

Comune di Quincinetto - Città Metropolitana di Torino - Regione Piemonte

Committente

Comune di Quincinetto

Progetto

***LAVORI DI MIGLIORAMENTO SISMICO
DELLA SCUOLA PRIMARIA "COMM. BUAT ALBIANA"***

PROGETTO ESECUTIVO

Elaborato

Relazione geologica e di caratterizzazione sismica del sito

Immobile

Via Comm. Buat Albiana, CAP 10010 (TO)

Foglio 10, Particella 934

STUDIO TECNICO ASSOCIATO START

Sede legale via J. Durandi, 2 - 10144 Torino

P.IVA 11918080018



Responsabile del coordinamento della progettazione

arch. Francesca Puzzello

Progettisti responsabili delle prestazioni specialistiche

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

arch. Francesca Puzzello

PROGETTAZIONE STRUTTURALE

ing. Fabio Sessa

PROGETTAZIONE IMPIANTI

ing. Fabio Sessa

STUDIO GEOLOGICO

dott. geol. Paolo Vittorio Gelci

**COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE**

geom. Giandomenico Pison

Consulenze specialistiche:

arch. Alberto Orrù

arch. Paola Ciaschetti

Data

OTTOBRE 2024

Cod.

B66

Id.Inc.

Pstr

Fase

E

Id. Elaborato

RT-02

N.

03

Sommario

1 – PREMESSA	2
2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	2
3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
3.1 – Analisi geologica e idrogeologica di dettaglio	3
3.2 – Caratteristiche geotecniche dei terreni	6
4 – CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRENO	7
4.1 – Pericolosità sismica di base	9
4.1.1 – Vita nominale, classi d’uso, coefficiente d’uso, periodo di riferimento e di ritorno	11
4.2 – Prove sismiche tipo MASW e HVSR	12
4.2.1 – Vs e categoria di sottosuolo	12
4.2.2 – Frequenza fondamentale e periodo proprio del terreno	16
4.3 – Pericolosità sismica di sito	18
5 – RISULTATI DELLO STUDIO E CONCLUSIONI	23
ALLEGATI	24
ALLEGATO 1 – UBICAZIONE PROVE ESEGUITE	24
ALLEGATO 2 – ELABORATI PROVA SISMICA MASW	25

1 – PREMESSA

Il progetto in studio prevede il miglioramento sismico dell'immobile comunale che costituisce la scuola primaria "Comm. Buat Albiana" sita nel centro di Quincinetto (TO) in via Comm. Buat Albiana 11.

La presente relazione, redatta su specifico incarico da parte del Comune di Quincinetto, ha lo scopo di determinare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del sito necessarie per il progetto di miglioramento sismico dell'immobile.

In quest'ottica è stata condotta una campagna geofisica costituita da acquisizioni sismiche tipo MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), Tipo HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) e con la tecnica della rifrazione necessarie per la modellazione sismica del sito in studio. Lo stendimento sismico di 50 m di lunghezza e l'acquisizione HVSR sono stati posizionati nel prato a nord della scuola come da planimetria allegata in calce.

La presente relazione geologica è stata redatta con riferimento ai disposti del D.M. 17/01/2018 e i dettami del PRG vigente nel Comune di Quincinetto (TO).

2 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio è situata nel centro storico del Comune di Quincinetto ad una quota di circa 288 m s.l.m.; a livello geomorfologico è impostata in sponda orografica destra del fiume Dora Baltea in un'area pianeggiante di raccordo tra il versante e il fiume che scorre a circa 400 m a est. Inoltre l'area è situata in posizione mediale tra la conoide del torrente Renanchio a sud e quella del torrente Granera a nord.

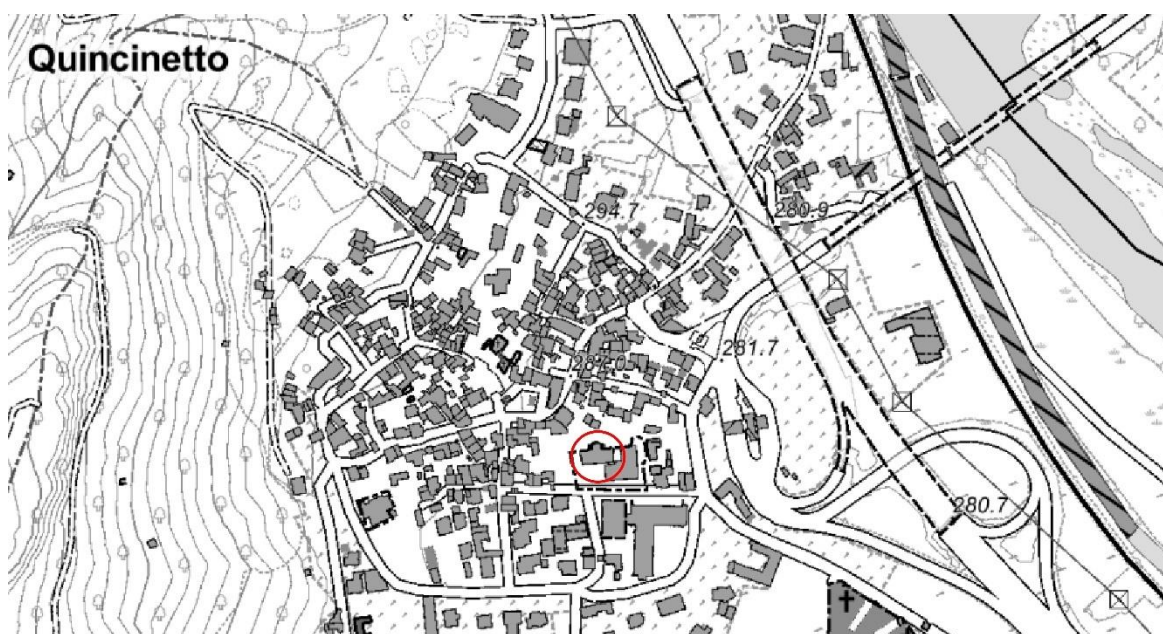


Fig.1 - Inquadramento dell'area in studio su base CTR

3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Quincinetto è impostato su un **substrato roccioso** appartenente alla “Zona Sesia-Lanzo” degli autori ed è costituita da un basamento metamorfico riferibile al Complesso dei Micascisti eclogitici.

I litotipi presenti nel settore comunale sono i seguenti:

- Micascisti eclogitici
- Metagranitoidi
- Metabasiti
- Marmi

Dato che il territorio comunale è compreso tra le vette dei versanti e il fondovalle, la copertura quaternaria è rappresentata dalle principali facies appartenenti al tipico ambiente montano alpino tutte costituite esclusivamente da depositi sciolti.

Lungo i versanti sono presenti depositi prettamente glaciali e gravitativi che ricoprono il substrato roccioso affiorante alternandosi ad esso. Sono depositi totalmente eterogenei costituiti sia da materiale molto fine che da blocchi e trovanti in matrice fine.

Il fondovalle, invece, risulta totalmente colmato dai sedimenti di origine torrentizia e fluviale che nel tempo si sono depositati durante i periodi di esondazione.

I conoidi maggiori sono costituiti dai torrenti Renanchio e Granero.

La maggior parte dei depositi del fondovalle sono costituiti dai depositi fluviali del fiume Dora Baltea che nei cicli di esondazione ha depositato direttamente sul substrato roccioso una notevole quantità di materiale; lo spessore minimo di questi sedimenti è ipotizzabile in una quindicina di metri (Hydrodata, 1999).

L'area in studio è impostata su tali sedimenti che sono prettamente costituiti da ghiaie eterometriche con abbondanti ciottoli e blocchi pluridecimetrici in una matrice sabbiosa debolmente limosa; procedendo dal fiume verso i versanti aumenta la frazione fine soprattutto nel livello superficiale.

3.1 – Analisi geologica e idrogeologica di dettaglio

Il Foglio N° 56 “Torino” alla scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia definisce i terreni sede del progetto come:



Fig. 2 - Stralcio della C.G.I. e legenda - Foglio n° 42 Ivrea

La "Carta Geologica" allegata al PRGC vigente descrive i terreni come: "Depositi torrentizi".

