

ConsultinGEO Enviroment



ConsultinGeo Enviroment

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E AMBIENTALE

RELAZIONE GEOLOGICA IN PROSPETTIVA SISMICA

Proprietà: Spett. Soc. Isael s.r.l., Via Amendola 2, Sirmione, 25015, Desenzano del Garda (BS).
C.F. 02131100980

Oggetto: Relazione geologica per un progetto di ampliamento e sopralzo dell'edificio esistente per la realizzazione di nuovo albergo e ampliamento ristorante esistente in via Agello, n. 41, 25015, località "Zattera", Desenzano del Garda (BS).

Desenzano del Garda, 28/04/2018.

Il Responsabile/Progettista:
Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE
Via Antonioli 221 – 25015
Desenzano del Garda (BS) - Italy
Tel. 3345719897
E-mail: studiogeologofedele@libero.it

.....



INDICE.

1.0	Normativa di riferimento	Pag. 3
2.0	Premessa	Pag. 5
3.0	Inquadramento del sito	Pag. 6
	3.1 Inquadramento territoriale ed urbanistico	Pag. 6
	3.2 Inquadramento geologico, idrogeologico e litostratigrafico generale e locale	Pag. 6
	3.2.1 geomorfologia	Pag. 7
	3.2.2 geologia	Pag. 8
	3.2.3 neotettonica	Pag. 8
	3.2.4 idrologia e idrogeologia	Pag. 9
4.0	Rilevamento geologico tecnico	Pag. 11
5.0	Descrizione delle indagini geognostiche	Pag. 12
	5.1 Descrizione dello scavo esistente	Pag. 12
	5.2 Descrizione della tecnica Masw	Pag. 13
	5.3 Descrizione della tomografia sismica in onde P	Pag. 19
	5.4 Descrizione della tecnica dei microtremitori.	Pag. 23
	5.5 Categoria di sottosuolo di fondazione	Pag. 27
6.0	Modello geologico di riferimento	Pag. 28
7.0	Azione sismica al sito. Stima della pericolosità sismica di base	Pag. 29
8.0	Stima della risposta sismica locale con modello monodimensionale	Pag. 31
9.0	Pericolosità geologica e rischio geologico dell'opera	Pag. 37
	9.1. Verifica qualitativa alla liquefazione del sito	Pag. 37
10.0	Problematiche geologico tecniche del progetto strutturale	Pag. 39
11.0	Conclusioni	Pag. 40
12.0	Bibliografia tecnica	Pag. 43



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 – "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";
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente "Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008";
- Decreto 10 agosto 2012, n. 161 – "Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo." (GU n. 221 del 21-9-2012);
- Legge n° 98 del 9 agosto 2013 di conversione, con modifiche, del decreto legge 21 giugno 2013, n° 69, recante "Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia" (cd "decreto Fare");
- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 – "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164";
- 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";
- 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»";



- Disposizioni contenute all'interno delle Norme Geologiche del P.G.T. del comune di Desenzano 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", gennaio 2016).

La normativa regionale interessata è:

- D.G.R. n° 6/15137/1996 - "Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinati a consumo umano (D.P.R. n° 236/1988)";
- D.G.R. 10 aprile 2003 n.7/12693. "Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5- Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano";
- L.R. Lombardia del 12 dicembre 2003 n. 26 "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche";
- Regolamento Regionale N. 3 del 24 marzo 2006 - "Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26";
- L.R. Lombardia 11 marzo 2005, n. 12 - "Legge per il governo del territorio";
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 - "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12";
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/2318 del 05 aprile 2006 - "Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell'art. 3, comma 1 del Regolamento Reg. 2006, n. 3";
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 3 "Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26";
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 4, "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'art.52 comma 1, lettera a, della legge regionale 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);
- Regolamento regionale del 27 novembre 2017 - n. 7 - "Criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'art. 58 bis della l.r. n. 12/2005 (Legge per il governo del territorio)".

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 Tecnico dell'arch. Giancarlo Menegato, Via Monte Baldo n. 65, Desenzano del Garda, è stata redatta la presente "Relazione Geologica in prospettiva sismica" a supporto di variante urbanistica. Tale relazione è compilata seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, per un progetto di nuova costruzione nel comune di Desenzano del Garda (BS).

Il terreno oggetto dell'intervento è riportato in Catasto Terreni con il F° 27 mapp. 170, con coordinate riferite all'ellissoide European Datum 1950 - ED50: latitudine 45.461400° e longitudine 10.581991° (Est da Greenwich). Il sito è meglio identificato nella cartografia di dettaglio di seguito riportata.

La proprietà intende ampliare e il sopraelevare l'edificio esistente per la realizzazione di un nuovo albergo mediante l'ampliamento del piano terra, l'aggiunta di un nuovo primo piano e di un piccolo volume a servizi sopra la terrazza di copertura del piano primo, e la formazione di locali nell'interrato complementari e accessori all'attività alberghiera. Inoltre s'intende mantenere l'attuale pubblico esercizio di ristorazione e ampliarlo al piano terra. L'edificio con struttura funzionale alle due destinazioni (albergo e ristorante) sarà progettato con una struttura mista – cemento armato, con pilastri e solai gettati in opera in c.a. e laterizio porizzato.

Per tutti i dettagli e le maggiori specificazioni relative alle opere in progetto si rimanda alla visione degli elaborati progettuali. Salvo diversa indicazione data dal progettista, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, si è esaminata la Classe d'Uso III, definita per costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi (NTC 2018 – 2.4.2).

La presente Relazione Geologica in prospettiva sismica è stata compilata in una fase progettuale di progetto definitivo, 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 Desenzano del Garda.

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 indagini geologiche, geotecniche e geofisiche sono state concordate con il progettista e finalizzate alla ricostruzione del modello geologico e geotecnico di riferimento del sottosuolo per le analisi sismiche,

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.



oltre a verificare la pericolosità del territorio oggetto dell'intervento. Le prove sono state commisurate in maniera sostanziale agli obiettivi della caratterizzazione, all'importanza delle opere e alle loro dimensioni.

Per la valutazione dei fenomeni di amplificazione stratigrafica causate dalle sollecitazioni di taglio indotte da un sisma di progetto si è definito un adeguato modello costitutivo e la calibrazione della velocità di propagazione delle onde di taglio, esplicitamente legata al modulo elastico di taglio a piccole deformazioni. I metodi geofisici di tipo sismico consentono la sua determinazione nello stato naturale dei terreni e delle rocce, senza l'inevitabile disturbo associato al prelievo dei campioni per le prove in laboratorio, e alla scala d'interesse per le applicazioni².

Pertanto, secondo lo stato della pratica progettuale degli ultimi anni e l'evoluzione delle normative, per la definizione della "categoria di sottosuolo" 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, si è usufruito di uno scavo esistente per i sottoservizi dei locali dell'edificio e sono state eseguite all'interno del lotto in indagine un'indagine sismica di microtremore (H.V.S.R.), una prospezione sismica a rifrazione e un'indagine sismica Masw (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – Park et al., 1999) che permette di ricavare anche il profilo di rigidità (tipicamente correlato alle proprietà geotecniche e geomeccaniche dei terreni). Il modello di riferimento della tecnica sismica Masw è monodimensionale e riguarda l'intero volume sottostante lo stendimento di misura, quindi una porzione consistente del sottosuolo in cui le variazioni laterali possono essere importanti.

Ho corredato poi la scheda di calcolo dettagliata utilizzata per la verifica degli effetti di amplificazione litologica svolta secondo la procedura prevista dalla L. R. n. 33 del 12 ottobre 2015 e della D.G.R. 30 marzo 2016 - n. X/5001.

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 III 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.

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

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

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

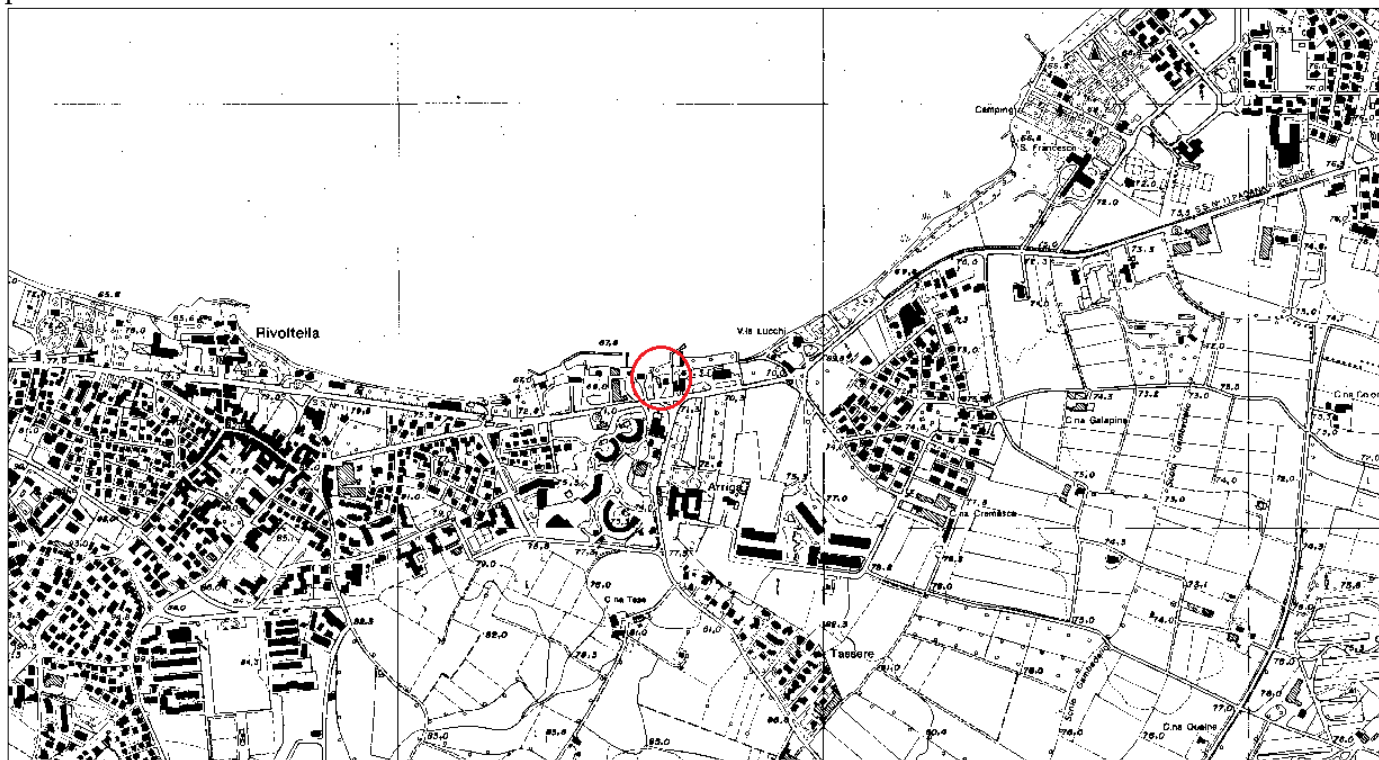
² "Affidabilità delle prove geofisiche per la caratterizzazione geotecnica in zona sismica", S. Foti. Atti della giornata di studio. Brescia, 20 novembre 2014.



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 Desenzano del Garda e nell'analisi critica di tutto il materiale recuperato.

Il progetto delle opere si colloca in un'area stabile subpianeggiante della costa meridionale del Lago di Garda che rappresenta un corpo idrico significativo ai sensi del D. Lgs. n° 152/2006 e s.m.i. ed è il maggiore specchio lacustre italiano, formatosi nell'era neozoica sfruttando l'avvallamento creato dai ghiacciai alpini quaternari trasfluenti dalla Valle dell'Adige e del Chiese e convogliati nell'incisione strutturale gardesana già esistente.

La zona in studio è situata a una quota di circa 65,0 mt s.l.m.. L'area è inserita, nel P.G.T. vigente anche a seguito della variante generale approvata, negli "Ambiti ad alta incidenza di verde privato" disciplinati dall'art. 35 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano della Regole, ed è situata all'interno del perimetro del Tessuto Urbano Consolidato.

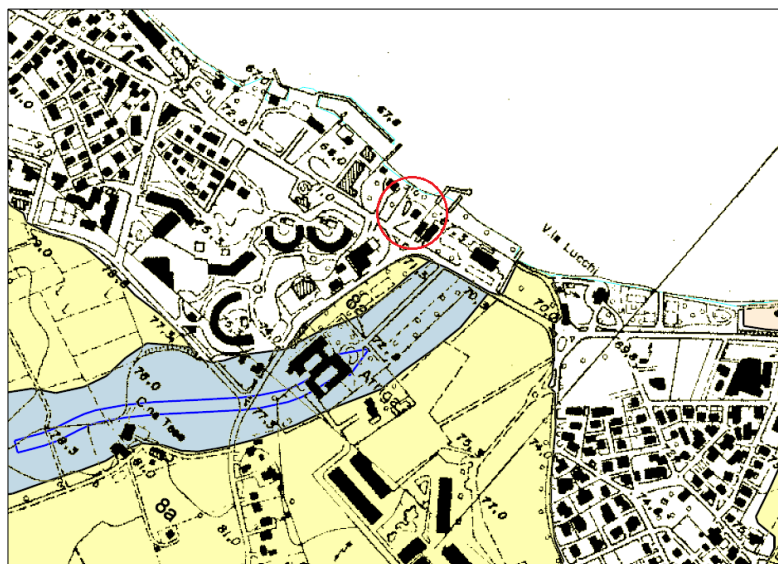


Estratto dalla Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 (evidenziato in rosso il baricentro dell'area)

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

3.2.1 Geomorfologia

Geomorfologicamente nella "Carta morfologico paesaggistica con indicazioni pedologiche" comunale l'area in studio, e parte della zona circostante, è compresa nel retino della piana perilacustre di origine glaciale e retroglaciale, con aree subpianeggianti modellate dall'azione delle acque del lago. I depositi sono prevalentemente fini, i suoli sottili bruno-grigiastri a tessitura franco-limoso. Il drenaggio lento o molto lento. La capacità d'uso è la IV e V. La protettività bassa.

