Linea Colombo Srl

Comune di Bulciago (prov. di LECCO)

INDAGINE TROMOGRAFICA IN CORRISPONDENZA DI VIA M. D'ANTONA 1 IN COMUNE DI BULCIAGO (Prov. di LECCO)

REPORT INDAGINE
REV01

A cura di:
Dott. Geol. Michele Suardi

Lardirago (PV), 20-07-2020

SOMMARIO

PREMESSA **3**
INQUADRAMENTO GEOLOGICO **3**
INDAGINE H/V **6**
CENNI METODOLOGICI 6
FREQUENZE DI VIBRAZIONE E DOPPIA RISONANZA 7
MISURA TROMOGRAFICA **7**
ANALISI DELLA TRACCIA 7
MODELLAZIONE 8
CONCLUSIONI **10**
BIBLIOGRAFIA **11**

Allegati
Figura 1: Ubicazione indagine tromografica (▲) 3
Figura 2: Corografia Carta CTR B5c1 scala 1:10000 4
Figura 3: Carta Geologica da PGT 5
Figura 4: *Serie temporale H/V durante la misura* 8
Figura 5: Curva H/V 8
Figura 6: Curva H/V con le tre componenti 8
Figura 7: Curve H/V sperimentale (rossa) e curva interpolata (azzurra) in base ai picchi di frequenza individuati 9
Figura 8: Andamento della Vs con la profondità (da pc m) 9
Tabella 1: Valori di Vs30 per varie profondità delle unità geofisiche individuate 10

PREMESSA

Su incarico delL'Ing. Angelo Novara con studio a Seregno (MB) è stata eseguita la presente indagine geofisica tromografica sui terreni ubicati nei pressi di via M. D'Antona 1, nel comune di Bulciago (prov. di Lecco).

L'obiettivo è ricavare, per il sito in esame, il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla Vseq. (NTC 2018).

A tal fine è stata eseguita una campagna di indagine consistente in n. 1 misura di simica passiva a stazione singola con tecnica H/V.

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione dell'indagine seguita.

