

Regione del VENETO

Provincia di PADOVA

Comune di BAONE

***Sistemazione dissesto idrogeologico al km 3 della ex SP62, ora via Spiasi,  
in località Calaone nel Comune di Baone***

<b>PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO</b>	Giugno 2021
	-
<b>RAPPORTO INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E PROVE DI LABORATORIO</b>	<b>R01</b>
PROGETTISTA  <i>Dott. Geol. Pier-Andrea Vorlicek</i> 	
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  <i>Dott. Arch. Villani Leila</i> <b>SETTORE LAVORI PUBBLICI'</b> <b>COMUNE DI BAONE</b>	

Provincia di	PADOVA
Comune di	BAONE
Committente	COMUNE DI BAONE

## **RAPPORTO INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E PROVE DI LABORATORIO**

*Sistemazione dissesto idrogeologico al km 3 della ex SP62 ora via Spiasi  
in località Calaone nel Comune di Baone*

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>INDAGINE GOUND PENETRATING RADAR .....</b>	<b>5</b>
<b>SONDAGGI GEOGNOSTICI .....</b>	<b>7</b>
<b>MONITORAGGIO PIEZOMETRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>LABORATORIO GEOTECNICO .....</b>	<b>15</b>
<b>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE .....</b>	<b>17</b>

## **INTRODUZIONE**

La presente relazione indica le indagini geologiche e geotecniche eseguite c/o via Spiasi nel Comune di Baone, in località Calaone, interessata da un dissesto storico di ampie proporzioni, che è stato oggetto di alcuni interventi di stabilizzazione i cui effetti si sono rivelati parziali.



Sono state eseguite le seguenti indagini:

- Un'indagine georadar per individuazione dei sottoservizi
- Tre sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di circa 15.5 m da p.c.
- Tre stendimenti di sismica a rifrazione
- Un HVSR
- Rilievo GPS



*Foto aerea con ubicazione delle indagini eseguite per il progetto definitivo esecutivo*

## INDAGINE GOUND PENETRATING RADAR

### Principio di funzionamento

L'indagine riportata in questo documento è stata eseguita con IDS Opera Duo Ground Penetrating Radar;



*Georadar IDS Opera Duo*

Un Ground Penetrating Radar (GPR) è una tecnologia non distruttiva (NDT) che, attraverso l'emissione di onde elettromagnetiche, permette di investigare la presenza di oggetti nel sottosuolo. Opera Duo è un GPR equipaggiato con un'antenna "ground coupled" a doppia frequenza; l'antenna ad alta frequenza è usata per la detezone accurata di oggetti superficiali; l'antenna a bassa frequenza è usata per la detezone di oggetti più profondi. Opera Duo acquisisce, processa ed immagazzina i dati raccolti durante l'indagine e presenta nello schermo del computer i dati acquisiti come porzioni dell'area scansionata. L'operatore interpreta le scansioni mostrate e procede a marcare i taget rilevanti.

Attraverso la misura del tempo necessario all'onda elettromagnetica a essere riflessa dall'oggetto e ricevuta dal radar, è possibile valutare la profondità dei target trovati. Nella tabella a seguito le caratteristiche tecniche delle antenne che monta lo strumento.

ANTENNA SPECIFICATIONS	
ENVIRONMENTAL	IP65
ANTENNA FOOTPRINT	40 x 50 cm
NUMBER OF HARDWARE CHANNELS	2
ANTENNA CENTRAL FREQUENCIES	250 MHz and 700 MHz
ANTENNA ORIENTATION	Perpendicular, broadside
SAMPLING FREQUENCY	400 kHz

Il principio di funzionamento dello strumento (fig. 1), legato alla propagazione di un'onda elettromagnetica nel sottosuolo, si basa sul fenomeno fisico di partizione dell'energia ad un'interfaccia tra due mezzi con diverse proprietà dielettriche (costante dielettrica  $\epsilon_r$  e riflettività  $R$ ). In particolare, in corrispondenza di un'interfaccia fisica, l'onda e.m. generata in superficie ed immessa nel sottosuolo per mezzo dell'antenna, subisce un fenomeno di riflessione e parte dell'energia (in funzione del contrasto di impedenza elettrica dei mezzi affacciati e dell'angolo di incidenza del segnale trasmesso) ritorna verso la superficie.

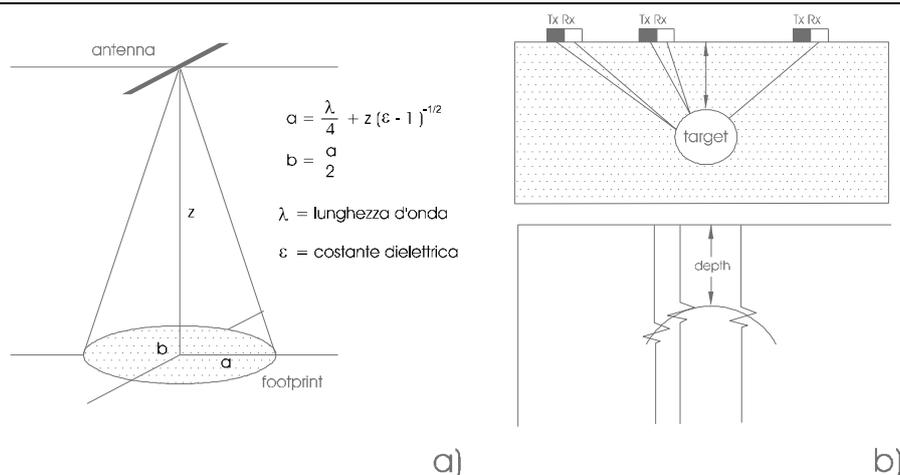


Fig. 1 – Propagazione di un'onda elettromagnetica nel sottosuolo: a) angolo solido di emissione dell'onda e footprint dell'antenna sul riflettore; b) configurazione monostatica responso di individuazione di un target

Le antenne hanno una configurazione monostatica (dove l'offset ha una misura fissa - fig. 1b) (tx = rx) per la trasmissione e la ricezione del segnale. La selezione dell'offset permette, in prima approssimazione, la stima della velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica e quindi, noto il tempo di registrazione, il calcolo della profondità del target.

$$V_m = c / (\epsilon_r / \epsilon_0)^{-1/2} \quad (1)$$

La velocità di propagazione  $V_m$  di un'onda e.m. in un mezzo  $m$  è data dalla (1) dove  $c$  è la velocità della luce nel vuoto ( $3 \times 10^8$  m/s) ed  $\epsilon_r$  è la costante dielettrica del mezzo, normalizzata rispetto a quella dell'aria. La conoscenza della costante dielettrica relativa (o della velocità di propagazione  $v_r$ ) è essenziale ai fini interpretativi, poiché permette di calcolare la profondità ( $h$ ) di una superficie riflettente, con un errore massimo stimato  $\pm 10$  %, infatti:

$$h = \frac{ct_r}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

Dove  $t_r$  è il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione dell'impulso.

