

# REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

## ENTE DI DECENTRAMENTO REGIONALE DI UDINE

COMMITTENTE	EDR UDINE
LAVORO	INTERVENTI DI MITIGAZIONE IDRAULICA INERENTI L'INTERVENTO PNRR 03 DI COSTRUZIONE NUOVO PONTE SUL TORRENTE LEALE, SR UD 41 "DI FORGARIA AL PROGRESSIVO KM 17+300 IN COMUNE DI TRASAGHIS E MANUTENZIONE DEL PONTE DELL'ARMISTIZIO SUL TORRENTE ARZINO AL PROGRESSIVO KM 1-200 IN COMUNE DI FORGARIA NEL FRIULI
FASE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
OGGETTO	ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA – GEOTECNICA
 <p><b>RUNCIO ASSOCIATI</b> Architettura Ingegneria Urbanistica Via Podgora, 25 33100 UDINE P.IVA 01880450307 tel. 0432.534012 fax 0432.298800 email: studio@runcioass.it</p> <p>Ing. Adriano Runcio Arch. Rodolfo Runcio</p>	IL TECNICO RESPONSABILE
 <p><b>ENCIARDO RUNCIO</b> INGEGNERE Studio - Via della Bressana, 8 33010 Pagnacco (UD) ALBO n. 3006</p>	COLLABORAZIONI ED ASPETTI SPECIALISTICI
 <p>ZOZ dott. VANNI GEOLOGO Via Baldo, 38 Gemona del Friuli (UD)</p>	

DATA PROGETTO

09 LUGLIO 2024

Revisione n°	Data	Versione approvata da	codice pratica
			PU.11.24

**ALLEGATO**

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

ENTE DI DECENTRAMENTO DI UDINE

COMUNI DI TRASAGHIS E FORGARIA NEL FRIULI

INTERVENTI DI MITIGAZIONE IDRAULICA INERENTI  
L'INTERVENTO PNRR 03 DI COSTRUZIONE NUOVO PONTE SUL  
TORRENTE LEALE, SR UD 41 "DI FORGARIA AL PROGRESSIVO  
KM 17+300 IN COMUNE DI TRASAGHIS E MANUTENZIONE DEL  
PONTE DELL'ARMISTIZIO SUL TORRENTE ARZINO AL  
PROGRESSIVO KM 1-200 IN COMUNE DI FORGARIA NEL FRIULI

Committente

ENTE DI DECENTRAMENTO DI UDINE

---

MARZO 2024

# REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

ENTE DI DECENTRAMENTO DI UDINE

COMUNI DI TRASAGHIS E FORGARIA NEL FRIULI

INTERVENTI DI MITIGAZIONE IDRAULICA INERENTI L'INTERVENTO PNRR 03 DI COSTRUZIONE NUOVO PONTE SUL TORRENTE LEALE, SR UD 41 "DI FORGARIA AL PROGRESSIVO KM 17+300 IN COMUNE DI TRASAGHIS E MANUTENZIONE DEL PONTE DELL'ARMISTIZIO SUL TORRENTE ARZINO AL PROGRESSIVO KM 1-200 IN COMUNE DI FORGARIA NEL FRIULI

---

## RELAZIONE ALLE INDAGINI GEOFISICHE

---

### INDICE

1. INTRODUZIONE	pag.1
2. INDAGINI GEOFISICHE	pag.1
2a. TOMOGRAFIE ELETTRICHE TRIDIMENSIONALI DI RESISTIVITA' ERT	pag.1
2b. HVSr	pag.3
2c. MASW	pag.4
ALLEGATO 1	
ALLEGATO 2	
ALLEGATO 3	
ALLEGATO 4	
ALLEGATO 5	
ALLEGATO 6	
ALLEGATO 7	
ALLEGATO 8	
ALLEGATO 9	
ALLEGATO 10	
ALLEGATO 11	
ALLEGATO 12	
ALLEGATO 13	
ALLEGATO 14	

---

## 1. Introduzione

Su incarico dell'Ente di Decentramento di Udine viene redatta la seguente relazione alle indagini geofisiche realizzate mediante tomografica elettrica di resistività ERT tridimensionale e sismiche attive MASW e passive HVSr per l'intervento PNRR03\_EDRUD – Segnalazione: 5340. Intervento urgente di consolidamento del ponte a travata multipla sul torrente Leale, SR UD 41 “di Forgaria” alla progr. km 17+300 e ponte dell'Armistizio sul torrente Arzino alla progr. km 1+200 in comune di Trasaghis e Forgaria del Friuli.



Figura 1- Posizionamento delle indagini geofisiche. Ponte sul T. Leale (a sinistra), ponte dell'Armistizio sul T. Arzino (a destra).

## 2. Indagini geofisiche

Le analisi realizzate sono state n.2 indagini tomografiche elettriche tridimensionali di resistività ERT, n.3 indagini di sismica attiva MASW e n. 7 indagini di sismica passiva HVSr. Esse saranno illustrate nei paragrafi successivi.

### 2a. Tomografie elettriche tridimensionali di resistività ERT

L'apparecchiatura usata per l'esecuzione delle analisi è il georesistivometro multicanale M.A.E. X612EM+ da 96 canali con energizzatore esterno costituito da una batteria 12V/100Ah. Le specifiche tecniche principali dell'apparecchiatura sono di seguito illustrate

Corrente in uscita:

- Intensità massima: 12 A a 50V
- Tensioni di uscita:  $\pm 50V$ ,  $\pm 100V$ ,  $\pm 250V$ ,  $\pm 500V$ ,  $\pm 800V$
- Potenza nominale massima: 600W
- Tempo di immissione: impostabile a partire da 0,25 sec. (visualizzazione dell'onda impostata)
- Precisione della misura:  $\pm 0,2\mu A$

Misura di potenziale:

- Misura parallela su tutti i canali impostati
- Auto range
- Fondo scala massimo:  $\pm 25V$
- Impedenza di ingresso: 2.5 M $\Omega$
- Precisione della misura:  $\pm 1,5\mu V$  nel range  $\pm 25V$
- Riduzione del rumore: con media da 2 a 255 misure
- Correzione automatica dei potenziali spontanei
- Accuratezza della resistività misurata:  $\pm 0,2\%$
- Polarizzazione indotta fino a 5 finestre di misura

L'elaborazione dei dati è stata effettuata mediante il software ERTLab™ 64 v. 1.2.0 della Geostudi Astier s.r.l e Multi-Phase Technologies LLC. ERTLab™ 64 è un software 3D per l'inversione di dati di resistività e caricabilità elettrica che consente la massima flessibilità nella disposizione tridimensionale degli elettrodi, mediante un apposito tool di generazione delle sequenze di misura che vengono successivamente caricate

sullo strumento di misura. Il software è in grado di invertire misure tomografiche elettriche per qualunque tipo di array e geometria elettrodica, a disposizione superficiale, in foro (cross-hole) o mista (surface-to-hole). ERTLab™ utilizza un algoritmo agli Elementi Finiti per la modellazione accurata della topografia del terreno. Gli algoritmi interpretativi si focalizzano sulla modellazione diretta agli Elementi Finiti tetraedrici, sull'inversione ai Minimi Quadrati con vincolo di smoothness e sull'algoritmo di data reweighting.

Nei casi presenti, in considerazione dei valori di resistività apparente ottenuti e della morfologia del sito, si sono settate larghezza delle celle della griglia di dimensioni dimezzate rispetto alle distanze interelettrodiche fissate per lo stendimento.

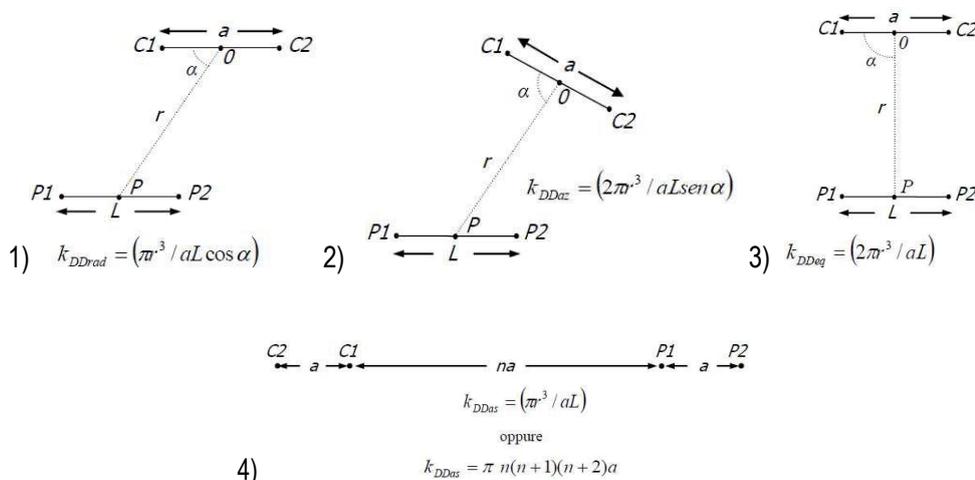
Negli allegati 1, 2, 3 e 4 si possono consultare gli output grafici che illustrano i risultati delle elaborazioni delle tomografie elettriche tridimensionali e in particolare

- le isosuperfici corrispondenti a vari intervalli di resistività (allegati 1 e 3);
- le sezioni sul piano XY a intervalli di profondità di 1 m tra quota 182.5 m fino a 175.5 m (allegati 2 e 4)

Nei medesimi allegati sono inoltre osservabili il posizionamento di ogni indagine e le fotografie attestanti l'esecuzione.

