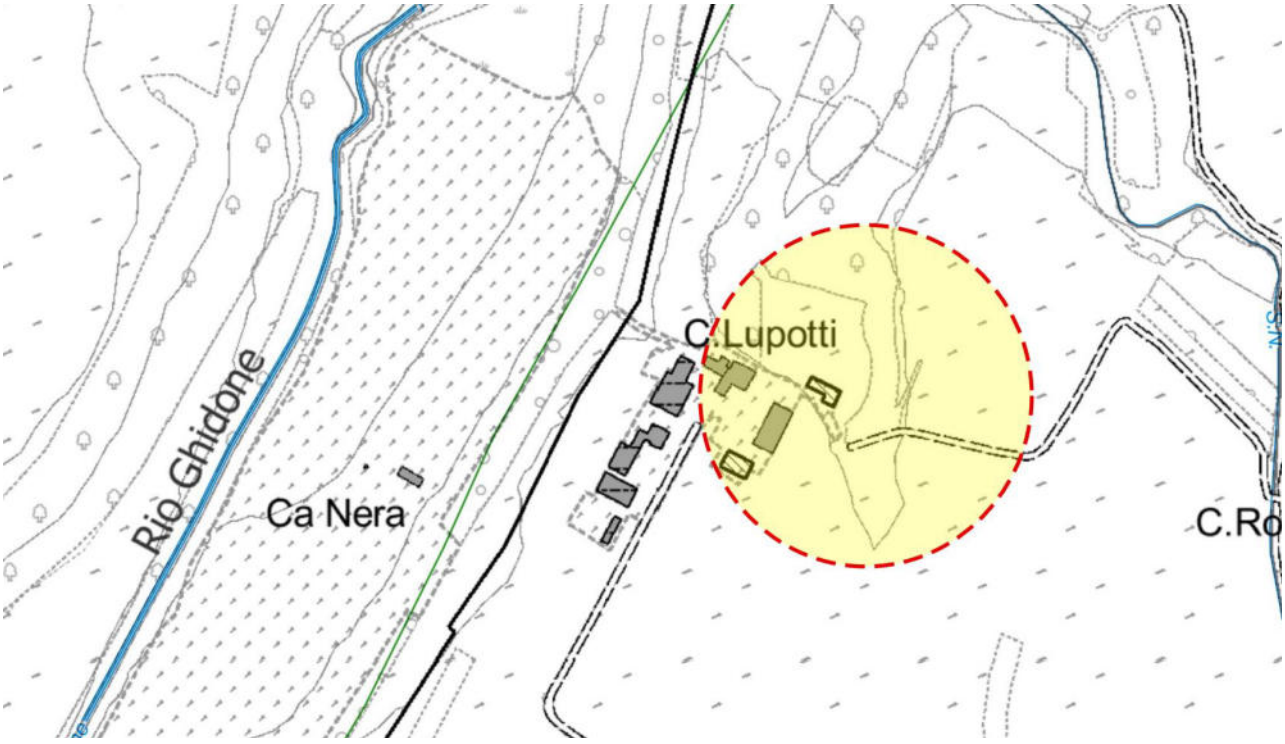
Regione Piemonte	Comune di Bene Vagienna	Provincia di Cuneo

PROGETTO DI POTENZIAMENTO CAMPO POZZI LUVOT, REALIZZAZIONE LINEA DI COLLEGAMENTO SERBATOIO PODIO E REALIZZAZIONE IMPIANTO DI TRATTAMENTO Fe/Mn

RELAZIONE GEOLOGICA

Normativa	NTC 2018 e NTA P.R.G.C.	**Codice documento**	22_12_GA_Rev.00	**Data**	Giugno 2022
Ubicazione	C. Lupotti				
Committente	TECNOEDIL S.p.a.				
Professionista incaricato	Studio Geologico dr. andrea bredy	*Via A. Campana 14* *12016 Peveragno (CN)* *Cell. +39 3404923790* *C.F.: BRDNDR71C03E379A* *P.IVA: 08368860015* *e-mail: andrea.bredy@geologipiemonte.it*			
Progettista	*Ing. Borgna Claudio*				



INDICE

1. PREMESSA 2

2. MODELLO GEOLOGICO 3

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 6

2.1.1. Il Bacino Terziario Piemontese 6

2.2. INQUADRAMENTO DI DETTAGLIO GEOLOGICO/GEOTECNICO/NORMATIVO 10

2.2.1. Idrogeologia 12

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO 13

3.1. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPL) 14

3.1.1. Risultati indagine penetrometrica 15

3.2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI FONDAZIONE 20

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE 23

4.1. INDAGINE MASW 25

4.2. DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 26

5. CONSIDERAZIONI DI INDIRIZZO TECNICO-ESECUTIVO 28

6. CONCLUSIONI 29

1. PREMESSA

La presente Relazione Geologica viene redatta a supporto del progetto di realizzazione di un impianto di trattamento Fe/Mn nel Comune di Bene Vagienna (CN) relativamente ai lavori sul sistema idrico del Comune di Narzole.

Per svolgere il presente studio geologico sono state eseguite indagini e sopraluoghi sull'area interessata dall'intervento ed i settori limitrofi, un'analisi della documentazione bibliografica di carattere geologico e geotecnica esistente ed in particolare di quella allegata al P.R.G.C.. L'indagine è stata estesa ad un significativo intorno dell'area interessata dagli interventi, traendone le opportune valutazioni sulla compatibilità degli stessi con l'assetto geologico-tecnico locale. Inoltre sono state realizzate indagini sismiche e geognostiche al fine di caratterizzare i terreni di fondazione.

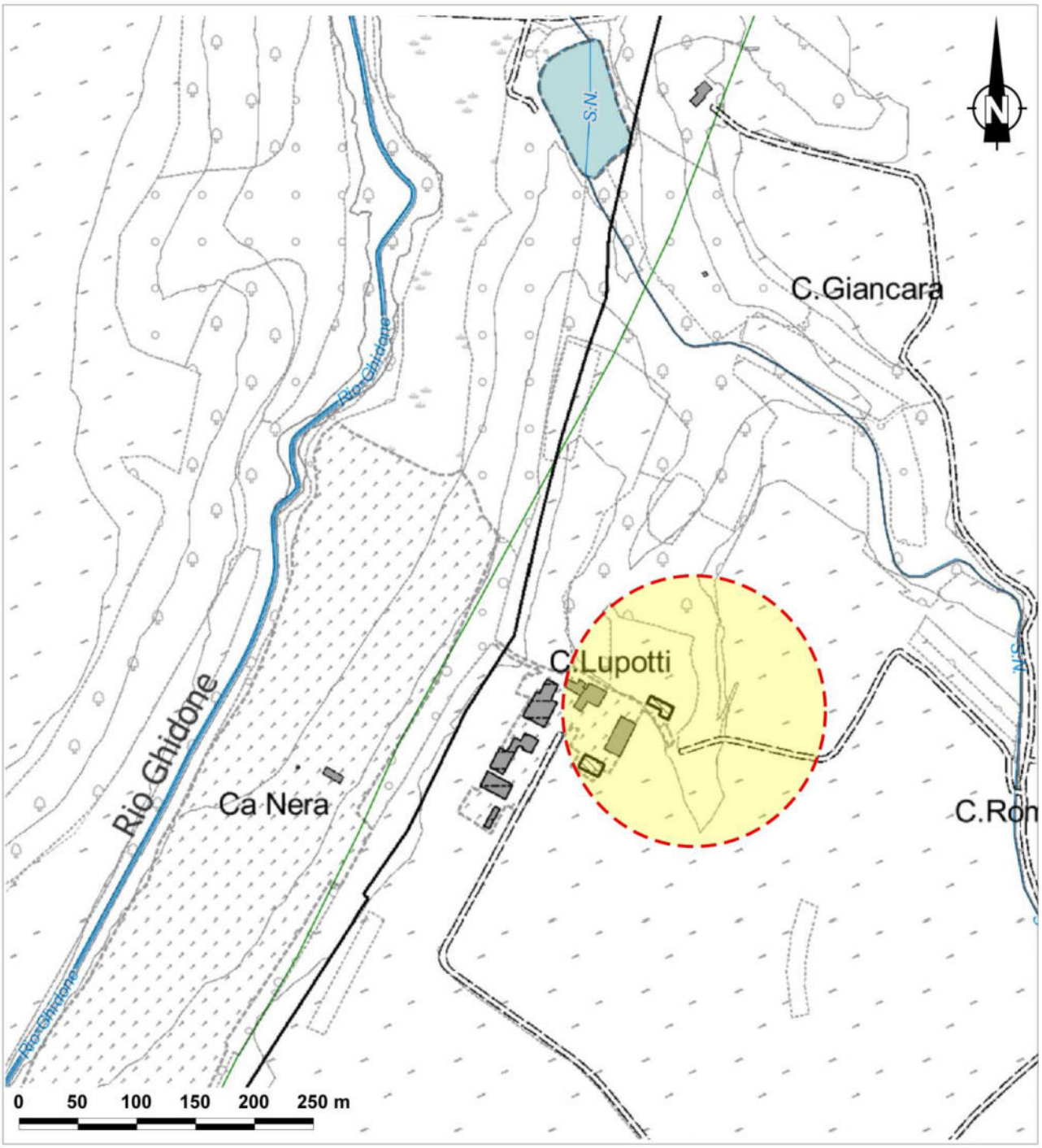
Il progetto in sintesi prevede la realizzazione di un fabbricato da realizzarsi a seguito della demolizione di quello agricolo esistente che ospiterà l'impianto di trattamento delle acque, delle tubazioni di collegamento con i pozzi limitrofi (Pozzo 1 e Nuovo Pozzo Lupotti) e la realizzazione di un impianto fotovoltaico fuori terra. Si rimanda alla documentazione progettuale redatta dallo studio dell'Ing. Claudio Borgna per ogni approfondimento.

La presente relazione è eseguita ai sensi delle nuove Norme Tecniche Costruzioni (NTC) relative al D.M. 17 gennaio 2018 ed alle N.T.A. del P.R.G.C. di Bene Vagienna.

2. MODELLO GEOLOGICO

L'area in studio si ubica nel settore settentrionale del territorio comunale di Bene Vagienna in prossimità della località C.Lupotti; in particolare l'area interessata dal progetto in corrispondenza di un fabbricato agricolo posto al margine orientale del gruppo di case. A circa 50 m di distanza verse E-SE dall'area d'intervento è presente il nuovo pozzo acquedottistico (Pozzo C.Lupotti).

Il lotto di terreno interessato dall'intervento si trova in un terreno subpianeggiante posto ad una quota altimetrica di circa 379 m s.l.m. al quale si accede attraverso il gruppo di case della frazione. Il pozzo Lupotti si trova a circa 50 m di distanza verso E-SE ad una quota altimetrica simile mentre l'altro pozzo acquedottistico è in direzione opposta in un settore più depresso.



Ubicazione dell'area d'intervento su base BDTRE Piemonte (scala 1:5.000)

Vista del fabbricato oggetto demolizione per la realizzazione di quello nuovo

Dal punto di vista geomorfologico a grande scala l'area in studio si trova nella pianura cuneese nel settore compreso tra i fiumi Stura di Demonte e Tanaro, e si trova su un terrazzo in sinistra idrografica del F. Tanaro, sul terrazzo di Salmour, a monte di una scarpata di terrazzo che separa quest'ultimo dal terrazzo di Bene Vagienna.

Nell'area di pianura cuneese si possono distinguere, per quanto riguarda i depositi quaternari, almeno tre unità morfologico-stratigrafiche principali:

- Gli altopiani di Fossano, di Salmour e di Bene Vagienna;
- Il "livello fondamentale" della pianura cuneese;
- Le incisioni del Tanaro, del Pesio e dello Stura e del loro reticolato idrografico tributario.

Tale assetto è il risultato finale dell'erosione intensa e regressiva operata dai corsi d'acqua precedentemente citati innescatasi in seguito alla cattura del Fiume Tanaro, diretto ricettore del T. Rilavetto, da parte del F. Po nei pressi di Valenza ad una quota molto inferiore a quella primitiva di Carmagnola (da 220 m s.l.m. a 75 m s.l.m.). Il Fiume Tanaro, che originariamente nel periodo postwurmiano confluiva nel Fiume Po nei pressi di Carmagnola (220 m s.l.m.), in seguito alla cattura cambiò corso e la confluenza si spostò a Valenza Po (75 m s.l.m.), creando così una forte ondata di erosione regressiva in tutti gli affluenti.

Tale fenomeno è, in seguito, responsabile di locali ma intensi fenomeni di rimodellamento delle rive per scalzamento al piede e relativo crollo dei materiali soprastanti. Il fenomeno di erosione regressiva susseguente di tutti i suoi affluenti ha prodotto una diffusa e ramificata incisione lineare lungo l'asse di tutti gli alvei, con formazione di sezioni vallive tipiche a "V" molto strette e con pendenza longitudinale elevata.

Gli altopiani risultano costituiti da sottili spessori (qualche metro) di depositi fluviali ghiaiosi da pleistocenici ad olocenici poggianti su depositi marini, di transizione e continentali del Pliocene.