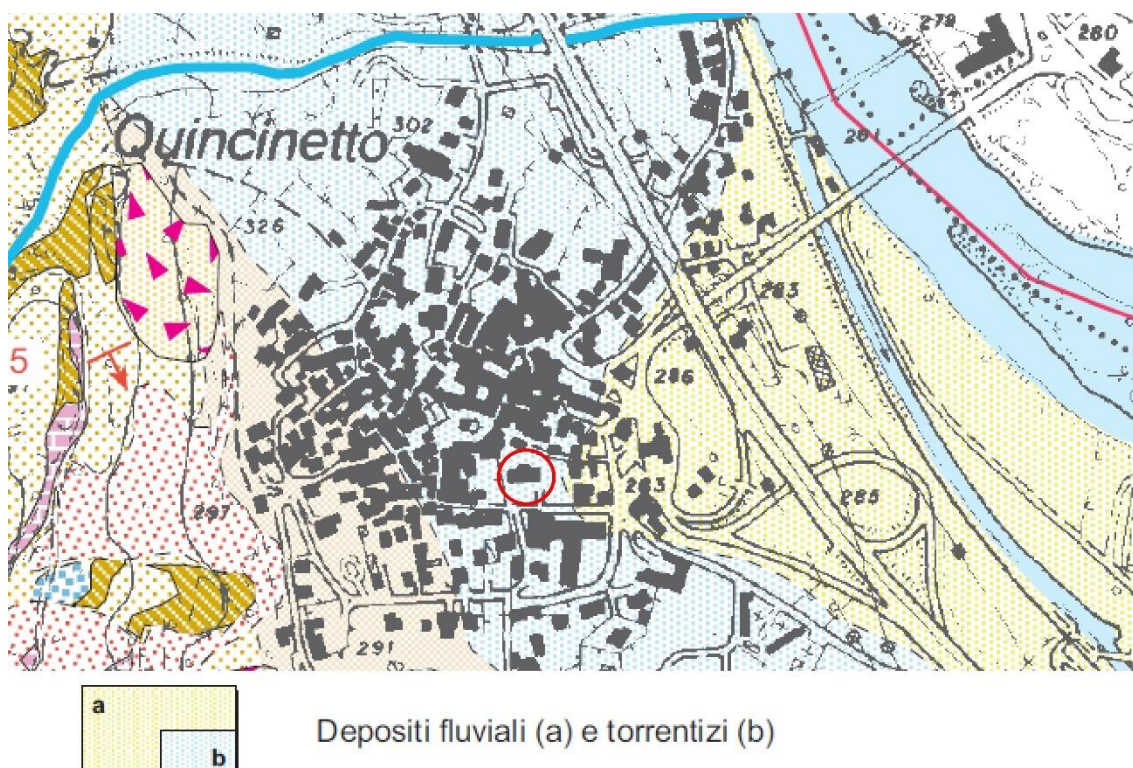


Fig. 3 – Stralcio della Carta Geologica e Legenda allegata al PRGC vigente nel Comune di Quincinetto

La quasi totalità dell'abitato è impostato su depositi alluvionali prevalentemente torrentizi e in parti fluviali deposti negli anni dai torrenti Renanchio e Granero e dal fiume Dora Baltea.

I depositi alluvionali caratteristici degli ambienti di conoide sono principalmente costituiti da ciottoli di dimensioni variabili immersi in una matrice grossolana composta di ghiaia e sabbia con poco limo.

Nel gennaio 2005 è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica con penetrometro leggero da parte del Geol. Davide Bolognini per la realizzazione di un ampliamento dello stabile. Data la natura grossolana del terreno la prova è stata interrotta per rifiuto alla quota di -0,90 m dal p.c.

Secondo la letteratura geologica e le caratteristiche litostratigrafiche locali, al di sotto di una coltre di copertura poco potente sono presenti depositi grossolani di natura alluvionale.

Al fine di indagare a profondità maggiori il terreno e verificare se tali depositi risultino omogenei, durante la campagna sismica è stata eseguita una prova sismica a rifrazione che permette di individuare, tramite l'uso delle onde P, contatti litologici fra terreni con densità e litologia diverse ed effettuare una tomografia sismica del terreno.

I risultati riassunti nel grafico a seguire hanno evidenziato che al di sotto di circa 1 m di profondità a monte e circa 1,30 m a valle sono presenti depositi addensati e omogenei fino alla profondità di circa 15 m (la massima profondità indagabile con uno stendimento di 48 m).

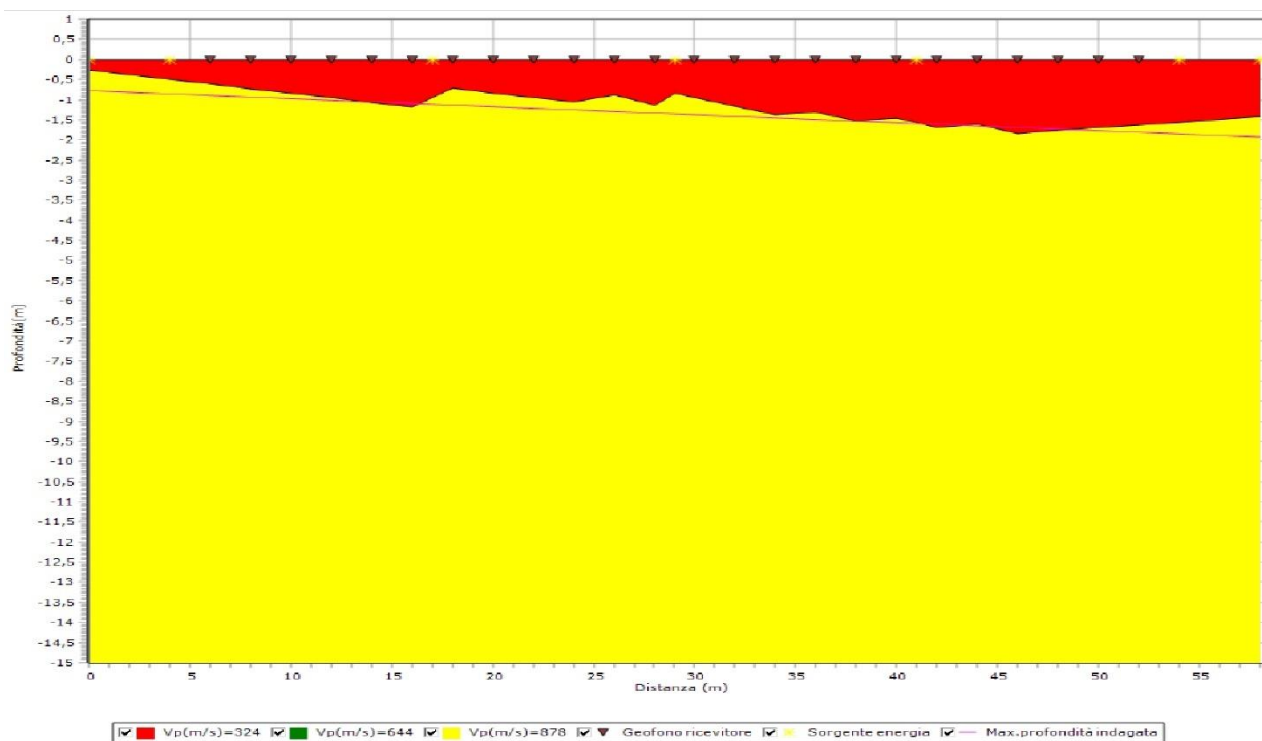


Fig. 4 – Stratigrafie dei carotaggi effettuati ad est dell'area

Anche la tomografia sismica ha evidenziato una coltre di massimo 1,30 m di potenza al di sotto della quale i materiali risultano addensati e omogenei con velocità tipiche dei depositi alluvionali grossolani.