L'attenuazione esprime invece la diminuzione dell'intensità del segnale per unità di lunghezza percorsa all'interno del materiale. Essa può essere considerata una funzione complessa della conducibilità elettrica, un'altra caratteristica fisica dei materiali. In generale è possibile affermare che la profondità di indagine massima ottenibile in un determinato materiale dipende dal suo valore di attenuazione. Valori elevati si hanno per i materiali caratterizzati da elevati valori di conducibilità elettrica, quali limi, argille, materiali cristallini solubili, metalli e acque saline; valori bassi sono invece caratteristici di rocce cristalline, ghiaie, sabbie e acque demineralizzate. Si evidenzia come la presenza di acqua sia responsabile dell'aumento dei valori di entrambi i parametri, sebbene con intensità diversa nei vari materiali. I materiali caratterizzati da elevati valori di attenuazione limitano in modo determinante la profondità di indagine; nelle argille plastiche, ad esempio, essa è ridotta a pochi centimetri e nei metalli è praticamente nulla. Per contro, i materiali ad elevato valore di attenuazione sono ottimi bersagli, in quanto riflettono buona parte della radiazione incidente. Un profilo (sezione GPR) si effettua ripetendo il ciclo di trasmissione e ricezione innumerevoli volte spostando progressivamente l'antenna lungo una direzione prefissata; il programma di elaborazione provvede ad accostare opportunamente le tracce dei segnali ricevuti. Il risultato è quello riportato nelle sezioni GPR.

#### Limiti metodologici della prospezione GPR

La tecnica di prospezione G.P.R. (Ground Penetrating Radar) applicata alla ricerca dei sottoservizi presenta naturalmente dei limiti applicativi legati, oltre che alla metodologia, a diversi fattori, sia di tipo strumentale, che di natura logistico-ambientale.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorlicek P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 6

Il principale limite di tale tecnica, applicata alla ricerca dei sottoservizi, è legato essenzialmente al principio fisico sul quale si basa la metodologia di indagine e cioè la differenza di conducibilità elettrica esistente tra materiali differenti. In base a questo principio sia i radargrammi monostatici che quelli bistatica non possono fornire informazioni sulla natura e dimensione dei bersagli colpiti. La tipologia e dimensione di bersaglio individuato è stata pertanto definita, laddove possibile, a seguito di verifiche eseguite in pozzetti di ispezione e tombini.

I principali fattori ambientali che causano problemi con l'utilizzo del georadar vengono di seguito elencati e richiedono una certa attenzione:

- presenza di terreni umidi: essendo molto conduttivi tutta l'energia verrebbe immediatamente dissipata, impedendo la riflessione.
- disturbi elettromagnetici: le antenne che operano a frequenza da 80 a 720 Mhz, essendo prive di schermatura trasmettono segnali che possono apparire come discontinuità. In presenza di campi elettromagnetici, il segnale radar registrato, infatti, potrebbe essere disturbato.
- Irregolarità del suolo: è tale da causare salti allo strumento, i dati verrebbero alterati a seguito della variabilità dell'angolo d'irradiazione. La superficie d'indagine deve presentarsi possibilmente piatta e priva di ogni genere di ostacolo.
- il livello di falda freatica costituisce il limite per il segnale radar.

Per quanto riguarda i diversi fattori logistici che limitano la metodologia d'indagine georadar, nel campo della ricerca dei sottoservizi, si evidenzia:

- la difficoltà oggettiva nel riconoscimento di condotte sovrapposte;
- l'impossibilità di eseguire scansioni a distanze inferiori a 30 cm da ostacoli quali murature, fabbricati, ecc.;
- l'impossibilità di eseguire scansioni lungo i tratti stradali sui quali insistono strutture provvisorie connesse a cantieri e ponteggi;
- presenza di pavimentazione stradale costituita da blocchi di basolato lavico o mattoncini.
- presenza di armatura metallica al di sotto della pavimentazione che riflette le onde elettromagnetiche "mascherando" i corpi sottostanti.



*Strumentazione utilizzata per l'indagine*

## **SONDAGGI GEOGNOSTICI**

Sono stati eseguiti tre sondaggi a carotaggio continuo con carotiere semplice diam 101 mm. Sono stati raccolti campioni rimaneggiati direttamente dalle cassette catalogarici (Sondaggio S2 "camp 1 3.6-3.8m" "camp 2 5.0-5.2m" "camp 3 8.7-9.0m"; Sondaggio S3 "camp 1 3.6-3.8m" "camp 2 11.0-11.2m") per eseguire ulteriori test

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorlicek P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 7

(granulometrie e limiti). Sulle carote appena estratte oltre al riconoscimento litologico sono stati eseguiti test mediante penetrometro e scissometro “tascabili” per poter definire la coesione non drenata sui materiali prevalentemente coesivi. I carotaggi sono stati terebrati tutti fino a 15.5m da p.c. Si riportano in allegato i logs stratigrafici dei tre sondaggi.



*Ubicazione dei sondaggi su foto aerea*

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorlicek P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 8



*Esecuzione S1*



*Esecuzione S2*



*Esecuzione S3*



Cassetta catalogatrice del sondaggio S1; da 0.0 a 5.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S1; da 5.0 a 10.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S1; da 10.0 a 15.5 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S2; da 0.0 a 5.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S2; da 5.0 a 10.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S2; da 10.0 a 15.5 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S3; da 0.0 a 5.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S3; da 5.0 a 10.0 m da p.c.



Cassetta catalogatrice del sondaggio S3; da 10.0 a 15.6 m da p.c.

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

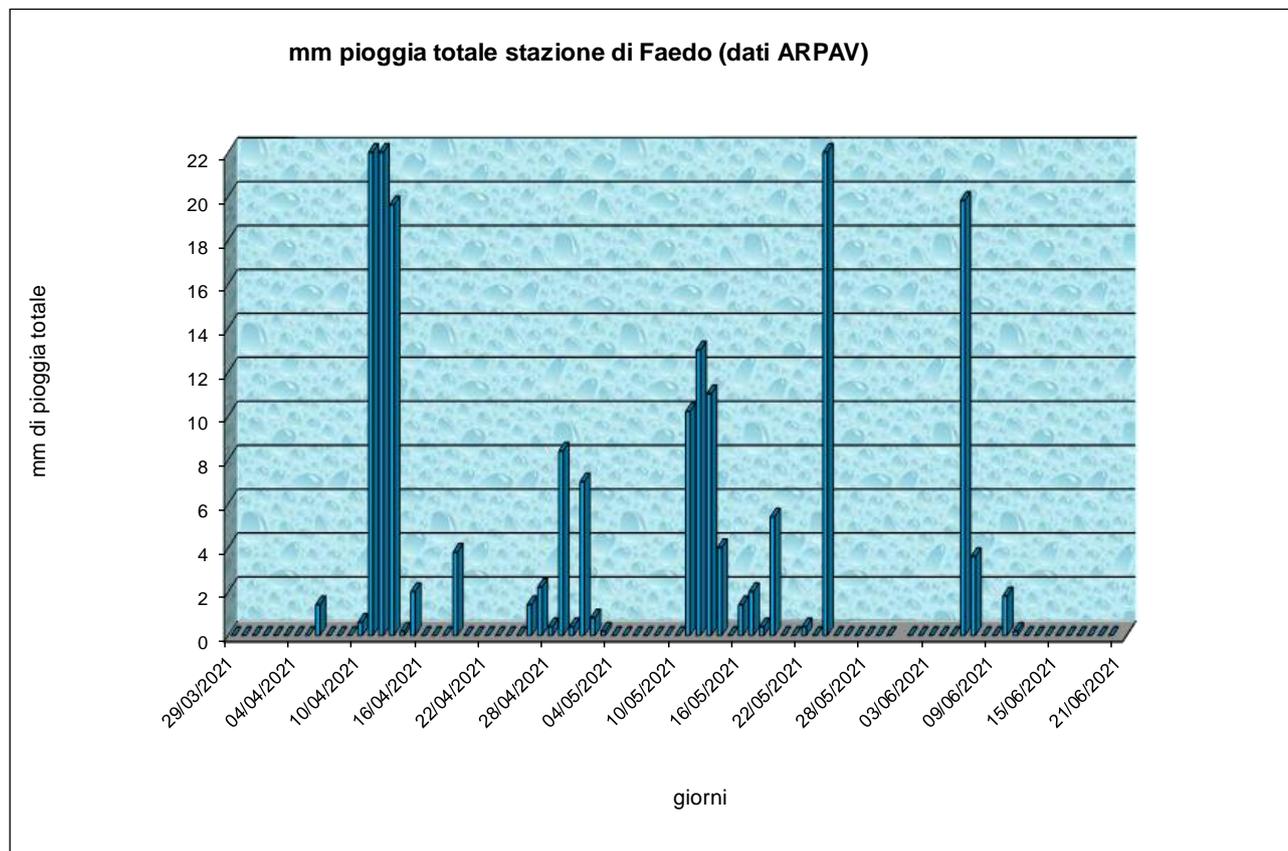
Dopo la perforazione dei sondaggi geognostici, sono stati posizionati tre piezometri all'interno di ciascun foro, che hanno permesso di misurare la presenza d'acqua in più occasioni. Si riportano a seguito i dati di monitoraggio della falda.