Dal punto di vista metodologico entrambi gli stendimenti tridimensionali sono stati acquisiti con l'array Dipolo – Dipolo a 72 elettrodi disposti il primo attorno alle pile n.1 e n.2 ed il secondo con configurazione a C attorno alla spalla n.1 del ponte con distanza interelettrodica di 2 m costante per il primo e di 2 m e 1 m il secondo, con 6388 misure effettuate in entrambi.

Nella pratica lo stendimento presuppone l'uso di un quadripolo in cui una coppia di elettrodi di corrente C1 e C2 si posizionano esternamente ad altri due elettrodi definiti di potenziale (P1 e P2). Per le acquisizioni tridimensionali si ottengono disposizioni radiali, azimutali, equatoriali e assiali degli elettrodi: ognuna di esse è riportata in figura 2, con le relative formule di calcolo del fattore geometrico, indispensabile per determinare la resistività apparente  $\rho_a$  di ogni punto misurato.



$$\rho_a = k \Delta V / I \quad \text{dove } \Delta V = \text{differenza di potenziale}; I: \text{intensità di corrente}; k: \text{fattore geometrico}$$

Figura 2 – Disposizione degli elettrodi del quadripolo Dipolo–Dipolo (1: radiale; 2: azimutale; 3: equatoriale; 4: assiale), formula di calcolo del fattore geometrico k per ogni disposizione elettrodica e formula di calcolo della resistività apparente  $\rho_a$ .

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni per ogni tomografia elettrica realizzata.

**Tomografia T1-3D:** si posiziona attorno alle pile n.1 e n.2 (cfr. Figura 1 e allegati 1, 2). L'estensione è stata di 48m x 24m con 72 elettrodi disposti sul perimetro a distanza interelettrodica di 2 m con 6388 misure effettuate e la massima profondità indagata è di circa 9 m rispetto alla quota di 182.5 m (quota minima del piano campagna in corrispondenza dell'alveo).

L'allegato 1 mostra le risultanze dell'analisi a partire dal piano di campagna. Le resistività sono suddivise in intervalli che evidenziano che la maggior parte di esse nella zona esaminata sono comprese tra la 20  $\Omega$ m e 750  $\Omega$ m. Valori superiori si osservano diffusamente al lato O dove possono essere presenti massi arginali

e puntualmente in altre zone presumibilmente legati a depositi aerati. Tali valori si riscontrano fin verso i 3 ÷ 4 m di profondità (cfr. allegato 2).

Nell'allegato 2, in cui si riportano le sezioni sul piano XY a intervalli di profondità di 1 m, nella zona delle fondazioni delle pile i valori risultano generalmente inferiori a 200  $\Omega$ m, più bassi nella pila n. 2 che evidenzia valori inferiori a 100  $\Omega$ m fino alla massima profondità indagata. Non si osservano zone simili tra i valori di resistività al di sotto delle due pile.

A partire dai 4 m circa le resistività si attestano su valori generalmente inferiori a 300  $\Omega$ m, risultando minori di 100  $\Omega$ m nella maggior parte dell'area indagata.

Tomografia T2-3D: si posiziona con morfologia a C attorno alla spalla n.1 del ponte (cfr. Figura 1 e allegati 3 e 4). L'estensione è stata di 48m x 23m con 72 elettrodi a distanza interelettrodica di 2 m parallelamente all'alveo e di 1 m perpendicolarmente ad esso con 6388 misure effettuate e la massima profondità indagata è di circa 8 m rispetto alla quota di 182.5 m (quota minima del piano campagna in corrispondenza dell'alveo). L'allegato 3 mostra le risultanze dell'analisi a partire dal piano di campagna. Le resistività sono suddivise in intervalli che evidenziano che la maggior parte di esse nella zona esaminata sono comprese tra la 20  $\Omega$ m e 750  $\Omega$ m. Valori superiori si osservano puntualmente nell'area di indagata dove possono essere presenti massi arginali e depositi aerati. Tali valori si riscontrano fin verso i 2 ÷ 3 m di profondità (cfr. allegato 4). Un'anomalia di alta resistività in una zona ristretta si riscontra in direzione SE-NO a partire dai 3 m di profondità con approfondimento verso NO.

Nell'allegato 4, in cui si riportano le sezioni sul piano XY a intervalli di profondità di 1 m, nella zona delle fondazioni della spalla i valori risultano generalmente compresi tra 50  $\Omega$ m a 750  $\Omega$ m, per poi calare all'aumentare della profondità verso i valori inferiori citati alla massima profondità indagata. Non si osservano zone omogenee di resistività al di sotto della spalla.

I valori di resistività ottenuti risultano mediamente più elevati rispetto a quelli della tomografia T1-3D.

## 2b. HVSR

La misura HVSR si basa sulle rilevazioni del campo di vibrazioni ambientali indicato generalmente come "rumore", generato da varie sorgenti naturali o artificiali (onde del mare, perturbazioni meteorologiche, microsismi, traffico veicolare, etc.). Il metodo proposto da Nakamura nel 1989 presuppone la registrazione delle tre componenti ortogonali del moto tramite una terna di geofoni collegati ad un sismografo e la costruzione di una curva rappresentativa dei rapporti spettrali tra la media delle componenti orizzontali e la componente verticale (H/V). Questo rapporto permette di valutare la presenza di fenomeni di risonanza del terreno di fondazione in condizioni sismiche e fornisce un'indicazione di massima dell'entità del contrasto di impedenza presente in profondità.

Le sette misure HVSR, effettuate con il sismografo PASI GEA24 a 24 bit e il geofono triassiale calibrato Geospace Technologies GS-ONE LF3C, hanno avuto una durata variabile tra 20 minuti e 30 minuti e sono state processate con il software WinMASW della Eliosoft. Una è stata realizzata presso il ponte sul T. Leale, le altre 6 presso il ponte dell'Armistizio sul T. Arzino. Il posizionamento di ognuna è osservabile nella figura 3.



Figura 3 - Posizionamento delle indagini geofisiche di sismica passiva HVSR. Ponte sul T. Leale (a sinistra), ponte dell'Armistizio sul T. Arzino (a destra).

HVSR1: negli allegati 5 e 8 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 0.85Hz circa con rapporto H/V di circa 2.9. Il segnale risulta direttivo e la persistenza è rispettata, mentre non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME. Il risultato è stato ritenuto significativo e il risultato dell'elaborazione è stato accettato e il picco è stato usato per la modellazione congiunta con la MASW1.

Sulla curva HVSR è inoltre presente un ulteriore picco a 2.28 Hz circa con rapporto H/V di circa 3.7. Il segnale non risulta direttivo e la persistenza è rispettata. Sono rispettati inoltre il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME. Il risultato è stato ritenuto significativo e accettato per la modellazione congiunta con la MASW1.

HVSR1bis: negli allegati 6 e 9 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 9.35 Hz circa con rapporto H/V di circa 5.9. Il segnale non risulta direttivo e la persistenza è rispettata. Non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME. Il risultato è stato ritenuto significativo e accettato per la modellazione congiunta con la MASW2.

HVSR2: nell'allegato 10 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 13.1 Hz con rapporto H/V di circa 2.5. Il segnale non risulta direttivo e la persistenza è rispettata, mentre non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME.

Sulla curva HVSR sono inoltre presenti delle ondulazioni prossime al rapporto H/V pari a 2, due delle quali (a 1.5 Hz e a 2.2 Hz circa) a carattere di disturbo antropico la terza a circa 4 Hz senza le caratteristiche di un picco chiaro.

HVSR3: nell'allegato 11 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 9.85 Hz con rapporto H/V di circa 2.8. Il segnale risulta direttivo e la persistenza è rispettata, mentre non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME.

Sulla curva HVSR sono inoltre presenti delle ondulazioni a carattere di disturbo antropico.

HVSR4: nell'allegato 12 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 9.57 Hz con rapporto H/V di circa 4.2. Il segnale non risulta direttivo e la persistenza è rispettata, e non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME.

Sulla curva HVSR sono inoltre presenti delle ondulazioni prossime al rapporto H/V pari a 2, due delle quali (a 1.5 Hz e a 3.5 Hz circa) a carattere di disturbo antropico.

HVSR5: nell'allegato 13 si osserva l'elaborazione della misura e si nota il picco di frequenza fondamentale a 11.75 Hz con rapporto H/V di circa 3.3. Il segnale risulta direttivo e la persistenza è rispettata, e sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME.

Sulla curva HVSR sono inoltre presenti delle ondulazioni a carattere di disturbo antropico, in particolare a 3.5 Hz e 9 Hz.

HVSR6: negli allegati 7 e 14 si osserva l'elaborazione della misura ed in essa non si nota un picco di frequenza significativo ma solo delle ondulazioni in particolare a 5.5 Hz e 18 Hz circa, entrambe con rapporto H/V inferiore a 2. Il segnale risulta direttivo e non sono rispettati il minimo di 5 criteri su 6 previsti dal progetto SESAME. Il risultato dell'elaborazione è stato utilizzato per la modellazione congiunta con la MASW3. Sulla curva HVSR sono inoltre presenti delle ondulazioni a carattere di disturbo antropico, in particolare a 1.5 Hz e a 50 Hz.