Gli altopiani di Salmour e di Bene Vagienna sono nettamente più rilevati rispetto alla pianura circostante, con scarpate che raggiungono localmente 30 ÷ 35 m di altezza. In superficie i tre altopiani sono caratterizzati dalla presenza di suoli di colore variabile dal bruno-rossastro al rosso-violaceo.

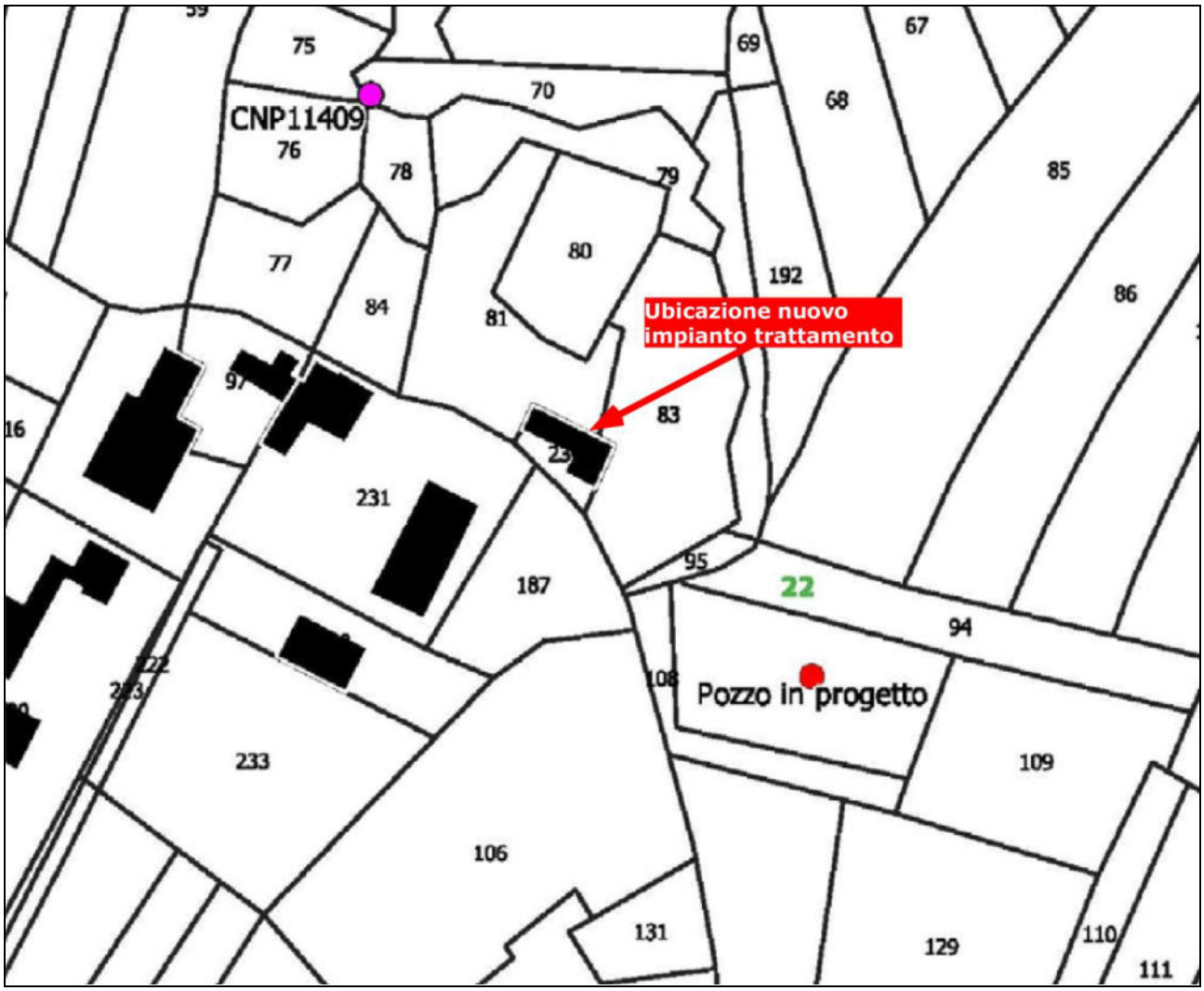
Localmente ci troviamo nel settore di *Altopiano di Loreto-Salmour*, che presenta una morfologia subpianeggiante, debolmente inclinata verso NE ad acclività modesta, contraddistinta da valori di pendenza medi comunque inferiori al 4 ÷ 5 % e corrisponde ad un terrazzo alluvionale antico di forma oramai relitta, con un reticolato idrografico quasi assente, eccezion fatta per i canali irrigui (presenti in questi settore ed in quelli della pianura sottostante).

La zona di C.Lupotti presente delle caratteristiche morfologiche particolari trovandosi immediatamente a monte della scarpata di terrazzo che la separa dal fondovalle del Rio Ghidone ed a valle di una depressione morfologica dovuta all'azione erosiva di un piccolo rio laterale a quello principale.

Vista della depressione morfologica posta a sud dell'area d'intervento

Il fabbricato che conterrà l'impianto di trattamento verrà realizzato in sostituzione di quello agricolo esistente che verrà demolito. In questo caso ci troviamo lontano dalla zona di scarpata principale e dal versante più dolce presente a Sud in corrispondenza della depressione generata dal rio. L'attività erosiva di questo corso d'acqua interessa la scarpata idrograficamente opposta rispetto a quella interressata dagli interventi generando ripide scarpate.

Come evidenziato in precedenza i due pozzi che verranno collegati all'impianto si trovano a qualche decina di metri di distanza dal fabbricato in progetto così come evidenziato nello stralcio planimetrico tratto dal progetto del nuovo pozzo realizzato.



Ubicazione pozzi acquedottistici che verranno collegati all'impianto di trattamento

2.1. Inquadramento Geologico

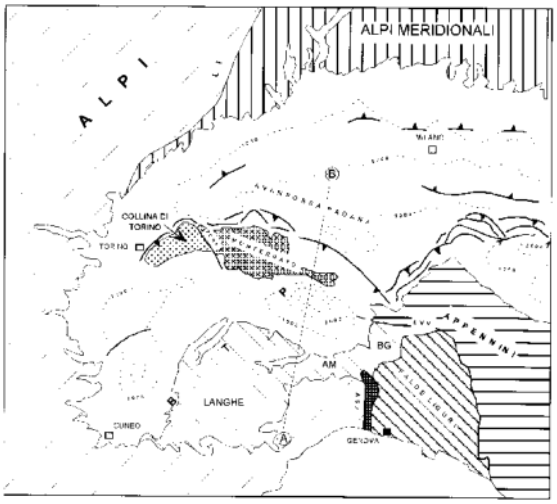
2.1.1. <u>Il Bacino Terziario Piemontese</u>

Geologicamente la zona in studio è caratterizzata dalla presenza di litotipi riconducibili, da un punto di vista paleogeografico, ad un complesso di sedimenti molassici terziari costituenti il Bacino Terziario Piemontese, ultima regressione marina del cosiddetto golfo di Cuneo che ha originato una caratteristica sequenza deposizionale in età Terziaria: si tratta di una successione di rocce sedimentarie terrigene, provenienti dall'alterazione e disgregazione degli adiacenti rilievi alpini che, durante il Terziario, si è deposta all'interno di quello che era un bacino stretto e allungato.

Questo dominio maschera, a livello superficiale, le strutture Nord-vergenti del thrust Sud-padano nel quale sono incorporate unità alpine, liguridi e del Bacino Terziario Piemontese stesso. I caratteri stratigrafico-strutturali del Bacino Terziario Piemontese sono il risultato dell'evoluzione tettonica post-eocenica del thrust sud-padano, che appartiene alla "placca superiore" del sistema orogenico alpino (Roure et al., 1990). Tale evoluzione tettonica è inquadrabile nelle fasi di formazione della catena neo-alpina, ossia appenninica.

II Bacino Terziario Piemontese (BTP) può essere suddiviso in alcune grandi unità geometrico-paleogeografiche: a) il BTP s.s., comprendente il Bacino delle Langhe (LA), l'Alto Monferrato (AM), la - zona Borbera-Grue; b) il Monferrato (MO); c) la Collina di Torino (Gelati & Gnaccolini, 1988; Biella et al., 1997).

Le successioni del BTP ricoprono in discordanza unità di tipo diverso (unità metamorfiche alpine ed unità liguridi) la cui giustapposizione tettonica è avvenuta in concomitanza della fase "ligure" (Elter & Pertusati, 1973), corrispondente alla fase collisionale mesoalpina eocenica (Trümpy, 1961; Hunziker et al., 1992; Castellarin, 1994). Durante tale evento è avvenuta la traslazione di rocce ad elevata velocità sismica (unità metamorfiche alpine) su rocce a velocità sismica minore (unità sedimentarie liguridi-appenniniche). Questo corpo crostale è attualmente riconoscibile nel Piemonte meridionale a profondità sempre inferiori ai 6-7 km (Bozzo et al., 1992; Biella et al., 1992; Laubscher, 1992).



Schema strutturale dei bacini terziari nella zona di giunzione tra Alpi ed Appennini
LI:·Linea Insubrica; LVV: Linea Villalvernia-Varzi, ZDRF:· Zona di Deformazione di Rio Freddo,·ZSV:·Zona Sestri-Voltaggio; BTP: Bacino Terziario Piemontese; AM: Alto Monferrato; BG: Zona Borbera-Grue. Le linee tratteggiate indicano le isobate della base del Pliocene. Modificato da Structural Model of Italy (1990).

L'attuale assetto strutturale è però legato alla evoluzione post-oligocenica che ha ampiamente modificato le configurazioni mesoalpine. Tra l'Oligocene superiore ed il Miocene medio (fase neoalpina *sensu* Castellarin, 1994) i processi geodinamici connessi all'apertura del Mediterraneo nord-occidentale hanno infatti indotto la riattivazione delle strutture impostatesi durante la fase mesoalpina (Mutti et al., 1995).

A tale dominio paleogeografico (B.T.P.) appartiene un complesso di sedimenti molassici terziari, che testimoniano l'ultima regressione marina del cosiddetto Golfo di Cuneo. Tale regressione ha originato una caratteristica sequenza deposizionale, caratterizzata da una successione di rocce sedimentarie terrigene, provenienti dallo smantellamento del settore occidentale della Catena Alpina, che si è deposta all'interno di quello che era un bacino molto stretto, allungato e poco subsidente.

L'evoluzione geologica dell'area è associata sia alla regressione marina, che dal Pliocene ha interessato il Golfo di Cuneo, sia alla presenza di neoformati corsi d'acqua che durante il Pleistocene, in prossimità delle coste, iniziarono a depositare ghiaie e sabbie grossolane, nonché ai conseguenti cicli deposizionali/erosionali fluvioglaciali con successive divagazioni dei corsi d'acqua principali (durante l'Olocene).

Dal punto di vista stratigrafico in corrispondenza del sito in studio affiorano dall'alto verso il basso:

- <u>Ghiaie "ferrettizzate" del sistema dei terrazzi di Salmour:</u> Ghiaie e sabbie alterate in superficie in prodotti di alterazione rosso-brunastri(Pleistocene medio). Ghiaie fortemente eterometriche, a pezzatura da decimetrica a metrica, con matrice sabbiosa, molto alterate, coperte da una spessa coltre di limi argillosi rosso-bruni, con livelli a concrezioni di ossidi di Fe e Mn ("*gherloun*").
- <u>Sabbie gialle fossilifere:</u> Complesso dei sedimenti in facies *Astiana* (Pliocene medio). Successione composta da sabbie grigio-giallastre con frequenti intercalazioni siltoso argillose verso l'alto. La granulometria delle sabbie è solitamente fine ed uniforme e normalmente si

rinvengono classate; all'interno dei livelli argillosi sono riconoscibili impronte di foglie e resti vegetali, riferibili a locali episodi palustri. L'inclinazione media degli strati è generalmente di pochi gradi (5°-8°), con immersione costante verso Nord-Ovest. Sono sedimenti che si sono depositati in ambiente costiero, di mare abbastanza basso, ossia sabbie di spiaggia ben classate.

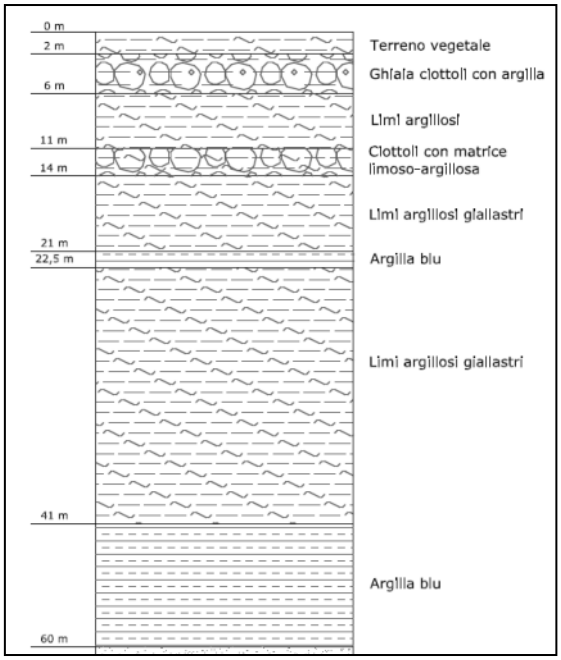
- Marne grigio-azzurre e argille: Complesso dei sedimenti in facies *Piacenziana* (Pliocene inferiore). Successione composta da marne di colore azzurrognolo e argille grigio-azzurre, localmente sabbioso-ghiaiose; questi livelli testimoniano episodi di piena con notevole trasporto solido. L'inclinazione media degli strati di questo Complesso è di pochi gradi (3°-8°) costantemente verso Nord-Ovest, alterata solo localmente da vistosi ripiegamenti. In generale la successione si presenta regolare e stratificata; il contatto con i sottostanti sedimenti messiniani è di tipo discordante. Si tratta di sedimenti di origine marina, di mare abbastanza profondo, molto ricchi in fossili.