Si riporta inoltre il grafico relativo alle precipitazioni misurate nell'area colli stazione più vicina di Faedo dal 29/03/2021 al 20/06/2021.

Data/Sondaggio	Falda m da p.c.
<b>13/05/2021</b>	
S1	7.21
S2	5.42
S3	11.92
<b>19/05/2021</b>	
S1	7.18
S2	6.02
S3	11.86
<b>26/05/2021</b>	
S1	6.67
S2	5.66

**RAPPORTO INDAGINI GEOLOGICHE GEOTECNICHE E PROVE DI LABORATORIO**

S3	11.63
<b>28/05/2021</b>	
S1	6.95
S2	6.08
S3	11.80

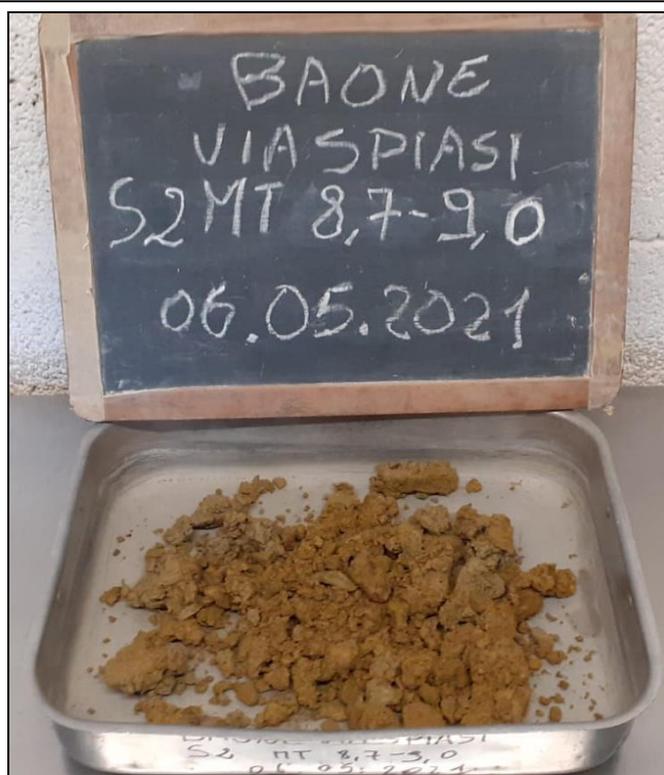


## LABORATORIO GEOTECNICO

Per la realizzazione dell'opera in progetto sono state condotte inoltre analisi di laboratorio geotecnico.

I campioni prelevati sono i seguenti

Sondaggio	Quota (da inizio perforazione)	Campioni rimaneggiati	Tipo di analisi
<b>S2</b>	3.60-3.80	<b>1</b>	<b>Analisi granulometrica</b>
<b>S2</b>	5.00-5.20	<b>2</b>	<b>Limiti di Atterberg</b>
<b>S2</b>	8.70-9.00	<b>3</b>	<b>Limiti di Atterberg</b>
<b>S3</b>	3.60-3.80	<b>1</b>	<b>Analisi granulometrica</b>
<b>S3</b>	11.00-11.20	<b>2</b>	<b>Analisi granulometrica</b>



<b>campione</b>	<b>S2 camp "8.70-9.00"</b>	<b>S2 camp "5.00-5.20"</b>
Limiti di Atterberg sul passante al setaccio 0.425		
Limite liquido Wl	34	47
Limite plastico Wp	22	26
Indice plasticità Ip	12	20
Classificazione USCS	CL argille limose inorganiche media-bassa plasticità	CL argille limose inorganiche media-bassa plasticità

<b>campione</b>	<b>S2 camp "3.60-3.80"</b>	<b>S3 camp "3.60-3.80"</b>	<b>S3 camp "11.00-11.20"</b>
Profondità prelievo	3.60-3.80 m p.c.	3.60-3.80 m p.c.	11.00-11.20 m p.c.
Descrizione litologica	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	Ghiaia e sabbia debolmente limosa	Ghiaia sabbiosa con tracce limose

## PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE



Ubicazione delle indagini di simica a rifrazione su foto aerea

La sismica a rifrazione: cenni sulla teoria del metodo

### LE ONDE SISMICHE

Le onde sismiche si possono dividere in onde che viaggiano attraverso la Terra, dette anche body waves, oppure lungo la superficie, dette anche surface waves; queste ultime sono di due tipi, onde di Love e onde di Rayleigh. In questa sede saranno trattate esclusivamente le body waves in quanto di fondamentale importanza nelle tecniche di prospezione sismica. Questo tipo di onde si propaga secondo due tipologie distinte; si suddividono perciò in onde **P**, o onde compressionali, che si propagano attraverso una serie di dilatazioni e compressioni del terreno nella direzione della loro propagazione, e in onde **S**, o onde di taglio, le cui oscillazioni emergono trasversalmente alla direzione di propagazione. Le onde P sono dette anche "primarie" in quanto sono più veloci delle onde S, e perciò, qualunque sia la sorgente delle vibrazioni (naturale o artificiale), arrivano per prime ad un sensore in grado di rilevare i tempi di arrivo e le ampiezze di oscillazione (geofoni, idrofoni, etc.).

Per un corpo elastico isotropo e illimitato le velocità delle due onde dipendono dalle costanti elastiche e dalla densità del materiale secondo le seguenti relazioni:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

In cui  $k$  e  $\mu$  sono rispettivamente il bulk modulus e lo shear modulus, mentre  $\rho$  indica la densità del materiale.

#### PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

Si tratta di una tecnica di prospezione geofisica molto usata in geologia applicata. Fa parte dei metodi attivi di prospezione in quanto prevede l'iniezione di campi di energia elastica nel terreno, e la misura di come esso risponde a tali sollecitazioni. Le prospezioni sismiche consistono nella misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche generate in un punto in superficie, in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica, ove sono infissi dei sensori idonei (geofoni).

#### ANALISI DI DATI SISMICI

Gli strumenti usati per rilevare ampiezze e tempi di arrivo delle onde sismiche in superficie sono detti geofoni.

Ogni singolo geofono infisso nel terreno effettua una registrazione, o sismogramma, del tipo mostrato in figura A, in cui si notano due arrivi distinti, uno a 100 ms, l'altro a 150 ms.

