratteristiche geotecniche da discrete a buone.



3.2.3 Idrologia.

Dal punto di vista dell’idrografia superficiale nella “Carta del reticolo idrico con indicazione delle fasce di tutela” (luglio 2009) non risultano segnalate per il sito in studio aree soggette ad inondazione e/o fenomeni di



risalita della falda freatica e non si segnalano aree ad alto grado di vulnerabilità delle acque sotterranee. L’area in studio è limitrofa ad un corso d’acqua appartenente al reticolo idrico minore di competenza comunale con una **fascia di rispetto di medio grado di tutela**.

Nella “Carta dei vincoli esistenti” di cui si riporta uno stralcio, la zona in oggetto è esterna alla fascia di rispetto e tutela di 4,0 metri del reticolo idrico minore in gestione comunale (Rispetto idraulico, rif. Legislativo: R.D. 8 maggio 1904, n. 368, Art. 96 lett. F; R.D. 25 luglio 1904 n. 523; R.R. 08/02/2010 n. 3; D.G.R. Lombardia 23/10/2015). Inoltre, è esterna a un’area di conoide non recentemente riattivatosi o completamente protetta (Cn).

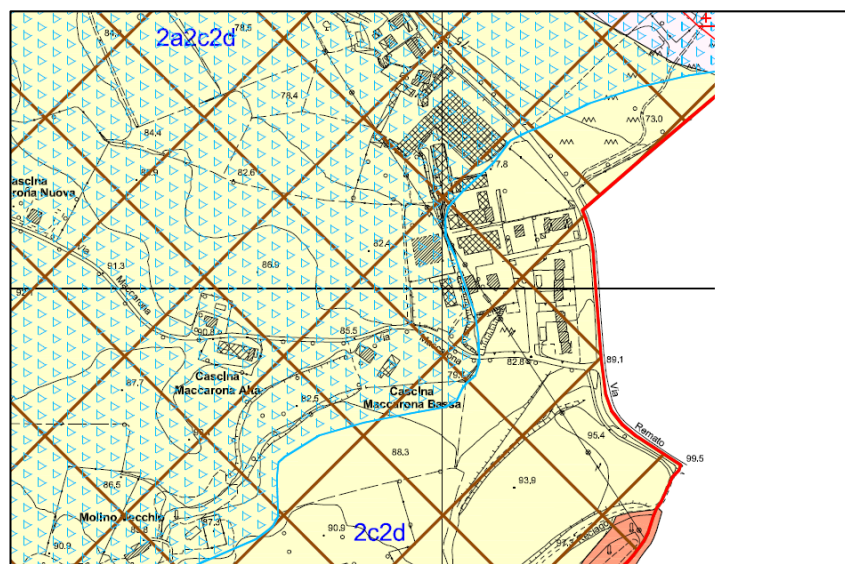
Nella cartografia allegata al “Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel bacino del fiume Po (PGRA)” – 2017, di cui di seguito è riportato uno stralcio tratto da https://www.cartografia.servizi.it/direttiva_alluvioni-rischio







(Viewer geografico - Geoportale – regione Lombardia), che ha determinato un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo rappresentato dagli Elaborati PAI, l’area di progetto non è inclusa nell’area potenzialmente esposta a pericolosità per alluvioni con **scenario raro L**, “ambito territoriale” del reticolo secondario collinare e montano (RSCM). Si tratta di un’area che può essere raggiunta raramente dalle acque in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, per la quale non sono attesi fenomeni di particolare

pericolosità. Il grado di rischio per gli elementi rientranti nell’area alluvionabile retinata in azzurro hanno un rischio medio (R2). Per tale area sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l’incolumità delle persone, l’agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche. Si tratta cioè di un’area che può essere raggiunta dalle acque in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, per la quale non sono attesi fenomeni di particolare pericolosità.

Sismicamente la tavola “Pericolosità sismica” dello Studio geologico comunale segnala che nel territorio esaminato potrebbero verificarsi fenomeni cosismici riferibili allo scenario di amplificazione litologica **Z4c** riferibili alla **Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi** (Tab. 1 Allegato 5 del D.G.R.



CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

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

28.05.2008 n. 8/7374). È necessaria quindi l’applicazione del 2° livello di approfondimento previsto dall’Allegato 5 che consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, in quanto fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). (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; L.R. 33/2015; D.G.R. 5001/2016; D.G.R. 2129/2014).

La Tavola della “Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano” dello studio geologico comunale, di cui sulla destra è riportato uno stralcio, riporta sia la **Sottoclasse 2a**, sia la **Sottoclasse 2c** sia la **Sottoclasse 2d**, con **modeste limitazioni** alla modifica delle destinazioni d’uso dei terreni e

all'utilizzo a scopi edificatori legate al valore morfologico-paesaggistico e naturalistico, che possono essere superate mediante uno studio geologico, come quello in oggetto, che verifica per mezzo di rilievi, indagini e prove, le tematiche geologico-tecniche secondo le disposizioni in vigore, per valutare il livello di rischio esistente e definire, se possibile, gli interventi e le opere per la sua mitigazione.

Nella **Sottoclasse 2a - Aree ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee** (prima falda, non sfruttata ad uso idropotabile) si riconosce una limitazione alla modifica delle destinazioni d'uso correlata alla vulnerabilità degli acquiferi. La **Sottoclasse di Fattibilità 2c, Aree di elevato interesse geomorfologico e paesaggistico e vegetazionale (paesaggi delle colline e degli anfiteatri morenici)**. Ambito delle colline moreniche maggiormente articolate, a morfologia ondulata con ripiani subpianeggianti; alternanza di zone boscate, oliveti, vigneti, e prati permanenti. Per queste aree si riconoscono limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso legate al valore morfologico-paesaggistico e naturalistico di queste aree. Sono consentite tutte le tipologie d'intervento. Si raccomanda particolare attenzione alla regimazione delle acque superficiali e alla modifica dello stato dei luoghi. Si raccomanda, a tal fine, di non modificare il naturale scorrimento delle acque meteoriche e di ridurre al minimo gli sbancamenti e i riporti di materiali, al fine di non alterare l'equilibrio naturale dei pendii.

La **Sottoclasse di Fattibilità 2d** comprende un'area con versanti da debolmente a mediamente inclinati (inclinazione compresa tra 5° e 20°).

3.2.4 Neotettonica

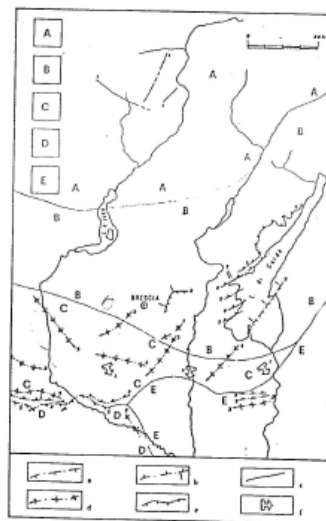
Per neotettonica s'intendono i movimenti tettonogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l'attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni). Si possono distinguere movimenti neotettonici lineari che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) e movimenti neotettonici areali che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali.

Nella "Carta neotettonica dell'Italia" (Ambrosetti et al., 1987, modificata da Cassinis et al., 1980) visualizzata nella figura a lato, il territorio di Lonato del Garda 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".

L'area gardesana è caratterizzata da una compressione tettonica in senso ONO-ESE, che determina sovrascorrimenti con vergenza ESE e SE, con piani di scorrimento suborizzontali o addirittura inclinati verso l'esterno, interpretabili in chiave di "ramp tectonics", ritenuti responsabili degli attuali sismi locali e degli innalzamenti riscontrati nell'area orientale del lago. Questo settore pre-alpino è caratterizzato da faglie con orientazione NE-SW, che nel territorio comunale, appaiono sepolte dai depositi continentali quaternari. Facendo riferimento al "Catalogo delle faglie capaci - ITHACA" (Italy Hazard From Capable Faults) composto

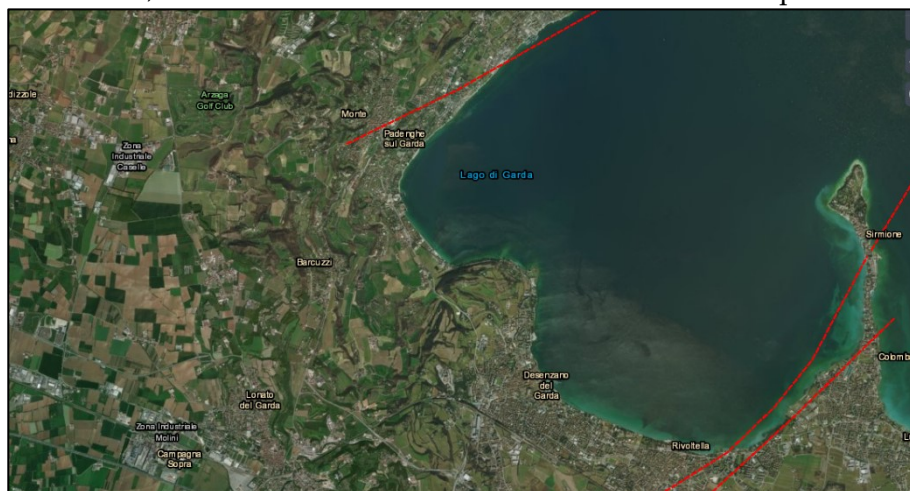
Fig. 1 – Carta neotettonica riferita al territorio bresciano