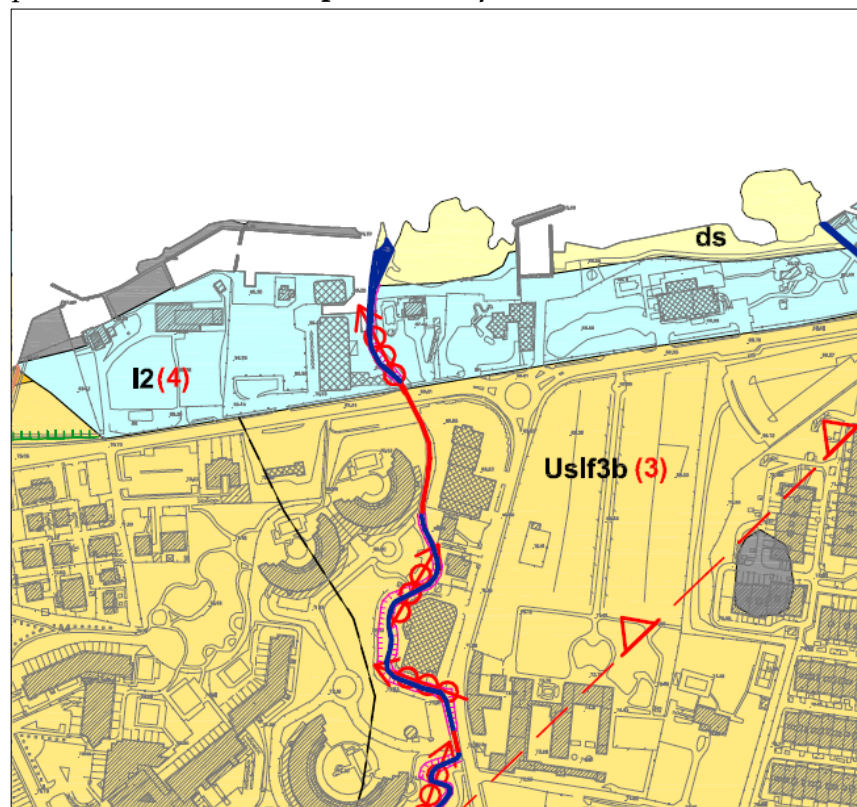




Storicamente il Lago di Garda è stato soggetto ad esondazioni con allagamento delle fasce perilacustri e in particolare dei centri abitati. L'energia del moto ondoso dei venti dominanti (tramontana) è attenuata dal basso fondale presente e dalla presenza del canneto. Solo in occasione di estreme condizioni meteorologiche e con elevati livelli del lago possono verificarsi allagamenti e tendenze erosive in tratti di costa limitati.

3.2.2 Geologia

Nella "Carta geologica e strutturale con elementi geomorfologici e del sistema idrografico" comunale è riportato per l'area in studio il **deposito I2: depositi costieri lacustri limoso argillosi, a tratti torbosi**.



UNITA' POSTGLACIALE

- ds** Depositi di spiaggia recenti e attuali (Olocene)
- I2** Depositi lacustri (Olocene)
- depositi costieri lacustri limoso argillosi, a tratti torbosi
- depositi costieri lacustri ghiaioso sabbiosi

COPERTURE QUATERNARIE

UNITA' DI SOLFERINO (Pleistocene superiore)

- Uslf3b** Depositi fini prevalentemente sabbioso limosi, limoso sabbiosi, limoso argillosi, argillosi ("morena di fondo")

ELEMENTI TETTONICI

- ▲—▲— Faglia Inversa, presunta.

FORME LEGATE ALLO SCORRIMENTO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

- Fenomeni di trasporto in alveo

Sono depositi che contraddistinguono un livello di innalzamento del lago. Sono rappresentati da limi e limi argillosi a tratti torbosi (I1), verso la fascia più propriamente perilacustre e, localmente verso monte, da ghiaie e sabbie (I2).

Gli stessi materiali sono distribuiti diffusamente sui fondali del lago nella zona posta in corrispondenza della linea di riva, a valle dell'ambiente deposizionale di spiaggia. Di sotto a tali depositi sono presenti argille sabbiose, con lenti e alternanze di sabbie fini, lacustri, dell'interglaciale Riss-Wurm.

3.2.3 Neotettonica

Per neotettonica s'intendono i movimenti tettonici 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.

Il sito in esame si trova nel Settore meridionale del Sudalpino che è l'unità in sollevamento contraddistinta dall'attività neotettonica e sismica più elevata, anche se non uniformemente distribuita.

Uno studio dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain* (Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise, Pure and Applied Geophysics, Luglio 2014), ha attribuito i terremoti della Pianura Padana a magnitudo compresa tra 5.4 e 5.8, e il terremoto di Salò storico del 30 Ottobre 1901 di magnitudo 5.7 a sistemi di faglie superficiali (*thrust*) che includono sia i sistemi di faglie che corrono ai piedi dei rispettivi rilievi sia i fronti più esterni in pianura. Complessivamente lo studio della tettonica locale testimonia come le numerose faglie rilevate nella regione hanno avuto più che altro funzione di compensazione delle spinte tangenziali o verticali recenti, senza aver dato ancora luogo a rilevanti spostamenti.

Per il territorio d'interesse la consultazione del *"Catalogo delle faglie capaci - ITHACA"* composto dall'ISPRA ha permesso di verificare che sono indicati più sistemi di faglie indicati come **"Faglie Capaci"** (FAC) cioè strutture attive negli ultimi 40.000 anni (Pleistocene sup.- Olocene) che raggiungono la superficie topografica dislocando il piano campagna. Sono ritenute potenzialmente in grado di creare nuove deformazioni in superficie.

In particolare sono state riconosciute 2 faglie ad andamento marcatamente NE-SW e ENE-WSW compatibili con la Sorgente di Salò e con le aree geologicamente correlabili codificate come **71001** e **90100** e denominate rispettivamente Sirmione-Garda e Gomito del Garda.

La linea **"Sirmione - Garda"** è una faglia inversa di lunghezza pari a circa 18 km attraversa la Conca di Garda e arriva alla penisola di Sirmione. E' caratterizzata da media probabilità di riattivazione (ultime evidenze di attività in età olocenica fino a 10.000 anni fa - Castaldini & Panizza, 1991).

3.2.4 Idrologia e idrogeologia

Nelle immediate vicinanze del settore in studio scorre un corpo idrico con andamento circa meridiano. Si tratta di un corso d'acqua con portate legate essenzialmente agli apporti delle precipitazioni meteoriche. L'azione antropica, nel corso dei secoli, ha modificato in più punti il regime idrologico naturale con tombature.

Nella *"Carta delle fasce di tutela del reticolo idrico principale e minore"* l'area non è interessata dalla presenza di elementi appartenenti al reticolo idrico principale o minore e alle relative fasce di rispetto (ex DGR 7/7868 del 25/1/2002 e DGR 7/13950 del 2003).

Idrogeologicamente, sulla base dei dati riportati sulla *"Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico"* dello studio geologico comunale allegato al P.G.T. (riferita al mese di gennaio/febbraio 2006), nella zona è presente un'isopieza di quota circa 64,0 mt s.l.m.. La **soggiacenza della falda** confinata/semiconfinata è quindi intorno a **2,0 mt dal p.c.** con variazioni significative in presenza di prelievi da pozzi sia pubblici sia privati; il flusso delle acque è diretto verso il lago.

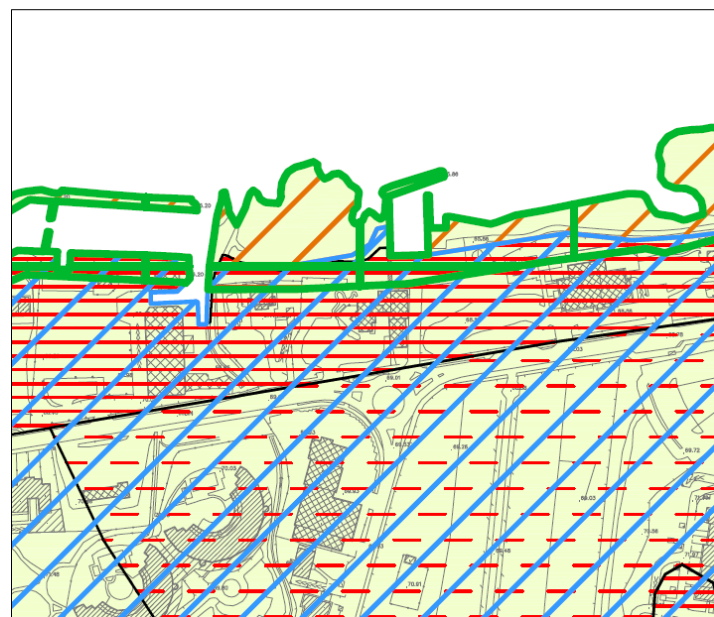


Sulla "Carta dei Vincoli", di cui si riporta a lato uno stralcio, l'area in studio è esterna alla fascia ad alto grado di tutela del Reticolo Idrico Minore di competenza comunale (DGR X/2591 all. D), pari a 10 mt da ciascun lato del corpo idrico, mentre è pari a 1 metro per il tratti intubati. Non sono riportati vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino (Piano stralcio per Assetto Idrogeologico PAI introdotto dalla legge 183/89, che ha lo scopo di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, il godimento e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali a essi connessi), né vincoli di polizia idraulica (Rispetto idraulico, rif. Legislativo: R.D. 8 maggio 1904, n. 368, Art. 96 lett. F; R.D. 25 luglio 1904 n. 523) e né di salvaguardia delle captazioni ad uso



idropotabile. Non è cartografato un vincolo cimiteriale e di polizia idraulica.

L'area interessata all'intervento è però posta in zona sottoposta al vincolo di tutela paesaggistica di cui



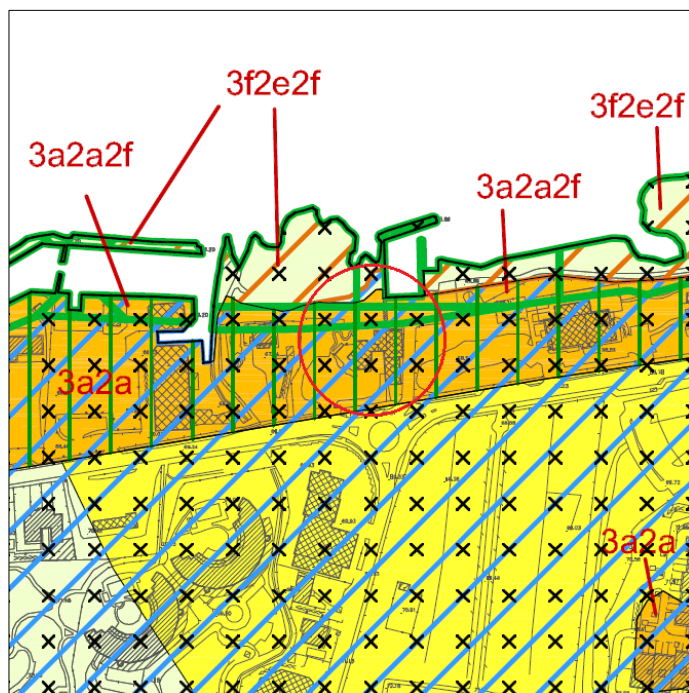
all'art. 136 del D. Lgs. 42 del 22/01/2004 e s.m.i. apposto con Decreto Ministeriale 05/11/1956 (G.U. 320 del 20/12/1956) sulla zona del lungolago da centro a Sirmione, ed è anche all'interno della fascia di 300 mt dalla linea di battigia di cui all'art. 142 comma 1 lettere B), del D. Lgs. 42 del 22/01/2004 e s.m.i.

Nella "Carta di sintesi" il lembo di territorio in oggetto è inserito in **aree con caratteristiche geotecniche localmente mediocri, falda affiorante con media vulnerabilità delle acque sotterranee.**

Come riporta la tavola "Pericolosità sismica locale" dello Studio geologico comunale, nel territorio esaminato potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione sismica locale riferibili agli scenari di amplificazione litologica e geometrica **Z2b - zona con depositi granulari fini** e **Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi** (Rif. Legislativo: L. 64/74; D.P.R. 380/2001 – capo IV; OPCM N° 3274 del 20.03.2003 ; OPCM N° 3519 del 28.04.2006; D.M. 14.01.2008; L.R. 33/2015; D.G.R. 5001/2016; D.G.R. 2129/2014).

La tavola "Carta dei fattori di amplificazione derivante dall'applicazione del 2° livello" dello Studio geologico comunale riporta per l'area in studio dei valori di **Fa di sito compresi tra 2,0 e 2,3, maggiori di Fa di soglia (per edifici con periodo 0,1 s – 0,5 s).**

Come restituisce la Tavola della "Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" dello studio



geologico comunale, agosto 2011, sono previste la **classe di fattibilità 3a - area con terreni a caratteristiche geotecniche scadenti e/o falda subaffiorante e condizioni pianeggianti o di versante debolmente acclive** e la **classe di fattibilità 2a - area a media vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda)**.

E' inoltre cartografato un obbligo di approfondimento di 3 livello (L.R. 12/05) derivante dal rischio sismico di pericolosità Sismica Locale (PSL).

Per le aree ricadenti in questa classe, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica e/o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze d'indagini geognostiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche puntuali

che dovranno valutare le condizioni limitative caratteristiche di queste classi.

4.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO

Il rilievo diretto geologico e geomorfologico del settore pianeggiante 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.

L'azione antropica ha modificato nel tempo l'originaria configurazione dei luoghi. Sul terreno, infatti, è difficile riconoscere forme geomorfologiche per gli interventi di livellamento eseguiti nel corso del tempo per l'edificazione. In sede di sopralluogo s'individua una topografia subpianeggiante che non crea problemi di stabilità legati alla pendenza dei depositi. L'area al contorno si presenta stabile e non interessata da fenomeni geomorfici in atto, come confermano anche le buone condizioni geostatiche dei fabbricati circostanti e delle strade, che non presentano lesioni significative per la presenza di fenomeni di dissesto in atto, attribuibili ad abbassamenti del terreno. Infatti, anche ridotti spostamenti del terreno, non sempre percettibili visivamente, si manifestano inizialmente con lesioni sulle costruzioni o sulle strade. Sono assenti, inoltre, indizi tali da far ritenere settori in condizioni d'equilibrio precario, quali avvallamenti e mammelloni nei terreni.

Inoltre non si sono rilevati fenomeni d'erosione accelerata diffusa e incanalata.

Dal punto di vista idrologico, la raccolta e il deflusso delle acque meteoriche sono affidati al sistema fognario e al reticolo idrografico.



5.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni in situ, propedeutica all'elaborazione di un verosimile modello geologico e geotecnico del sottosuolo, in ottemperanza alle prescrizioni imposte dalla normativa e dalla classe 3 e 2 di fattibilità geologica entro cui ricade il lotto d'indagine, alle caratteristiche stratigrafiche più superficiali dell'area in esame, sono stati eseguiti sotto la diretta supervisione dello scrivente, nella particella dell'edificio di progetto, uno stendimento sismico a rifrazione per una tomografia sismica, uno di tipo Masw e un'acquisizione a stazione sismica singola di microtremori HVSr. Ci si è avvalsi dello scavo esistente all'esterno dell'edificio per l'alloggiamento di alcuni sottoservizi per rilevare la stratigrafia dei depositi presenti in profondità.