Tale assetto è anche confermato dalla stratigrafia di progetto del limitrofo Pozzo Lupotti, di cui si riporta uno stralcio nella figura, ubicato a 50 m di distanza. In questo caso al di sotto del terreno di copertura è presente un orizzonte plurimetrico di ghiaie e ciottoli con argilla ricoprente limi argillosi e argille.

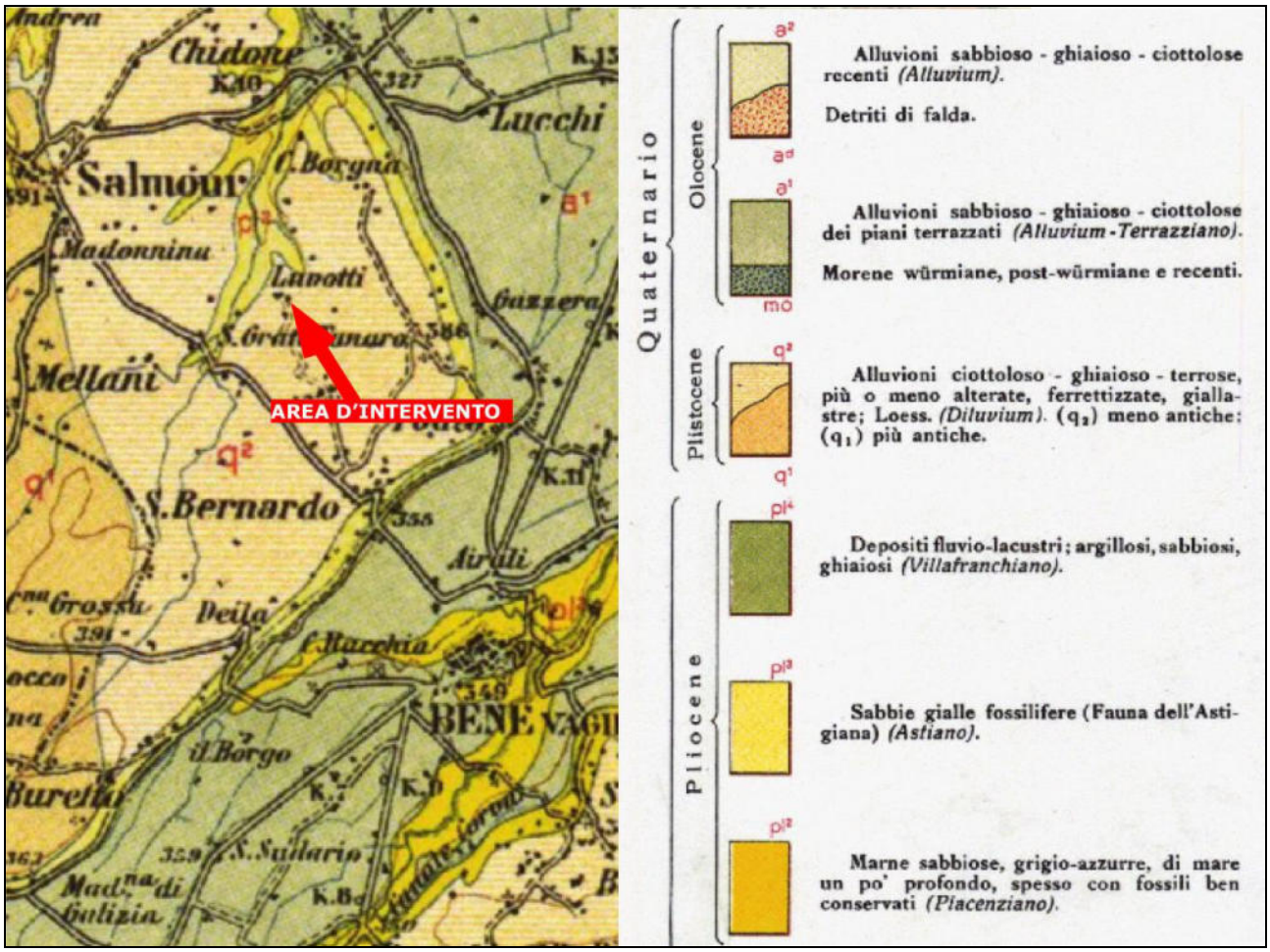
Facendo riferimento alla Carta geologica d'Italia l'area si trova nel F° 80 Cuneo che indica la presenza in affioramento della seguenti formazioni:

- Q_2: *Alluvioni ciottoloso – ghiaioso – terrose, più o meno alterate, ferrettizzate, giallastre; Loess (Diluvium). (q2) meno antiche; (q1) più antiche (Pleistocene).* Affiorano in corrispondenza dell'area d'intervento
- Pl^2: *Marne sabbiose, grigio-azzurre, di mare un po' profondo, spesso con fossili ben conservati (Pliocene-Piacenziano).* Affiorano più verso Nord in corrispondenza delle incisioni profonde dei corsi d'acqua.

Si riporta a seguire uno stralcio cartografico della "Carta Geologica del Territorio di Bene Vagienna" (F.Sacco 1885)



Stralcio stratgrafia Pozzo Lupotti (tratta da studio idrogeologico redatto dal Dott. Actis-giorgetto)



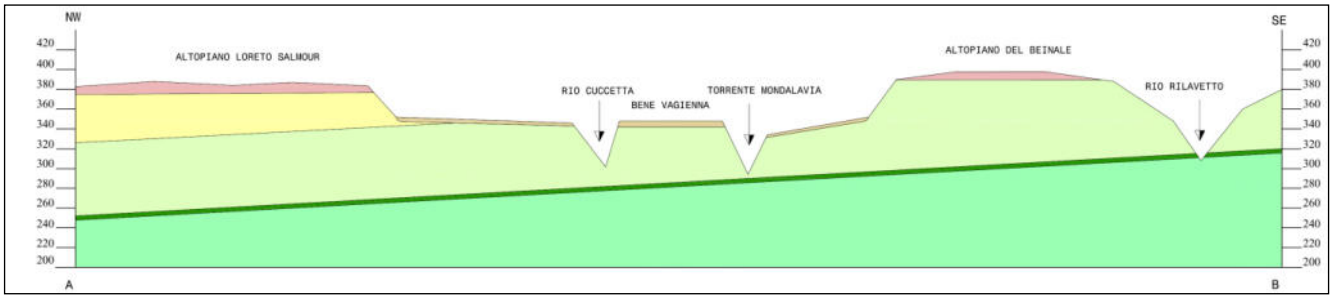
Stralcio della "Carta Geologica del Territorio di Bene Vagienna"

2.2. Inquadramento di dettaglio geologico/geotecnico/normativo

Lo studio geologico allegato alla seconda variante al P.R.G.C. di Bene Vagienna riporta interessanti informazioni di carattere geologico-tecnico ed in particolare:

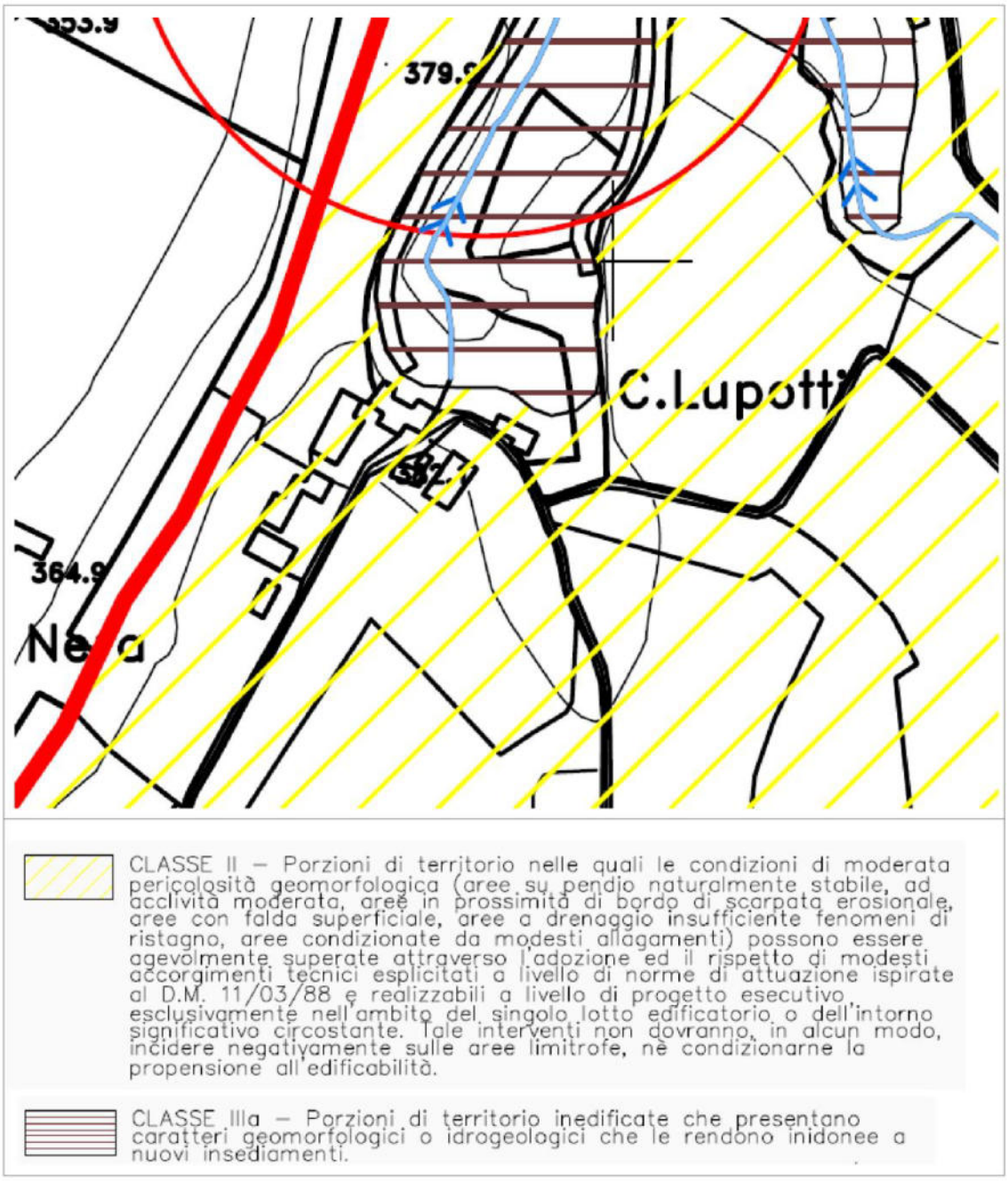
- "Carta Geolitologica": segnala la presenza delle *"Ghiaie ferrettizzate del sistema dei terrazzi di Salmour": ghiaie fortemente eterometriche, a pezzatura da decimetrica a metrica, con matrice sabbiosa, molto alterate, coperte da una spessa coltre di limi argillosi rosso-bruni con livelli a concrezioni di ossidi di Fe e Mn ("Gherloun")".*

  Viene anche riportata una sezione geologica che illustra l'assetto dell'area ed il sistema di terrazzamenti. L'area d'intervento si trova sull'altopiano di Loreto-Salmour.



Sezione geologica tratta dal "Carta geolitologica" del P.R.G.C.