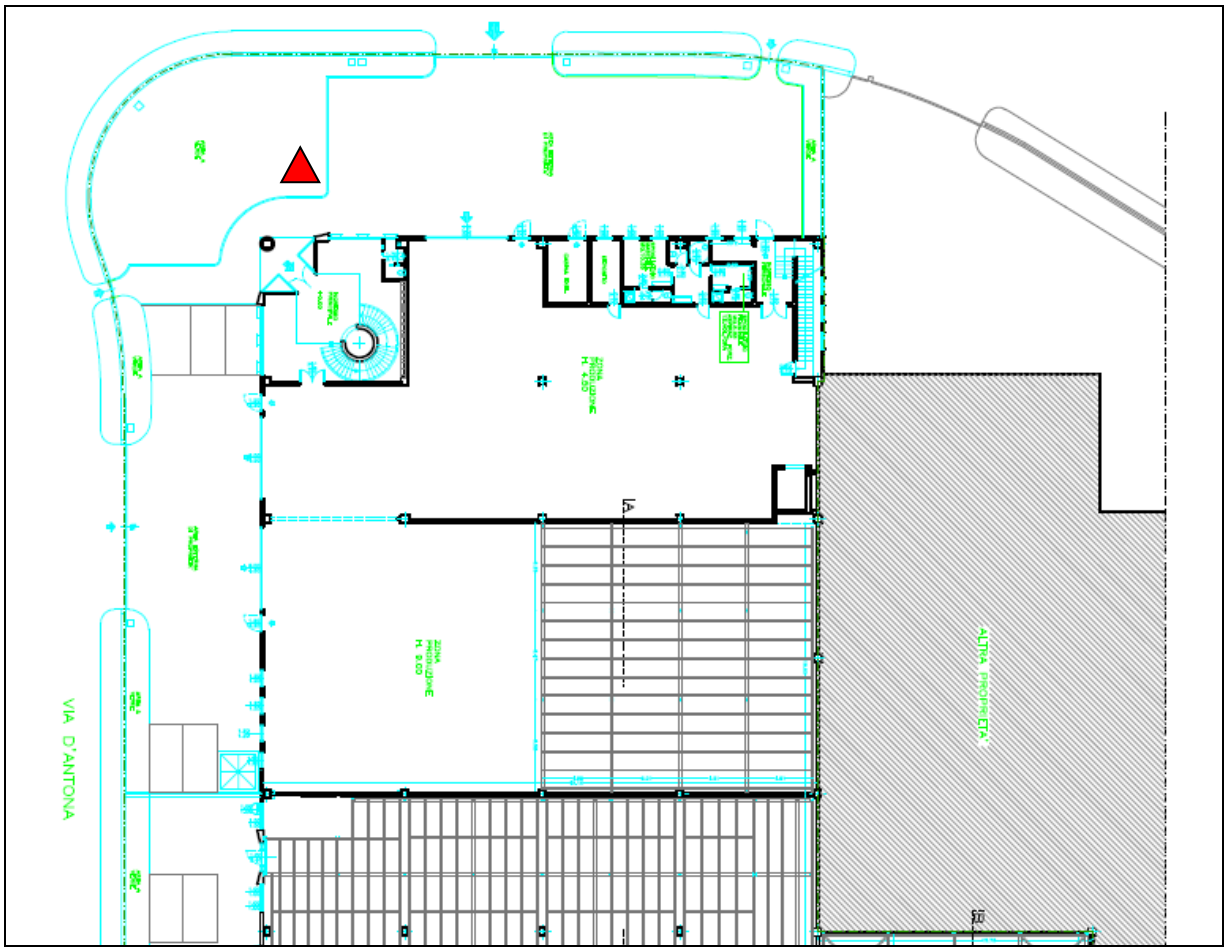

Figura 1: Ubicazione indagine tromografica (▲)

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di indagine è posta nella media brianza lecchese, in corrispondenza della porzione occidentale del comune di Nibionno a circa 282 m s.l.m. a poca distanza dalla linea F.S Milano Como.

Morfologicamente l'area in esame è sviluppata in parte nella piana diluviale interposta ed incisa tra le colline moreniche ad ossatura rocciosa marnosa della regione collinare alto briantea a Sud dei laghi pedeprealpini, connessa con il torrente Lambro di Molinello, affluente di sinistra del F.

Lambro, ed in parte occupa il piano base creato in seguito a coltivazione mineraria, per reperimento di marna da cemento, del giacimento collinare di Cassago Brianza.