(da Cassinis G., Perotti C., Vercosi P.L. (1990) – Prealpi bresciane a sud dell'Adamello: breve sintesi delle conoscenze geologiche e ulteriori temi di ricerca. In: Attualità dell'opera di A. Cozzaglio nel 40° della scomparsa, Ateneo di Brescia)



– Carta neotettonica riferita al territorio bresciano (da Ambrosetti et al., semplificata).
Elementi areali: A = catena alpina interessata da un forte e all'incirca continuo sollevamento durante il Pliocene e il Quaternario. Le deformazioni avvengono per faglie normali e localmente trasversali; B = area in sollevamento, con zone stabili o in abbassamento durante il Pliocene inferiore; forte sollevamento durante il Pliocene medio e superiore e il Quaternario; C = area interessata da movimenti alterni di sollevamento e abbassamento, con tendenza al sollevamento durante il Pliocene e il Quaternario; D = area caratterizzata da continuo e intenso abbassamento durante il Pliocene e il Quaternario. Deformazioni pressoché assenti o, localmente, blande per piegamento; E = area interessata da abbassamento generalizzato. Moderate deformazioni avvenute principalmente per pieghe, e localmente per sovrascorrimento.
Elementi lineari: a = faglia normale; b = faglia inversa; c = faglia di tipo non definito; d = asse di anticlinale; e = sovrascorrimento; f = sollevamento differenziale.
Elementi che definiscono i momenti di attività neotettonica degli elementi lineari: 1 = attivo nel Pleistocene-Olocene e forse in precedenza; 2 = attivo nel Pliocene e nel Quaternario; 3 = attivo dal Pliocene (generalmente medio e superiore) al Pleistocene inferiore; 4 = attivo nel Pliocene (generalmente inferiore e medio).

dall'ISPRA, il territorio in esame è distante da una zona di pericolosità elevata quale una **“faglia capace”**



(FAC), cioè da un piano di rottura principale di faglia inversa, compressiva, nota come *Garda System*, che ha generato fagliazione superficiale e spostamento di depositi quaternari negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene sup. – Olocene) ed è pertanto ritenuta potenzialmente in grado di creare nuove deformazioni in superficie, cioè di tagliare il deposito e raggiungere la

superficie topografica dislocando il piano campagna. È noto da recenti studi d'ingegneria sismica che gli edifici ubicati in zone vicine alla faglia attiva (*near fault*) a seguito di un sisma ricevono intense e insolite azioni dovute alla veloce combinazione delle accelerazioni verticali con quelle orizzontali. Infatti, data la brevità del percorso, le onde P e S emergono quasi contemporaneamente non avendo il tempo di verticalizzarsi a seguito della bassa rifrazione ricevuta dai pochi strati di terreno che incontrano lungo il loro tragitto.

4.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO

Il rilievo diretto geologico e geomorfologico del settore collinare in oggetto è stato finalizzato alla ricerca delle discontinuità del terreno (giunti di deposizione, faglie, diaclasi, fratture) oltre alla diretta osservazione dei depositi in affioramento. 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 rilevamento di campagna eseguito in questo periodo ha evidenziato una complessità oggettiva associata al fattore antropico che maschera le forme naturali originali, impedendo in tal modo il rilevamento geologico. Sul terreno, infatti, è difficile riconoscere forme geomorfologiche per gli interventi di livellamento eseguiti sull'area nel corso del tempo per l'edificazione.

Nel complesso s'individua una topografia dell'area in leggera pendenza verso nord di raccordo con la piana retroglaciale che non crea problemi di stabilità. I muri dei manufatti limitrofi sono privi di lesioni efficaci o comunque di quadri fessurativi che complessivamente indichino la presenza di fenomeni di dissesto in atto, attribuibili ad abbassamenti naturali del terreno. Non si rilevano lesioni riscontrabili sulle strade, abitazioni, muri.

I depositi limoso-argillosi sono caratterizzati da permeabilità bassa, pertanto l'area presenta un alto drenaggio superficiale e presenza di ristagni in superficie. La raccolta e il deflusso delle acque meteoriche sono affidati al sistema fognario e al reticolo idrografico. Non si hanno notizie di allagamento dei luoghi.

5.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Il piazzale asfaltato e le caratteristiche stratigrafiche più superficiali dell'area in esame, prevalentemente



ghiaiose e ciottolose di riporto, non hanno permesso l'esecuzione delle prove penetrometriche con strumento standardizzato.

La caratterizzazione geologica di dettaglio dei litotipi è stata allora determinata in base a uno scavo geognostico con terna idraulica fatto eseguire da una ditta di costruzione edile nella particella in studio e sotto la diretta supervisione dello scrivente.

UBICAZIONE DELLE INDAGINI.

- Scavo geognostico con terna idraulica
- Prove penetrometriche eseguite nel 2001
- Linea dell'indagine sismica del tipo Masw

5.1 SCAVO GEOGNOSTICO CON TERNA IDRAULICA.

Lo scavo esplorativo è stato eseguito con terna idraulica fino alla profondità di 2,40 mt, come mostra la documentazione fotografica riportata di seguito.

La successione stratigrafica dei terreni, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento (0,00 m) il p.c. esistente nel punto di prova è la seguente:

Prof. (mt)	
0.0 – 0,6	Strato di asfalto seguito da uno di riporto costituito da ciottoli e ghiaia con clasti poligenici da subangolari a subarrotondati immersi in una matrice sabbiosa e limosa coerente, di colore bruno chiaro e di buon addensamento.
0.6 – 0,8	Ciottoli e ghiaia con clasti poligenici immersi in una matrice sabbiosa e limosa coerente, di colore bruno scuro e di buon addensamento
0.8– 2,4	Limi argillosi di colore nocciola scuro, consistenti.

Durante l'esecuzione della buca esplorativa non è stata rilevata la presenza d'acqua.

Terminate le operazioni di osservazione litostratigrafica lo scavo è stato richiuso.





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.

5.3 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 16 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 15,0 metri con 16 geofoni con interdistanza 1,0 metro**. 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 10,0 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.

L'esecuzione della prova è stata compiuta

in una direzione e in versi opposti lungo lo stesso allineamento (ossia con sorgente posta ai due estremi opposti): ciò consente una verifica sommaria dell'ipotesi di conformazione del sottosuolo a strati piani e

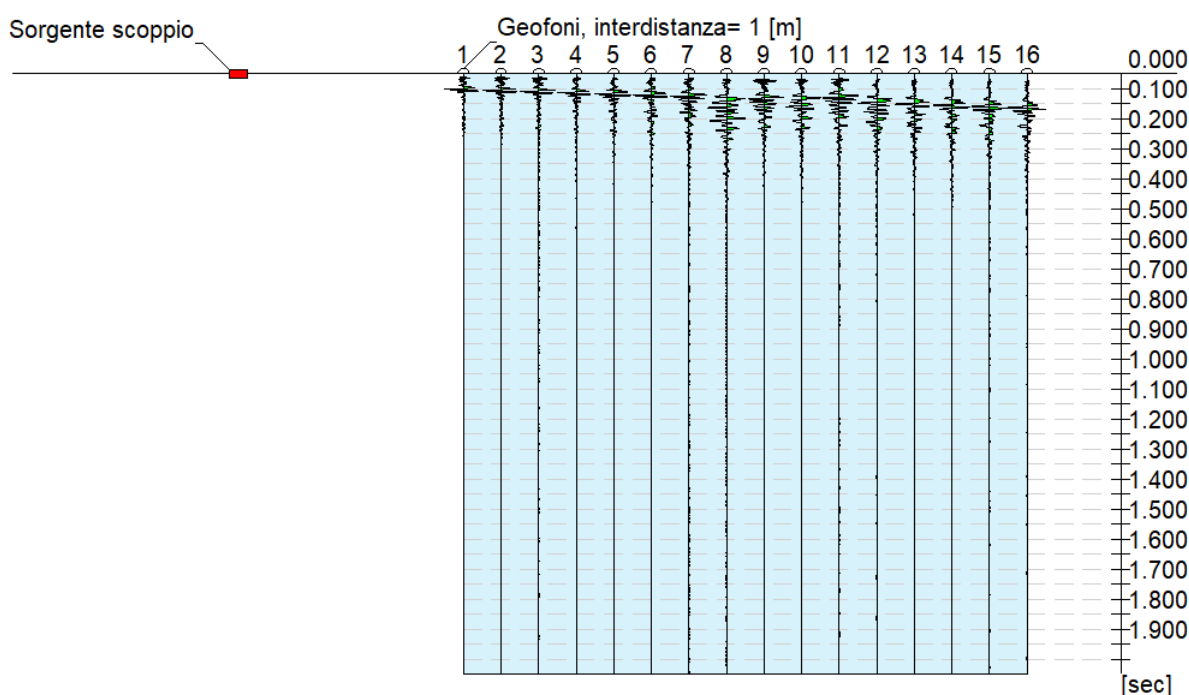




paralleli sulla base del confronto tra le diverse curve di dispersione ottenute.