- "Carta geomorfologica, dei dissesti e della dinamica fluviale": non segnala dissesti a carico dell'area in cui verrà realizzato il nuovo fabbricato ed il campo fotovoltaico ma evidenzia immediatamente a valle la presenza di una scarpata di terrazzo e di aree potenzialmente dissestabili: *"Genesi del processo legata alla dinamica della rete idrografica (incisione ed erosione regressiva ormai stabilizzata) attualmente in condizioni di potenziale instabilità per la marcata acclività".*
- "Carta geoidrologica": descrive i terreni affioranti come poco permeabili in virtù della presenza di della presenza di ghiaie medie e fini, in matrice sabbiosa, cementate, fortemente alterate, ricoperte da una spessa coltre di limi – argillosi. E' segnalata la presenza di un pozzo ad uso domestico in corrispondenza del gruppo di case di C.Lupotti con soggiacenza di -34,7 m dal p.c..
- "Carta della caratterizzazione litotecnica dei terreni": ai terreni ghiaioso-sabbiosi alterati con abbondante matrice argilloso-limosa son assegnati i seguenti parametri geotecnici: γ=17÷20 kN/m^2 - ϕ=30÷35° - C= 0 kN/m^2.
- "Carta di Sintesi della Pericolosità Geomorfologica e dell'Idoneità all'utilizzazione Urbanistica": praticamente tutta l'area d'intervento è inserita in **<u>Classe II</u>**: "*Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di norme di attuazione ispirate al D.M. 11/3/1988 e realizzabili a livello di progetto esecutivo*". Immediatamente a valle il territorio è inserito in Classe IIIa inidoneo a nuovi insediamenti: solo un tratto dello scavo per la tubazione di collegamento del Pozzo 1 all'impianto di trattamento attraverserà un settore in questa classe. In tale Classe è ammessa la realizzazione di "..*opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto già indicato dall'art. 31 della L.R. 56/77".*



Stralcio della "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica"

2.2.1. Idrogeologia

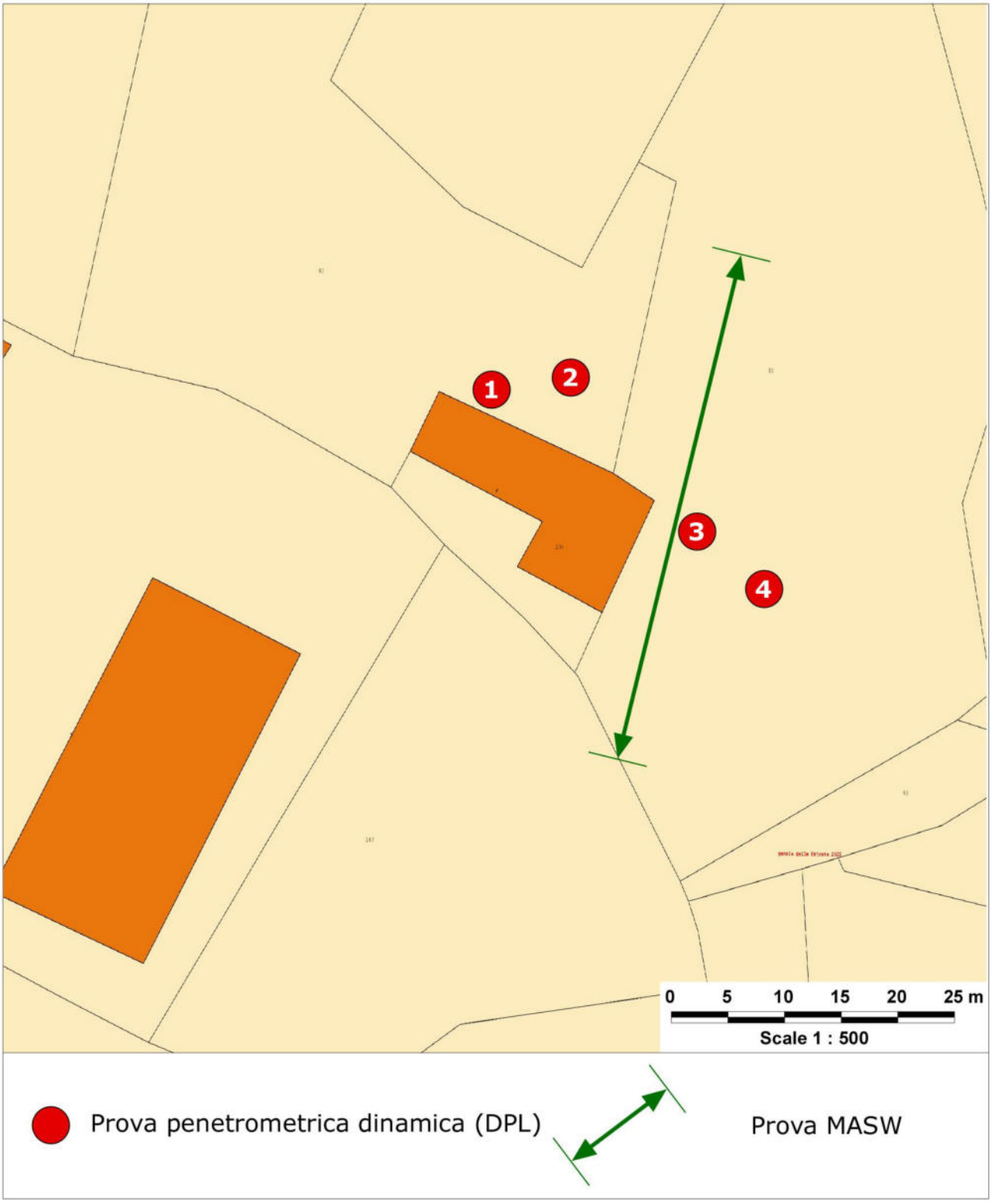
Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici i depositi ghiaioso-sabbiosi più superficiali mostrano una permeabilità primaria per porosità da elevata a media in funzione della granulometria del deposito. Più in profondità la permeabilità diminuisce bruscamente in funzione della granulometria del deposito passando da medio-bassa nei terreni sabbioso-limosi a praticamente nulla in corrispondenza degli orizzonti argillosi.

Nelle immediate vicinanze del fabbricato oggetto di demolizione è presente un vecchio pozzo al cui interno la falda si assesta a – 29 m dal locale p.c.. Non ci sarà quindi interazione tra le opere in progetto e la falda più superficiale.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO

Al fine di definire l'assetto stratigrafico in corrispondenza dell'area in studio, valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni e la potenza dei depositi di copertura sono stati eseguite prove penetrometriche dinamiche ed indagini sismiche. A seguire si espongono i risultati delle indagini la cui ubicazione è riportata in planimetria.

Qualora il progettista delle opere riterrà necessario un approfondimento del presente piano di indagini, in relazione alle risultanze della presente relazione e in considerazione della rilevanza del progetto, lo scrivente sarà prontamente disponibile a curarne eventuali integrazioni.



Ubicazione indagini geognostiche

3.1. Prove Penetrometriche Dinamiche (DPL)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per tratti consecutivi misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Le prove penetrometriche DPL eseguite sono state eseguite a monte della sede stradale utilizzando un penetrometro dinamico leggero Sunda 30-20 avente le seguenti caratteristiche standard:

- PESO MASSA BATTENTE M = 30,0 kg
- ALTEZZA CADUTA LIBERA H = 0,2 m
- PESO SISTEMA DI BATTUTA Ms = 16 Kg
- AREA BASE PUNTA CONICA A = 10 cm^2
- LUNGHEZZA DELLE ASTE La = 1 m
- PESO UNITARIO ASTE Ma = 2,4 Kg
- AVANZAMENTO PUNTA δ = 0,10 m
- Coeff. Correlazione = 0,766

Determinando il numero di colpi necessari ad infiggere la punta conica nel terreno ogni 10 cm, si sono misurati i principali parametri geotecnici del terreno suddividendolo in strati a comportamento omogeneo ed a uguale capacità di carico.

Nel valutare il carico ammissibile del terreno, si è utilizzato il calcolo effettuato mediante il metodo basato sulla relazione sperimentale proposta dalla scuola olandese (Herminier) attraverso il calcolo della resistenza dinamica (Rpd) del terreno all'avanzamento della punta, che fornisce risultanze cautelative.

La relazione impiegata è la seguente:

$$Rpd = \frac{M^2 \times H \times N}{}$$

$$A \times h \times (M+m)$$

dove:

- M = Peso della massa battente
- H = Altezza di caduta della massa
- A = superficie punta conica
- h = affondamento costante delle aste
- m = numero delle aste alle varie quote di misura + peso unitario delle singole aste
- N = numero di colpi registrati per ogni tratto costante di 10 cm

Nei risultati delle prove viene anche riportato il valore della pressione ammissibile (q_{amm}) che si ottiene dividendo il valore della Rpd (Resistenza Dinamica) per un coefficiente si sicurezza cautelativo suggerito dalla letteratura pari a 20, da cui:

$$\mathbf{q_{amm}} = Rpd/20$$

La pressione ammissibile così calcolata, ovvero secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, corrisponde all'applicazione di un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento d=1 m. Ovviamente la capacità portante del terreno andrà calcolata nello specifico in base alla tipologia e dimensionamento delle fondazioni delle opere in progetto.

3.1.1. Risultati indagine penetrometrica

In data 22 dicembre 2021 sono state realizzate n° 4 prove penetrometriche dinamiche in corrispondenza del lotto d'intervento ubicate come illustrato nella planimetria riportata in precedenza. Si tenga conto che la prova P2 è stata realizzata sul lato occidentale del fabbricato posto ad una quota maggiore di circa 1 m da quello in corrispondenza di P1.

Analizzando i risultati si può osservare:

PROVA DPL 1:

- dal p.c. a -0,3 m terreno di copertura
- da -0,3 terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli
- a -0,9 rifiuto alla penetrazione per presenza di ciottoli

PROVA DPL 2:

- dal p.c. a -0,8 m terreno di copertura
- da -0,8 terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli
- a -1,3 rifiuto alla penetrazione per presenza di ciottoli

PROVA DPL 3:

- dal p.c. a -0,4 m terreno di copertura
- da -0,4 terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli
- a -0,8 rifiuto alla penetrazione per presenza di ciottoli

PROVA DPL 4:

- dal p.c. a -1,0 m terreno di copertura
- da -1,0 terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli
- a -1,6 rifiuto alla penetrazione per presenza di ciottoli

In nessun foro è stata rilevata la presenza di falda idrica.

E' quindi evidente la presenza di terreni ghiaioso sabbiosi con ciottoli al di sotto di un sottile orizzonte di copertura superficiale poco consistenti la cui potenza aumenta spostandosi dalla zona apicale del rilievo, ove è presente il fabbricato oggetto di demolizione, verso il sottostante versante.

Punto esecuzione DPL 1

Punto esecuzione DPL 4

Prova Penetrometrica Dinamica n°1
Committente: TECNOEDIL spa
Ubicazione: Bene Vagienna (CN)
Data esecuzione: 22 gennaio 2021

Peso della massa battente (M)	30	kg
Altezza di caduta della massa (H)	20	cm
Superficie punta conica (A)	10	cm^2
Affondamento costante dell'asse (h)	10	cm
Peso unitario aste	2,4	kg
Peso sistema di battuta	13,6	kg
Peso aste + sistema battuta (m)	16	kg

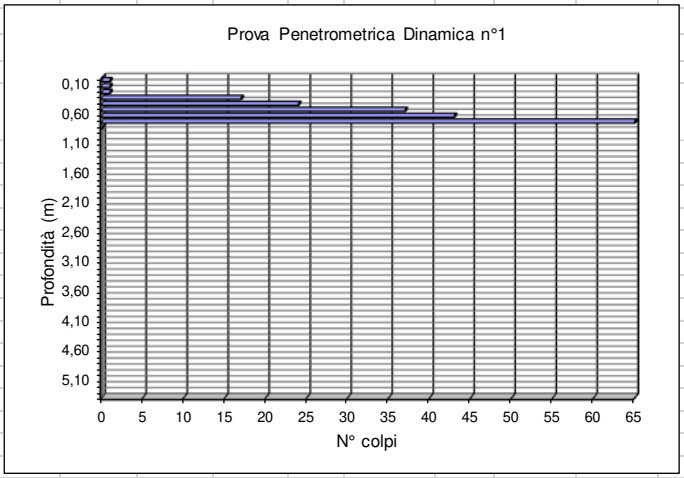
$$Rpd = (M^2 x H x N))/[A x h x (M+m)]$$

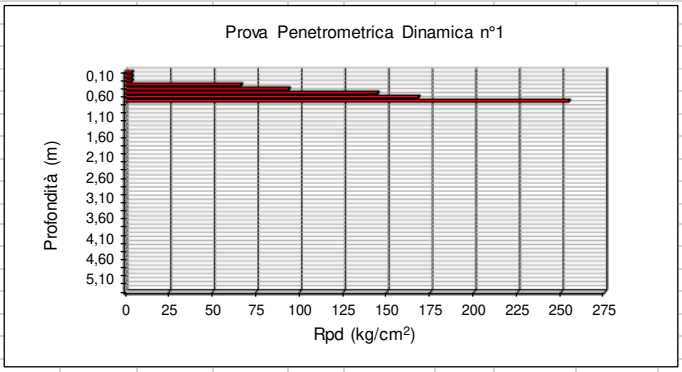
Energia specifica per colpo	Q = MH/Ah	6	kg/cm^2
	Prova SPT= Q_{SPT}	7,83	kg/cm^2
Coefficiente di energia ($\beta t = Q/Q_{SPT}$)		0,76628	

$$N_{SPT\,(teorico)} = \beta t x N$$

Prova Penetrometrica Dinamica n°1

Prof. m	N n° colpi	Rpd kg/cm²	q_{amm} kg/cm²	N_{SPT}	Falda
0,10	1	3,9	0,2	1	
0,20	1	3,9	0,2	1	
0,30	1	3,9	0,2	1	
0,40	17	66,5	3,3	13	
0,50	24	93,9	4,7	18	
0,60	37	144,8	7,2	28	
0,70	43	168,3	8,4	33	
0,80	65	254,3	12,7	50	
0,90	R				
1,00					
1,10					
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					
1,90					
2,00					
2,10					
2,20					
2,30					
2,40					
2,50					
2,60					
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					
3,30					
3,40					
3,50					
3,60					
3,70					
3,80					