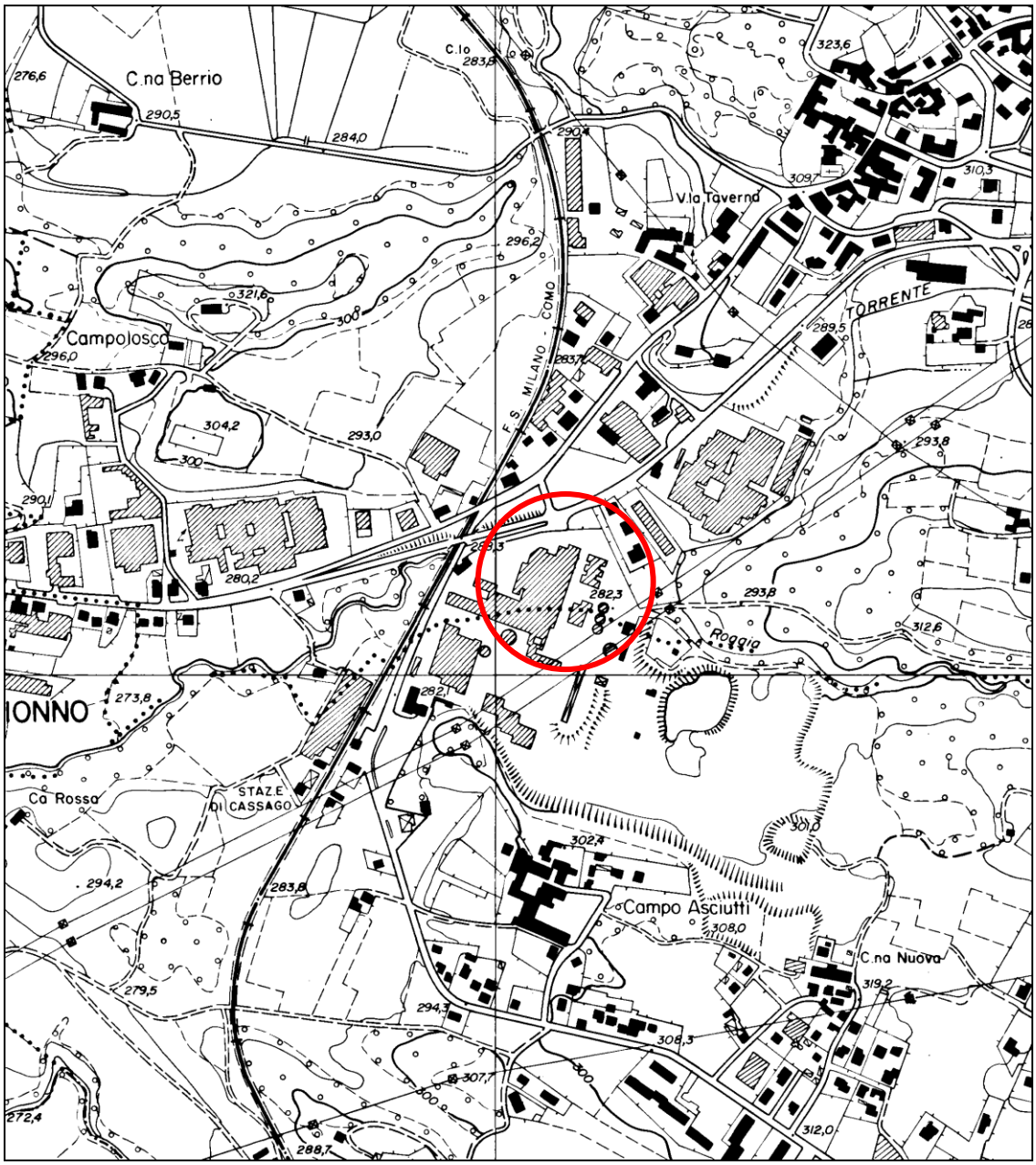

Figura 2: Corografia Carta CTR B5c1 scala 1:10000

Dal punto di vista Geologico, li substrato roccioso, rappresentato da marne calcaree marnose (Scaglia cinerea-rossa Cretaceo-eocene), è subaffiorante nella regione collinare, mentre sembra essere confinato a maggiore profondità, nel settore originariamente tabulare della piana del Molinello lungo la s.p. Briantea.

L'area in esame risulta caratterizzata da depositi fluvioglaciali con tessitura ghiaiosa sabbiosa, come indicato nello stralcio della Carta Geologica del PGT inserita in fig. 3.

