



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana Comune di Subbiano



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Toscana	 GEOLOGIA TECNICA E AMBIENTALE	Luglio 2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
1.1 Premessa	2
1.2 Descrizione generale delle aree di indagine	3
1.3 Elenco elaborati	4
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	5
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	7
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	8
5. MODELLO GEOLOGICO E SISMICO DEL SOTTOSUOLO	10
6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	13
7. ELABORATI CARTOGRAFICI PROPEDEUTICI AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE ...	14
7.1 Carta delle indagini	14
7.2 Carta delle frequenze fondamentali dei terreni	14
7.3 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	14
7.4 Sezioni geologico-tecniche	16
8. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1	17
8.1 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	17
9. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2	20
9.1 Carta di microzonazione sismica di livello 2	22
10. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3	24
10.1 Carta di microzonazione sismica di livello 3	27
10.2 Indicazioni della MS3 per la gestione della fase progettuale	27
11. ANALISI DEI RISULTATI DEGLI STUDI DI MS1-2-3	32
11.1 Capoluogo e Castelnuovo	32
11.2 Santa Mama	38
11.3 Calbenzano	39
11.4 Fondovalle Torrente Chiassa	39
11.5 Falciano	40
11.6 Vogognano	41
11.7 Giuliano-Belvedere-Barbagliena	40
11.8 Poggio d'Acona	41
11.9 Frazioni minori	41
ALLEGATO	43

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente studio è realizzato su incarico del Comune di Subbiano nell'ambito del programma regionale di prevenzione del rischio sismico, finalizzato agli studi di microzonazione sismica di livello 2 e livello 3 per le principali aree urbane e periurbane presenti nel territorio comunale.

L'approfondimento di livello 2 è stato svolto congiuntamente all'analogo studio per il Comune di Capolona, nel quadro della predisposizione del nuovo Piano Strutturale Intercomunale Capolona-Subbiano ed in ottemperanza alle richieste del DPGR 5R/2020. Entrambi i comuni erano già dotati di studi di primo livello di accurata realizzazione, che hanno quindi costituito valida base per la definizione dell'approfondimento.

Successivamente, attraverso finanziamento regionale, entrambe le amministrazioni hanno voluto estendere gli studi sismici fino al livello 3, concentrando le indagini su alcune aree di particolare interesse o di particolare rilevanza in chiave sismica.

Per il comune di Subbiano, lo studio MS2 e MS3 ha interessato tutta l'area del fondovalle dell'Arno, con estensione maggiore rispetto a quella oggetto di MS1 (che si era limitata alle aree urbane), e le principali frazioni. D'accordo con la struttura regionale competente e con l'amministrazione si è scelto invece di mantenere lo studio di primo livello per le frazioni minori, limitandosi ad operarne una revisione.

Lo studio è stato condotto secondo gli *"Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica"* (ICMS 2008), adottando le specifiche tecniche della Regione Toscana (*"Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza"*, aggiornamento 2018) ed in conformità con gli *"Standard per l'informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica"* (vers.4.2) emanati dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica istituita con l'OPCM 3907/2010.

Il lavoro è stato articolato in una prima fase di verifica delle indagini esistenti, degli studi pregressi e dei dati bibliografici disponibili ed in una seconda fase nella quale è stata eseguita una specifica campagna di approfondimento con l'esecuzione di nuove indagini sismiche.

Sulla base di quanto sopra sono state aggiornate sia la *"Carta delle indagini"*, contenente quindi sia l'ubicazione delle indagini pregresse realizzate per il livello 1 che di quelle realizzate nell'ambito dello studio presente, che la *"Carta delle frequenze fondamentali dei terreni"*.

Il confronto dei risultati delle nuove indagini con quelli delle indagini pregresse e la documentazione raccolta ha permesso l'esecuzione dello studio di livello 2 e 3: in particolare è stata

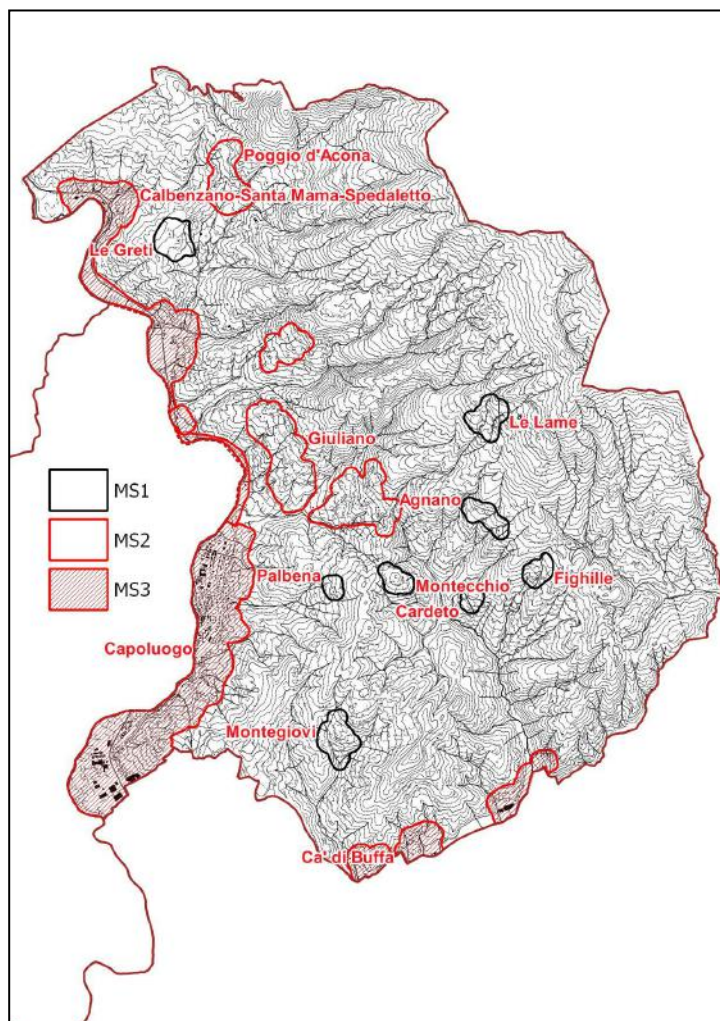
aggiornato il modello sismostratigrafico alla base della “Carta geologico-tecnica” e della “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)”, con conseguenti modifiche alle relative tavole, e quindi redatta la “**Carta di microzonazione sismica di livello 2**”, e la **Carta di microzonazione sismica di livello 3**”.

Questi ultimi due elaborati forniscono, ciascuno attraverso specifiche procedure definite dagli enti preposti (Regione Toscana, Dipartimento Nazionale di Protezione Civile), la rappresentazione dei risultati ottenuti in termini di quantificazione numerica degli effetti di amplificazione del moto sismico nelle zone oggetto di indagine.

1.2 Descrizione generale delle aree di indagine

La scelta dei siti da sottoporre a microzonazione sismica di livello 2 e 3, concordata con l’amministrazione comunale e con l’ufficio Prevenzione Sismica di Regione Toscana, ha tenuto in debita considerazione sia le destinazioni/previsioni urbanistiche del territorio comunale sia la distribuzione della popolazione: si è ritenuto quindi necessario approfondire gli studi di microzonazione estendendoli a tutta l’area di fondovalle del fiume Arno, senza soluzione di continuità da Santa Mama a nord fino a Castelnuovo a sud; le frazioni principali sono state studiate con almeno il livello 2 mentre per le frazioni minori è stata condotta una semplice revisione del livello 1. Nello schema seguente viene rappresentato il quadro degli studi sismici eseguiti per ciascuna località del territorio comunale.

Località	MS1	MS2	MS3
Capoluogo	X	X	X
Santa Mama	X	X	X
Calbenzano	X	X	X
Spedaletto	X	X	X
Castelnuovo	X	X	X
Poggio d'Acona	X	X	
Vogognano	X	X	
Giuliano-Barbagliena	X	X	
Falciano	X	X	
Belvedere	X	X	X
Ca' di Buffa	X	X	X
Chiaveretto	X	X	X
Le Greti	X		
Le Lane	X		
Palbena	X		
Montecchio	X		
Il Rio-Agnano	X		
Cardeto	X		
Fighille	X		
Montegiovi	X		



Aree di indagine (MS1, MS2, MS3)

1.3 Elenco elaborati

- Carta delle indagini (pregresse e di nuova realizzazione) scala 1:10.000
- Carta delle frequenze fondamentali dei terreni scala 1:10.000
- Carta geologico-tecnica scala 1:10.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) scala 1:1.0000
- Carte di microzonazione simica livello 2 scala 1:10.000
- Carte di microzonazione simica livello 3 scala 1:10.000
- Relazione Tecnica illustrativa

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Il comune di Subbiano è classificato ai sensi del Del. GRT n. 421 del 26/05/2014 (attuazione Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008) in Zona Sismica 2 a cui corrisponde un valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,25 ag/g. La storia sismica del territorio di Subbiano è stata consultata sul sito INGV con il catalogo parametrico dei terremoti italiani aggiornato al 2020 (CPTI15) che riporta gli eventi sismici significativi.

Il catalogo riporta per Subbiano eventi rilevanti nel periodo 1919 – 2020 con magnitudo variabile da 4,06 a 6,29.

I (MCS)	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	Depth	Io	Mw
6-7	1919	6	29	15	6	13	Mugello		10	6,38
5	1948	6	13	6	33	36	Alta Valtiberina		7	5,04
4	1965	8	4	11	49	53	Alta Valtiberina		5	4,48
3-4	1984	4	29	5	2	59	Umbria settentrionale		7	5,62
NF	1989	7	9	3	54	37,25	Montefeltro	4,1	5	4,09
NF	1993	1	17	10	51	23,39	Alta Valtiberina	7,9	5	4,26
3	1993	6	5	19	16	17,02	Valle del Topino	7,7	6	4,72
NF	1997	9	26	0	33	12,88	Appennino umbro-marchigiano	3,5	7-8	5,66
3-4	1997	9	26	9	40	26,6	Appennino umbro-marchigiano	9,8	8-9	5,97
4	1997	10	2	19	38	2,29	Alta Valtiberina	0,9		4,42
NF	1997	10	14	15	23	10,64	Valnerina	7,3		5,62
NF	1998	4	5	15	52	21,01	Appennino umbro-marchigiano	4,4		4,78
2	1999	1	25	22	45	58,08	Appennino forlivese	27,9	5	4,36
NF	2000	5	10	16	52	11,6	Faentino	23,1	5-6	4,82
3	2000	6	22	12	16	35,58	Bacino di Gubbio	39,6	5	4,47
4-5	2001	11	26	0	56	55,46	Casentino	5,5	5-6	4,63
NF	2002	2	21	14	36		Casentino		5	4,09
3-4	2003	1	26	20	15	3,07	Appennino forlivese	7	5-6	4,5
3	2003	1	29	23	50	16,38	Appennino forlivese	9,7	4-5	4,06
2	2003	12	7	10	20	33,04	Forlivese	9,2	5	4,18
NF	2006	10	21	7	4	10,01	Anconetano	36,3	5	4,21

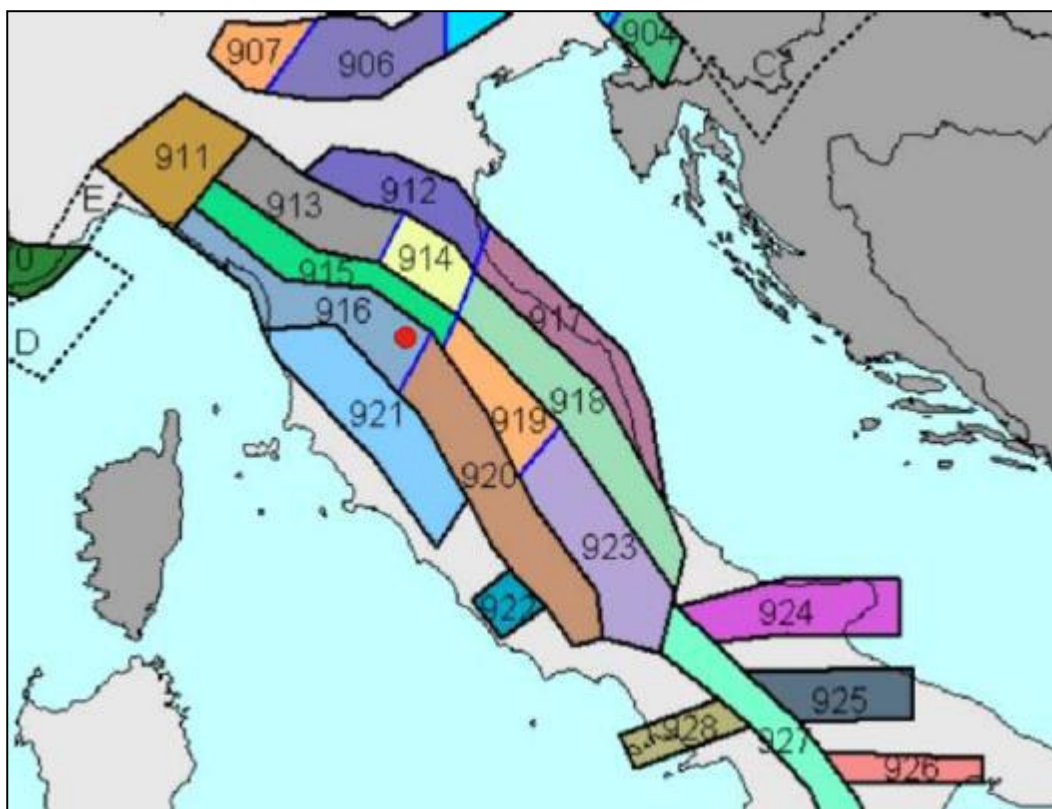
Eventi sismici di interesse per Subbiano riportati nel database CPTI15

In prima analisi, il territorio è caratterizzato dall'influenza di due diversi sorgenti di sismicità, una legato alle strutture geologiche del Casentino, che produce sismi fino a 5-5.5 abbastanza vicini al capoluogo, l'altra dell'alta Valtiberina con sismi fino a 6,3 ma con distanze dall'epicentro sui 15-20 Km.

Il territorio del Comune di Subbiano è compreso all'interno della zona 916 come definita all'interno della "Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti C., Valensise G., 2004).

Le zone 916 e 920 coincidono con il settore in distensione tirrenica di transizione alla distensione peritirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000) in cui si

registra una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente alti.



Zonazione sismogenetica ZS9

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Già approfondite negli studi di livello 1 a cura di Geol. Bulgarelli, a cui si fa riferimento nella descrizione che segue, si riportano di seguito le caratteristiche generali dell'area in esame.

Il territorio comunale si posiziona nel settore nord della Provincia di Arezzo con superficie di circa 78 km².

Le unità litostratigrafiche affioranti appartengono a terreni di età compresa tra il Cretaceo superiore e l'Olocene; tettonicamente, l'area si inserisce nel complesso quadro di episodi di accavallamento a vergenza antiappenninica che hanno interessato larghe fasce dell'Appennino Settentrionale nel Terziario, nonché nella successiva fase distensiva pliocenica e post-pliocenica con grandi faglie normali formanti horst, graben e gradinate tettoniche più o meno estese ad orientamento appenninico.

In seguito a tale eventi si sono formate vallate come quella del Casentino, nella quale poi si sono depositate le coltri fluvio-lacustri di età plio-pleistocenica ed olocenica.

Morfologicamente il territorio risulta costituito per la maggior parte da una serie di rilievi collinari ed alto collinari, delimitati a sud ed a est solo in parte da aree di fondovalle in cui si sono sviluppati i maggiori centri abitati tra cui quello del capoluogo.

L'area collinare è costituita da rocce arenaceo-marnose di origine torbiditica, costituenti l'Unità Cervarola-Falterona appartenente al Dominio Toscano, e da alcuni termini del Supergruppo della Calvana, appartenente al Dominio Ligure Esterno. I sedimenti sovrastanti il substrato sono generalmente caratterizzati dalla presenza di materiale litoide eterometrico immerso in una matrice sabbioso-limoso-argillosa, raramente in assetto stratificato, derivante dall'alterazione e dal disfacimento del substrato roccioso arenaceo; in misura minore si rinvengono coperture detritiche generatasi per movimenti gravitativi superficiali.

Le aree di fondovalle sono costituite essenzialmente dai depositi alluvionali fluvio-lacustri pleistocenici, passanti verso l'alto ad alluvioni antiche e recenti del Fiume Arno e dei suoi affluenti a composizione mista coesivo-granulare.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati utilizzati per lo studio di microzonazione sismica di livello 2 e 3 sono così schematizzabili:

- dati presenti nel database approntato per gli studi di livello 1, suddivisi come segue secondo la nomenclatura degli Standard MS:

- n° 14 “S” - sondaggi a carotaggio continuo;
- n° 9 “SS” - sondaggi a carotaggio continuo che intercettano il substrato;
- n° 1 “SDS” - sondaggi a distruzione di nucleo che intercettano il substrato;
- n° 4 “S+DH” - sondaggi a carotaggio continuo con prove sismiche in foro;
- n° 33 “CPT” - prove penetrometriche statiche con punta meccanica;
- n° 1 “CPTU” - prove penetrometriche statica con punta elettrica e piezocono;
- n° 47 “DP” - prove penetrometriche dinamiche pesanti;
- n° 46 “PA” - pozzi per acqua;
- n° 17 “SR” - verticali lungo profili sismici a rifrazioni;
- n° 12 “SL” - verticali lungo profili sismici a riflessione;
- n° 1 “ERT” - tomografie elettriche;
- n° 4 “DH” - prove sismiche in foro;
- n° 32 “HVSr” - misure tromometriche a stazione singola;
- n° 11 “MW” - stendimenti di tipo masw

- dati estrapolati dall’archivio comunale riferito al lasso temporale compreso tra tali studi e l’indagine presente (intervallo temporale 2015-2022);
- indagini geologiche presenti nell’archivio regionale Portos a partire dall’anno 2020;
- indagini geofisiche svolte per gli approfondimenti di livello 2 e 3, costituite da n.2 indagini sismica di superficie di tipo Masw, n.4 tomografie elettriche e n.18 misure di microtremore sismico a stazione sismica (vedi i certificati riportati in allegato).

Complessivamente pertanto le indagini pregresse sono così quantificabili:

- 49 prove penetrometriche statiche di cui una con punta elettrica e tre con piezocono
- 68 prove penetrometriche dinamiche
- 47 pozzi per acqua
- 56 sondaggi a carotaggio continuo
- 9 prove sismiche in foro di tipo downhole
- 72 misure di microtremore sismico a stazione singola
- 1 array sismici tipo ESAC

- 46 stendimenti di sismica a rifrazione
- 37 indagini tipo MASW
- 10 stendimenti di geoelettrica

L'ubicazione di tutte le indagini acquisite è riportata nella nuova "Carta delle indagini", suddivise e rappresentate, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS (ver.4.2). Le relative certificazioni sono riportate nella cartella "Documenti" e consultabili mediante hyperlink nel SIT associato alla Carta delle Indagini.

5. MODELLO GEOLOGICO E SISMICO DEL SOTTOSUOLO

L'elaborazione delle indagini geofisiche di nuova realizzazione e lo studio congiunto con quelle provenienti dalle banche dati esistenti (vedi cap.4) ha consentito di affinare alcuni dettagli del modello di sottosuolo predisposto in sede di redazione degli studi di livello 1, che risulta confermato a larga misura, sia in termini geologici che sismici, su tutto l'areale indagato. In particolare le coperture detritiche su substrato roccioso presenti nelle zone collinari e cartografate nella esistente MS1 sono state grandemente estese ad aree precedentemente individuate come substrato affiorante (codice 1011), avvalendosi dei numerosi dati stratigrafici e sismostratigrafici a disposizione. Si riporta pertanto di seguito un approfondimento relativo all'assetto sismostratigrafico locale nelle aree studiate.

SUBBIANO E FONDOVALLE DEL FIUME ARNO

Il capoluogo e le aree contigue collocate lungo la valle dell'Arno, da Castelnuovo a sud fino a Santa Mama a nord, sono caratterizzati da versanti a pendenza media in cui affiorano i terreni litoidi delle Arenarie del Monte Falterona (membro di Montalto e membro di Camaldoli, quest'ultimo limitato a piccoli affioramenti), e da una fascia alluvionale di fondovalle di modesta ampiezza, condivisa con il comune di Capolona; corpi detritici colluvio-eluviali si rinvengono per lo più nella fascia pedecollinare. La campagne geognostiche eseguite per MS1 e per MS23 hanno confermato questo modello del sottosuolo: nelle zone delle pendici collinari le frequenze registrate indicano picchi assenti o con valori tali da indicare spessori di coltre di alterazione del substrato generalmente inferiore o di poco superiore a 3 metri. Gli stendimenti sismici indicano velocità di propagazione delle onde S maggiore di 800 m/s identificando zone stabili o suscettibili di amplificazione in corrispondenza di condizioni morfologiche con acclività superiore a 15°. Il fondovalle inciso dal Fiume Arno è caratterizzato per lo più da modesta estensione e dalla presenza di un orizzonte di sedimenti alluvionali che le misure tomometriche e le stese sismiche identificano in un spessore variabile da 5 a 10/12 m, ricadente in zone suscettibili di amplificazione per contrasto di impedenza tra coperture e substrato. Dove l'area di pianura acquisisce ampiezza è grazie alle anse del fiume, all'estremo meridionale (Castelnuovo) e settentrionale (Santa Mama). In corrispondenza delle confluenze in Arno dei principali affluenti di sinistra si rinvengono alcune conoidi alluvionali di modeste dimensioni e spessori <10 m, ad eccezione di quella generata dal Rio Talla che raggiunge profondità maggiore (vedi par. 11.3). Infine si registrano aree con substrato molto alterato o fatturato, anche questi inquadrabili in zone soggette a possibile amplificazione stratigrafica.

La frazione di Santa Mama, al confine settentrionale del comune, condivide con le altre località del fondovalle l'assetto geologico e geomorfologico generale ma si trova in prossimità del contatto tettonico tra Dominio Toscano (Arenarie del Falterona) e Ligure: quest'ultimo risulta localmente rappresentato da Formazione di M. Morello e Formazione di Sillano. Inoltre solo in questa area le indagini a disposizione rilevano uno spessore delle alluvioni superiore a quello ricorrente in tutto il fondovalle, raggiungendo una potenza di circa 20 metri.

AREE COLLINARI E MONTANE

Le zone collinari del territorio comunale, che ospitano molte frazioni, sono impostate su terreni litoidi per lo più arenacei (Membro di Montalto e Membro di Camaldoli delle Arenarie del Falterona) talvolta affioranti ma più spesso sormontati da una coltre detritica di varia origine (alterazione del substrato, eluvio-colluviale, corpo di frana) di spessore talvolta importante. Di tale evidenza si ha conferma dai valori di frequenza fondamentale derivanti dalle misure HVSR, con profondità dell'orizzonte riflettente che nel caso della frazione di Falciano supera i 20 metri ($f_0=2-3$ Hz).

Nelle frazioni di Greti, Montecchio e Montegiovi i dati geofisici indicano la presenza superficiale di roccia con velocità di propagazione delle onde S inferiore a 800 m/s: nel primo caso - zona nord del territorio comunale - si tratta della Formazione di Sillano, spesso in assetto semilitoide; a Montecchio e Montegiovi invece affiorano le Marne di Vicchio, formazione del Dominio Toscano stratigraficamente sormontante le Arenarie del Falterona.

FONDOVALLE TORRENTE CHIASSA

La stretta incisione valliva del Torrente Chiassa, affluente di sinistra dell'Arno, è caratterizzata da versanti acclivi con affioramenti di roccia arenacea (Membro di Montalto delle Arenarie del Falterona) e sottili coltri superficiali di depositi alluvionali recenti ed attuali, prevalentemente granulari, messi in posto dal Chiassa stesso e dal suo affluente di destra Fosso di Montegiovi.

I risultati delle misure HVSR realizzate per il presente studio evidenziano nella frazione Ca' di Buffa una estesa copertura detritica superficiale di modesto spessore; in località La Buca invece un corpo franoso impostato su un orizzonte di roccia in posto fortemente alterata (zona 2099 nella carta MOPS)

In termini generali, le campagne geognostiche e geofisiche attuali e passate hanno messo in luce, nelle indagini eseguite su substrato arenaceo-marnoso (Arenarie del Falterona) e calcareo

(Formazione di M. Morello) valori di V_s maggiori di 800 m/s, mentre in quelle eseguite sui litotipi argillitici della Formazione di Sillano e marnosi della Formazione della Marne di Vicchio velocità prevalentemente inferiori a 800 m/s; per quanto riguarda i depositi di alluvionali e lacustri le velocità delle onde S sono comprese in un intervallo piuttosto ristretto compreso tra 300 e 500 m/s.

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Le metodologie di interpretazione dei vari modelli sono state discusse nei paragrafi relativi ai singoli aspetti.

Per quanto riguarda le attrezzature utilizzate per l'esecuzione delle indagini geofisiche si osserva:

- I profili Masw sono stati eseguiti con sismografo Geode Geometrics a 24 canali e geofoni PASI verticali con frequenza caratteristica 4.5-10 hz.
- Le indagini elettriche tomografiche sono state eseguite mediante georesistivimetro SYSCAL Pro Switch con 96 elettrodi e 10 canali, acquisendo il segnale tramite array Wenner-Schlumberger.
- Per quanto riguarda le misure H/V, sono state eseguite sismografo a stazione singola SARA GEOBOX SS45 dotato di un geofono triassiale da 4.5 hz, con registrazioni della durata di 30 minuti. Le procedure esecutive utilizzate sono quelle del Progetto Sesame, elaborate tramite software Geoexplorer di Sara srl.

7. ELABORATI CARTOGRAFICI PROPEDEUTICI AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE

7.1 Carta delle indagini

Le indagini nuove e pregresse, descritte nel dettaglio al cap.4, sono state oggetto di catalogazione e archiviazione secondo gli Standard MS 4.2 mediante software SoftMS. Il database finale risulta suddiviso tra indagini puntuali e indagini lineari e viene rappresentato in carta mediante apposita simbologia conforme alle suddette direttive. I certificati di ciascuna indagine sono consultabili sul SIT associato al tematismo, mediante hyperlink.

7.2 Carta delle frequenze fondamentali dei terreni

Riporta la distribuzione delle frequenze del picco H/V ricavato mediante metodo Nakamura dalle oltre 70 misure di rumore sismico a stazione singola, eseguite per il presente studio, per MS1 e presenti negli archivi comunale e regionale.

Come già esposto al capitolo 5, in generale i picchi f_0 , corrispondenti alla frequenza fondamentale di vibrazione del terreno, risultano coerenti con l'assetto sismostratigrafico del sottosuolo sia nelle aree di affioramento del bedrock sismico sia nel caso di coltri superficiali di sedimenti sciolti; in particolare:

- le frequenze fondamentali per i terreni di fondovalle del Fiume Arno sono per lo più superiori a 8 hz, a conferma della modesta profondità del bedrock sismico; valori più bassi si registrano a Santa Mama, dove gli spessori di alluvioni sono maggiori e superano i 10 metri.
- le aree di affioramento roccioso (frazioni collinari e zone marginali del fondovalle dell'Arno e del Chiassa) mostrano in genere misure "piatte" in cui non si rilevano picchi H/V.

La simbologia utilizzata nella carta consente di ricavare visivamente in modo diretto il valore di frequenza di picco f_0 (hz).

7.3 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

L'elaborato ricalca in gran parte quello redatto per MS1; è derivato dalla carta geologica, raggruppando le varie formazioni tenendo conto della composizione litologica e delle caratteristiche tecniche. Le unità geologico-litotecniche comprendono sedimenti a comportamento omogeneo e sono distinte tra terreni di copertura e substrato geologico in cui lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri, giungendo ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. Le unità litotecniche sono denominate con le sigle indicate dagli Standard MS 4.2.