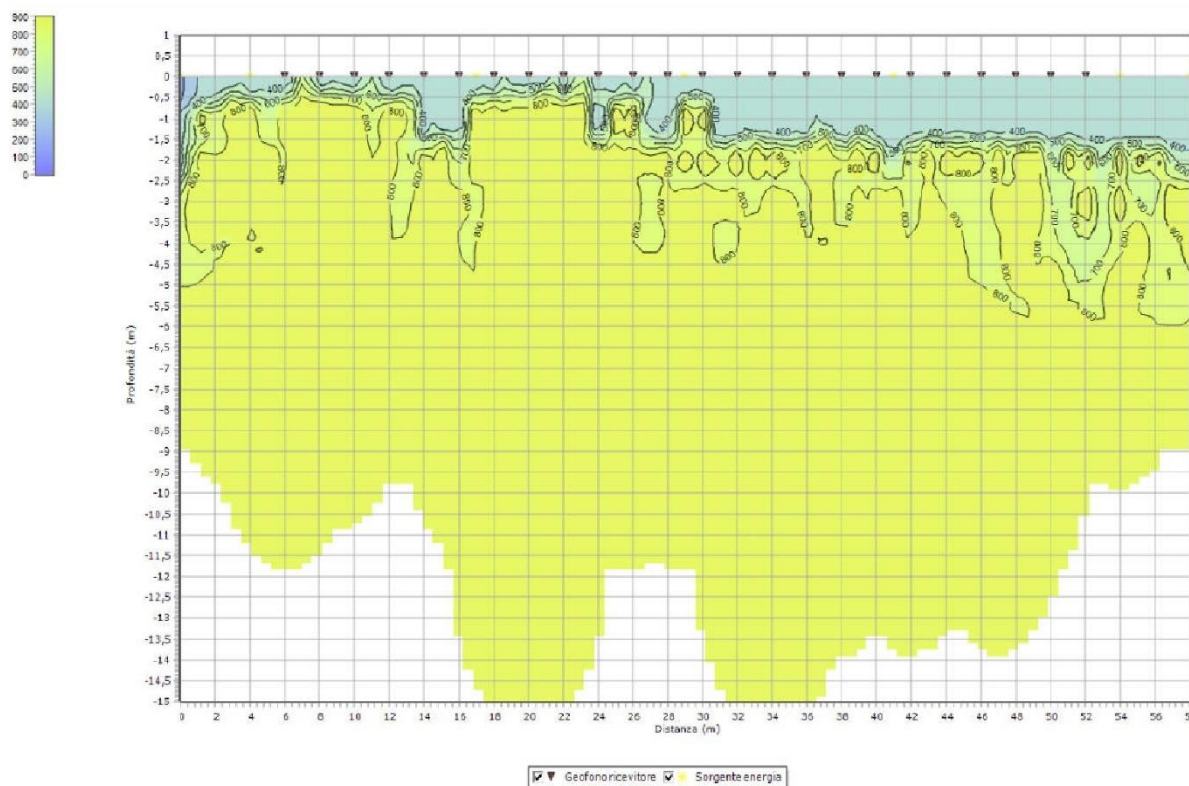


Fig. 5 – Sezione tomografica

Le Vs registrate dalla prova MASW indicano velocità che aumentano regolarmente con l'approfondimento fino alla profondità di 30 m (profondità massima indagabile con uno stendimento di 48 m) ad indicare l'aumento dell'addensamento con la profondità.

Non sono disponibili pozzi che permettano di determinare con precisione la soggiacenza della falda superficiale che tuttavia l'analisi di dati pregressi e le osservazioni effettuate sullo stato dei piani interrati ne possono escludere la sua presenza nei primi 4/5 m di profondità. Tuttavia considerando la vicinanza dei rii Renanchio e Granera e della Dora Baltea non si può escludere che, a seguito di precipitazioni prolungate, l'aumento delle loro portate alimenti maggiormente la falda provocandone un innalzamento del livello.

3.2 – Caratteristiche geotecniche dei terreni

Da quanto sopra esposto si evince che le fondazioni dell'edificio oggetto di miglioramento sismico sono totalmente immerse nei depositi alluvionali costituiti da materiale ciottoloso ben classato e arrotondato immerso in ghiaie con matrice sabbiosa.

Dalla prova penetrometrica eseguita nel 2005, dalla letteratura geologica e dalla diretta esperienza dello Scrivente in ambiti analoghi, i terreni alluvionali possono essere caratterizzati in modo cautelativo con i seguenti parametri geotecnici caratteristici:

ϕ (angolo di resistenza al taglio) = 32°

c (coesione) = 0 Kn/m^2

φ (peso di volume terreno) = 19 Kn/m^3

φ (peso di volume saturo) = 20 Kn/m^3

4 – CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRENO

Per classificazione sismica si intende un sistema di normative che determina in che modo e dove gli edifici di nuova costruzione vanno costruiti secondo criteri antisismici, in modo cioè da resistere senza crollare alle forze sismiche. Il rischio sismico è definibile come l'incrocio tra dati di pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata), di vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni) e di esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio).

Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire a chi costruisce un edificio nuovo un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale gli edifici vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza crollare. Un edificio antisismico può quindi danneggiarsi in caso di terremoto (anzi, nel caso di certe tipologie edilizie l'edificio "deve" danneggiarsi, poiché tale danneggiamento aiuta a scaricare l'energia sismica e a impedire il crollo).

Detti criteri sono stati stabiliti dall'allegato al recente D.M. 14 gennaio 2008 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI" come già la precedente O.P.C.M. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" nella quale venivano individuate 4 zone sulla base dei 4 valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico indicati nelle Norme Tecniche (allegati 2, 3, 4).

Si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Evidenziata la zona in cui ricade il Comune di Quincinetto.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [Ag/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [Ag/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Nella “Mappa della pericolosità sismica” dell’I.N.G.V. a seguire, elaborata con modello probabilistico sismotettonico, il comune di Quincinetto ricade in una zona con accelerazione orizzontale attesa medio-bassa. Per un sisma con un periodo di ritorno di 475 anni e 10% di probabilità di superamento, questo valore è generalmente compreso nell’intervallo 0,025-0,050 Ag/g (accelerazione su bedrock).

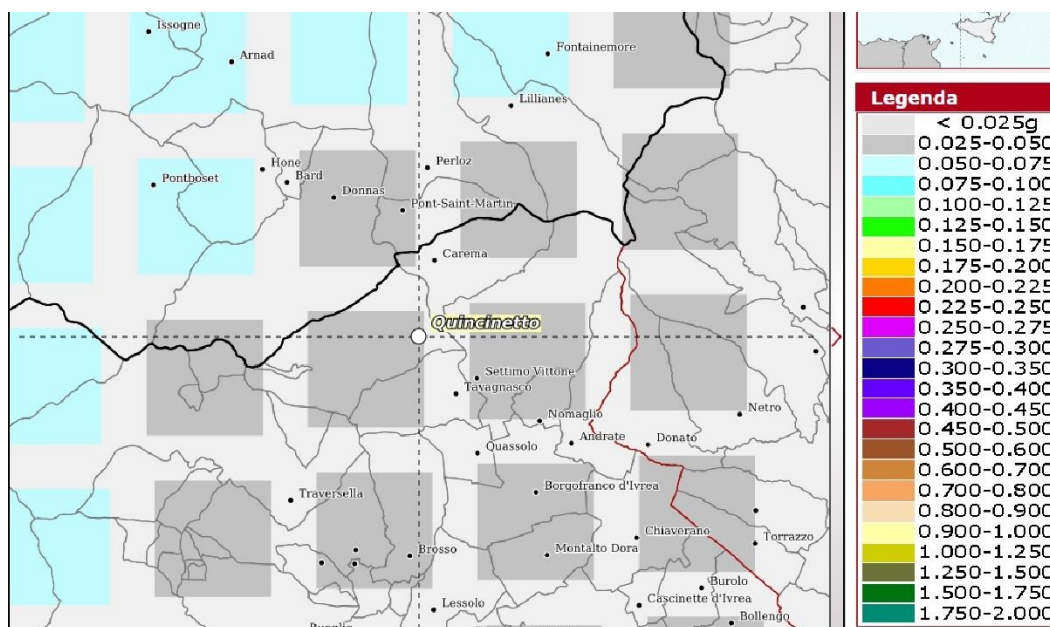


Fig. 6 – Stralcio della “Mappa della pericolosità sismica” dell’I.N.G.V

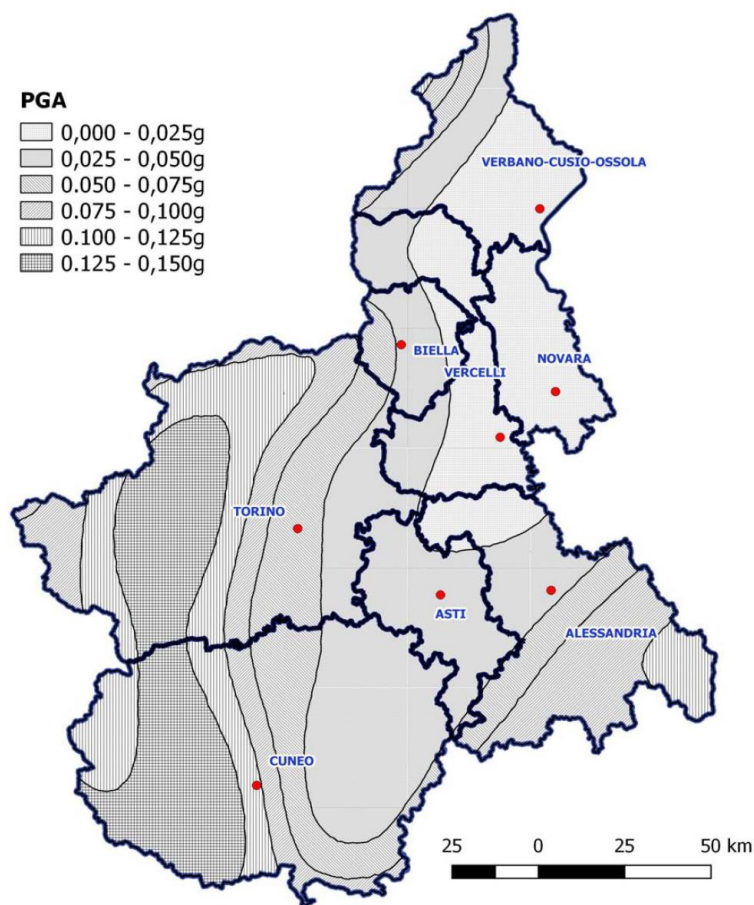


Fig. 7 – Classificazione sismica del territorio regionale – Regione Piemonte

Il territorio regionale piemontese è sede di attività sismica, modesta come intensità, ma notevole come frequenza; i terremoti si manifestano generalmente lungo due direttrici:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità;
- l'altra più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una terza direttrice, infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato.