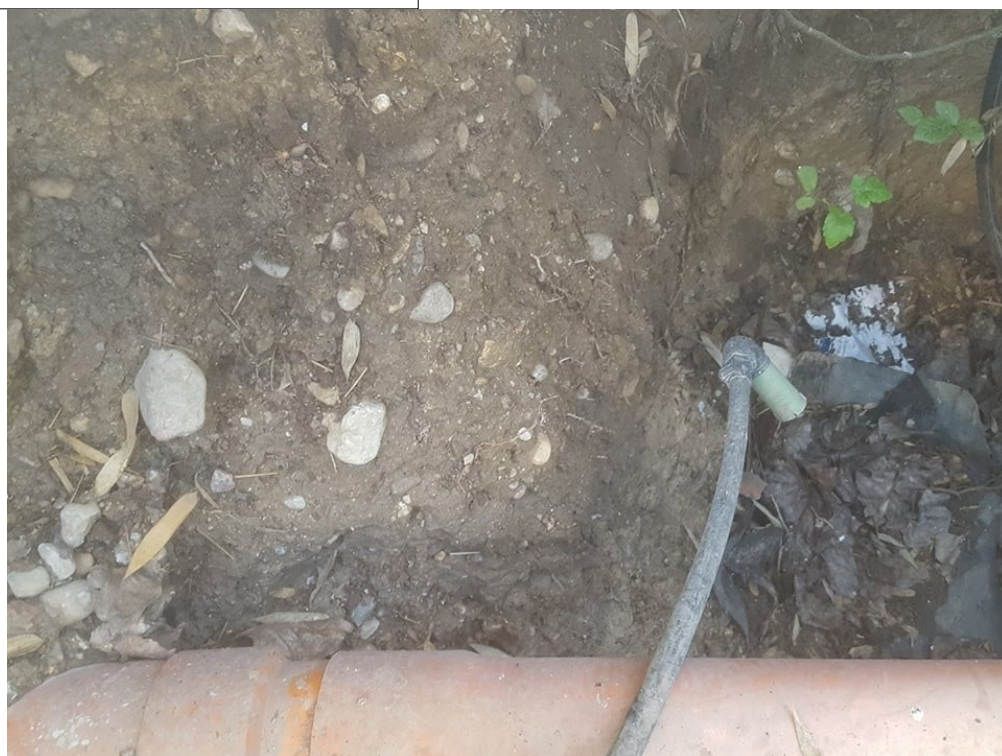
UBICAZIONE DELLE INDAGINI.

-  Prova sismica attiva del tipo Masw
-  Scavo geognostico
-  Prova sismica di microtremore HVSr

5.1 Descrizione dello scavo esistente.

Lo scavo esplorativo è presente fino alla profondità di 3,50 mt, come mostra la documentazione fotografica a lato.

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





Prof. (mt)	
0.0 – 0,4	Terreno superficiale da molto soffice a soffice.
da 0,4 a 3,5	Terreno di riporto costituito da sabbia ghiaiosa con limo, di colore bruno scuro. Gli elementi calcarei eterometrici sono prevalentemente a spigoli vivi.

Verticalità mantenuta a breve termine, a dimostrazione della presenza di una percentuale di terreni coesivi che costituiscono le porzioni superiori dello scavo. all'interno dello scavo non è stata rilevata la presenza di acqua.

5.2 Descrizione della tecnica d'indagine MASW.

Il metodo MASW è una tecnica d'indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , sulla base della misura delle onde superficiali, in particolare la velocità di propagazione dell'onda di Rayleigh molto prossima a quella delle onde S, eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. 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 metodologia MASW consente l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici, consente quindi di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_{sv} (assumendo che il moto sismico si propaghi in un piano verticale dal basso verso l'alto all'interno di un semispazio stratificato) anche alla presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. 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. Il metodo MASW consente di individuare il profilo di velocità V_s anche alla presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. 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. Tale prova fornisce un profilo di velocità V_s monodimensionale.

Il metodo d'indagine MASW utilizzato è di tipo attivo perché le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo 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.

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 ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area.

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.

E' stata eseguita una linea sismica della lunghezza di 15,0 metri utilizzando un cavo sismico e i 16 geofoni con interdistanza 1,0 metri.

Come sorgente di energia delle onde P e secondariamente di onde SV sono stati eseguiti diversi scoppi con mazza da 8 kg su piatto di battuta di 25 cm posto direttamente sul piano campagna, alla distanza di 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.

Le condizioni al contorno sono state:

- 1) Condizioni meteo: presenza di vento (scala 1: 10) = 2.
- 2) Traffico assente.



3) I geofoni sono stati posti nel parcheggio, nei pressi della sagoma dell'edificio in progetto.

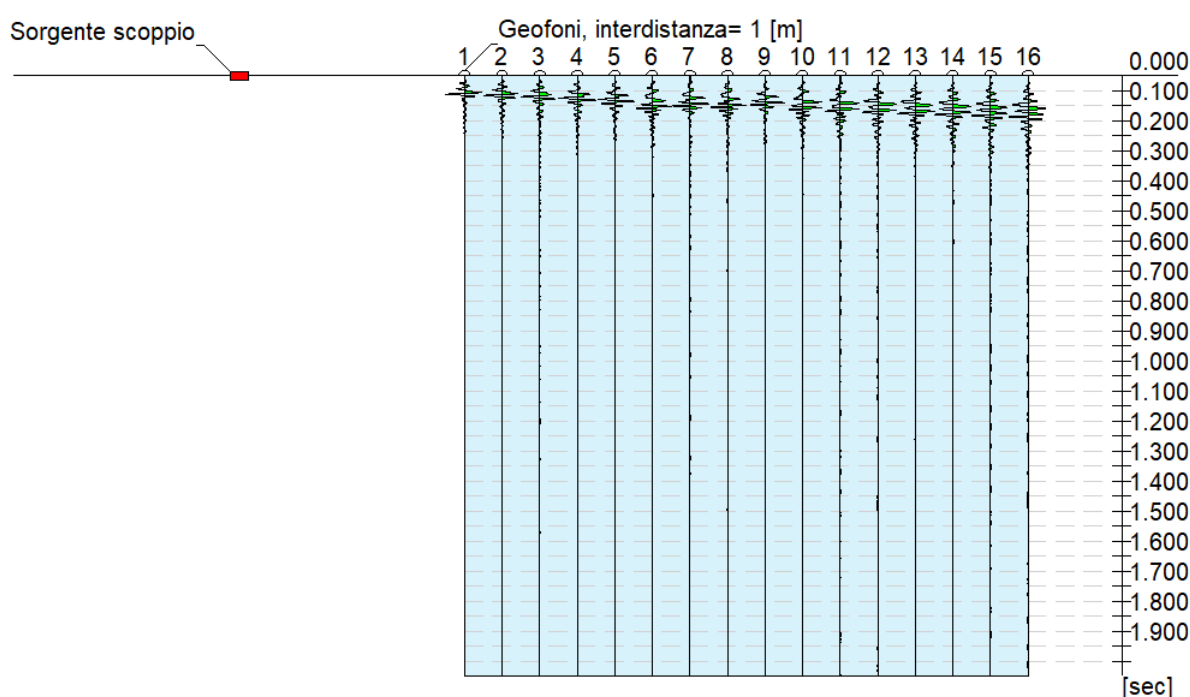
Note: acquisizione nella prima mattinata.

Tracce.

I dati sperimentali acquisiti sono stati trasferiti su PC e analizzati con l'apposito software (EasyMasw, Versione: 2018.26.5.428) 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.

Analisi del segnale.

Nella prima fase elaborativa dei record mi sono limitato a eseguire alcuni passi obbligati quali la conversione del file in formato .seg2dat.



Analisi spettrale

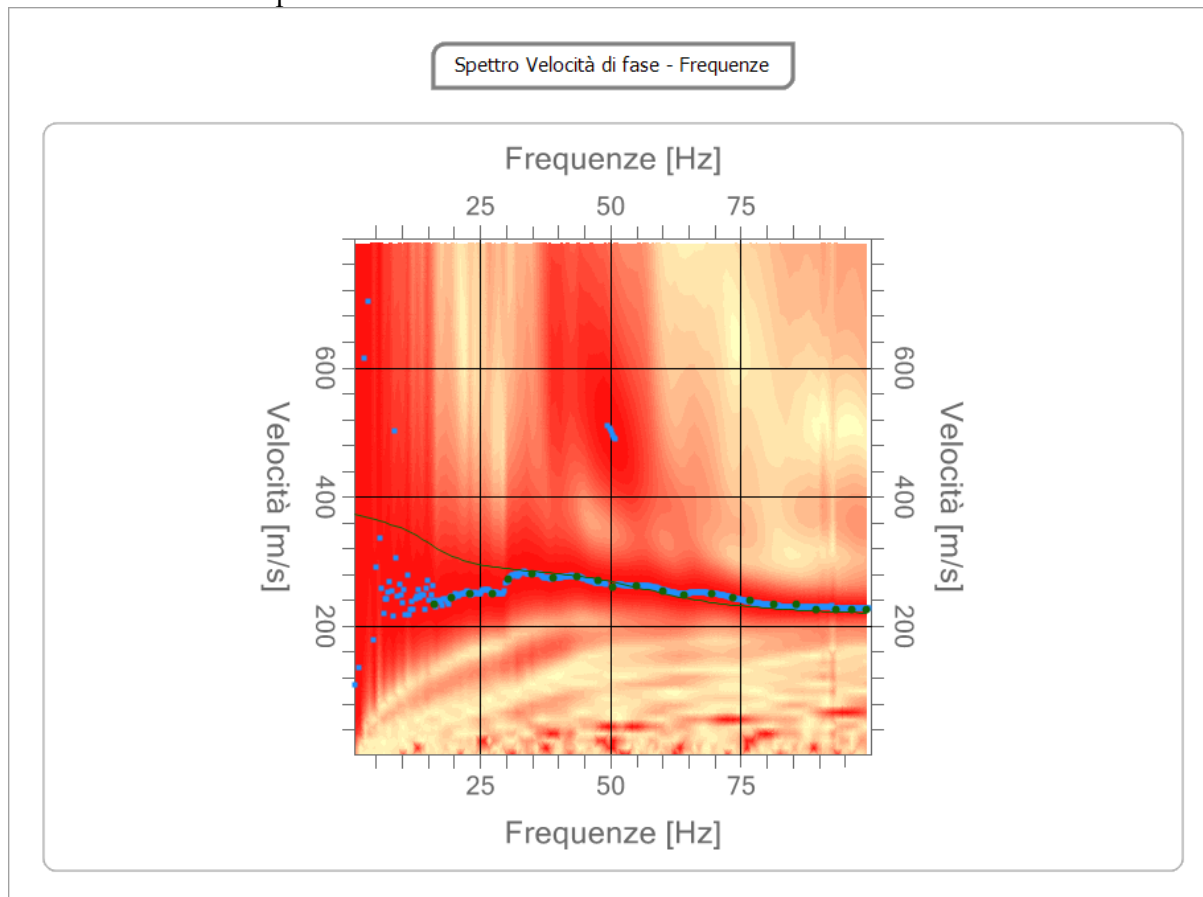
Il file .seg2 prodotto dalla misura di campagna è stato importato all'interno del software EasyMasw della Geostru. I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale 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 V_s 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.



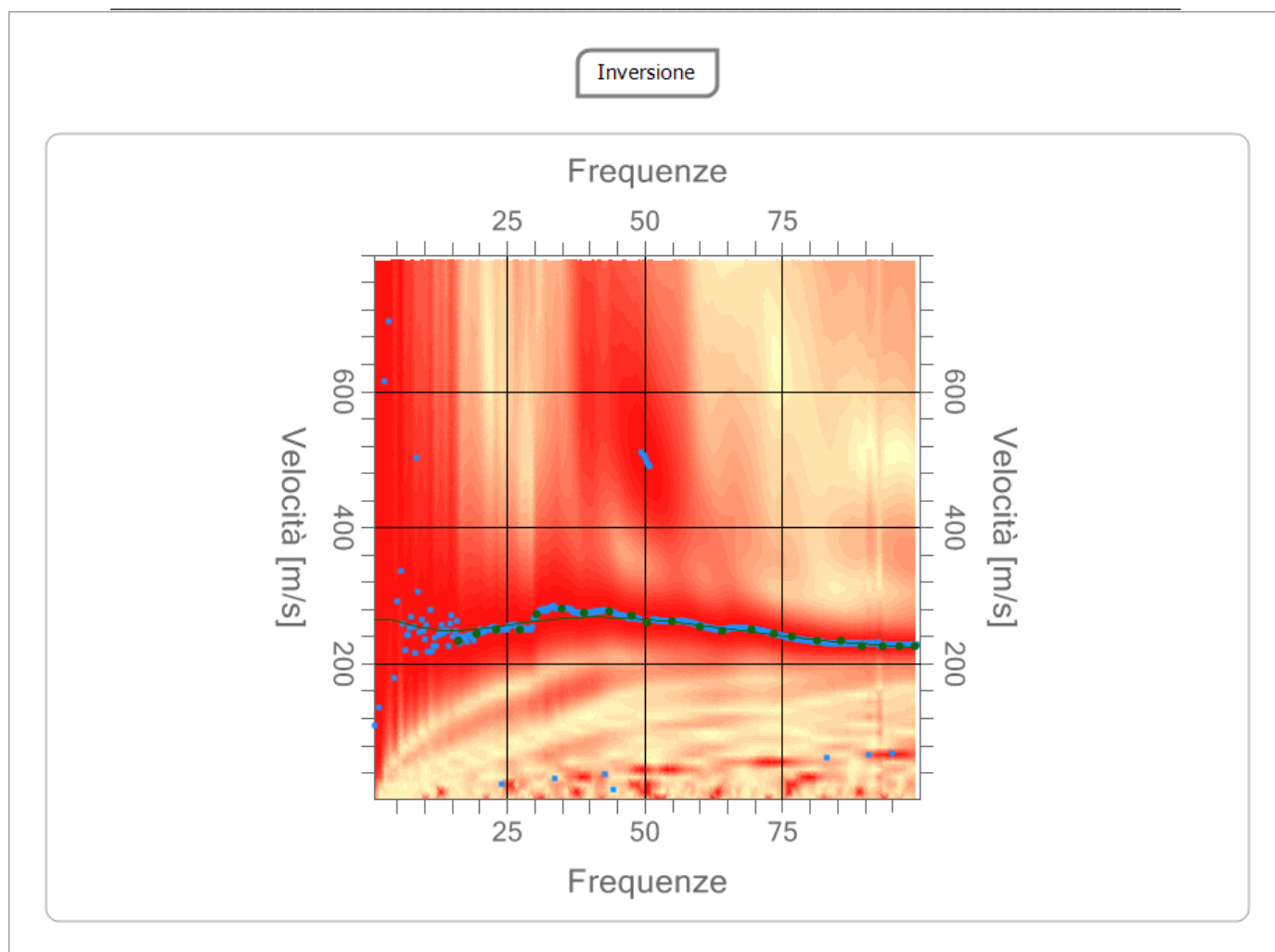
Si osserva dallo spettro il fenomeno della dispersione geometrica, per cui la velocità di fase con cui le onde si propagano è funzione della frequenza, dovuta alla rigidità variabile con la profondità di un mezzo eterogeneo. Sono osservabili inoltre i seguenti aspetti.