## 2c. MASW

Il D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" ha disposto la classificazione dei terreni sede di fondazione di opere strutturali per definire l'azione sismica cui esse saranno sottoposte al momento del verificarsi del fenomeno tellurico. La classificazione semplificata suddivide i suoli in varie categorie basandosi sulla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s, al di sotto del piano di posa della struttura secondo la seguente formula:

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

Per depositi con profondità H del substrato sismico superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Negli allegati 5, 6 e 7 si possono osservare i sismogrammi delle MASW realizzate, generati dalla registrazione di 12 canali per le onde di Rayleigh e di Love, le curve di dispersione ottenute e il modello  $V_s$ /profondità corrispondente. L'acquisizione è avvenuta mediante il sismografo PASI GEA24 a 24 bit, con geofoni orizzontali a 4,5 Hz, in assetto trasversale e radiale, spaziati di 4 m e offset di 10 m per la MASW1, offset di 6 m e spaziatura di 4 m per la MASW2, e spaziatura intergeofonica di 3 m e 7 m di offset per la MASW3. Come sorgente sismica è stata utilizzata una massa battente. Il processing dei dati acquisiti è stato eseguito con il software WinMASW della Eliosoft. Negli allegati si possono inoltre osservare la corografia di posizionamento e le fotografie di attestazione dell'esecuzione delle indagini.

MASW1: l'interpretazione congiunta tra la MASW1 e l'HVSR1 (cfr. Allegato 5) ha permesso di ottenere il profilo di velocità richiesto dalla normativa vigente per la zona del ponte sul T. Leale. La tabella 1 riporta le profondità, gli spessori e le velocità  $V_s$  delle onde di taglio per la ricostruzione a 12 sismostrati rilevata dal modello individuato.

Strato	Profondità (m)	Spessore h (m)	Velocità $V_s$ (m/s)
1	0.1	0.1	100
2	0.6	0.5	130
3	1.6	1.0	170
4	4	2.4	200
5	5.5	1.5	140
6	6.8	1.3	200
7	8	1.2	140
8	16.8	8.8	210
9	22.3	5.5	290
10	80.3	58.0	610
11	250.3	170.0	820
12	/	/	1750

Tabella 1 – Valori di velocità  $V_s$  per la sismostratigrafia della MASW1 a 12 strati.

MASW2: l'interpretazione congiunta tra la MASW2 e l'HVSR1bis (cfr. Allegato 6) ha permesso di ottenere il profilo di velocità di normativa per la zona della spalla in sinistra idrografica del ponte dell'Armistizio. La tabella 2 riporta le profondità, gli spessori e le velocità  $V_s$  delle onde di taglio per la ricostruzione a 10 sismostrati rilevata dal modello individuato.

Strato	Profondità (m)	Spessore h (m)	Velocità $V_s$ (m/s)
1	0.5	0.5	80
2	1.7	1.2	150
3	3.6	1.9	230
4	5.1	1.5	290
5	6.1	1.0	350
6	7.6	1.5	480
7	9.1	1.5	400
8	10.1	1.0	760
9	80.1	70.0	985
10	/	/	1400

Tabella 2 – Valori di velocità  $V_s$  per la sismostratigrafia della MASW2 a 10 strati.

MASW3: l'interpretazione congiunta tra la MASW3 e l'HVSR6 (cfr. Allegato 7) ha permesso di ottenere il profilo di velocità di normativa per la zona della spalla posta in destra idrografica del ponte dell'Armistizio.

La tabella 3 riporta le profondità, gli spessori e le velocità  $V_s$  delle onde di taglio per la ricostruzione a 10 sismostrati rilevata dal modello individuato.

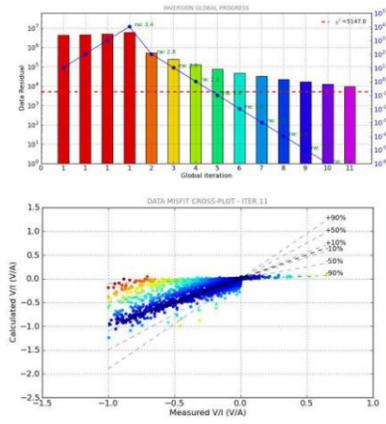
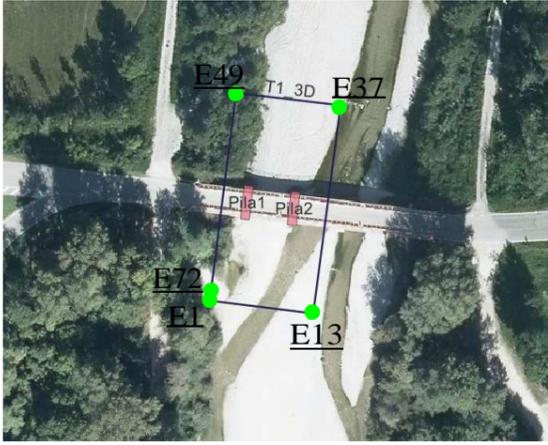
Strato	Profondità (m)	Spessore h (m)	Velocità $V_s$ (m/s)
1	0.2	0.2	141
2	0.6	0.4	207
3	1.9	1.3	233
4	2.8	0.9	295
5	5.0	2.2	360
6	8.7	3.7	400
7	15.2	6.5	345
8	70.2	55.0	710
9	180.2	110.0	965
10	/	/	1200

Tabella 3 – Valori di velocità  $V_s$  per la sismostratigrafia della MASW3 a 10 strati.

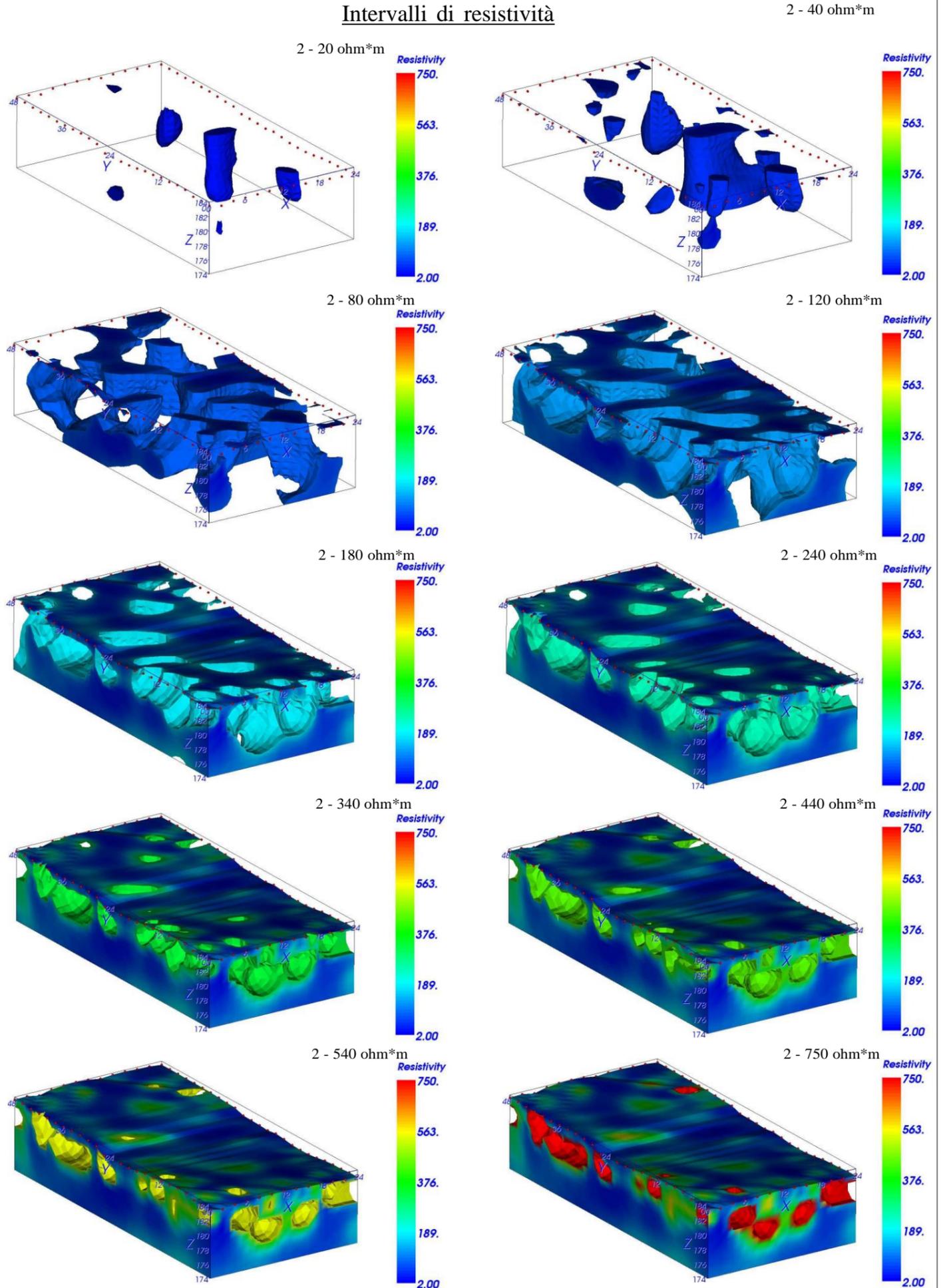
Sulla base del profilo di velocità individuato sarà possibile determinare i parametri dell'azione sismica rigorosa o semplificata una volta note le profondità di imposta delle fondazioni.