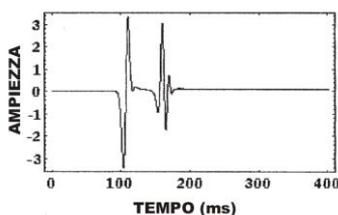


Fig.A Esempio di sismogramma di un singolo geofono

Da una singola registrazione non è possibile individuare il tipo di onda; per questo motivo si usano dispositivi costituiti da più geofoni posti a distanze diverse dalla sorgente, e generalmente a passo costante la cui entità dipende dal dettaglio richiesto. La sequenza di sismogrammi che ne risulta può essere rappresentata in funzione del tempo e della distanza

Da queste registrazioni è possibile distinguere il tipo di onda ricordando che la riflessa non è mai la prima registrata nel sismogramma. Si nota che a piccole distanze il primo arrivo è delle dirette, caratterizzato da grande ampiezza e scostamento (variazione del tempo vs distanza) costante a tutte le distanze; a maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello della rifratta, caratterizzato da minor ampiezza e scostamento (la retta cambia pendenza). Il punto in cui si ha l'arrivo contemporaneo dell'onda diretta e rifratta è detto "punto a ginocchio" (crossover distance), la cui distanza dal punto di scoppio può essere facilmente calcolata, mentre il punto in cui si osserva il primo arrivo della rifratta è detto "distanza critica".

L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello della riflessa, in cui lo scostamento aumenta con la distanza secondo una funzione iperbolica.

Dai sismogrammi di uno stendimento di geofoni si ricavano curve distanza-tempo (travel-time curves) o dromocrone

Il punto fondamentale nell'interpretazione dei dati è l'individuazione dei primi arrivi (first peak) in ogni geofono, ma non sempre è una operazione agevole a causa di disturbi del segnale (rumore di fondo) o perché il primo arrivo è dato dall'onda d'aria, qualora le velocità competenti al terreno più superficiale siano vicine a quelle di propagazione nell'aria.

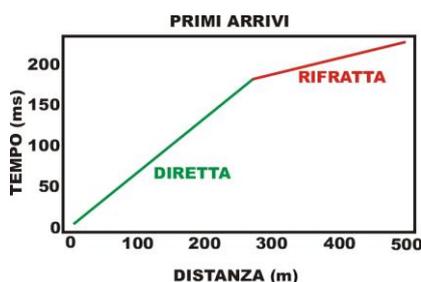


Fig.B Dromocrone dei primi arrivi con il tempo crescente in ordinata.

#### INTERPRETAZIONE DEL SUBSTRATO DA DROMOCRONE

Si può considerare un modello, formato da due layer aventi velocità diverse, in due condizioni ovvero con il layer superiore di spessore diverso. La condizione di partenza fondamentale è  $V_2 > V_1$ .

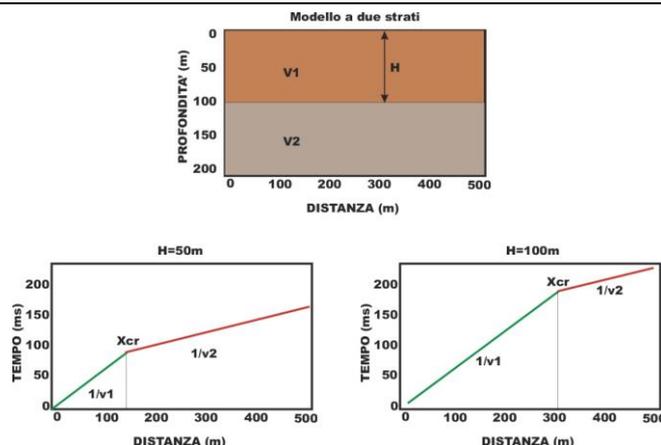


Fig. C Travel-time dei primi arrivi con layer 1 di spessore variabile. Xcr è la crossover-distance.

Nei diagrammi di figura C le pendenze delle rette sono uguali a  $1/V$ , quindi si possono ricavare le velocità delle onde che attraversano i due layer. Più è potente lo strato superiore maggior tempo l'onda frontale rifratta impiegherà per generarsi e tornare in superficie. Dalle velocità è possibile ricavare lo spessore degli strati ed avere una valutazione della litologia attraversata; infatti ogni materiale è caratterizzato da un proprio range di velocità con cui può essere attraversato dalle onde sismiche.

Lo spessore può essere calcolato in due modi:

- considerando la Xcr (crossover-distance)

$$h = \frac{X_{cr}}{2} \left( \frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{1/2}$$

- Considerando  $t_0$  (zero offset time) che è la proiezione sull'asse dei tempi della retta relativa alla  $V_2$ ; in pratica si estrapola il tempo di arrivo dell'onda rifratta alla distanza zero, dove in realtà non esiste.

$$h = \frac{t_0 (V_2 V_1)}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

### Prospezione Sismica a rifrazione:

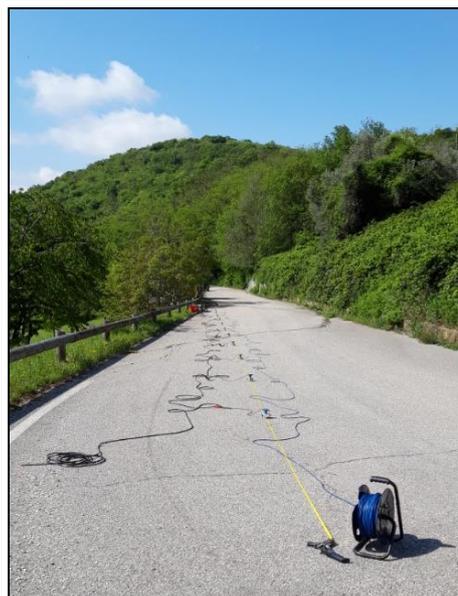
Al fine di ottenere un modello stratigrafico schematico dell'area in esame sono stati eseguiti tre stendimenti sismici a rifrazione. La metodologia ha previsto l'utilizzo di un sismografo a 24 canali, di 12 e 24 geofoni da 12 Hz e di un sistema energizzante composto da una massa battente di circa 12 kg per energizzare il terreno. Il sismografo ECHO 24/2002 Seismic Unit della Ambrogeo può eseguire registrazioni di energizzazioni susseguenti (stak), si è proceduto quindi con l'attivazione per stak di battute.

Il primo stendimento di 64 m con passo di 3 m tra geofoni, ha permesso di indagare una profondità media di circa 14.0 m da p.c., la configurazione dello stesso ha previsto l'utilizzo di più punti sorgente (sette), simmetrici rispetto alla configurazione dello stendimento stesso. Di seguito sono riportate le foto dello stendimento e lo schema interpretativo.

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorliceck P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 19

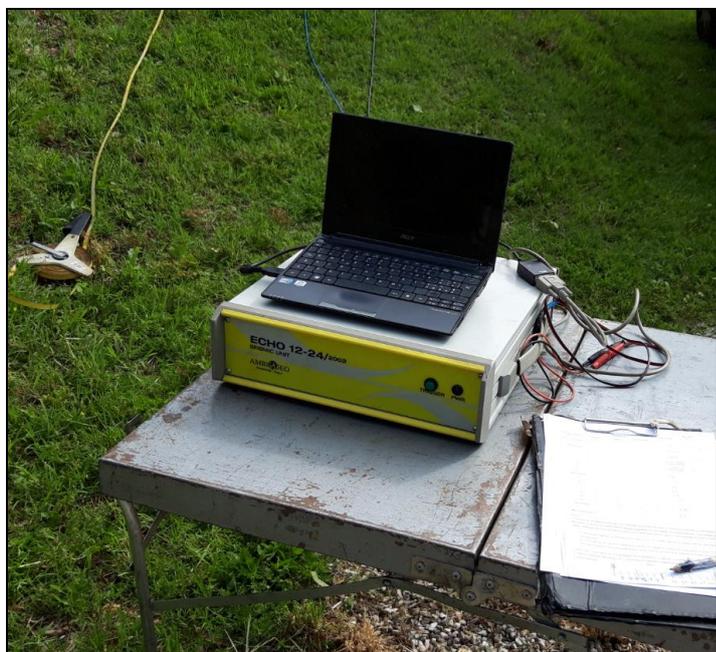


*Strumentazione utilizzata per l'indagine sismica*



*Traccia del profilo sismico*

Il secondo stendimento di 62 m con passo di 4 m tra geofoni, ha permesso di indagare una profondità media di circa 14.0 m da p.c., la configurazione dello stesso ha previsto l'utilizzo di più punti sorgente (nove), simmetrici rispetto alla configurazione dello stendimento stesso. Di seguito sono riportate le foto dello stendimento e lo schema interpretativo.