5.4 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: 2020.26.5.932) 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.



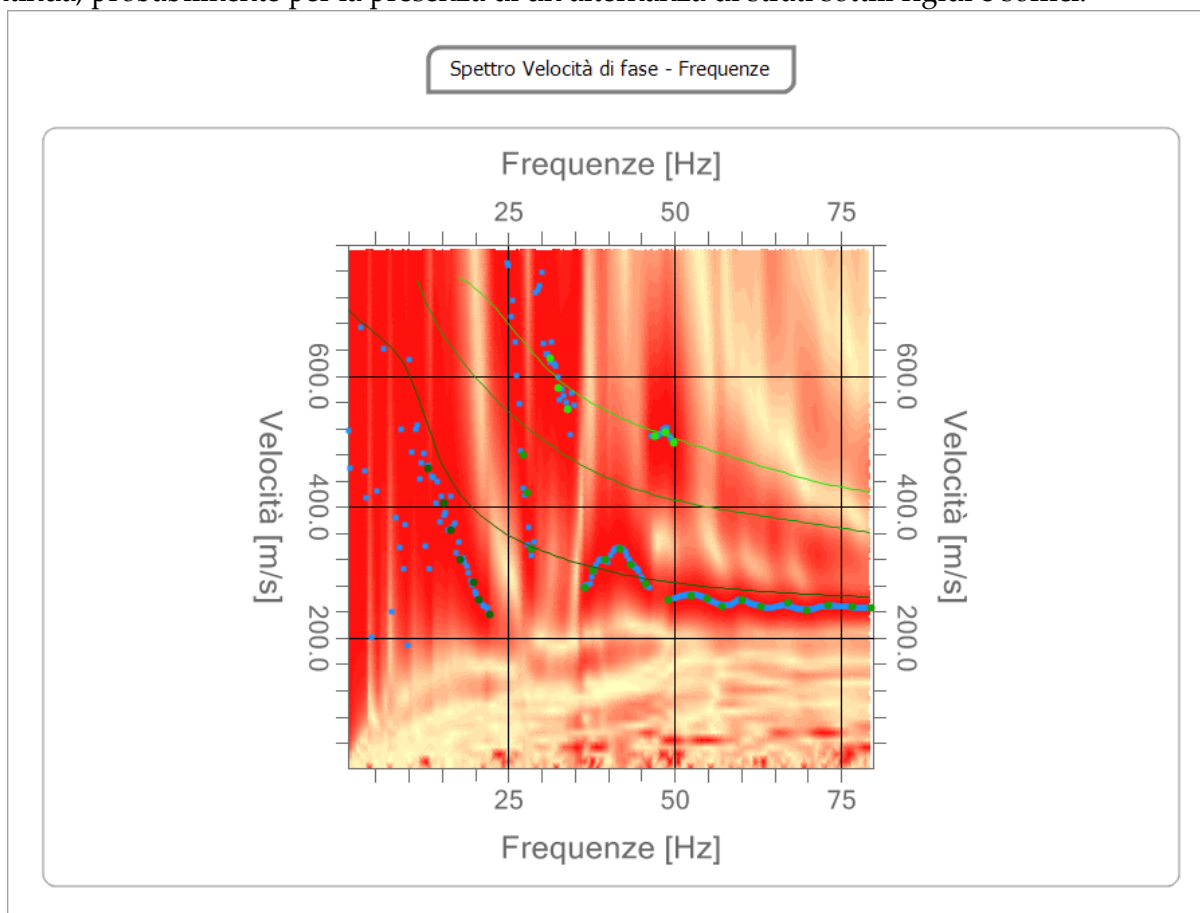
5.5 Analisi spettrale

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 in corrispondenza di ogni frequenza prefissata. Il secondo (e ultimo) passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della Vs è l'inversione della curva di dispersione prima "piccata". 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.

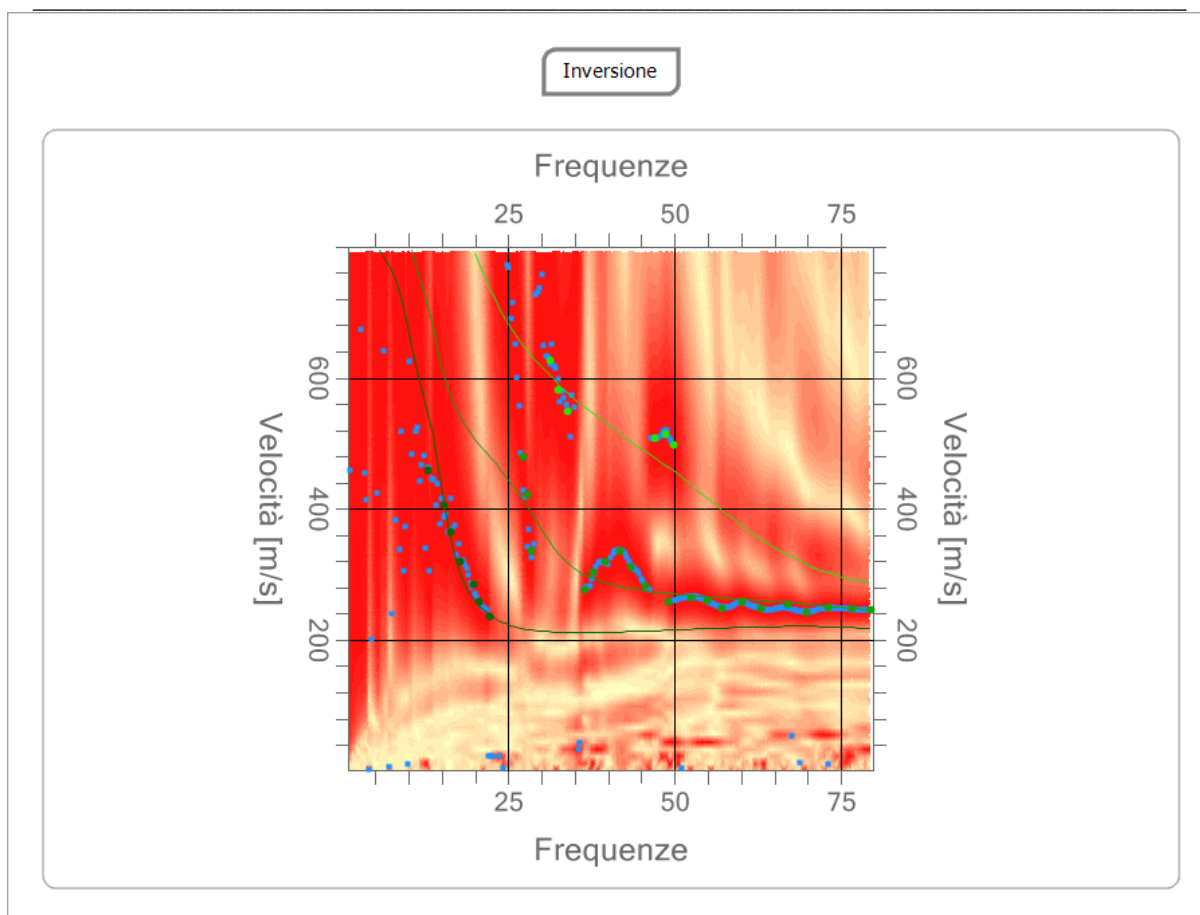
Si osserva dallo spettro il fenomeno della dispersione geometrica, per cui la velocità di fase con cui le onde si propagano è funzione della frequenza, dovuta alla rigidezza globalmente crescente con la profondità di un mezzo eterogeneo in assenza di forti contrasti. A medie frequenze la curva di dispersione appare discontinua, probabilmente per la presenza di un'alternanza di strati sottili rigidi e soffici.