4.1 – Pericolosità sismica di base

L'azione sismica è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (Categoria A nelle NTC). La pericolosità sismica di base di un determinato sito costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e viene successivamente

variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali litologiche e/o stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie, che rappresentano una risposta sismica locale.

Il Comune di Quincinetto ricade in zona sismica 3.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

L'identificazione di questa categoria va di norma veniva eseguita in base ai valori della cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. A partire dal 22 marzo 2018 con l'ingresso delle NTC 2018 viene anche introdotta la VS equivalente ($V_{s,eq}$) inserita nelle NTC 2018 e definita dalla seguente relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad \text{NTC 2018}$$

h_i	spessore dell'i-esimo strato
$V_{s,i}$	velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato
N	numero di strati
H	profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia e terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Si tratta in pratica di una *variazione sul tema* rispetto al parametro V_{s30} (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Viene eliminata la possibilità di ricavare la categoria di sottosuolo mediante $NSPT_{30}$ o Cu_{30} .

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Le nuove "categorie di sottosuolo" secondo il Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, sono:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità di onde di taglio superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità compresi fra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine di media consistenza, con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 180 e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine 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 compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

4.1.1 – Vita nominale, classi d'uso, coefficiente d'uso, periodo di riferimento e di ritorno

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: IV

Coefficiente d'uso (Cu): 2

Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	45,5622673	[°]
Longitudine (WGS84):	7,8081574	[°]
Latitudine (ED50):	45,5632095	[°]
Longitudine (ED50):	7,8092494	[°]

Punto d'indagine – Parametri sismici

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,026	2,620	0,198
SLD	101	0,031	2,666	0,221
SLV	949	0,056	2,798	0,299
SLC	1950	0,065	2,882	0,314

4.2 – Prove sismiche tipo MASW e HVSR

Per il caso in studio, al fine di determinare le caratteristiche sismiche del sito è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche costituita da una prova sismica attiva tipo MASW e acquisizioni sismiche passive tipo HVSR.

La prova sismica in sito attiva tipo MASW è stata eseguita dallo Scrivente il 01/10/2024 nel prato della scuola a nord con uno stendimento della lunghezza di 50 m (vedi planimetria allegata).

Le acquisizioni di sismica passiva tipo HVSR sono state eseguite dallo scrivente nel settore a monte (vedi planimetria allegata).

4.2.1 – Vs e categoria di sottosuolo**Indagine MASW**

Le acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) sono utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio). Tale metodologia sismica permette, tramite l'acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di Rayleigh generate da masse battenti, di generare un profilo Vs in funzione della profondità. Per ottenere un profilo Vs è necessario produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. L'inversione della curva di dispersione viene successivamente realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura dei minimi quadrati. Il processing dei dati acquisiti è stato eseguito con software EasyMASW della Geostru. L'intero processo comprende tre passi successivi: acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali ("ground roll") mediante idonea strumentazione sismica; costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);

inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs che descrive la variazione di Vs con la profondità.

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 (VS). Nel dataset si evidenzia il modo fondamentale delle onde di Rayleigh ad alcune tracce del primo e del secondo modo superiore.

Dall'interpretazione della prova si evince che le velocità già superiori a 300 m/s dal p.c. aumentano con la profondità. fino a superare abbondantemente gli 800 m/s dalla profondità di 7,21 m.

La Vseq è risultata 486,71 m/s che corrisponde alla Categoria Sismica di sottosuolo B.

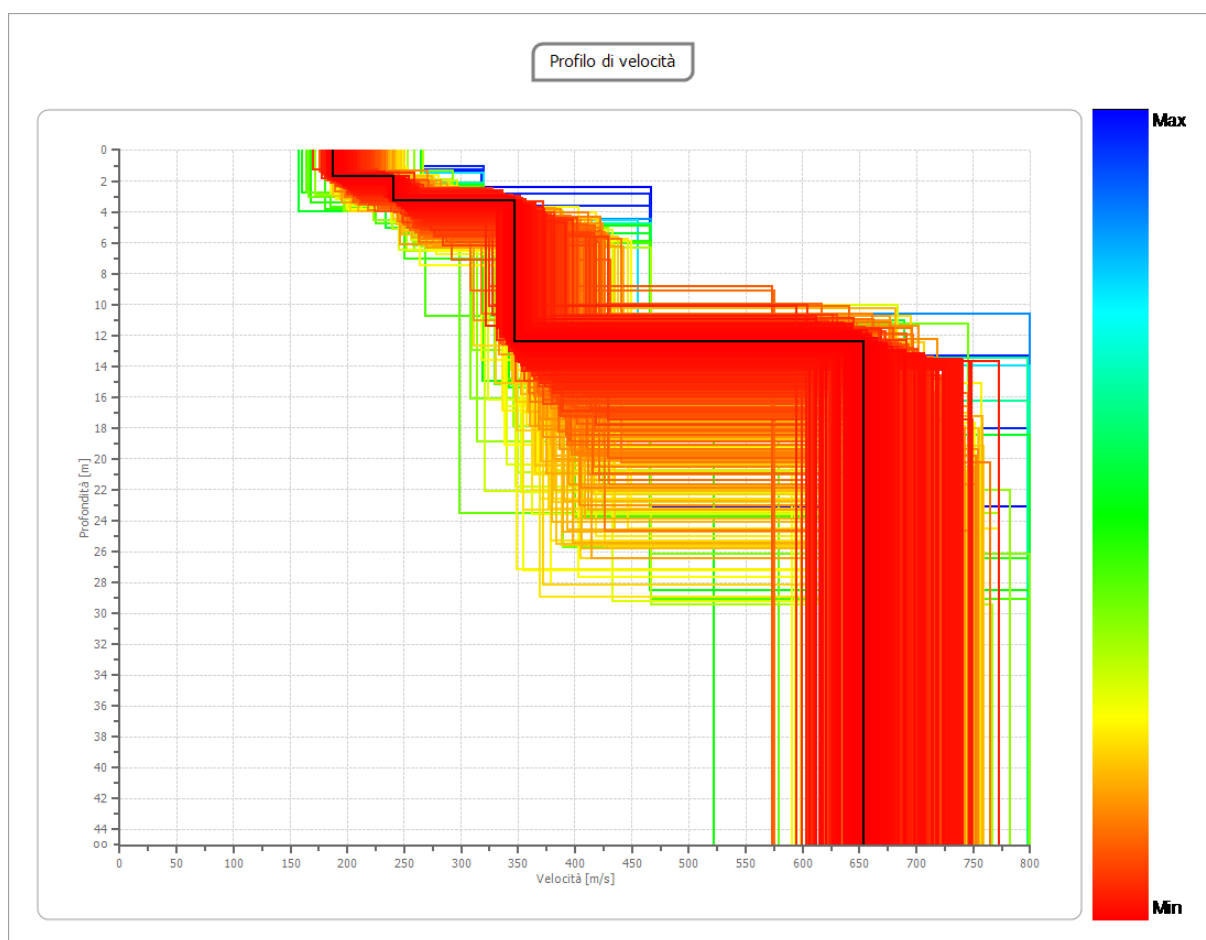


Fig. 8 – Stratigrafia sismica delle Vs



Fig. 9 – Esecuzione della Prova sismica MASW a monte



Fig. 10 – Esecuzione della Prova sismica MASW a valle

Indagine HVSR

Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-2} mm (Okada, 2003). L'origine del rumore sismico è di tipo ambientale (ad esempio dovuto alle perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti), mentre le sorgenti dei microtremori sono le attività antropiche e si propagano come onde superficiali di Rayleigh. L'analisi delle misure di rumore sismico che sembra fornire i risultati migliori è quello dei Rapporti spettrali H/V noto anche come metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o metodo di Nakamura.

