



COMUNE DI BÈE
REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DEL VERBANO CUSIO OSSOLA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA STRADA DI ACCESSO
ALLA FONDAZIONE DALL'ABITATO DI ALBAGNANO
Variante al tracciato settembre 2015

Committente
Ambiente e Paesaggio s.c.a.r.l.
Piazza Giacomo Matteotti n. 20 - 28921 Verbania (VB)

RELAZIONE SISMICA

Verbania 24 settembre 2015

Dott. Geol. Giovanni Capulli



INDICE

1. Premessa	1
2. Localizzazione	1
3. Analisi preliminare delle condizioni sismiche	2
4. Analisi geologica.....	2
5. Inquadramento geologico.....	2
6. Caratteristiche geomorfologiche	4
7. Modello geologico locale.....	4
8. indagine sismica passiva HVSR	4
8.1 premessa all'indagine sismica locale	4
8.2 Descrizione dell'acquisizione delle registrazioni.....	5
8.3 Analisi delle registrazioni.....	6
8.4 Registrazione S6.....	8
8.5 Registrazione S7.....	9
8.6 Registrazione S8.....	10
8.7 Stima della Vs,30	11
8.8 Risultati analitici delle registrazioni.....	12
8.9 Individuazione della Categoria di suolo.....	15
8.10 Individuazione dei parametri sismici.....	16
9. Analisi geotecnica dei terreni.....	18

1. Premessa

Il sottoscritto Dott. Geol. Giovanni CAPULLI, residente nella città di Verbania, con studio in Corso Lorenzo Cobianchi n. 33, regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi del Piemonte al n. 356, ha ricevuto incarico (novembre 2014) dalla società Ambiente e Paesaggio s.c.a.r.l. di Verbania (VB) e per conto dei committenti delle opere, di redigere la presente relazione sismica a supporto del progetto per la **realizzazione di una strada di accesso alla Fondazione dall'abitato di Albagnano** nel territorio comunale di Bée (VB).

Nel mese di settembre 2015, a seguito della modifica progettuale del tracciato della nuova strada, si è reso necessario redigere una integrazione allo studio geologico e pertanto è stata anche prodotta la presente relazione sismica integrativa sempre a supporto dell'analisi geologica.

Per lo svolgimento dell'incarico si è proceduto ad effettuare tre nuove registrazioni in corrispondenza dei nuovi scavi esplorativi, ed in particolare dello scavo SC1, SC3 e SC5 (vedi planimetria allegata in calce alla presente).

In questa fase occorre evidenziare che non si è proceduto alla realizzazione di indagini geotecniche dirette per l'acquisizione dei parametri geotecnici, ricorrendo pertanto a quelli medi riportati nella letteratura scientifica e tecnica di settore.

2. Localizzazione

L'area è situata nel territorio comunale di Bée (VB), in località Albagnano, immediatamente a valle del nucleo edificato. Cartograficamente essa è individuabile alle seguenti coordinate geografiche¹ determinate direttamente dalla Carta Tecnica Regionale della Regione Piemonte, con riferimento alla Sezione n. 073040 ed evidenziata nell'estratto cartografico con il cerchio di colore rosso.

Le coordinate geografiche e le quote altimetriche si riferiscono al centroide dell'area indagata.

- E 468.067 m / N 5.090.329 m
- Quota topografica: 595 m s.l.m.

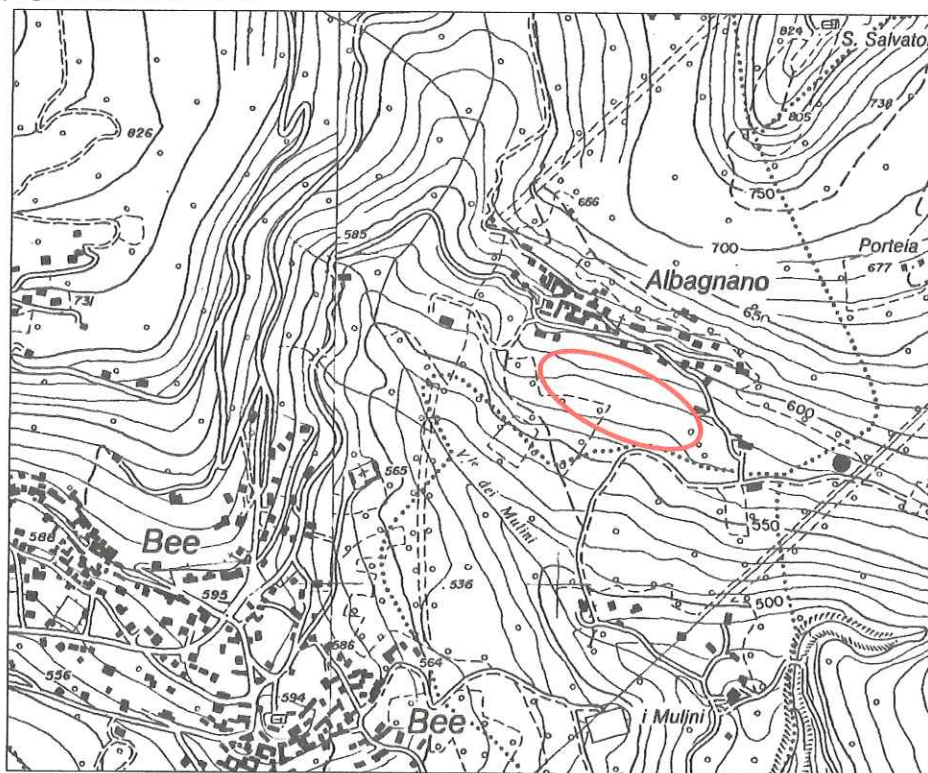


Figura 01: localizzazione dell'intervento su estratto della CTR sezione 073040 (estratto non in scala)

¹Sistema cartografico di riferimento UTM-WGS 84)

3. Analisi preliminare delle condizioni sismiche

La classificazione sismica del territorio nazionale, contenuta nell'OPCM n. 3274/2003, ha portato alla suddivisione dello stesso in 4 zone sismiche, contraddistinte da un diverso valore del parametro a_g , definito come accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A ed espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g ; in particolare, il comune di Bèe è posto in zona 4.

La DGR 19 gennaio 2010 n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006) e le successive DGR n. 17-2172 del 13 giugno 2011 e DGR n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 della Regione Piemonte, confermano tale classificazione.

Il metodo di calcolo da adottare è generalmente quello agli stati limite ad eccezione di quanto previsto dall'art. 2.7 del D.M. 14 gennaio 2008 secondo cui per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili e pertanto è possibile fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. 11 marzo 1988 per le opere e i sistemi geotecnici.

Le azioni sismiche debbono essere valutate assumendo pari a 5 il grado di sismicità S , quale definito al punto B.4 del D.M. 16 gennaio 1996, ed assumendo le modalità costruttive e di calcolo di cui al D.M. citato, nonché alla Circolare LL. PP. 10 aprile 97, n. 65/AA.GG. e relativi allegati.

Applicando il calcolo agli stati limite la progettazione di nuove strutture dovrà essere condotta secondo i criteri previsti dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i. che deriva dalla Normativa Europea EN 1998, Eurocodice 8, per la progettazione in zona sismica successivamente inseriti nel D.M. 14 gennaio 2008 - Nuove Norme tecniche per le costruzioni.