Nel range di frequenza tra 20 Hz e 80 Hz esiste un andamento ben definito della curva di dispersione sperimentale, con dispersione dei punti limitata rispetto alle altre frequenze, dove esiste maggiore incertezza.

A basse frequenze non è manifesto un andamento della **curva di dispersione sperimentale** perché c'è maggiore dispersione e incertezza dei dati.

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 sulla base di metodi semplificati, d'informazioni a priori riguardo la 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 ciascun strato.



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. Si evidenzia la presenza di terreni con grado di addensamento progressivamente crescente con la profondità fino alla profondità di 3,5 mt, oltre il quale è presente un'inversione di velocità ascrivibile a uno strato spesso circa 5,0 mt di sedimenti meno addensati/consistenti. Seguono sedimenti 5 più rigidi ($V_s \approx 281.8$ m/s), associabili a un materiale argilloso-sabbioso mediamente consistente, fino alla massima profondità d'indagine.

Il **profilo 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 ($V_s = 800$ m/s) non è stato raggiunto.

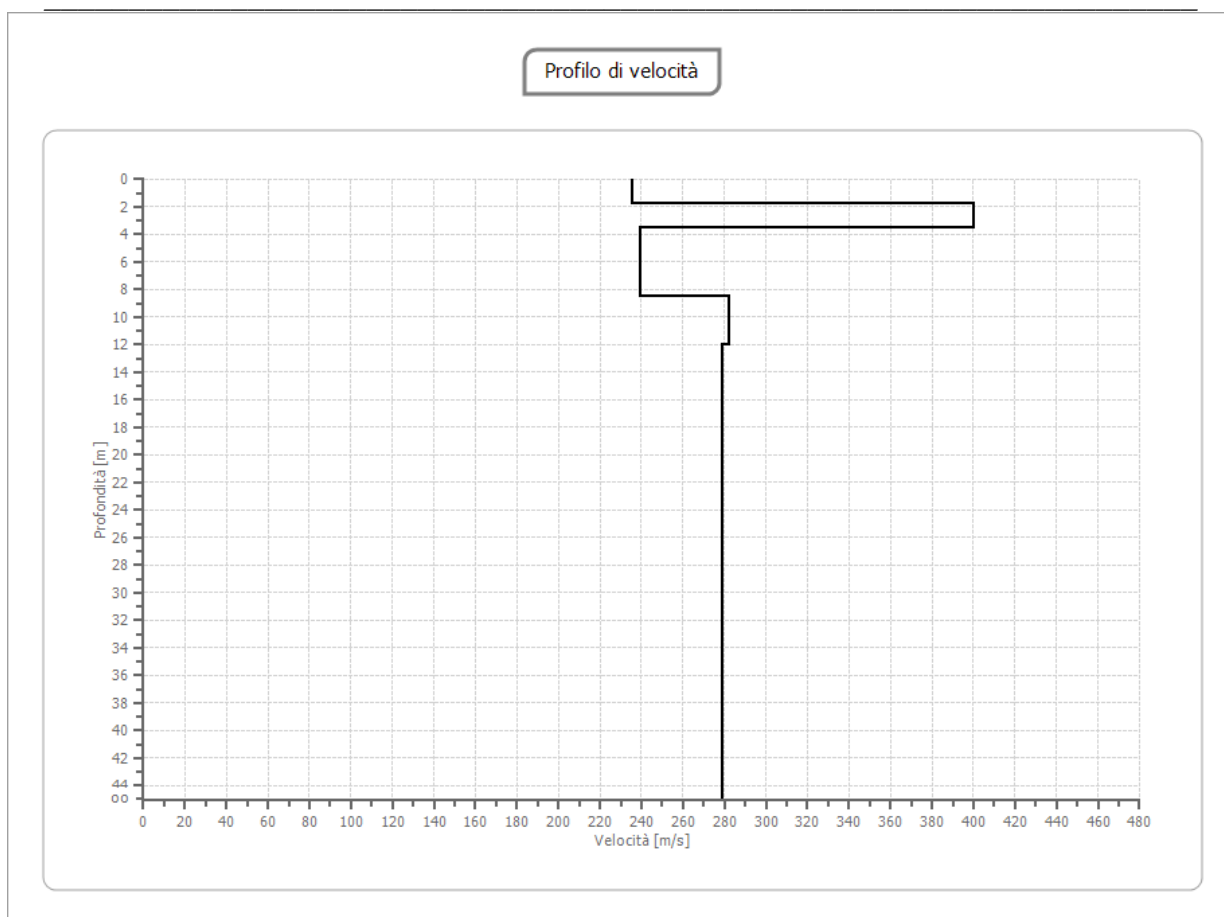
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficient e Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.80	1.80	1797.5	0.4	No	490.1	235.4
2	3.50	1.70	1894.8	0.4	No	832.7	400.0
3	8.50	5.00	1976.9	0.4	Si	586.2	239.3
4	11.98	3.48	2088.0	0.4	Si	690.2	281.8
5	oo	oo	2255.2	0.4	Si	683.0	278.8

Percentuale di errore

0.088 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.029



Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Vp/Vs	Tipo di terreno	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G ₀ [MPa]	Ey _{din} [MPa]	M ₀ [MPa]	Ed [MPa]	Q _{amm} [kg/cm ²]	K _w (Kg/cm ²)
1	1,8	1,8	235,5	840,1	3,6	Suolo soffice	16,8	0,46	99,64	269,04	298,93	431,8	1,1	1,3
2	3,5	1,7	400,0	832,7	2,1	Suolo intermedio	19,2	0,35	303,17	818,57	909,52	1313,8	2,2	4,5
3	8,5	5	239,3	586,2	2,4	Suolo soffice	16,9	0,40	113,22	317,02	528,36	679,3	1,2	1,3
4	11,98	3,48	281,8	690,2	2,4	Suolo soffice	17,6	0,40	165,79	464,22	773,7	994,8	1,4	1,9

Tabella 2. Stima dei parametri elastici dinamici relativi alle basse deformazioni.

Legenda:

1. **Densità (r)**: peso di volume.
2. **Coefficiente di Poisson (v)**: esprime il rapporto tra la deformazione trasversale e assiale subita dal corpo. Varia tra 0 e 0.5 ed è adimensionale.
3. **Modulo elastico longitudinale dinamico (Ey_{din})**: è la costante di proporzionalità tra gli sforzi di compressione e la deformazione assiale appartenente a valori delle deformazioni inferiori allo 0.01% in campo elastico.
4. **Modulo di rigidezza o di taglio dinamico Go**: ha uno significato fisico, in altre parole rappresenta la resistenza di un certo materiale alle variazioni di forma dovuti a sforzi di taglio puri.
5. **Modulo d'incompressibilità dinamico (Mo)**: Rappresenta la resistenza di un corpo alle variazioni di volume. Se, infatti, esso è sottoposto a una pressione idrostatica, in altre parole in tutte e tre le direzioni, questo subirà una deformazione volumetrica tanto minore quanto maggiore è Ky_{din}.
6. **Modulo edometrico drenato (Ed)**: rappresenta la deformabilità di un certo materiale se sottoposto a consolidazione.
7. **Q_{amm}**: capacità portante (Imai e Yoshimura, 1976).
8. **K_w**: Coefficiente di Winkler (Imai e Yoshimura, 1976).

La capacità portante e il modulo k non sono proprietà intrinseche del terreno, cioè determinabili a prescindere dalla geometria delle fondazioni, dalla distribuzione dei carichi, dalle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo. In qualunque caso le stime con le precedenti relazioni, ancorché non molto accurate, forniscono una soddisfacente indicazione del comportamento effettivo del terreno.



5.3 Descrizione della tomografia sismica.

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente sia il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo d'incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe a inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

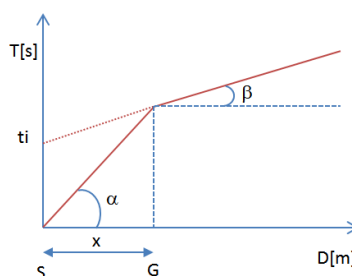
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come

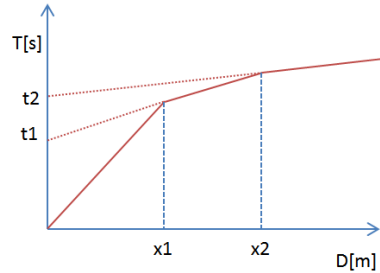
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i

chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette e il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione. Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

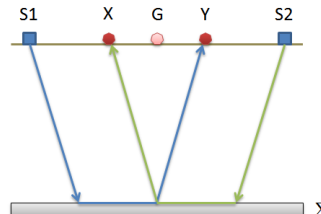


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

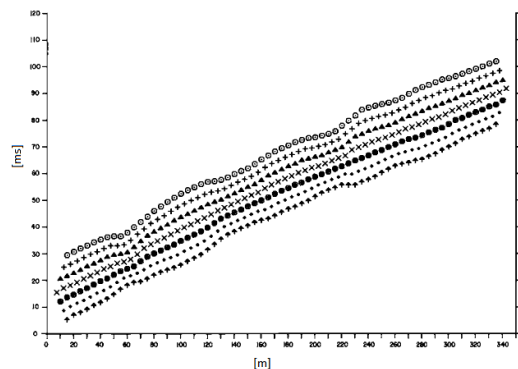
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di *phantoming* per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori.

Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



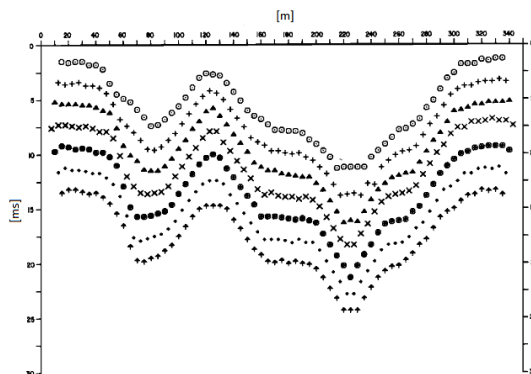
dove TS1Y e TS2X sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 a X e dalla sorgente S2 a Y mentre TS1S2 è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 e S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. Tv è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X e Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione Tv è eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove Vn è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°

Il **metodo della tomografia sismica GRM** (*General Reciprocal Method*) 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 come individuare eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione). Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione delle onde sismiche sotto la superficie, basate sui tempi di primo arrivo (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.

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.

Interpretazione col metodo reciproco

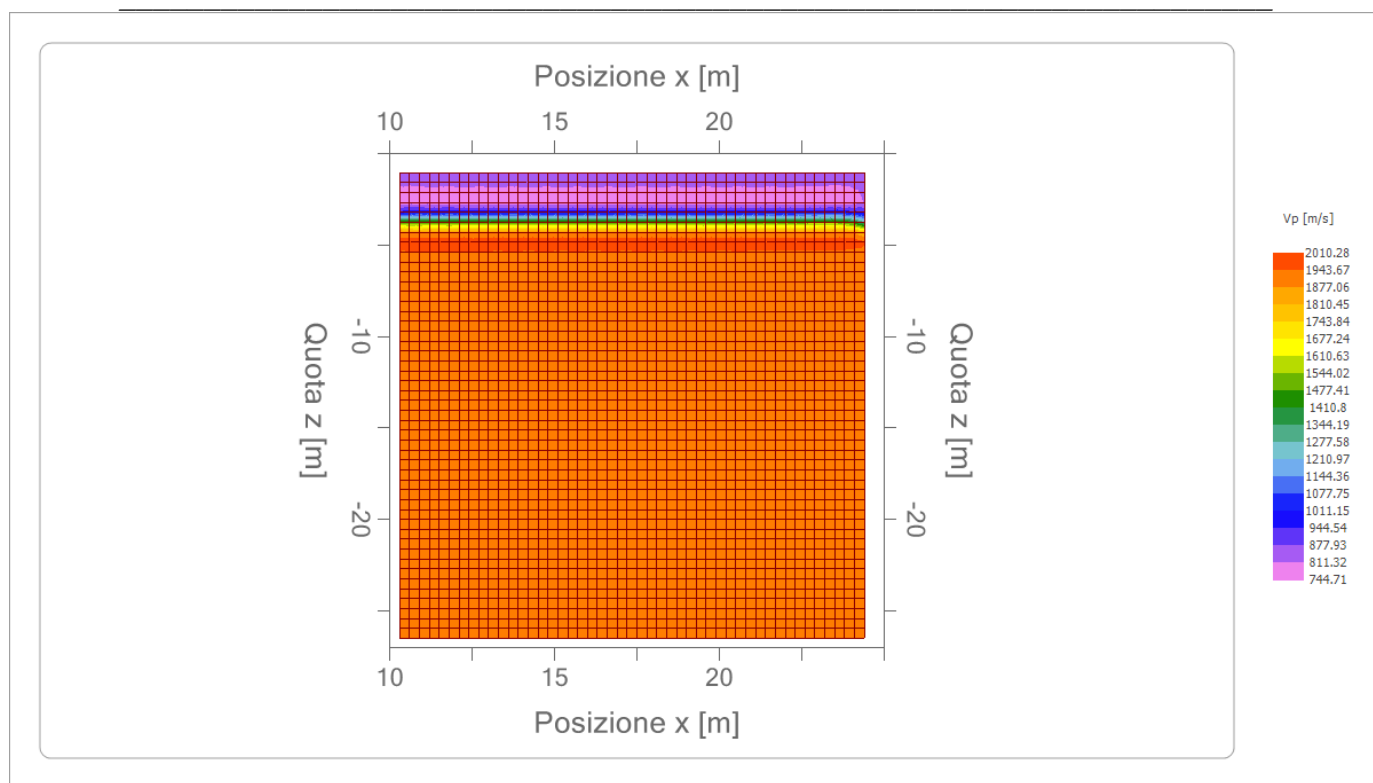
	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 10.0 [m]	3.6	--
G= 11.0 [m]	3.3	--
G= 12.0 [m]	3.8	--
G= 13.0 [m]	3.8	--
G= 14.0 [m]	3.8	--
G= 15.0 [m]	3.8	--
G= 16.0 [m]	3.8	--
G= 17.0 [m]	3.8	--
G= 18.0 [m]	4.3	--
G= 19.0 [m]	3.8	--
G= 20.0 [m]	3.3	--
G= 21.0 [m]	3.3	--
G= 22.0 [m]	3.3	--
G= 23.0 [m]	3.3	--
G= 24.0 [m]	3.3	--
G= 25.0 [m]	3.6	--
Velocità [m/sec]	840.6	1906.4

L'attribuzione delle litologie ai vari sismostrati individuati dalla prospezione è stata compiuta utilizzando informazioni geologiche di superficie integrate con dati di sottosuolo (prova penetrometrica e scavo esplorativo): pertanto si tratta d'indicazioni di carattere generale che possono non rispecchiare la reale composizione granulometria dei terreni:

- dalla superficie fino a profondità di 3,4÷3,6 mt (onde P) s'incontra un primo strato a media velocità ($V_p = 744.4$ m/sec) correlabile con un terreno di riporto costituito da sabbie ghiaiose mediamente addensate. Il deposito è attraversato da sottoservizi;

- segue un secondo sismo-strato (depositi detritici) localizzato prevalentemente nel settore cento-occidentale e caratterizzato da velocità $V_p > 1500,00$ m/sec, riferibile a sabbie e limi argillosi con ciottoli a spigoli vivi, sotto falda freatica. Le velocità V_p sono sovrastimate dalla presenza d'acqua di falda.