Nell'area di studio sono presenti gli elementi di seguito elencati.

Terreni di copertura:

- **GC** ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla corrispondenti a coltri detritiche eluvio-colluviali (sigla "ec") o di falda detritica (sigla "fd");
- **GM** ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo corrispondenti alle conoidi alluvionali (sigla "ca");
- **SW** sabbie pulite e ben addensate, sabbie ghiaiose; sono riferibili alle alluvioni attuali (ambiente deposizionale piana inondabile sigla "pi") ed alle alluvioni terrazzate (ambiente deposizionale terrazzo fluviale sigla "tf");
- **SC** sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla, anche in questo caso riferibile a depositi fluviali di terrazzo (sigla "tf");

Substrato geologico:

- **LPS** lapideo stratificato corrispondente alla formazione delle Arenarie del Monte Falterona (membro di Camaldoli, membro di Montalto);
- **ALS** alternanza di litotipi stratificato, corrispondente alle Marne di Vicchio e alla Formazione di Sillano;
- **SFLPS** alternanza di litotipi alterati e fratturati.

Nella tabella che segue viene riportata la corrispondenza utilizzata per il livello 1 e confermata negli studi di MS2.

Le perimetrazioni dei corpi di frana, definiti come "zone instabili", sono state aggiornate secondo il vigente database geomorfologico del Piano di Assetto Idrogeologico del Distretto Appennino Settentrionale, coerente con il quadro conoscitivo del nuovo PSI.

Unità e formazioni geologiche	Carta Geologico Tecnica
Depositi detritici di versante	GCfd
Depositi eluvio-colluviali	GCec
Depositi di conoide	GMca
Depositi alluvionali recenti e attuali	SWpi
Depositi alluvionali terrazzati	SWtf, SCTf
Formazione di Sillano, Marne di Vicchio	ALS - Alternanza di litotipi stratificato
Formazione delle Arenarie di M. Falterona	LPS - Lapideo, stratificato

7.4 Sezioni geologico-tecniche

Nel presente lavoro vengono riproposte le sezioni geologico-tecniche redatte per lo studio di MS1, in virtù della sostanziale conferma del modello geologico e sismico del sottosuolo a suo tempo individuato. Le sezioni studiate sono in tutto 5: esse sono state realizzate integrando dati derivanti dall'originale rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, da informazioni di letteratura e presenti in bibliografia e dall'esame critico delle indagini acquisite. Le cinque tracce delle sezioni sono riportate nella Carta Geologico-Tecnica: dalla loro osservazione si evidenzia che è ovunque presente un substrato lapideo stratificato il quale nelle aree di fondovalle è ricoperto da terreni sciolti, costituiti principalmente da depositi di origine fluviale, mentre su alcune zone di versante è sovrastato da detriti e materiali sciolti, dovuti a conoidi di deiezione o a fenomeni di versante (inattivo - quiescente - attivo), il cui spessore solo in località Falciano supera i 20 metri.

8. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

Lo studio di Microzonazione Sismica è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità in funzione del livello di approfondimento che si vuole raggiungere: in particolare il livello 1 (MS1) è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto si limita a suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del modello litostratigrafico e di condizioni generali di risposta sismica, senza ricorrere a valutazioni o parametrizzazioni quantitative, avendo come punto di partenza e costante riferimento gli elaborati propedeutici di cui al capitolo precedente.

Elaborato di sintesi dello studio è la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), predisposto in scala 1:10.000.

L'esistente studio di livello 1 per il Comune di Subbiano, a cura del Geol. Bulgarelli (2014), è stato rivisto sulla base dei risultati delle nuove indagini. Di conseguenza è stata rivalutata la zonazione sismica elaborata, senza che siano emerse modifiche sostanziali rispetto allo studio MS1 esistente.

Di seguito i principali perfezionamenti adottati:

- le alluvioni su substrato sono state suddivise nelle due microzone n.3 (codice 2003) e n.4 (codice 2004) - oltre che su base litotecnica - tramite una soglia di spessore pari a 10 m (quindi alluvioni < 10 m e alluvioni 10-20 m);
- le coperture detritiche su substrato roccioso cartografate nella esistente MS1 sono state grandemente estese ad aree precedentemente individuate come substrato affiorante (1011) avvalendosi dei numerosi dati stratigrafici e sismostratigrafici a disposizione, considerando sempre spessori >3 m e individuando anche in questo caso una soglia di spessore pari a 10 m: quindi microzona n.8 (codice 2008) per detriti 3-10 m e microzona n.9 (codice 2009) per detriti >10 m.

L'estensione dell'area di studio a tutto il fondovalle del Fiume Arno, a nord del Capoluogo, non ha reso necessaria l'individuazione di ulteriori microzone, trattandosi di una zona con assetto stratigrafico per lo più regolare e uniforme.

La legenda è stata aggiornata seguendo le direttive presenti negli Standard v.4.2.

8.1 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Si ricordano di seguito le zone nelle quali è stato suddiviso il territorio studiato nel livello 1; per ciascuna di essa viene descritta una sequenza litostratigrafica indicativa.

ZONE STABILI

Substrato lapideo (sigla 1011) – aree di affioramento dei terreni lapidei stratificati (LPS) con acclività < 15°.

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Zona 2099 (sigla 2099) – aree di affioramento del substrato roccioso fratturato e alterato (SFLPS).

Zona 1 (sigla 2001, definita “suscettibile di amplificazione topografica”) – aree di affioramento dei terreni lapidei stratificati (LPS) con acclività > 15°.

Zona 2 (sigla 2002) – aree con substrato lapideo stratificato affiorante con $V_s < 800$ m/s (ALS)

Zona 3 (sigla 2003) – sequenza caratteristica:

(0-10 m) sabbie pulite e ben addensate, sabbie ghiaiose

(>10 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 4 (sigla 2004) – sequenza caratteristica:

(0-20 m) sabbie pulite e ben addensate, sabbie ghiaiose

(>20 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 5 (sigla 2005) – sequenza caratteristica:

(0-10 m) sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla

(>10 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 6 (sigla 2006) – sequenza caratteristica:

(0-20 m) sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla

(>20 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 7 (sigla 2007) – sequenza caratteristica:

(0-20 m) ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo

(>20 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 8 (sigla 2008) – sequenza caratteristica:

(0-10 m) ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla

(>10 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

Zona 9 (sigla 2009) – sequenza caratteristica:

(0-30 m) ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla

(>30 m) substrato lapideo stratificato con $V_s > 800$ m/s

ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

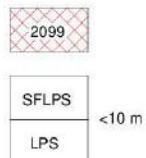
Instabilità di versante ($Z_{A_{FR}}$) – comprende le aree interessate da frane sia attive che quiescenti, come individuate nel vigente PAI e nel nuovo PSI, suddivise sulla base della microzona sismica su cui insiste il corpo franoso e rappresentate secondo le specifiche di cui agli Standard MS 4.2.

ZONE STABILI

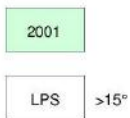


ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

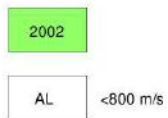
Zona 2099



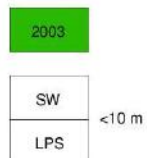
Zona 1



Zona 2



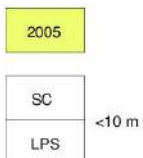
Zona 3



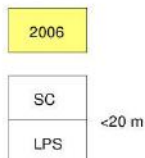
Zona 4



Zona 5



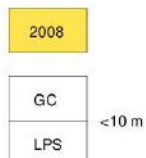
Zona 6



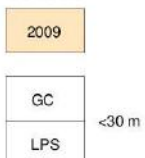
Zona 7



Zona 8



Zona 9



9. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

Nel quadro della redazione del quadro conoscitivo in materia geologica e sismica per il nuovo PSI Capolona-Subbiano, in ottemperanza al DPGR 5R/2020 si è proceduto ad approfondire gli studi esistenti di livello 1 nelle zone considerate di maggior interesse da un punto di vista sismico e di pianificazione territoriale, in accordo con la struttura regionale competente e con l'amministrazione comunale.

Lo studio di MS di livello 2 costituisce un approfondimento del livello 1, possibile laddove l'assetto geologico e sismico dell'area indagata renda attuabile un approccio semplificato monodimensionale, basato su abachi regionalizzati, che fornisca comunque quantificazioni numeriche degli effetti sismici.

Gli abachi, prediposti da RT, si differenziano sulla base dei seguenti fattori:

- a) area geografica (il territorio regionale è stato distinto in 5 macroaree: Toscana appenninica, area di transizione, Toscana interna, Amiata e Toscana costiera);
- b) tipologia dell'input sismico (in riferimento a differenti classi di accelerazione di picco media);
- c) presenza di substrato sismico a profondità maggiore o minore a 30m (ad esclusione dell'area della costa per la quale non è stata effettuata tale distinzione, in virtù di risultati similari);
- d) tipo di fattore di amplificazione: il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli amplificativi è il fattore di amplificazione di Housner (di seguito denominato FA) misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione in output e l'omologo integrale dello spettro di accelerazione in input, valutato in un triplice intervallo di integrazione: il primo tra 0.1 e 0.5 secondi (denominato FA0105), significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio, il secondo per strutture più flessibili (denominato FA0408), a maggiore periodo proprio (tra 0.4 e 0.8 sec), il terzo infine corrispondente all'intervallo di periodo 0.7-1.1 sec (FA0711) di interesse per strutture di grande elevazione.

La procedura eseguita per lo studio, inquadrato nella macroarea "Toscana appenninica" con valore di accelerazione di base per un tempo di ritorno di 475anni maggiore di 0.15g, si è articolata nelle seguenti fasi:

- 1) associare a ciascuna microzona di livello 1 un valore di VsH medio dei terreni di copertura, ovvero il valore della velocità media delle onde S fino all'interfaccia con il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) o in alternativa, qualora il substrato geologico si trovi oltre 30 m di profondità, il valore di Vs30. Tale obiettivo viene raggiunto avvalendosi dell'ampia banca dati geologico-sismica presente sul territorio e dalle indagini svolte per gli studi di MS1 e MS23 (vedi cap.4).

- 2) in modo analogo, associare a ciascuna microzona di livello 1 il dato locale di frequenza fondamentale medio.
- 3) laddove necessario, sulla base delle evidenze ottenuti nelle fasi precedenti (1 e 2) sono state operate suddivisioni o raggruppamenti tra le zone MS1.
- 4) a ciascuna nuova microzona così caratterizzata è stato quindi attribuito un valore di profondità del substrato sismico, con soglia posta a 30 m; in generale l'intera area di studio presenta substrato a profondità inferiori a 30 m.
- 5) infine tramite gli abachi si è pervenuti alla determinazione dei valori di FA di cui alla lettera a) precedente, che costituiscono elemento fondante della Carta di microzonazione sismica di livello 2.
- 6) alla zona 1 (sigla 2001), substrato roccioso con pendenze maggiori di 15° , è stato attribuito il fattore di amplificazione topografica $F_t=1.2$ con conseguente $FA=1.2$.
- 7) nelle zone di attenzione per instabilità (frane attive e inattive quiescenti), a causa dell'esiguo numero di indagini disponibili, per l'attribuzione dei valori dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati gli abachi di riferimento applicando ai valori ottenuti, a favore di sicurezza, una maggiorazione di 0.2.

La seguente tabella descrive in maniera schematica le scelte operate nelle attribuzioni dei FA: per ogni zona MOPS è riportato l'intervallo di valori più rappresentativo dei parametri V_{sh}/V_{S30} e f_0 e le relative classi di FA associate (negli intervalli di periodo FA0105, FA0408, FA0711).

Zona Stab	Vs	f0	Sub	FA0105	FA0408	FA0711
1011	>800	<1	<30	1	1	1
2001	>800	<1	<30	1,2	1,2	1,2
2002	500	>8	<30	1,4	1,1	1
2099	500	>8	<30	1,4	1,1	1
2003	300/500	>8	<30	1,4	1,1	1
2004	500	5,5	<30	1,7	1,2	1,1
2005	500	>8	<30	1,4	1,1	1
2006 (1)	--	--	<30	--	--	--
2007	500	>8	<30	1,4	1,1	1
2008	500	>8	<30	1,4	1,1	1
2009	500	7,5	<30	1,5	1,1	1

Attribuzione alle zone MOPS dei fattori di amplificazione sismica

(1) zona 2006 non presente nell'area di studio MS2

9.1 Carta di microzonazione sismica di livello 2

L'elaborato, fornito alla scala 1:10.000, è stato predisposto per le principali zone di interesse del territorio comunale:

- Area di fondovalle del Fiume Arno, da Santa Mama a Castelnuovo, coincidente con l'area studiata in MS1
- Falciano
- Giuliano-Barbagliena
- Vogognano
- Calbenzano
- Poggio d'Acona
- Ca' di Buffa
- Belvedere
- Chiaveretto-La Buca

La tavola riporta la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato il fattore di amplificazione FA, ottenuto tramite lo studio di MZS di livello 2 effettuato.

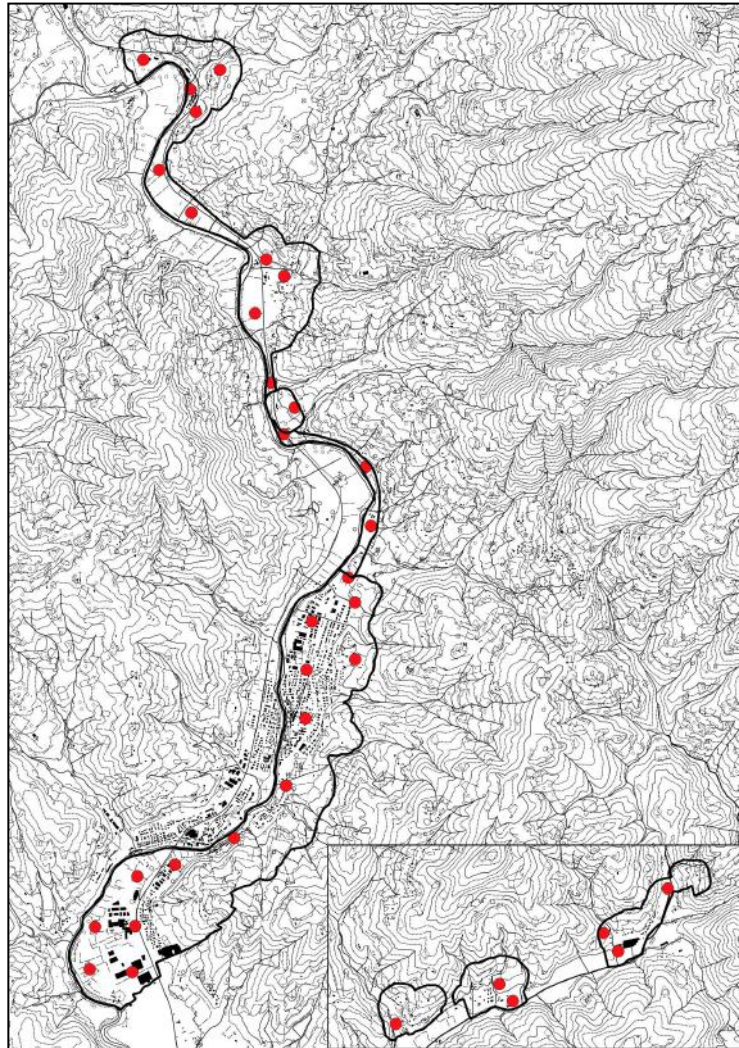
Il fattore FA viene rappresentato mediante raggruppamento in 7 classi a valori crescenti, definite in accordo con gli Standard di rappresentazione (v 4.2), mantenendo la suddivisione presente nella carta MOPS tra zone stabili, suscettibili di amplificazione e instabili.

In accordo con quanto richiesto nelle Specifiche tecniche regionali, la carta viene rappresentata per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0,5s, che viene ritenuto il più indicativo per i normali periodi di vibrazione dell'edificato nelle zone di studio.

10. STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

L'approfondimento di livello 3 è stato condotto per tutta l'area di fondovalle del Fiume Arno, da Santa Mama fino a Castelnuovo, e per le frazioni site lungo il fondovalle del Torrente Chiassa. In accordo con la struttura regionale competente, in virtù dello specifico modello di sottosuolo si è proceduto con un'analisi di risposta sismica locale di tipo monodimensionale che è stata svolta mediante software LSR2d di Stacec.

La modellazione è stata svolta su n.34 verticali, ubicate in posizioni significative in relazione al modello sismostratigrafico desunto dagli studi di livello 1. Ad ogni verticale è stata attribuita una colonna sismostratigrafica rappresentativa in termini di spessori, caratterizzazione geotecnica e parametri dinamici, avvalendosi delle numerose indagini presenti nell'area e catalogate nel DB associato alla Carta delle indagini.



Ubicazione delle verticali oggetto di analisi RSL 1D

Pertanto per ogni sismostrato da modellare sono stati ricavati preliminarmente i seguenti parametri:

- Valori di V_p (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio);
- Peso di volume dei litotipi in oggetto;
- Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato $G(g)$ e di incremento del rapporto di smorzamento $D(g)$ utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente; la scelta di tali curve è stata operata rielaborando il DB VEL per terreni dalle caratteristiche geologico-tecniche simili, provenienti per quanto possibile da aree simili a quella in esame. La tabella seguente sintetizza gli esiti di questa fase iniziale di parametrizzazione.

Litotipo	V_p (m/s)	V_s (m/s)	Peso di Volume (kg/mc)	Curva di decadimento	Modulo di Poisson
Depositi alluvionali (SC)	--	370-450	1800	SC Casentino (banca dati VEL)	0.35
Depositi alluvionali (SW)	--	250-350	1900	SW Toscana (banca dati VEL)	0.35
Depositi di conoide (GM)	--	200-400	1900	GC Toscana (banca dati VEL)	0.30
Depositi detritici (GC)	--	300-600	1900	GC Toscana (banca dati VEL)	0.30
Substrato roccioso (LPS)	3000	1100	2200	Average rock	0.40

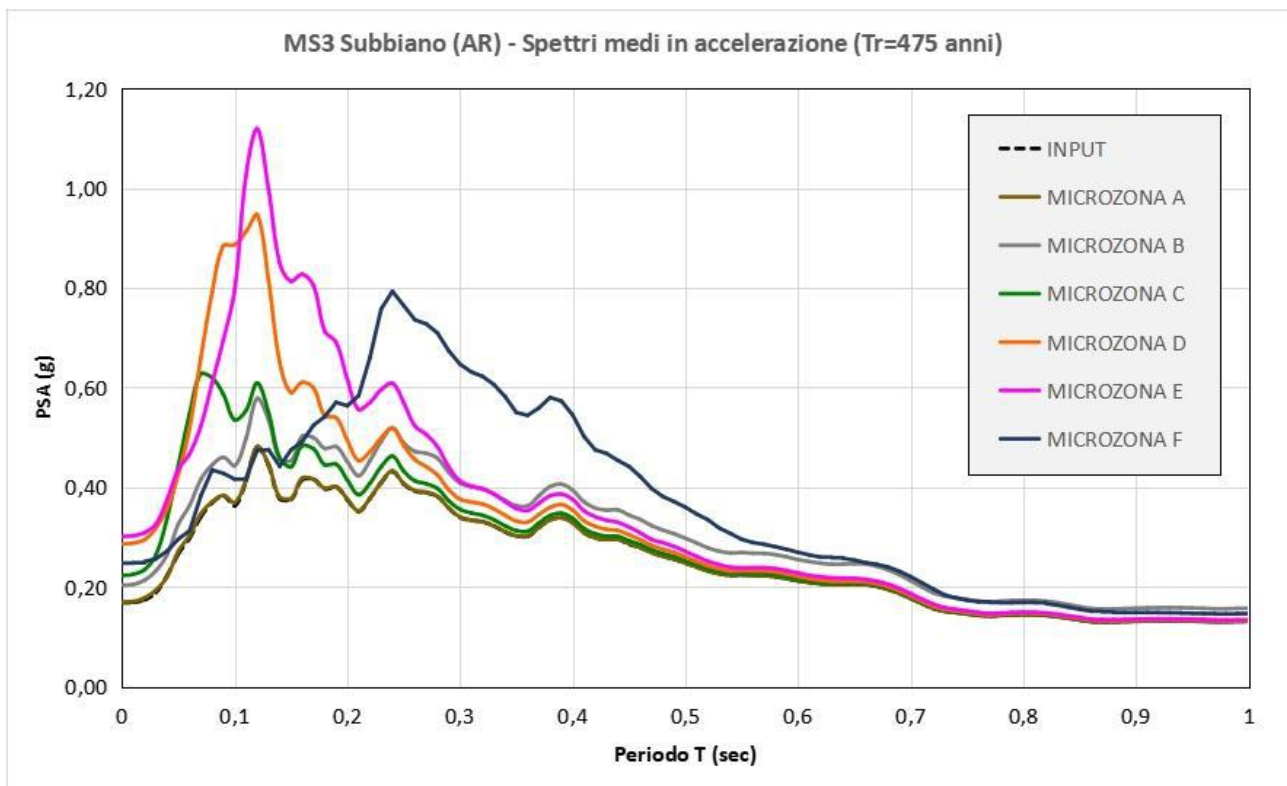
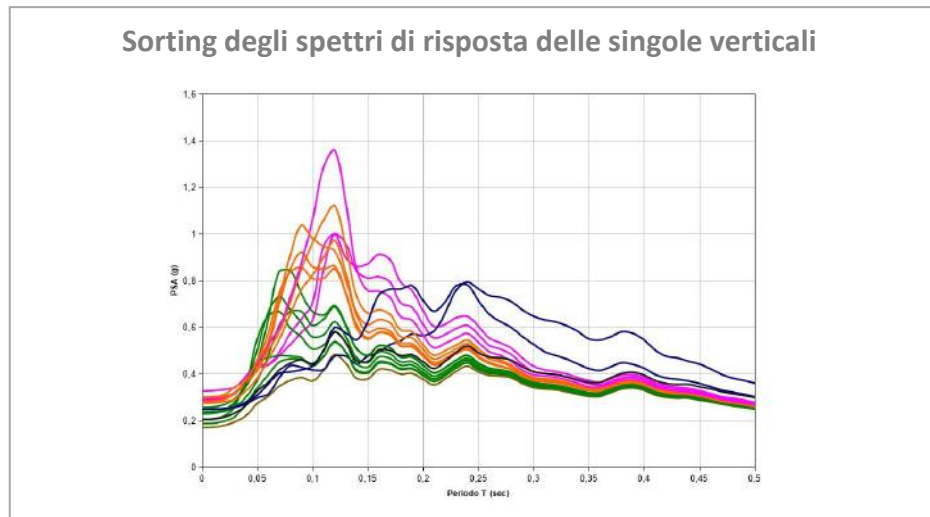
Per ogni verticale sono state effettuate due distinte analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) e la seconda al periodo di ritorno di 50 anni (SLD), entrambe derivate dai dati messi a disposizione da RT per i capoluoghi di comune.

La prima analisi è quella ufficiale dello studio di MS3, da cui sono stati estrapolati tutti i prodotti dello studio di Microzonazione (spettri di risposta elastici e Fattori di Amplificazione). La seconda analisi è utilizzata esclusivamente per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare come indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.

Gli spettri medi di output in accelerazione allo SLV sono stati quindi accorpatisi (processo di "sorting") valutandone i parametri caratteristici per pervenire a una suddivisione del territorio in 6 microzone omogenee, caratterizzate da una specifica risposta in termini spettrali:

		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSAO01	1,00	1,00	1,00
Microzona B	PSAO02	1,20	1,20	1,20
Microzona C	PSAO03	1,10	1,02	1,01
Microzona D	PSAO04	1,3	1,05	1,02
Microzona E	PSAO05	1,50	1,09	1,04
Microzona F	PSAO06	1,55	1,27	1,12

In particolare, la Microzona A corrisponde all'area di affioramento del substrato roccioso (zona MOPS con codice 1011), la Microzona B al substrato in condizioni di amplificazione topografica per versanti con pendenze $>15^\circ$ ed è pertanto ricavata applicando allo spettro della Microzona A un fattore moltiplicativo pari al coefficiente topografico $F_t=1,2$.



Generazione delle microzone di livello 3 nell'area del fondovalle dell'Arno a partire dai singoli spettri di risposta

10.1 Carta di microzonazione sismica di livello 3

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale mono e bidimensionale, illustrata nei paragrafi precedenti, ha permesso la redazione della cartografia di microzonazione sismica di livello 3 per quanto attiene alle aree di studio del fondovalle del fiume Arno, da Santa Mama a Castelnuovo e comprendente il Capoluogo, e della frazioni poste lungo il Torrente Chiassa.

I risultati in termini di FA (fattore di amplificazione), desunti in corrispondenza di singole verticali nell'analisi 1D, sono estesi mediante un processo di estrapolazione areale effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS e basato sul seguente modello logico:

1. rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con i relativi valori di FA nei 3 intervalli di periodi e la microzona di livello 3 assegnata;
2. individuazione del modello geologico-tecnico alla base di ogni punto di output;
3. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecnica e MOPS) di analoghe condizioni geologico-tecniche su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica;
4. raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili e conseguente discretizzazione dell'area nelle microzone di livello 3, distinte da differenti valori di FA0105, FA0408 ed FA0711;
6. rappresentazione della carta in base al fattore FA0105 secondo la legenda prevista dagli Standard MS 4.2.

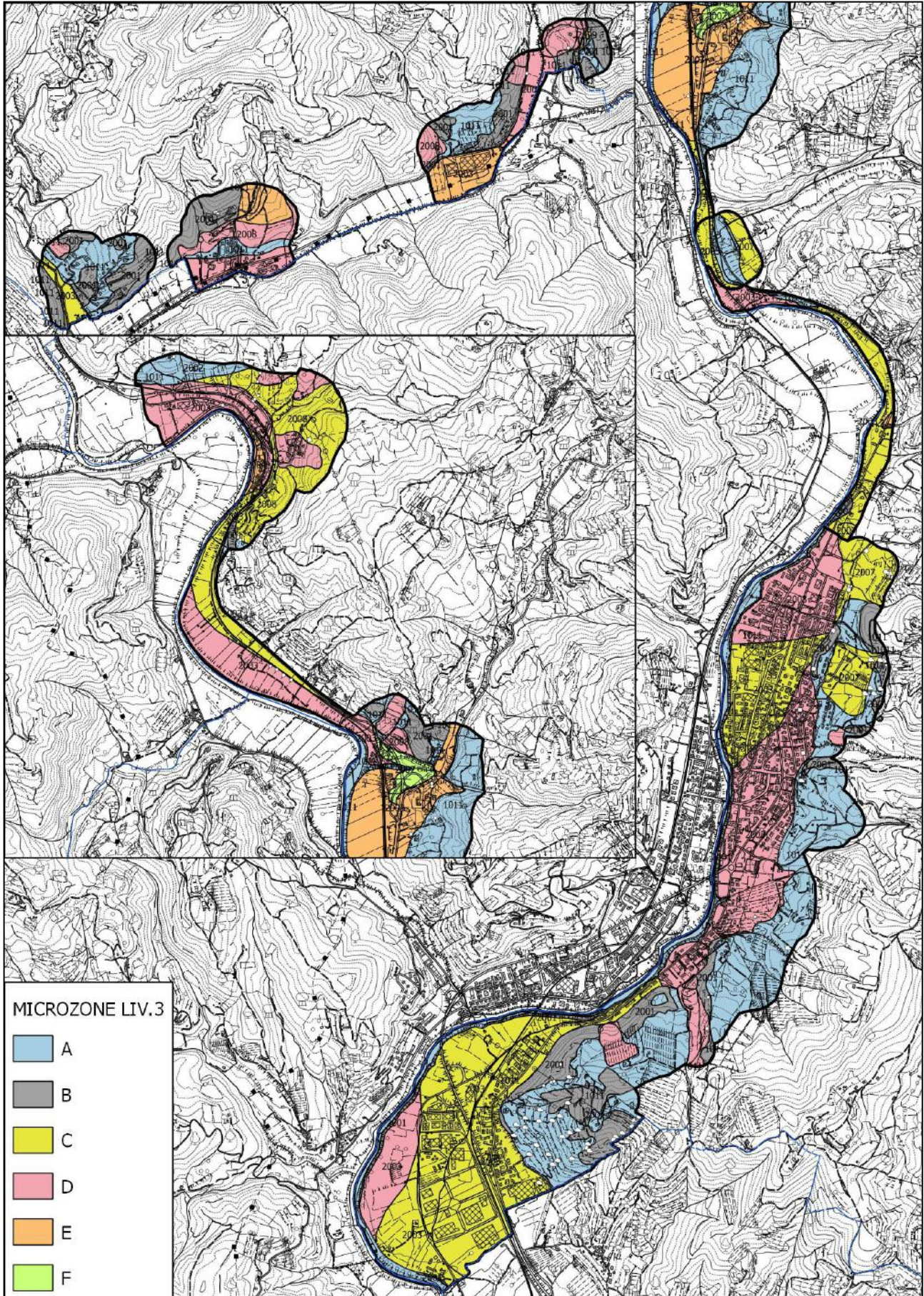
Le aree in dissesto attivo e quiescente, presenti solamente nella zona oggetto di analisi 1D, sono quelle individuate nella carta MOPS. In assenza di analisi specifiche di tipo quantitativo sui singoli fenomeni gravitativi, a tutte le aree sono assegnati valori di FRT/FRR (massimo spostamento) desunti dai criteri stabiliti dal PAI distrettuale per la definizione delle zone di influenza; vengono quindi classificate come "zone di suscettibilità per instabilità di versante" e inquadrate nella microzona superiore - in termini di amplificazione sismica - rispetto a quella caratterizzante il territorio circostante.