Posizione elettrodi attorno alle pile n.1 e n.2

● elettrodo



Intervalli di resistività



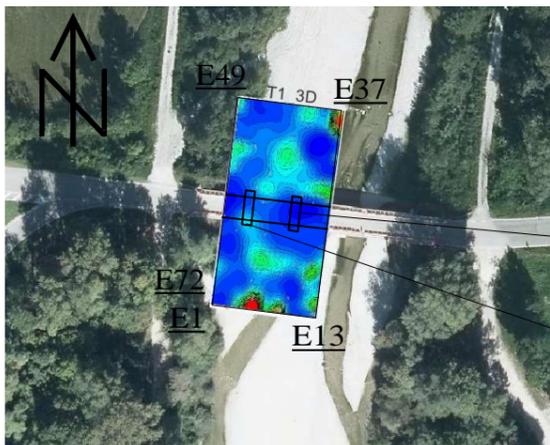
Allegato 1

Acquisizione: Dipolo - Dipolo  
 Linea N°: T1-3D  
 Intervallo stazioni: 2 m

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
 Committente: Ente di Decentramento di Udine  
 Località: Trasaghis (UD), ponte sul T. Leale  
 Data: 14 febbraio 2024  
 Area di indagine: 48 m x 24 m

N° di elettrodi: 72

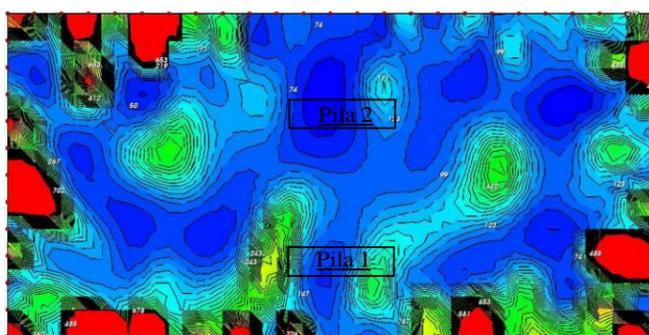
Sezione tomografica piano XY a quota 178 m sovrapposta alle pile n.1 e n.2



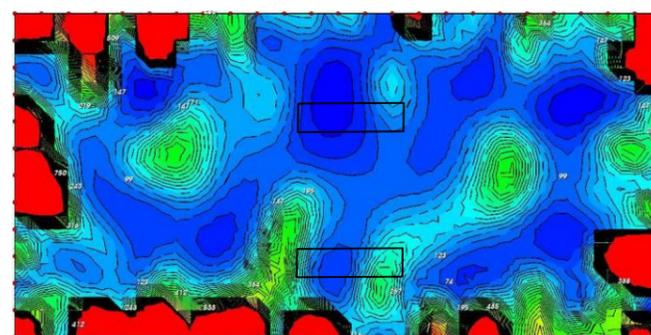
Intervalli di resistività piani XY a varie quote e impronta delle pile



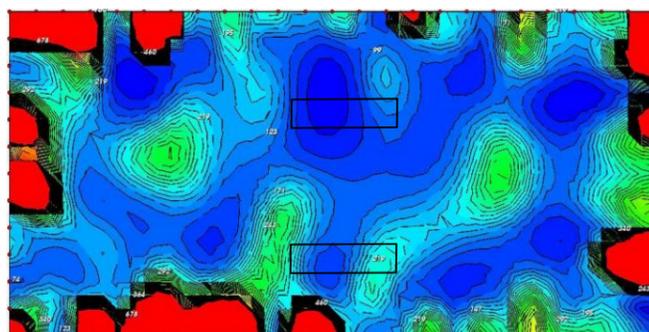
Quota 182.5 m (piano campagna)



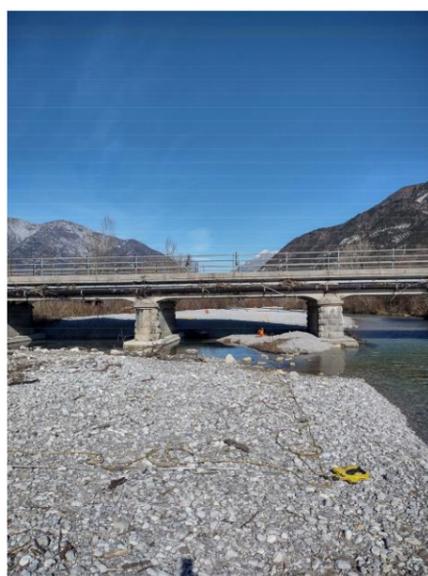
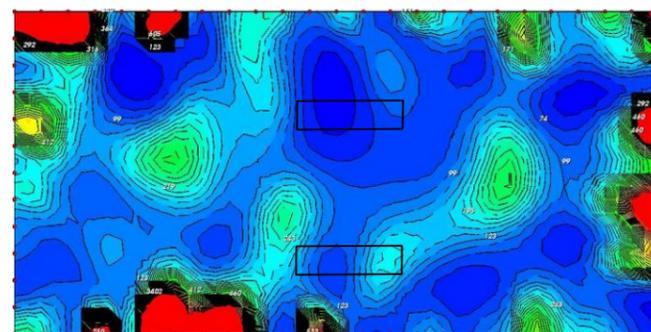
Quota 181.5 m



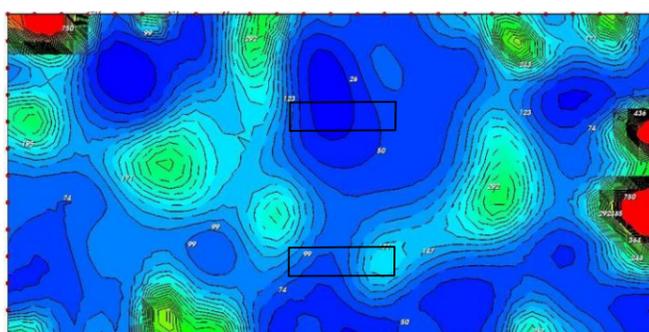
Quota 180.5 m



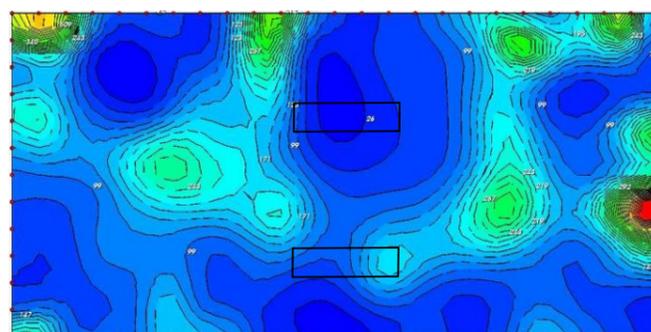
Quota 179.5 m



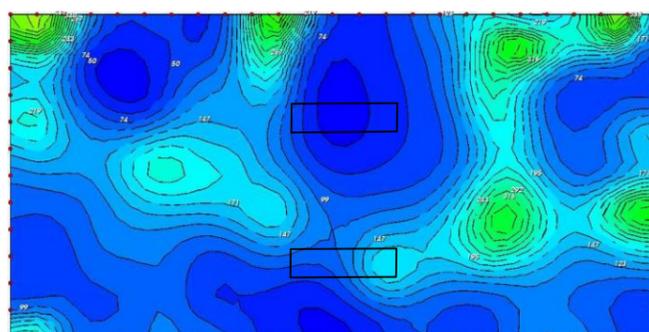
Quota 178.5 m



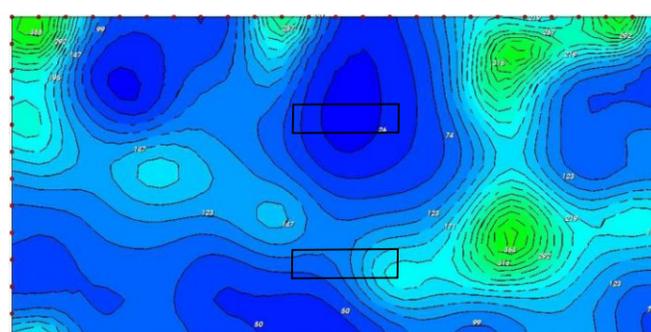
Quota 177.5 m



Quota 176.5 m



Quota 175.5 m



**Allegato 2**

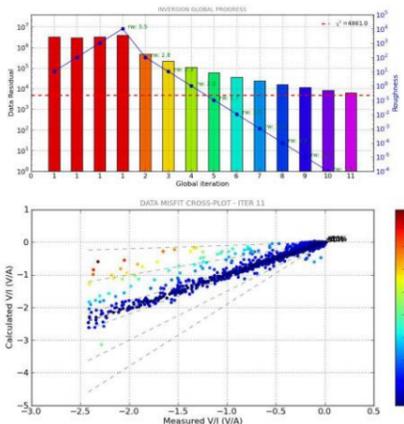
Acquisizione: Dipolo - Dipolo  
Linea N°: T1-3D  
Intervallo stazioni: 2 m

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
Committente: Ente di Decentramento di Udine  
Località: Trasaghis (UD), ponte sul T. Leale  
Data: 14 febbraio 2024  
Area di indagine: 48 m x 24 m