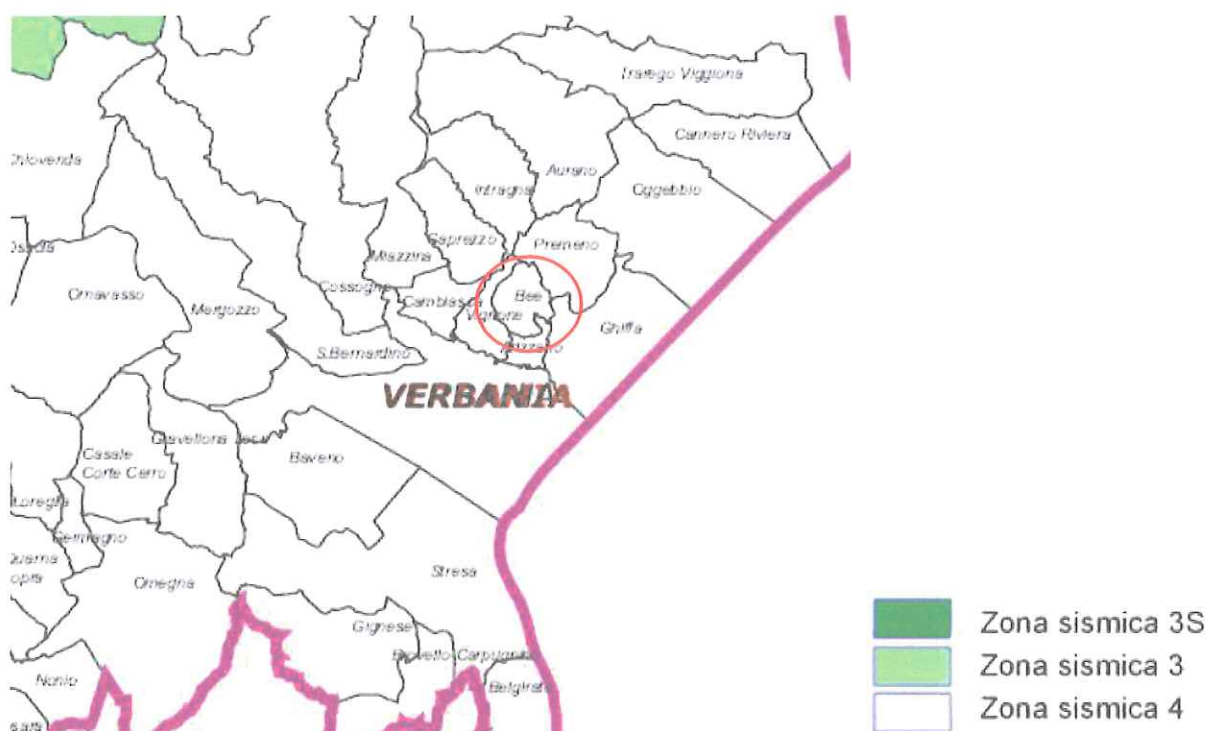


Figura 02: stralcio della carta di classificazione sismica dei comuni (estratto non in scala)

4. Analisi geologica

5. Inquadramento geologico

Dall'analisi della Carta Geologica della Zona di Verbania², risulta che nell'area di intervento il basamento roccioso è costituito da rocce metamorfiche appartenenti alla Serie di Laghi, a sua volta appartenente all'Unità

² (A. Boriani et al. – 1977)

Strutturale nota come "Serie dei Laghi"; tale Unità che si estende dalla Valsesia sino alla valle del Ticino è, verso NW, in contatto tettonico con l'Unità Strutturale "Ivrea Verbano", mentre, verso S e SE costituisce generalmente il basamento delle coperture sedimentarie Permo-mesozoiche Sudalpine.

Gli "Scisti dei Laghi" in generale sono costituiti da Micascisti e Paragneiss di prevalente natura pelitica, a due miche (muscovite più biotite) e granato, localmente sono retrocessi in facies scisti verdi; da Ortogneiss a orneblenda con plagioclasio, quarzo, biotite e k-feldspato subordinato; gneiss granitoidi a quarzo, k-feldspato, plagioclasio e biotite in grandi lamine.

Nell'area di intervento sono presenti i Paragneiss (ms in legenda) che tuttavia non si rilevano in affioramento, ne nell'area di intervento, ne in un intorno ad essa significativa.

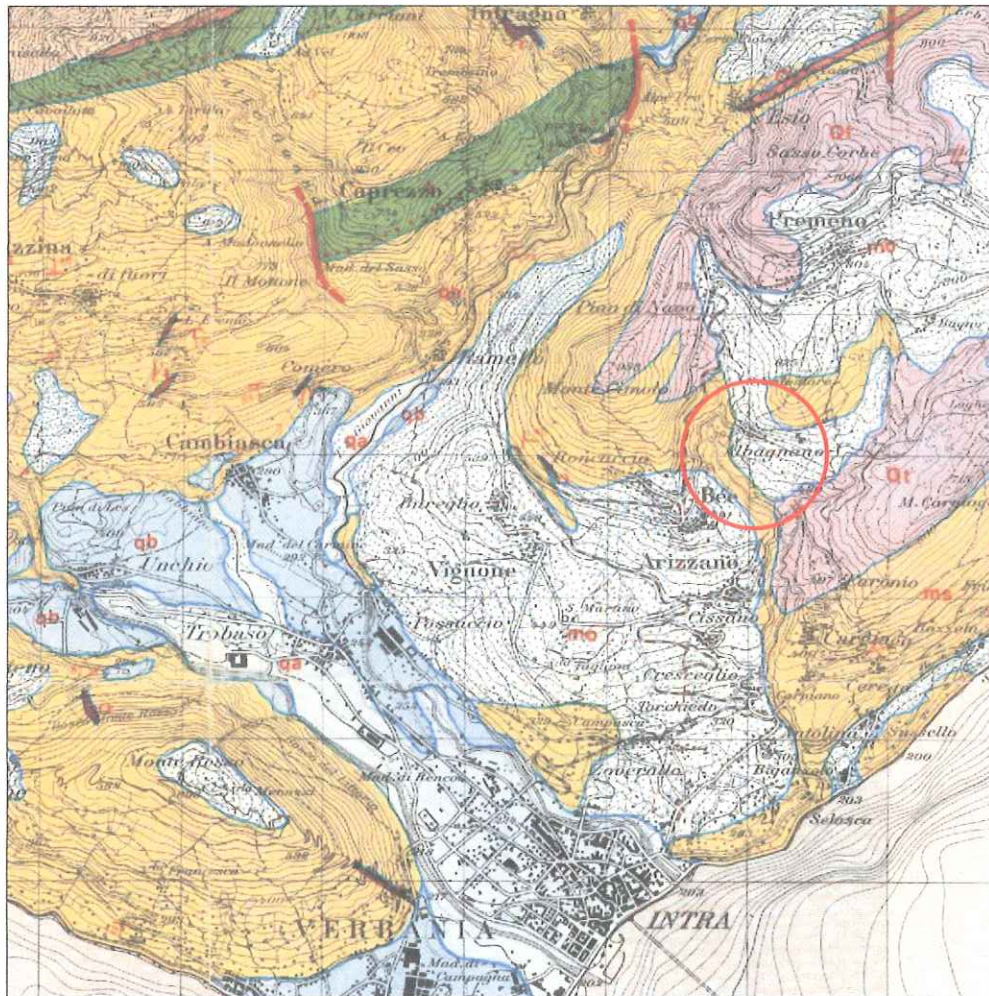
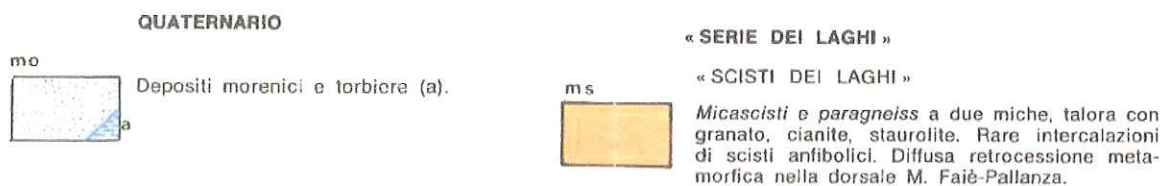