10.2 Indicazioni della MS3 per la gestione della fase progettuale

Effettuate le analisi di risposta sismica locale ($T_r=475$ anni e per $T_r=50$ anni) e di conseguenza definito lo spettro medio di risposta in accelerazione per ciascuna microzona di livello 3 individuata, è possibile calcolare lo "spettro caratteristico" tramite una procedura di regolarizzazione dello spettro medio, con definizione di uno spettro semplificato di forma simile a quelli di normativa.

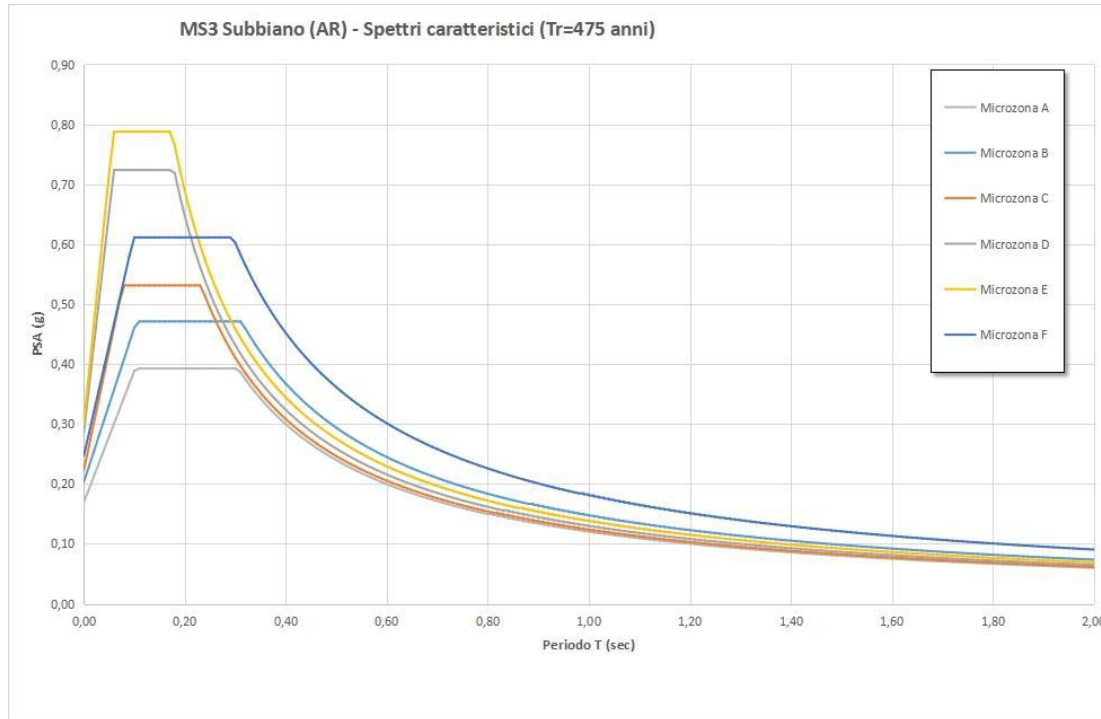
Gli spettri caratteristici si riferiscono a periodi di ritorno di 475 anni e di 50 anni e possono essere paragonati agli spettri semplificati di normativa relativi all'azione sismica per un edificio "ordinario" (Vita nominale $VN = 50$ anni e Classe d'uso $CU = II$) allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e allo Stato Limite di Esercizio (Stato limite di Danno, SLD); essi pertanto possono essere utilizzati in fase progettuale per la valutazione dell'azione sismica allo SLV e SLE, per le costruzioni ordinarie, in alternativa agli spettri di normativa come previsto dal DPGR 5R/2020 Allegato A cap. 3.6.9.

Lo spettro caratteristico SLV e SLD di ciascuna microzona viene proposto in file formato txt in cui sono indicati nelle prime 3 righe i dati d'origine dello spettro ed i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio. Per facilitarne la fruizione, nella mappa seguente viene proposta la suddivisione del territorio esaminato nelle 9 microzone di livello 3.



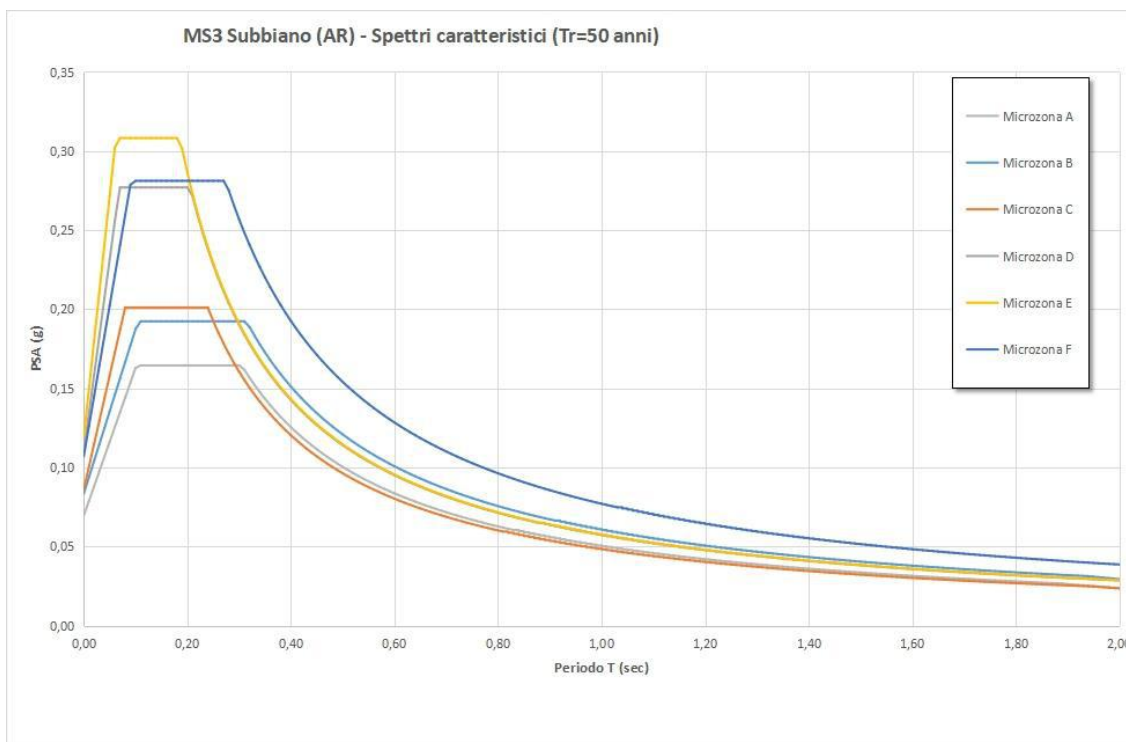
Distribuzione areale delle microzone omogenee di livello 3 - aree di Capolona e Castelluccio

Di seguito, gli Spettri caratteristici normalizzati secondo la procedura descritta nel testo, relativi alle microzone individuate per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni.



Subbiano (AR)							
Microzonazione sismica di 3° livello - SLV (Tr=475 anni)							
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri							
ag = 0.172g							
microzona	località	Amax (g)	S (-)	F0 (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	SUBBIANO	0,169	0,985	2,318	0,102	0,305	2,278
B		0,203	1,182	2,318	0,104	0,312	2,413
C		0,223	1,294	2,387	0,077	0,232	2,490
D		0,286	1,662	2,531	0,060	0,179	2,744
E		0,301	1,750	2,617	0,058	0,175	2,804
F		0,247	1,436	2,475	0,099	0,296	2,588

Calcolo degli spettri caratteristici e dei relativi parametri allo SLV (Tr=475 anni)



Subbiano (AR)							
Microzonazione sismica di 3° livello - SLD (Tr=50 anni)							
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri							
ag = 0,071g							
microzona	località	Amax (g)	S (-)	F0 (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	SUBBIANO	0,070	0,979	2,366	0,102	0,305	1,878
B		0,083	1,175	2,307	0,105	0,314	1,934
C		0,086	1,212	2,336	0,080	0,239	1,944
D		0,110	1,547	2,521	0,069	0,206	2,039
E		0,119	1,680	2,584	0,062	0,186	2,077
F		0,107	1,508	2,625	0,091	0,274	2,028

Calcolo degli spettri caratteristici e dei relativi parametri allo SLD (Tr=50 anni)

11. ANALISI DEI RISULTATI DEGLI STUDI DI MS1-2-3

Di seguito vengono discussi i risultati dello studio effettuato, in termini di modello sismo stratigrafico e di risposta sismica locale, per ciascuna zona indagata:

- Capoluogo-Castelnuovo – MS1-(MS2)-MS3
- Santa Mama – MS1-(MS2)-MS3
- Calbenzano – MS1-(MS2)-MS3
- Fondovalle Torrente Chiassa – MS1-(MS2)-MS3
- Falciano – MS1-MS2
- Vogognano – MS1-MS2
- Giuliano-Barbagliena – MS1-MS2
- Poggio d’Acona – MS1-MS2
- Frazioni minori – MS1

Le considerazioni di seguito proposte traggono spunto dal livello più approfondito a cui si sono spinti gli studi per ciascuna zona: nelle aree in cui allo studio MS2 è seguito lo studio MS3, la discussione prende in esame principalmente i risultati dello studio di livello 3 in virtù della maggiore accuratezza del modello adottato per la determinazione della risposta sismica locale, limitandosi quindi a un confronto con i risultati già ottenuti nello studio di livello 2 negli sporadici casi in cui siano emerse significative incongruenze.

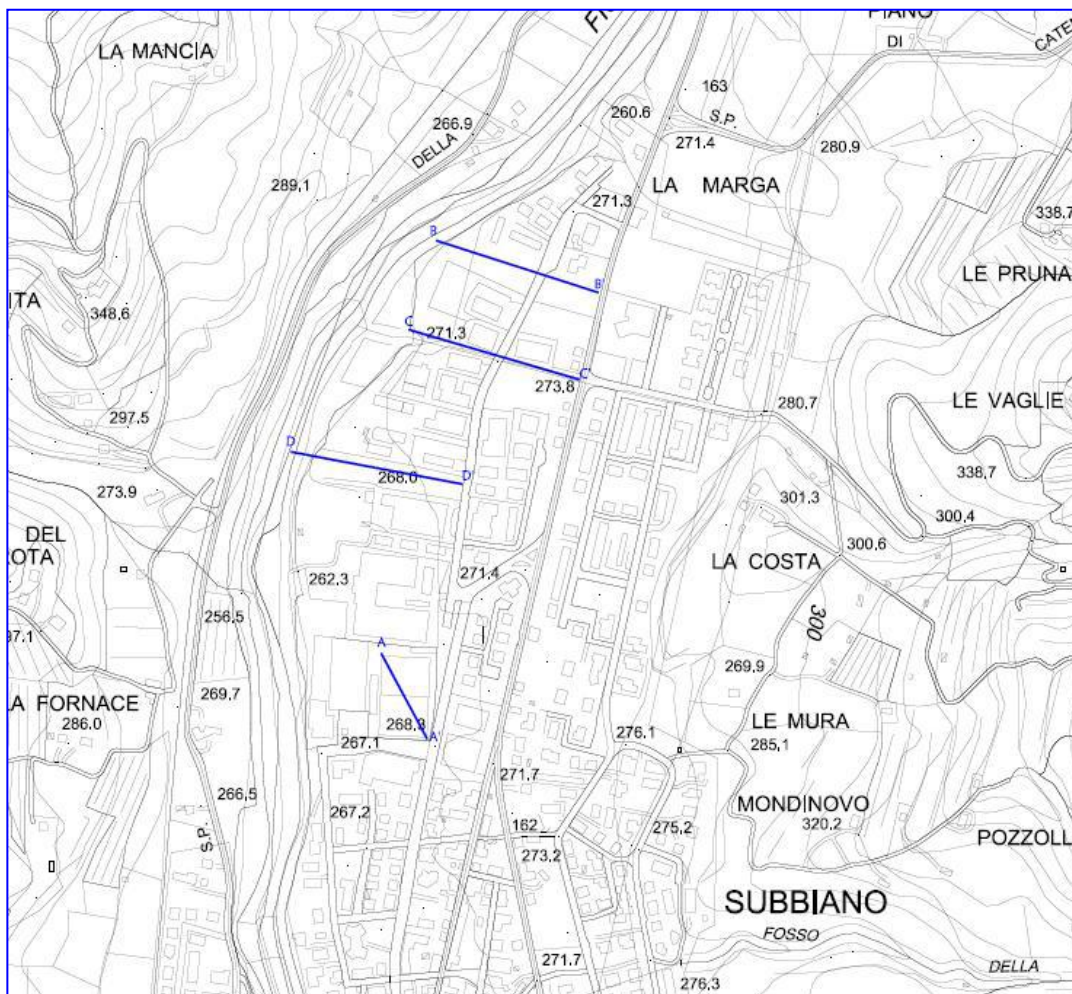
11.1 Capoluogo e Castelnuovo

L’area del Capoluogo e della attigua frazione di Castelnuovo, oggetto di studio di livello 3 di tipo monodimensionale, è costituita dalla stretta pianura alluvionale in sponda sinistra dell’Arno e dai primi rilievi collinari che bordano a est il fondovalle. I depositi alluvionali poggianti sul substrato roccioso, costituito dalle Arenarie del Falterona, presentano spessori in genere inferiori a 10 metri, per lo più a caratterizzazione geotecnica mista coesivo-granulare (tipologia SW nella carta geologico-tecnica, zona MOPS n.3, passante a SC - zona MOPS n.5 nella porzione sud-orientale).

Nelle aree collinari e pedecollinari affiora il substrato litoide (Arenarie del Falterona, LPS nella carta GT), talvolta sormontato da coltri detritiche o o eluvio-colluviali (GC nella carta GT, microzona n.8); in queste zone sono presenti anche alcune forme gravitative, per lo più quiescenti. Si segnalano anche - in corrispondenza delle zone di transizione tra pianura e collina - alcune coinoidi alluvionali dei torrenti che dai rilievi confluiscono in Arno in sponda sinistra (GM - zona n.7), con spessori generalmente fino a 10/15 metri.

Lo studio di MS3, di tipo monodimensionale, è stato preceduto da un approfondimento di indagine condotto attraverso n.4 stendimenti di tomografia elettrica bidimensionale (PSI-ERT1, PSI_ERT2,

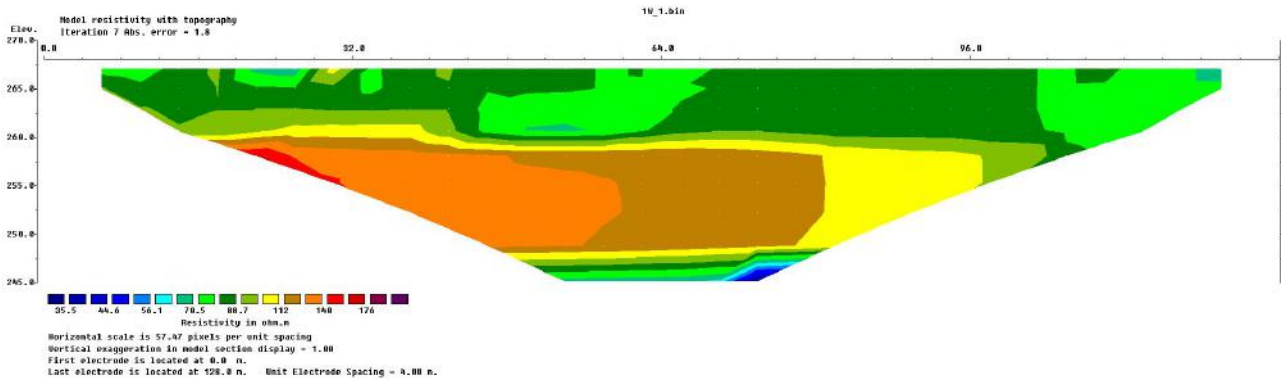
PSI_ERT3, PSI_ERT4), realizzati in accordo con il Settore Sismica di RT nella porzione settentrionale del Capoluogo, tra l'Arno e la SR142: qui infatti alcune indagini pregresse sembravano suggerire la presenza di uno spessore di alluvioni compreso tra 10 e 20 metri, quindi superiore al valore "tipico" del fondovalle dell'Arno in questa zona, sempre inferiore a 10 metri, con possibili conseguenze sulla valutazione del FA nell'analisi monodimensionale di RSL. L'ubicazione ha cercato, compatibilmente con le condizioni di accessibilità dell'area, di coprire tutta la zona potenzialmente interessata.



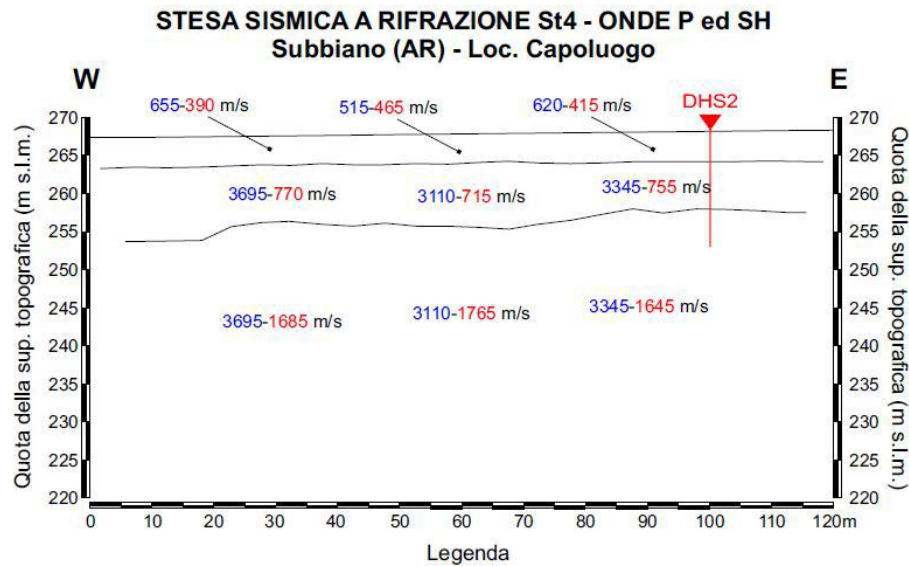
Ubicazione indagini tomografiche integrative propedeutico allo studio MS3

I risultati, rappresentati tramite sezioni di resistività, sono stati confrontati con altre indagini geologiche e sismiche di archivio presenti nelle vicinanze di ciascuno stendimento e vengono di seguito sinteticamente discussi.

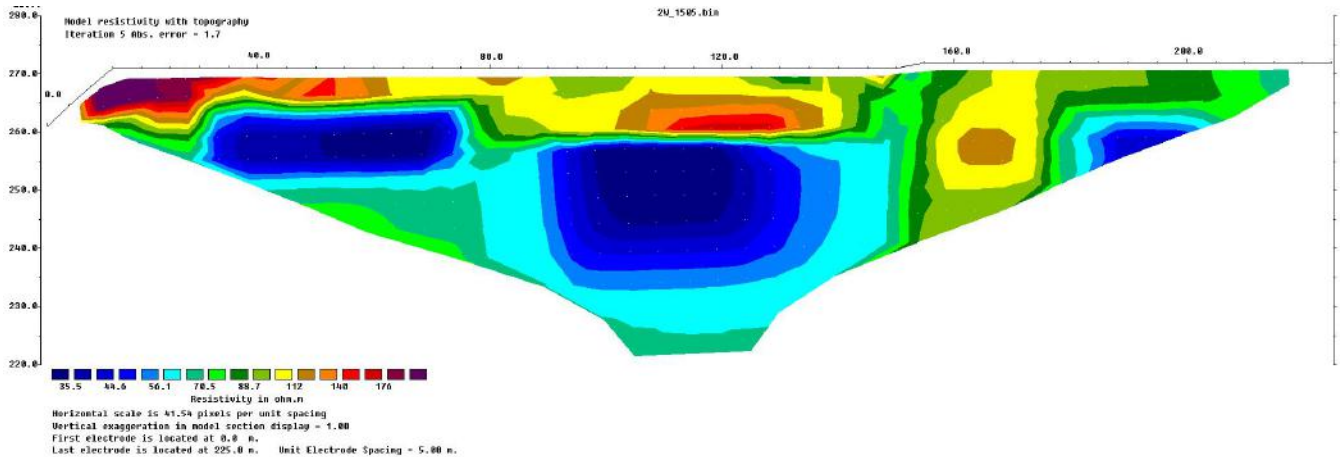
SEZIONE A-A' - "PSI_ERT1"



Gli spessori delle coperture sembrano sempre dell'ordine dei 10 metri. Il dato è confermato dal sondaggio limitrofo S2-DH2 Docup, in cui il tetto del substrato è posto a -5 da pc ed è costituito da circa 4 metri di argilliti seguite da arenarie FAL3. Sempre nelle vicinanze, la stesa PSH St4 Docup fa pensare che la parte alta del substrato, che come appena visto in quest'area risulta costituita da pochi metri di argilliti, abbia una risposta più lenta rispetto al substrato arenaceo e pertanto dia valori di Vs intermedi tra le alluvioni e le arenarie, con numeri da "quasi bedrock". Lo scarso spessore di questo livello di argilliti può forse spiegare perché l'analisi tomografica dello stendimento A-A' non riesca a differenziarlo rispetto al sottostante potente pacco arenaceo, molto più resistivo.



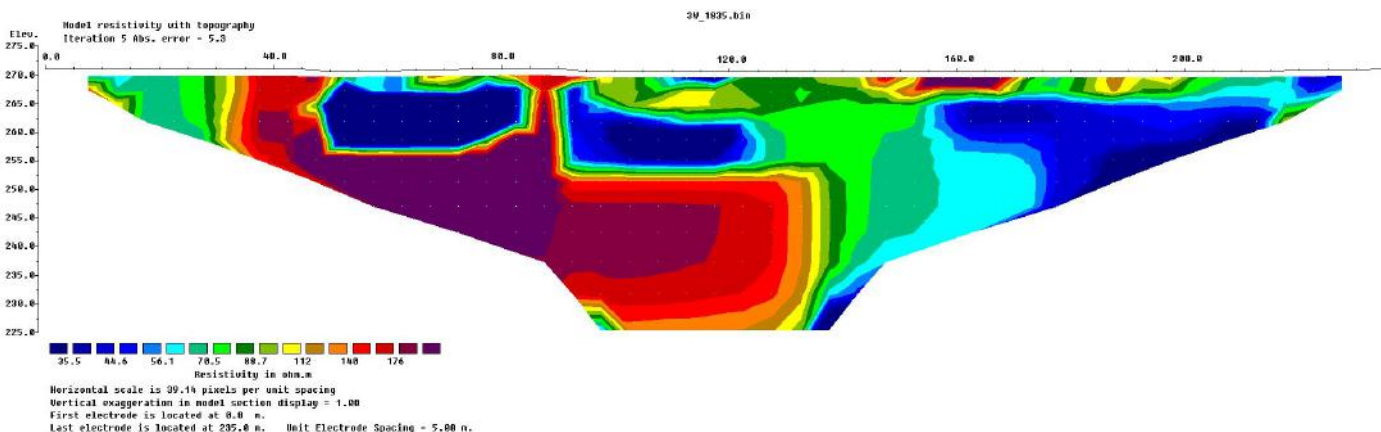
SEZIONE B-B' - "PSI_ERT2"



Anche qui gli spessori delle coperture alluvionali sembrano non superiori a 10 metri, ad eccezione della zona prossima all'alveo dell'Arno (estrema sinistra), con uno scalino ben evidente (progressiva 80) e altri due (prog. 150 e 180) incerti, di origine tettonica o forse simulati da una interferenza superficiale (i valori conduttivi si ritrovano all'estrema destra della sezione, alla stessa quota)

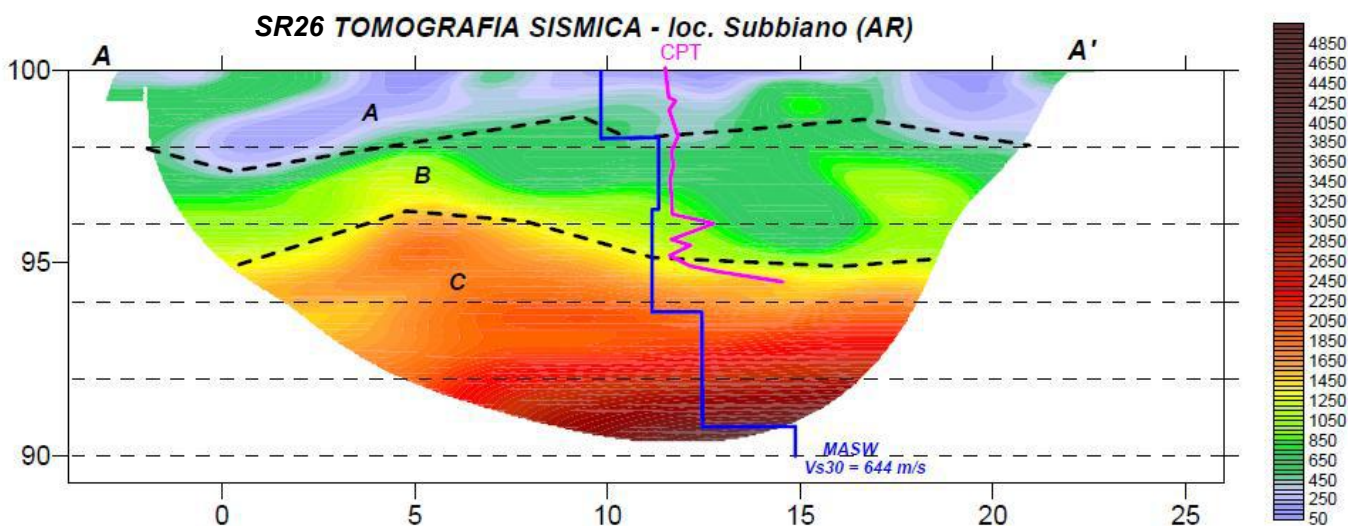
Un pozzo limitrofo (P24) mostra una stratigrafia in linea con lo stendimento: alluvioni di 12 metri seguite da 20 metri di argilliti, che possono essere quindi associate con l'orizzonte a bassa resistività della sezione B-B'.