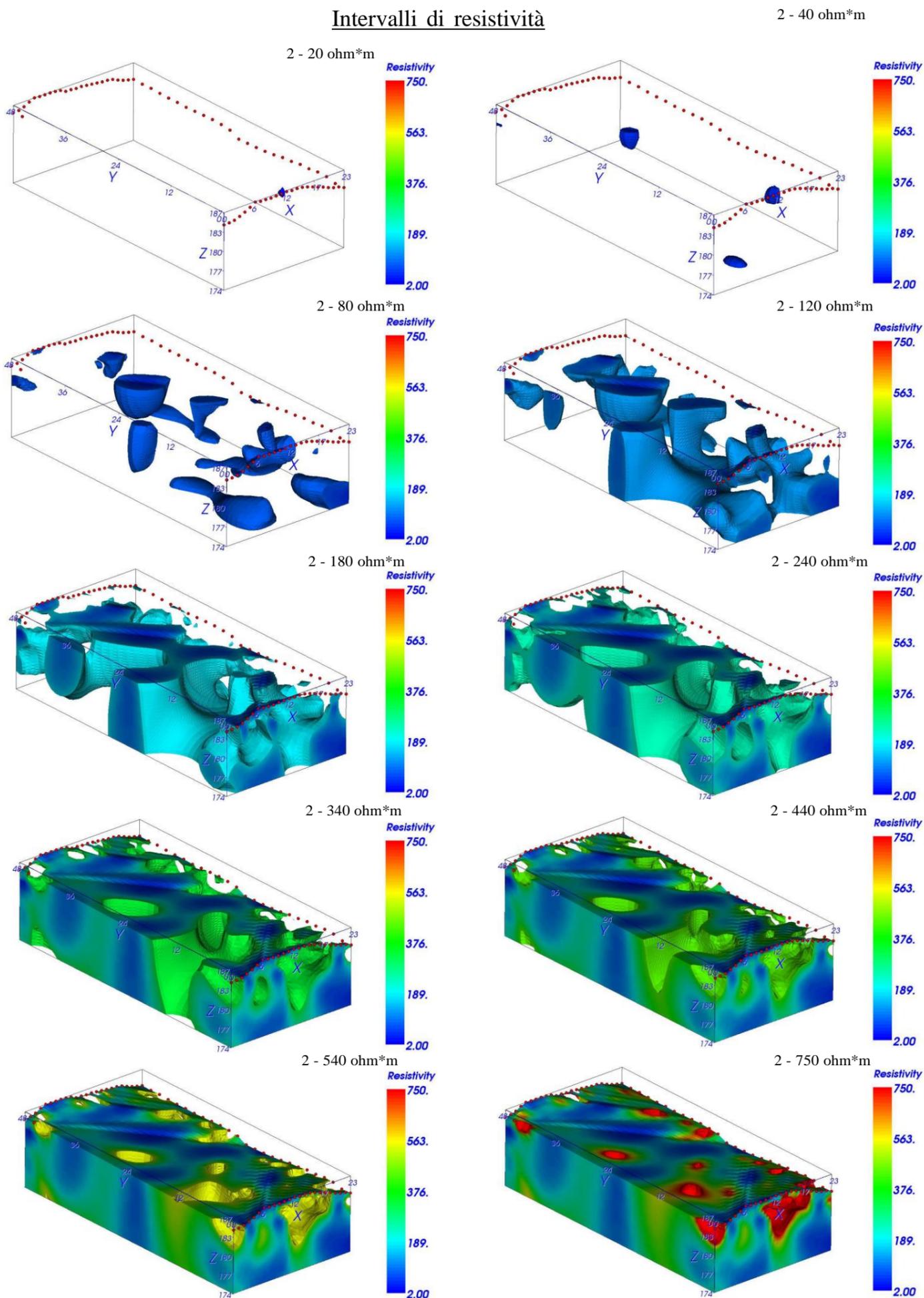
N° di elettrodi: 72

## Posizione elettrodi attorno alla spalla n. 1

● elettrodo



### Intervalli di resistività



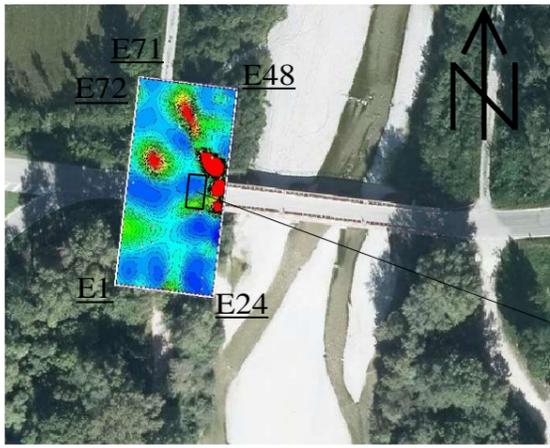
### Allegato 3

Acquisizione: Dipolo - Dipolo  
 Linea N°: T2-3D  
 Intervallo stazioni: 1-2 m

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
 Committente: Ente di Decentramento di Udine  
 Località: Trasaghis (UD), ponte sul T. Leale  
 Data: 14 febbraio 2024  
 Area di indagine: 48 m x 23 m

N° di elettrodi: 72

Sezione tomografica piano XY a quota 178 m sovrapposta alla spalla n.1

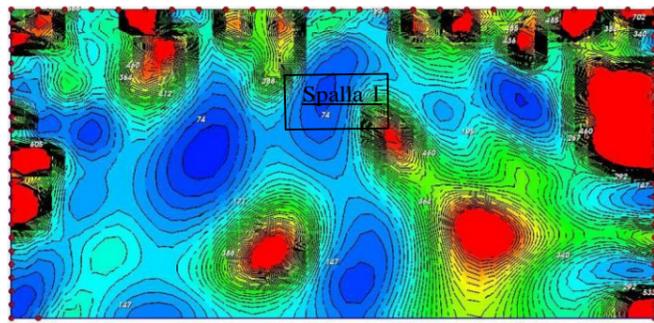


Spalla 1

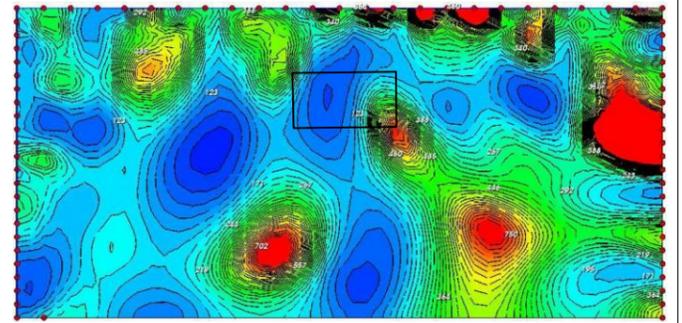
Intervalli di resistività piani XY a varie quote e impronta della spalla



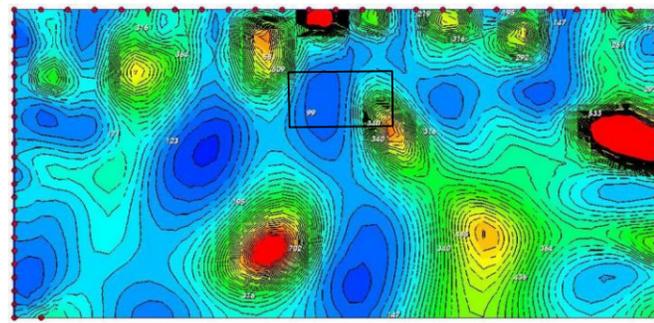
Quota 182.5 m (piano campagna)