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è un'indagine sismica passiva, sul terreno si rilevano i dati di velocità delle onde sismiche acquisiti da una terna geofonica orientata nelle tre direzioni che vengono poi elaborate e interpretate tramite software per l'ottenimento di alcuni parametri specifici; tramite questa indagine è possibile effettuare delle stime per l'individuazione dei seguenti parametri:

- classificazione del terreno di fondazione in base alle attuali NTC (parametro Vs30)
- frequenza propria di risonanza del sito
- ricostruzione stratigrafica del sottosuolo

All'interno dell'area di studio è stato condotto il rilievo dei microtremori con il tromografo "ECHO TROMO HVSR3", per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno. Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza). La frequenza di risonanza è legata allo spessore (h) e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato (V_{s1}) dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1} / 4h$$

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata ad esempio attraverso indagini dirette quali prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno. Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

Si riportano di seguito le immagini e i grafici caratteristici rappresentativi delle indagini eseguite.

L'indagine HVSR permette l'individuazione delle frequenze di risonanza caratteristiche del sito, oltre alla ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo; durante la procedura di elaborazione è stato possibile verificare che sono stati rispettati i "CRITERI SESAME".

I segnali acquisiti, come visualizzabile nei grafici frequenze su rapporto H/V, sono qualitativamente accettabili e permettono la chiara visualizzazione dei picchi caratteristici.

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con il software freeware GEOPSY che ha permesso di ricavare il grafico H/V dove viene evidenziata la frequenza fondamentale del sito ed il profilo verticale delle Vs, ottenuto mediante la taratura del primo livello individuato con una prova penetrometrica dinamica.



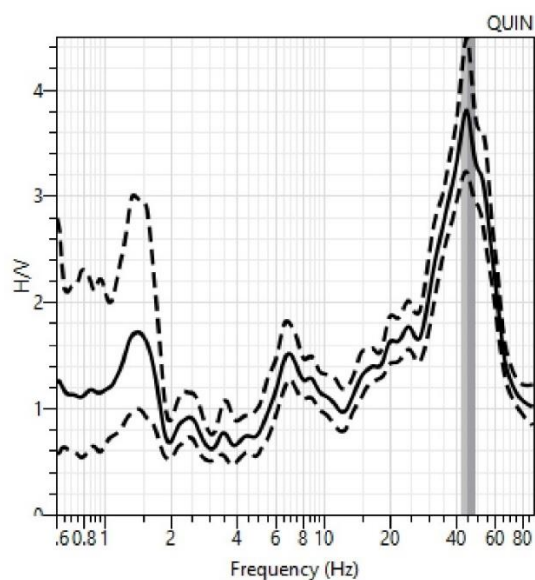
Fig. 11 – Acquisizioni HVSR

4.2.2 – Frequenza fondamentale e periodo proprio del terreno

Dall'interpretazione delle acquisizioni HVSR è stato possibile determinare la frequenza fondamentale del terreno f_0 e il periodo proprio del terreno T .

Sono state prese in considerazione 3 acquisizioni denominate QUIN, QUIN1 e QUIN2 che sono state interpretate tramite il programma Geopsy.

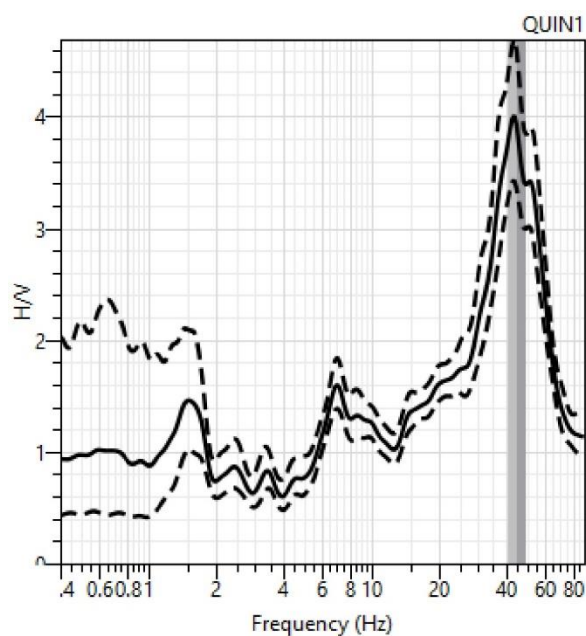
Tutte le tracce hanno prodotto un grafico HV nel quale è presente un picco netto relativamente superficiale attorno ai 45 Hz di frequenza che indica un netto passaggio tra due terreni con impedenza sismica molto diversa quindi con Vs molto diverse.



Il grafico HV determina un picco alla frequenza di 45,09 Hz.

$$F_0 = 45,09 \text{ Hz}$$

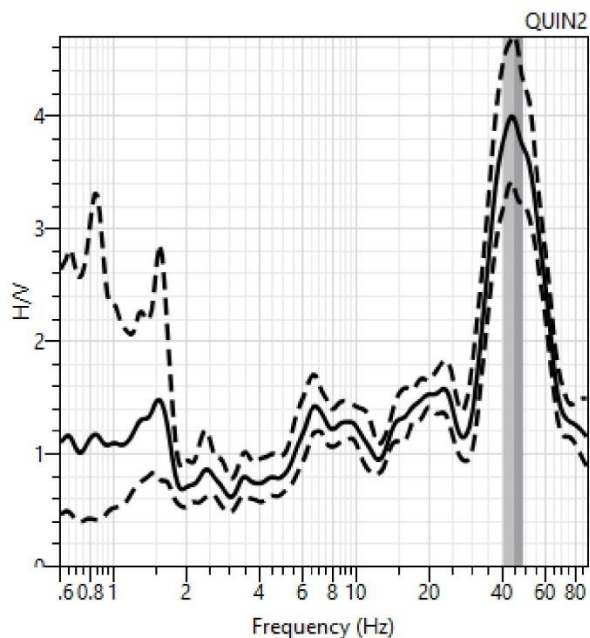
$$T = 1/f_0 = 0,022 \text{ s}$$



Il grafico HV determina un picco alla frequenza di 45,03 Hz.

$$F_0 = 45,03 \text{ Hz}$$

$$T = 1/f_0 = 0,022 \text{ s}$$



Il grafico HV determina un picco alla frequenza di 44,69 Hz.

$$F_0 = 44,69 \text{ Hz}$$

$$T = 1/f_0 = 0,022 \text{ s}$$

4.3 – Pericolosità sismica di sito

Vengono di seguito forniti i parametri sismici tipici del sito in studio. Nel caso specifico la determinazione di tali parametri è stata realizzata utilizzando il programma PS Advanced della Società *Geostru Software* partendo dai seguenti dati di base:

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Muri di sostegno NTC 2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,007	0,012	0,014
kv	0,003	0,003	0,006	0,007
amax [m/s ²]	0,310	0,370	0,660	0,769
Beta	0,180	0,180	0,180	0,180

Paratie NTC 2008

Altezza paratia (H): 3,0 [m]

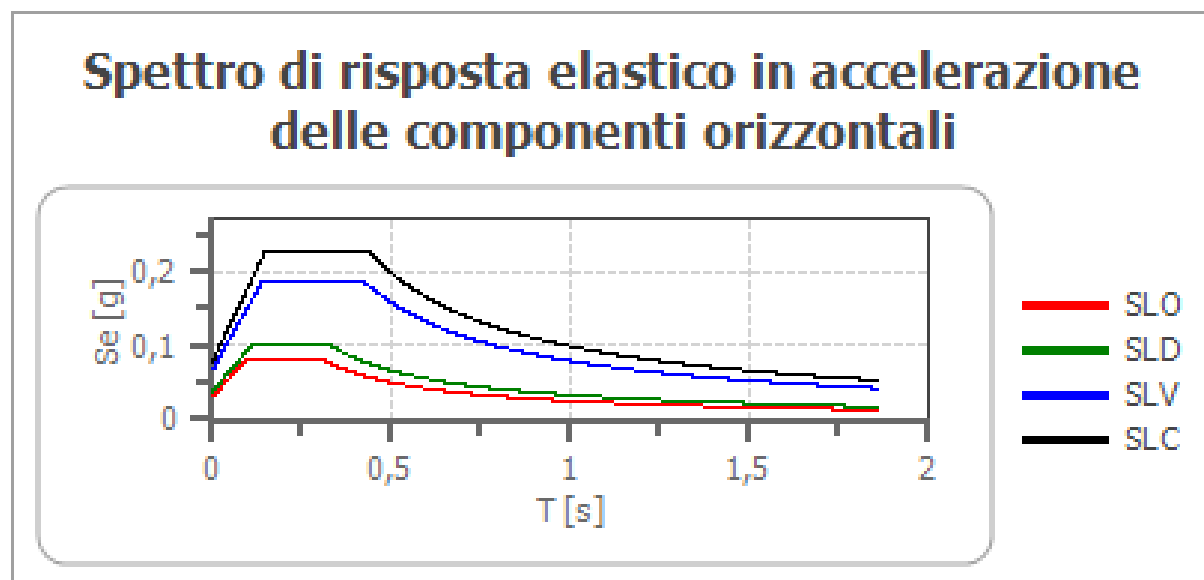
Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,021	0,024	0,044	0,051
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,310	0,370	0,660	0,769
Beta	0,650	0,650	0,650	0,650