Figura 03: Estratto della Carta Geologica della zona di Verbania (A. Boriani et. All. – 1977)
estratto non in scala – con il cerchio rosso viene localizzata l'area in analisi
e di seguito si riporta uno stralcio della legenda



I depositi superficiali sono costituiti prevalentemente da una coltre eluvio colluviale di spessore ridotto ma di estensione significativa, passante in alcuni settori a veri e propri depositi di versante; definibili come depositi

costituiti da frammenti che compongono la roccia madre, derivante dall'alterazione in posto del substrato (eluvium), e/o dall'accumulo al piede dei versanti per gravità, per "creep", o per soliflusso del materiale derivato dall'alterazione del substrato roccioso (colluvium), in una matrice sabbioso-limosa; tali materiali si presentano normalmente addensati e facilmente scavabili.

Sono inoltre presenti anche presenti significativi porzioni di depositi glaciali localmente anche potenti (Arizzano, Albagnano, Premeno), costituiti da un accumulo marcatamente eterogeneo di ghiaie, ciottoli e massi con matrice sabbioso-limosa in quantità variabile, solo localmente superiore alla quantità dei clasti; deposto dai ghiacciai che hanno occupato e modellato la valle ed i versanti. Possono localmente presentare spessori rilevanti, nell'ordine delle decine di metri. Il materiale possiede un grado di addensamento medio-elevato.

6. Caratteristiche geomorfologiche

L'area in oggetto è inserita nel versante sinistro della Valle dei Mulini, immediatamente ad sud dell'abitato di Albagnano, compreso tra le quote 590 e 560 m s.l.m.

Ha una esposizione prevalente in direzione sud/sudovest, e una inclinazione generale (a scala vasta) di circa 30/35°; presenta una diffusa copertura vegetale data da alberi ad alto e medio fusto (castagno prevalente) con presenza di spazi aperti e radure, alcune condotte a orto e giardino.

Per quanto riguarda nello specifico l'area di intervento, si presenta terrazzata ed in parte boscata.

7. Modello geologico locale

In considerazione delle considerazioni di carattere geologico fino ad ora condotte e per la generale conoscenza dei luoghi, è possibile indicare il seguente modello geologico locale, ossia la ricostruzione della sequenza e dei rapporti reciproci tra elementi geomorfologici, geologici ed idrogeologici anche in considerazione degli eventuali elementi antropici, in relazione agli interventi previsti in progetto.

Nell'area di studio è prevalente in copertura la presenza di depositi quaternari (depositi glaciali o morenici) con una potenza (spessore) stimata nell'ordine metrico. In generale risulta uno spessore dei depositi glaciali compresa tra 9 e 15/16 m.

Al di sotto di questi depositi è presente il substrato roccioso costituito da rocce metamorfiche riconducibili all'Unità Strutturale degli Scisti dei Laghi rappresentata in sito da paragneiss.

È inoltre presente un livello coltre di copertura eluvio-colluviale generalmente di spessore inferiore al metro anche se localmente, si rilevano spessori pari a 2.5/3 m.

Allo scopo di approfondire la conoscenza del modello geologico locale, si è proceduto ad effettuare la presente indagine sismica passiva HVSR, i cui risultati adeguatamente interpretati hanno permesso di determinare le principali caratteristiche sismiche dell'area e successivamente di consentire la ricostruire la stratigrafia locale.

8. indagine sismica passiva HVSR

8.1 premessa all'indagine sismica locale

Questa metodologia di analisi dei microtremiti o del "rumore sismico ambientale", è utilizzata per stimare la risposta sismica di un sito in termini di frequenza fondamentale e amplificazione che sono grandezze dipendenti dalla struttura geologica e dalle proprietà geotecniche e geomeccaniche del suolo e del sottosuolo dell'area oggetto di intervento.

Il rumore sismico ambientale è l'insieme delle piccole vibrazioni sismiche presenti ovunque sulla superficie terrestre e generate da sorgenti naturali o antropiche. Tra gli esempi più significativi, si può pensare agli effetti delle perturbazioni atmosferiche sulle onde oceaniche ed alla loro propagazione sul continente come onde di superficie, al traffico veicolare e alle attività industriali, che producono onde superficiali di Rayleigh, e, in generale, all'attività dinamica terrestre.

Le onde sismiche che ne derivano sono tipicamente a bassa energia, con ampiezze dell'ordine di $10^{-4}/10^{-2}$ mm [Okada, 2003]. Inoltre, in base al contenuto in frequenza inferiore o superiore a 0,5 Hz, si parla rispettivamente di microsismica (primariamente di origine naturale) o microtremore (di origine generalmente antropica).

Il rumore sismico ambientale è una sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici, da cui la possibilità di estrarre da esso, mediante opportune tecniche di analisi, informazioni interessanti sui sistemi risonanti studiati.

Il rumore sismico può usarsi per lo studio della stratigrafia del terreno, sulla base dell'analisi degli spettri di potenza dei segnali e dei rapporti spettrali [Kanai e Tanaka, 1954; Lermo, 1993; Yamanaka et al., 1993]. In particolare, il metodo dei rapporti spettrali H/V è particolarmente interessante perché consente di ottenere informazioni affidabili utilizzando strumentazione di basso costo e facile impiego. Inoltre può essere utilizzato per identificare le frequenze proprie di vibrazione di un edificio.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di risonanza dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica, che può corrispondere ad un passaggio tra uno strato e l'altro, specificando che in sismica per strato si intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti, non sempre coincidenti con quelle litologiche, per un contrasto di impedenza, ossia il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo medesimo.

L'analisi dei dati ottenuti fornisce una stima attendibile della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo nei primi 30 metri al di sotto delle fondazioni e pertanto è anche possibile individuare la categoria di suolo.

8.2 Descrizione dell'acquisizione delle registrazioni

Per l'acquisizione della registrazione, è stato utilizzato un tomografo digitale modello Tromino-Engy³ e sono state effettuate 3 registrazioni (da S6, S7 ed S8) la cui localizzazione è riportata nell'allegato grafico in calce alla presente.

In tutte le registrazioni lo strumento è stato posto a diretto contatto con il terreno a seguito di una preliminare operazione di scotico della copertura ed ancorandolo al suolo utilizzando gli appositi piedini.

In tutte le registrazioni la strumentazione è stata posta in bolla rispetto all'orizzontale, allineandola con il lato lungo posto parallelamente alla strada nei primi due casi e ortogonalmente nella terza. Si è quindi proceduto alla registrazione per un tempo di 16 minuti per ogni registrazione.

La strumentazione acquisisce i modi di vibrazione del suolo nelle tre dimensioni spaziali, i quali vengono successivamente ricostruiti in una curva che esprime la differenza dei movimenti orizzontali rispetto ai movimenti verticali, espressa come amplificazione.