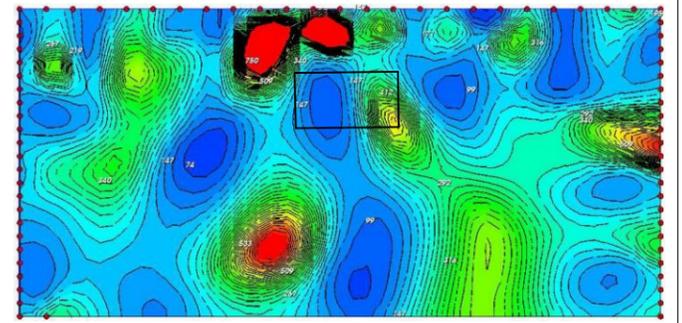
Quota 181.5 m



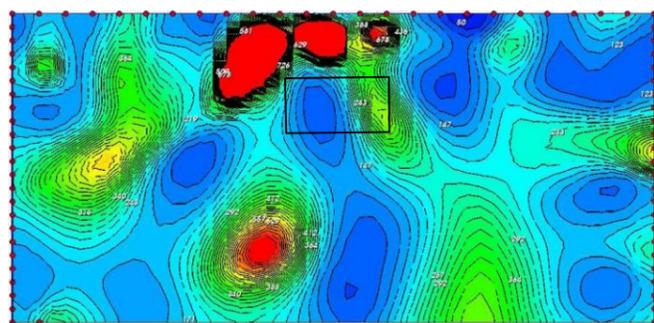
Quota 180.5 m



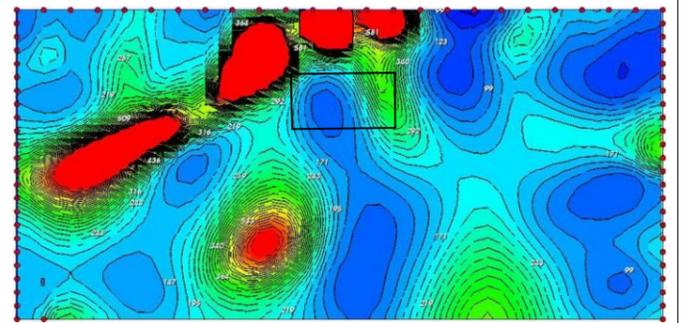
Quota 179.5 m



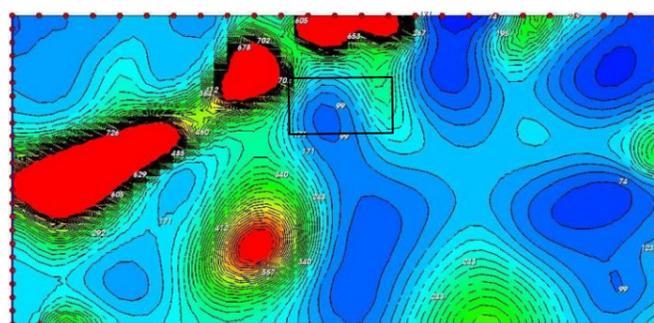
Quota 178.5 m



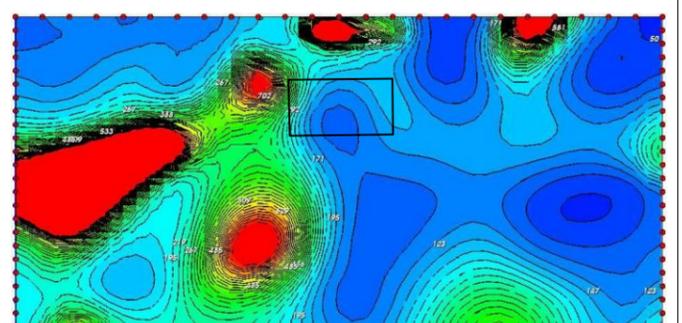
Quota 177.5 m



Quota 176.5 m



Quota 175.5 m



Allegato 4

Acquisizione: Dipolo - Dipolo  
Linea N°: T2-3D  
Intervallo stazioni: 2 m

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340

Committente: Ente di Decentramento di Udine

Località: Trasaghis (UD), ponte sul T. Leale

Data: 14 febbraio 2024

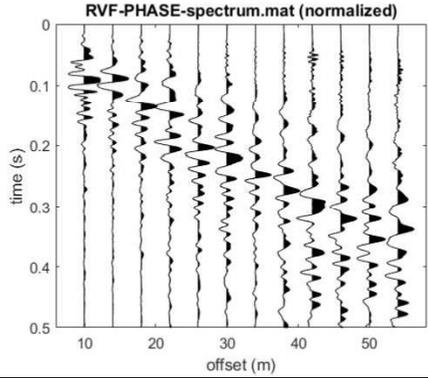
Area di indagine: 48 m x 23 m

N° di elettrodi: 72

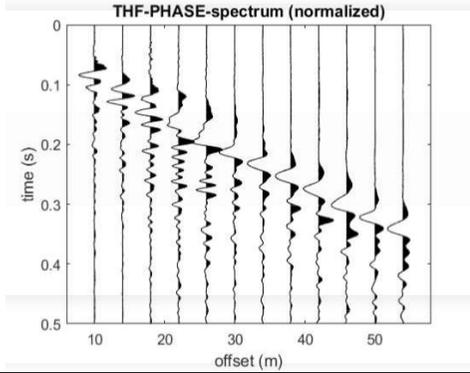
# MASW1



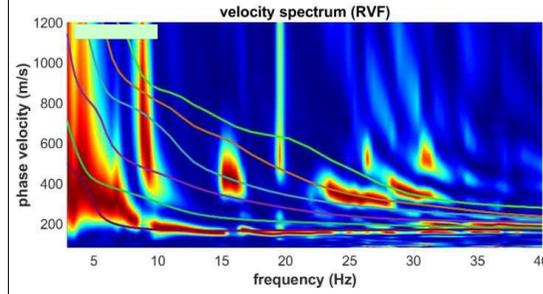
Onde di Rayleigh



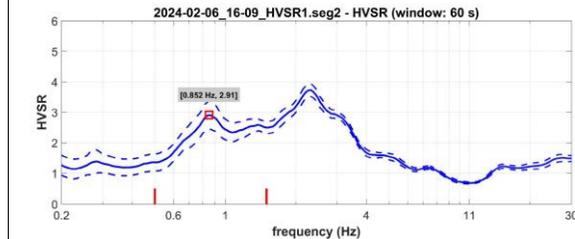
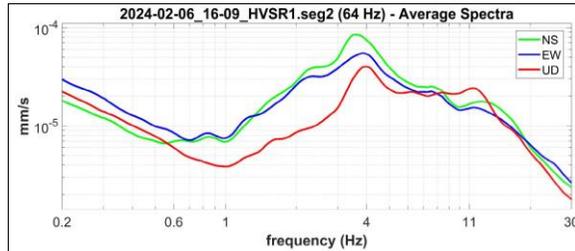
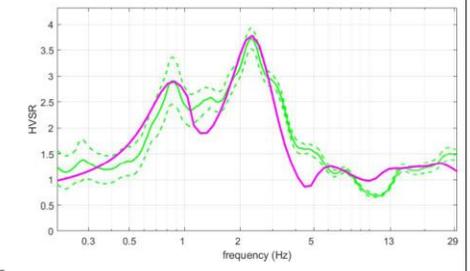
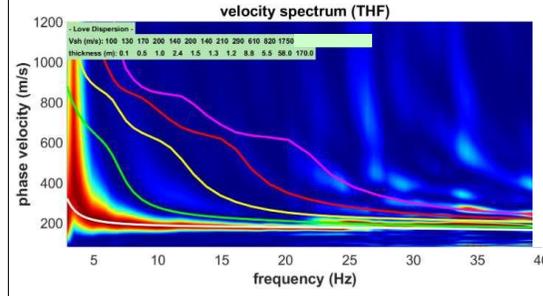
Onde di Love



# Modellazione congiunta MASW1 - HVSR1

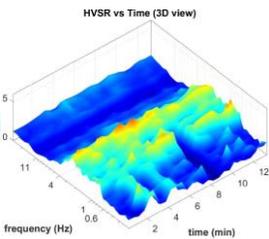
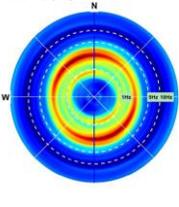
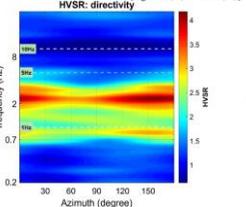


layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	100	0.1000	0.1000
2	130	0.5000	0.6000
3	170	1	1.6000
4	200	2.4000	4
5	140	1.5000	5.5000
6	200	1.3000	6.8000
7	140	1.2000	8
8	210	8.8000	16.8000
9	290	5.5000	22.3000
10	610	58	80.3000
11	820	170	250.30
12	1750	0	0

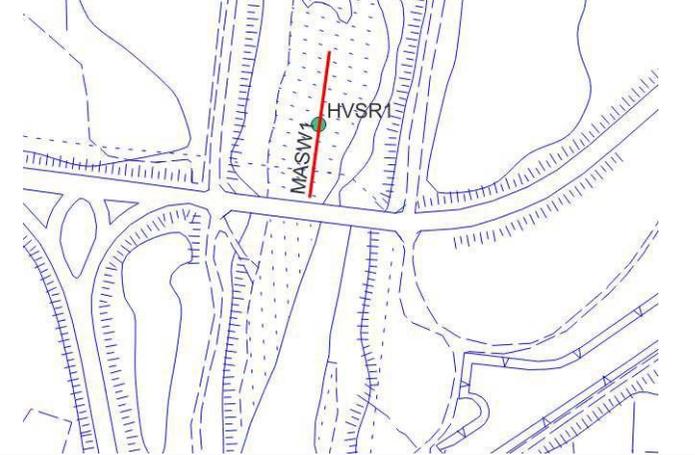


## HVSR1

Dataset: 2024-02-06\_16-09\_HVSR1.seg2  
 Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 60  
 HVSR computation: quadratic mean  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.16667Hz  
 Length of analysed dataset (min): 14.8  
 Tapering (%): 5  
 Smoothing (%): 15  
 ##### SESAME criteria #####  
 In the following the results considering the data in the 0.5-1.5Hz frequency range  
 Peak HVSR value: 2.9 (±0.2)  
 == Criteria for a reliable H/V curve ==  
 #1. [f0 > 10(Lw)]: 0.852 > 0.16667 (OK)  
 #2. [inc > 200]: 1380 > 200 (OK)  
 #3. [f0-0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)  
 == Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ==  
 #1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AHV(f-) < A0/2]: yes, at frequency 0.2Hz (OK)  
 #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AHV(f+) < A0/2]: (NO)  
 #3. [A0 > 2]: 2.9 > 2 (OK)  
 #4. [fpeak[Ah/v(f) = sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)  
 #5. [sigmaA < epsilon(f0)]: 0.232 > 0.128 (NO)  
 #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.552 < 2 (OK)



## POSIZIONAMENTO



## Allegato 5

## MASW1 e HVSR1

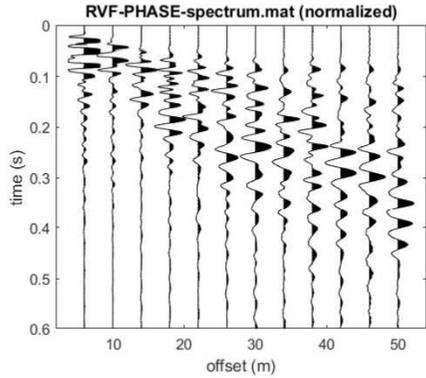
Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
 Committente: Ente di Decentramento di Udine  
 Località: Trasaghis (UD), ponte sul T. Leale  
 Data: 6 febbraio 2024