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,006	0,008	0,013	0,016
kv	0,003	0,004	0,007	0,008
amax [m/s ²]	0,310	0,370	0,660	0,769
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



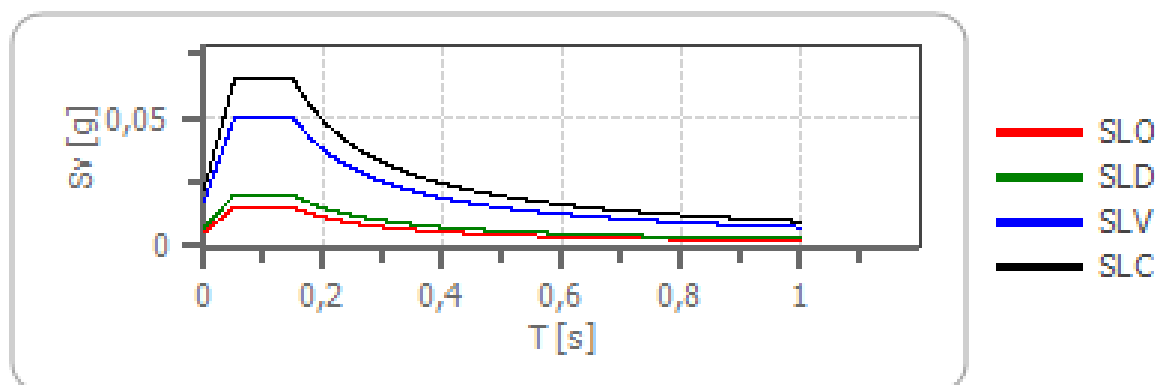
	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	η	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	2,0	0,026	2,620	0,198	1,200	1,520	1,000	1,200	1,000	0,101	0,302	1,705	0,032	0,083
SLD	2,0	0,031	2,666	0,221	1,200	1,490	1,000	1,200	1,000	0,110	0,329	1,726	0,038	0,100
SLV	2,0	0,056	2,798	0,299	1,200	1,400	1,000	1,200	1,000	0,140	0,419	1,824	0,067	0,188
SLC	2,0	0,065	2,882	0,314	1,200	1,390	1,000	1,200	1,000	0,146	0,437	1,862	0,078	0,226

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	η	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	2,0	0,026	2,620	0,198	1	1,520	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,006	0,015
SLD	2,0	0,031	2,666	0,221	1	1,490	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,008	0,020
SLV	2,0	0,056	2,798	0,299	1	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,018	0,050
SLC	2,0	0,065	2,882	0,314	1	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,023	0,065

Spettro di progetto

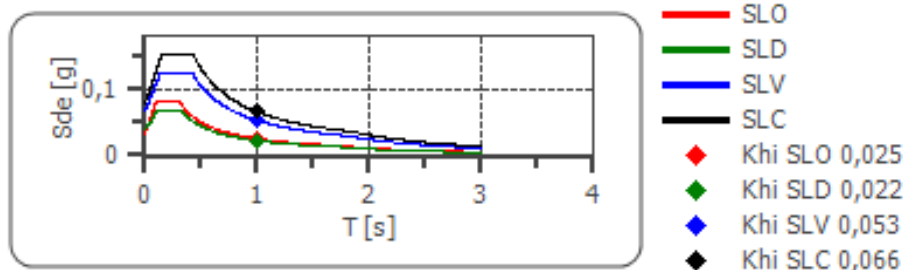
Fattore di struttura spettro orizzontale q : 1,50

Fattore di struttura spettro verticale q : 1,50

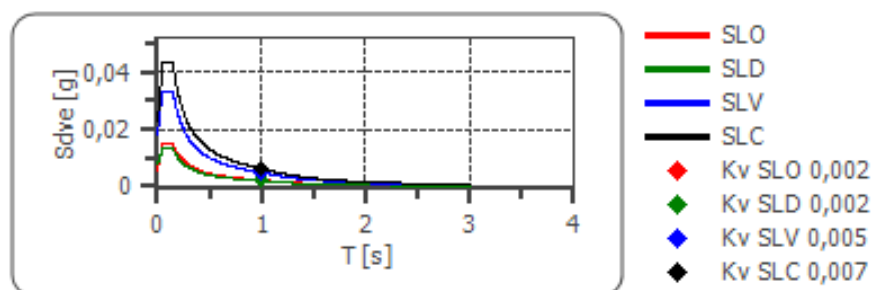
Periodo fondamentale T : 1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_{hi} = S_{de}(T)$ Orizzontale [g]	0,025	0,022	0,053	0,066
$k_v = S_{dve}(T)$ Verticale [g]	0,002	0,002	0,005	0,007

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	q	TB	TC	TD	Sd(0)	Sd(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO orizzontale	2,0	0,026	2,620	0,198	1,200	1,520	1,000	1,200	1,000	0,101	0,302	1,705	0,032	0,083
SLO verticale	2,0	0,026	2,620	0,198	1,200	1,520	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,006	0,015
SLD orizzontale	2,0	0,031	2,666	0,221	1,200	1,490	1,000	1,200	1,500	0,110	0,329	1,726	0,038	0,067
SLD verticale	2,0	0,031	2,666	0,221	1,200	1,490	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,008	0,013
SLV orizzontale	2,0	0,056	2,798	0,299	1,200	1,400	1,000	1,200	1,500	0,140	0,419	1,824	0,067	0,125
SLV verticale	2,0	0,056	2,798	0,299	1,200	1,400	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,018	0,033
SLC orizzontale	2,0	0,065	2,882	0,314	1,200	1,390	1,000	1,200	1,500	0,146	0,437	1,862	0,078	0,151
SLC verticale	2,0	0,065	2,882	0,314	1,200	1,390	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,023	0,043

$$a_{\max} = a_g * S_s * S_t = 0,056g * 1,20 * 1,00 = 0,0672 g$$

Tale valore, secondo le NTC 2018, consente di escludere la verifica a liquefazione ($a_{\max} < 0,1g$)

5 – RISULTATI DELLO STUDIO E CONCLUSIONI

A seguito dello studio condotto consente di esprimere le seguenti considerazioni:

- I terreni su cui è impostato l'edificio oggetto di verifica di miglioramento sismico posseggono caratteristiche geologiche e geotecniche idonee all'edificazione.
- La soggiacenza della falda superficiale è posta ad una profondità tale da non poter interferire con l'edificio e le sue fondazioni anche se, considerando la vicinanza dei rii Renanchio e Granera e della Dora Baltea, non si può escludere che, a seguito di precipitazioni prolungate, l'aumento delle loro portate alimenti maggiormente la falda provocandone un innalzamento del livello.
- Dall'analisi degli elaborati relativi alla pianificazione e vincolistica allegati al PRGC vigente e dal sopralluogo svolto dallo Scrivente non risultano dissesti sia di versante che idraulici in atto e/o potenziali ricadenti sull'area in studio; inoltre l'area non ricade in zona di Vincolo idrogeologico.
- La campagna di indagini sismiche eseguita ha determinato una **Categoria Sismica di sottosuolo B.**
- **La frequenza fondamentale di risonanza F_0 dei terreni presenti nel sottosuolo è risultata compresa tra 44,69 Hz e 45,86 Hz. Il periodo proprio del terreno T dei terreni presenti nel sottosuolo è risultato di 0,022 s.**

Detto ciò, si può affermare che l'edificio oggetto di miglioramento sismico risulta compatibile con l'assetto geologico, geotecnico, geomorfologico ed idrogeologico esistente nell'area in cui è stato edificato.