Le misure acquisite sono campionate in una finestra temporale (time window) sulla quale viene effettuata una trasformazione di Fourier (FFT) in modo tale da ottenere una rappresentazione grafica con asse x in Hertz (Hz) ed in asse y un fattore di amplificazione delle misure orizzontali rispetto alle verticali. Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale, adeguatamente processate, sono state quindi ricavate la curva H/V.

Le curve H/V sono state invertite creando una serie di modelli sintetici, fino a far corrispondere il più possibile il modello teorico (linee di colore nero, synthetic H/V) con la curva sperimentale (linea rossa, average H/V).

³ ditta Micromed s.p.a.

8.3 Analisi delle registrazioni

Di seguito si riportano le analisi delle singole registrazioni (Sxx) supportate anche dalle osservazioni condotte in corrispondenza degli scavi esplorativi che hanno posto in evidenza le seguenti stratigrafie, per le quali si rimanda alla relazione geologica per un maggiore approfondimento.

Scavo SC1 = S6

Da p.c.	-0.90/-1.00	Terreno formato da limo e limo argilloso con ciottoli e sabbia fine (Suolo) in parte rimeneggiato. Gruppo A4-A5 delle Norme CNR-UNI 10006 Caratteristiche geotecniche scadenti Permeabilità:bassa
Da -1.00/-2.20		Terreno formato da ciottoli e blocchi immersi in matrice sabbioso ghiaiosa limosa. Il contenuto di limo diminuisce con la profondità. Alcuni blocchi raggiungono dimensioni pluridecimetriche. I singoli componenti litici hanno forme perlopiù discoidali e sferoidali, alcuni con gli spigoli ben arrotondati, altri no, a testimonianza dell'avvenuto trasporto in acqua per una parte del terreno. Si tratta di terreno fluvioglaciale da mediamente consistente a consistente con l'aumento della profondità, oltre i -2 metri, con difficoltà di scavo. Al passaggio suolo terreno la presenza di un orizzonte alterato ed in parte ossidato di colore rosso, segue un orizzonte pluridecimetrico giallognolo e a partire da -1.80-2,00 m, lo stesso terreno assume un colore grigio con un grado di alterazione inferiore. La percentuale di limo diminuisce con la profondità. Asciutto fino alla base dello scavo. Norme CNR-UNI 10006 Gruppo A1-A1-b Caratteristiche geotecniche buone Permeabilità: medio bassa a media

Scavo SC3 = S7

Da p.c.	-1.00	Terreno formato da limo e limo argilloso con ciottoli e sabbia fine (Suolo) in parte rimeneggiato. Gruppo A4-A5 delle Norme CNR-UNI 10006 Caratteristiche geotecniche scadenti Permeabilità:bassa
Da -1.00/-2.00		Terreno formato da ciottoli e blocchi immersi in matrice sabbioso ghiaiosa limosa. Il contenuto di limo diminuisce con la profondità. Alcuni blocchi raggiungono dimensioni pluridecimetriche. I singoli componenti litici hanno forme perlopiù discoidali e sferoidali, alcuni con gli spigoli ben arrotondati, altri no, a testimonianza dell'avvenuto trasporto in acqua per una parte del terreno. Si tratta di terreno fluvioglaciale da mediamente consistente a consistente con l'aumento della profondità, oltre i -2 metri, con difficoltà di scavo. Al passaggio suolo terreno la presenza di un orizzonte alterato ed in parte ossidato di colore rosso, segue un orizzonte pluridecimetrico giallognolo e a partire da -1.80-2,00 m, lo stesso terreno assume un colore grigio con un grado di alterazione inferiore. La percentuale di limo diminuisce con la profondità. Asciutto fino alla base dello scavo. Norme CNR-UNI 10006 Gruppo A1-A1-b Caratteristiche geotecniche buone Permeabilità: medio bassa a media

Scavo SC5 = S8

Da p.c.	-2.00	Terreno formato da limo e limo argilloso con ciottoli e sabbia fine (Suolo) in parte rimeneggiato. Gruppo A4-A5 delle Norme CNR-UNI 10006 Caratteristiche geotecniche scadenti Permeabilità: bassa
Da -2.00/-2.50		Terreno formato da ciottoli e blocchi immersi in matrice sabbioso ghiaiosa limosa. Il contenuto di limo diminuisce con la profondità. Alcuni blocchi raggiungono dimensioni pluridecimetriche. I singoli componenti litici hanno forme perlopiù discoidali e sferoidali, alcuni con gli spigoli ben arrotondati, altri no, a testimonianza dell'avvenuto trasporto in acqua per una parte del terreno. Si tratta di terreno fluvioglaciale da mediamente consistente a consistente con l'aumento della profondità, oltre i -2 metri, con difficoltà di scavo. Al passaggio suolo terreno la presenza di un orizzonte alterato ed in parte ossidato di colore rosso, segue un orizzonte pluridecimetrico giallognolo e a partire da -1.80-2,00 m, lo stesso terreno assume un colore grigio con un grado di alterazione inferiore. La percentuale di limo diminuisce con la profondità. Asciutto fino alla base dello scavo. Norme CNR-UNI 10006 Gruppo A1-A1-b Caratteristiche geotecniche buone Permeabilità: medio bassa a media

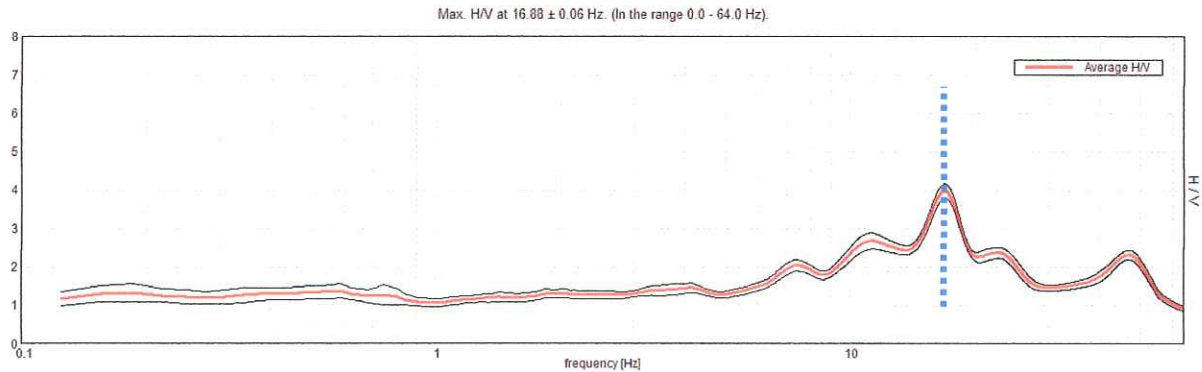
In considerazione di quanto descritto, è possibile indicare la seguente sequenza litostratigrafica, che sia pur con spessori dei livelli variabili, si ripete per tutta l'area di intervento:

- livello 1 copertura detritica eluvio colluviali e/o di riporto
- livello 2 depositi glaciali
- livello 3 substrato roccioso

8.4 Registrazione S6

Partendo da questa ricostruzione è stato possibile riconoscere un livello o vincolo sismico corrispondente alla frequenza 16.68 Hz (linea verticale tratteggiata di colore blu), e porlo in relazione al passaggio stratigrafico tra depositi glaciali e roccia, posto a circa 6.00 m dal piano campagna.