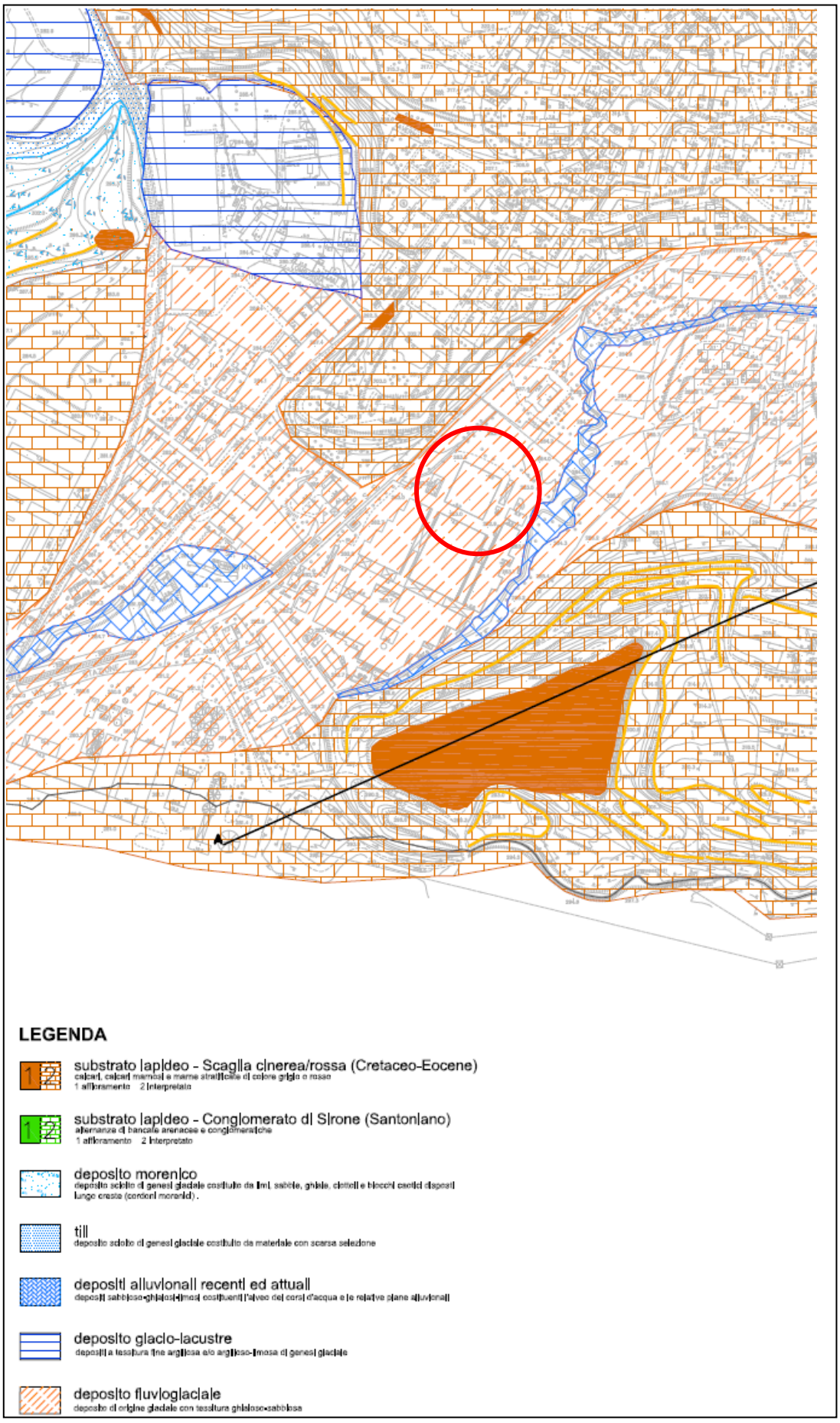

Figura 3: Carta Geologica da PGT

INDAGINE H/V

Cenni metodologici

La tecnica H/V fa parte della sismica passiva, cioè il ramo della sismologia che studia il rumore sismico ambientale, definito come l'insieme delle piccole vibrazioni sismiche presenti ovunque sulla superficie terrestre e generate da sorgenti naturali o antropiche. Essa nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basato sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia.
Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove Vs indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza f_r.
Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

Per quanto riguarda l'elaborazione della misura, sono state eseguite le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.

- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.

Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della ***doppia risonanza***. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC18, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

MISURA TROMOGRAFICA

Di seguito i dati riassuntivi della misura eseguita

Frequenza di campionamento	128 Hz	***Condizioni meteorologiche***	Sereno
Data registrazione	16/11/2020	***Lunghezza finestre***	20 s
Terreno di misura	Terreno vegetale	***Tipo di lisciamento***	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	***Lisciamento***	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	***Durata della registrazione***	16' 00"
Vincolo stratigrafico	Prova penetrometrica		