Prova Penetrometrica Dinamica n°2
Committente: TECNOEDIL spa
Ubicazione: Bene Vagienna (CN)
Data esecuzione: 22 gennaio 2021

Peso della massa battente (M)	30	kg
Altezza di caduta della massa (H)	20	cm
Superficie punta conica (A)	10	cm^2
Affondamento costante dell'asse (h)	10	cm
Peso unitario aste	2,4	kg
Peso sistema di battuta	13,6	kg
Peso aste + sistema battuta (m)	16	kg

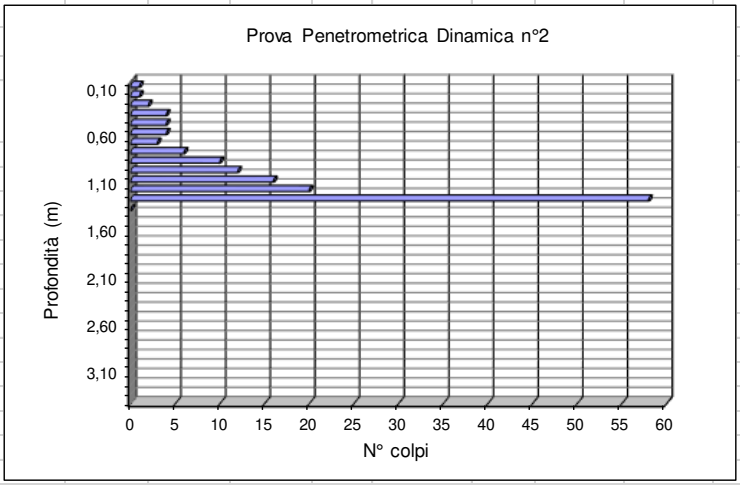
$Rpd = (M^2xHxN))/[Axhx(M+m)]$

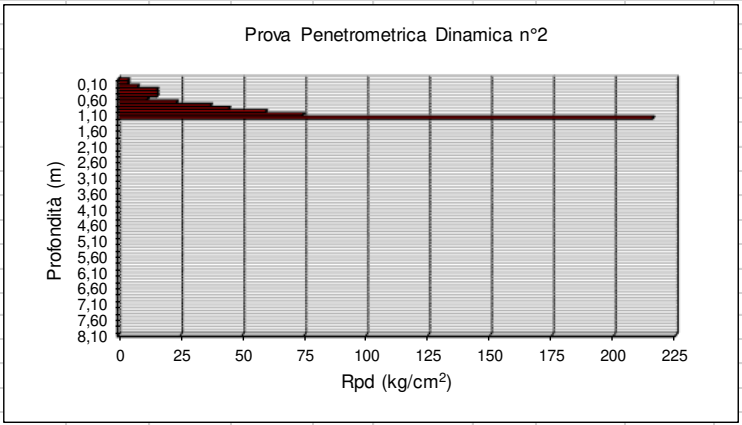
Energia specifica per colpo	Q = MH/Ah	6	kg/cm^2
	Prova SPT= Q_{SPT}	7,83	kg/cm^2
Coefficiente di energia ($\beta t = Q/Q_{SPT}$)		0,76628	

$N_{SPT\,(teorico)} = \beta t x N$

Prova Penetrometrica Dinamica n°2

Prof. m	N n° colpi	Rpd kg/cm^2	q_{amm} kg/cm^2	N_{SPT}	Falda
0,10	1	3,9	0,2	1	
0,20	1	3,9	0,2	1	
0,30	2	7,8	0,4	2	
0,40	4	15,7	0,8	3	
0,50	4	15,7	0,8	3	
0,60	4	15,7	0,8	3	
0,70	3	11,7	0,6	2	
0,80	6	23,5	1,2	5	
0,90	10	37,2	1,9	8	
1,00	12	44,6	2,2	9	
1,10	16	59,5	3,0	12	
1,20	20	74,4	3,7	15	
1,30	58	215,7	10,8	44	
1,40	R				
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					
1,90					
2,00					
2,10					
2,20					
2,30					
2,40					
2,50					
2,60					
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					





Prova Penetrometrica Dinamica n°3
Committente: TECNOEDIL spa
Ubicazione: Bene Vagienna (CN)
Data esecuzione: 22 gennaio 2021

Peso della massa battente (M)	30	kg
Altezza di caduta della massa (H)	20	cm
Superficie punta conica (A)	10	cm^2
Affondamento costante dell'asse (h)	10	cm
Peso unitario aste	2,4	kg
Peso sistema di battuta	13,6	kg
Peso aste + sistema battuta (m)	16	kg

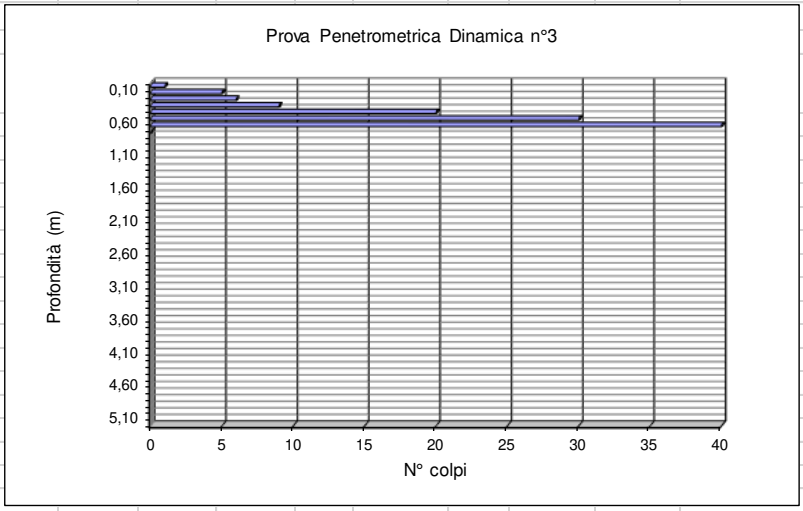
$$Rpd = (M^2 x H x N))/[A x h x (M+m)]$$

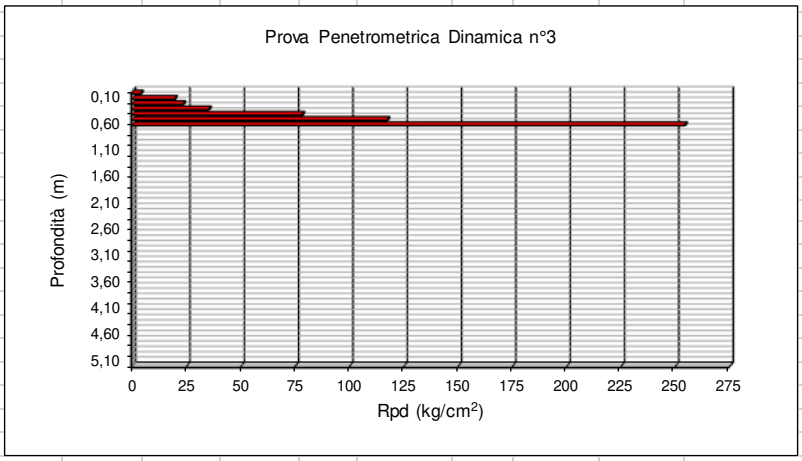
Energia specifica per colpo	Q = MH/Ah	6	kg/cm^2
	Prova SPT= Q_{SPT}	7,83	kg/cm^2
Coefficiente di energia ($\beta t = Q/Q_{SPT}$)		0,766	

$$N_{SPT\,(teorico)} = \beta t x N$$

Prova Penetrometrica Dinamica n°3

Prof. m	N n° colpi	Rpd kg/cm^2	q_{amm} kg/cm^2	N_{SPT}	Falda
0,10	1	3,9	0,2	1	
0,20	5	19,6	1,0	4	
0,30	6	23,5	1,2	5	
0,40	9	35,2	1,8	7	
0,50	20	78,3	3,9	15	
0,60	30	117,4	5,9	23	
0,70	65	254,3	12,7	50	
0,80	R				
0,90					
1,00					
1,10					
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					
1,90					
2,00					
2,10					
2,20					
2,30					
2,40					
2,50					
2,60					
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					
3,30					
3,40					
3,50					
3,60					
3,70					
3,80					





Prova Penetrometrica Dinamica n°4
Committente: TECNOEDIL spa
Ubicazione: Bene Vagienna (CN)
Data esecuzione: 22 gennaio 2021

Peso della massa battente (M)	30	kg
Altezza di caduta della massa (H)	20	cm
Superficie punta conica (A)	10	cm^2
Affondamento costante dell'asse (h)	10	cm
Peso unitario aste	2,4	kg
Peso sistema di battuta	13,6	kg
Peso aste + sistema battuta (m)	16	kg

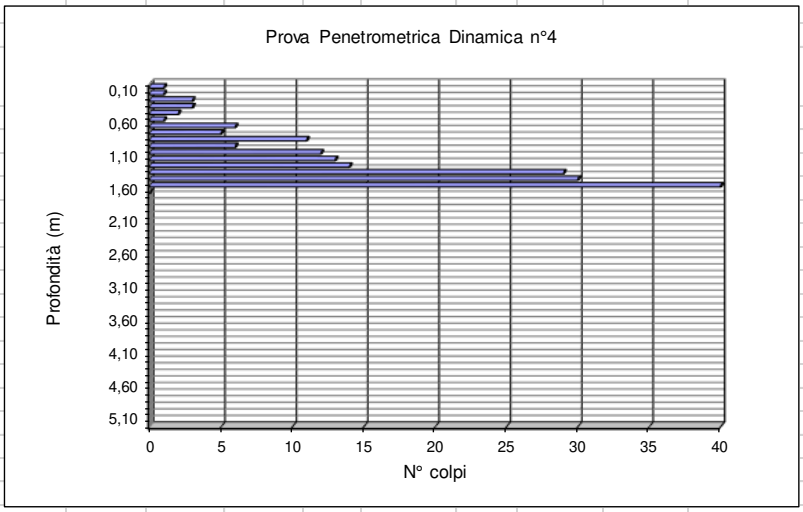
$$Rpd = (M^2xHxN))/[Axhx(M+m)]$$

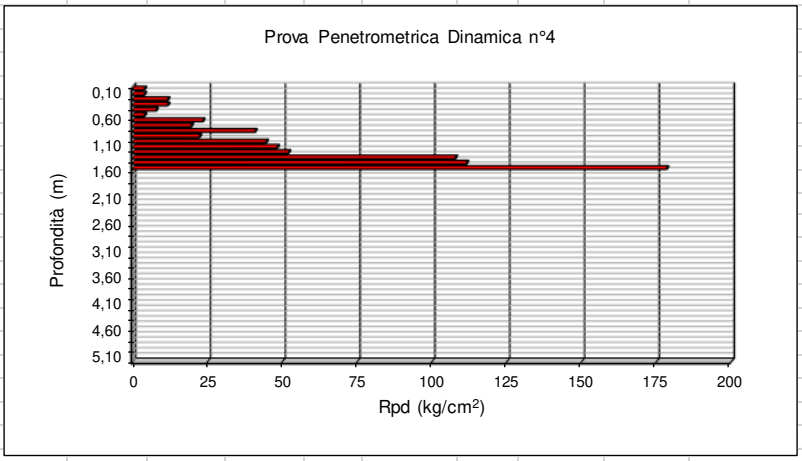
Energia specifica per colpo	Q = MH/Ah	6	kg/cm^2
	Prova SPT= Q_{SPT}	7,83	kg/cm^2
Coefficiente di energia ($\beta t = Q/Q_{SPT}$)		0,766	

$$N_{SPT\,(teorico)} = \beta t x N$$

Prova Penetrometrica Dinamica n°4

Prof. m	N n° colpi	Rpd kg/cm^2	q_{amm} kg/cm^2	N_{SPT}	Falda
0,10	1	3,9	0,2	1	
0,20	1	3,9	0,2	1	
0,30	3	11,7	0,6	2	
0,40	3	11,7	0,6	2	
0,50	2	7,8	0,4	2	
0,60	1	3,9	0,2	1	
0,70	6	23,5	1,2	5	
0,80	5	19,6	1,0	4	
0,90	11	40,9	2,0	8	
1,00	6	22,3	1,1	5	
1,10	12	44,6	2,2	9	
1,20	13	48,3	2,4	10	
1,30	14	52,1	2,6	11	
1,40	29	107,9	5,4	22	
1,50	30	111,6	5,6	23	
1,60	48	178,5	8,9	37	
1,70	R				
1,80					
1,90					
2,00					
2,10					
2,20					
2,30					
2,40					
2,50					
2,60					
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					
3,30					
3,40					
3,50					
3,60					
3,70					
3,80					