*Strumentazione utilizzata per l'indagine sismica*



*Traccia del profilo sismico*

Il secondo stendimento di 50 m con passo di 4 m tra geofoni, ha permesso di indagare una profondità media di circa 6.0/7.0 m da p.c., la configurazione dello stesso ha previsto l'utilizzo di più punti sorgente (sette),

simmetrici rispetto alla configurazione dello stendimento stesso. Di seguito sono riportate le foto dello stendimento e lo schema interpretativo.



*Strumentazione utilizzata per l'indagine sismica*

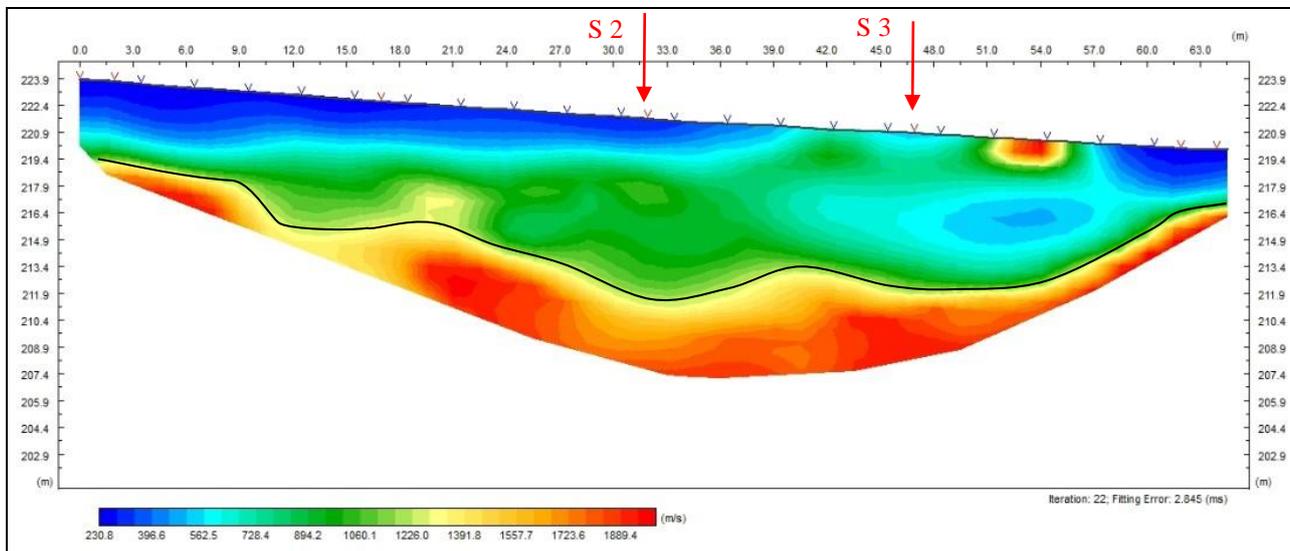


*Traccia del profilo sismico*

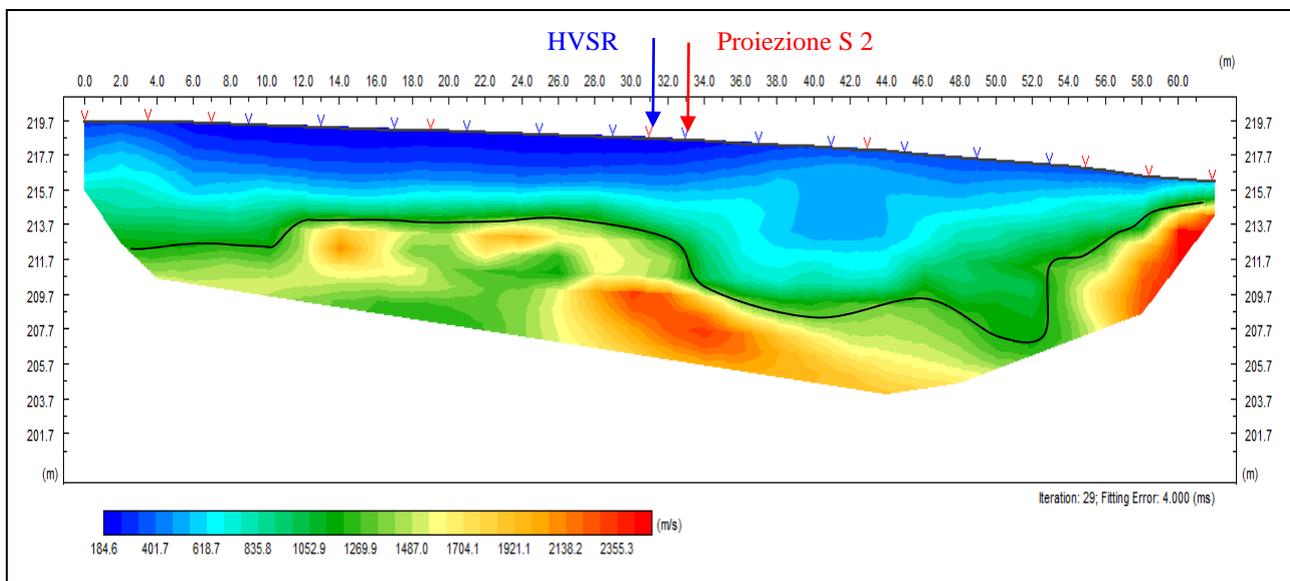
### **Elaborazione dei dati**

L'elaborazione (eseguita con il programma DW Tomo della Geogiga Technology Corp.) dei dati è stata condotta, previo opportuno filtraggio e pulizia degli stessi, la prima fase di elaborazione, nonché la più importante, è stata quella di determinare, per ogni sismogramma, i tempi di primo arrivo in maniera equivalente per ogni canale. L'analisi delle velocità e degli spessori dei terreni è stata possibile utilizzando il metodo dell'inversione tomografica; in sostanza tale metodo utilizza i tempi di primo arrivo delle onde P ai geofoni unitamente alla geometria dello stendimento, e, attraverso un algoritmo di inversione, costruisce un modello caratterizzato da un gradiente verticale e laterale delle velocità delle onde P. La computazione reciproca di tutti i dati permette, inoltre, di caratterizzare un modello geometrico delle strutture del sottosuolo.