Geofoni: 4,5 Hz

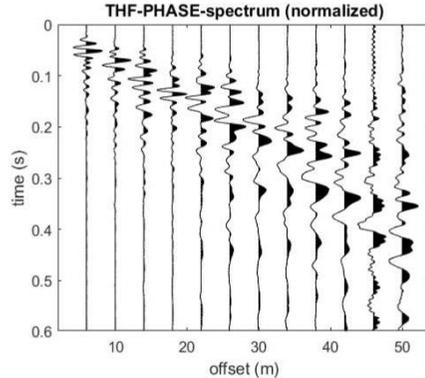
# MASW2



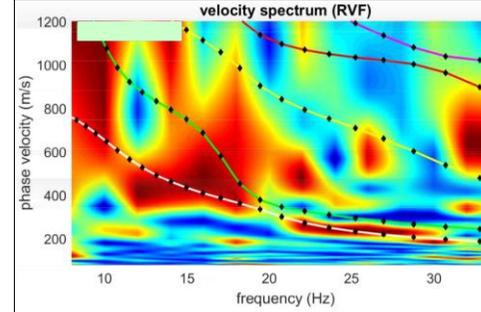
Onde di Rayleigh



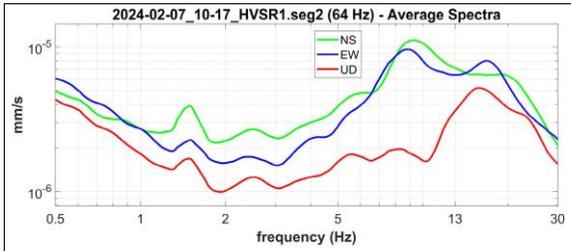
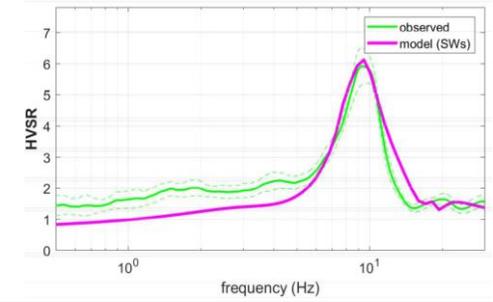
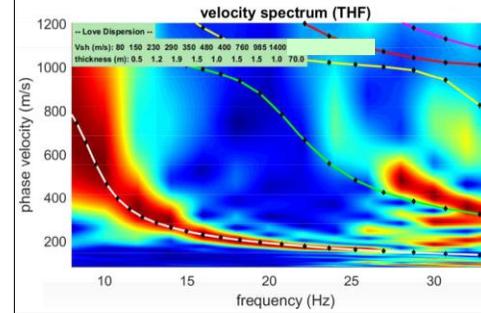
Onde di Love



# Modellazione congiunta MASW2 - HVSR1bis

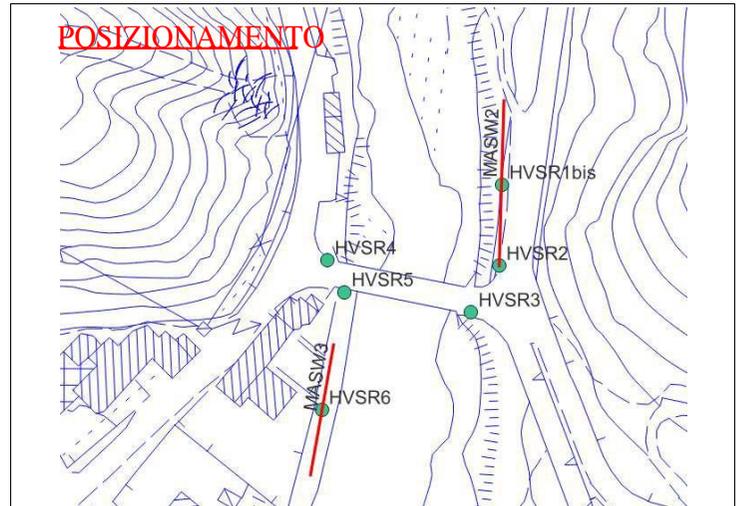
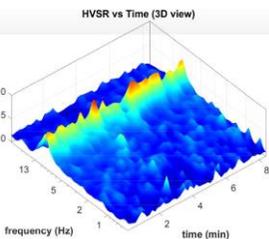
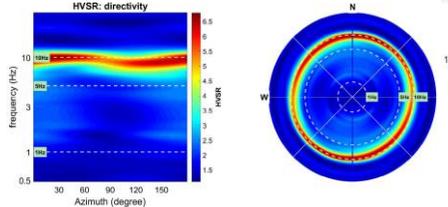
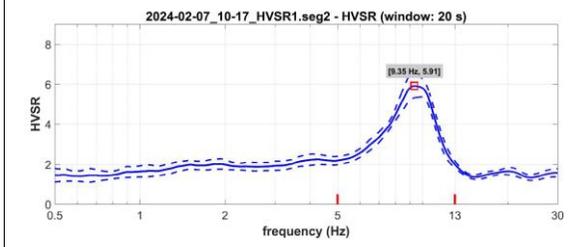


layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	80	0.5000	0.5000
2	150	1.2000	1.7000
3	230	1.9000	3.6000
4	290	1.5000	5.1000
5	350	1	6.1000
6	480	1.5000	7.6000
7	400	1.5000	9.1000
8	760	1	10.1000
9	985	70	80.1000
10	1400	0	0



## HVSR1bis

Dataset: 2024-02-07\_10-17\_HVSR1.seg2  
 Sampling frequency (Hz): 64  
 Window length (sec): 20  
 HVSR computation: quadratic mean  
 Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz  
 Length of analysed dataset (min): 8.8  
 Tapering (%): 15  
 Smoothing (%): 15  
 ##### SESAME criteria #####  
 In the following the results considering the data in the 5.0-13.0Hz frequency range  
 Peak frequency (Hz): 9.3 (±0.6)  
 Peak HVSR value: 5.9 (±0.6)  
 == Criteria for a reliable HV curve ==  
 #1. [f0 > 10\*Lf]: 9.348 > 0.5 (OK)  
 #2. [nc > 200]: 9535 > 200 (OK)  
 #3. [f0<0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)  
 == Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ==  
 #1. [exists F- in the range [f0/4, f0] | AH/V(F-) < A0/2]: yes, at frequency 2.3Hz (OK)  
 #2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 12.4Hz (OK)  
 #3. [A0 > 2]: 5.9 > 2 (OK)  
 #4. [peak|Ah/v(f) = sigmaA(f) = f0 ± 5%]: (NO)  
 #5. [sigma1 < epsilon(f0)]: 0.571 > 0.467 (NO)  
 #6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.492 < 1.58 (OK)



**Allegato 6**

**MASW2 e HVSR1bis**

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
 Committente: Ente di Decentramento di Udine  
 Località: Forgaria nel Friuli (UD), ponte dell'Armistizio  
 Data: 5 marzo 2024

Geofoni: 4,5 Hz

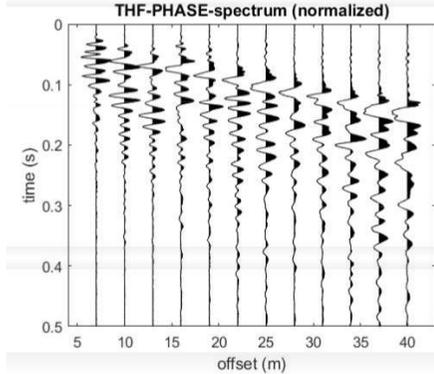
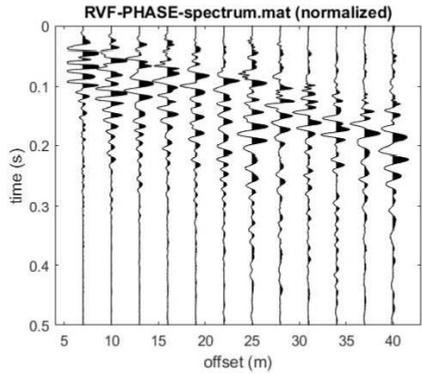
## MASW3