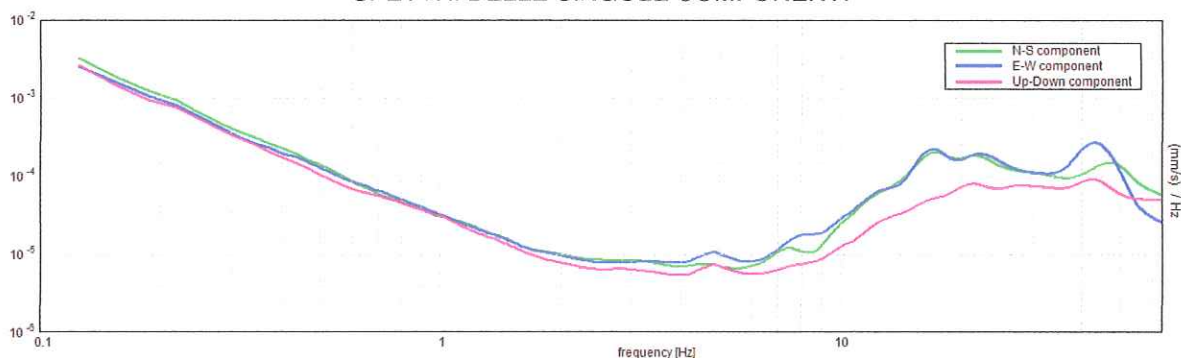
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Negli spettri delle singole componenti, si rileva un andamento delle componenti di spettro leggermente disturbato da una serie vibrazioni antropiche (dove le tre linee quasi in fase), tuttavia nell'intervallo compreso tra 10 e 12 Hz si legge un netto allontanamento tra le curve delle componenti orizzontali (blu e verde) con quella della componente verticale (magenta) che formano quasi un "occhio"; tale andamento evidenzia una variazione delle velocità delle onde sismiche, interpretabile come il passaggio tra le coperture e il basamento roccioso rappresentato dall'andamento ascendente con regolarità delle curve verso sinistra.

Questo andamento si ritrova poi anche nelle registrazioni successive.

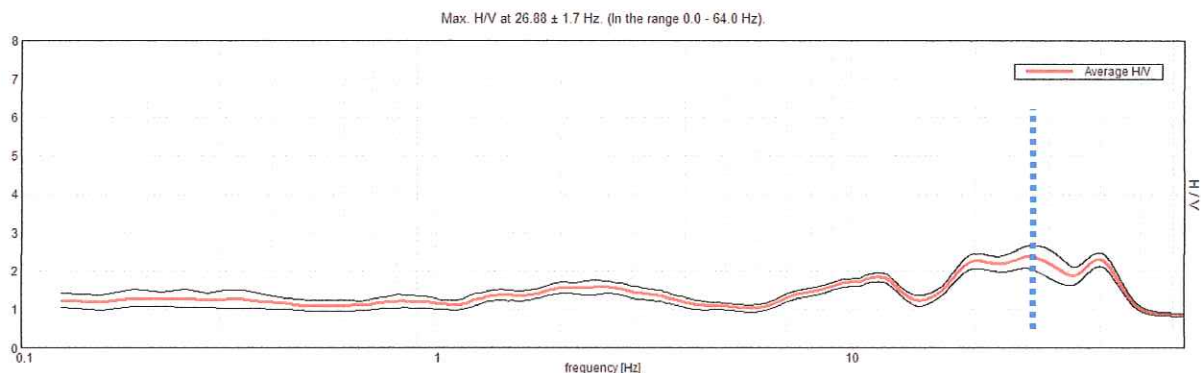
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



8.5 Registrazione S7

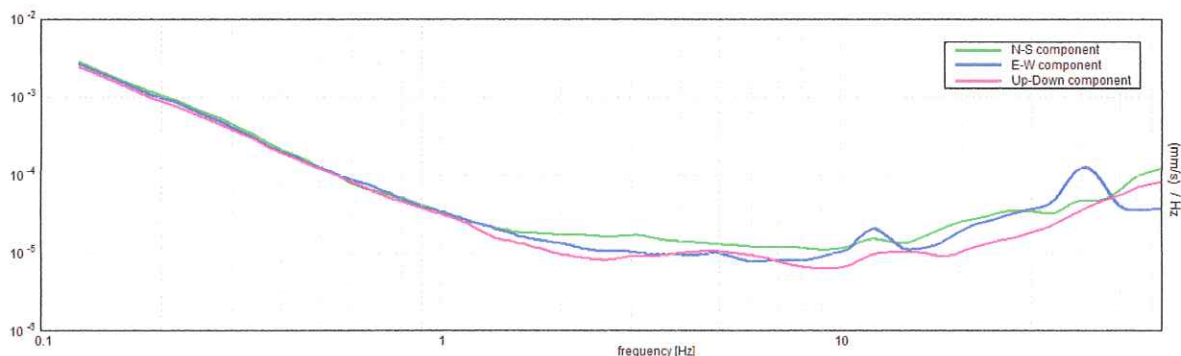
Partendo da questa ricostruzione è stato possibile riconoscere un livello o vincolo sismico corrispondente alla frequenza 27.00 Hz (linea verticale tratteggiata di colore blu), e porlo in relazione al passaggio stratigrafico tra depositi glaciali e roccia, posto a circa 5.00 m dal piano campagna.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Negli spettri delle singole componenti, si rileva un andamento delle componenti di spettro disturbato da almeno due serie vibrazioni antropiche (picchi in destra della componente E-W), tuttavia nell'intervallo compreso tra 10 e 13 Hz si legge un netto allontanamento tra le curve delle componenti orizzontali (blu e verde) con quella della componente verticale (magenta) che formano quasi un "occhio"; tale andamento evidenzia una variazione delle velocità delle onde sismiche, interpretabile come il passaggio tra le coperture e il basamento roccioso rappresentato dall'andamento ascendente con regolarità delle curve verso sinistra.

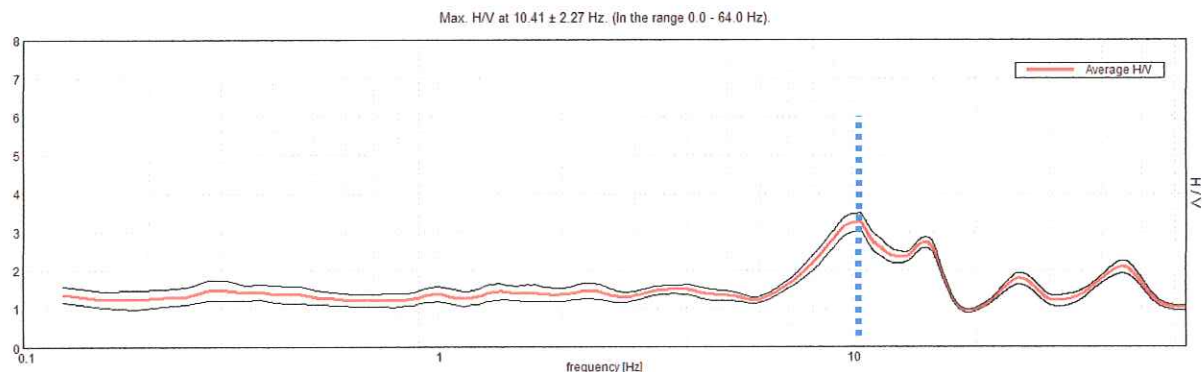
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