SEZIONE C-C' - "PSI_ERT3"



Se l'interpretazione dei due precedenti stendimenti è corretta, in questa caso avremmo uno spessore molto ridotto di alluvioni, con eccezione del punto all'estrema sinistra (alveo dell'Arno), seguito da uno spessore modesto di argilliti (molto conduttive) e poi arenarie. Gli spessori di argilliti aumentano verso destra, forse anche grazie a un dislocamento alla progressiva 90 che corrisponderebbe a quello individuato nella sezione precedente.

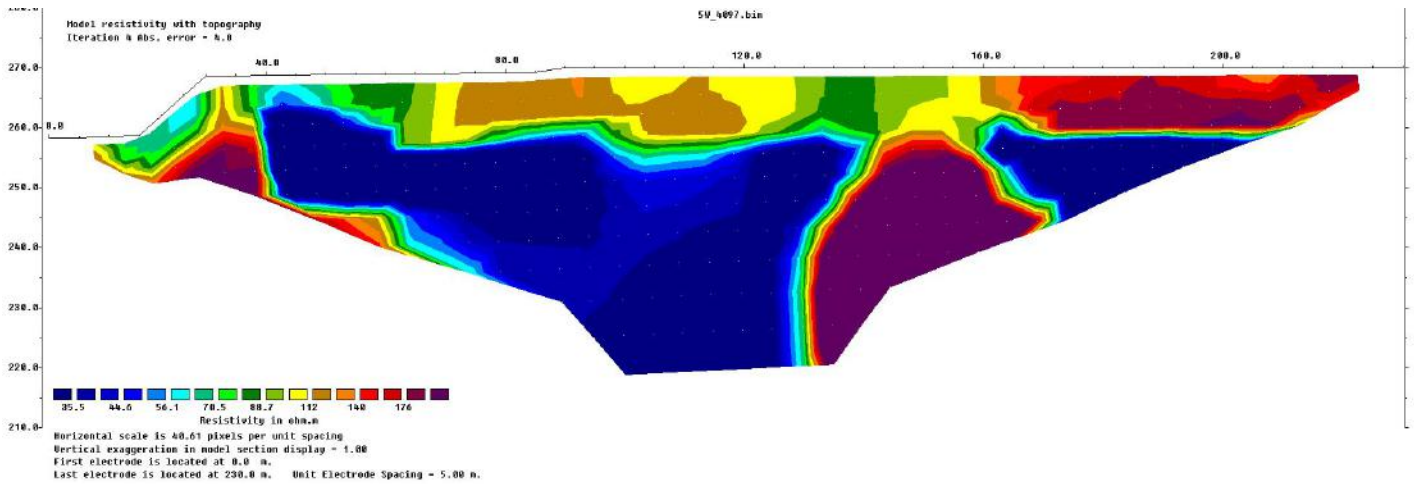
Nelle vicinanze i dati sono scarsi, con eccezione dello stendimento SR26 tratto dall'archivio comunale che però sempre confermare l'ipotesi appena descritta:



INTERPRETAZIONE PROFILO SISMICO

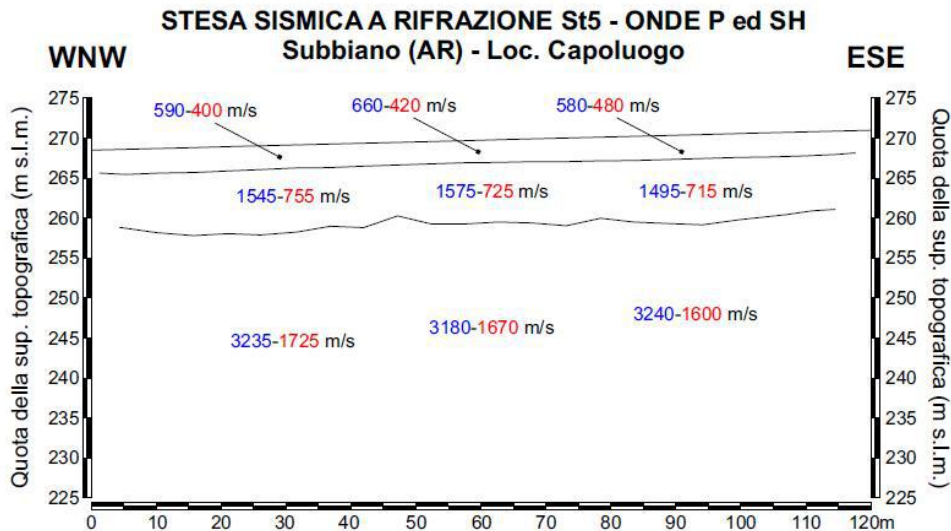
- A = litotipi completamente sciolti con $V_p < 500$ m/s
- B = substrato roccioso da molto a mediamente fratturato (500 m/s $< V_p < 1500$ m/s)
- C = tetto del substrato roccioso integro ($V_p > 1500$ m/s)

SEZIONE D-D' - "PSI_ERT4"



Anche in questo caso gli spessori di alluvioni restano intorno ai 10 metri, con eccezione della estremità sinistra (alveo); gli spessori di argilliti sembrano qui molto più importanti, con il gradino visto nelle sezioni precedenti forse individuabile alla progressiva 40. Resta anche qui non chiara l'anomalia di alta resistività al centro della sezione, nel substrato.

La sezione è prossima allo stendimento Docup St5:



In conclusione, l'ipotesi di spessore alluvionale localmente compreso tra 10 e 20 metri non sembra confermata dagli approfondimenti eseguiti, bensì forse frutto di una cattiva interpretazione preliminare del dato sismico che ha portato a valutare un livello intermedio più veloce come alluvioni granulari invece che come argilliti al tetto del substrato. Queste argilliti hanno spessori molti bassi nella parte sud (sezione A-A', circa 4 metri) ma aumentano verso nord, forse favoriti dall'inclinazione del tetto del substrato e/o da fenomeni tettonici localizzati.

Il modello sismostratigrafico così definito è stato assunto per l'analisi di RSL dello studio MS3, arrivando a individuare 2 microzone di terzo livello (MICROZONA C e D) afferenti alle coperture sciolte poggianti sul substrato, entrambe con amplificazione modesta ($FA_{0105} < 1.3$).

		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSA001	1,00	1,00	1,00
Microzona B	PSA002	1,20	1,20	1,20
Microzona C	PSA003	1,10	1,02	1,01
Microzona D	PSA004	1,3	1,05	1,02

Fattori di amplificazione per la zona di Subbiano e Castelnuovo

11.2 Santa Mama

L'abitato di Santa Mama, posto al confine settentrionale del comune lungo il corso dell'Arno, si sviluppa in un contesto di ridottissima pianura alluvionale al contatto con i rilievi collinari presenti in sponda sinistra, ad acclività da media ad elevata, costituiti per lo più dal membro di Montalto delle Arenarie del Falterona costantemente coperto da una coltre detritica superficiale di spessore sismicamente significativo (microzona n.8), rilevata anche dai valori di f_0 nelle misure HVSR. A nord del paese si rilevano anche affioramenti argillitico-siltitici (Formazione del Sillano) e di torbiditi calcaree (Formazione di M.Morello). Il fondovalle alluvionale si allarga in modo significativo procedendo verso nord grazie ad un'ampia ansia dell'Arno: gli spessori dei depositi (SW in carta CG) individuati tramite indagini geofisiche di superficie e misure di microtremore sismico sono variabili da 3 fino a circa 20 metri, andando a costituire un'eccezione nel generale modello stratigrafico del territorio di Subbiano dove, come discusso in precedenza, gli spessori alluvionali sono per lo più compresi entro i 10 metri. Viene pertanto introdotta per quest'area la microzona n.4 (codice 2004) per depositi sciolti di potenza compresa tra 10 e 20 metri su substrato roccioso, individuati in una ristretta fascia al centro del paese in adiacenza al corso d'acqua. Nell'analisi RSL per MS3, questa importante particolarità del modello sismostratigrafico porta a attribuire all'area di Santa Mama due microzone di terzo livello (D e E) per quanto riguarda le coperture poggianti su substrato roccioso: nel caso della microzona E, corrispondente a spessori di depositi fluviali superiori a 10 metri, i valori di amplificazione nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 sec risultano significativi ($FA_{0105}=1.5$). Da segnalare come proprio in questa zona si assista alla più rilevante discrepanza tra risultati della modellazione RSL dello studio MS3 e l'applicazione degli abachi svolta per lo studio MS2, che assegnerebbe alla zona un valore di amplificazione addirittura pari a $FA_{0105}=1.7$.

		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSAO01	1,00	1,00	1,00
Microzona B	PSAO02	1,20	1,20	1,20
Microzona D	PSAO04	1,3	1,05	1,02
Microzona E	PSAO05	1,50	1,09	1,04

Fattori di amplificazione per la zona di Santa Mama

11.3 Calbenzano

La zona di Calbenzano è inserita in un contesto generale del tutto analogo a quello delle altre frazioni site lungo il fondovalle del fiume Arno: presenza di depositi alluvionali di modesto spessore sovrastanti roccia arenacea, che affiora nei limitrofi rilievi collinari. La particolarità della zona, che influenza in modo significativo lo studio RSL, è la presenza di una conoide fluviale di modesta estensione ma spessori significativi, generata dal Rio Talla in corrispondenza del suo innesto nel fondovalle dell'Arno: i terreni granulari associati (GM nella carta geologico-tecnica, microzona n.7) hanno spessori superiori a 10 metri (dato confermato da indagini sismiche).

Nell'analisi RSL per MS3, questa importante particolarità del modello sismostratigrafico porta a individuare nell'area di Calbenzano tre microzone di terzo livello (D, E, F) per quanto riguarda le coperture poggianti su substrato roccioso: in particolare la microzona F è assegnata all'area di conoide, con i massimi valori di amplificazione di tutto il territorio comunale nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 sec (FA0105=1.55).

		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSAO01	1,00	1,00	1,00
Microzona B	PSAO02	1,20	1,20	1,20
Microzona D	PSAO04	1,3	1,05	1,02
Microzona E	PSAO05	1,50	1,09	1,04
Microzona F	PSAO06	1,55	1,27	1,12

Fattori di amplificazione per la zona di Calbenzano

11.4 Fondovalle Torrente Chiassa

Il Torrente Chiassa segna il confine comunale di Subbiano a sud; il ristretto fondovalle - in comune con Arezzo - vede modesti spessori di depositi alluvionali prevalentemente granulari (SW in carta GT, microzona n.3) poggianti su substrato arenaceo (Membro di Montalto e Membro di Camaldoli delle Arenarie del Falterona). Quest'ultimo va a costituire i rilievi che bordano la vallecchia, con pendici ad acclività spesso superiore a 15°.

I rilievi svolti sul posto e le indagini sismiche eseguite confermano la presenza - già individuata dalla MS1 - di coperture detritiche superficiali su gran parte dei versanti e di alcuni corpi di frana sia attivi che quiescenti.

L'analisi di RSL svolta per MS3 assegna l'area a due microzone di terzo livello (D e E) per quanto riguarda le coperture poggianti su substrato roccioso: i valori di amplificazione più alti nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 sec risultano quelli associati alla microzona E (FA0105=1.5), che nel caso in esame interessa la fascia alluvionale di Chiaveretto e l'area in dissesto a nord-est di Ca' di Buffa.

		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	PSA001	1,00	1,00	1,00
Microzona B	PSA002	1,20	1,20	1,20
Microzona D	PSA004	1,3	1,05	1,02
Microzona E	PSA005	1,50	1,09	1,04

Fattori di amplificazione per la zona del Torrente Chiassa

11.5 Falciano

La zona di Falciano è stata oggetto di approfondimento di livello 2; la frazione è posta in una zona collinare in cui affiorano le Arenarie del Monte Falterona (membro di Montalto) al contatto con le Marne di Vicchio: quest'ultime, in virtù dei valori di Vs inferiori al valore soglia di 800 m/s, risultano suscettibili di amplificazione con FA0105=1.4. In estese porzioni della zona studiata il substrato litoide risulta coperto da una coltre detritica di spessore variabile da pochi metri (microzona n.8) a fino a quasi 30 metri (microzona n.9). Nel primo caso lo studio MS2 assegna valori di FA0105=1.4, nel secondo caso FA0105=1.5.

11.6 Giuliano-Barbagliena

Si tratta di una estesa area collinare ubicata immediatamente a nord-ovest di Falciano, caratterizzata per lo più da case sparse e agglomerati rurali. Lo studio di microzonazione ha raggiunto il livello 2; sia il modello che i risultati ottenuti in termini di distribuzione dei fattori di amplificazione sono analoghi a quelli precedentemente descritti per Falciano, con spessori di coperture detritiche sciolte superficiali sempre inferiori a 10 metri (microzona n.8) poggianti su bedrock sismico arenaceo generalmente stabile. Tali coltri risultano per lo più ai limiti dell'equilibrio e sono segnalati pertanto - soprattutto nella zona nord-occidentale ed al margine meridionale - numerosi corpi franosi per scivolamento, sia attivi che quiescenti.

11.7 Vogognano

Anche la zona di Vogognano è stata oggetto di approfondimento di livello 2; la frazione è posta in una zona alto-collinare e pendenze da medie ad elevate in cui affiorano le Arenarie del Monte Falterona (membro di Camaldoli) che pertanto in alcune limitate aree assumono caratteri di suscettibili all'amplificazione topografica (microzona n.1 per pendenze $>15^\circ$). In estese porzioni della zona studiata il substrato litoide risulta coperto da una coltre detritica di spessore inferiore a 10 m (microzona n.8) a cui lo studio MS2 assegna valori di FA0105=1.4.

11.8 Poggio d'Acona

A Poggio d'Acona, frazione alto-collinare approfondita con MS2, si trova il contatto tettonico tra Membro di Montalto e Membro di Camaldoli delle Arenarie del Falterona: per entrambi i litotipi le indagini sismiche accertano il comportamento da bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s), ad eccezione di alcune aree in cui la roccia risulta intensamente fratturata ed alterata (microzona 2099) ed al limite dell'equilibrio, con segnalazione di stato di dissesto per scivolamento in alcuni casi attivo in altri casi quiescente. Nella porzione centrale della zona studiata, a sud del centro abitato, il substrato litoide risulta coperto da una coltre detritica di spessore inferiore a 10 m (microzona n.8) a cui lo studio MS2 assegna valori di FA0105=1.4.

11.9 Frazioni minori

Le rimanenti frazioni minori - tutte site in contesto di alta collina - sono state studiate esclusivamente con livello 1. Le informazioni sulla possibile amplificazione sismica sono pertanto di tipo qualitativo e si limitano a distinguere aree stabili, in cui affiora il bedrock sismico, da aree suscettibili di amplificazione: quest'ultime possono essere correlate a condizioni locali di substrato affiorante su pendenza elevata (zona MOPS n.1), a substrato affiorante con caratteristiche scadenti di risposta sismica individuate mediante indagini geofisiche (zona MOPS n.2: è il caso di affioramenti argillitici o marnosi) e infine a contrasti di impedenza sismica tra coperture detritiche superficiali e sottostante substrato roccioso (zone MOPS n.8 e n.9). Nel dettaglio:

- Le Greti: affioramenti diffusi di Formazione del Sillano (microzona n.2, ALS nella carta GT, stabile suscettibile di amplificazione stratigrafica a causa di valori di $V_s < 800$ m/s);
- Le Lame: zona stabile (substrato arenaceo affiorante) caratterizzata però da un esteso corpo di frana quiescente per scivolamento;
- Il Rio-Agnano: zona stabile con substrato arenaceo affiorante, talvolta suscettibile di amplificazione topografica per pendenze $>15^\circ$;

- Palbena: zona stabile con substrato arenaceo affiorante, talvolta suscettibile di amplificazione topografica per pendenze $>15^\circ$; a sud della frazione è presente un corpo di frana per scivolamento in stato quiescente;
- Montecchio: tutta l'area, pur essendo caratterizzata da roccia affiorante e subaffiorante, risulta suscettibile di amplificazione a causa delle pendenze locali $>15^\circ$ (microzona n.1) o della presenza di litotipi con velocità delle onde S inferiori a quelle caratteristiche del bedrock sismico (microzona n.2, ALS nella carta GT);
- Cardeto: zona stabile con substrato arenaceo affiorante, talvolta suscettibile di amplificazione topografica per pendenze $>15^\circ$;
- Fighille: l'area intorno al picco nucleo di Fighille è posta su substrato roccioso arenaceo affiorante, pertanto sismicamente stabile o suscettibile di amplificazione topografica laddove l'acclività del versante supera i 15° (zona MOPS n.1); l'elemento maggiormente rilevante in termini di possibili effetti sismici è la presenza di due corpi di frana quiescenti di estensione significativa, anche se probabilmente di modesta profondità, che possono essere oggetto di riattivazione in caso di sollecitazione dinamica: uno di essi va anche a interessare parte dell'abitato.

Firenze, luglio 2022

Dott. Geol. Nicolò Sbolci

ALLEGATO

Certificazione delle indagini geofisiche e geoelettriche (a cura di TRIGEO snc)

Misure di microtremore sismico a stazione singola - elaborazione HVSR

RELAZIONE TECNICA

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO 2, PIANO INTERCOMUNALE CAPOLONA-SUBBIANO (AR)

“INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE MEDIANTE METODOLOGIA MASW E CALCOLO Vs,Eq D.M. 17/01/2018 LINEA PSI_MASW 2”

TRIGEO snc
di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

FIRENZE
Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO
Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE :



04 - DICEMBRE - 2020



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/Fax: 0575 294500 - 055 9082212
Cell: 339 2288117 - 338 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE MASW	7
4.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE MASW	9
ALLEGATI	12

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Novembre 2020 mediante metodologia MASW in **Loc. Spedaletto**, nel comune di **Subbiano (AR)**, a supporto dello studio di Microzonazione Sismica livello 2 del Piano Intercomunale Capolona-Subbiano (**Fig.1**).



Figura 1: Aree d'intervento : PSI_MASW 2 – Loc. Spedaletto – Subbiano (AR).

L'elaborazione mediante metodologia MASW permette di ottenere sui primi 30 m le cosiddette VS,eq, così come richiesto dal D.M. 17/01/2018 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

La relazione tecnica è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale in scala 1:10.000 (su CTR 1:10.000) del profilo sismico **PSI_MASW 2** con relative coordinate WGS84.
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **PSI_MASW 2**, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate.
- **Tavola 03:** presentazione della curva di dispersione e del profilo verticale V_s , risultati dell'elaborazione tramite il programma WinMasw Academy 2018.
- Schema linea sismica
- RegISTRAZIONI di campagna

1.0 SCHEMA OPERATIVO

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di **4 m** per la linea **PSI_MASW 2**, dove sono stati acquisiti complessivamente **92 m** di rilievo (**Fig.2**).

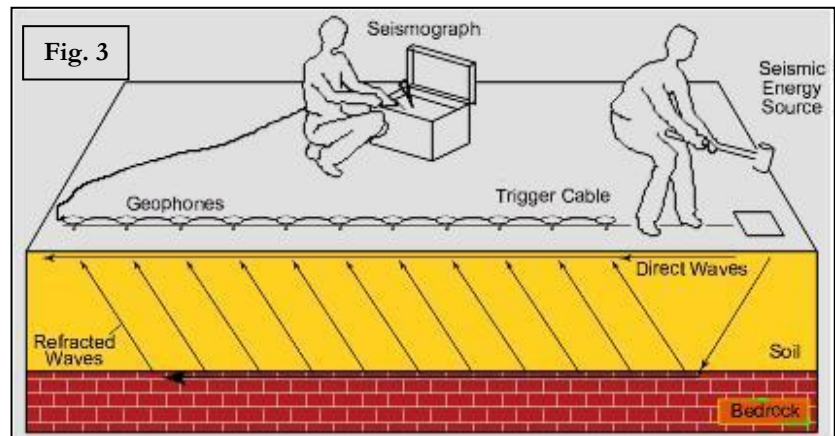


Figura 2: Fase di acquisizione PSI_MASW 2 – Loc. Spedaletto – Subbiano (AR).

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

• INDAGINE SISMICA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei



terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 3**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: A/D Conversion: 24 bit; Dynamic Range: 144 dB; Distortion: 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz; Common Mode Rejection: > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; Crosstalk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; Noise Floor: 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval; Maximum Input Signal: 2.8 VPP; Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 uf; Preamplifier Gains; Anti-alias Filters: -3 dB at 83% of Nyquist frequency; Sample Interval: 0.02 to 16.0 ms; Record Length: 16,000 samples; Acquisition and Display Filters: *LowCut, Notch, HighCut*; Data Formats: SEG-2 standard with SGOS.

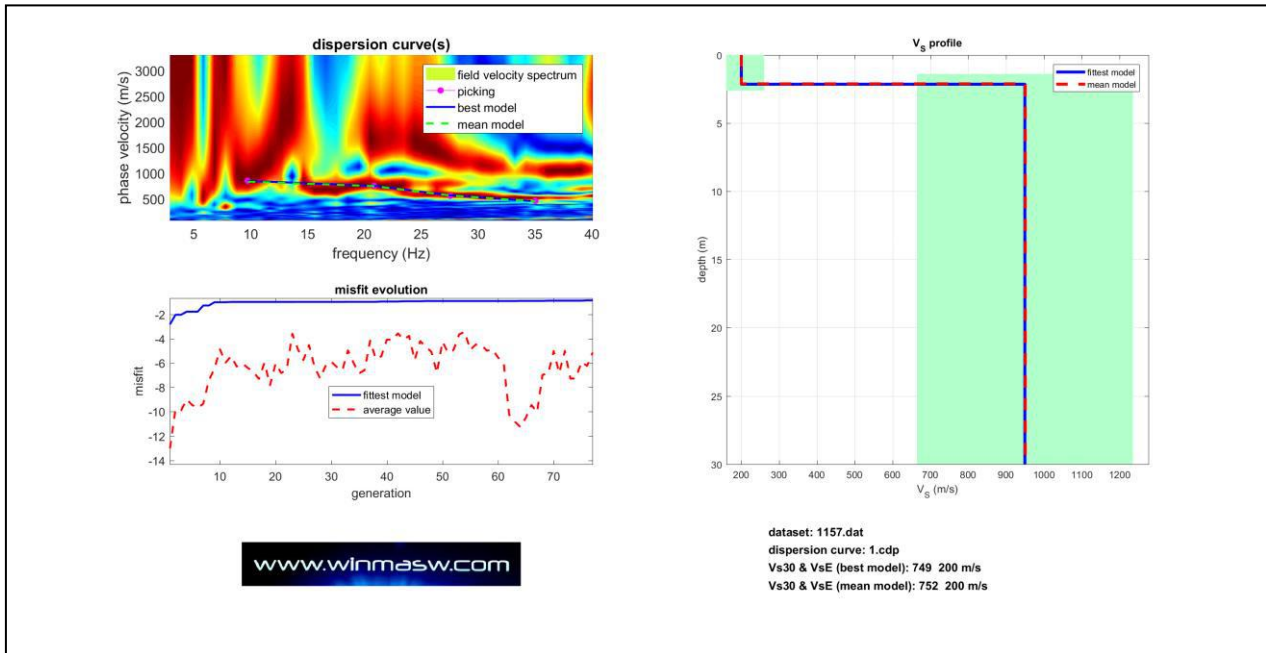
Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5-10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali.

Il metodo **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio orizzontali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo *attivo* e metodo *passivo* (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo *attivo* utilizzato nel presente lavoro le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo *passivo* lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 m-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il software utilizzato nel presente lavoro è il WIN-MASW 2018 Academy della Eliosoft.

3.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

Per il calcolo del modello di velocità (onde SH), ottenuto da WinMasw, sono state usate informazioni geologiche delle aree circostanti; Vengono di seguito riportati i risultati:



W1: data uploading & processing

dataset: 1157.dat
 sampling: 0.125ms (8000Hz) - 10000 samples
 minimum offset: 2 m
 geophone spacing: 4 m

W2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, MFA, ESAC & ReM) analyses

compute velocity spectrum
 phase velocity group velocity show reliability linear-linear

handling the spectra
 explore spectrum mode separation

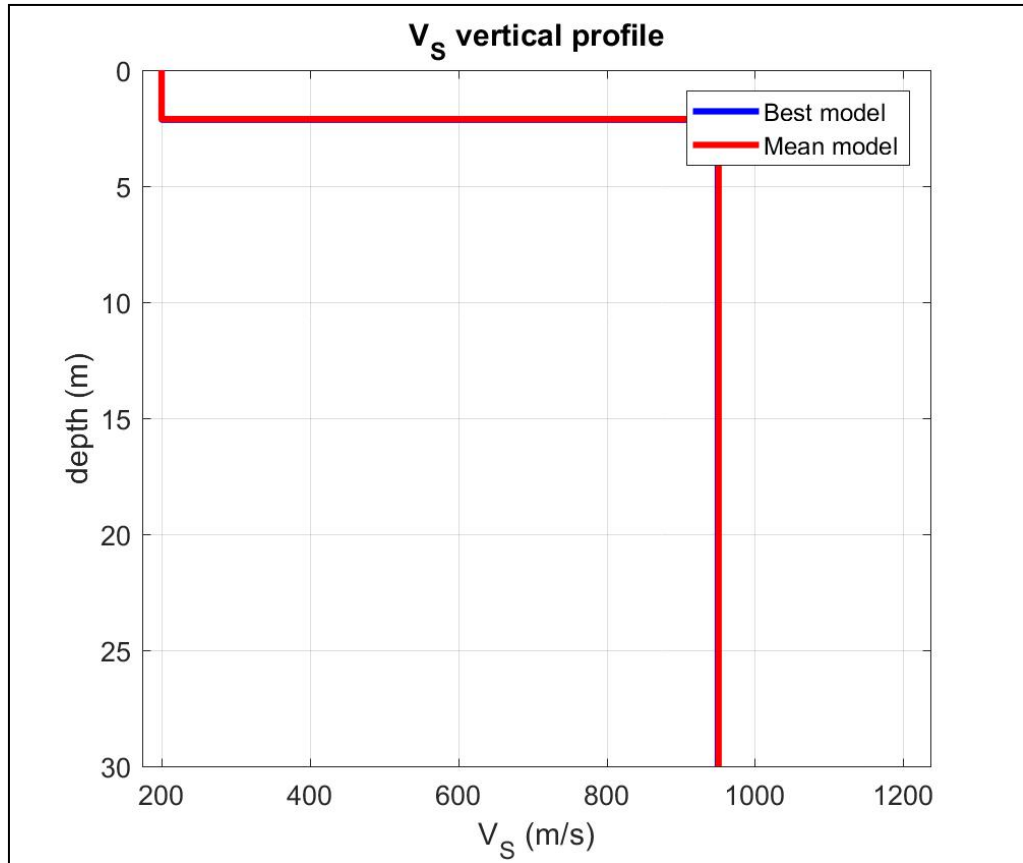
save | upload | merge

modelling

Vs	Cs	Poisson	thickness
200	19	0.55	2
800	16	0.17	190
1200	19	0.15	0
0	24	0.35	0
0	28	0.31	0
0	31	0.35	0
0	38	0.35	0
0	50	0.3	0
0	100	0.25	0
0	150	0.2	0
0	200	0.15	0
0	300	0.12	0

general setting
 reference depth Refraction
 HV (body waves)
 HV (surface waves)

reporting
 reflector (passive)
 max depth report DC report SS



Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	200	2.1406	2.1406
2	950	70.0804	72.2210
3	1544	0	0

4.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE MASW

L'indagine mediante MASW fornisce lo spettro delle velocità, all'interno del quale viene eseguito il picking. La curva di dispersione ottenuta consente di estrapolare il modello di velocità (V_s) riportato nella Tavola 03 fornisce i valori di velocità delle onde di taglio ai fini della classificazione del sottosuolo secondo la V_s equivalente così come richiesto dalle nuove NTC 2018 dm.17/01/2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali, è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta delle fondazioni.