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. Per calcolare i principali parametri elastici del modello geofisico dell'area investigata, ho assegnato per ciascuna unità sismica individuata un valore del peso di volume ricavato dai dati di letteratura tecnica, ipotizzando pesi di volume gradualmente crescenti alle unità più profonde.

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 20,78 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	1.43	1.43	1728.7	0.38	No	649.2	285.6
2	3.26	1.82	1830.2	0.42	No	452.0	167.9
3	5.98	2.72	1976.9	0.44	No	887.0	290.3
4	7.51	1.53	2200.0	0.44	No	736.4	241.0
5	11.43	3.92	2200.0	0.44	No	1731.9	566.9
6	13.74	2.32	2200.0	0.44	No	2124.6	695.4
7	20.78	7.04	2200.0	0.44	No	2351.8	769.8
8	oo	oo	2200.0	0.44	No	2771.6	907.2

Percentuale di errore 0.659 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.075

La prospezione sismica ha individuato di sotto a una copertura limoso-argillosa mediamente rigida dello spessore di circa 7,5 metri e con velocità di circa 290,0 m/s, altre unità sismica con caratteristiche più rigide e con spessore variabile seguite da altre unità caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio che nel complesso aumenta con la profondità.

5.6 Categoria di sottosuolo di fondazione.

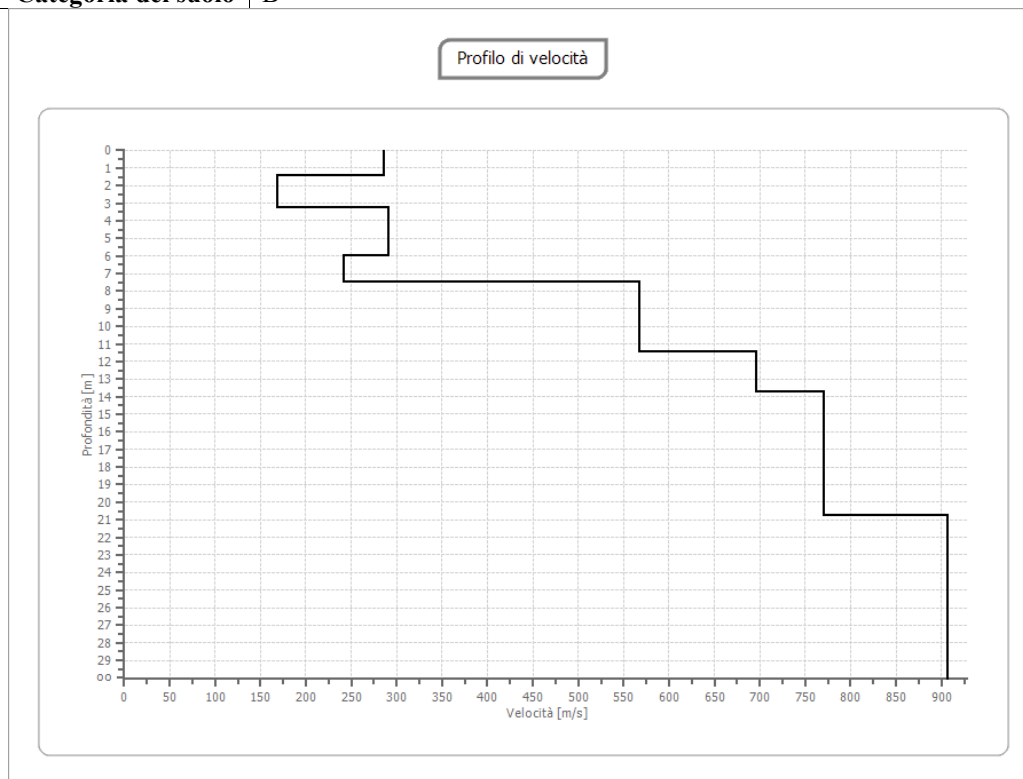
La classificazione del sottosuolo si esegue in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

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.

Le elaborazioni si riferiscono al caso di fondazioni superficiali impostate a 1,0 mt dal p.c.

Profondità piano di posa [m]	1.50
$V_{s,eq}$ [m/sec] (H=19.28 m)	423.12
Categoria del suolo	B



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_{seq} e quindi la categoria sismica è la stessa. Da un punto di vista progettuale il profilo di Vs ottenuto è valido.

5.7 Categoria topografica di riferimento.

Per quanto riguarda la classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nella tabella 3.2.III e 3.2.VI delle NTC

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

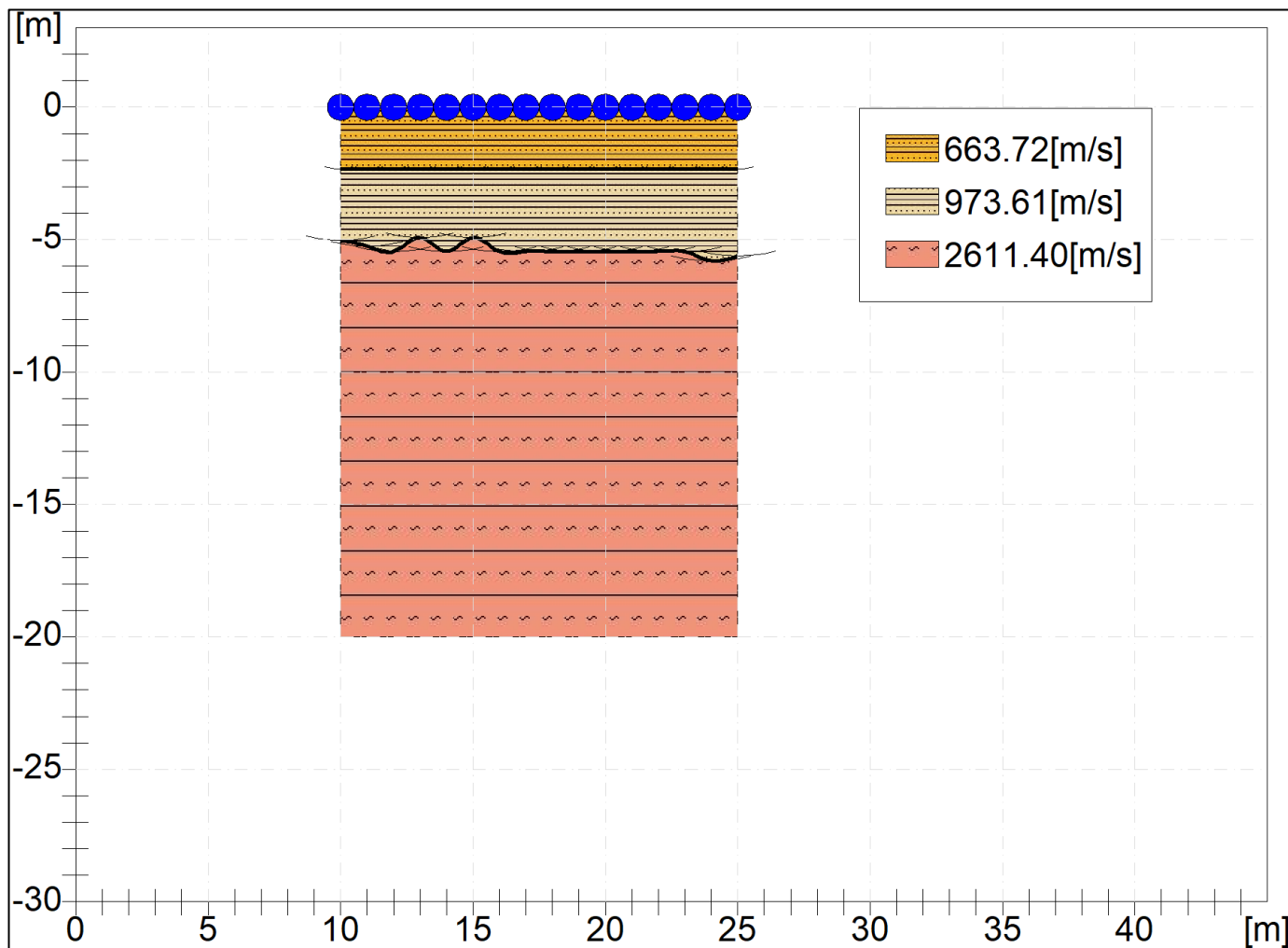
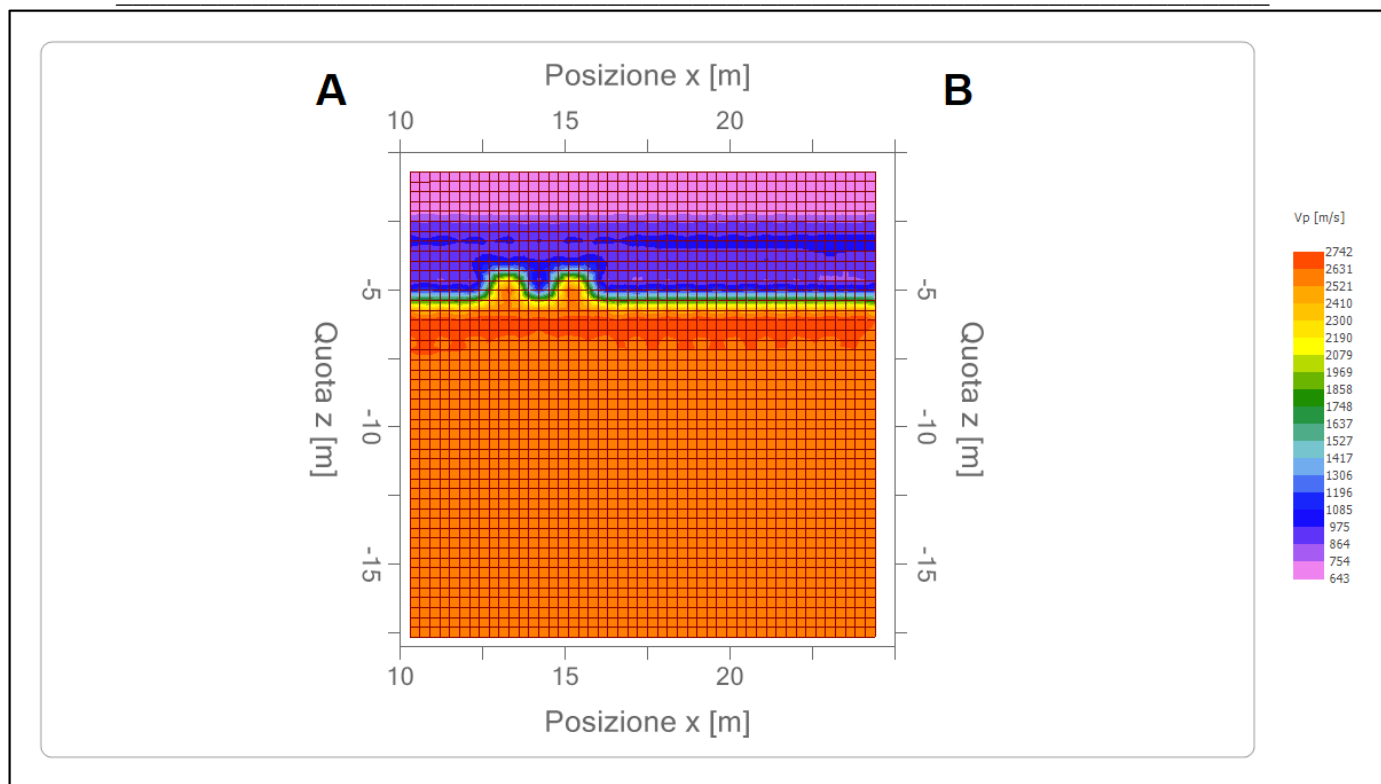
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
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 ($< 5^\circ$), cui corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica **St** pari a 1. Il rischio di amplificazione topografico è nullo.