8.6 Registrazione S8

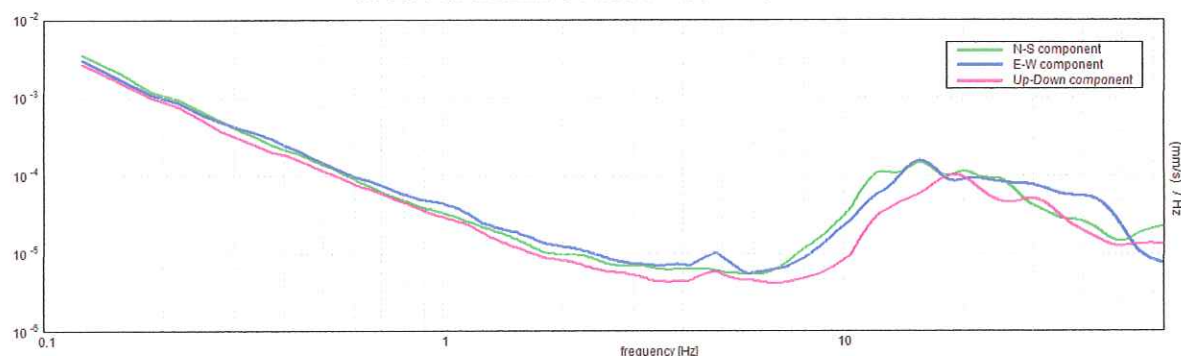
Nell'analisi della terza registrazione è stato possibile riconoscere nuovamente un livello o vincolo sismico corrispondente alla frequenza di circa 10.40 Hz (linea in tratteggio verticale di colore blu), e porlo in relazione al passaggio stratigrafico tra depositi glaciali e roccia, posto a circa 12 m dal piano campagna.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Negli spettri delle singole componenti, si rileva un andamento delle componenti di spettro disturbato da almeno una vibrazione antropica (picco relativo in sinistra a circa 4 Hz), e una debole inversione (linea magenta della componente verticale che si sovrappone alla linea verde della componente nord-sud) rappresentativa della presenza di materiali e terreni incoerenti e di scarsa consistenza nei primi livelli stratigrafici nell'intervallo compreso tra 8 e 11 Hz si è presente un netto allontanamento tra le curve delle componenti orizzontali (blu e verde) con quella della componente verticale (magenta) che formano quasi un "occhio"; tale andamento evidenzia una variazione delle velocità delle onde sismiche, interpretabile come il passaggio tra le coperture e il basamento roccioso rappresentato dall'andamento ascendente con regolarità delle curve verso sinistra.

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



8.7 Stima della $V_{s,30}$

Le curve sperimentali vengono modellate tramite le equazioni del modello 1-D di sottosuolo nella formulazione Thomson.Haskell-dunkin [trattato in Ben-Menahem & Singh, 1981, Seismic waves and sources] con il codice di calcolo "Grilla" della Micromed spa. Il processo di calcolo è iterativo ed attraverso modifiche di profondità e di velocità, è possibile modellare la curva teorica in modo tale da far corrispondere la curva acquisita in campagna, ottenendo le velocità e gli spessori degli strati successivi.

Per poter effettuare questa operazione, si deve attribuire ad ogni "strato sismico" un peso di volume, ed un modulo di Poisson, anche attraverso una loro ragionevole stima di massima.

La valutazione delle $V_{s,30}$ che ne deriva risulta sufficientemente attendibile e poco sensibile ad eventuali errori locali.

La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) del primo strato evidenziabile dallo strumento relativa alle onde S è pari a: $f = V_s / (4 h)$ dove h rappresenta la minima profondità di tale contrasto.

Di seguito si riportano i risultati dell'elaborazione, assumendo inoltre la suddivisione degli strati sismici riscontrati in sito e la relativa $V_{s,30}$, considerata al piano di fondazione, assunto in mancanza di indicazioni progettuali a quota del piano campagna.

Le velocità ricavate per i rispettivi strati sismici sono sufficientemente in accordo con i dati bibliografici riportati nella tabella seguente.

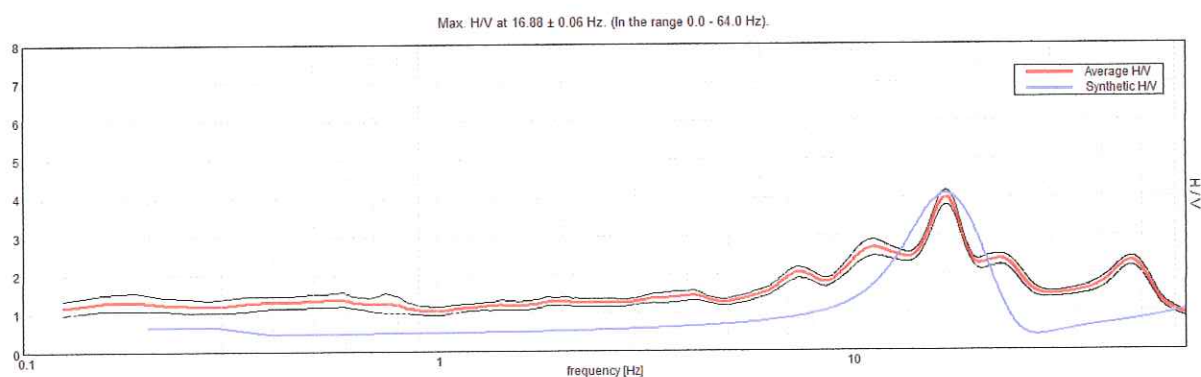
TIPO DI SUOLO	V_s min [m/s]	V_s media [m/s]	V_s max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE rocce metamorfiche da molto a poco fratturate	1400	1620	---
ROCCE DURE graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti da mediamente a poco fratturati	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI E ROCCE DA TENERE A DURE rocce sedimentarie, ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia	375	540	700
ARGILLE COMPATTE E SUOLI SABBIOSI sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie e compatte e argille limose	200	290	375
TERRENI TENERI terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere	100	150	200

Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo (cfr. Borcherdt, 1994)

8.8 Risultati analitici delle registrazioni

Registrazione S6

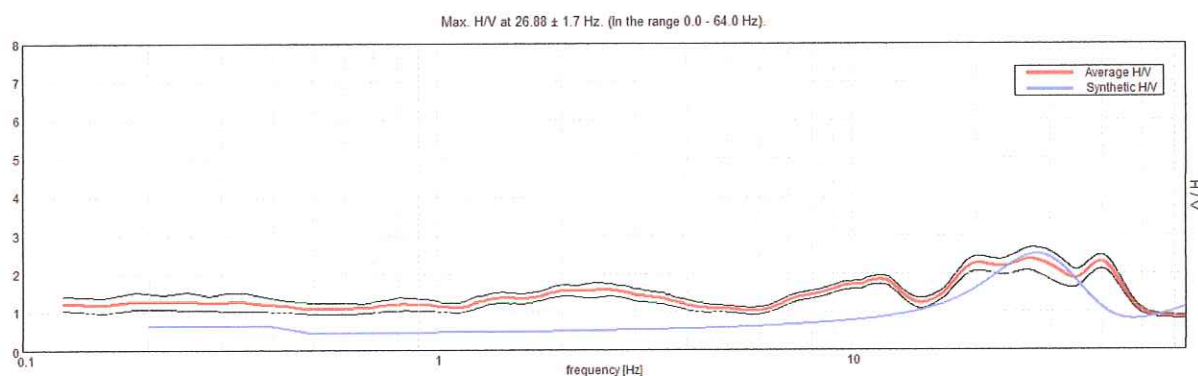
- Strumento: TEP-0199/01-12
- Inizio registrazione: 24/09/2015 16:08:11 Fine registrazione: 24/09/2015 16:24:11
- Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
- Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 79% tracciato
- Freq. campionamento: 128 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamento: Triangular window
- Lisciamento: 15%