Per depositi con profondità H del substrato 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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Le “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” definiscono 5 tipologie di suoli principali:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Sulla base delle caratteristiche litologiche, ma soprattutto sulla base dei valori di velocità ottenuti è stato possibile definire i valori di **V_{s,eq}** media per l’area in oggetto:

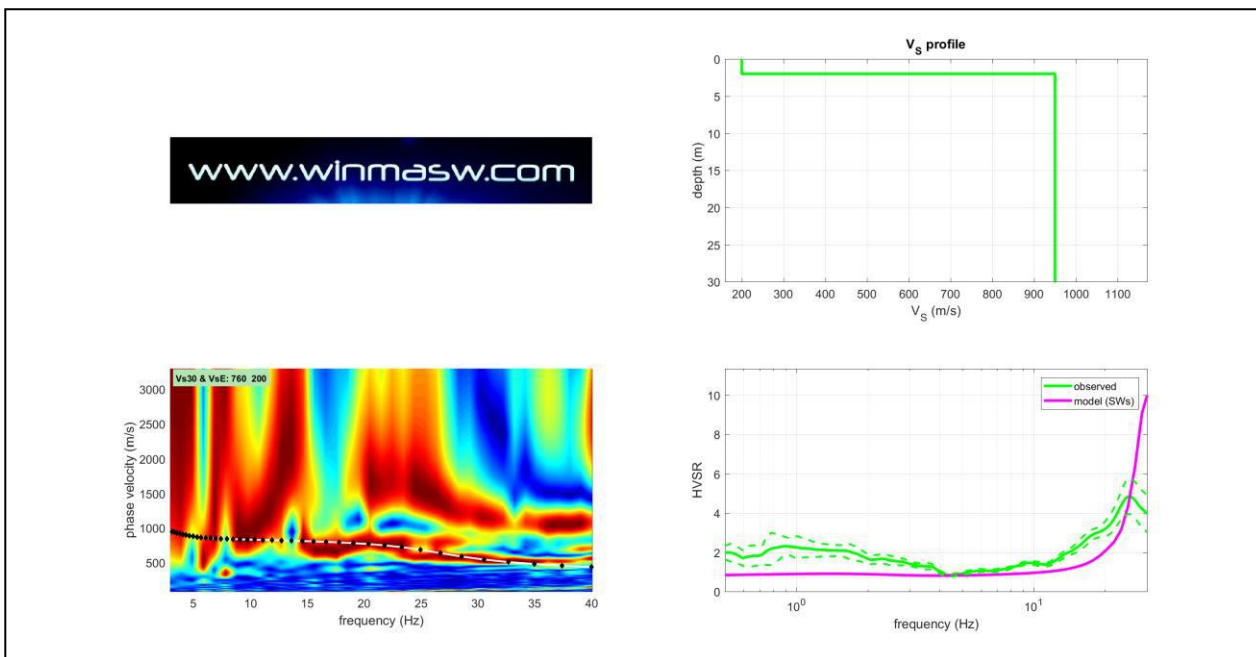
$$V_{s,eq} = 200 \text{ m/s}$$

La **V_{s,eq}** così calcolata rappresenta un’assunzione cautelativa, poiché calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni.

In questa sede è preferibile non specificare la categoria di suolo di fondazione, non essendo a conoscenza delle caratteristiche fondali dell’intervento in oggetto.

Sarà quindi il tecnico incaricato a fare le considerazioni adeguate, in base alle informazioni ricavate da questa indagine (spessori e velocità dei singoli strati) ed in funzione del sistema fondale.

E' stata inoltre eseguita un'analisi congiunta con una misura di rumore sismico a stazione singola HVSR, effettuato nella stessa area, che ha fornito i seguenti risultati:



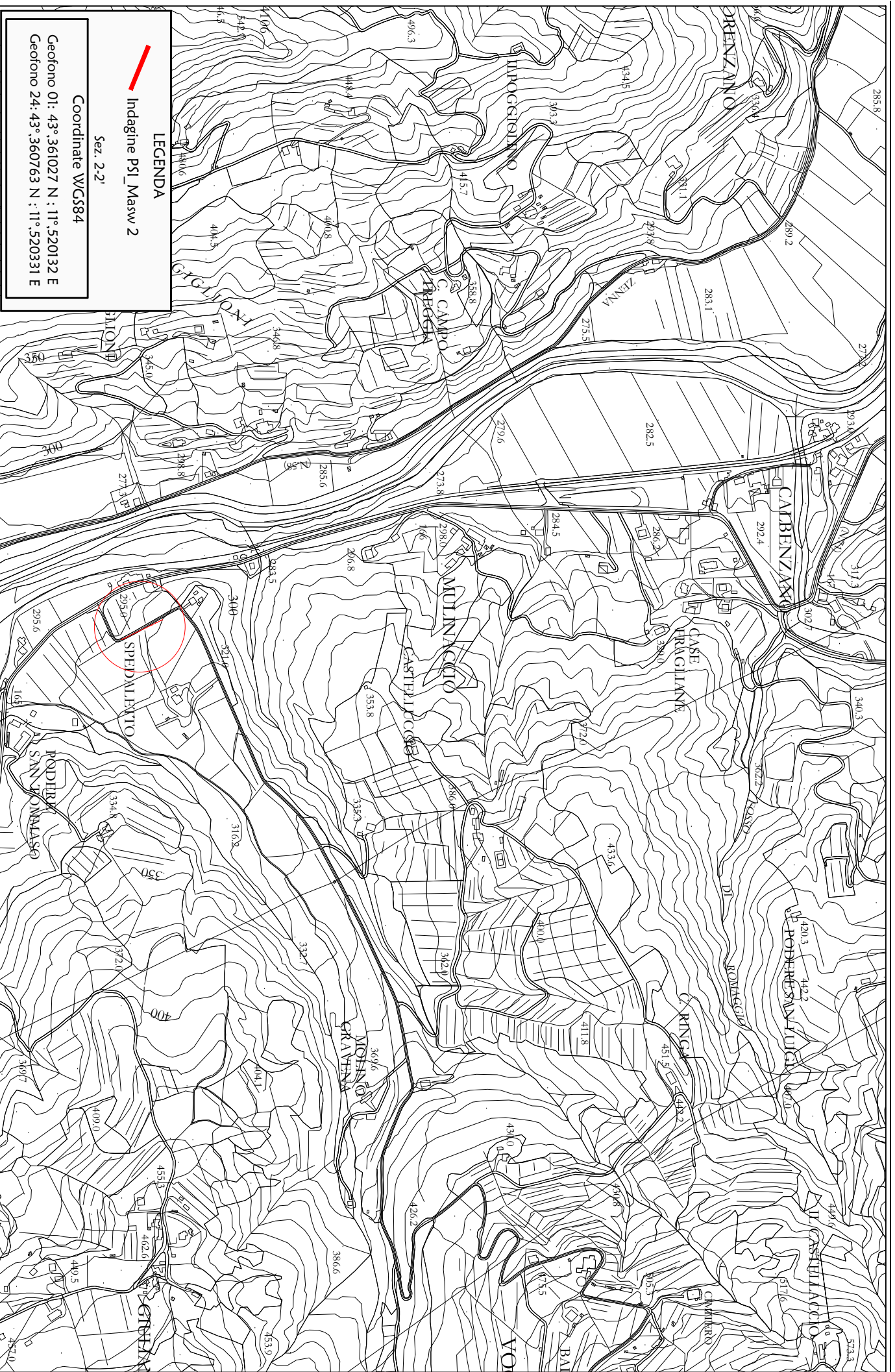
Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	200	2	2
2	950	100	102
3	1200	0	0


Arezzo, li 04/12/2020

TRIGEO s.n.c.
 di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
 P.IVA 02024110518
 Tel/Fax: 0575 294300 - 055 9062212
 Cell: 339 2288117 - 398 7218928
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA

 Indagine PSI_Masw 2

Sez. 2-2'

Coordinate WGS84

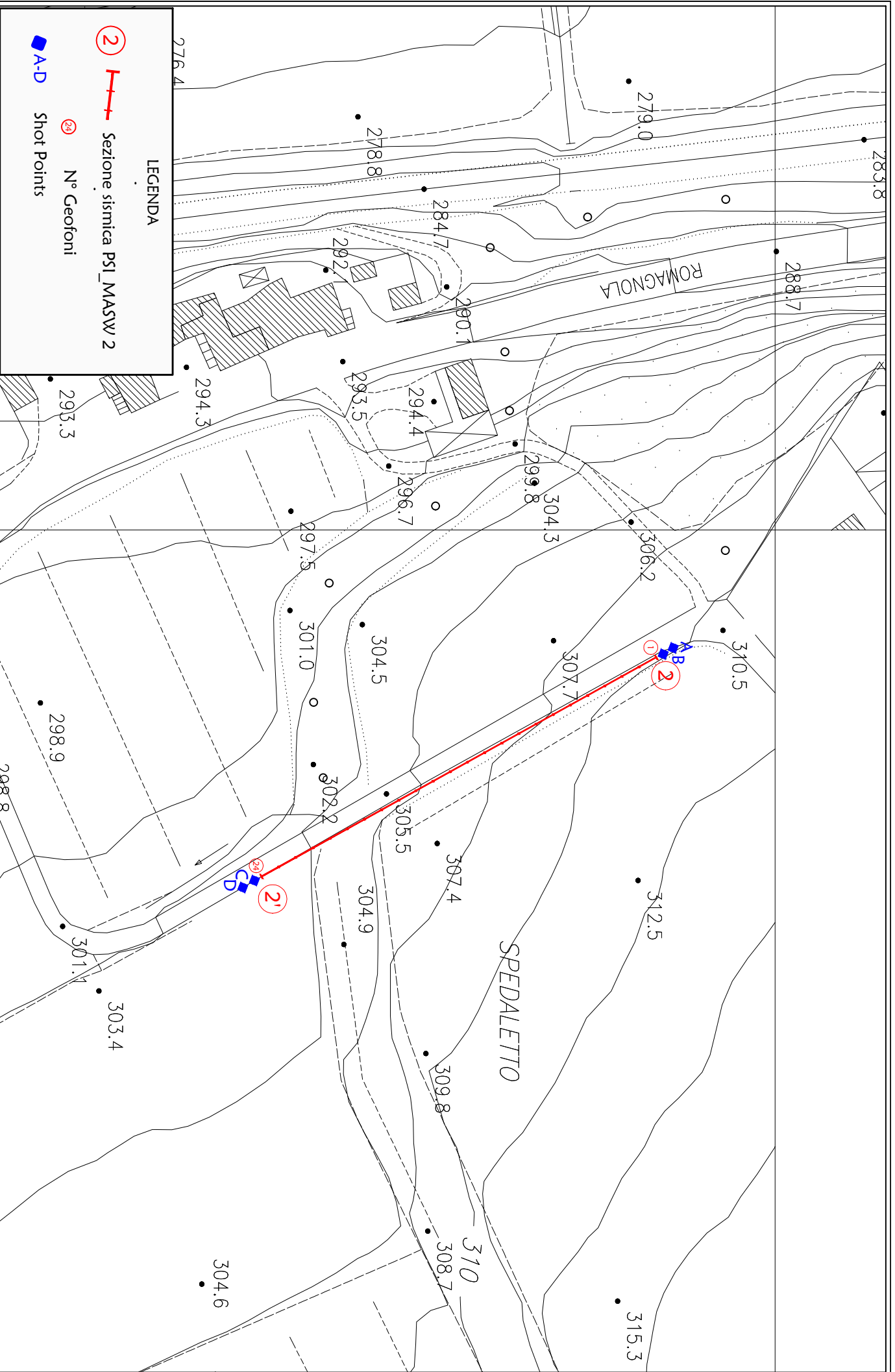
Geofono 01: 43° 36'027 N : 11° 52'0132 E
Geofono 24: 43° 36'0763 N : 11° 52'0331 E

Scala 1: 10.000

Novembre 2020

Tavola 01 - Planimetria generale - PSI_MASW 2 - Loc. Spedaletto - Subbiano (AR)

TRI+GEO



LEGENDA

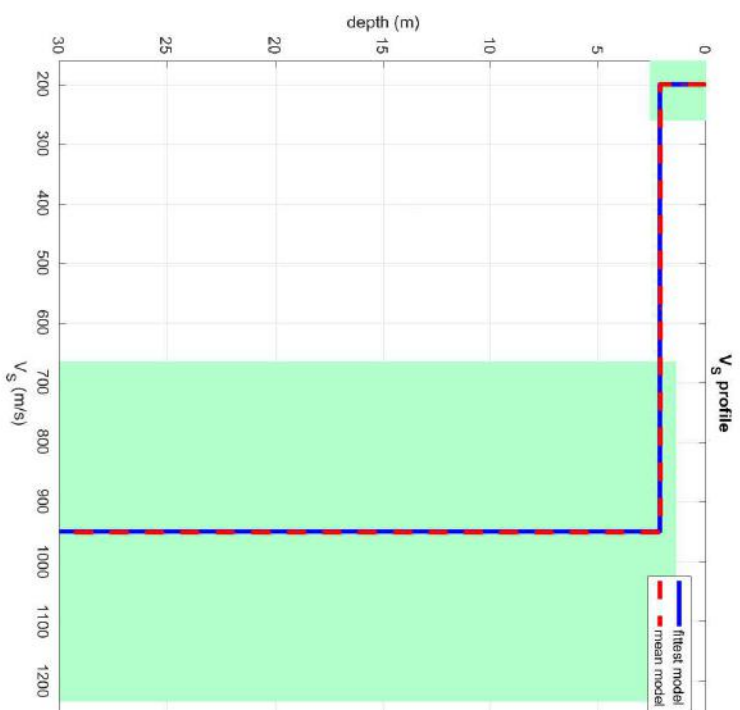
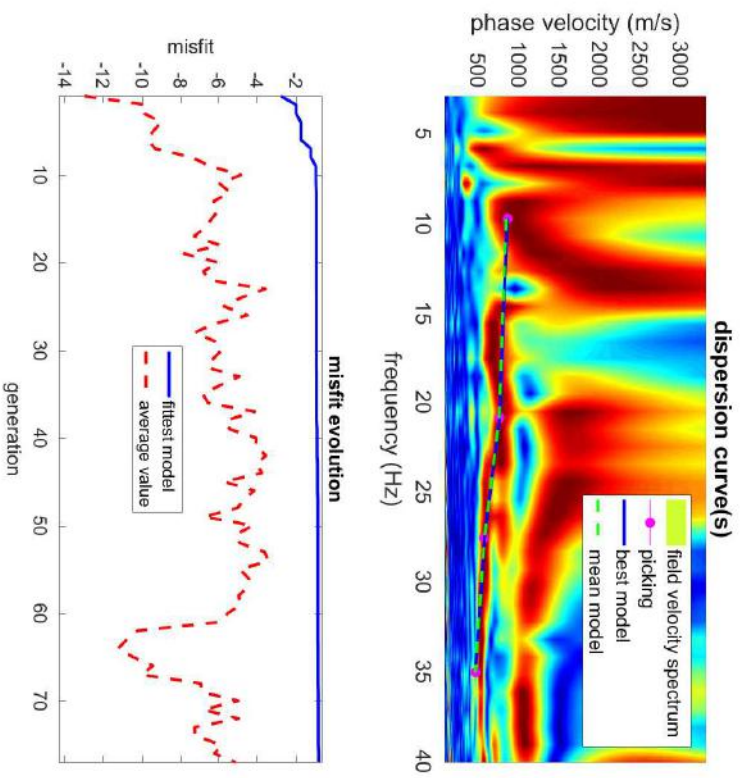
- ② —+— Sezione sismica PSI_MASW 2
- Ⓢ N° Geofoni
- A-D Shot Points

Scala 1: 1.000

Novembre 2020

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - PSI_MASW 2 - Loc. Spedaletto - Subbiano (AR)

TRI+GEO



dataset: 1157.dat
 dispersion curve: 1.cdp
 Vs30 & VSE (best model): 749 200 m/s
 Vs30 & VSE (mean model): 752 200 m/s

www.wijnmasw.com

SCHEMA DELLA LINEA PSI_MASW 2

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	4.00	310
2	4	4.00	309.7
3	8	4.00	309.4
4	12	4.00	309.1
5	16	4.00	308.8
6	20	4.00	308.5
7	24	4.00	308.2
8	28	4.00	307.9
9	32	4.00	307.6
10	36	4.00	307.3
11	40	4.00	307
12	44	4.00	306.7
13	48	4.00	306.4
14	52	4.00	306.1
15	56	4.00	305.8
16	60	4.00	305.5
17	64	4.00	305.2
18	68	4.00	304.9
19	72	4.00	304.6
20	76	4.00	304.3
21	80	4.00	304
22	84	4.00	303.7
23	88	4.00	303.4
24	92	4.00	303.1

COORDINATE WGS84 DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	43°,361027	43°,360763
Y(m)	11°,520132	11°,520331

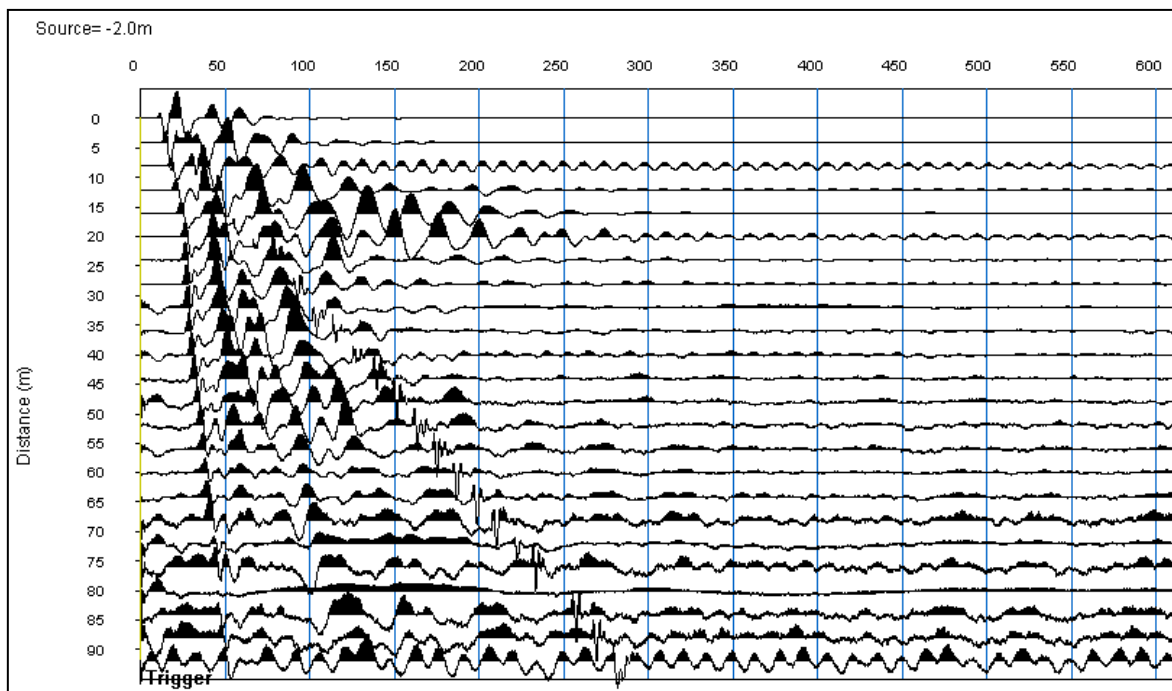
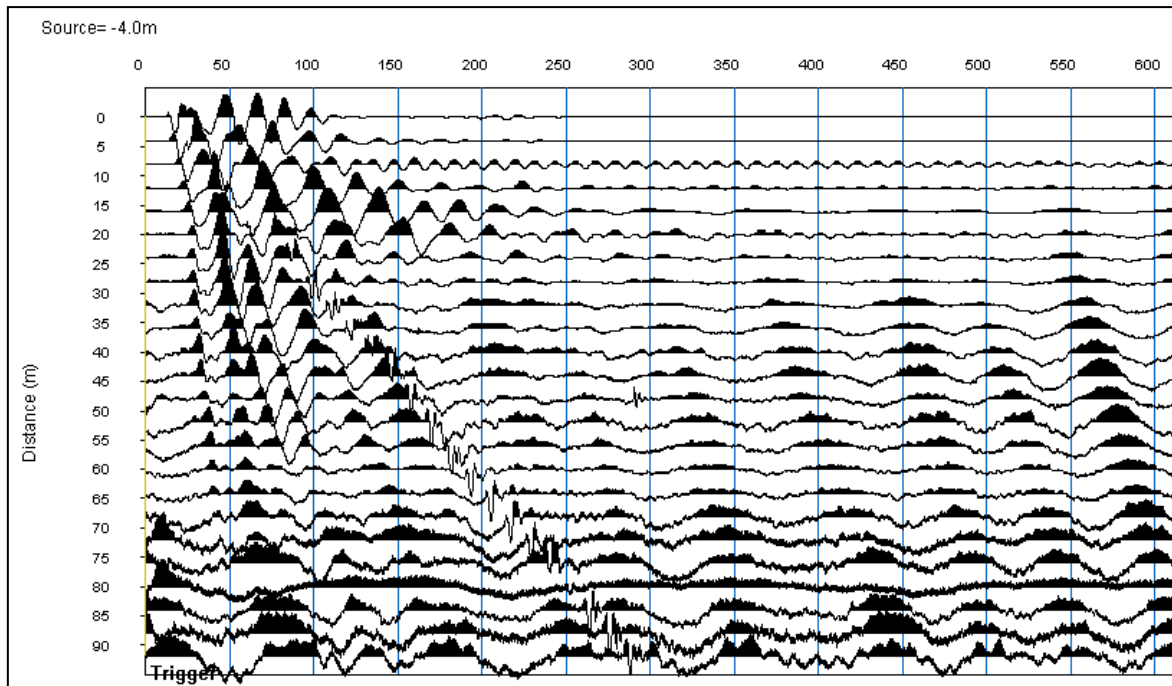
PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

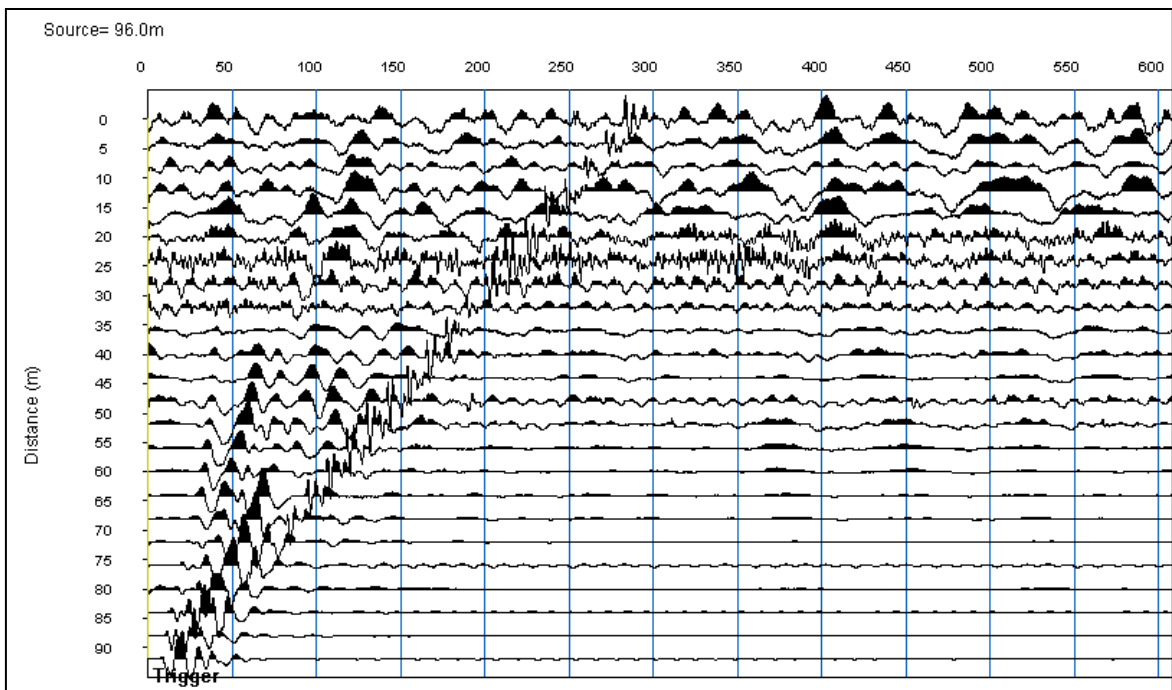
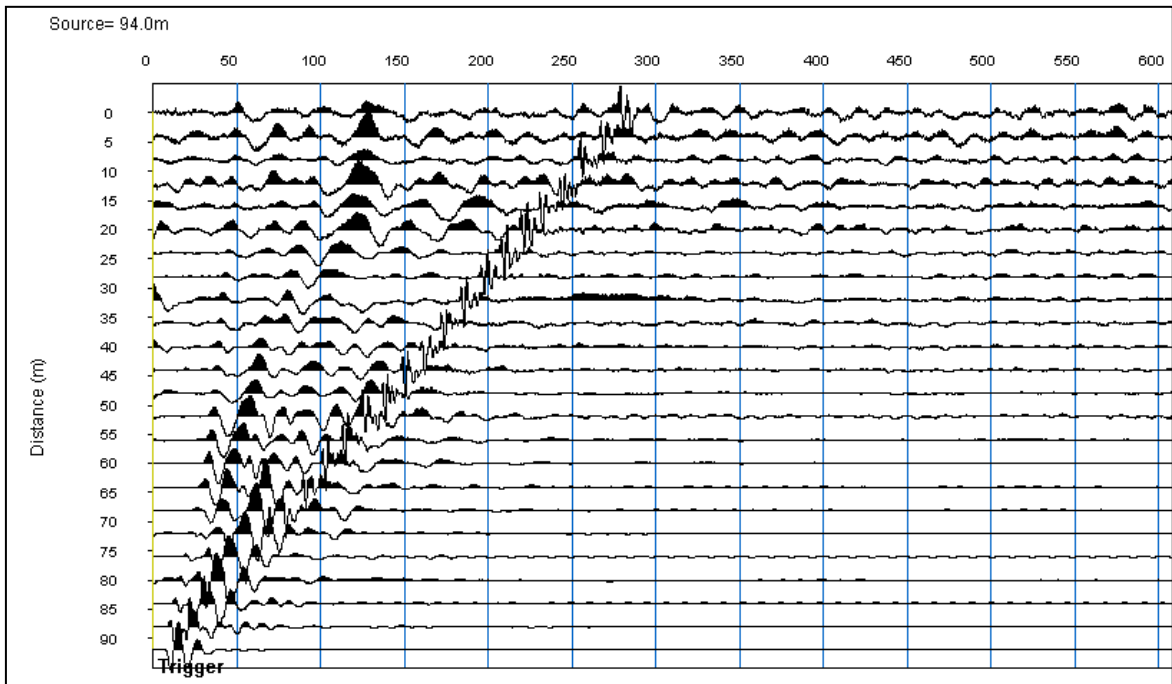
ONDE P	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.1159	A - ESTERNO SX	-4.0	310.3
DAT.1158	B - ESTREMO SX	-2.0	310.1
DAT.1157	C - ESTREMO DX	94	303
DAT.1156	D – ESTERNO DX	96	302.8

REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA PSI_MASW 2

(file 1156 – 1159)

ONDE P





RELAZIONE TECNICA

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA LIVELLO 2, PIANO INTERCOMUNALE CAPOLONA-SUBBIANO (AR)

“INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE MEDIANTE METODOLOGIA MASW E CALCOLO Vs,Eq D.M. 17/01/2018 LINEA PSI_MASW 3”

TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

FIRENZE

Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO

Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE :



04 - DICEMBRE - 2020



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/Fax: 0575 294500 - 055 9082212
Cell: 339 2288117 - 338 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE MASW	7
4.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE MASW	9
ALLEGATI	12

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Novembre 2020 mediante metodologia MASW in **Loc. Cà di Buffa**, nel comune di **Subbiano (AR)**, a supporto dello studio di Microzonazione Sismica livello 2 del Piano Intercomunale Capolona-Subbiano (**Fig.1**).