5.8 Sezione sismica tomografica 2d.

Il metodo della tomografia sismica è una tecnica d'indagine che 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.

Si allega la sezione tomografica ottenuta dall'interpretazione dei segnali acquisiti ed elaborata con il programma licenziato *EasyRefract* della Geostru, versione 2016.20.4.204, permette di individuare le principali **unità geofisiche** costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine (rappresentate tramite tecnica di campitura cromatica).





Il modello ottenuto tramite la sismica a rifrazione è un **modello tristrato** caratterizzato da un sottile strato di sedimento aerato con la velocità delle onde di compressione dell'ordine di circa 663 m/s, a cui segue uno sismo-strato intermedio maggiormente consolidato ma non omogeneo per la presenza di lenti limose meno consistenti e caratterizzato da una velocità di circa 973 m/s e, infine, uno strato rigido con una velocità di circa 2611 m/s riferibile presumibilmente a banchi rigidi di argilla cementata.

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

Sulla base dei dati del rilievo diretto geologico e geomorfologico del settore pianeggiante, in base ai dati provenienti dallo scavo eseguito con escavatore e da quelli derivanti dall'array sismico per rilievo MASW eseguito nella particella catastale in oggetto, integrati con altri dati riportati nello studio geologico comunale del P.G.T. relativi alle indagini geognostiche eseguite nel 2001 dal geologo dott. Giorgio Crestana per il capannone esistente oggetto di ampliamento, 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 substrato dell'area è costituito da unità geologico-tecniche che presentano natura coerente e litologia limoso- sabbiosa, ricoperta da un orizzonte di materiale ghiaioso-ciottoloso di riporto. La prospezione geofisica con metodo Masw conferma tale stratigrafia ed il proseguimento in profondità dei terreni argillosi consistenti;
- 2) l'articolazione stratigrafica e geologica si manifesta con variazioni in senso verticale tipiche dell'ambiente deposizionale che ha dato origine ai depositi;
- 3) la falda semi-artesiana è molto profonda, quindi non interferisce con il volume significativo delle opere.

N° unità	Prof. (mt.)	Litologia	Tipo
1	0.0 – 0,6	Strato di asfalto seguito da uno di riporto costituito da ciottoli e ghiaia con clasti poligenici da subangolari a subarrotondati immersi in una matrice sabbiosa e limosa coerente, di colore bruno chiaro e di buon addensamento.	Attritivo
2	0.6 – 0,8	Ciottoli e ghiaia con clasti poligenici immersi in una matrice sabbiosa e limosa coerente, di colore bruno scuro e di buon addensamento	Attritivo
3	1,4 – 5,0	Limi argillosi di colore nocciola scuro, consistenti.	Coesivo

Altri dati stratigrafici sono ricavabili dalle stratigrafie dei pozzi limitrofi, in particolare il Pozzo LO-032 nella "Carta Pozzi" del P.G.T. e di cui in seguito è riportato lo stralcio. Il livello statico della falda semiconfinata profonda si attesta a circa 14,0 metri di profondità.

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.



Dott. Geol. Giorgio Crestana
STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA ED AMBIENTALE

LO-032

Spett.le ditta LITOCARROTECNICA BRESCIANA SRL



PROFONDITA'	DESCRIZIONE	TUBI E FILTRI
0,00	Argilla con ghiaietto	0,00
10,00	Argilla limosa	
25,00	Argilla grigia	Tubo cieco catramato del Ø 300
55,00	Ghiaia e sabbia	56,00
68,00	Argilla grigia	Filtro a ponte
70,00		68,00
		70,00

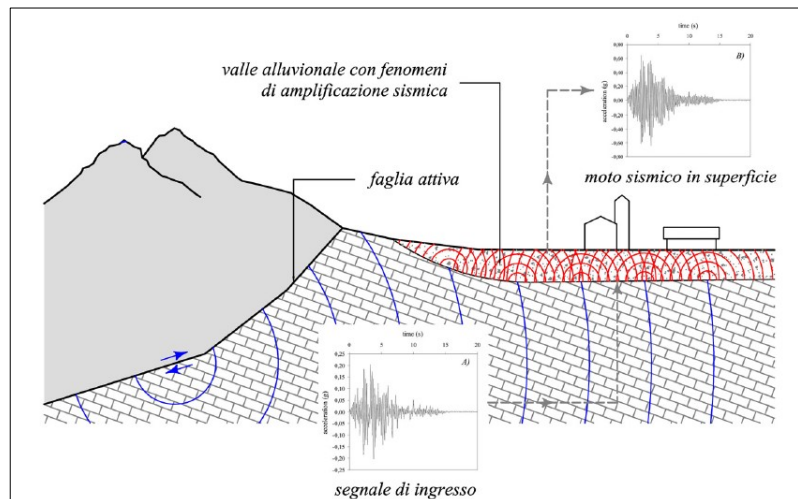
Livello statico ml. 14,00

Livello dinamico ml. 28,00

Portata lt/sec. 5,00

7.0 AZIONE SISMICA AL SITO. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

L'azione sismica al sito di un edificio secondo le norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018) è espressa attraverso uno spettro di risposta, i cui parametri dipendono dalla risposta sismica locale, cioè dalla



pericolosità definita a livello territoriale associata alle caratteristiche stratigrafiche e topografiche locali che modificano lo scuotimento sismico.