Si allega la sezione tomografica elaborata.



5.4 Tecnica Microtremori.

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

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

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

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

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



I dati sperimentali acquisiti per ciascun'area di misura sono stati trasferiti su PC e analizzati con



l'apposito software. Sia la fase di misurazione che quella d'interpretazione sono state fatte tenendo conto delle linee guida SESAME³ (*Site EffectS assessment using AMbient Excitations*), e delle indicazioni delineate dalla comunità scientifica nel corso di esperienze applicative della tecnica HVSR avute su vari siti di studio.

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

La durata della registrazione è stata di circa 30 minuti, mentre la frequenza di campionamento utilizzata di 400 Hz.

Il file .saf prodotto dalla misura di campagna è stato importato all'interno del software EasyHVSR della Geostru (versione: 2018.23.4.433), di cui si dispone regolare licenza d'uso. Le tracce concernenti il segnale sismico, registrato nelle tre direzioni NS, EW e UD, sono state visualizzate e sottoposte a un processo manuale di rimozione dei transienti individuati (eventi temporanei).

Quest'ultima ha prodotto un nuovo segnale

sismico di durata inferiore, sul quale è stata compiuta l'interpretazione secondo il metodo Nakamura.

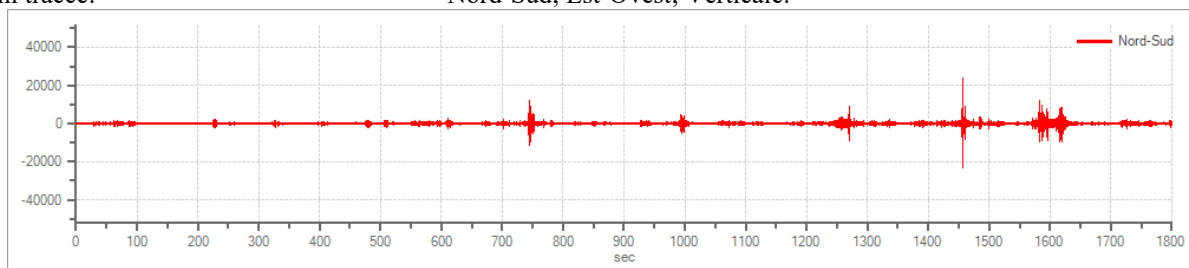
L'analisi statistica del segnale è stata fatta suddividendo la registrazione in finestre temporali di 20 secondi e applicando i seguenti parametri per la fase di lisciamento:

- tapering: 5%

- spectral smoothing (tringular window): 10%.

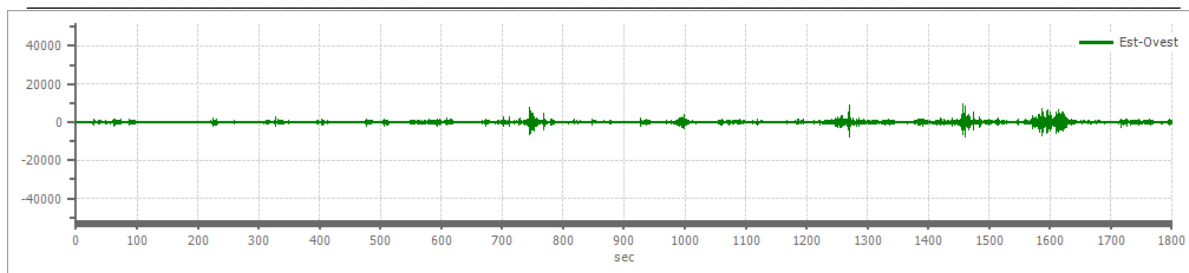
L'utilizzazione di un lisciamento triangolare al 10% è un buon compromesso per tutte le registrazioni a scopo stratigrafico perché consente facilmente di distinguere i picchi di natura antropica da quelli naturali.

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	400.00 Hz
Numero campioni:	720000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

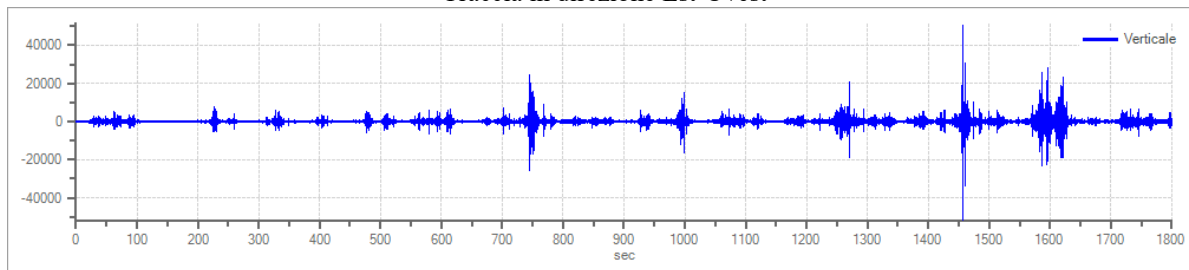


Traccia in direzione Nord-Sud

³ <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>



Traccia in direzione Est-Ovest

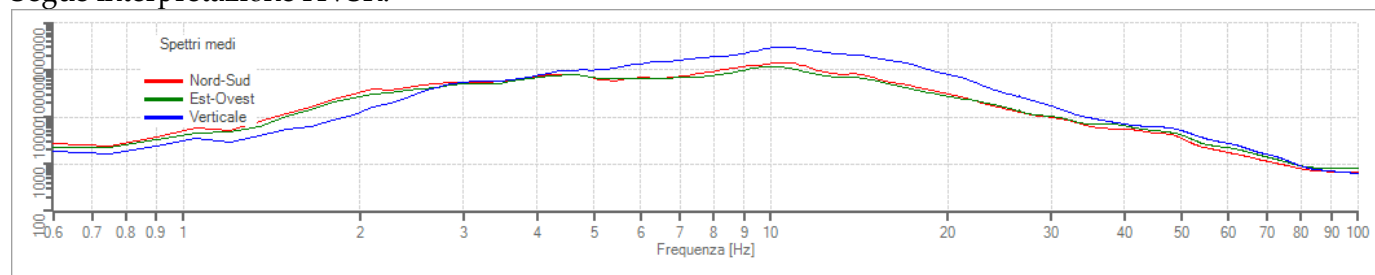


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

A seguito della selezione delle parti del tracciato da conservare, si è proceduto eseguendo per ciascuna frequenza dei rapporti spettrali una media sulle varie finestre, ottenendo il **rapporto spettrale H/V medio**, la cui **frequenza fondamentale f_0** (o frequenza di risonanza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso, che è più importante delle V_{s30} ai fini della definizione degli effetti di sito), rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. La frequenza di risonanza f_0 è legata alla profondità h di un rifrattore e alla velocità delle onde S dell'orizzonte superiore (attraversato dal raggio sismico incidente), dalla seguente formula semplificata del quarto dell'onda: $f_0 = V_s/4h$

Nella fase d'interpretazione dei dati è stata posta particolare attenzione al riconoscimento degli artefatti e alla valutazione del loro effetto sulla curva H/V attraverso l'analisi di quest'ultima congiuntamente al relativo spettro delle singole componenti.

Segue interpretazione HVSR.



Spettri medi nelle tre direzioni

Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	100.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

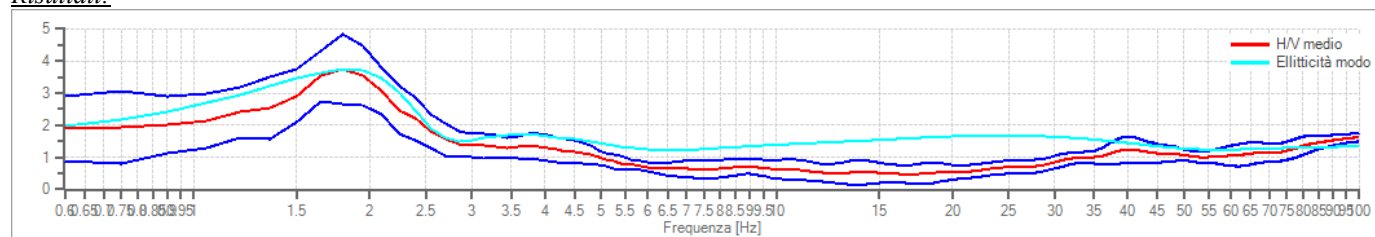


Grafico rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia



Ciascun picco netto nel grafico $H/V > 2$ ottenuto dalle fasi di trattamento sopra descritte, corrisponde a un possibile livello sismostratigrafico (riflettore) che presenta un contrasto d'impedenza rispetto al livello confinante; maggiore è il contrasto d'impedenza maggiore è l'ampiezza del picco amplificativo, sebbene la relazione tra le due variabili non sia lineare.

La **frequenza fondamentale** f_0 dove l'amplificazione del moto del suolo del terreno è massima (ampiezza H/V di 3,7) è:

Frequenza del picco del rapporto H/V:	1.80 Hz $\pm$ 0.29 Hz
---	---

La curva del rapporto spettrale H/V è risultata, in generale, coerente con le indicazioni SESAME, sia per quanto concerne gli aspetti generali della curva H/V (es. parametro della deviazione standard), sia per gli aspetti concernenti l'individuazione del picco di risonanza. I primi tre criteri riguardano l'affidabilità della curva nel suo insieme e la correttezza delle finestre temporali scelte per l'elaborazione. I sei criteri seguenti riguardano invece la chiarezza del picco, sia rispetto alle frequenze circostanti la f_0 che alla sua stabilità nei rapporti H/V delle singole finestre.

Verifiche SESAME:

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

Il picco è inoltre chiaro perché sono rispettati almeno cinque dei sei criteri previsti dalle indicazioni SESAME, ma anche dalla persistenza del segnale che l'ha generato, sia dal punto di vista direzionale (persistenza direzionale ben evidente), che dal punto di vista temporale (traccia del segnale sufficientemente osservabile per tutto il tempo di registrazione).

Dati riepilogativi:

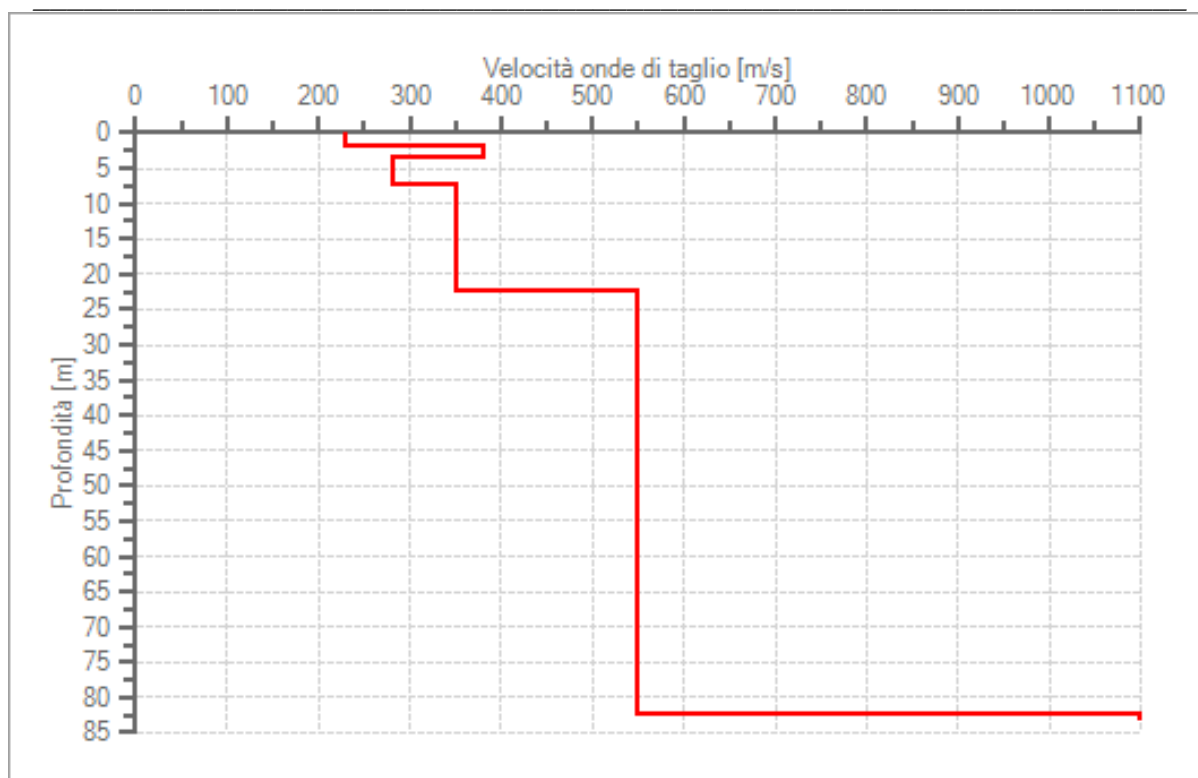
Numero strati:	6
Frequenza del picco dell'ellitticità:	1.80 Hz
Valore di disadattamento:	0.87

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.8	18	0.3	230
2	1.8	1.68	19	0.4	380
3	3.48	3.85	20	0.4	280
4	7.33	15	21	0.4	350
5	22.33	60	22	0.4	550
6	82.33	1	22	0.4	1100

Anche se potenzialmente esistono altri profili di V_s simili a quello trovato che siano in buon accordo con la curva sperimentale, le variazioni di V_s non comportano una sensibile variazione della V_{s30} e quindi la categoria sismica è la stessa. Da un punto di vista progettuale il profilo di V_s ottenuto è valido.

La misura di microtremore mostra come sia stato possibile raggiungere il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s).



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

5.5 Categoria di sottosuolo di fondazione.

Il modello geofisico o sismostratigrafico in termini di V_s è derivato dal *fit* congiunto della prova in array e della prova a stazione singola, ottenuto con un processo iterativo di affinamento dei dati acquisiti, attraverso una combinazione della procedura manuale e della procedura automatica, e invertiti vincolando la soluzione sui dati sperimentali medi ottenuti.