**Il Geologo,
Dott. Paolo Vittorio Gelci**



Ottobre 2024

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – UBICAZIONE PROVE ESEGUITE



ALLEGATO 2 – ELABORATI PROVA SISMICA MASW

Easy MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (onde P, onde S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

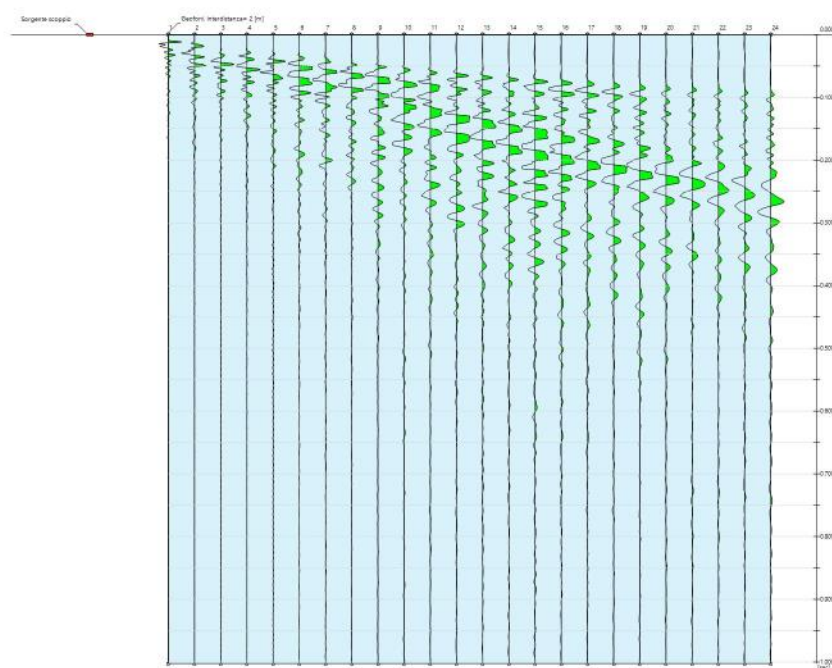
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

Data	02/10/2024 02:53
-------------	------------------

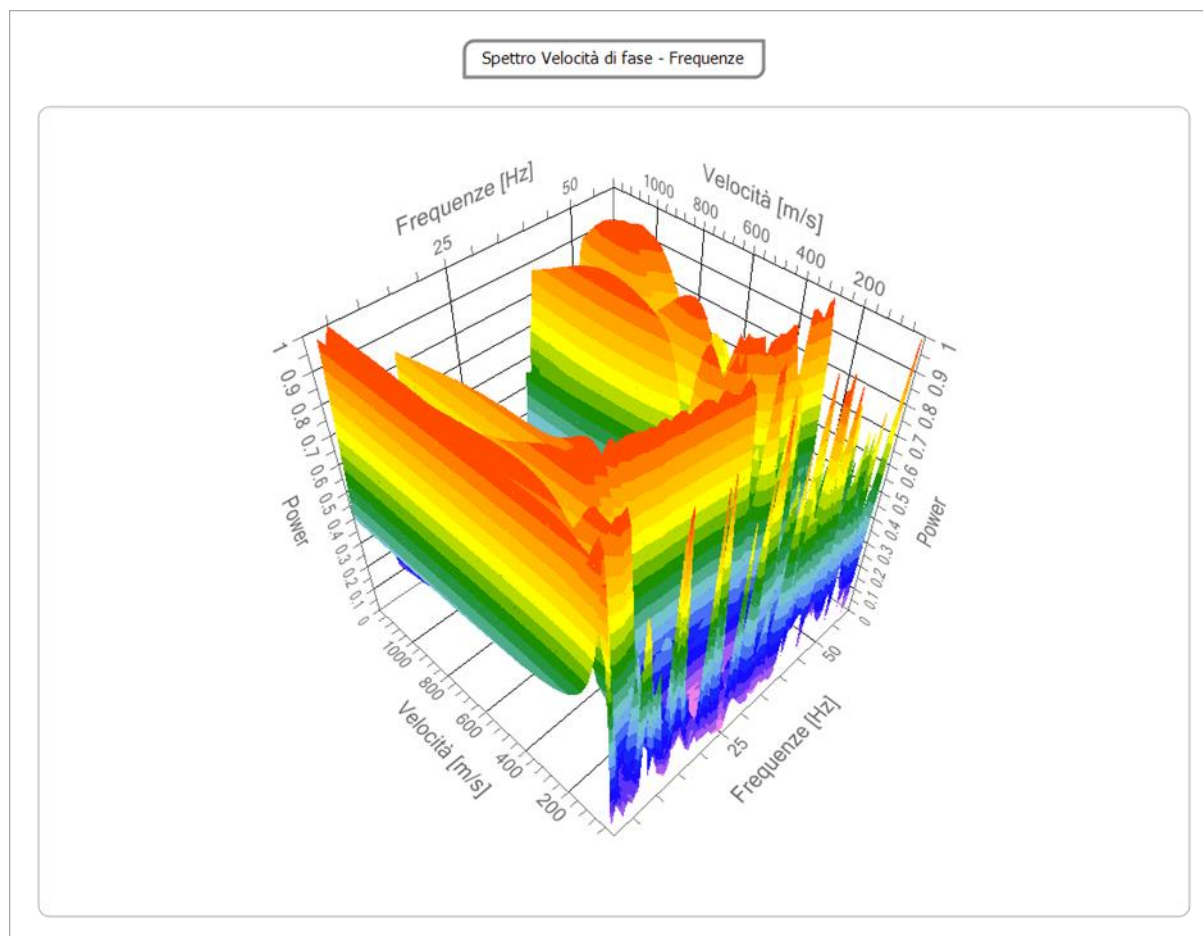
Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1002.3
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.131



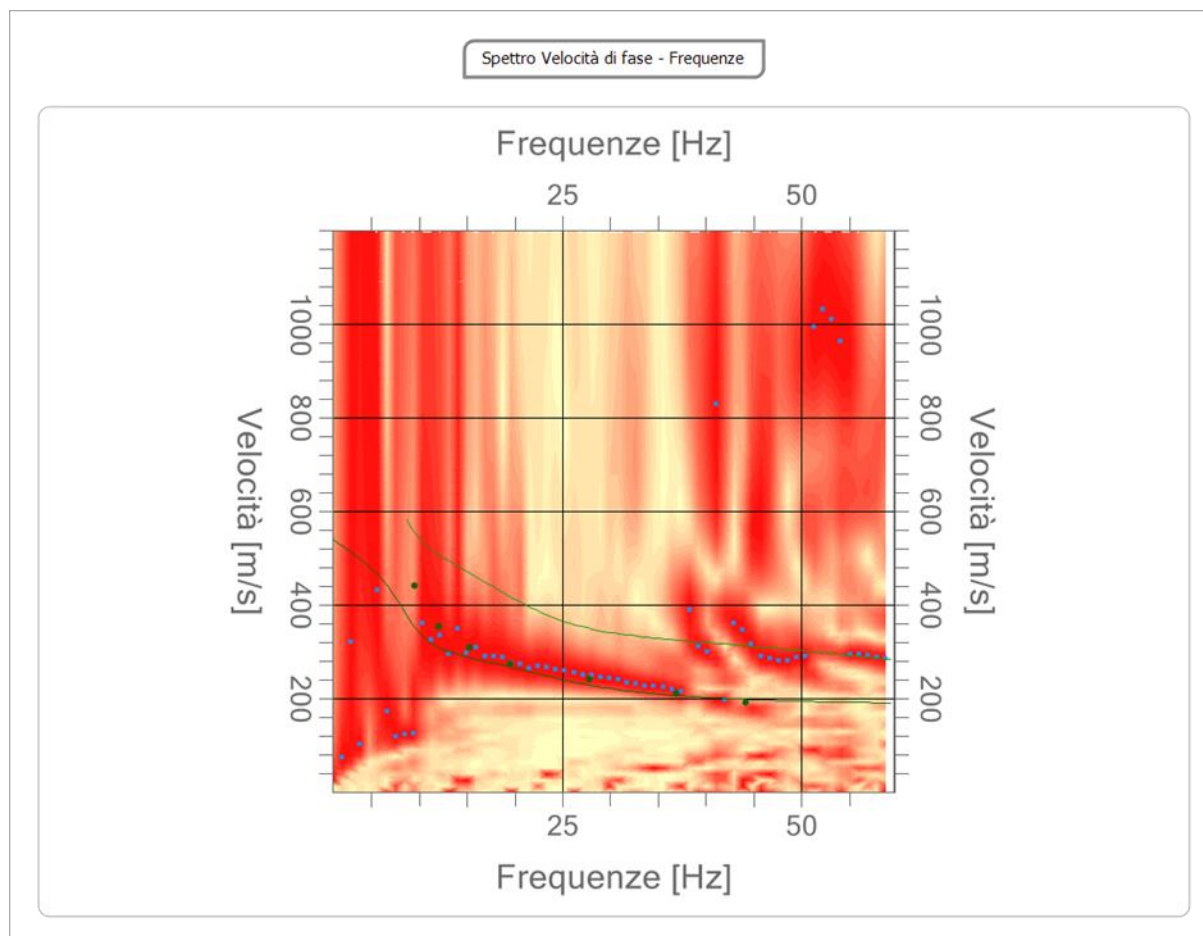
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1200
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	9.5	442.3	0
2	12.1	354.1	0
3	15.3	309.9	0
4	19.5	275.6	0
5	27.8	241.3	0
6	37.0	211.9	0
7	44.2	192.3	0