Un terremoto si genera all'interno della crosta rocciosa della terra, nel bedrock roccioso su cui poggiano i sedimenti sciolti, e si genera improvvisamente lungo superfici che sono preesistenti superfici di rottura generate nel corso dei millenni. Quando ciò avviene, si rilascia dappertutto l'energia di deformazione, che si era accumulata in precedenza nelle formazioni rocciose per effetto delle forti

pressioni di contatto, sotto forma di onde elastiche, onde di pressione (*body waves*). Esse hanno bisogno di un mezzo attraverso cui propagarsi; la propagazione avviene attraverso un meccanismo di deformazione delle rocce e di "forze di richiamo" che tendono a opporsi alle deformazioni e a riportare il volume e la forma della massa rocciosa alla situazione iniziale.

Per un percorso molto lungo delle onde (**situazione di far field**, campo lontano dalla sorgente), le onde sismiche allontanandosi da una sorgente e viaggiando in un mezzo reale secondo fronti d'onda sferici, coinvolgono volumi di terreno sempre maggiori subendo continue modifiche delle loro caratteristiche. Essendo il percorso più lungo, l'onda più veloce guadagna più tempo, quindi arrivano con un moto sussultorio prima le **onde P** (propagandosi a una velocità compresa tra 6,2 e 8,2 km/sec, a seconda della densità dei materiali che attraversano) producendo incrementi e decrementi di carico sui fabbricati, poi giungono con un moto ondulatorio le **onde S** (3,6-4,7 km/sec) con vibrazioni più basse. Le onde P possono avere frequenze simili a quelle delle onde sonore e quando giungono in superficie provocano dei movimenti sussultori della terra che causano lo spostamento dell'aria producendo i boati che qualche volta precedono l'arrivo del successivo treno di onde più devastanti.

Le onde S durante il percorso verso la superficie subiscono un'azione di filtraggio, poiché le rocce e i terreni funzionano come un filtro passa-basso, in altre parole esaltano le frequenze subsoniche tipiche dei terremoti (inferiori ai 15 Hz e molto spesso inferiori ai 5 Hz) che le attraversano, mentre le componenti di (relativa) alta frequenza sono smorzate più rapidamente al crescere della distanza, spiegando quindi perché i sismogrammi di terremoti lontani hanno generalmente frequenze dominanti basse.

Le accelerazioni verticali del moto sussultorio sono più piccole di quelle orizzontali del moto ondulatorio, con frequenze significative tipiche tra 5-10 Hz.

Le **onde superficiali**, le onde L (di Love) e le onde R (di Rayleigh), possono compiere lunghe distanze prima di estinguersi, viaggiando più lentamente delle onde P e S: la velocità di propagazione delle onde L è di circa 3 km/s, di poco superiore a quella delle onde R (circa 2,7 km/s).

Occorre considerare che un terremoto che entra in terreni superficiali poggianti su roccia all'interfaccia roccia-terreni soffici (questi ultimi così detti in funzione della loro velocità molto inferiore rispetto a quella della roccia sottostante) subisce una notevole diminuzione della velocità e di conseguenza dell'accelerazione. Allo stesso tempo, nonostante l'energia di un terremoto si diminuisce con l'aumentare della distanza dall'ipocentro, anche a causa dei fenomeni dissipativi di tipo isterico nei mezzi attraversati, deve localmente valere la *legge di conservazione dell'energia*, cioè la brusca decelerazione e l'impossibilità

istantanea di dissipare energia sono compensate da un aumento dell'ampiezza delle onde con relativa **amplificazione** e della durata del moto risultante anche a notevole distanza dalla sorgente.

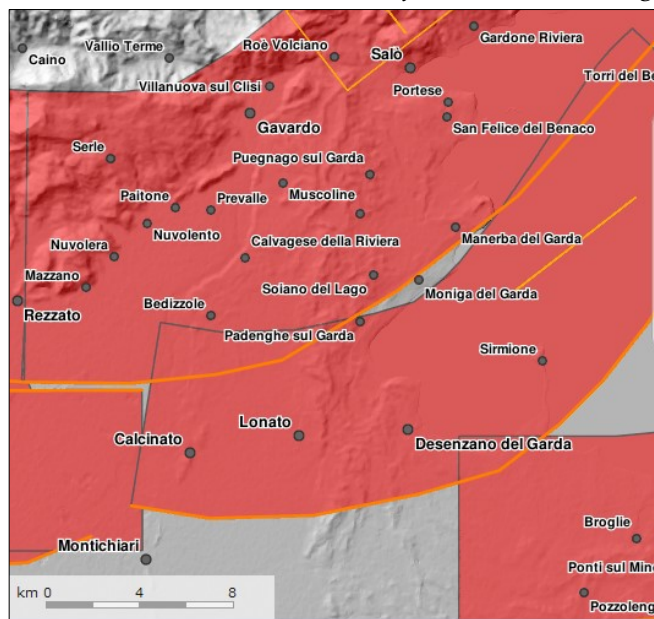
La quantità di energia riflessa che resta intrappolata nel deposito è tanto maggiore quanto più è elevato il contrasto d'impedenza sismica tra i terreni del deposito e il basamento (bedrock). Le onde che restano intrappolate nel deposito interferiscono tra loro e con le onde incidenti in funzione delle caratteristiche geometriche del deposito, delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza della sollecitazione. Gli **effetti di sito di tipo stratigrafico** sono quindi essenzialmente attribuibili a fenomeni d'intrappolamento delle onde sismiche nel deposito per effetto di riflessioni e di risonanza tra onde sismiche riflesse e incidenti.

La **pericolosità sismica di base**, definita ai sensi del D.M. 17/01/2018, è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, con riferimento a condizioni ideali di bedrock sismico affiorante e privo d'irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali). La scala di studio è solitamente regionale e costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

L'ultima **Zonazione Sismogenica** del territorio nazionale è nota con la semplice sigla **"ZS9"** (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti e in particolare alle ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS4 3.2.0 e al catalogo CPTI5. L'identificazione di tali sorgenti sismogenetiche, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Il lotto in studio si trova nella zona sismogenetica n° 906 della ZS9, parte più bassa delle province di Brescia e Brescia, per la quale si può assumere in favore di sicurezza (come riportato negli *"Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica"*, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome et alii, 2008) come valore di magnitudo attesa M per la zona il valore di M_{wmax} della zona sismogenetica di appartenenza, pari a **6,6** (valore ricavato dalla Tab. 6, contenuta nel Rapporto conclusivo, aprile 2004 del Gruppo di lavoro per la redazione della mappa sismica – INGV, prendendo come riferimento la magnitudo momento M_w della colonna 10 relativa alla ZS9 di appartenenza).

Con riferimento al *"Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3"*, si osserva che l'area in studio è



posta entro l'Area Sismogenetica Composita (poligono color marrone trasparente nella figura a lato, definiti quali proiezioni in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse) denominata *"Giudicarie"* (ITCS048).

Questa si estende dalla città di Brescia a quella di Trento e prevede una $M_{wmax}=5,7$, cioè la magnitudo massima che tutta la zona tinta in arancione, in ogni suo punto, può potenzialmente generare.

In conformità a tale modello è stata elaborata la *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS04)* approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del



6 aprile 2004. Secondo tale mappa il territorio è inserito in **zona 2 (media sismicità)**.

La mappa è stata accolta dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 ed è divenuta infine la *Mappa di riferimento* prevista già dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni. Quest'ultima descrive la **pericolosità sismica di base** attraverso il parametro dell'**accelerazione massima attesa** con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido (suolo di categoria A, $V_{S30} > 800$ m/s) e pianeggiante, senza considerare i fenomeni di amplificazione sismica.

Con riferimento ai suddetti dati il territorio comunale di Lonato del Garda identificato con il codice ISTAT 3017092, ricade secondo la D.G.R. 11 luglio 2014 - n. 2129 in un'area da un valore di accelerazione massima a_g **0,15926g** riferita a suoli rigidi (cat. A).

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

8.0 STIMA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLO MONODIMENSIONALE.

L'area in studio rientra nel retino dello scenario di pericolosità sismica Z4c della Carta della PSL di 1° livello dello studio geologico comunale. Per tale scenario qualitativo suscettibile di amplificazione sismica litologica nello studio geologico comunale è stata effettuata la procedura semplificata del 2° livello di approfondimento della Regione Lombardia (D.G.R. 9/2616/2011), per una stima semi-quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di amplificazione F_a , negli intervalli di periodo $0.1 \div 0.5$ s (valido per strutture basse e poco flessibili).

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 il software *RSL III* della Geostru, versione 2020.20.5.751. 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.

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**³ 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, 2009) facenti riferimento al territorio comunale di Lonato del Garda (**fascia**

³ 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."



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

Per quanto riguarda le **curve di degrado** $G/G_0-\gamma$ e $D-\gamma$, 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).