Analisi della traccia

Di seguito la serie temporale H/V durante la misura eseguita

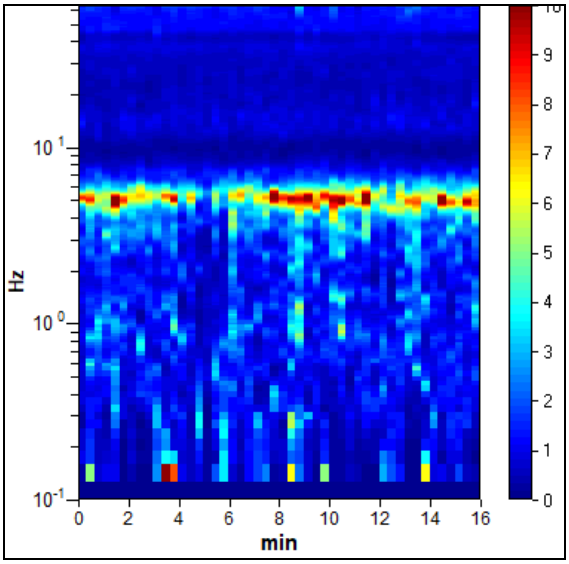

Figura 4: *Serie temporale H/V durante la misura*

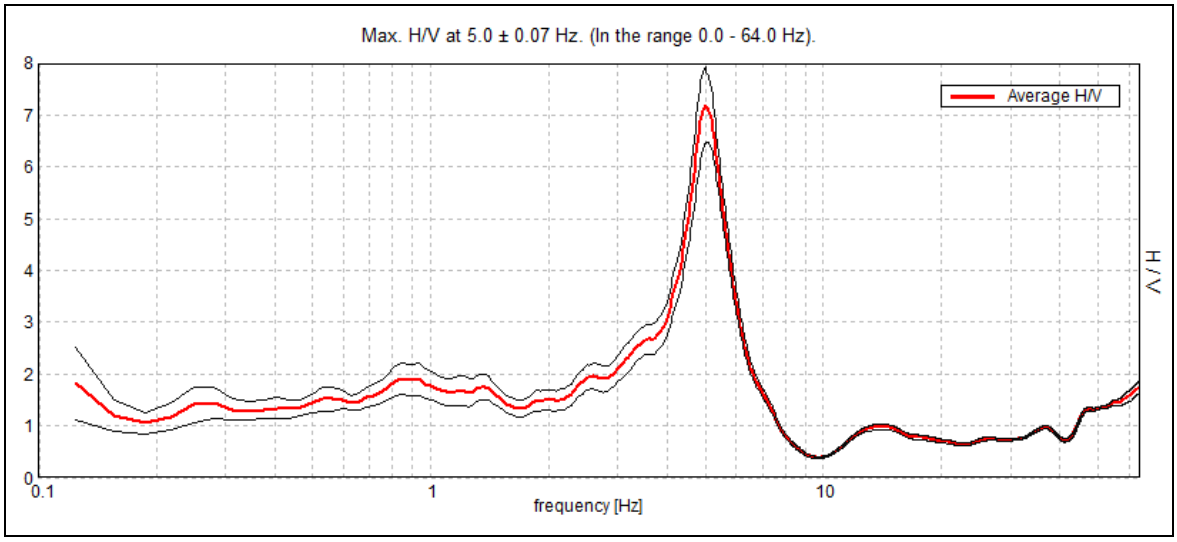

Figura 5: Curva H/V

Modellazione