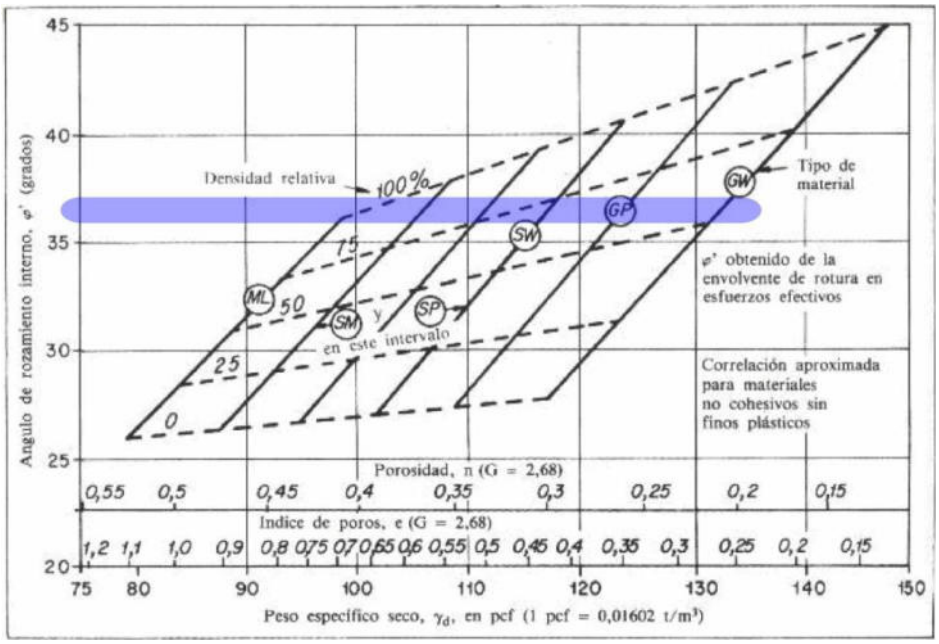
3.2. Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

A seguito delle indagini svolte l'assetto geologico-stratigrafico locale è stato ricostruito nel dettaglio. A partire dai valori di N_{SPT} ricavati dalle indagini penetrometriche è possibile, attraverso l'applicazione di diverse metodologie di correlazione, assegnare i parametri geotecnici nominali del terreno indagato. Per le correlazioni tra il parametro $\mathbf{N_{SPT}}$ ed i vari parametri geotecnici si è fatto riferimento, vista la natura dei terreni sabbioso-limosa con una componente argillosa, alle teorie indicate per terreni a comportamento intermedio tra coesivo ed incoerente.

Nel caso in studio le prove penetrometriche sono servite a valutare la potenza dei depositi superficiali di copertura ed individuare il sottostante orizzonte ghiaioso-sabbioso con ciottoli caratterizzato da buone

caratteristiche geotecniche e che dovrà essere raggiunto con il piano di fondazione delle opere in progetto.

Per tali depositi ghiaiosi l'avanzamento della punta è condizionato dalla presenza di ciottoli che spesso condiziona la prova sovrastimando così la reale compattezza del deposito e di conseguenza la definizione dei parametri geotecnici. Il rifiuto alla penetrazione è infatti dovuto alla presenza di ciottoli e non al consolidamento del deposito. Per tale motivo la caratterizzazione geotecnica dell'orizzonte 2 ghiaioso sabbioso con ciottoli è stata svolta con riferimento alla classificazione ASTM, nella quale vengono escluse le particelle di dimensioni maggiori di 75 mm, sulla base di un esame visivo, i terreni ghiaioso sabbioso/limosi terreni potrebbero essere cautelativamente classificati come GW - GM (ghiaia limosa ben assortita). Dalle osservazioni svolte questi terreni risultano mediamente addensati (60≥Dr(%)≥50) e quindi facendo riferimento alla correlazione di NAVFAC (1971) vi si possono assegnare i seguenti parametri geotecnici.



Relazione tra angolo di attrito interno e peso di volume a secco per terreni granulari (Navfac, 1971)

A seguire si riporta una tabella riassuntiva dei parametri geotecnici nominali per gli orizzonti omogenei individuati durante l'esecuzione delle prove, escludendo l'orizzonte di copertura superficiale che raggiunge profondità comprese tra -0,4 m ed -1,0 m cm, considerando una media dei singoli dati ricavati dalle elaborazioni.

Descrizione	Nspt eq	Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	Peso di Volume naturale γ (kg/m³)	Peso di Volume saturo γsat (kg/m³)	Coesione C (kg/cm²)	Modulo Elastico E (kg/cm²)
Depositi Ghiaioso sabbiosi con ciottoli	>15	36	1900	2000	0	490

Parametri geotecnici nominali dei terreni di fondazione

A seguire viene calcolato il valore caratteristico specifico e il parametro caratteristico dell'angolo di attrito che è stato determinato con elaborazioni statiche con determinazione del 5° percentile della distribuzione (della media o del campione) tramite appropriato software. Per il calcolo si è utilizzato un coefficiente di variazione (COV) pari al 7%.

I valori caratteristici determinati sono:

Angolo di resistenza al taglio ϕ_K (°)
31,9

Parametri caratteristici

Affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (Stato Limite Ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$Ed < Rd$$

dove Ed è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa; mentre Rd è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Per quanto riguarda la costante di sottofondo (k_w), detta costante di Winkler, si sottolinea come essa non sia affatto una proprietà intrinseca del terreno, ma dipende da forma e dimensioni della fondazione, dalla distribuzione dei carichi agenti, dalla stratigrafia e dalla composizione fisica del suolo. In pratica rappresenta una forza esercitata sul suolo elastico alla Winkler, su un'area di 1 cm^2 che provoca l'abbassamento di 1 cm. Ciò che da sempre si è cercato di fare è l'associare un certo valore del modulo ad uno specifico terreno, motivo per il quale si sente spesso parlare di costante di Winkler. L'uso del termine "*costante*" è concettualmente sbagliato. Il modulo di reazione del terreno, se guardiamo la sua definizione, dipende infatti dalla pressione esercitata sul terreno, a sua volta funzione di altre grandezze. Quindi il modulo di reazione del terreno non è costante, non dipende solo dal tipo di terreno.

La sua determinazione richiede indagini geotecniche onerose e pertanto ci si accontenta spesso di valori cautelativi. E' possibile individuare dei range di validità in funzione del terreno, sebbene non si debba fare l'operazione inversa (ovvero: in funzione del tipo di terreno assumere direttamente un valore di k). I range caratteristici in funzione del tipo di terreno sono i seguenti:

Terreno	Minimo (kg/cm^3)	Massimo (kg/cm^3)
Sabbia sciolta	0,48	1,60
Sabbia mediamente compatta	0,96	8,00
Sabbia compatta	6,40	12,80
Sabbia argillosa mediamente compatta	3,20	8,00
Sabbia limosa mediamente compatta	2,40	4,80
Ghiaia con sabbia	10	25
Ghiaia compatta	20	30
Argilla con q_a<=2 kg/cm^2	1,2	2,4
Argilla con 200<q_a<=8 kg/cm^2	2,4	4,8
Argilla con q_a>8 kg/cm^2	>4,8	

Range caratteristici indicativi di kw per diverse tipologie di terreni

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

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).

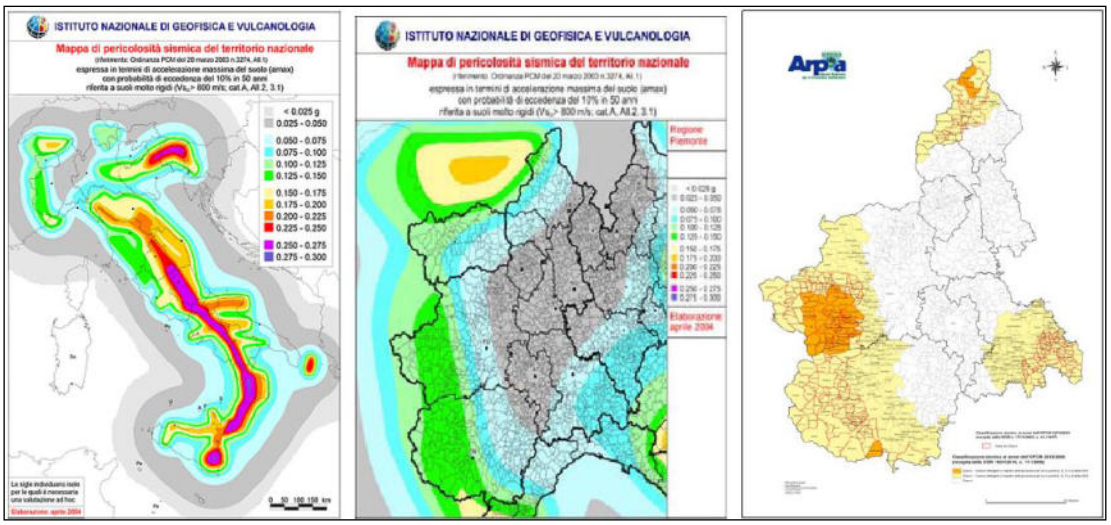
Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire a chi costruisce un edificio nuovo un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale gli edifici vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza crollare. Un edificio 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 ed a impedire il crollo).

Detti criteri sono stati stabiliti dall'allegato al recente D.M. 17 gennaio 2088 "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 (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico indicati nelle Norme Tecniche (allegati 2, 3,4).

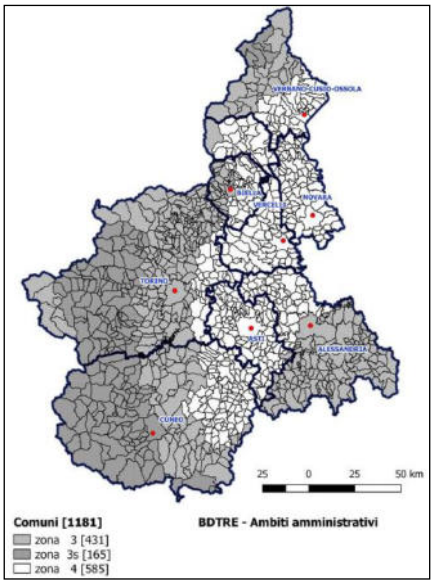
Su iniziativa della Regione Piemonte recentemente è stato riaggiornato l'elenco delle Zone Sismiche del Piemonte, sulla base di uno studio del Politecnico di Torino.

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.

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	0,5 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05



Nuova classificazione sismica del territorio nazionale e piemontese (O.P.C.M. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)



Classificazione sismica del Piemonte

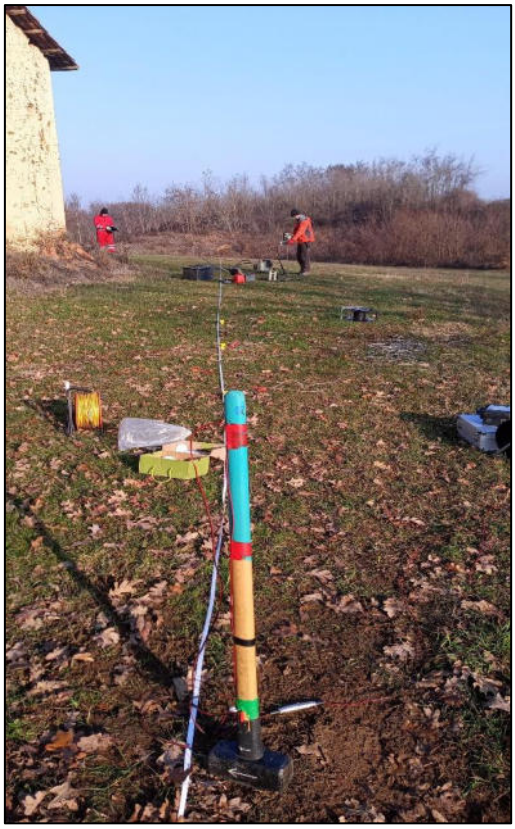
Il territorio regionale piemontese è sede di attività sismica, modesta come intensità, ma notevole come frequenza. I terremoti si manifestano generalmente lungo due direttrici:

- 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.

Secondo la *D.G.R. 15/02/2019, n. 17-8404 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2016)"* il Comune di Bene Vagienna è classificato in Zona 4.

Per la definizione della pericolosità sismica di base è stata condotta in data 22 dicembre 2021 una prova MASW.



Esecuzione prove MASW

4.1. Indagine MASW

Sullo stendimento L1 è stata realizzata un'acquisizione MASW in modo da risalire al profilo Vs in corrispondenza dell'area in studio.

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 registrarlo 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 GeoMASW della ProgramGeo. 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.