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	150	0.42
5.60	5.30	355	0.40
inf.	inf.	700	0.35
Vs (0.0 / 30.0) = 579 m/s			

Registrazione S7

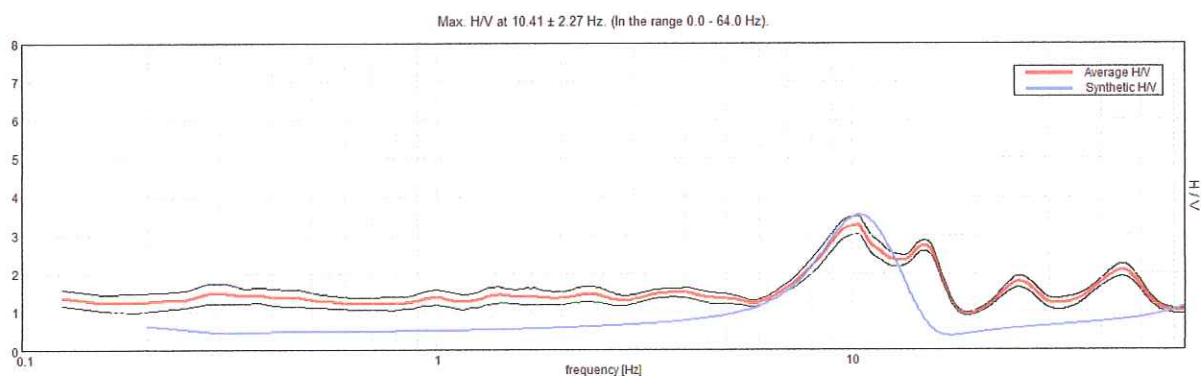
- Strumento: TEP-0199/01-12
- Inizio registrazione: 31/10/14 16:07:31 Fine registrazione: 31/10/14 16:23:32
- Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
- Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 88% tracciato
- Freq. campionamento: 128 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamento: Triangular window
- Lisciamento: 15%

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.75	0.75	250	0.42
4.25	3.50	445	0.38
inf.	inf.	700	0.35
Vs (0.0 / 30.0) = 630 m/s			

Registrazione S8

- Strumento: TEP-0199/01-12
- Inizio registrazione: 24/09/2015 16:08:11 Fine registrazione: 24/09/2015 16:24:11
- Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
- Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 79% tracciato
- Freq. campionamento: 128 Hz
- Lunghezza finestre: 20 s
- Tipo di lisciamento: Triangular window
- Lisciamento: 15%

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	140	0.42
11.30	11	450	0.38
inf.	inf.	906	0.35
$V_s (0.0 / 30.0) = 635 \text{ m/s}$			

Ricapitolando la stima della velocità delle onde sismiche restituisce per il sito in analisi un valore medio di $V_s (0.0 - 30.0) = 615.7 [(579+630+635)/3] \text{ m/s}$.

8.9 Individuazione della Categoria di suolo

Alla luce dei risultati ottenuti dall'indagine sismica locale, è possibile attribuire la categoria di suolo, con riferimento alla tabella di riferimento normativo.

Nel caso specifico, dato che i terreni presenti nell'area di intervento presentano $V_s(0.0-30) = 614.7$ m/s, gli stessi ricadono nella categoria B.

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SP1} (colpi/30 cm)	C_u (kPa)
A	formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s e da valori di N_{SP1} compresi tra 50 e 100 ovvero resistenza penetrometrica $N_{SP1} > 50$ e $C_u > 250$ kPa	300 - 800	> 50	> 250
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 100 e 300 m/s ($10 < N_{SP1} < 50$ e $70 < C_u < 250$ kPa)	100 - 300	15 - 50	70 - 250
D	Depositi di terreni granulari sciolti a poco addensati oppure da coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori $V_{s,30} < 100$ m/s ($N_{SP1} < 10$, $C_u < 70$ kPa)	< 100	< 15	< 70
E	Depositi di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con valori di $V_{s,30}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s,30} > 800$ m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille molli, caratterizzati da valori di $V_{s,30} < 100$ m/s e da valori di $C_u < 100$ kPa	< 100	-	10 - 20
S2	Depositi di terreno soggetti a liquefazione, di argille molli, e qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

8.10 Individuazione dei parametri sismici

A questo punto si è proceduto a ricavare i parametri sismici e gli spettri di risposta sismici, calcolati mediante l'ausilio del software Geostru-PS e considerando il tipo di elaborazione: **fondazioni**

Riferimenti di localizzazione espressi in coordinate cartografiche:

	ED50	WGS84
latitudine	45,968337	45.967410
longitudine	8,585663	8.584580

La vita nominale di un'opera strutturale (V_N) è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata; la vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata di seguito (tratta dalla Tab. 2.4.I delle NTC-08):

Vita nominale V_N per diversi tipi di opere		
	Tipi di costruzione	Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

La classe d'uso di una struttura è invece definita, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso della stessa, nel modo seguente:

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in <i>Classe d'uso III</i> o in <i>Classe d'uso IV</i> , reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie e infrastrutturali non ricadenti in <i>Classe d'uso IV</i> . Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso provochi conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il **movimento sismico alla superficie** di un sito, associato a ciascuna categoria di sottosuolo, è definito mediante l'accelerazione massima (a_{max}) attesa in superficie ed una forma spettrale connessa ad essa. Il valore di a_{max} può essere ricavato dalla relazione $a_{max} = S_s \cdot a_g$ dove S_s è il coefficiente di amplificazione sismica.

Parametri sismici

- Categoria sismologica: **B**
- Categoria topografica: **T2**
- Periodo di riferimento: **50anni**
- Coefficiente cu: **1**

Circa l'effetto dovuto alla topografia, il D.M., per configurazioni topografiche superficiali semplici adotta la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

Il valore del coefficiente d'uso C_U , al variare della classe d'uso così come definita in precedenza, è indicato nella seguente tabella:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0.7	1	1.5	2

Pertanto per un'opera quale quella prevista si ritiene che la vita nominale (V_N) sia ≥ 50 anni e la classe d'uso sia la IV, pertanto il periodo di riferimento (espresso in anni) è:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2 = 100 \text{ anni}$$

Per il sito in esame sono validi i seguenti parametri sismici A_g , F_0 e T_r^* in funzione dei tempi di ritorno e stati limite considerati:

Stato Limite	Probabilità di superamento [%]	T_r [anni]	A_g [g]	F_0 [1]	T_r^* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0.016	2.547	0.154
Danno (SLD)	63	50	0.020	2.552	0.172
Salvaguardia vita (SLV)	10	475	0.045	2.945	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	5	975	0.054	2.727	0.303

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

A questo punto è pertanto possibile, in relazione alla tipologia di sottosuolo presente, alle considerazioni fatte ai paragrafi precedenti relative alla struttura in progetto, alla categoria di suolo (S) e quella topografica (T2), fornire i coefficienti di amplificazione S e C_c caratteristici e i relativi fattori di amplificazione:

Stato Limite	S_s	C_c	S_t	R_h	K_v	A_{max} [m/s ²]	beta
SLO	1.200	1.600	1.200	0.004	0.002	0.225	0.180
SLD	1.200	1.570	1.200	0.005	0.003	0.236	0.180
SLV	1.200	1.420	1.200	0.012	0.006	0.628	0.180
SLC	1.200	1.400	1.200	0.014	0.007	0.760	0.180

9. Analisi geotecnica dei terreni

Come espresso in precedenza, le previsioni progettuali riguardanti gli scavi e parte delle opere accessorie, potranno interessare i materiali incoerenti precedentemente descritti che, nell'area di intervento, possono raggiungere spessori metrici (circa 5/7 m).