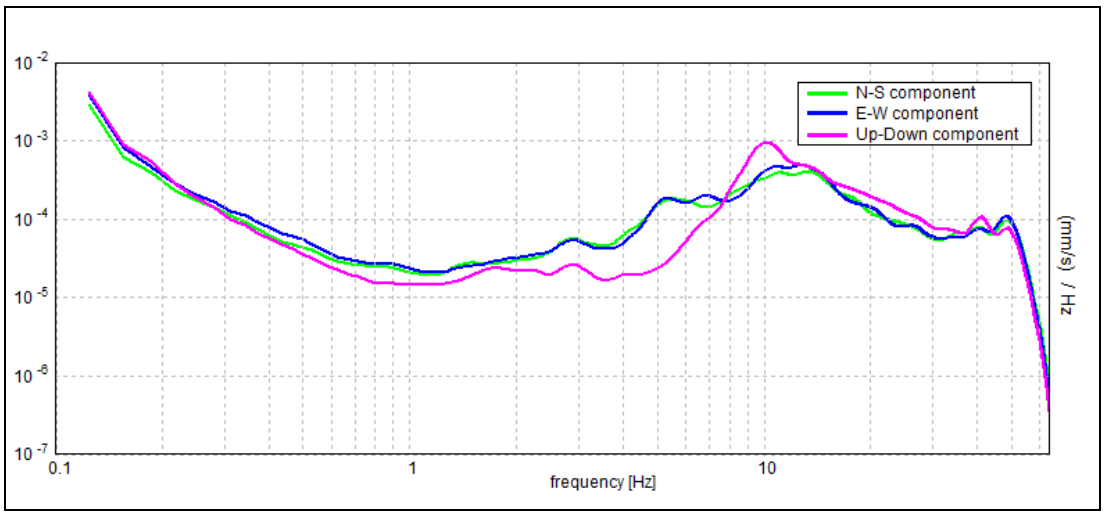

Figura 6: Curva H/V con le tre componenti

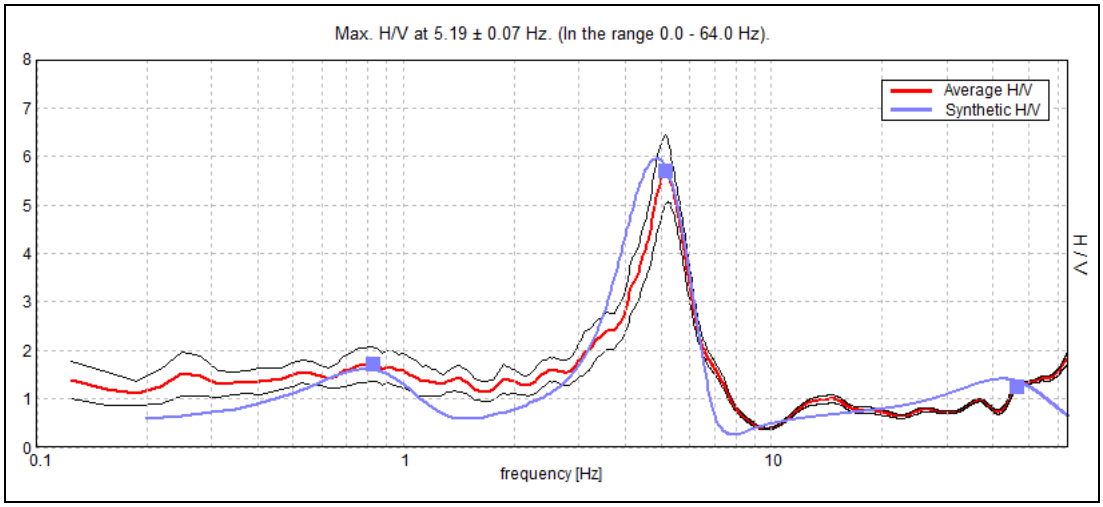

Figura 7: Curve H/V sperimentale (rossa) e curva interpolata (azzurra) in base ai picchi di frequenza individuati