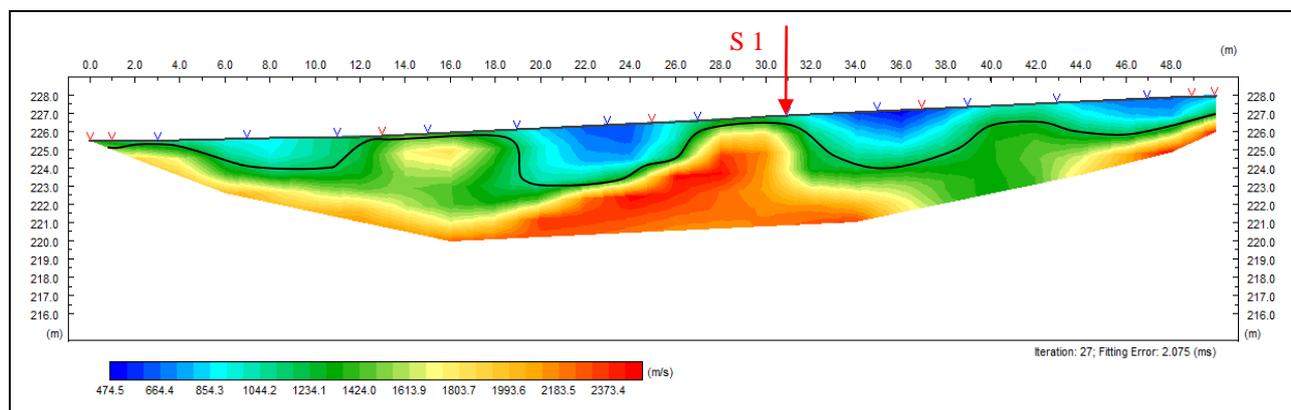
Stendimento 1



Stendimento 2



**Stendimento 3**



Dalle immagini sopra riportate, si individua la presenza di più strati, si ricorda che gli strati individuati con la prospezione sismica non necessariamente corrispondono ad orizzonti litologici; infatti la velocità delle onde sismiche subisce un incremento al variare delle proprietà fisiche anche di un medesimo litotipo, intese come densità, grado di saturazione ecc.

Il risultato della prospezione sismica è riassunto nelle seguenti tabelle:

Spessore Medio (m)	Range Velocità onde P (km/s)	Interpretazione
Dai 5m ai 10m	0.10-1.20	Suolo; materiale detritico sciolto a componente prevalentemente coesiva passante a copertura detritica di versante di composizione eterogenea costituita da elementi eterometrici
/	1.20- /	Passaggio al substrato marnoso argilloso

Spessore Medio (m)	Range Velocità onde P (km/s)	Interpretazione
Dai 5m ai 10m	0.10-1.20	Suolo; materiale detritico sciolto a componente prevalentemente coesiva passante a copertura detritica di versante di composizione eterogenea costituita da elementi eterometrici
/	1.20- /	Passaggio al substrato marnoso argilloso

Spessore Medio (m)	Range Velocità onde P (km/s)	Interpretazione
Dai 1.5m ai 3.0m	0.10-1.20	Suolo; materiale detritico sciolto a componente prevalentemente coesiva passante a copertura detritica di versante di composizione eterogenea costituita da elementi eterometrici
/	1.20- /	Passaggio al substrato marnoso argilloso

N.B. Lo spessore dell'ultimo strato non è stato definito sia perché significativamente potente sia per le limitazioni della stessa prova.



Ubicazione indagine HVSR su foto aerea

### **Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR**

#### Generalità metodo Nakamura

*Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre*

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorlicek P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 24



**RAPPORTO INDAGINI GEOLOGICHE GEOTECNICHE E PROVE DI LABORATORIO**

<b>Campionamento</b>	simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz
<b>Interfaccia dati</b>	RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione
<b>Contenitore</b>	Monoblocco in alluminio IP66
<b>Dimensioni e peso</b>	155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz
<b>Temperatura operativa</b>	-20/+50°C
<b>Conformità</b>	CE

Nel sito è stata eseguite 1 registrazioni (HVSr1) da 1200 sec (20 min.), esportando parte del terreno superficiale durante una giornata con condizioni meteo ideali (senza precipitazioni e vento).



*Foto stazione di registrazione HVSr1*

### Presentazione ed elaborazione dei risultati

Per l'elaborazione dei dati e la definizione della frequenza fondamentale del sito è stato utilizzato il software open source Geopsy risultati riportati delle misurazioni per ogni stazione di misura comprendono:

- Figura della traccia registrata
- Grafico componenti spettrali lisciate tramite operatore Konno & Ohmachi (1998)
- Grafico andamento del rapporto H/V in funzione della direzione
- Grafico del rapporto H/V e relativa  $f_0$  calcolata

### Indagine HVSr1

A seguito si riportano i grafici sopra elencati (elaborazione del segnale eseguita con software Geopsy).

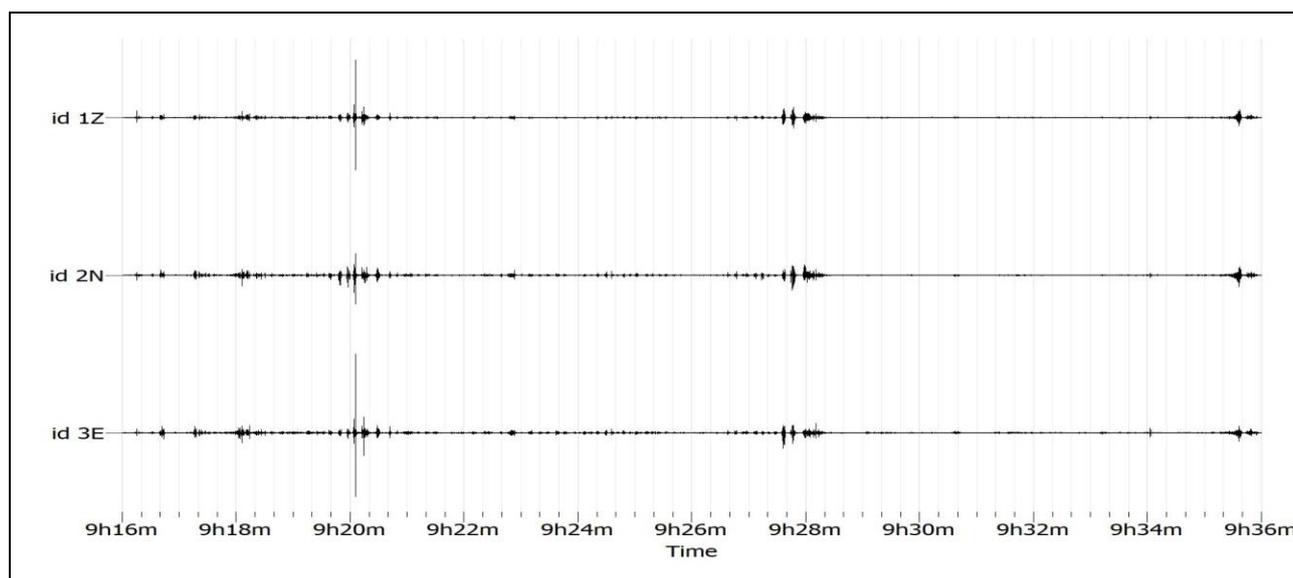
#### **INDAGINE**

#### **HVSr1**

Sede: v. Martiri Libertà 29, 35042 Este (PD) tel-fax 0429601986 e-mail <a href="mailto:info@geologiatecnica.net">info@geologiatecnica.net</a> & <a href="http://www.geologiatecnica.net">www.geologiatecnica.net</a>		
File:R01_Rapporto_Indagini_Via Spiasi.doc	Redatto da: Vorlicek P.A.	Data 03/07/2021
Rev. 00		Pag. 26

**RAPPORTO INDAGINI GEOLOGICHE GEOTECNICHE E PROVE DI LABORATORIO**

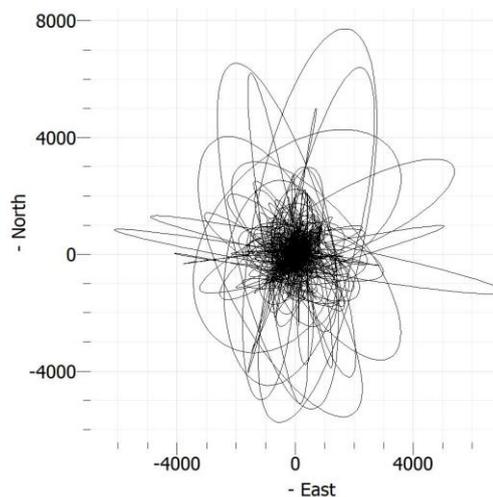
<b>Numero di tracce :</b>	3
<b>Durata registrazione:</b>	1200 s
<b>Frequenza di campionamento:</b>	300 Hz
<b>Banda di frequenza considerata</b>	0,2 – 40 Hz
<b>Numero campioni</b>	360000
<b>Direzioni tracce:</b>	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale



Traccia registrata (HVS1)

**Distribuzione del segnale registrato**

Nella figura a destra si riporta il movimento delle particelle sul piano orizzontale. Si evidenzia una distribuzione a 360° della maggior parte del microtremore ambientale registrato e una minor presenza di rumori antropici unidirezionali.