Inversione

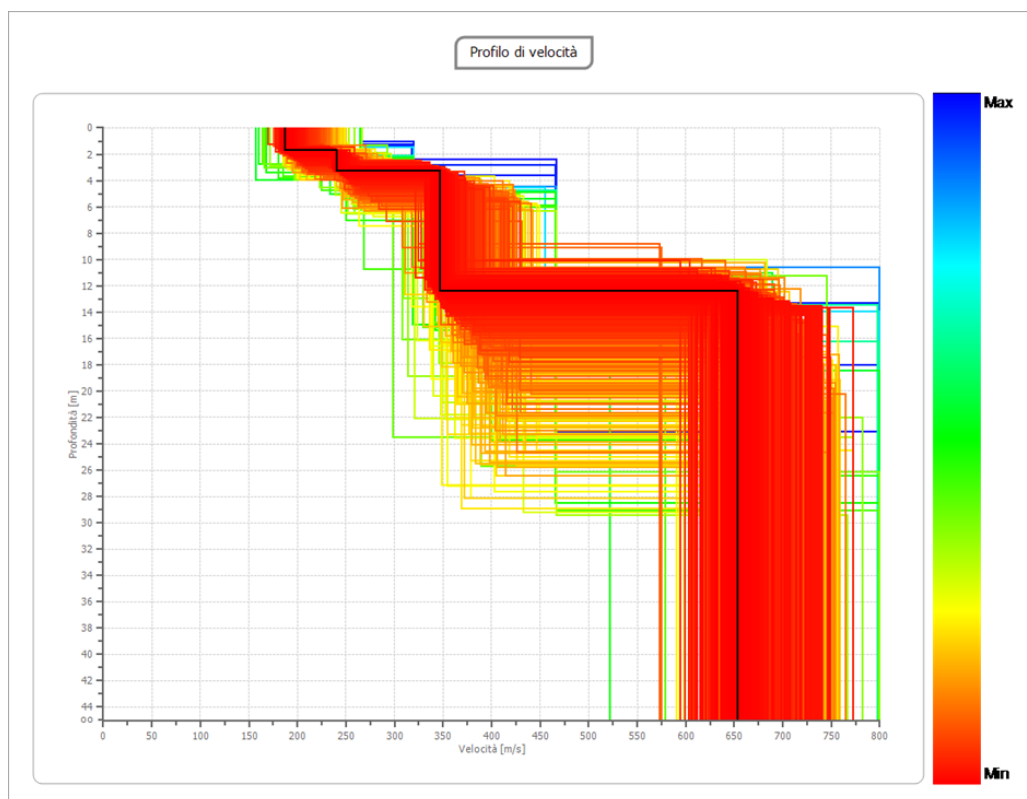
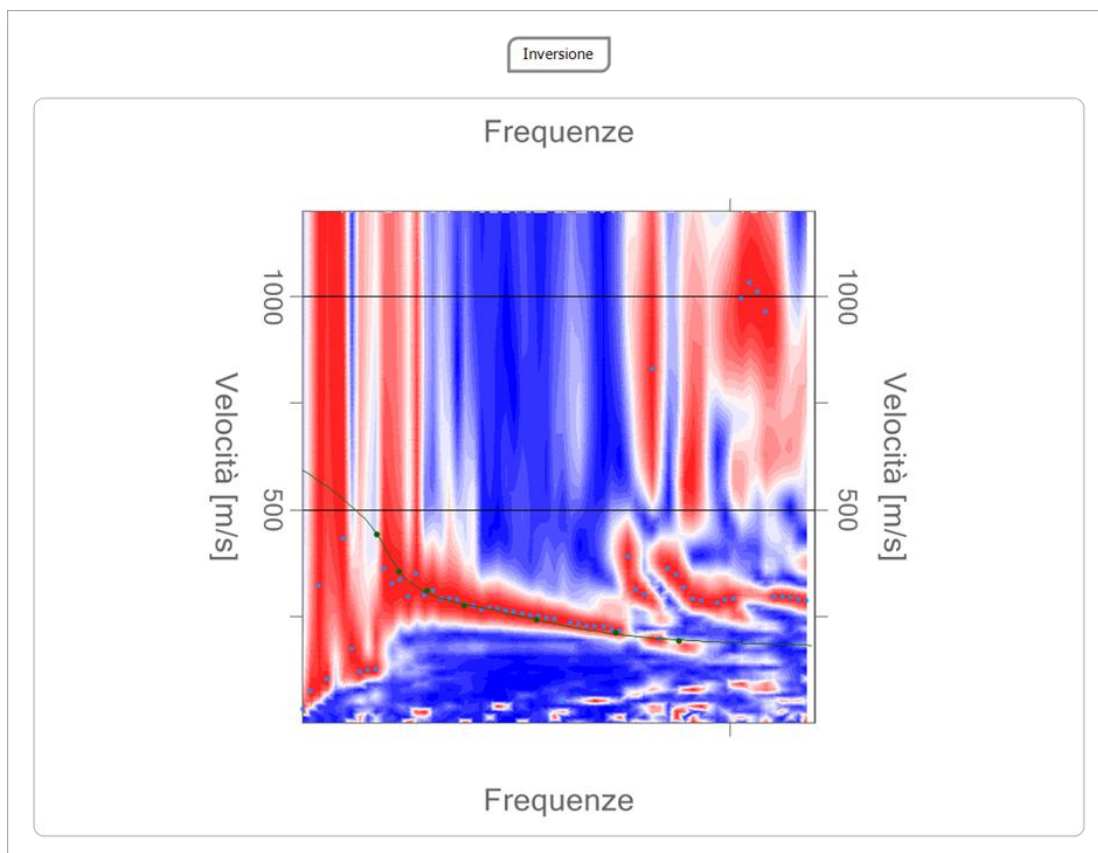
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.73	1.73	1800.0	0.30	No	349.7	186.9
2		3.29	1.56	1800.0	0.30	No	449.1	240.1
3		12.39	9.10	1800.0	0.30	No	648.6	346.7
4		oo	oo	1800.0	0.30	No	1222.3	653.3

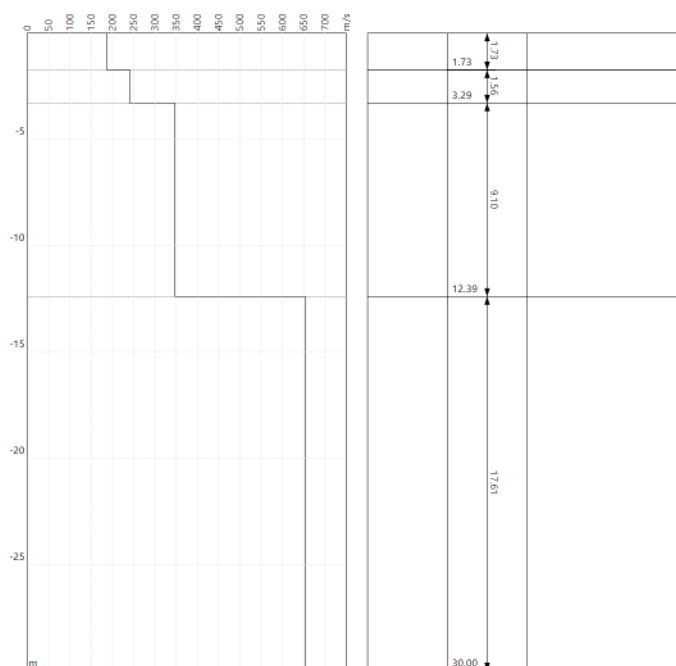
Percentuale di errore

0.011 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.012





Risultati

Profondità piano di posa [m]	2.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	486.71
Categoria del suolo	B

Suolo di tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.