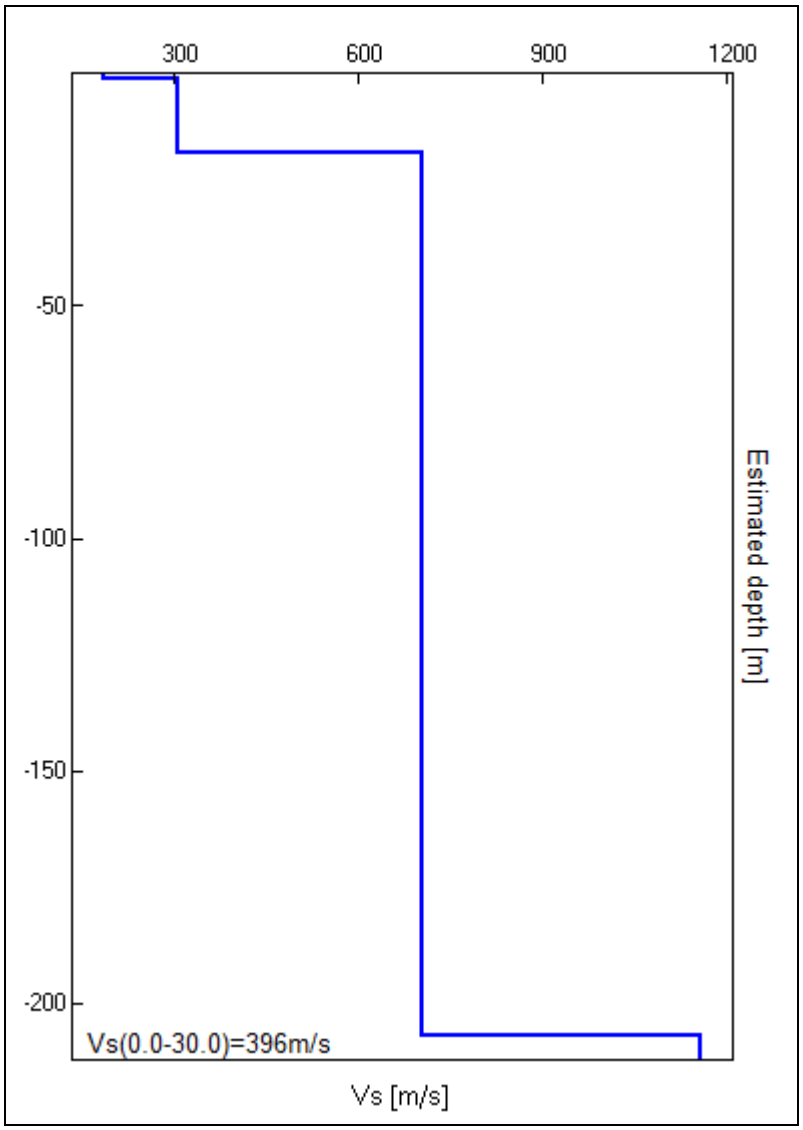

Figura 8: Andamento della Vs con la profondità (da pc m)

Profondità alla base dello strato [m]	*Spessore [m]*	*Vs [m/s]*
1.00	1.00	185
17.00	16.00	308
207.00	190.00	706
∞	∞	1159

Tabella 1: Valori di Vs30 per varie profondità delle unità geofisiche individuate

CONCLUSIONI

Nella registrazione effettuata, si riconoscono quattro picchi di risonanza stratigrafici che permettono di caratterizzare il sito in esame con tre unità geofisiche con ipotetico bed rock sismico alla profondità di 17 m (substrato roccioso)

Nel caso in esame gli spettri H/V hanno consentito di individuare frequenze di risonanza del terreno poste a circa 46 Hz, 5 Hz, 0.82 Hz. Per un maggior dettaglio si rimanda ai capitoli precedenti.

Le misure effettuate ha fornito il seguente valore di Vs30 (a p.c.): 396 m/s, che permette di attribuire il suolo alla categoria sismica B.

È bene ricordare, infine, che le procedure di misura impiegate per l'indagine geofisica si basano su tecniche di esplorazione indiretta che, nonostante siano utilizzate allo stato dell'arte sia delle conoscenze scientifiche che degli avanzamenti tecnologici, hanno una serie di intrinseche limitazioni. L'indagine, infatti, è basata sull'applicazione di conoscenze e di leggi scientifiche ufficialmente riconosciute ma anche su calcoli e valutazioni professionali circa fenomeni suscettibili di interpretazione. Inoltre, qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione utilizzata e di problematiche incontrate durante la fase di acquisizione. Infine, i profili di Vs ricavati con queste tecniche, come tutti i metodi indiretti, non presentano una soluzione univoca e quindi più modelli possono fornire curve sintetiche simili tra loro.
Per questi motivi la presente indagine geofisica non può e non deve sostituire una appropriata campagna di esplorazione diretta.
Si rimane a disposizione per qualsiasi chiarimento.

Dott. Geol. Michele Suardi

BIBLIOGRAFIA

- Castellaro S., 2016. The complementarity of H/V and dispersion curves. 16 pp. Geophysics, Vol. 81, No. 6 (November-December 2016)
- Castellaro S., 2012. Introduzione alla modellazione delle curve H/V a fini stratigrafici in Grilla. 21 pp. Micromed s.p.a..
- Castellaro S., 2012. Tecnica sismica passiva a stazione singola. 137 pp. Micromed s.p.a..
- Corrao M., Coco G., 2009. Geofisica applicata. 258 pp. Dario Flaccovio Editore.
- Gaudioso C., 2014. Manuale di geofisica di campagna. 140 pp. Stampaecontatto.
- Moho s.r.l., 2016. Introduzione al modulo di analisi delle onde di superficie in Grilla. 28 pp. Moho s.r.l..
- Mucciarelli M., 2010. Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Studi teorici ed applicazioni professionali. 445 pp. Ministero dell'università e della ricerca programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale - Progetto di ricerca 2007ptrc4c.
- Repertorio cartografico di Google Maps, liberamente consultabile su www.maps.google.it.