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

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

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

Profondità piano di posa [m]	3.30
$V_{s,eq}$ [m/sec] ($H=43.5$ m)	352.32
Categoria del suolo	C

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	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Per quanto riguarda la classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nella tabella 3.2.III delle NTC, la categoria topografica di riferimento è la T1, cui corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica **St** pari a **1**. Il rischio di amplificazione topografica è nullo.

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 $i > 30^\circ$

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

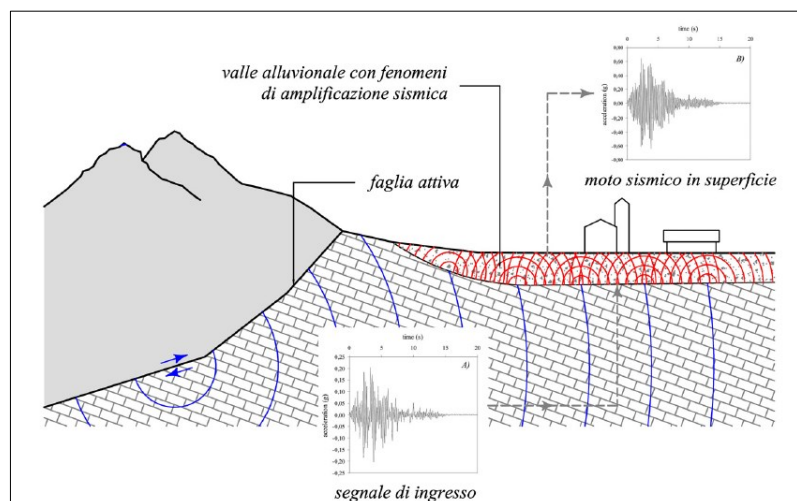
In base ai rilievi esperiti nei dintorni del sito, alle osservazioni effettuate nell'area e alle indicazioni della cartografia tecnica dell'area, di cui al § 6.2.1. delle NTC 2018, sono emersi i seguenti aspetti, da tenere in considerazione durante la progettazione della struttura di fondazione e punto di partenza per le elaborazioni successive.

- 1) il profilo litostratigrafico previsto è essenzialmente composto di un'unità geologico-tecnica che presenta natura litologica e comportamento variabile con la profondità, collegata all'eterogeneità dell'ambiente di deposizione lacustre, ascrivibile secondo il *Cancelli* all'Unità Geologica delle Terre di Copertura (terreni a comportamento pseudocoerente), comprendente, di sotto lo strato di terreno di riporto superficiale, strati di sabbia ghiaiosa e argillosa mediamente addensata;
- 2) il sito nel complesso è da ritenere stabile nei confronti di fenomeni gravitativi;
- 3) per quanto concerne la falda freatica nel sito oggetto dell'intervento la sua presenza è stata rilevata nelle indagini geognostiche e sismiche alla profondità di circa 1,5 mt.

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

7.0 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 2008) si esprime 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.



Partendo da una sorgente interna alla terra (terremoto), le onde sismiche allontanandosi dalla sorgente e viaggiando in un mezzo reale secondo fronti d'onda sferici, coinvolgono volumi di terreno sempre maggiori subendo continue modifiche delle loro caratteristiche. L'ampiezza delle vibrazioni, così come l'energia rilasciata, si riduce man mano che si allontanano dalla sorgente. Nei mezzi stratificati ed eterogenei segue leggi molto più complesse, con cambiamenti di velocità e direzione, e perdite d'energia a causa dei

processi di rifrazione e riflessione nel passaggio attraverso le superfici di contatto fra mezzi diversi. L'alterazione della direzione di propagazione implica un raddrizzamento della direzione di propagazione, dovuta ai continui contrasti d'impedenza tra i mezzi attraversati, tali che, in prossimità della superficie libera le onde incidenti possono essere considerate verticali e il moto prodotto in superficie orizzontale e generato prevalentemente da **onde S polarizzate nel piano orizzontale (onde S_H)** e onde di superficie quali le **onde di Rayleigh** e **onde di Love**. 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.

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. 14/01/2008, 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.

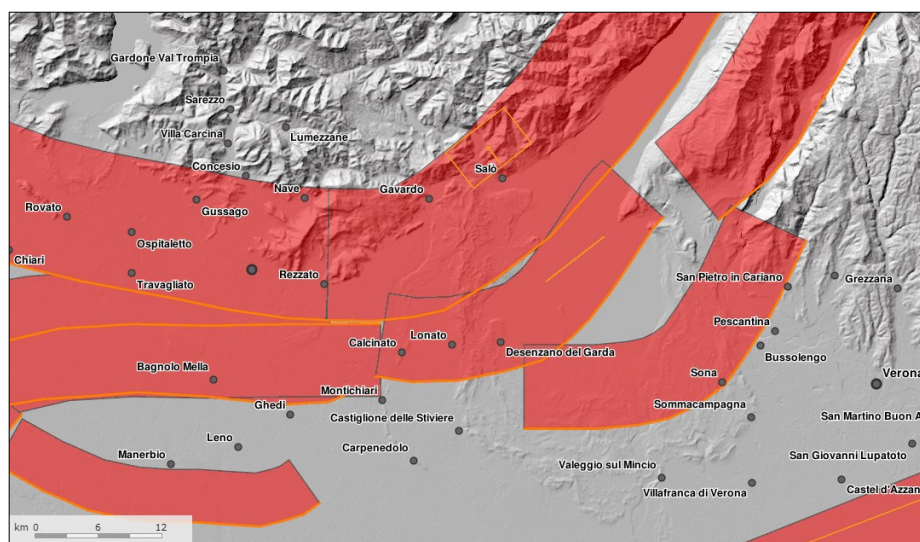
L'ultima **Zonazione Sismogenica** del territorio nazionale è nota con la semplice sigla "ZS9" (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata 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 della provincia di 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 $M_{w\max}$ 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).

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 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 come quelle del territorio in studio.

Come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome et alii, 2008), per i siti ricadenti in una zona sismogenetica (n° 906 della ZS9, parte più bassa delle province di Brescia e Verona) un metodo semplice e in favore di sicurezza è assumere come valore di magnitudo attesa M per la zona



il valore di $M_{w\max}$ 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 8 relativa alla ZS9 di appartenenza di colonna 1).

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 prossima figura, definito quale proiezione in superficie dei sistemi di una struttura sismogenetica ritenuta attiva,



caratterizzabile da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse) denominata “Sirmione” (ITCS113). Questa collega il sistema di spinta delle Giudicarie di NE-SW verso nord, con i fronti di spinta delle Alpi meridionali orientali di EW, seppelliti nella pianura. La “Sirmione” prevede una $M_{w\max}=6,0$, cioè la magnitudo massima che tutta la zona tinta in arancione, in ogni suo punto, può potenzialmente generare.

In conformità a tali modelli 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 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 Desenzano del Garda identificato con il codice ISTAT 3017067, ricade secondo la D.G.R. 11 luglio 2014 - n. 2129 in un’area da un valore di accelerazione massima a_g **0,161477g** 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.

8.0 STIMA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLO MONODIMENSIONALE.

L’area in studio rientra nel retino della Carta pericolosità sismica di 1° e 2° livello dello studio geologico comunale con obbligo di approfondimento di 3 livello (L.R. 12/05, (D.G.R. 9/2616/2011)). Con il **metodo di III livello** è possibile valutare puntualmente l’effettiva amplificazione stratigrafica sfruttando la soluzione dell’equazione differenziale che governa il problema della propagazione di onde di taglio in un solido alla Kelvin-Voigt ed un comportamento dei terreni secondo curve di decadimento per G e le curve di smorzamento. La procedura di calcolo utilizzata dal software **RSL III** della Geostru per la risposta sismica locale è di tipo lineare equivalente su un modello di n strati piani e paralleli di estensione orizzontale infinita su un semispazio corrispondente al bedrock. L’input sismico, rappresentato da uno o più accelerogrammi, viene applicato al bedrock e viene valutato il moto di propagazione delle onde in direzione perpendicolare alla superficie utilizzando l’equazione di equilibrio dinamico in funzione dello spostamento.

Si è 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) utilizzando lo specifico codice di calcolo monodimensionale. Questo si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

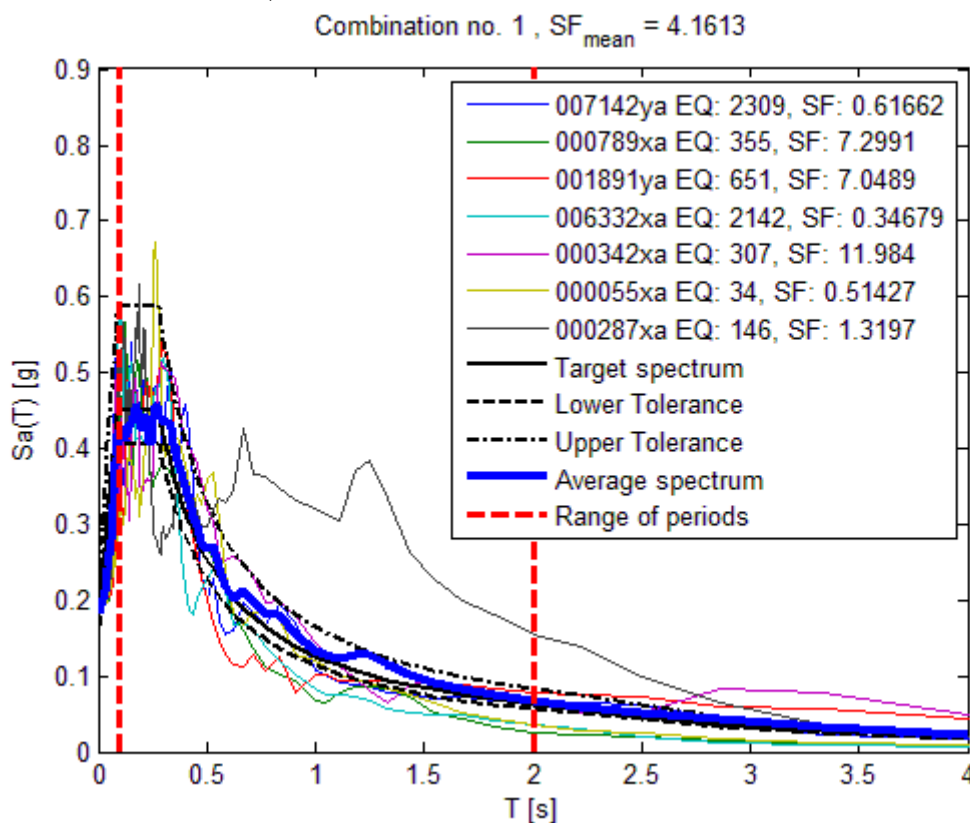
Scelta dell’input sismico.

Le nuove NTC18 al paragrafo 3.2.3.6, *Impiego di storie temporali del moto del terreno*, recitano: “.....Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%.....”, indicando quindi che le storie temporali devono avere uno spettro affidabile nel campo dei periodi propri della struttura in esame.

Per precedere il comportamento non lineare del suolo specifico dell’area indagata in occasione di

terremoti particolarmente significativi, in altre parole per medio/grandi livelli deformativi, sono stati quindi estratti sette accelerogrammi di input la cui media è aderente allo spettro target del progetto in esame, con un'opportuna scalatura al valore di accelerazione di base del sito a_g e determinazione dei dati di disaggregazione. La **disaggregazione** (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) con probabilità di eccedenza del 10% in 75 anni ($T_R = 712$ anni) è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (**terremoto di scenario**) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Tale procedimento di calcolo basato sullo SLV, come richiede la norma per una **classe d'uso III**, prevede che la struttura di progetto si danneggi anche in modo irreparabile ma non crolli.

Si è utilizzato il software **Rexel 3.5** (Iervolino et al., 2010, messo a punto dalla ReLuis di Napoli) che permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali spettro-compatibili per applicazioni ingegneristiche da più banche dati, quali la banca dati europea European Strong-motion Database ESD (Ambraseys et al., 2004), la banca dati italiana ITACA (Working Group ITACA 2010) e la banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011).



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 **substrato roccioso** 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/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	5.0	Lombardia - Limi sabbiosi	175.02	--	20.0	293.0	50.0
2	5.0	3.5	Lombardia - Argille limose	138.44	--	17.2	281.0	112.9
3	8.5	10.4	Lombardia - Ghiaie	265.98	--	21.3	350.0	185.6
4	18.9	60.0	Lombardia - Ghiaie	650.64	--	21.1	550.0	584.1
5	oo	--	Smorzamento costante	1565.75	0	24.0	800.0	922.8

Strato con falda:

1

Strato rilevamento accelerogramma:

5 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

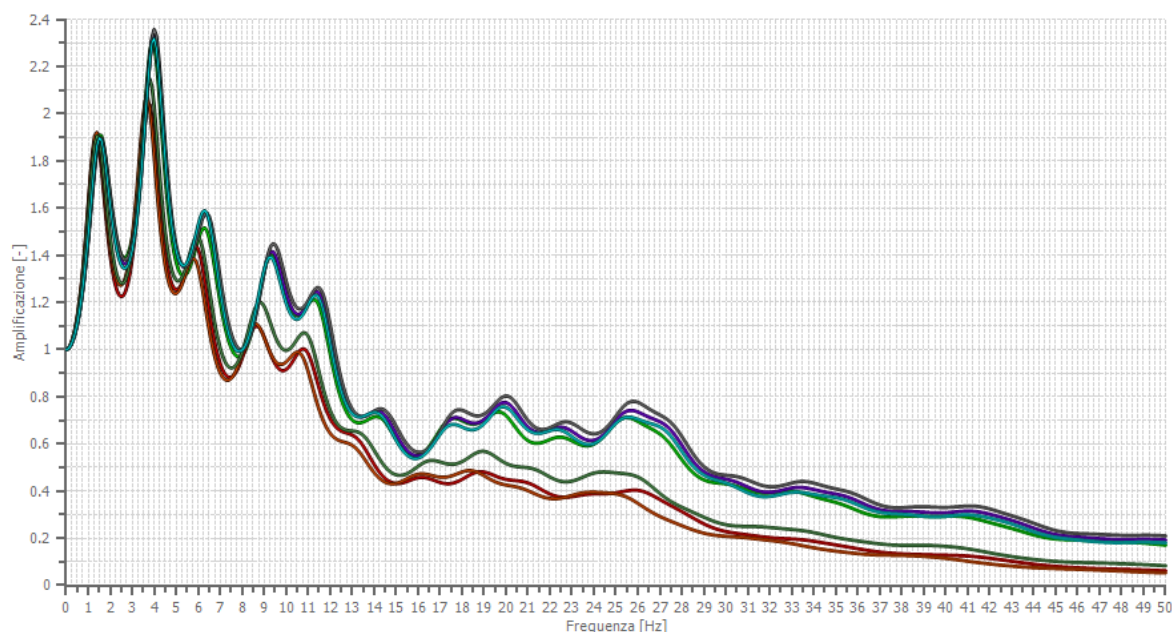
Massimo errore percentuale di convergenza

1.96 E-05

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: $F_0 = 1,6 \text{ Hz} \rightarrow T_0 = 0,63 \text{ sec}$.