Per il **bedrock sismico** 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. Si tratta di una forma di smorzamento radiativo che determina una riduzione dell'ampiezza del moto in superficie rispetto al caso di substrato rigido. La falda è considerata nei calcoli molto profonda.

Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	1.3	Lombardia - Limi argillosi	48.85	--	17.0	167.9	11.1
2	1.3	2.7	Lombardia - Argille limose	154.63	--	18.0	290.3	46.4
3	4.0	1.5	Lombardia - Argille limose	118.41	--	20.0	241.0	85.7
4	5.5	3.9	Lombardia - Argille limose	720.72	--	22.0	566.9	143.6
5	9.4	2.3	Lombardia - Argille limose	1084.48	--	22.0	695.4	211.8
6	11.7	7.0	Lombardia - Argille limose	1328.95	--	22.0	769.8	314.1
7	oo	--	Smorzamento costante	1565.75	0	24.0	800.0	391.1

Strato rilevamento accelerogramma:

7 Affiorante

Seconda fase di elaborazione

Numero di iterazioni

100

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima

0.5

Tipo di modulo elastico

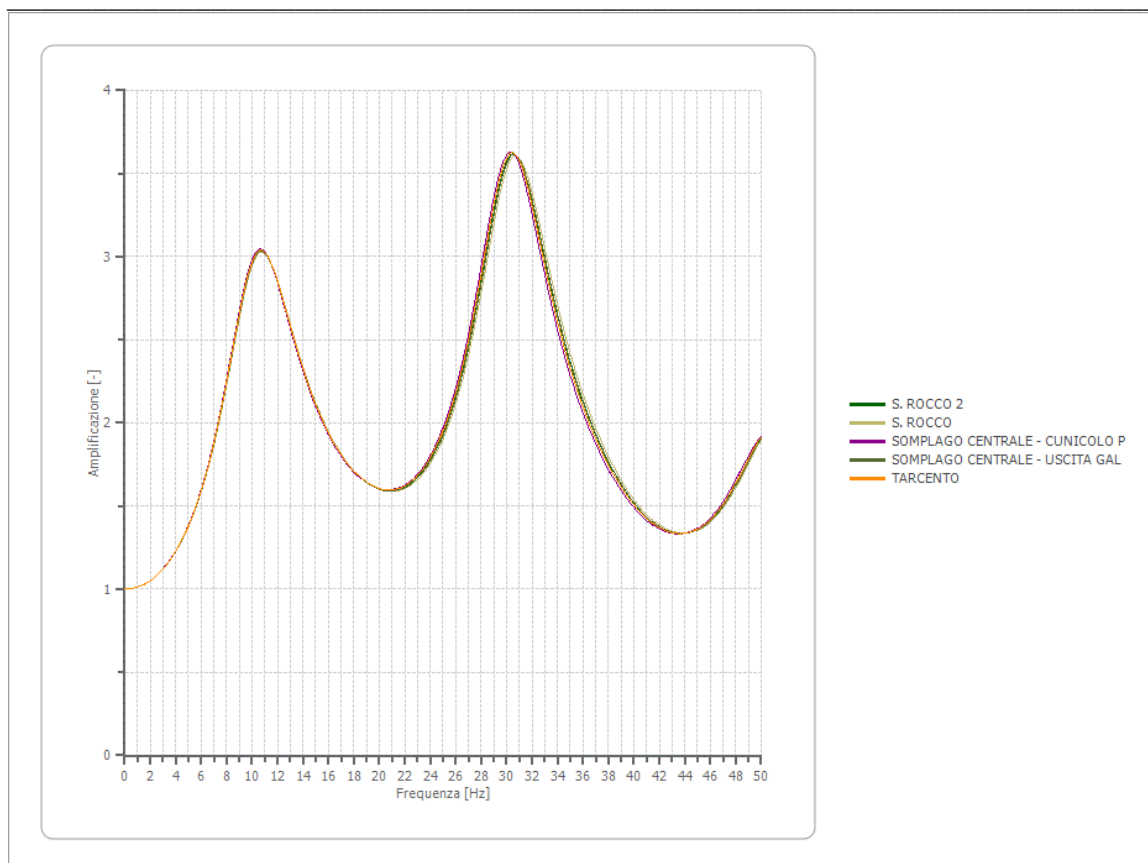
Shake

Massimo errore percentuale di convergenza

--

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**: da essa si ricava che la **frequenza naturale di possibile risonanza** o **frequenza fondamentale**, secondo gli input considerati, è: $F_0 = 10,6$ Hz $\rightarrow T_0 = 0,094$ sec.



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 pga_0 (accelerazione massima al bedrock) e del rapporto pga/pga_0 (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:

Tai	0.140 [s]
Tvi	0.270 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	0.260 [s]
Sami	3.538 [m/s ²]
Svmi	0.155 [m/s]
Samo	6.150 [m/s ²]



Svmo	0.193 [m/s]
Fa	1.738 [-]
Fv	1.250 [-]
TB	0.123 [s]
TC	0.158 [s]
TD	2.232 [s]
SA (0)	0.331 [g]
SA(TB)	0.815 [g]

Fattori di amplificazione FAC su intensità spettrale

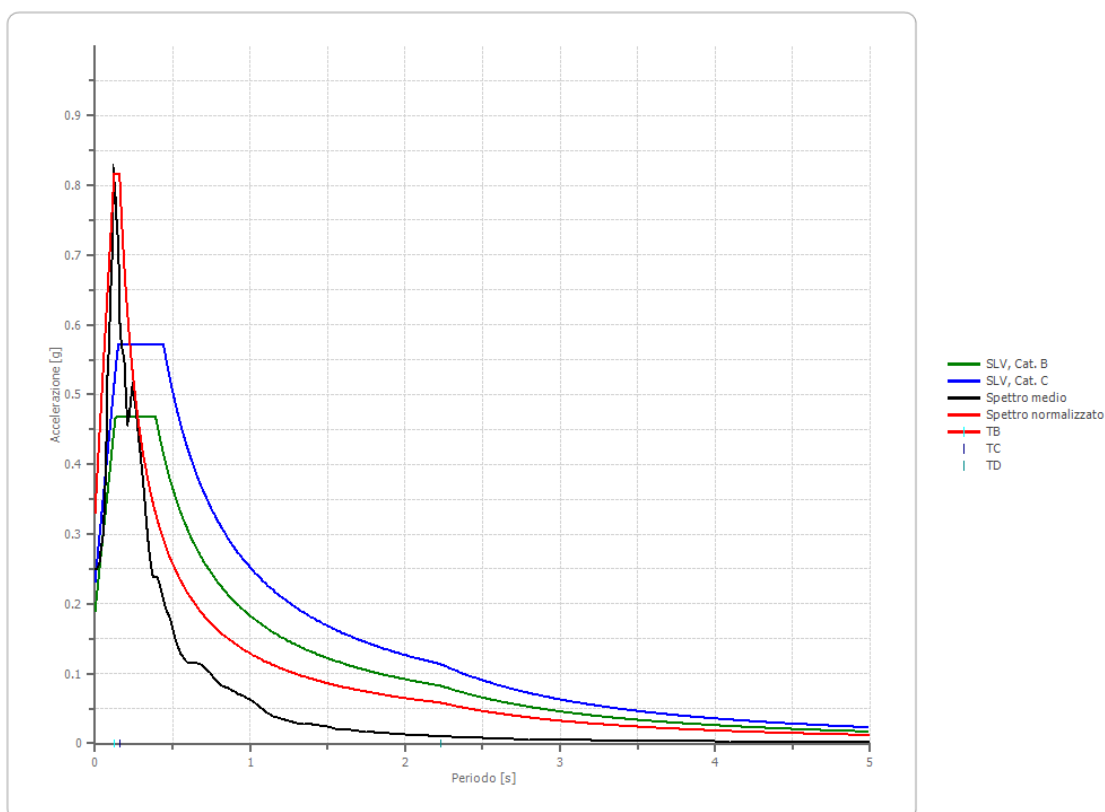
Il fattore SI, Intensità di Housner è definito dalla relazione:

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

L'Intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'integrale delle pseudo velocità spettrali d'input e di output 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 basse rigide e 0,5-1,5sec - strutture più alte e flessibili) 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]	FA
0.100	0.500	0.051	0.067	0.200	1.309
0.500	1.500	0.111	0.123	0.333	1.110





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 semplificata 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 non rimane all’interno degli spettri di normativa.

I valori di FAC su intensità spettrale 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
1,3	1,5	1,1	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 la categoria di suolo B risulta verificata (tenendo in conto l'approssimazione $\pm 0,1$) ed è sufficiente a tenere in considerazione i reali effetti di amplificazione litologica locale presenti al sito.