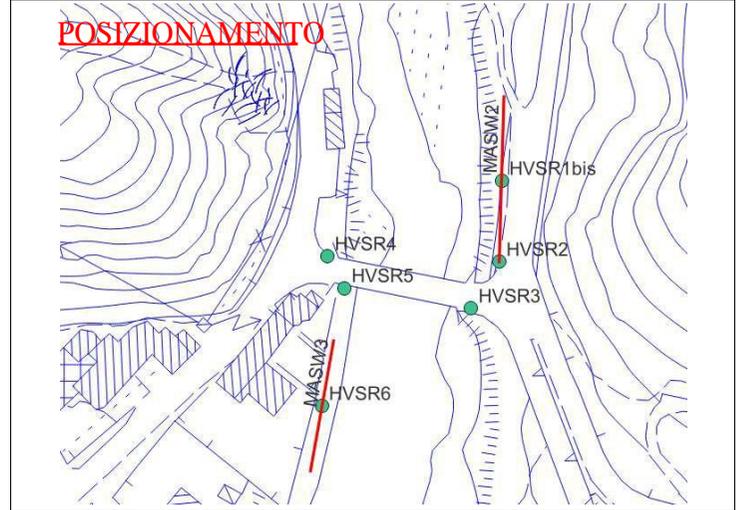
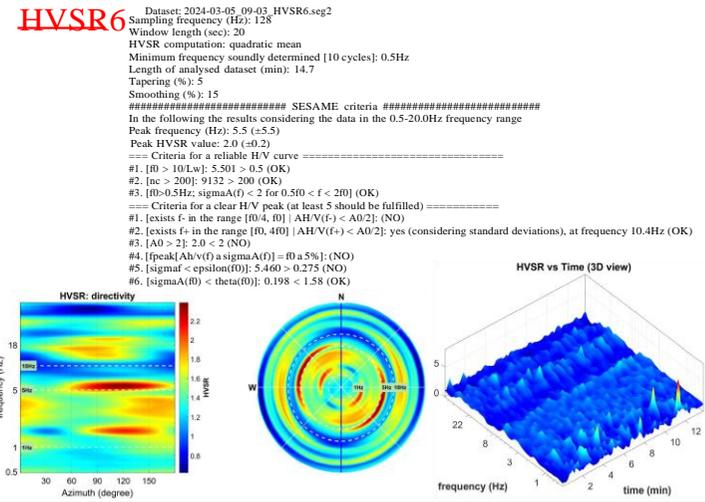
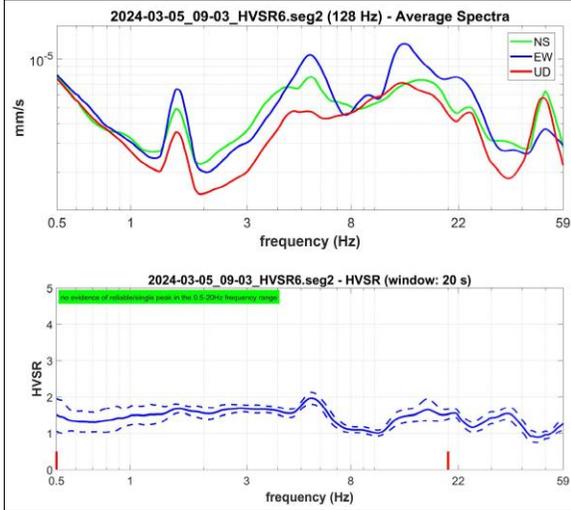
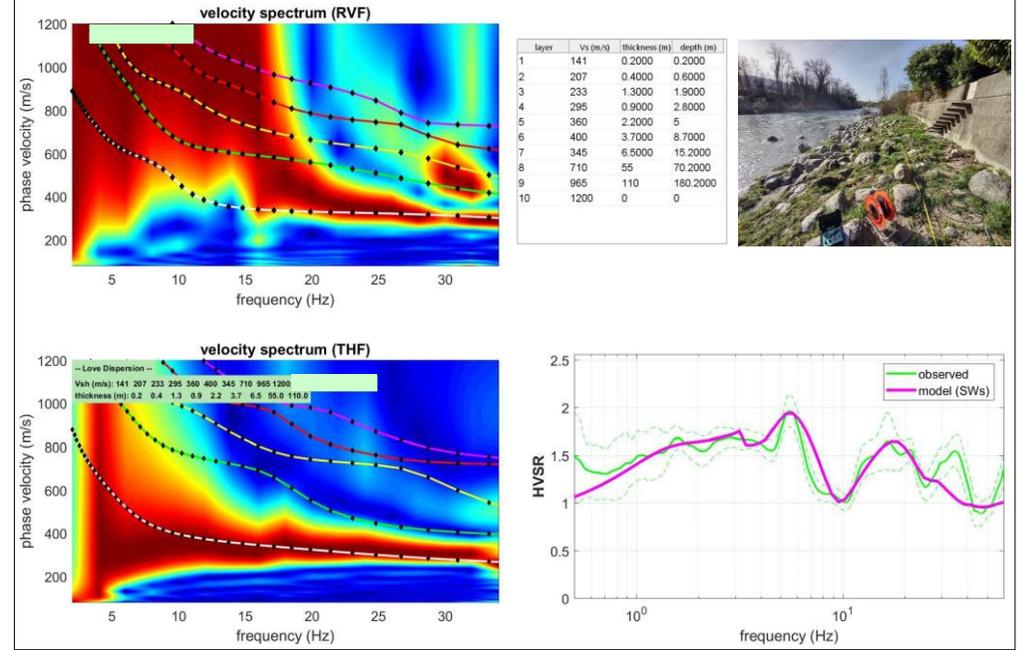
Onde di Rayleigh



Onde di Love



## Modellazione congiunta MASW3 - HVSR6



**Allegato 7**

**MASW3 e HVSR6**

Progetto: Intervento PNRR03\_EDRUD - Segnalazione: 5340  
 Committente: Ente di Decentramento di Udine  
 Località: Forgaria nel Friuli (UD), ponte dell'Armistizio  
 Data: 5 marzo 2024

Geofoni: 4,5 Hz

# ALLEGATO 8

## HVSR1

### Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio from passive seismics

Date: 6 2 2024  
Time: 16 09

Dataset: 2024-02-06\_16-09\_HVSR1.seg2

Original record length (min): 30.0  
Sampling frequency (Hz): 64  
Window length (sec): 60  
Length of analysed temporal sequence (min): 14.8  
Tapering (%): 5  
Smoothing: 15 %



In the following the results considering the data in the 0.5-1.5Hz frequency range

Class Peak frequency (Hz): 0.9 ( $\pm 0.2$ )

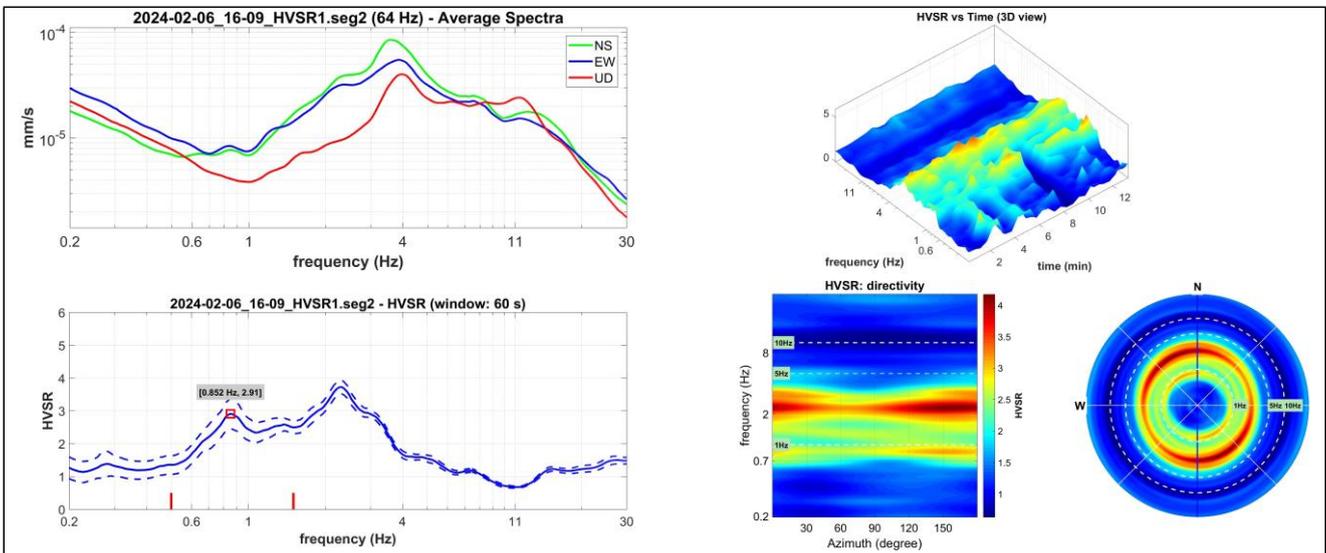
Peak HVSR value: 2.9 ( $\pm 0.5$ )

==== SESAME criteria reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $0.852 > 0.16667$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $1380 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

==== SESAME Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.2Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: (NO)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.9 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (NO)
- #5. [ $\sigma_{\text{maf}} < \epsilon_{\text{ps}}(f_0)$ ]:  $0.232 > 0.128$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.552 < 2$  (OK)









COMMITTENTE EDR UD

CANTIERE S.R.41 "FORGARIA" - PONTE TORRENTE LEALE - TRASAGHIS (UD)

PERFORAZIONE N. S2 DATA INIZIO 29/02/2024

ULTIMAZIONE 01/03/2024

COORDINATE: Nord

Est

QUOTA P.C. =

RESPONSABILE dott. geol. De Giusto A. OPERATORE sig. Jugovac Z.

ATTREZZATURA Puntel PX 1000

Da m	A m	Profondità Finale m	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	PROFONDITA' m da p.c.	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	CAMPIONI		POCKET PENETROMETER Kg/cm <sup>2</sup>	TORVANE Kg/cm <sup>2</sup>	S.P.T.	
						TIPO	NUMERO			PROFONDITA' m da p.c.	N
			Limno sabbioso argilloso grigio con livelli centimetrici di torba.	21.10				2.50 2.00 1.50	0.66 0.64 0.48	15* 21 26	21.00 21.15 21.30
			Ghiaia poligenica medio-fina arrotondata limoso sabbiosa da nocciola a griglia.	22.00							
			Sabbia fina limosa griglia.	22.50							
			Limno argilloso da grigio scuro a grigio.	22.80				2.00	0.84		
			Sabbia medio-fina debolmente limosa griglia con livelli centimetrici ghiaiosi.	25.30						22* 33 35	24.00 24.15 24.30 24.45
			Limno argilloso debolmente sabbioso grigio con livelli centimetrici di torba.	26.70				2.25 2.50 2.75 4.00	1.16 1.18 0.20 0.38	24* 29 37	27.00 27.15 27.30 27.45
			Ghiaia poligenica da fina a grossa arrotondata limoso sabbiosa nocciola.								
			Fine sondaggio a 30.00 m.	30.00							

- CAMPIONE RIMANEGGIATO
- CAMPIONE RIMANEGGIATO DA S.P.T.
- CAMPIONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST
- SPEZZIONE DI CAROTA
- CAMPIONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI
- CAMPIONE INDISTURBATO A PISTONE
- CAMPIONE INDISTURBATO ROTATIVO

PROVE IN FORO

MANOVRA DI CAROTAGGIO	T.C.R. %	S.C.R. %	R.Q.D. %	DIMENSIONE SPEZZIONI			PROVE		STRUMENTAZIONE	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZO DI PERFORAZIONE	RIVESTIMENTO	DATA
				< 5 cm	5-10 cm	> 10 cm	TIPO	NUMERO					
										CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO	CAROTIERE SEMPLICE ø 101 MM	ø 127 MM	29/02/2024
													01/03/2024
										30.00	30.00		25.50
										30.00			30.00

RILIEVO H<sub>2</sub>O DURANTE LA PERFORAZIONE

PROF. FORO	PROF. RIVEST.	SERA	MATTINA
		GG	GG
		H	H

NOTE

- \* SPT eseguito a punta chiusa  
- materiale raccolto in N° 6 cassette catalogatrici