Amplificazione



SOMPLAGO CENTRALE - USCITA GAL
000789xa_record

000055xa_record
006332xa_record

000287xa_record
007142ya_record

000342xa_record



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

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

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

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

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

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

Tai (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di input)	0.170 [s]
Tvi (periodo di massimo valore dello spettro di velocità di input)	0.300 [s]
Tao (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di output)	0.260 [s]
Tvo (periodo di massimo valore degli spettri di velocità di output)	0.860 [s]
Sami (valori medi degli spettri di input nell'intorno di T _{Ai})	3.697 [m/s ²]
Sv _{mi} (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di T _{Vi})	0.213 [m/s]
Samo (valori medi degli spettri di output nell'intorno di T _{Ao})	5.604 [m/s ²]
Sv _{mo} (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di T _{Vo})	0.330 [m/s]
FA	1.516 [-]
FV	1.549 [-]
TB	0.223 [s]
TC	0.268 [s]
SA(0) (valore dello spettro in 0s)	0.207 [g]
SA(TB) (valore dello spettro in TB)	0.711 [g]

Fattori di amplificazione FAC su intensità spettrale

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

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV_{(\xi=5\%)} dt$$

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.

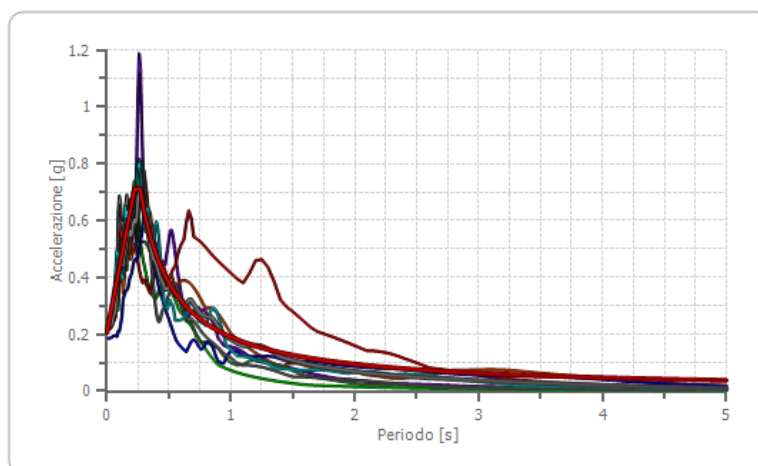


Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.059	0.088	0.200	1.486
0.500	1.500	0.203	0.321	0.333	1.582

Spettro normalizzato

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.2296	0.29	0.6573	0.57	0.3344	1.30	0.1466	3.00	0.0635
0.02	0.2522	0.30	0.6354	0.58	0.3287	1.35	0.1412	3.10	0.0615
0.03	0.2749	0.31	0.6149	0.60	0.3177	1.40	0.1362	3.20	0.0596
0.04	0.2975	0.32	0.5957	0.62	0.3075	1.45	0.1315	3.30	0.0578
0.05	0.3201	0.33	0.5777	0.64	0.2979	1.50	0.1271	3.40	0.0561
0.06	0.3427	0.34	0.5607	0.66	0.2888	1.55	0.1230	3.50	0.0545
0.07	0.3653	0.35	0.5446	0.68	0.2803	1.60	0.1191	3.60	0.0530
0.08	0.3879	0.36	0.5295	0.70	0.2723	1.65	0.1155	3.70	0.0515
0.09	0.4105	0.37	0.5152	0.72	0.2648	1.70	0.1121	3.80	0.0502
0.10	0.4331	0.38	0.5016	0.74	0.2576	1.75	0.1089	3.90	0.0489
0.11	0.4558	0.39	0.4888	0.76	0.2508	1.80	0.1059	4.00	0.0477
0.12	0.4784	0.40	0.4766	0.78	0.2444	1.85	0.1030	4.10	0.0465
0.13	0.5010	0.41	0.4649	0.80	0.2383	1.90	0.1003	4.20	0.0454
0.14	0.5236	0.42	0.4539	0.82	0.2325	1.95	0.0978	4.30	0.0443
0.15	0.5462	0.43	0.4433	0.84	0.2269	2.00	0.0953	4.40	0.0433
0.16	0.5688	0.44	0.4332	0.86	0.2217	2.05	0.0930	4.50	0.0424
0.17	0.5914	0.45	0.4236	0.88	0.2166	2.10	0.0908	4.60	0.0414
0.18	0.6141	0.46	0.4144	0.90	0.2118	2.15	0.0887	4.70	0.0406
0.19	0.6367	0.47	0.4056	0.92	0.2072	2.20	0.0866	4.80	0.0397
0.20	0.6593	0.48	0.3971	0.94	0.2028	2.25	0.0847	4.90	0.0389
0.21	0.6819	0.49	0.3890	0.96	0.1986	2.30	0.0829	5.00	0.0381
0.22	0.7045	0.50	0.3813	0.98	0.1945	2.35	0.0811		
0.23	0.7113	0.51	0.3738	1.00	0.1906	2.40	0.0794		
0.24	0.7113	0.52	0.3666	1.05	0.1815	2.50	0.0763		
0.25	0.7113	0.53	0.3597	1.10	0.1733	2.60	0.0733		
0.26	0.7113	0.54	0.3530	1.15	0.1658	2.70	0.0706		
0.27	0.7060	0.55	0.3466	1.20	0.1589	2.80	0.0681		
0.28	0.6808	0.56	0.3404	1.25	0.1525	2.90	0.0657		

Spettro di accelerazione



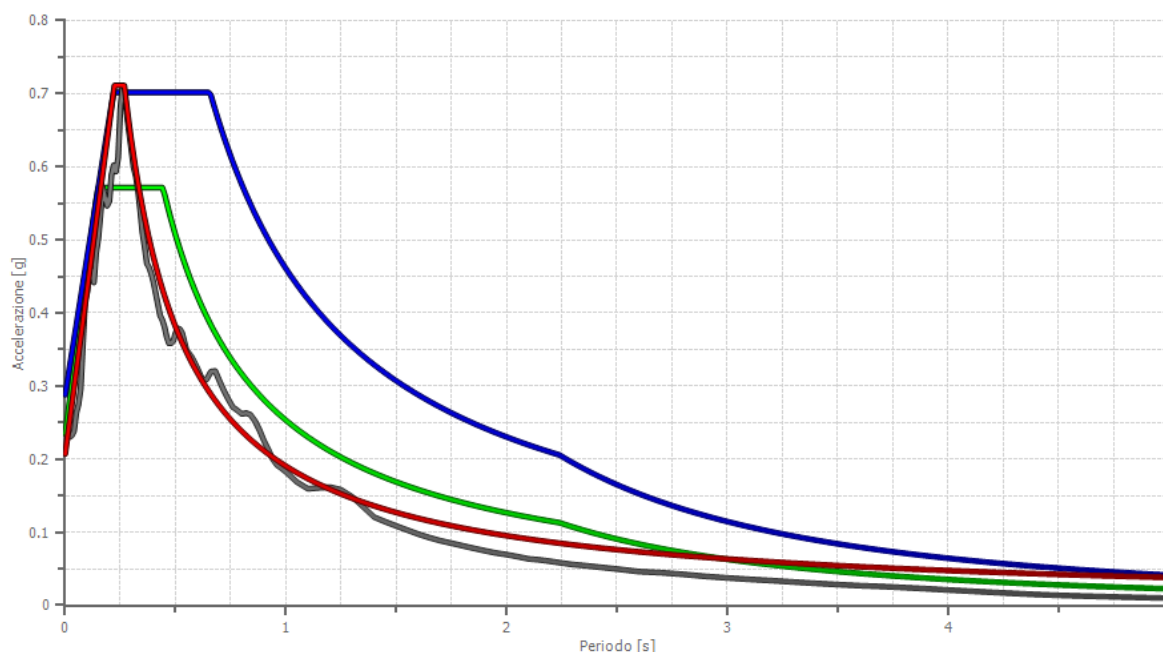
SOMPLAGO CENTRALE - USCITA GAL
 000287xa_record
 000789xa_record
 006332xa_record
 Spettro medio
 000055xa_record
 000342xa_record
 001891ya_record
 007142ya_record
 Spettro normalizzato



Confronto con gli spettri di normativa

	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardi a vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvaguardi a vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.042	0.056	0.160	0.207	0.042	0.056	0.160	0.207
Fo	2.531	2.492	2.437	2.484	2.531	2.492	2.437	2.484
Tc* [s]	0.232	0.247	0.276	0.278	0.232	0.247	0.276	0.278
Ss	1.50	1.50	1.47	1.39	1.80	1.80	1.80	1.63
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.70	1.67	1.61	1.60	2.60	2.52	2.38	2.37
TB [s]	0.132	0.137	0.148	0.148	0.201	0.207	0.219	0.220
TC [s]	0.395	0.411	0.443	0.445	0.602	0.621	0.657	0.659
TD [s]	1.768	1.824	2.240	2.428	1.768	1.824	2.240	2.428
Se(0) [g]	0.063	0.084	0.235	0.288	0.076	0.101	0.288	0.337
Se(TB) [g]	0.159	0.209	0.572	0.715	0.191	0.251	0.702	0.837

Spettro di normativa



Il confronto degli spettri di risposta elastici di normativa associati alle relative “Categorie di sottosuolo” con il corrispondente spettro di risposta elastico normalizzato (o standardizzato) ottenuto con l’analisi di RSL con un coefficiente di smorzamento critico ξ pari al 5% calcolato in “free field” e riferito a un tempo di ritorno di 712 anni, mostra come lo spettro medio delle accelerazioni dei sismi rimane all’interno dello spettro di normativa della **categoria di suolo D** (D.M. 17 gennaio 2018), che è sufficiente a tenere in considerazione i reali effetti di amplificazione litologica locale presenti al sito.



9.0 PERICOLOSITA' 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 geotecnica e geomorfologica. In generale, con il termine "pericolosità" s'intende "la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità occorra in un dato periodo e in una determinata area" (CNR – GNDICI, 1994), ed è quindi espressa in termini di probabilità annuale (o "tempo di ritorno"): vi sono quindi diverse "pericolosità".

Dal punto di vista idrologico l'area in studio è limitrofa a un'area potenzialmente interessata in occasione di eventi meteorici eccezionali da modeste esondazioni del torrente appartenente al RIM.

Il rischio può essere mitigato da attività immediatamente eseguibili che comprendono la cura della manutenzione dell'alveo del torrente e il controllo dell'efficienza delle fognature presenti nell'area urbanizzata e l'eliminazione delle cause di ostacolo al deflusso.

Dal punto di vista idrogeologico in condizioni meteorologiche estreme la falda freatica in equilibrio con livello delle acque del lago potrebbe risalire di quota; pertanto non si può escludere la possibile interferenza di questa falda con l'opera in progetto.

Si consiglia, pertanto, di isolare le fondazioni e le strutture entro terra da quelle soprastanti in modo da impedire la risalita dell'umidità. Tutti i locali a contatto con il terreno, per essere abitabili o agibili, dovranno avere adeguati **isolamenti** sia per quanto riguarda i pavimenti-vespai areati di altezza minima pari a cm. 60 - che le pareti contro terra - intercapedini o pareti impermeabilizzate.

Per il fabbricato di progetto dovranno essere anche eseguiti **sistemi di drenaggio** perimetralmente agli scavi per le fondazioni, prevedendo collettori in grado di recapitare opportunamente le acque d'infiltrazione intercettate.

La presenza di matrice fine (argilla sabbiosa e ghiaie argillose), anche se subordinata in percentuale allo scheletro granulare, ostacola la filtrazione. Pertanto questi terreni possono essere considerati terreni a permeabilità da bassa a molto bassa che ostacolano la filtrazione idrica in verticale e non appaiono di conseguenza idonei alla realizzazione di pozzi di dispersione.

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 0.1 mm e 0.3 mm e Coefficiente di Uniformità $C_u < 15$). Sono maggiormente suscettibili di liquefazione le sabbie pulite;
- contenuto in fini (*Fine Content*, FC) inferiore al 10% e Indice di plasticità $I_p < 7$;
- densità D_r bassa ($< 35-50\%$) $\Rightarrow$ Indice dei vuoti alto = comportamento contraente, $< N_c$ di cicli, $> \Delta u$, $>$ suscettibilità di liquefazione, $>$ deformazioni e cedimenti;
- 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 (metodo qualitativo di 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 perché di natura sabbiosa, immersi in falda, quindi possibile presenza di suoli di categoria S2, sono i paleocordoni di dune e paleoalvei di riempimento attivo;
- dalla profondità della linea di falda o Soggiacenza della Falda (SF). Juan e Elton nel 1991 hanno valutato la Suscettibilità alla Liquefazione (SL) di un sito in funzione della SL: SL Molto alta - SF $< 1,5$ mt; SL Alta - $1,5 \text{ mt} < SF < 3,0 \text{ mt}$; SL Media - $3,0 \text{ mt} < SF < 6,0 \text{ mt}$; SL Bassa - $6,0 \text{ mt} < SF < 10,0 \text{ mt}$; SL Molto Bassa - SF $> 10,0 \text{ mt}$. 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. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 mt dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata a una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. 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 $U_c > 3,5$.

I valori di magnitudo di riferimento riguardante la zona sismogenetica 906 e il valore di accelerazione sismica orizzontale locale calcolato sono superiori a quelli di esclusione indicati nel comma 2.

Pertanto si è continuato nella verifica delle situazioni di esclusione attinenti ai fattori geologico-geotecnici. In considerazione della tipologia dei terreni in esame e in ragione dei parametri geologici-geotecnici e geofisici determinati dei terreni non coesivi con il tetto della falda a profondità inferiori a 15,0 mt dal p.c., per le analisi di approfondimento degli effetti locali di liquefazione in caso di sisma si è valutata la **suscettibilità geofisica alla liquefazione**, giacché la velocità delle onde di taglio V_s è poco dipendente dal grado di saturazione, ma allo stesso tempo caratterizza (*proxi geotecnico*) l'appartenenza del sito a una



classe di suolo. In letteratura si riconosce come caratterizzante il limite superiore dei suoli suscettibili di liquefazione dal valore V_s di 225-250 m/s, con lo spessore dell'unità geofisicamente suscettibile alla liquefazione variabile tra i 3 mt e 16 mt, mentre il suo tetto è variabile tra 4 mt e 10 mt.

L'indagine di prospezione sismica svolta non ha rilevato di sotto al piano di appoggio della fondazione a circa 3,30 mt sismo-strati caratterizzati da V_s inferiore a 225-250 m/s.

Di conseguenza l'esecuzione dell'opera in programma in prossimità dei depositi in studio, rientra nel campo delle condizioni a esclusione di verifica alla liquefazione dei sedimenti presenti in sito ai sensi del § 7.11.3.4.2 delle NTC e secondo il primo grado dell'approfondimento 5 della Tabella 1 p.to 2.1 dell'Allegato 5 D.G.R. IX/2616.