Figura 1: Aree d'intervento : PSI_MASW 3 – Loc. Cà di Buffa – Subbiano (AR).

L'elaborazione mediante metodologia MASW permette di ottenere sui primi 30 m le cosiddette V_s,eq , così come richiesto dal D.M. 17/01/2018 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

La relazione tecnica è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale in scala 1:10.000 (su CTR 1:10.000) del profilo sismico **PSI_MASW 3** con relative coordinate WGS84.
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **PSI_MASW 1**, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate.
- **Tavola 03:** presentazione della curva di dispersione e del profilo verticale V_s , risultati dell'elaborazione tramite il programma WinMasw Academy 2018.
- Schema linea sismica
- Registrazioni di campagna

1.0 SCHEMA OPERATIVO

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di **5 m** per la linea **PSI_MASW 3**, dove sono stati acquisiti complessivamente **115 m** di rilievo (**Fig.2**).

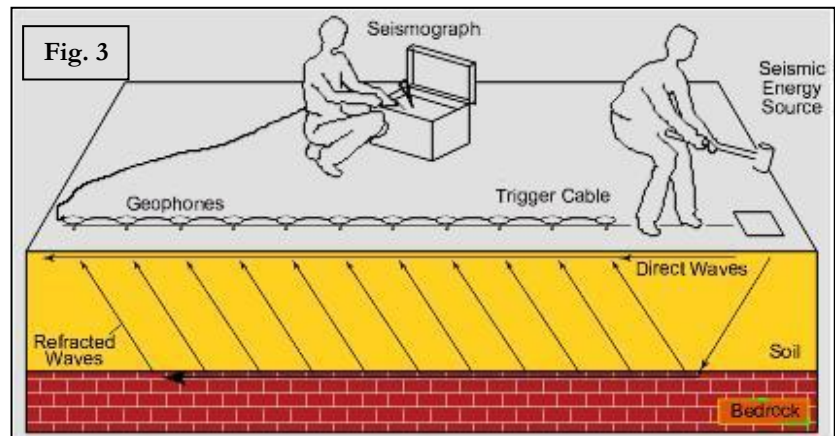


Figura 2: Fase di acquisizione PSI_MASW 3 – Loc. Cà di Buffa – Subbiano (AR).

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

• INDAGINE SISMICA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei



terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 3**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: A/D Conversion: 24 bit; Dynamic Range: 144 dB; Distortion: 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; Bandwidth: 1.75 Hz to 20 kHz; Common Mode Rejection: > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; Crosstalk: -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; Noise Floor: 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; Stacking Trigger Accuracy: 1/32 of sample interval; Maximum Input Signal: 2.8 VPP; Input Impedance: 20 kOhm, 0.02 uf; Preamplifier Gains; Anti-alias Filters: -3 dB at 83% of Nyquist frequency; Sample Interval: 0.02 to 16.0 ms; Record Length: 16,000 samples; Acquisition and Display Filters: *LowCut, Notch, HighCut*; Data Formats: SEG-2 standard with SGOS.

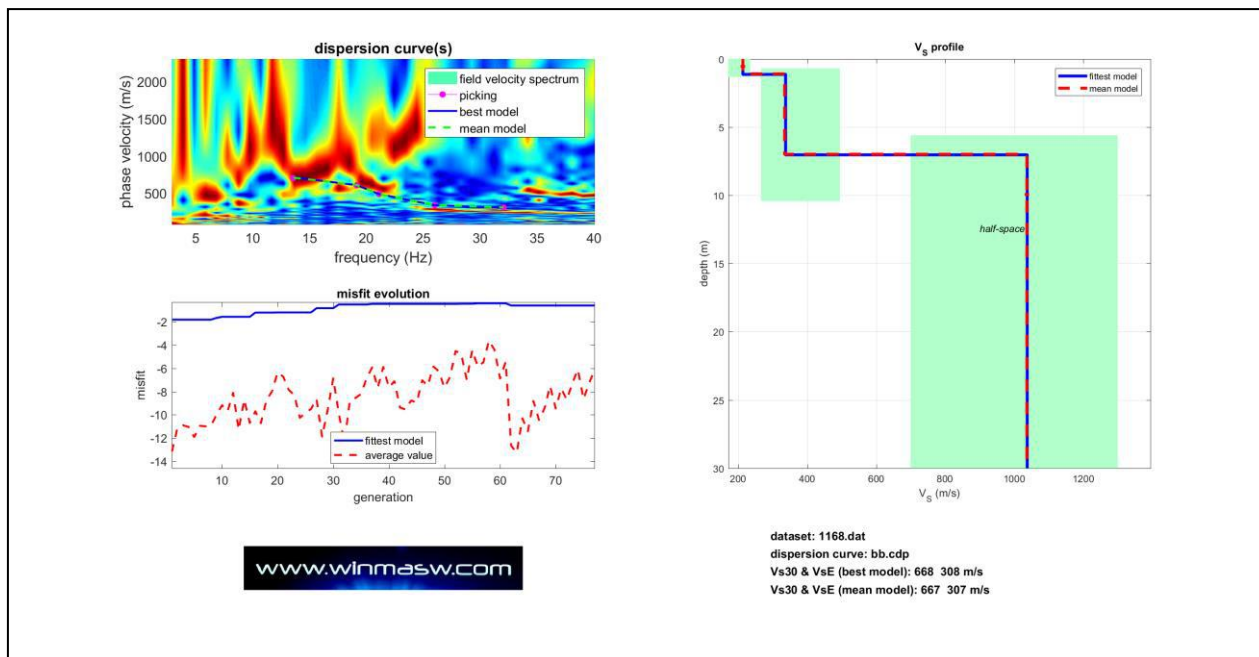
Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con frequenza caratteristica di 4.5-10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali.

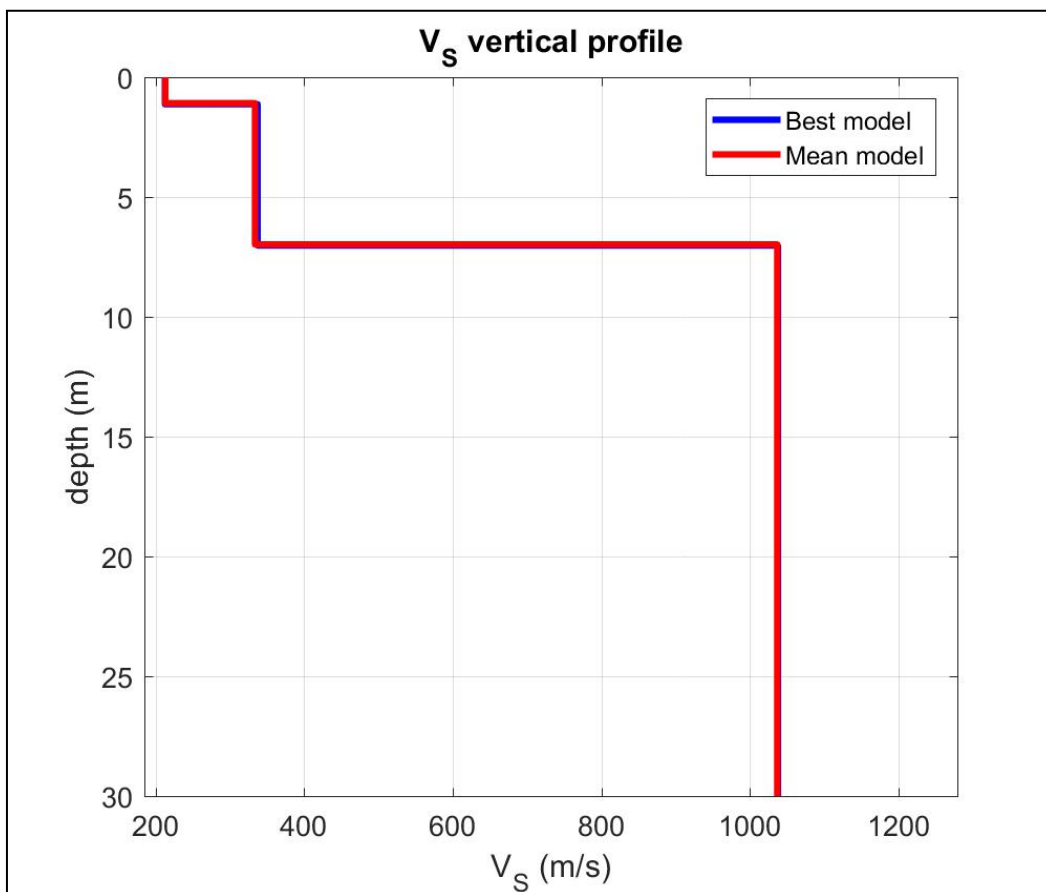
Il metodo **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio orizzontali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo. Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo *attivo* e metodo *passivo* (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo *attivo* utilizzato nel presente lavoro le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo *passivo* lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30 m-50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50 m, in funzione della rigidità del suolo. Il software utilizzato nel presente lavoro è il WIN-MASW 2018 Academy della Eliosoft.

3.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

Per il calcolo del modello di velocità (onde SH), ottenuto da WinMasw, sono state usate informazioni geologiche delle aree circostanti; Vengono di seguito riportati i risultati:



	Vs	Cw	Poisson	Backscat
1	115	19	0.33	1
2	305	16	0.35	7
3	1000	19	0.15	0
4	0	24	0.35	0
5	0	28	0.35	0
6	0	31	0.35	0
7	0	38	0.35	0
8	0	59	0.3	0
9	0	100	0.35	0
10	0	150	0.2	0
11	0	300	0.15	0
12	0	300	0.15	0



Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	213	1.1262	1.1262
2	337	5.8993	7.0255
3	1038	0	0

4.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE MASW

L'indagine mediante MASW fornisce lo spettro delle velocità, all'interno del quale viene eseguito il picking. La curva di dispersione ottenuta consente di estrapolare il modello di velocità (V_s) riportato nella Tavola 03 fornisce i valori di velocità delle onde di taglio ai fini della classificazione del sottosuolo secondo la V_s equivalente così come richiesto dalle nuove NTC 2018 dm.17/01/2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali, è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta delle fondazioni.

Per depositi con profondità H del substrato 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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Le “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” definiscono 5 tipologie di suoli principali:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Sulla base delle caratteristiche litologiche, ma soprattutto sulla base dei valori di velocità ottenuti è stato possibile definire i valori di $V_{s,eq}$ media per l'area in oggetto:

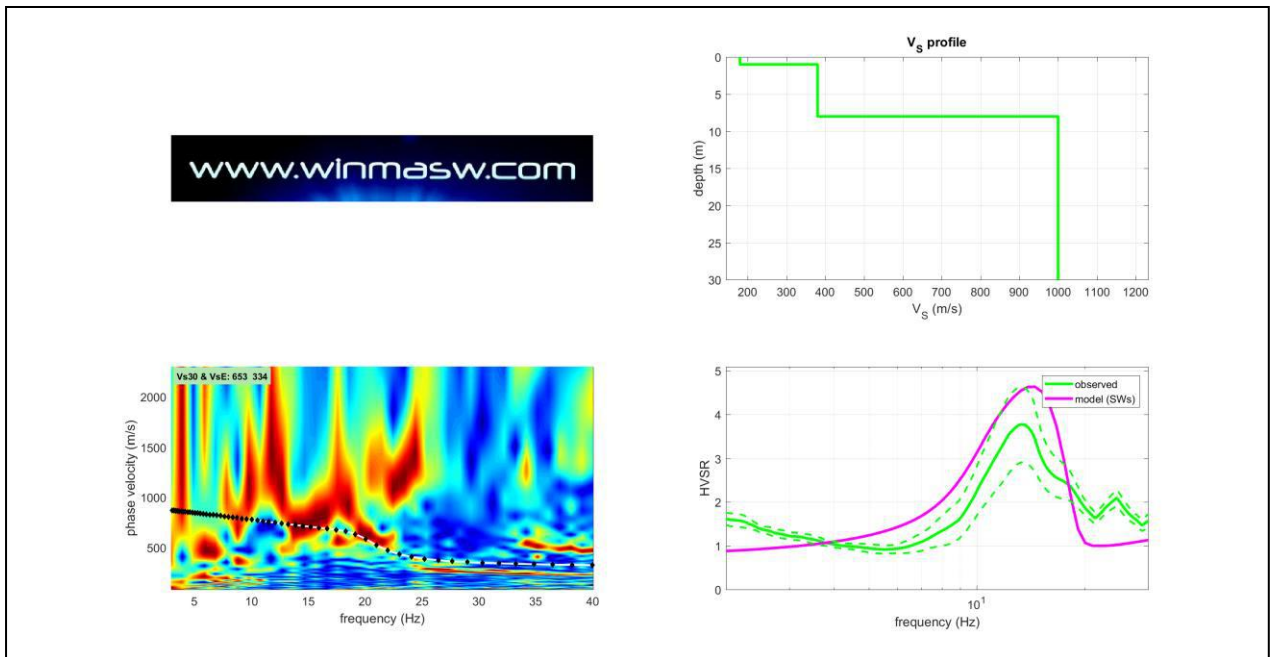
$$V_{s,eq} = 308 \text{ m/s}$$

La $V_{s,eq}$ così calcolata rappresenta un'assunzione cautelativa, poiché calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni.

In questa sede è preferibile non specificare la categoria di suolo di fondazione, non essendo a conoscenza delle caratteristiche fondali dell'intervento in oggetto.

Sarà quindi il tecnico incaricato a fare le considerazioni adeguate, in base alle informazioni ricavate da questa indagine (spessori e velocità dei singoli strati) ed in funzione del sistema fondale.

E' stata inoltre eseguita un'analisi congiunta con una misura di rumore sismico a stazione singola HVSR, effettuato nella stessa area, che ha fornito i seguenti risultati:



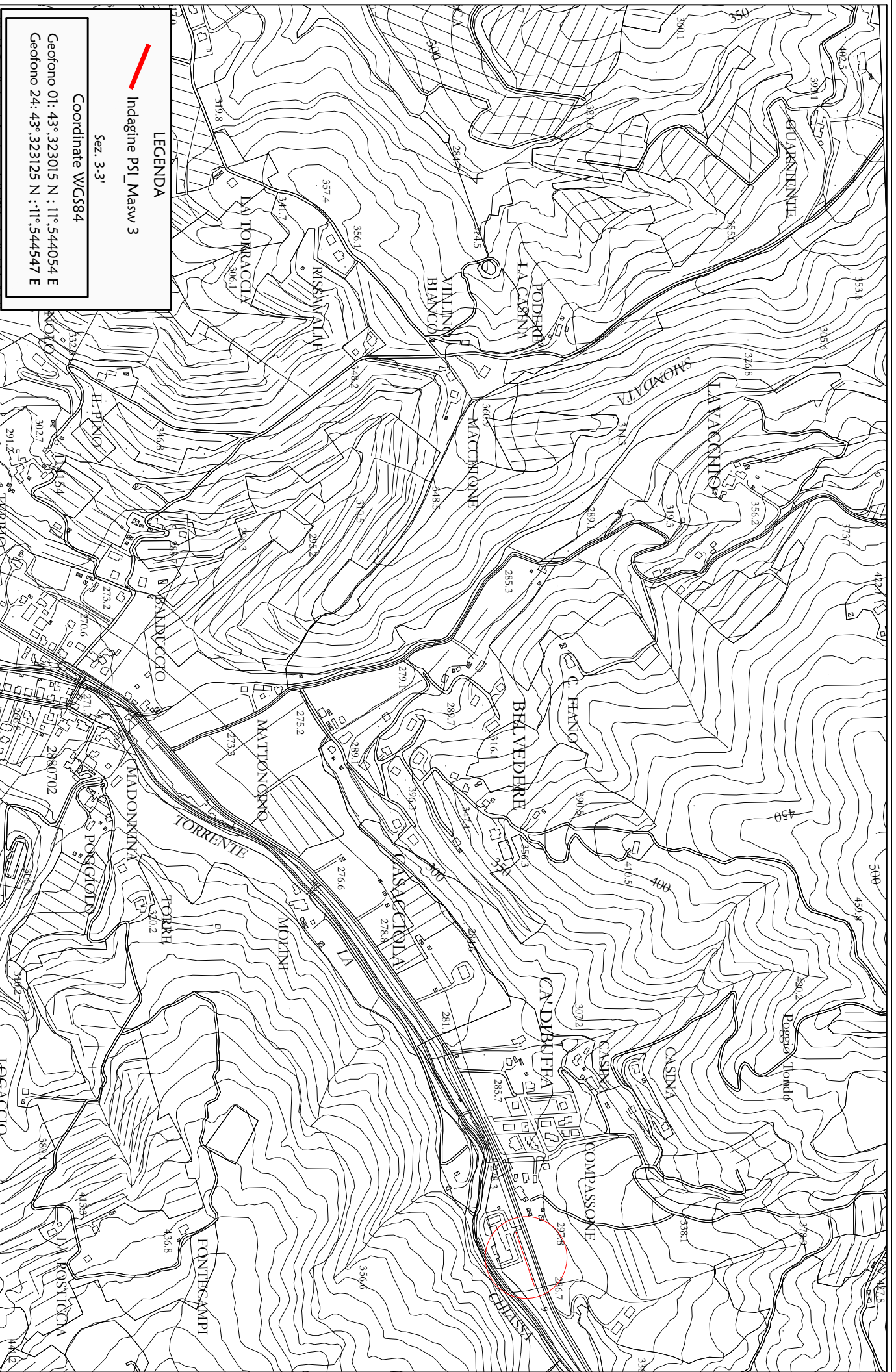
Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	180	1	1
2	380	7	8
3	1000	0	0

Arezzo, li 04/12/2020

TRIGE+GEO s.n.c.
 di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
 P.IVA 02024110518
 Tel/Fax: 0575 294500 - 055 9062212
 Cell: 339 2268117 - 3287218928
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA
Indagine PSI_Masw 3

Coordinate WGS84

Sez. 3-3'

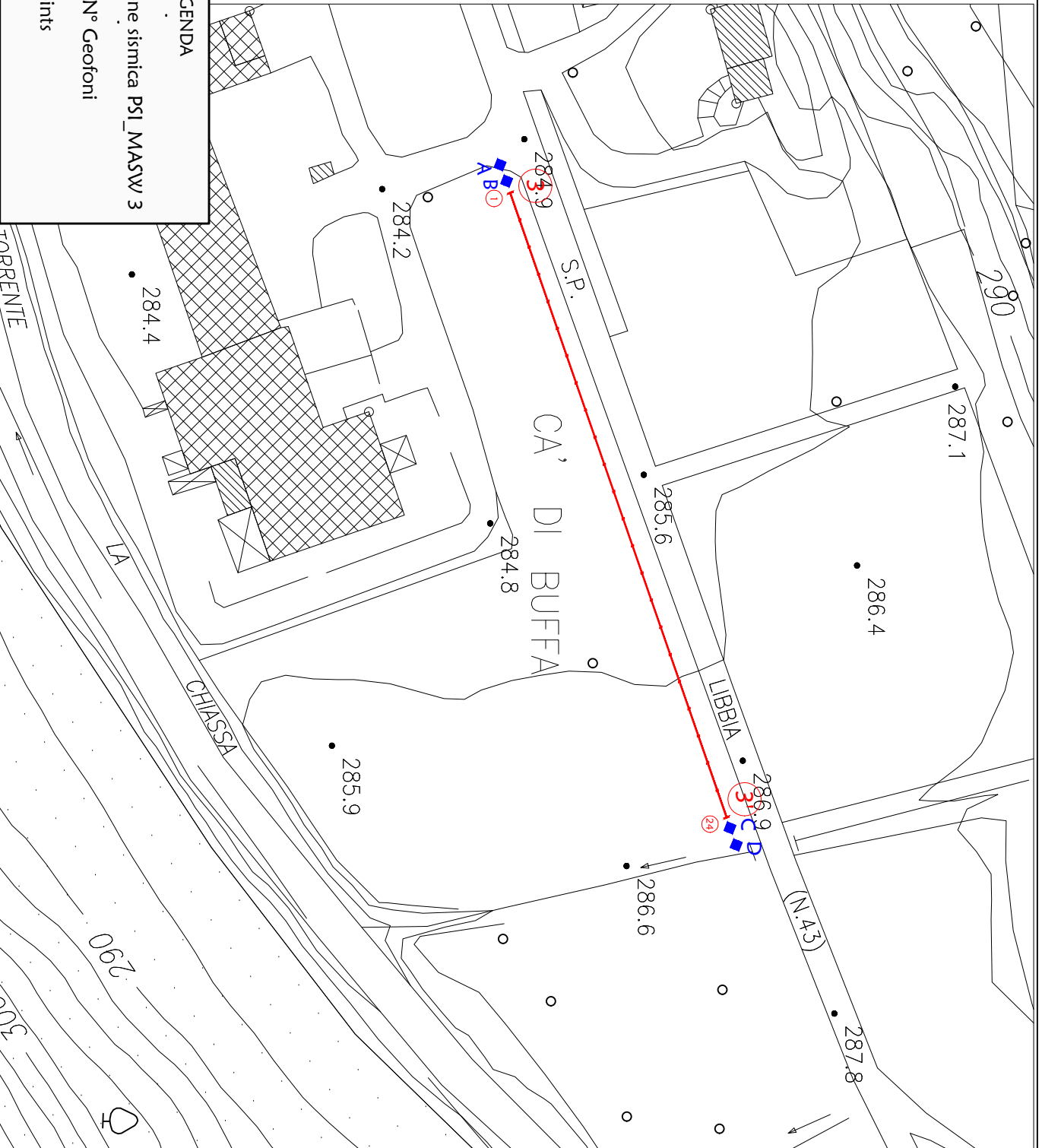
Geofono 01: 43° 32'30.15" N ; 11° 54'40.54" E
Geofono 24: 43° 32'31.25" N ; 11° 54'44.547" E

Scala 1: 10.000

Novembre 2020

Tavola 01 - Planimetria generale - PSI_MASW 3 - Loc. Cà di Bufra - Subiaco (AR)

TRI+GEO



LEGENDA

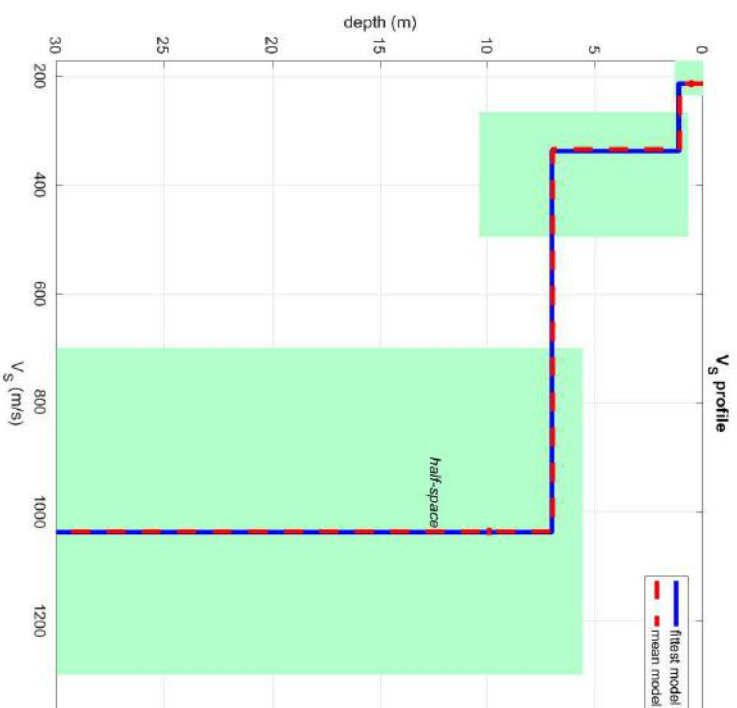
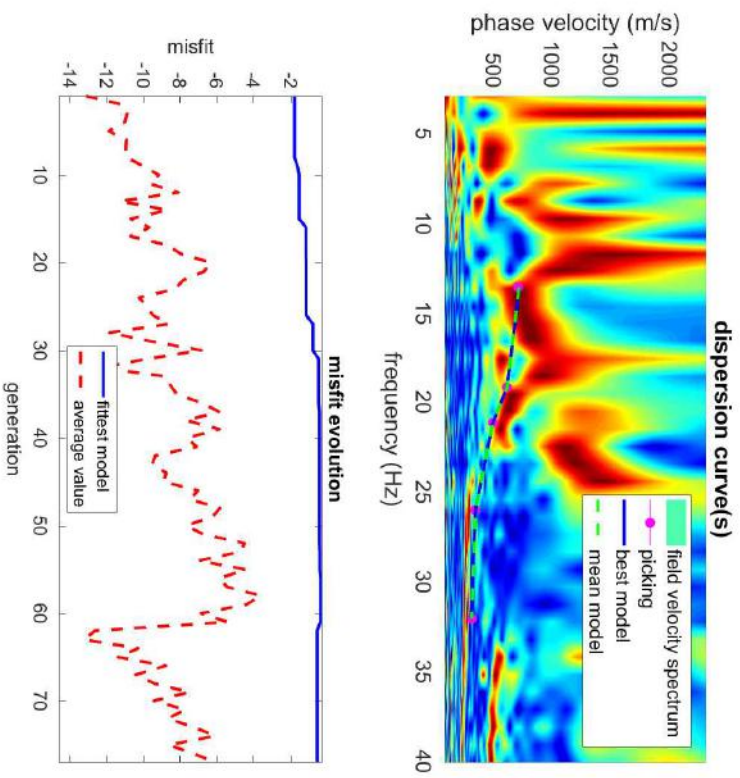
- ③ — Sezione sismica PSI_MASW 3
- ②④ N° Geofoni
- A-D Shot Points

Scala 1: 1.000

Novembre 2020

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - PSI_MASW 3 - Loc. Cà di Buffa - Subbiano (AR)

TRI+GEO



dataset: 1168.dat
 dispersion curve: bh.cdp
 Vs30 & VSE (best model): 668 308 m/s
 Vs30 & VSE (mean model): 667 307 m/s

www.winmasw.com

SCHEMA DELLA LINEA PSI_MASW 3

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	5.00	284.7
2	5	5.00	284.7
3	10	5.00	284.7
4	15	5.00	284.7
5	20	5.00	284.7
6	25	5.00	284.7
7	30	5.00	284.7
8	35	5.00	284.7
9	40	5.00	284.7
10	45	5.00	284.7
11	50	5.00	284.7
12	55	5.00	284.7
13	60	5.00	284.7
14	65	5.00	284.7
15	70	5.00	284.7
16	75	5.00	284.7
17	80	5.00	284.7
18	85	5.00	284.7
19	90	5.00	284.7
20	95	5.00	284.7
21	100	5.00	284.7
22	105	5.00	284.7
23	110	5.00	284.7
24	115	5.00	284.7

COORDINATE WGS84 DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	43°,3323015	43°,323125
Y(m)	11°,544054	11°,544547