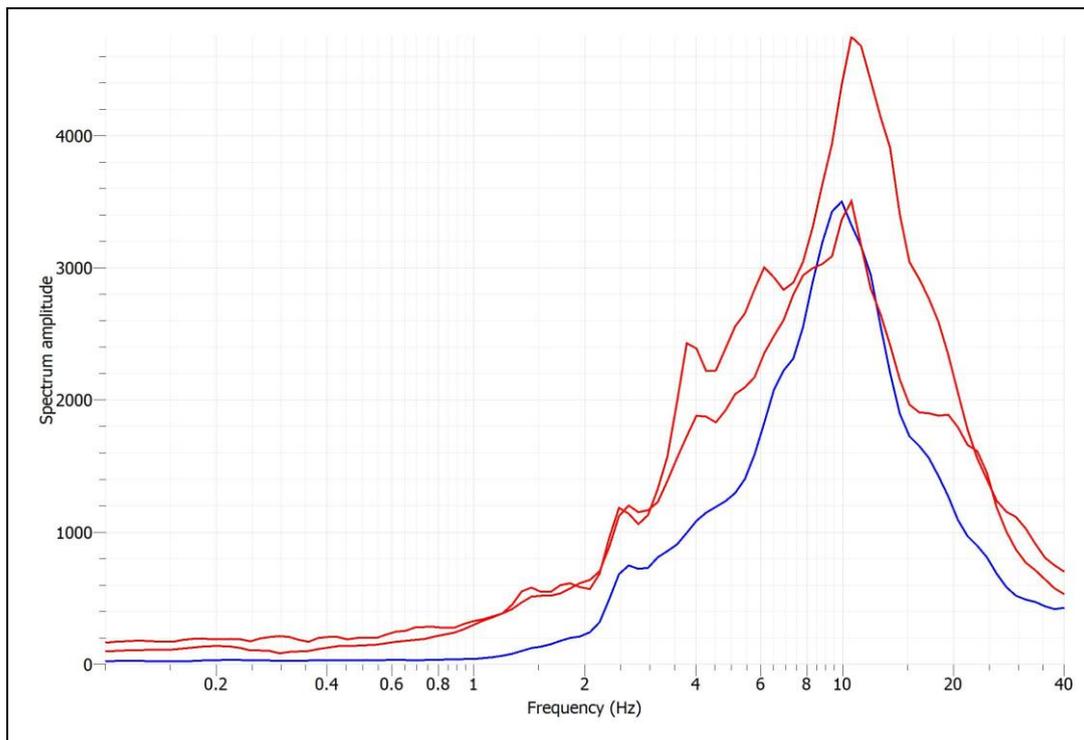


Fig. 1: Componenti spettri lisciati: in blu componente verticale in rosso orizzontali (HVS1)

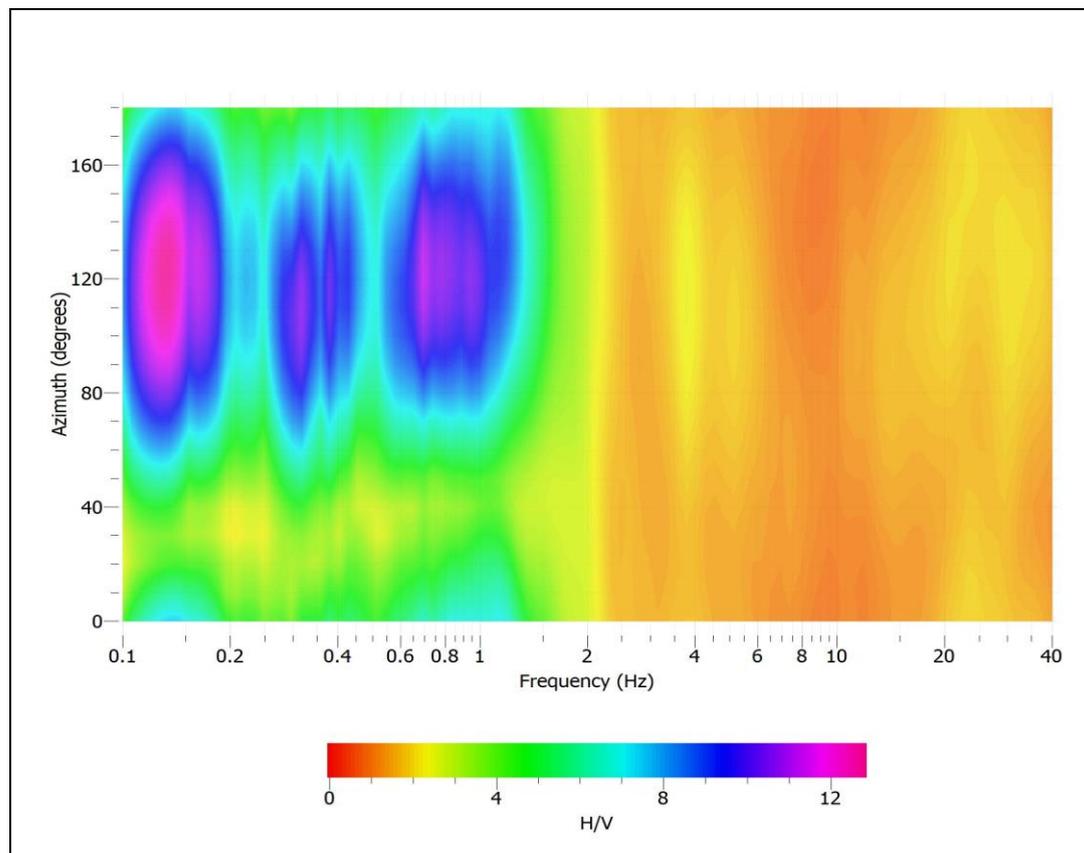


Fig. 2: Direzionalità rapporto H/V (HVS1)