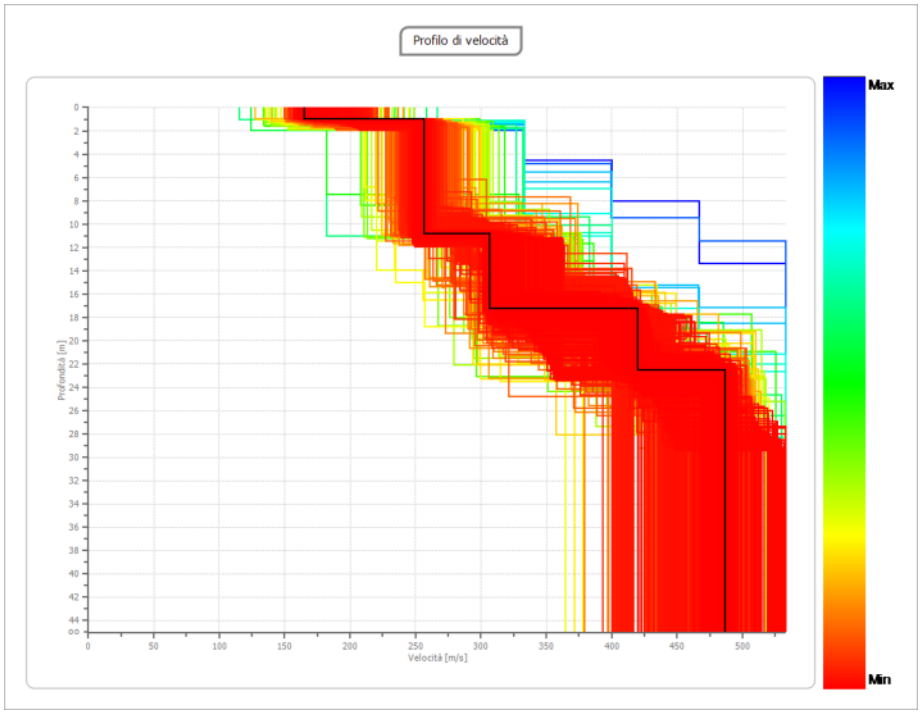
I risultati ottenuti evidenziano la presenza di un profilo omogeno dovuto alla presenza di terreni di natura alluvionale di potenza pluri-decamentrica con Vs che non superano i 400 m/s fino alla profondità indagata.

Lo stendimento realizzato aveva le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza: 46 m

- N° geofoni: 24
- Interasse geofoni: 2 m
- Battuta con mazza da 5 kg a –4 m dal geofono 1
- Acquisizione: Sismografo Ambrogeo s.r.l.

Analizzando i risultati dell'indagine riportata a seguire si osserva come al di sotto di un orizzonte superficiale a bassa velocità che a partire da circa -10 m aumenta gradualmente senza però raggiungere gli 500 m/s. Si riporta in allegato il report del software di interpretazione WINMASW.



Profilo di velocità

4.2. Definizione della categoria di sottosuolo

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 con le NTC 2008 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 (Vs_{eq}) inserita nelle NTC 2018 e definita dalla seguente relazione:

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

con

- hi = spessore dello stato isesimo
- Vs,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 o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/sec (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una *variazione sul tema* rispetto al parametro Vs30 (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 VS_{eq} è definita dal parametro VS_{30}, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. I valori di VS 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:

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

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

Nel caso in studio considerando un piano di fondazione a -1,0 m dal p.c. si ottiene una Vs_{eq} pari a 337,63 m/s, che porta a classificare il sottosuolo nella **Categoria C**: *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del-le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".*

Per la stima della pericolosità sismica locale verranno utilizzati i seguenti parametri:

- Categoria di sottosuolo: *C*
- Categoria Topografica: *T1*

5. CONSIDERAZIONI DI INDIRIZZO TECNICO-ESECUTIVO

- Il piano di posa delle fondazioni del fabbricato oggetto dovrà essere individuato in corrispondenza dei depositi di natura ghiaioso-sabbiosa con ciottoli presenti a profondità variabili tra -0,5÷-1,0 m dal p.c. ed essere adeguatamente immorsato in esso. In ottemperanza a quanto sancito dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018, dovranno essere eseguiti i calcoli delle resistenze della capacità portante e dei cedimenti dei terreni di fondazione in relazione alla tipologia di fondazione prevista.
- L'area in cui verrà realizzato il fabbricato per l'impianto di trattamento delle acque ed il campo fotovoltaico è esterna a perimetrazioni di dissesto legate alla dinamica dei corsi d'acqua e dei versanti. Solo una piccola parte della tubazione di collegamento al Pozzo 1 (Ex consorzio LUVOT) attraversa un settore di versante potenzialmente instabile. Questa porzione d'intervento, compatibile con il quadro normativo/vincolistico (cfr. paragrafo 2.2), non aumenterà la propensione al dissesto in quanto la tubazione ha direzione trasversale alla linea di massima pendenza e non creerà zone di accumulo delle acque di ruscellamento superficiale.
- Dal punto di vista dell'assetto idrogeologico si esclude la presenza di falda nei primi metri di profondità, anche se non si può escludere una discreta circolazione idrica a quote prossime al p.c. in caso di eventi piovosi significativi.
- Per quanto riguarda la realizzazione dei riporti nel settore di realizzazione del campo fotovoltaico si ritiene che vista la bassa acclività dell'area e la loro limitata potenza siano compatibili con l'assetto geologico e geomorfologico del sito. L'angolo di scarpa del fronte del riporto dovrà essere compatibile con la natura dei terreni riportati. Dovrà essere posta la massima attenzione nelle operazioni di stesura e compattazione dei materiali deposti; dovrà essere curata con attenzione la regimazione delle acque meteoriche e, in particolare, evitata la formazione di avvallamenti e contropendenze che possano causare la formazione di ristagni.
- Occorrerà prevedere una regimazione superficiale delle acque meteoriche, oltre alla raccolta di quelle di gronda del fabbricato, e di quelle di ruscellamento superficiale. Le acque così raccolte andranno convogliare nella rete di scolo naturale esistente al margine dell'area.
- Per quanto riguarda gli aspetti sismici, ricordando che secondo la *D.G.R. 15/02/2019, n. 17-8404 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2016)"* il Comune di Bene Vagienna è stato riclassificato in Zona 4, a seguito dell'indagine svolta sono stati definiti i seguenti parametri:
    - Categoria di sottosuolo: *C*
    - Categoria Topografica: *T1*
- In fase di esecuzione delle opere si dovrà porre la massima attenzione alla stabilità di eventuali fronti di scavo, evitando di intervenire con scavi aperti nei periodi piovosi, adottando tutte le cautele per il loro sostegno soprattutto nel caso in cui la loro profondità superi gli 1,5 m attraverso la messa in opera di opere provvisionali. Per il ritombamento degli scavi, dovrà essere preferibilmente utilizzato il materiale di risulta degli scavi stessi, previa adeguata selezione e compattazione, in modo da evitare la formazione di linee preferenziali di drenaggio ed inibire possibili fenomeni di dilavamento e fluidificazione del materiale smosso, cercando di ricostruire, per quanto possibile, la struttura originaria del terreno. L'esecuzione degli scavi dovrà essere effettuata in modo da evitare franamenti e/o rotolamenti di materiale lungo il pendio.

6. CONCLUSIONI

Le osservazioni sopra esposte consentono di evidenziare la fattibilità degli interventi in progetto, avendo cura di rispettare le considerazioni di carattere tecnico-esecutivo precedentemente illustrate.

Gli interventi in progetto risultano quindi compatibili con l'assetto geologico/geomorfologico, geotecnico esistente nel caso in cui ci si attenga rigidamente alle soluzioni progettuali prospettate allo scrivente.

In sede di esecuzione dell'intervento la Direzione Lavori, ove necessario, è tenuta a richiedere un sopralluogo dello scrivente per il controllo della conformità di quanto sopra esposto e per verificare la continuità dell'assetto stratigrafico e geotecnico supposto attraverso indagini puntuali. In questo modo sarà possibile apportare quelle modificazioni e miglioramenti tecnici che si renderanno eventualmente necessari.

Peveragno, giugno 2022

Il Geologo, Dott. Andrea Bredy

Allegati:

- *Report software EasyMASW*

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 rigidezza.

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:

$$v = \lambda \times v$$

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 rigidezza.

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.

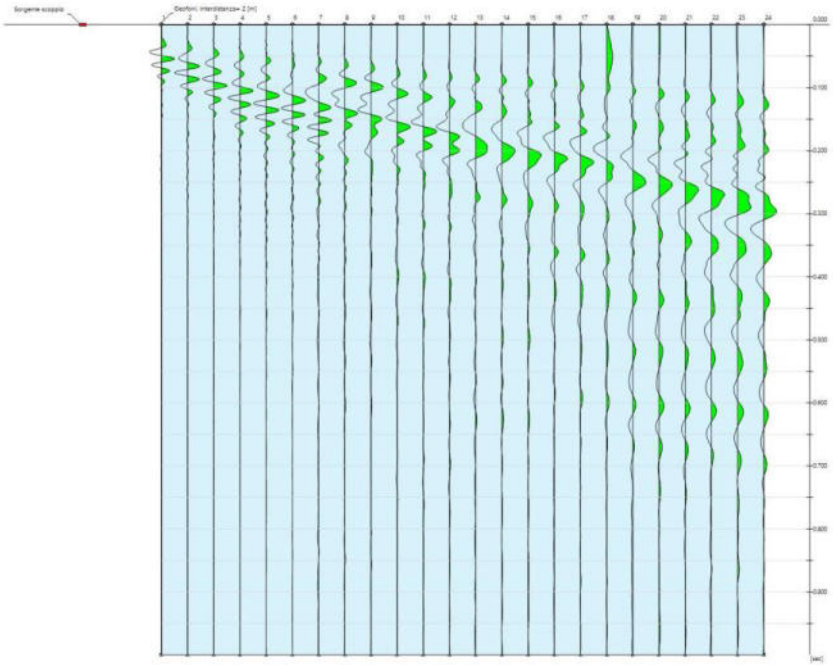
Profondità di indagine
Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Dati generali

Data	28/12/2021 05:55

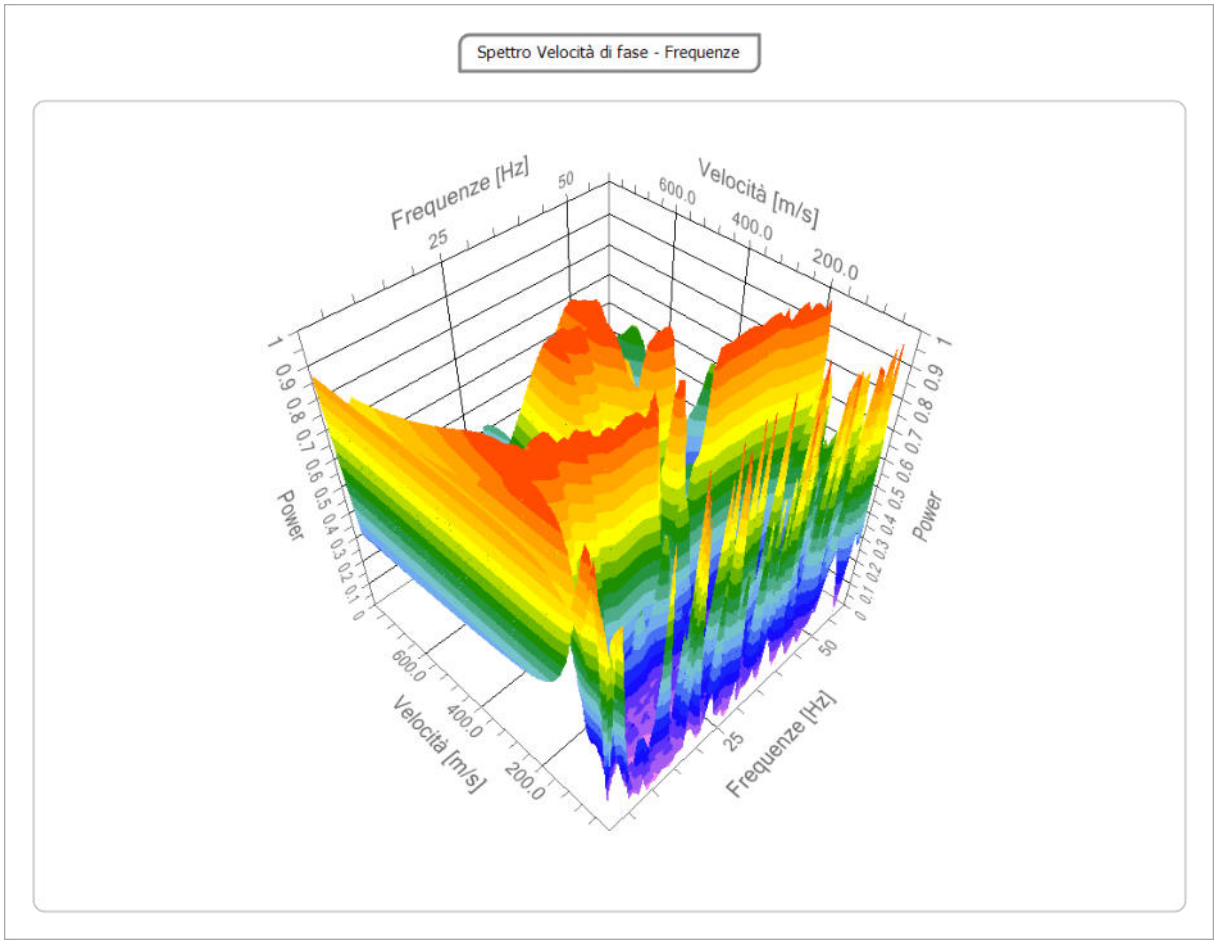
Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00