10.0 PROBLEMATICHE GEOLOGICO TECNICHE DEL PROGETTO STRUTTURALE

Per l'edificazione si compiranno in primo luogo gli scavi di sbancamento, dopodiché si darà il via immediatamente e nel più breve tempo possibile alle fondazioni e alle strutture in elevazione. Le finiture interne, i drenaggi e il rinterro delle porzioni interrato completeranno l'opera.

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

La principale criticità geotecnica che può influenzare il "progetto strutturale" è la presenza localizzata di livelli di materiali fini che possono essere soggetti a notevoli cedimenti;

Gli **scavi**⁴ per la realizzazione del fabbricato si spingeranno nel deposito ghiaioso-argilloso per incassare le fondazioni in c.a. fino a una profondità di circa 3,3 mt dal p.c., nel substrato tale da conferire la necessaria sicurezza alle fondazioni in progetto e in nessun caso su strati di terreno allentato, nel qual caso questi dovranno essere sostituiti e bonificati con materiali idonei.

I fronti di scavo costituiti nelle sabbie ghiaiose e argillose col tempo tendono ad assumere angolo di scarpa prossimo a quello del loro angolo d'attrito drenato in conseguenza del dilavamento superficiale. Alla presenza di circolazione idrica ancorché limitata o anche occasionale, i fronti di scavo possono subire crolli improvvisi per scoscendimento lungo superfici di neoformazione. Tali fenomeni possono anche coinvolgere l'incolumità del personale all'opera al fondo degli scavi.

Per le pavimentazioni delle aree esterne è auspicabile una diminuzione dell'impermeabilizzazione sull'intero luogo, al fine di ridurre lo scorrimento idrico epidermico: sono da preferire le pavimentazioni inerbite rispetto a quelle non inerbite poiché consentono anche una migliore depurazione delle acque meteoriche.

⁴ 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 splattamento 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 DM 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 CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti, delle indagini geologiche eseguite nell'area in esame e delle conoscenze disponibili si evincono le seguenti conclusioni:

- il rilevamento di campagna eseguito ha evidenziato una topografia priva di processi geomorfici in atto e che non crea problemi di stabilità legati alla pendenza dei depositi;
- nella "Carta geologica e strutturale con elementi geomorfologici e del sistema idrografico" comunale è riportato per l'area in studio il **deposito I2: depositi costieri lacustri limoso argillosi, a tratti torbosi**. Sono depositi che contraddistinguono un livello d'innalzamento del lago. Sono rappresentati da limi e limi argillosi a tratti torbosi (I1), verso la fascia più propriamente perilacustre e, localmente verso monte, da ghiaie e sabbie (I2);
- nella "Carta delle fasce di tutela del reticolo idrico principale e minore" l'area non è interessata dalla presenza di elementi appartenenti al reticolo idrico principale o minore e alle relative fasce di rispetto (ex DGR 7/7868 del 25/1/2002 e DGR 7/13950 del 2003);
- nella "Carta dei Vincoli" comunale non sono riportati vincoli di polizia idraulica dovuti al reticolo idrografico minore, non sono riportati vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino, né vincoli di polizia idraulica né di salvaguardia delle captazioni a uso idropotabile;
- nella "Carta di sintesi" il lembo di territorio in oggetto è inserito in **aree con caratteristiche geotecniche localmente mediocri, falda affiorante con media vulnerabilità delle acque sotterranee**;
- nella tavola "Pericolosità sismica locale" dello Studio geologico comunale, nel territorio esaminato potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione sismica locale riferibili agli scenari di amplificazione litologica e geometrica **Z2b - zona con depositi granulari fini e Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi**. La tavola "Carta dei fattori di amplificazione derivante dall'applicazione del 2° livello" dello Studio geologico comunale riporta per l'area in studio dei valori di **Fa** di sito compresi tra **2,0 e 2,3**, maggiori di **Fa** di soglia (per edifici con periodo 0,1 s - 0,5 s);
- nella "Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" dello studio geologico comunale sono previste la **classe di fattibilità 3a - area con terreni a caratteristiche geotecniche scadenti e/o falda subaffiorante e condizioni pianeggianti o di versante debolmente acclive** e la **classe di fattibilità 2a - area a media vulnerabilità delle acque sotterranee (prima falda)**;
- per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni in situ sono stati eseguiti uno stendimento sismico a rifrazione per una tomografia sismica, uno di tipo Masw e un'acquisizione a stazione sismica singola di microtremiti HVSr. Ci si è avvalsi dello scavo esistente all'esterno dell'edificio per l'alloggiamento di alcuni sottoservizi per rilevare la stratigrafia dei depositi presenti in profondità;
- la prospezione sismica a rifrazione in onde P, eseguita utilizzando le informazioni geologiche di superficie integrate con dati di sottosuolo, restituisce:

- dalla superficie fino a profondità di 3,4÷3,6 mt (onde P) s'incontra un primo strato a media velocità ($V_p = 744.4$ m/sec) correlabile con un terreno di riporto costituito da sabbie ghiaiose mediamente addensate. Il deposito è attraversato da sottoservizi;

- segue un secondo sismo-strato (depositi detritici) localizzato prevalentemente nel settore cento-occidentale e caratterizzato da velocità $V_p > 1500,00$ m/sec, riferibile a sabbie e limi argillosi con ciottoli a spigoli vivi, sotto falda freatica. Le velocità V_p sono sovrastimate dalla presenza d'acqua di falda.

- lo stendimento sismico per l'indagine Masw ha rilevato i seguenti parametri:

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Vp/Vs	Tipo di terreno	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G ₀ [MPa]	E _{vdin} [MPa]	M ₀ [MPa]	Ed [MPa]	Q _{amm} [kg/cm ²]	K _w (Kg/cm ²)
1	1,8	1,8	235,5	840,1	3,6	Suolo soffice	16,8	0,46	99,64	269,04	298,93	431,8	1,1	1,3
2	3,5	1,7	400,0	832,7	2,1	Suolo intermedio	19,2	0,35	303,17	818,57	909,52	1313,8	2,2	4,5
3	8,5	5	239,3	586,2	2,4	Suolo soffice	16,9	0,40	113,22	317,02	528,36	679,3	1,2	1,3
4	11,98	3,48	281,8	690,2	2,4	Suolo soffice	17,6	0,40	165,79	464,22	773,7	994,8	1,4	1,9



- il modello sismico del sottosuolo ricavato, utilizzando il vincolo imposto dalle prove penetrometriche effettuate nei pressi della misura sismica, ha calcolato un valore di V_{s30} dal piano di posa delle fondazioni pari a **352.32 m/s**, la **categoria di sottosuolo** è la **C** se si tiene conto della sola media ponderata delle V_s ;
- la misura di microtremore mostra come sia stato possibile raggiungere il bedrock sismico ($V_s = 800$ m/s) solo a notevole profondità dal p.c.:

Colonna stratigrafica	Periodo proprio deposito T_0 [s]	Frequenza risonanza $F_0 = (1/T)$ [Hz]
Profondità Substrato Bedrock ($V_s > 800$ m/s) = 82.2 mt $V_{seq} = 352.32$ m/s	0,63	1,6

- per quanto riguarda la classificazione delle condizioni topografiche secondo quanto previsto nelle tabelle 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC, la superficie topografica può essere catalogata come appartenente alla **categoria T1**, cui corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica S_t pari a 1. Il rischio di amplificazione topografico è nullo;
- è stato condotto il 3° grado dell'approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – Amplificazione della Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616. Il confronto degli spettri di risposta elastici di normativa associati alle relative “Categorie di sottosuolo” con il corrispondente spettro di risposta elastico normalizzato (o standardizzato) ottenuto con l'analisi di RSL con un coefficiente di smorzamento critico ξ pari al 5% calcolato in “free field” e riferito a un tempo di ritorno di 712 anni, mostra come lo spettro medio delle accelerazioni dei sismi rimane all'interno dello spettro di normativa della **categoria di suolo D**, che è sufficiente a tenere in considerazione i reali effetti di amplificazione litologica locale presenti al sito. Altri valori sono:

Tai (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di input)	0.170 [s]
Tvi (periodo di massimo valore dello spettro di velocità di input)	0.300 [s]
Tao (periodo di massimo valore dello spettro di accelerazione di output)	0.260 [s]
Tvo (periodo di massimo valore degli spettri di velocità di output)	0.860 [s]
Sami (valori medi degli spettri di input nell'intorno di TAI)	3.697 [m/s ²]
Svmi (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di TVi)	0.213 [m/s]
Samo (valori medi degli spettri di output nell'intorno di TAO)	5.604 [m/s ²]
Svmo (valori medi degli spettri medi di pseudovelocità nell'intorno di TVo)	0.330 [m/s]
FA	1.516 [-]
FV	1.549 [-]
TB	0.223 [s]
TC	0.268 [s]
SA(0) (valore dello spettro in 0s)	0.207 [g]
SA(TB) (valore dello spettro in TB)	0.711 [g]

- si omette la verifica a liquefazione dei sedimenti presenti in sito ai sensi del comma 4 del § 7.11.3.4.2 delle NTC e secondo il primo grado dell'approfondimento 5 della Tabella 1 p.to 2.1 dell'Allegato 5 D.G.R. IX/2616.
- le strutture poggianti sul suolo dovranno essere dotate d'idonea guaina impermeabile atta a impedire le infiltrazioni di acqua e/o la risalita dell'umidità;
- è indispensabile impermeabilizzare i muri perimetrali di fondazione al fine di evitare contatti con la falda freatica posta in prossimità del piano di posa delle fondazioni;
- le acque chiare di precipitazione raccolte dai tetti e dalle aree impermeabili e quelle degli scarichi domestici possono essere smaltite nella fognatura pubblica.

I risultati resi nella presente relazione geologica si basano soltanto sui dati raccolti e sulle assunzioni fatte. 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 del lavoro, 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.

Il presente elaborato, compilato in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17 gennaio 2018 *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"*, permette di dichiarare che l'implementazione dell'intervento antropico in progetto è congruente con i contenuti (classificazioni e norme) dello studio geologico comunale (che presenta disposizioni a corredo del PGT prescrittive e prevalenti per l'attuazione delle previsioni degli ambiti regolamentati dalle NTA), cioè compatibile con le fattibilità geologiche assegnate considerata la relativa normativa d'uso, così come individuata cartograficamente nella Carta della Fattibilità.

Per ciò che riguarda la nuova procedura di "deposito del progetto" (zona sismica 2), si allega la modulistica riportante i dati anagrafici del sottoscritto, l'allegato 6 di dichiarazione/asseverazione del Geologo, firmato digitalmente per la gestione informatica della pratica sul portale Muta della Regione Lombardia.

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

.....



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).
- 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*.
- Mulargia Francesco, Silvia Castellaro e Piermaria Luigi Rossi. *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica*.
- Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic charatceristics 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).

Dispense ed appunti forniti nei corsi di A.P.C. (Aggiornamento Professionale Continuo):

- "L'uso e la tutela delle acque delle acque sotterranee: obiettivi e strumenti" - Ordine dei Geologi della Lombardia (2007);
- "Regolamento Regionale 24.03.2006 -n° 2 Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque per uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua (attuazione art. 52 L.R. 26/2003). Considerazioni – Approfondimenti". Ordine dei Geologi della Lombardia (2007);
- "Criteri e metodi per la progettazione, installazione, gestione di un sistema di monitoraggio di un dissesto finalizzato alla definizione del modello geologico" - Ordine dei Geologi della Lombardia (2008);
- "Pericolosità al ritiro/rigonfiamento delle terre coesive" - Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna (2008);
- "Difesa dei versanti e mitigazione del rischio idrogeologico in ambiente montano con tecniche a basso impatto ambientale. Soluzioni, nuove tecnologie ed approccio progettuale" - Ordine dei Geologi della Lombardia (2009);
- "Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC)" – Ordine dei Geologi della Lombardia (2009);
- "Ragioni della sismologia e della sismica a confronto". Ordine dei Geologi del Veneto (2010);
- "Risposta sismica locale: metodologie e casi applicativi alla luce anche del D.M. 14/01/2008" - Associazione dei Geologi della Provincia di Vicenza (I e II giornata 2010);
- "Caratterizzazione sismica del sottosuolo ai fini geotecnici" – Ordine dei Geologi del Veneto (2011).
- "Terre e rocce da scavo: novità e valutazioni" - Ordine dei Geologi del Veneto (2011).
- "Paesaggio: tutela, valorizzazione, riqualificazione" – Ordine dei Geologi della Lombardia (2012).
- "Modellazione 3D applicata all'ingegneria geotecnica e alla geologia" – Ordine dei Geologi del Veneto (2012).
- "Progettazione degli impianti di condizionamento climatico con sonde geotermiche a circuito chiuso" - Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
- "Gestione integrata delle risorse idriche sotterranee e ricarica artificiale delle falde" - Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
- Workshop IAEG (2014) "Giornata sull'Engineering Geology in Italia" - Ordine dei Geologi della Lombardia (2014).
- "Eurogeologo e valorizzazione delle pietre naturali. Nuove opportunità di lavoro". Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
- "Effetti sismici locali e modelli geotecnici". Ordine dei Geologi della Lombardia (2014).



-
- *"Il dissesto idrogeologico: dalla conoscenza del territorio alla sua protezione"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2015).
 - *"Le responsabilità penali in materia di rischio idrogeologico"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2015).
 - *"Microzonazione sismica e C.L.E. (Condizione Limite per l'Emergenza)."* Ordine dei Geologi della Lombardia (2015).
 - *"Procedure operative per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie nell'ambito della microzonazione sismica in aree di pianura"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2016).
 - *"La nuova normativa regionale in materia di costruzioni in zona sismica"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2016). Ordine dei Geologi della Lombardia (2016).
 - *"La nuova normativa sismica regionale"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2016).
 - *"Le libere professioni tecniche. Esercizio, deontologia, compensi e gestione del cliente"*. Ordine degli Ingegneri della provincia di Brescia (2016).
 - *"Caratterizzazione dei suoli con varie tecniche attive e passive"*. Ordine dei Geologi Regione Umbria (2016).
 - *"Fronti di scavo e rilevati in terra"*. Ordine dei Geologi della Regione Veneto (2017).
 - *"Gli studi geologici, geotecnici e sismici ai sensi della DGR 5001/2016"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2017).
 - *"Protezione civile, rischi naturali. normativa, gestione, comunicazione"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2017).
 - *"Geotecnologie ambientali applicate alle strutture"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2017).
 - *"Le analisi di Risposta Sismica Locale per la valutazione dell'azione sismica nella pianificazione urbanistica e nella progettazione edilizia. Differenze e analogie."* Fondazione Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi (2017).
 - *"Difesa del suolo. Misure e interventi mitigazione rischio idrogeologico"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2018).