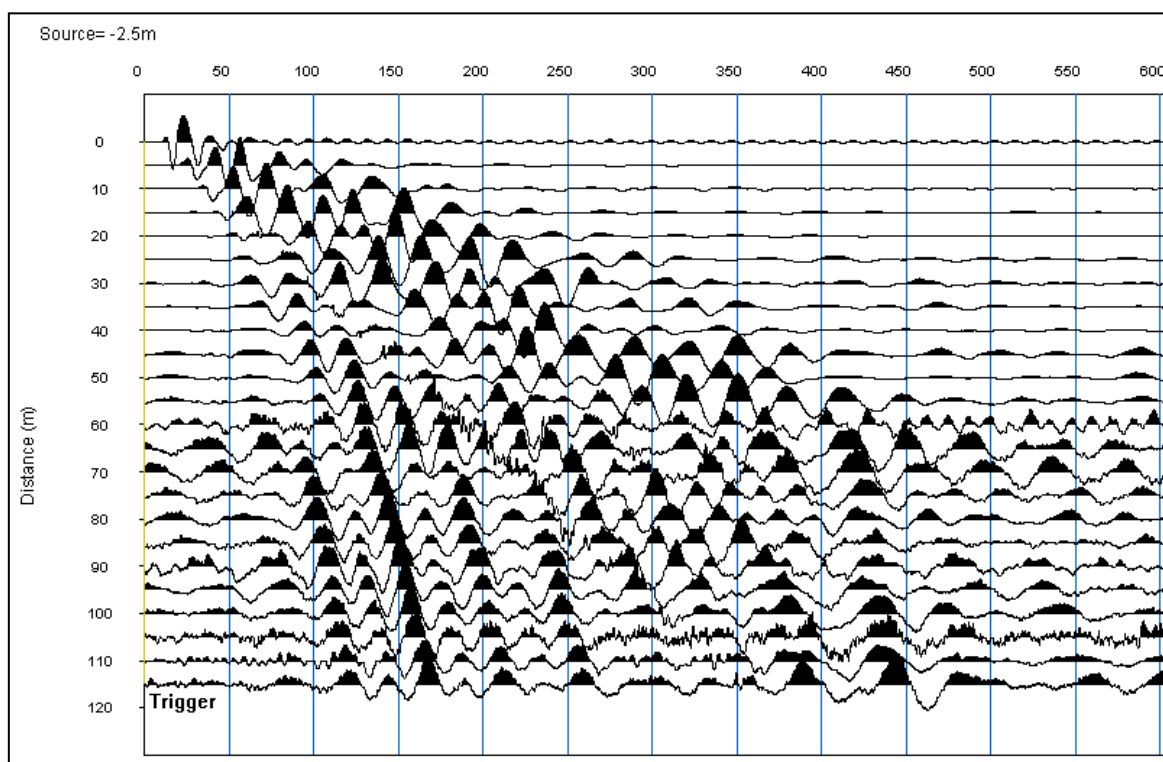
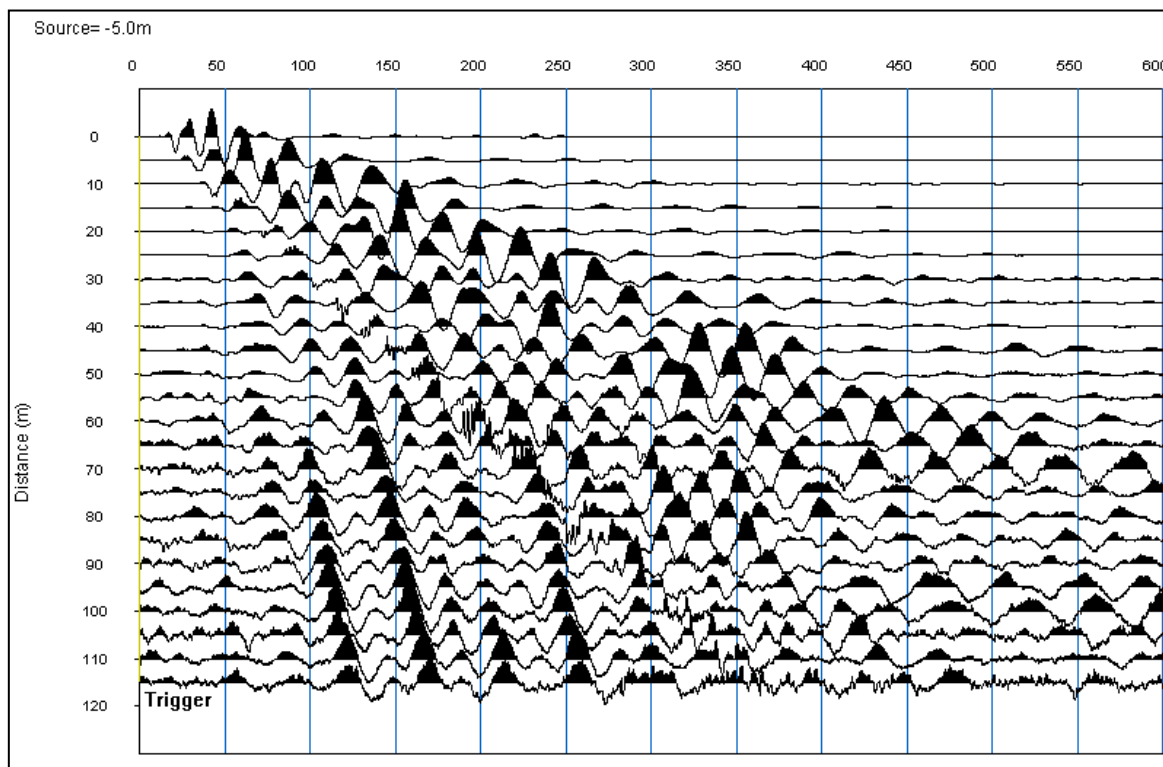
PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

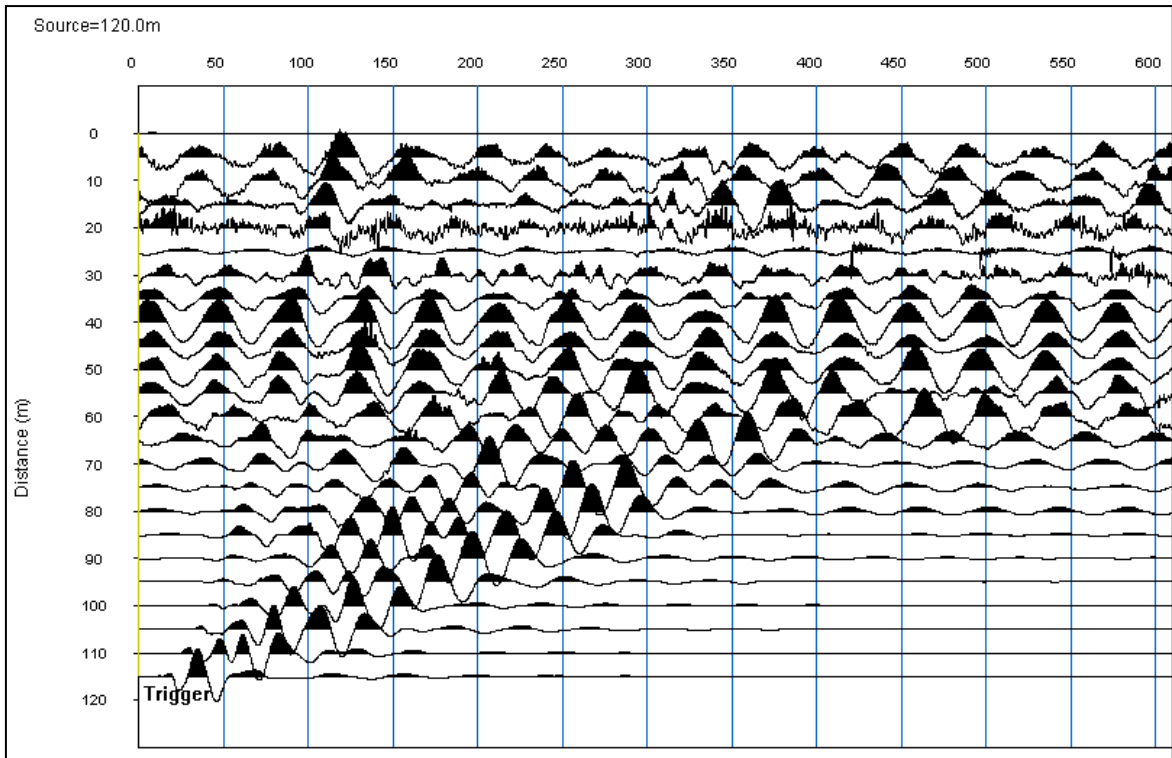
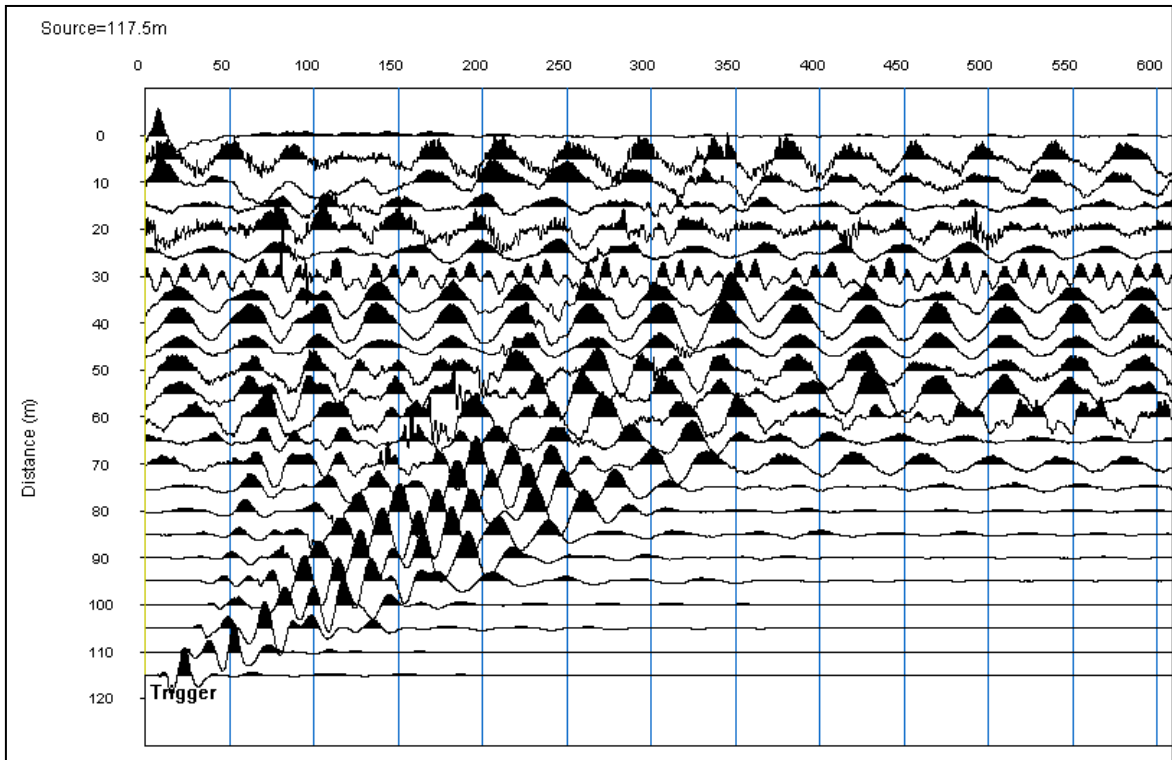
ONDE P	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.1170	A - ESTERNO SX	-5.0	284.7
DAT.1169	B - ESTREMO SX	-2.50	284.7
DAT.1167	C - ESTREMO DX	117.5	284.7
DAT.1168	D – ESTERNO DX	120.0	284.7

REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA PSI_MASW 3

(file 1167 – 1170)

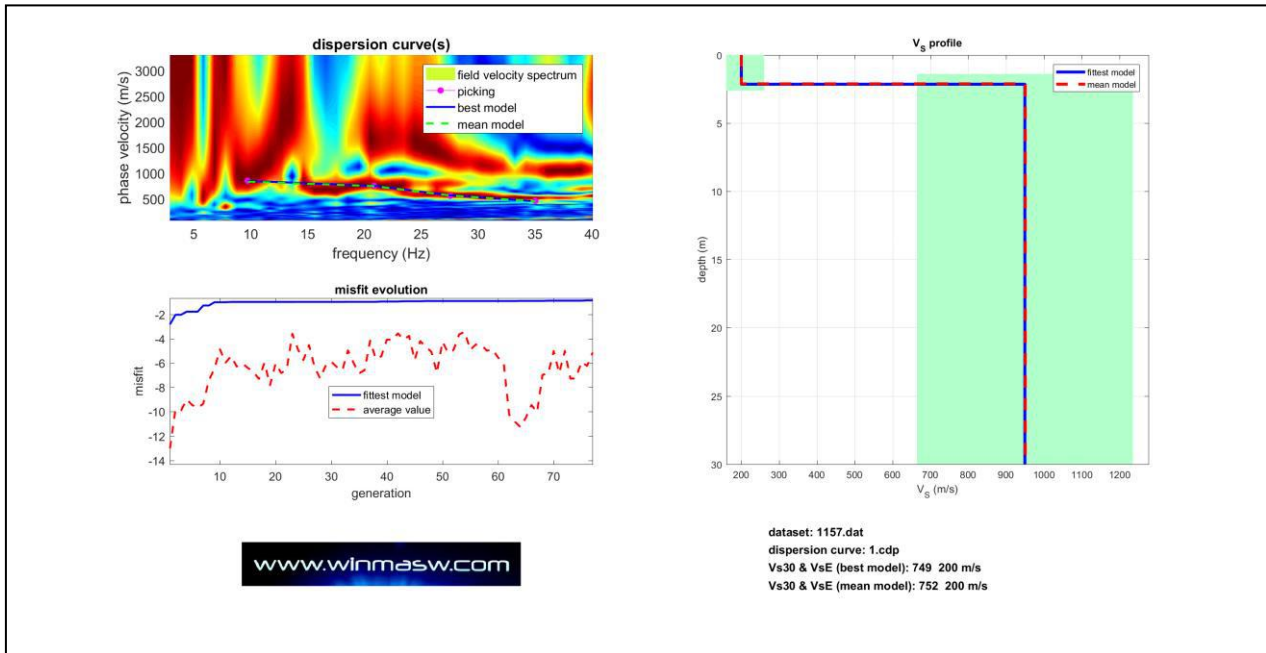
ONDE P



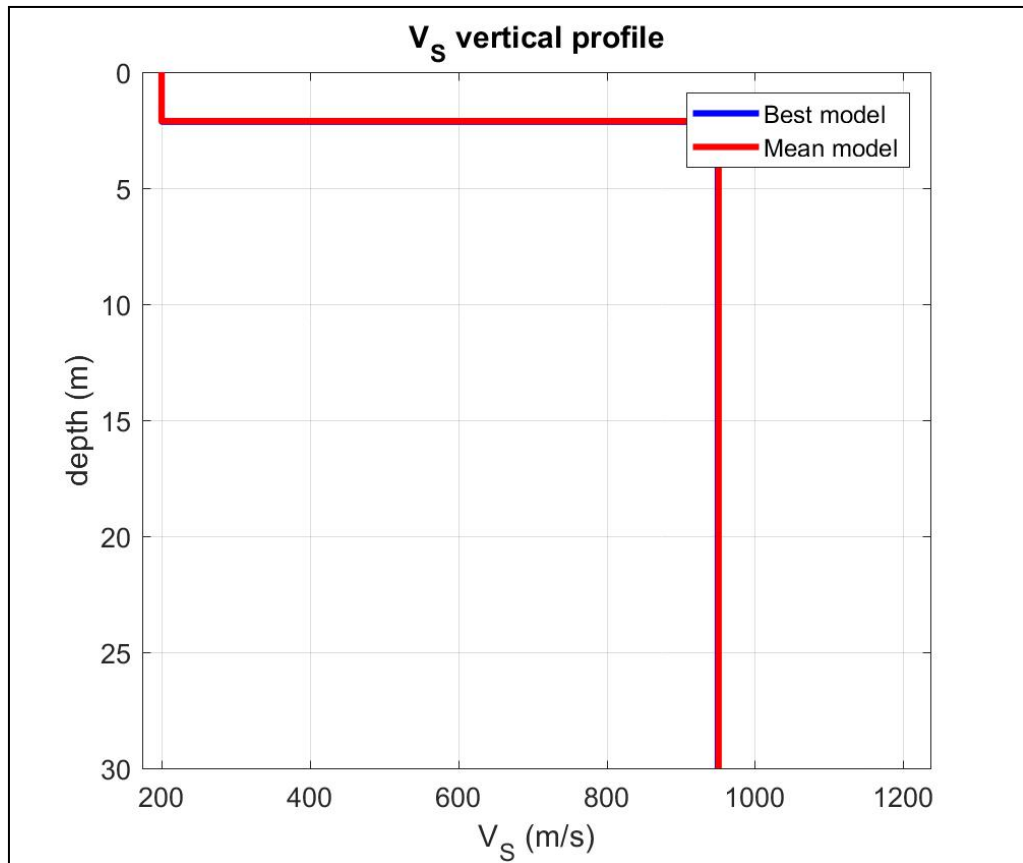


3.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE MASW

Per il calcolo del modello di velocità (onde SH), ottenuto da WinMasw, sono state usate informazioni geologiche delle aree circostanti; Vengono di seguito riportati i risultati:



Vs	Cs	Poisson	thickness
200	19	0.55	2
800	16	0.17	190
1200	19	0.15	0
0	24	0.35	0
0	28	0.31	0
0	31	0.35	0
0	38	0.55	0
0	50	0.3	0
0	100	0.25	0
0	150	0.2	0
0	200	0.15	0
0	300	0.12	0



Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	200	2.1406	2.1406
2	950	70.0804	72.2210
3	1544	0	0

4.0 CATEGORIA SUOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE MASW

L'indagine mediante MASW fornisce lo spettro delle velocità, all'interno del quale viene eseguito il picking. La curva di dispersione ottenuta consente di estrapolare il modello di velocità (V_s) riportato nella Tavola 03 fornisce i valori di velocità delle onde di taglio ai fini della classificazione del sottosuolo secondo la V_s equivalente così come richiesto dalle nuove NTC 2018 dm.17/01/2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per fondazioni superficiali la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali, è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta delle fondazioni.

Per depositi con profondità H del substrato 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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Le “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni” definiscono 5 tipologie di suoli principali:

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>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.</i>
E	<i>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.</i>

Sulla base delle caratteristiche litologiche, ma soprattutto sulla base dei valori di velocità ottenuti è stato possibile definire i valori di **V_{s,eq}** media per l’area in oggetto:

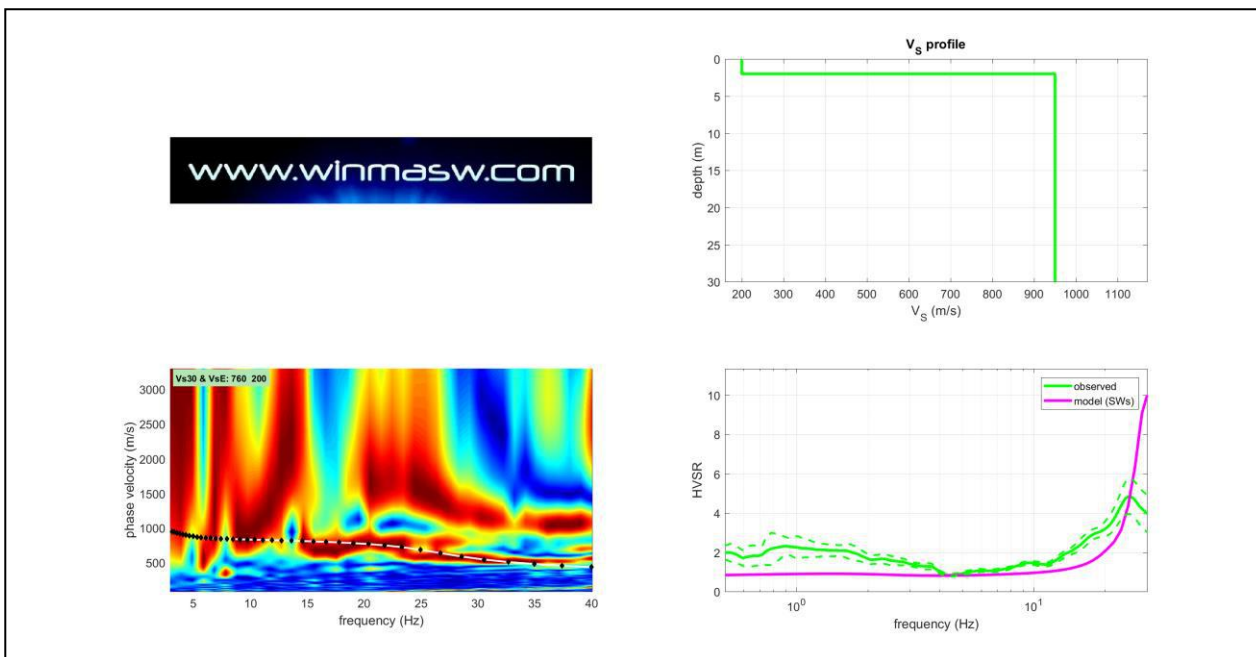
$$V_{s,eq} = 200 \text{ m/s}$$

La $V_{s,eq}$ così calcolata rappresenta un’assunzione cautelativa, poiché calcolata dal piano campagna e non dal piano di posa delle fondazioni.

In questa sede è preferibile non specificare la categoria di suolo di fondazione, non essendo a conoscenza delle caratteristiche fondali dell’intervento in oggetto.

Sarà quindi il tecnico incaricato a fare le considerazioni adeguate, in base alle informazioni ricavate da questa indagine (spessori e velocità dei singoli strati) ed in funzione del sistema fondale.

E' stata inoltre eseguita un'analisi congiunta con una misura di rumore sismico a stazione singola HVSR, effettuato nella stessa area, che ha fornito i seguenti risultati:



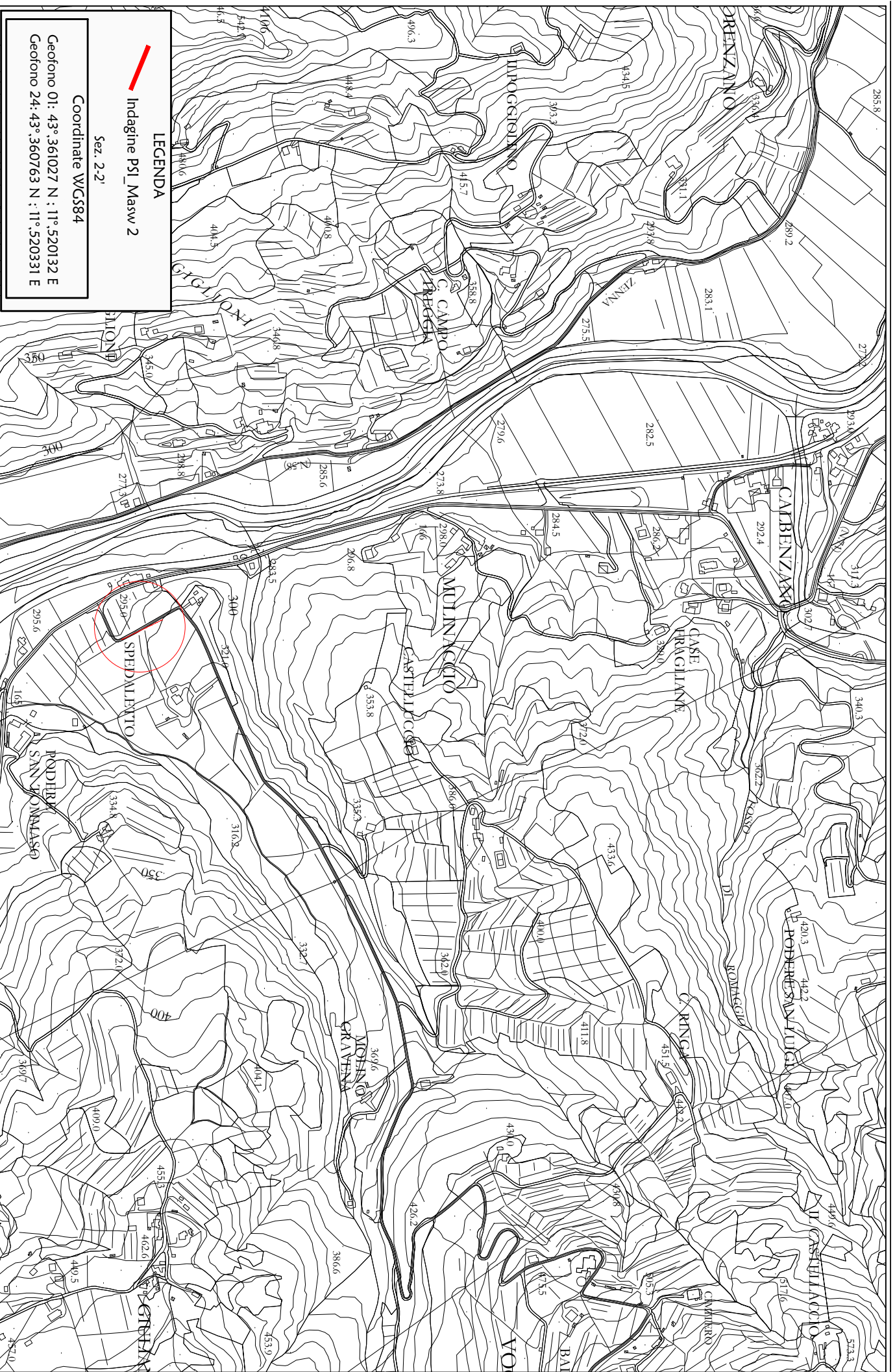
Best Model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	200	2	2
2	950	100	102
3	1200	0	0


Arezzo, li 04/12/2020

TRIGEO s.n.c.
 di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
 P.IVA 02024110518
 Tel/Fax: 0575 294300 - 055 9062212
 Cell: 339 2288117 - 398 7218928
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA

 Indagine PSI_Masw 2

Sez. 2-2'

Coordinate WGS84

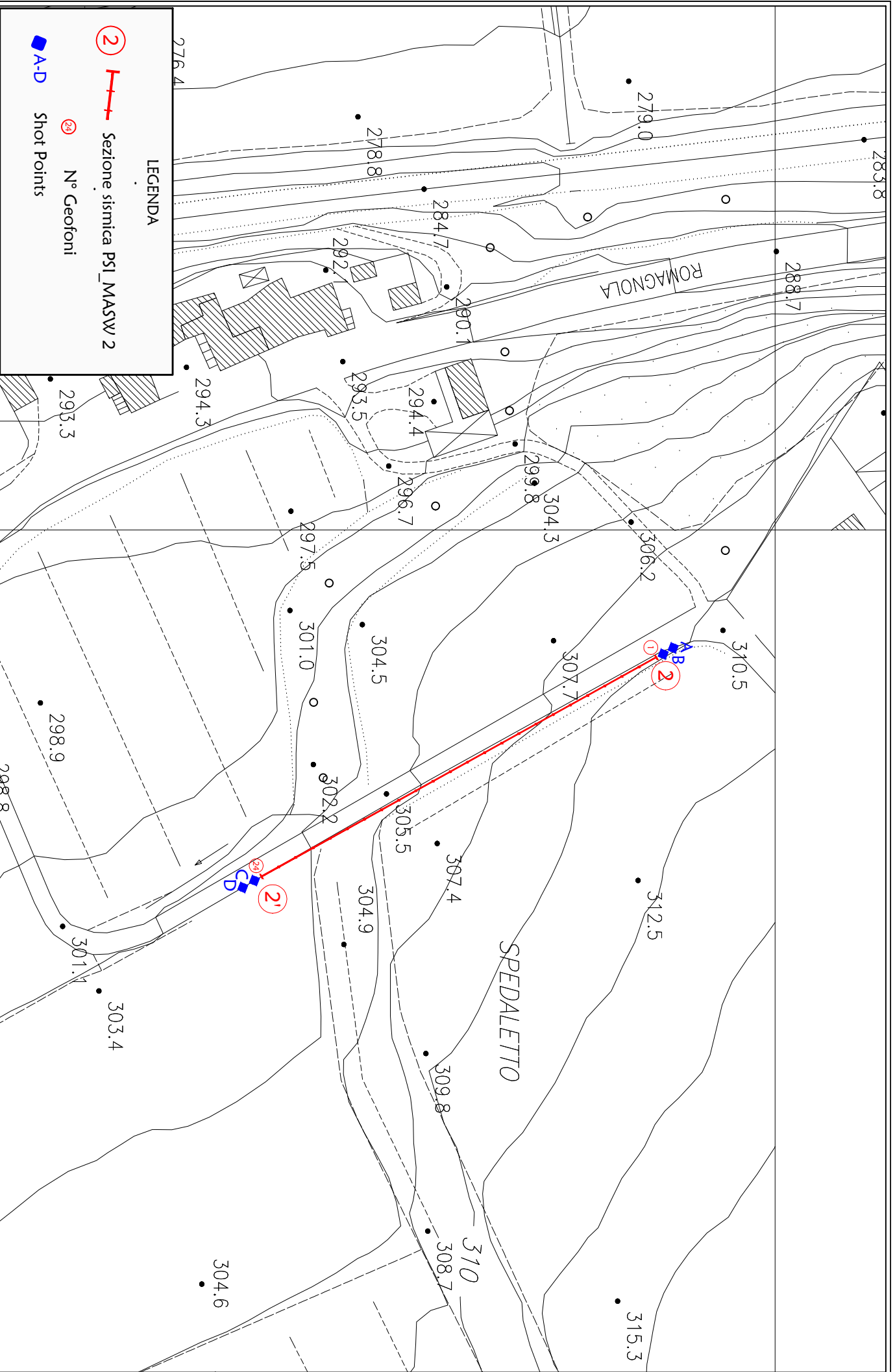
Geofono 01: 43° 36'027 N : 11° 52'0132 E
Geofono 24: 43° 36'0763 N : 11° 52'0331 E