Analisi spettrale

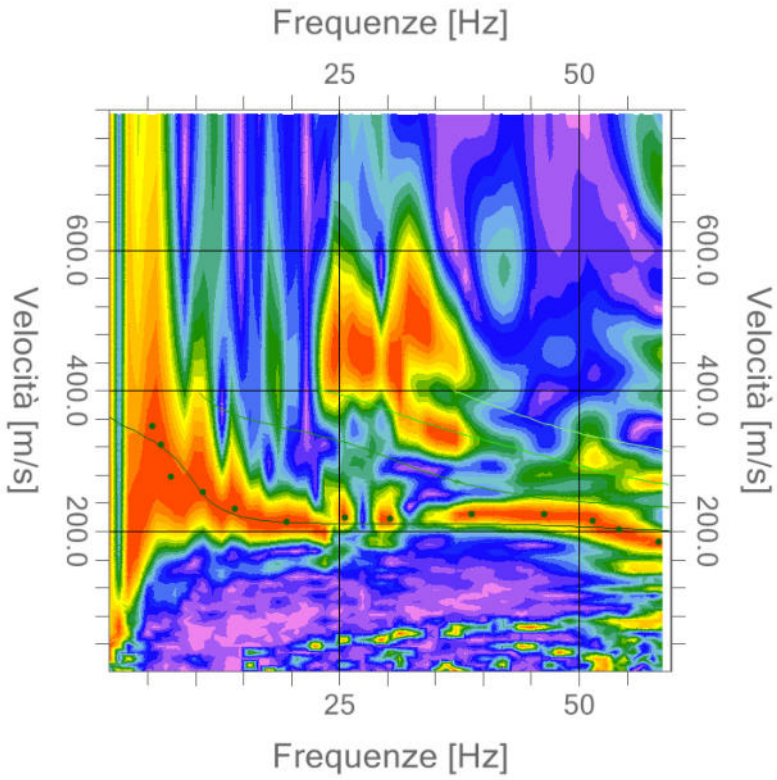
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	5.4	349.0	0
2	6.4	322.9	0
3	7.5	277.1	0
4	10.7	255.9	0
5	14.1	231.4	0
6	19.5	213.4	0
7	25.6	219.9	0
8	30.3	218.3	0
9	38.8	224.9	0
10	46.4	224.9	0
11	51.4	215.0	0
12	54.2	202.0	0
13	58.3	185.6	0

Spettro Velocità di fase - Frequenze

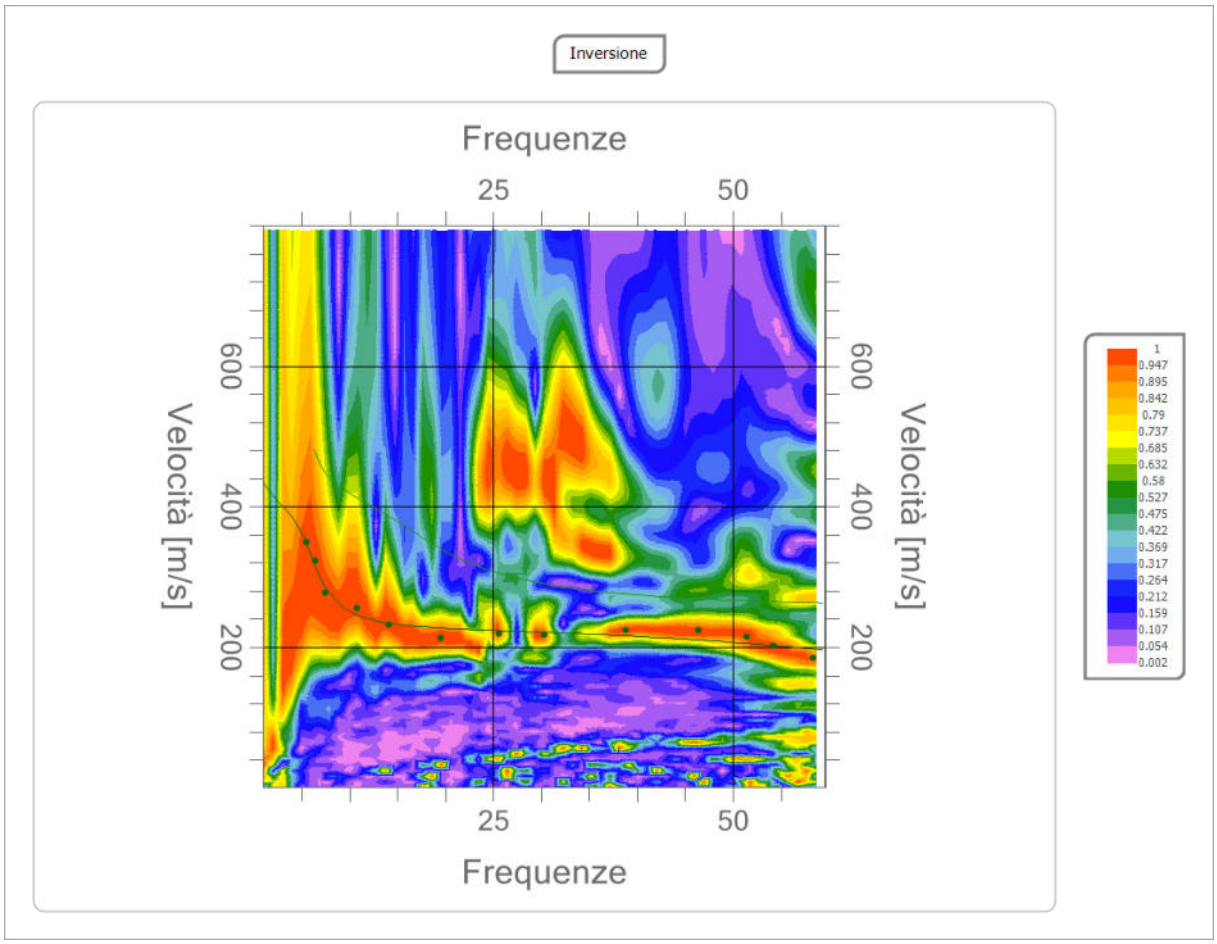


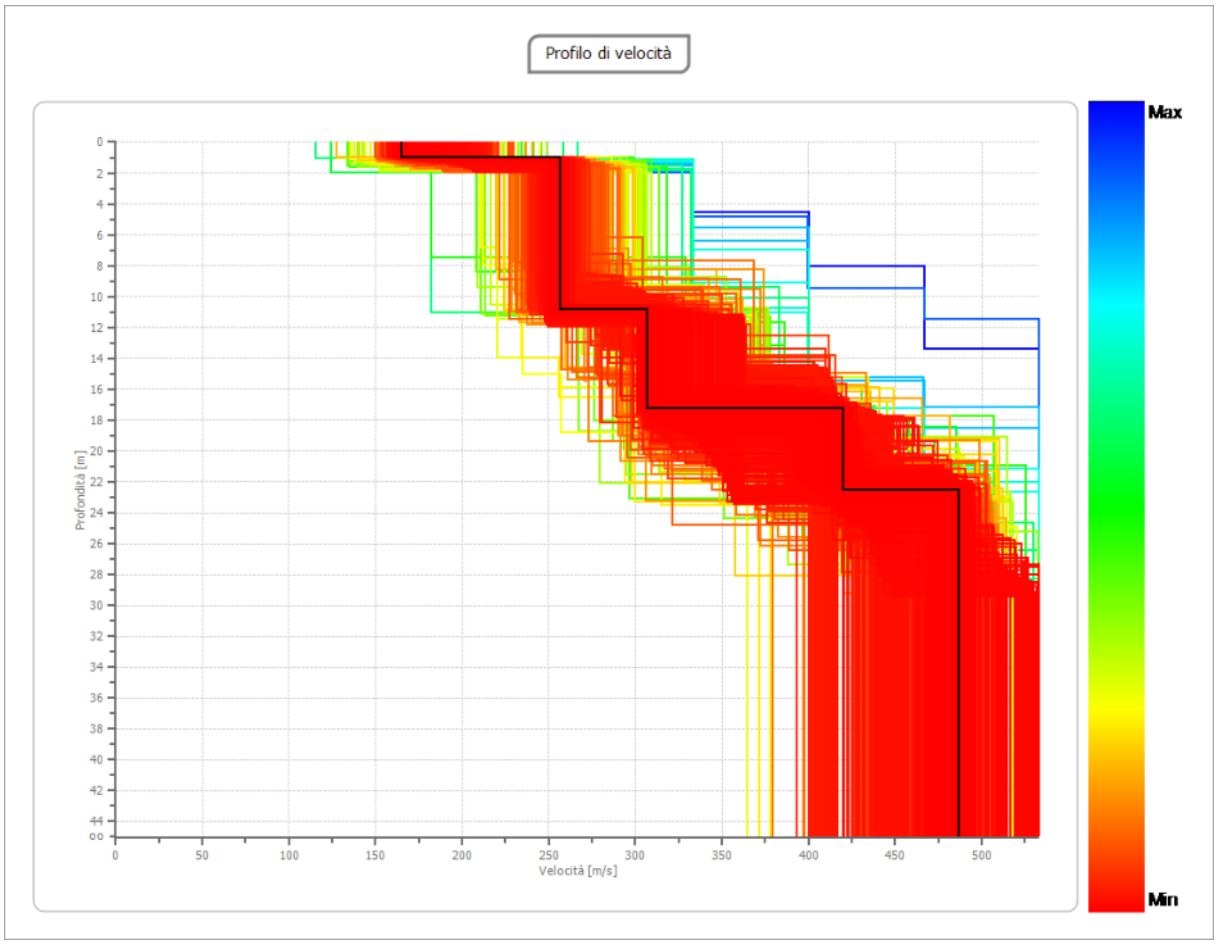
Inversione

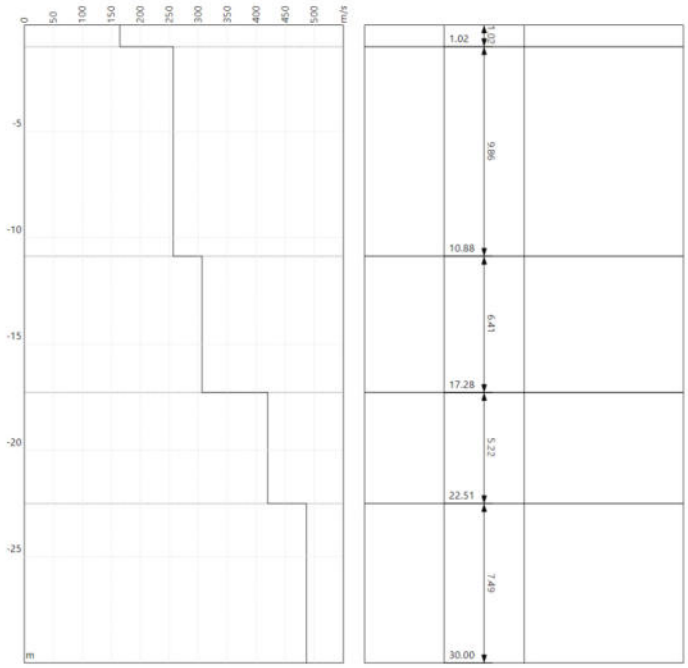
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.02	1.02	1750.0	0.30	No	308.1	164.7
2		10.88	9.86	1900.0	0.30	No	479.9	256.5
3		17.28	6.41	1800.0	0.30	No	573.4	306.5
4		22.51	5.22	1900.0	0.30	No	785.6	419.9
5		oo	oo	1800.0	0.30	No	910.5	486.7

Percentuale di errore 0.119 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.038


Inversione
Frequenze
25
50
600
400
200
Velocità [m/s]
1
0.947
0.895
0.842
0.79
0.737
0.685
0.632
0.58
0.527
0.475
0.422
0.369
0.317
0.264
0.212
0.159
0.107
0.054
0.002


Profilo di velocità
Profondità [m]
Velocità [m/s]
Max
Min


m/s
m
1.02
10.88
17.28
22.51
30.00
9.86
6.41
5.22
7.49

Risultati

Profondità piano di posa [m]	1.00
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	337.63
Categoria del suolo	C

Suolo di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del-le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.02	1.02	164.67	308.06	1750.00	0.30	47.45	166.08	102.81	123.37	N/A	286.31
2	10.88	9.86	256.52	479.91	1900.00	0.30	125.03	437.60	270.90	325.07	N/A	2656.38
3	17.28	6.41	306.50	573.41	1800.00	0.30	169.10	591.84	366.37	439.65	N/A	N/A
4	22.51	5.22	419.89	785.55	1900.00	0.30	334.99	1172.47	725.81	870.98	N/A	N/A
5	oo	oo	486.70	910.53	1800.00	0.30	426.38	1492.32	923.81	1108.58	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

Indice

Dati generali.....4

Tracce.....5

Analisi spettrale.....6

Curva di dispersione.....7

Inversione.....9

Risultati.....13

Altri parametri geotecnici.....13

Indice.....15