Con riferimento alle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, si ritiene opportuno, in questa fase, procedere all'individuazione parametri geomeccanici per i materiali ed i terreni naturali presenti in loco, escludendo quelli di eventuali riporto antropico e quelli di copertura non considerati idonei ai fini dell'edificazione anche di eventuali opere accessorie.

Le NTC-08 stabiliscono che per la progettazione geotecnica (dimensionamento delle opere di fondazione e verifiche di stabilità sia dei manufatti che dell'insieme opera-terreno) le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate utilizzando quali input di calcolo, i valori geotecnici dei terreni cosiddetti caratteristici), ovvero quelli che derivano da una stima ragionata e cautelativa del valore che determina l'occorrenza di un particolare stato limite o quelli che siano ricavati statisticamente quale soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei risultati desumibile da una serie teoricamente illimitata di prove.

Quindi, con riferimento alle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nonché alle stesse NTC-08, è possibile svolgere una serie di valutazioni i cui risultati conducano ad una scelta corretta dei valori caratteristici ed è pertanto ammesso fare riferimento ai valori prossimi ai "valori medi" qualora nello stato limite considerato risulta essere coinvolto un elevato volume di terreno, fatto che determina una possibile compensazione delle eterogeneità o qualora la struttura in progetto e a contatto con il terreno sia dotata di un grado di rigidità tale da trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle a resistenza più elevata, mentre è possibile fare riferimento a "valori minimi" nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno con conseguente concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle a resistenza maggiore.

Viste le considerazioni sopraesposte e data la modesta dimensione e rilevanza delle opere in progetto sotto il profilo geologico o geotecnico, anche in mancanza di dati derivanti da specifiche prove geotecniche con la conseguente trattazione statistica degli stessi, nei paragrafi seguenti e riguardanti sia gli aspetti la capacità portante delle fondazioni che le raccomandazioni ed indicazioni di carattere esecutivo, si ritiene possibile e ragionevole seguire le indicazioni delle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, facendo riferimenti quindi ai "valori medi" dei parametri geotecnici con riferimento a quelli riportati nel paragrafo 3.5.

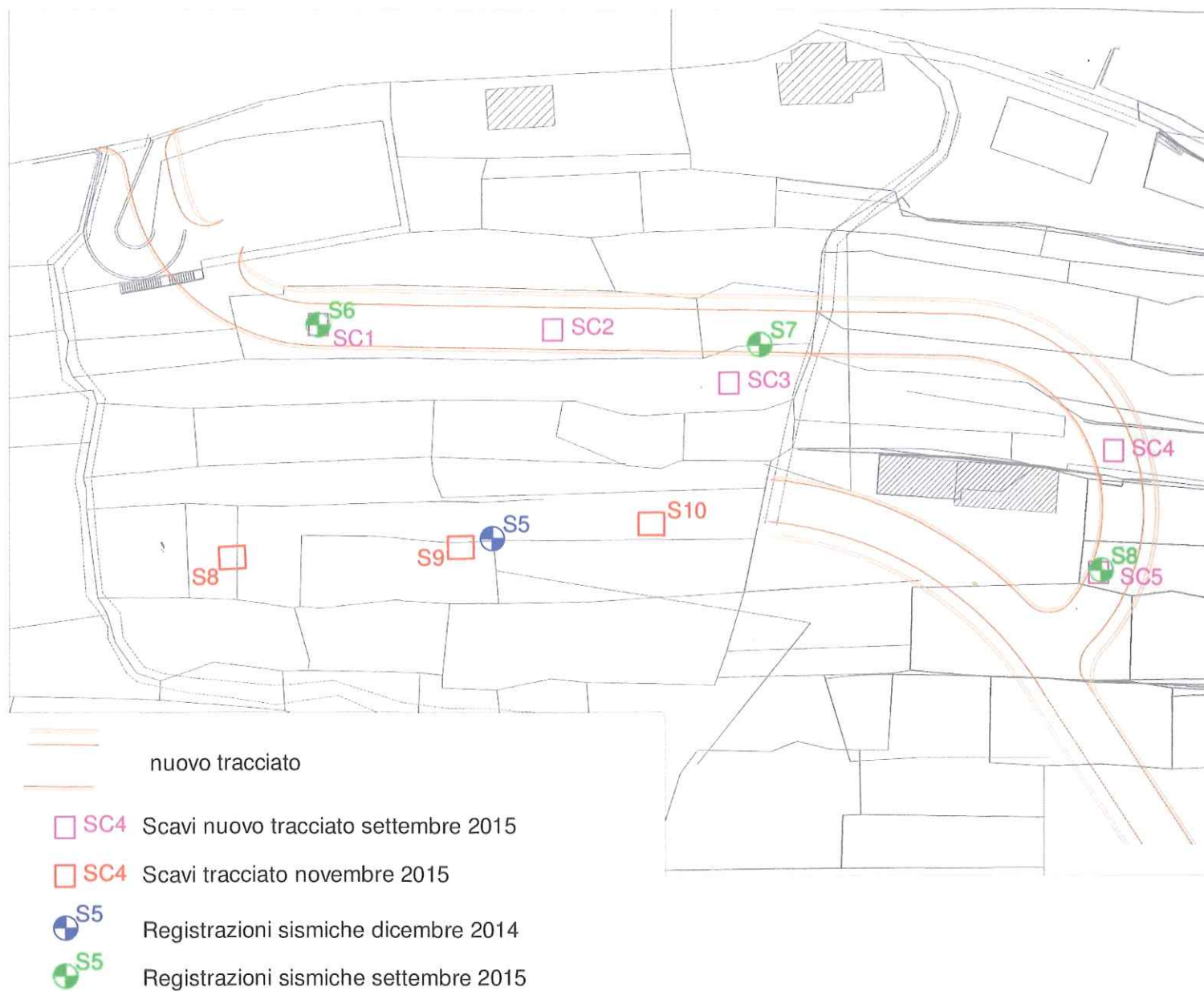
	Livello 1 terreni e materiali detritici e di riporto	Livello 2 depositi glaciali
	Sabbie e sabbie fini sciolte con ciottoli e clasti	Sabbie e sabbie limose con ghiaia e ciottoli
Peso di volume secco (kN/m^3)	1.60 - 1.70	1.90 - 2.10
Porosità (%)	35 - 40	30 - 35
Coesione (kg/cm^2)	0.0	0.0 - 0.1
Angolo di attrito Interno	28° - 30°	35° - 40°

Il presente elaborato è stato redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 14 gennaio 2008 "nuove norme tecniche per le costruzioni" (ed a quanto stabilito dal D.M. 11 marzo 1988 nel caso di applicazione del metodo delle tensioni ammissibili) e soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della autorizzazioni richieste.

Verbania 29 settembre 2015

Dott. Geol. Giovanni Capulli





Planimetria dell'area di intervento con localizzazione degli scavi esplorativi (in rosso e magenta) e delle registrazioni sismiche (in blu e verde).