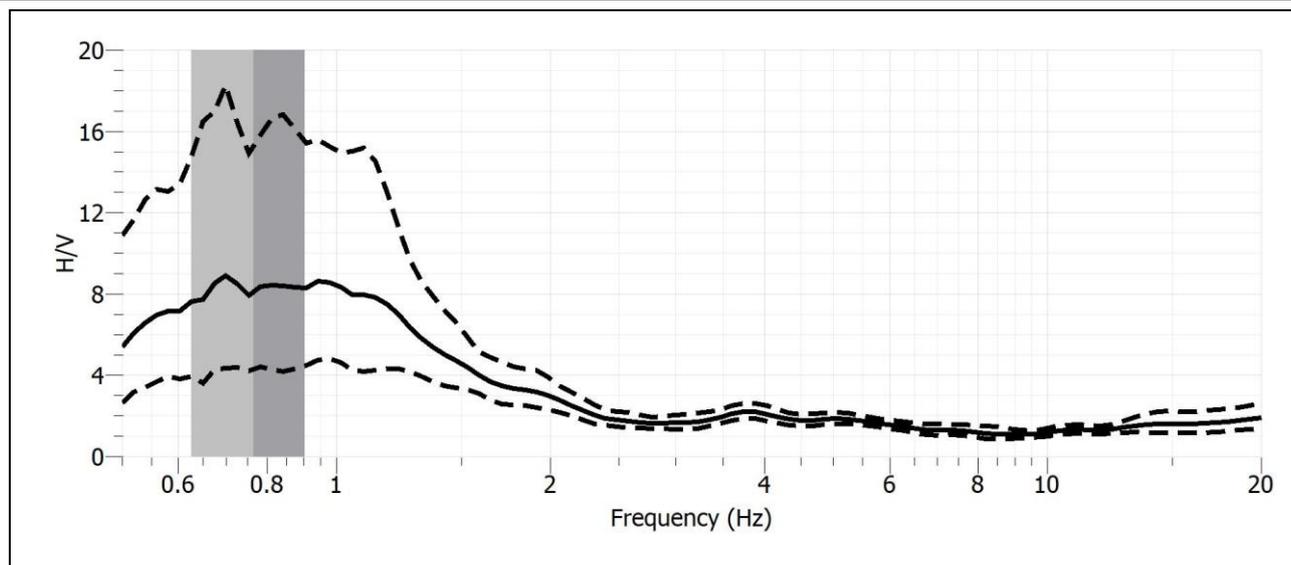


Fig. 3.: Rapporto spettri componenti orizzontali e verticali lisciati. In grigio in evidenza i picchi (HVSr1)

### Osservazioni

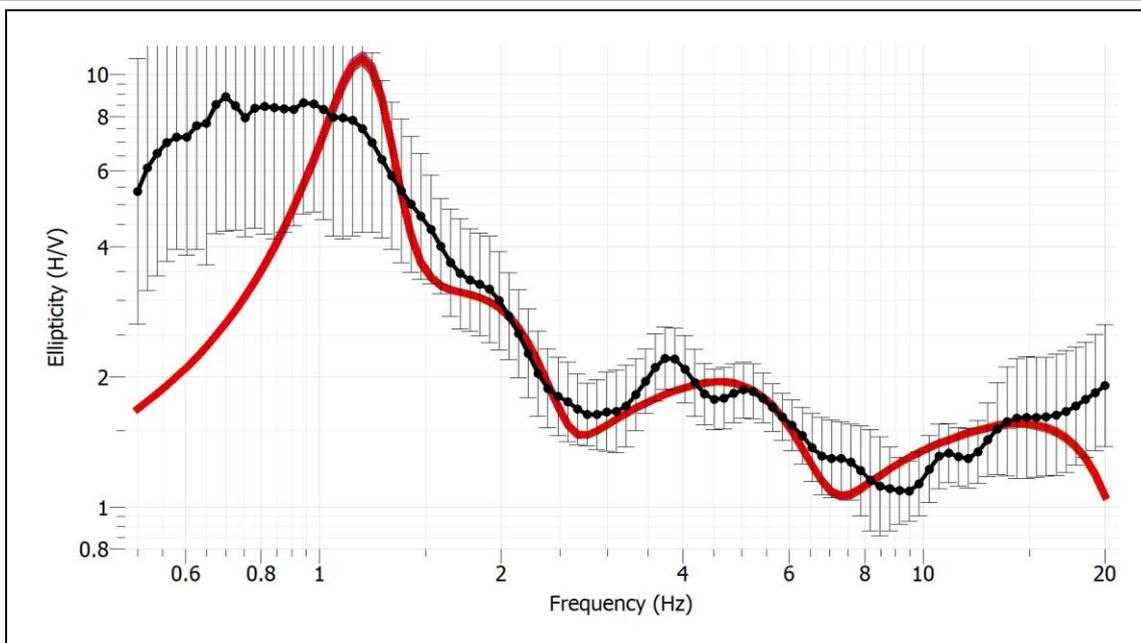
L'analisi del segnale è stata eseguita previa un filtraggio del segnale ed una opportuna eliminazione dei transienti più importanti.

Dall'analisi del rapporto degli spettri si evince la presenza di un picco intorno ai 0.76 hz, di cui si riportano nella tabella a seguito i dati principali

<b>Dati picco principale (H/V)</b>		
<b>Frequenza <math>F_0</math></b>	<b><math>f</math> stddev (Hz)</b>	<b><math>A_0</math></b>
0.76	$\pm 0.14$	8.10

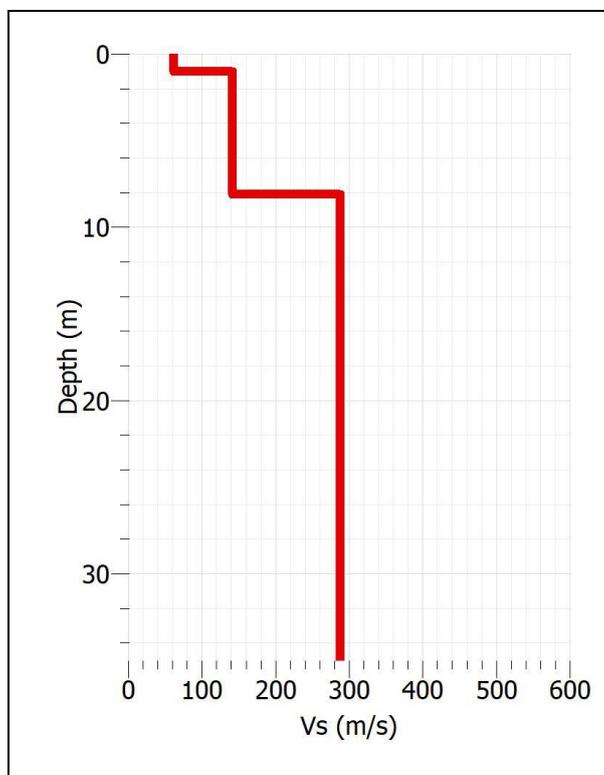
### Modello sismostratigrafico (indagine HVSr1)

Nel diagramma posto sotto si evidenziano il modello di sottosuolo (definizione del modello sismostratigrafico tramite l'elaborazione della curva HVSR con software Geopsy "dinver" elaborazione curva hvsr) e le velocità delle onde di taglio in riferimento alla profondità. In base alle velocità misurate la  $V_{s30}$  è circa 208 m/s.



Confronto tra la curva H/V sperimentale (in nero) e la teorica (in rosso) ottenuta per il modello di sottosuolo

Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0-1.0	60
1.0-8.0	140
8.0-30.0	285



Modello di sottosuolo in funzione dell'andamento delle Vs con la profondità dei primi 30 m circa dal p.c.

## **Categoria sismica sottosuolo e condizioni topografiche**

### Categoria sismica sottosuolo

A seguito si riporta quanto indicato nelle NTC del D.M. 17/01/2018 nel capitolo “Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche” nel punto 3.2.2. per la determinazione della categoria sismica di sottosuolo.

*Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. 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.*

In base ai risultati delle indagini sismica descritta nel paragrafo “Caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica HVSR” i terreni in sito appartengono alla **categoria sismica di sottosuolo C**.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato

<b>Categoria</b>	<b>Categoria del sottosuolo</b>
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.

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

All’area oggetto di studio si può attribuire la **condizione topografica T2**.

In allegato:

- Logs stratigrafici
- Certificati analisi laboratorio geotecnico
- Tomografie sismiche