9.0 PERICOLOSITÀ GEOLOGICA E RISCHIO GEOLOGICO DELL'OPERA

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 geotecniche e geomorfologiche. 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 in debole pendenza.

La **pericolosità idraulica da esondazione** è assente, poiché il dislivello altimetrico presente tra il lotto in studio e il torrente è tale da evitare possibili interferenze negative correlabili alla dinamica fluviale ordinaria o eccezionale.

La presenza di matrice fine limoso-argillosa può essere all’origine di potenziali episodi di drenaggio difficoltoso associato a ristagno temporaneo in occasione di eventi meteorici particolarmente sfavorevoli o a carattere di rovescio. Si consiglia la cura della manutenzione dell’alveo del torrente, l’eliminazione delle cause di ostacolo al suo deflusso e il controllo dell’efficienza delle fognature presenti nell’area urbanizzata. 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).

Gli interventi di mitigazione del rischio sismico sono stati programmati nel paragrafo precedente, attraverso il parametro della vita nominale nel quale le strutture possono essere considerate sicure.



9.1 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 (ove h è la profondità 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-pliocenica 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 - $1,5$ mt $< SF < 3,0$ mt; SL Media - $3,0$ mt $< SF < 6,0$ mt; SL Bassa - $6,0$ 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 $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ 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 è superiore a quello di esclusione indicato nel comma 1. Pertanto si è continuato nella verifica delle situazioni di esclusione attinenti ai fattori geologico-



geotecnici secondo i commi 2, 3 e 4: è così verificato il comma 2 per la profondità media stagionale della falda superiore a 15 mt dal piano campagna e il comma 3 per la natura prevalentemente limosa e argillosa con un elevato stato di consistenza degli strati.

Si escludono, fenomeni di liquefazione dei terreni in condizioni sismiche ai sensi del § 7.11.3.4.2 delle NTC.

10.0 PROBLEMATICHE GEOLOGICO TECNICHE DEL PROGETTO STRUTTURALE.

Il “progetto strutturale” deve ottemperare ai requisiti definiti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (nella forma di testo unitario e non unico), emanate con il D.M. 14/01/08.

I terreni superficiali a prevalente granulometria fine sono asportabili con i comuni mezzi meccanici in uso nei cantieri edili.

Dato che le previsioni progettuali individuano un modesto carico d’esercizio e un limitato sviluppo in altezza delle strutture, si ritiene che la tipologia delle fondazioni, adeguatamente studiata e progettata, sia unica, fondata su un substrato omogeneo. In base alle notizie rese si consiglia d’impostare le fondazioni dirette alla profondità di 2,0-2,5 mt dal p.c. attuale, nel substrato tale da conferire la necessaria sicurezza alle opere in progetto e in nessun caso su materiale riportato o rimaneggiato. Inoltre, se si rinvenissero sacche o strati di terreno allentato, questi dovranno essere sostituiti e bonificati con materiali idonei.

Il progetto edilizio autorizzatorio prevederà, inoltre, prima dell’inizio dei lavori di scavo nel cantiere di piccola dimensione, una dichiarazione del proponente o del produttore per gestire le **terre e rocce da scavo**⁴ come sottoprodotti (invece che come rifiuti) ai sensi dell’unico riferimento normativo in materia dettata dal DPR 120/2017 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo” entrato in vigore il 22/08/2017. Il comma 1 lett. b) dell’art. 41-bis prevede che chi intende riutilizzare le terre da scavo dimostri “che, in caso di destinazione a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, non sono superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B della tabella 1 dell'allegato 5 alla parte IV del decreto legislativo n. 152 del 2006, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione”. Poiché tale dimostrazione è possibile solo avendo a disposizione i valori di concentrazione dei potenziali contaminanti nel terreno da scavare, l’analisi deve essere sempre fatta quando il terreno è destinato a riutilizzo in un sito diverso da quello di produzione.

Si precisa che la terra di risulta degli scavi e dei movimenti di terreno in genere, sarà utilizzata per la risistemazione dell’area oggetto dei lavori, al di fuori di corsi d’acqua, fossi, impluvi e linee di sgrondo, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento e, dove necessario, inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

L’art. 185 comma 1 lett. c) prevede che sia escluso dal campo di applicazione della normativa sui rifiuti il terreno non contaminato riutilizzato allo stato naturale nello stesso sito di produzione, disposizione confermata dall’art. 24 del DPR 120/2017. La non contaminazione va verificata ai sensi dell’Allegato 4 del DPR 120/2017 mediante verifica del rispetto dei limiti di cui alla tabella 1 All. 5 Tit. V p. IV del TUA e quindi con un prelievo e analisi dei materiali.

Il modello predisposto da Arpa Lombardia chiede di autocertificare (dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà, ai sensi del DPR 445/2000) il rispetto dei limiti previsti dalla normativa vigente a proposito della

⁴ Art. 24: Utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce escluse dalla disciplina rifiuti. comma 1. Ai fini dell’esclusione dall’ambito di applicazione della normativa sui rifiuti, le terre e rocce da scavo devono essere conformi ai requisiti di cui all’articolo 185, comma 1, lettera c), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e in particolare devono essere utilizzate nel sito di produzione. Fermo restando quanto previsto dall’articolo 3, comma 2, del decreto-legge 25 gennaio 2012, n. 2, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 marzo 2012, n. 28, la non contaminazione è verificata ai sensi dell’allegato 4 del presente regolamento.



destinazione d'uso del sito cui sono destinati i materiali stessi e la verifica che i materiali non costituiscono fonte di contaminazione diretta o indiretta per le acque sotterranee. Tali limiti devono essere valutati in conformità a un piano di accertamento analitico, adeguatamente condotto.

In questa dichiarazione il produttore indica la quantità delle terre e rocce da scavo da destinare all'utilizzo come sottoprodotti, l'eventuale sito di deposito intermedio, il sito di destinazione, gli estremi autorizzativi per la realizzazione delle opere e i tempi previsti per l'utilizzo che comunque non possono superare un anno dalla data di produzione.

L'omessa dichiarazione finale di avvenuto utilizzo entro il termine prefissato comporta la cessazione, con effetto immediato, della qualifica delle terre e rocce da scavo come sottoprodotto, si entra nel campo giuridico dei rifiuti con possibili conseguenze penali per il produttore. Si ricordi, infatti, che il committente, in qualità produttrice 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.

Le operazioni riguardanti lo **sbancamento del terreno**⁵ per l'alloggiamento delle strutture fondazionali dovranno garantire le condizioni di sicurezza per gli operai addetti alle lavorazioni.

Un piano di sicurezza specifico prevederà le fasi di organizzazione degli scavi, le opere di sostegno delle pareti degli scavi e la gestione di eventuali situazioni di emergenza connesse alle peculiarità del cantiere.

Le finiture interne, i drenaggi e il rinterro delle porzioni interrare completeranno le opere.

Si prescrive di isolare le fondazioni e le strutture entro terra da quelle soprastanti in modo da impedire le infiltrazioni di acqua e/o la risalita dell'umidità. È anche necessario prevedere la raccolta sistematica e l'allontanamento in tubazioni a perfetta tenuta delle acque piovane.

⁵ 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:

o D. Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splatemento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere un'inclinazione o un tracciato tali, riguardo 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. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, d'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.

o D. Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche riguardo alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.

o D. Lgs 81/2008, art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.

o D.M. 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista un'armatura di sostegno delle pareti di scavo.



11.0 INDICAZIONI CONCLUSIVE.

La Carta di Fattibilità assegna all'area oggetto di studio la classe di fattibilità 2, di cui vengono rispettate con le summenzionate prove ed indagini le relative prescrizioni.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici è pertanto compatibile l'intervento di progetto 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 geomeccaniche 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. I saggi effettuati in questa fase di progettazione, infatti, essendo localizzati possono 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 valutati eventuali azioni correttive a vantaggio dell'economicità e della sicurezza dell'opera.

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

Massimo Pasquale Fedele





12.0 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).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., Puzzilli 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*.



-
- 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*.
 - Mucciarelli Marco (2011). Progetto Stessa. *Tecniche speditive 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 Floriana, Massimo Compagnoni e Vincenzo Petrini, aprile 2009. *Definizione di procedure per la valutazione degli effetti sismici di sito nel territorio lombardo. Rapporto integrativo. Individuazione degli accelerogrammi registrati*.
 - 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)
 - Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata. Correlazioni tra parametri sismici e geotecnici per la pratica professionale. Francesco Roccaforte - Caterina Cucinotta. Dario Flaccovio Editore.
 - Valutazione della velocità di propagazione delle onde di taglio da prove SPT in depositi sabbiosi finalizzata alla classificazione sismica. Valentino R., Caleffi C., Grassi N. Anidis, Bari (2011).