Scala 1: 10.000

Novembre 2020

Tavola 01 - Planimetria generale - PSI_MASW 2 - Loc. Spedaletto - Subbiano (AR)

TRI+GEO



LEGENDA

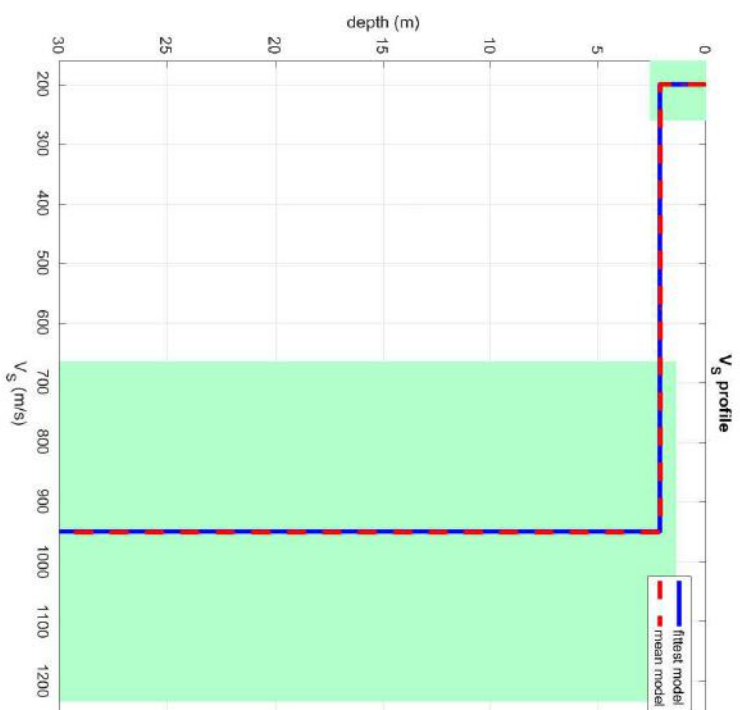
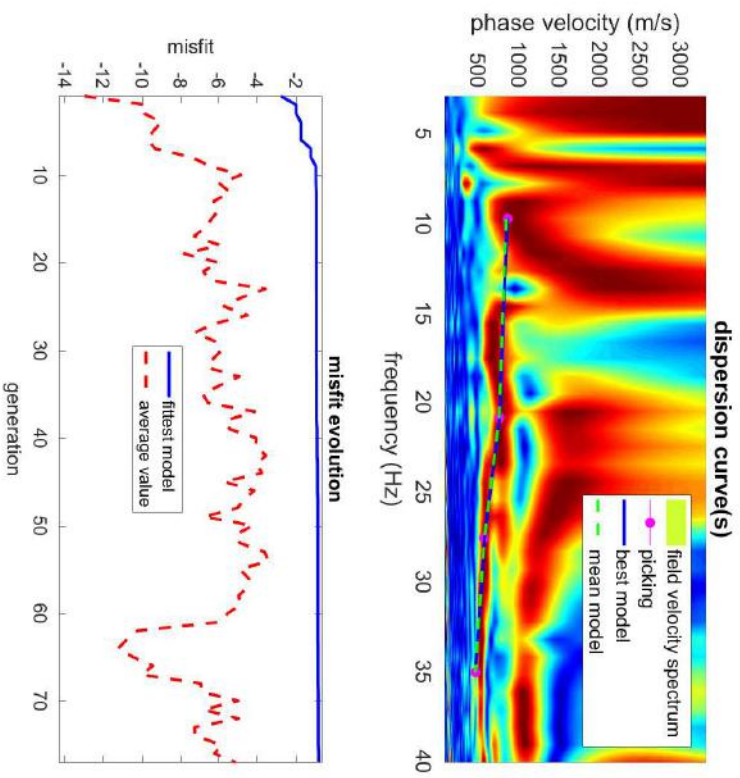
- ② — Sezione sismica PSI_MASW 2
- ② N° Geofoni
- A-D Shot Points

Scala 1: 1.000

Novembre 2020

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - PSI_MASW 2 - Loc. Spedaletto - Subbiano (AR)

TRI+GEO



dataset: 1157.dat
 dispersion curve: 1.cdp
 Vs30 & VSE (best model): 749 200 m/s
 Vs30 & VSE (mean model): 752 200 m/s

www.wijnmasw.com

SCHEMA DELLA LINEA PSI_MASW 2

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	4.00	310
2	4	4.00	309.7
3	8	4.00	309.4
4	12	4.00	309.1
5	16	4.00	308.8
6	20	4.00	308.5
7	24	4.00	308.2
8	28	4.00	307.9
9	32	4.00	307.6
10	36	4.00	307.3
11	40	4.00	307
12	44	4.00	306.7
13	48	4.00	306.4
14	52	4.00	306.1
15	56	4.00	305.8
16	60	4.00	305.5
17	64	4.00	305.2
18	68	4.00	304.9
19	72	4.00	304.6
20	76	4.00	304.3
21	80	4.00	304
22	84	4.00	303.7
23	88	4.00	303.4
24	92	4.00	303.1

COORDINATE WGS84 DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	43°,361027	43°,360763
Y(m)	11°,520132	11°,520331

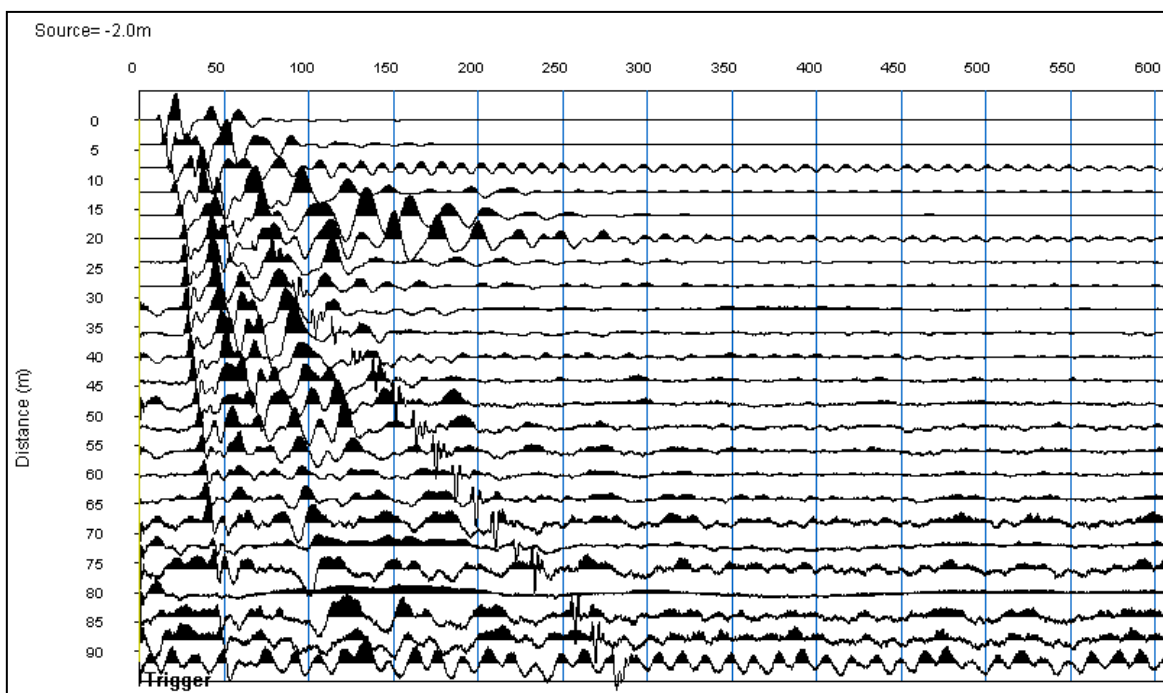
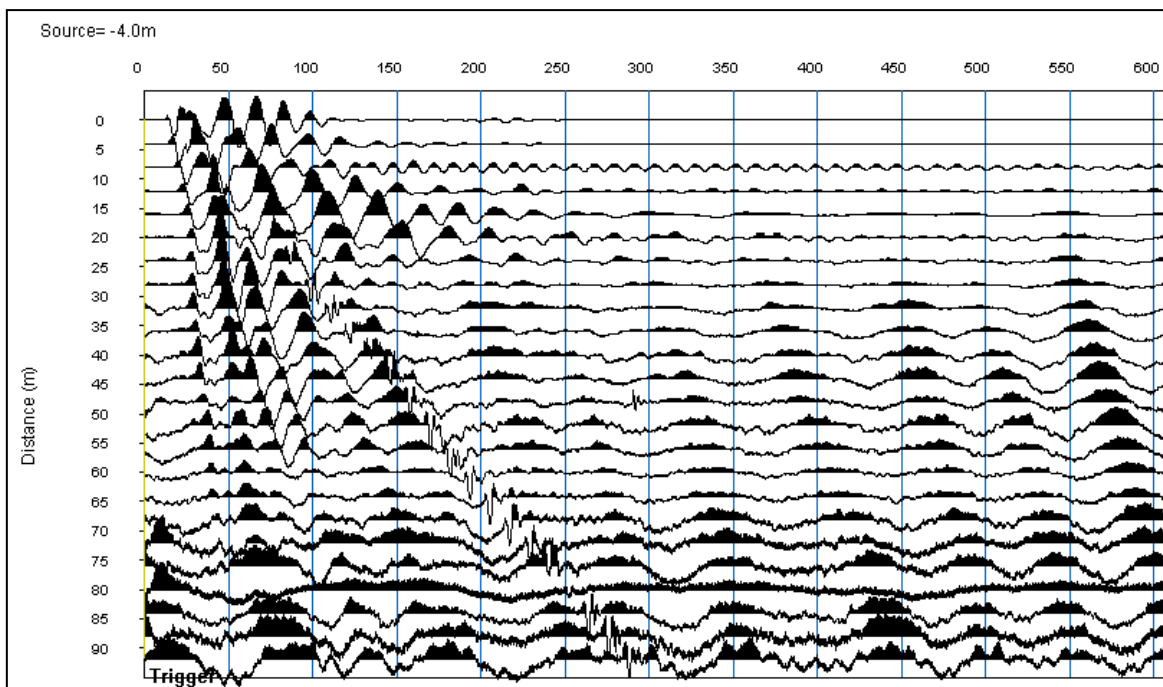
PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

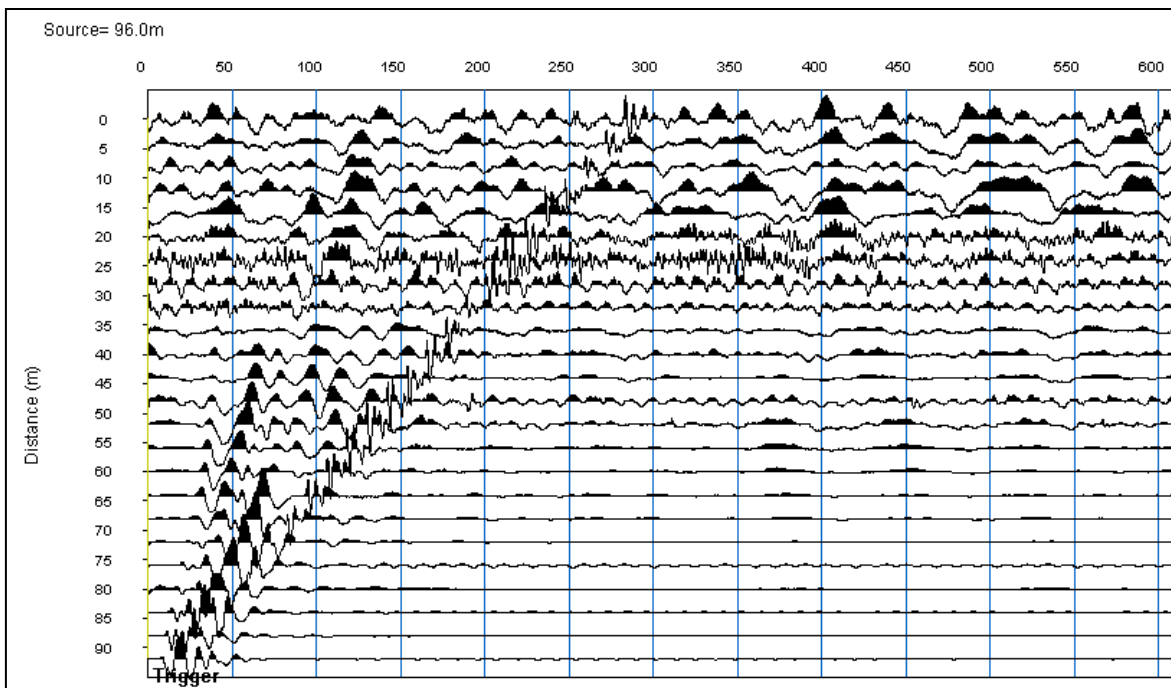
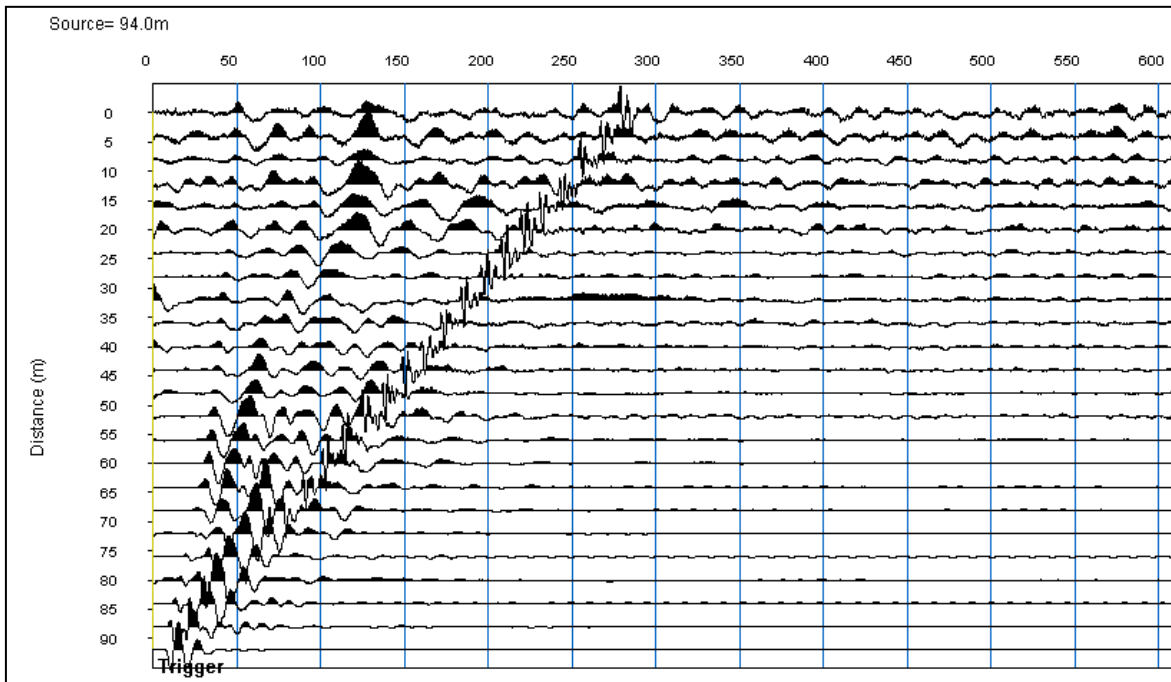
ONDE P	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.1159	A - ESTERNO SX	-4.0	310.3
DAT.1158	B - ESTREMO SX	-2.0	310.1
DAT.1157	C - ESTREMO DX	94	303
DAT.1156	D – ESTERNO DX	96	302.8

REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA PSI_MASW 2

(file 1156 – 1159)

ONDE P





STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR3

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Case Gano

Address: -

Latitude: 4828428

Longitude: 1732300

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/19 11:32:08

Recording length: 30 min

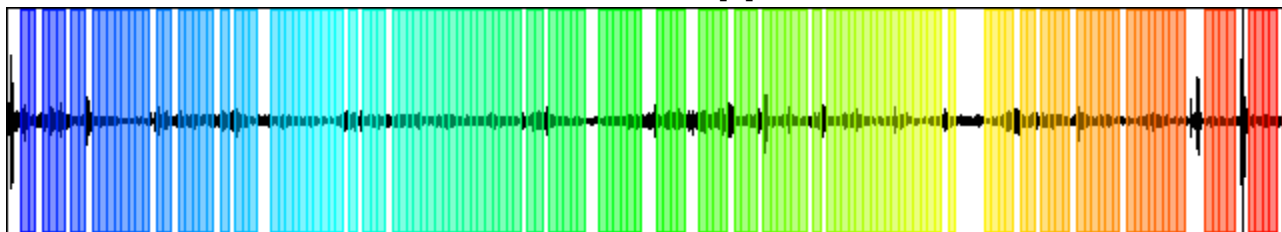
Windows count: 139

Average windows length: 10

Signal coverage: 77.22%

1420 Counts

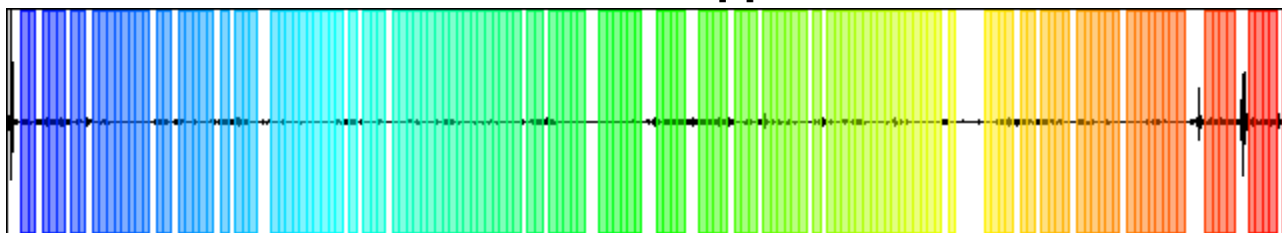
CHANNEL #1 [V]



-1426 Counts

10272 Counts

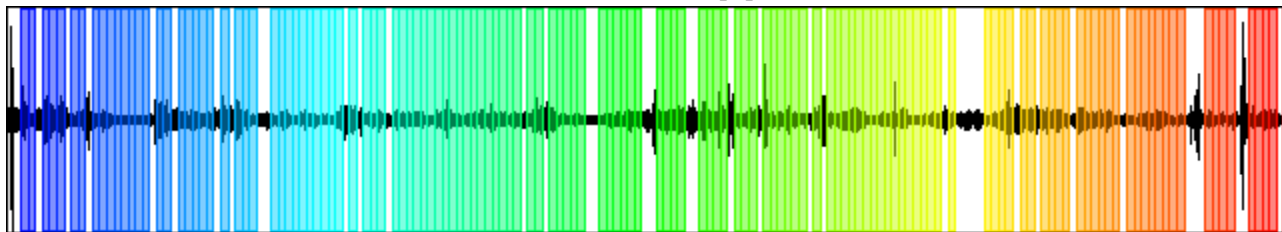
CHANNEL #2 [N]



-5321 Counts

1631 Counts

CHANNEL #3 [E]



-1851 Counts

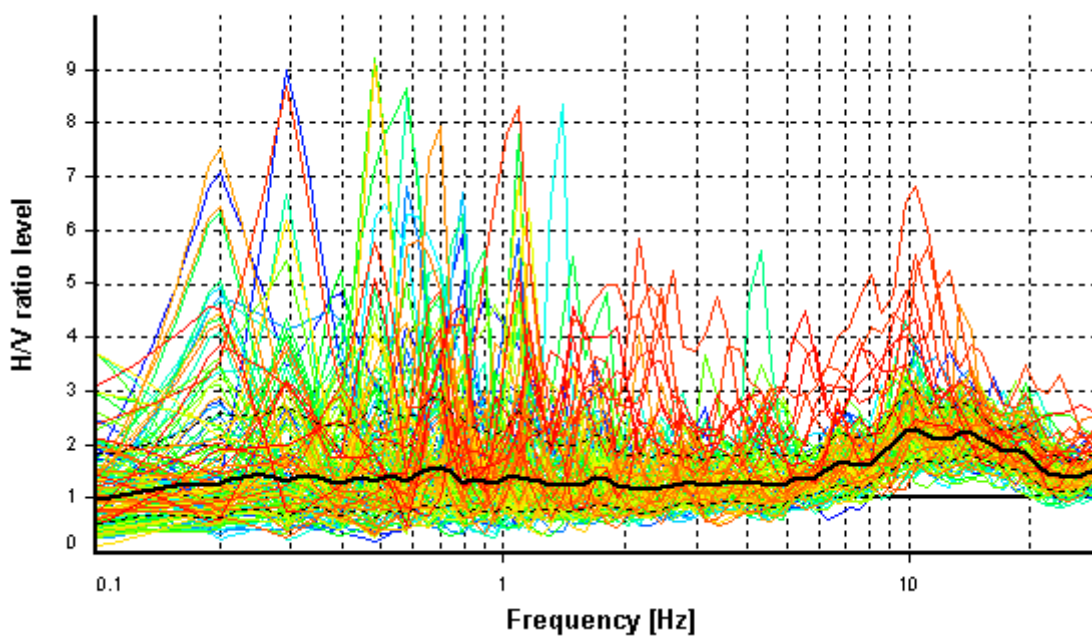
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

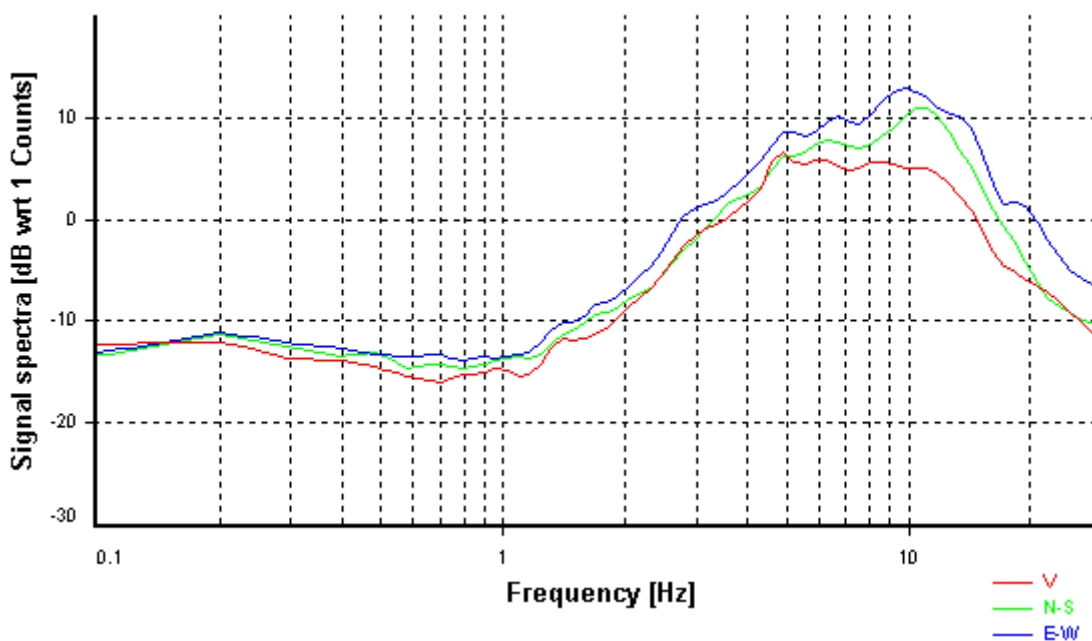
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

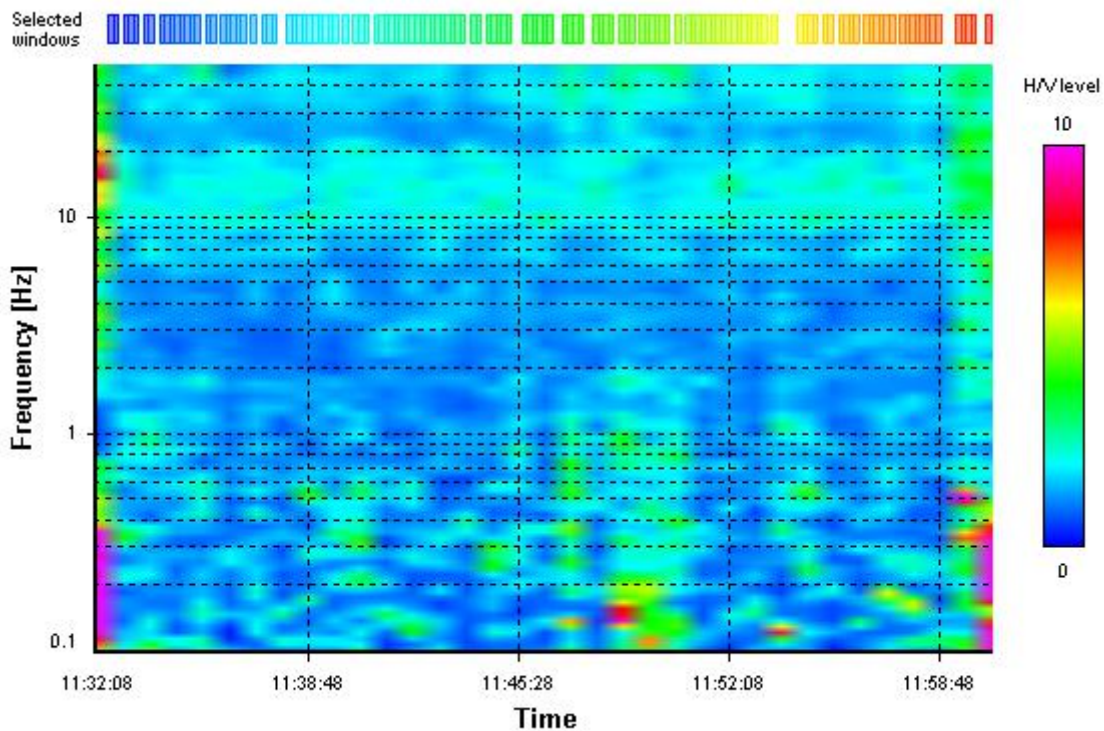
HVSR average



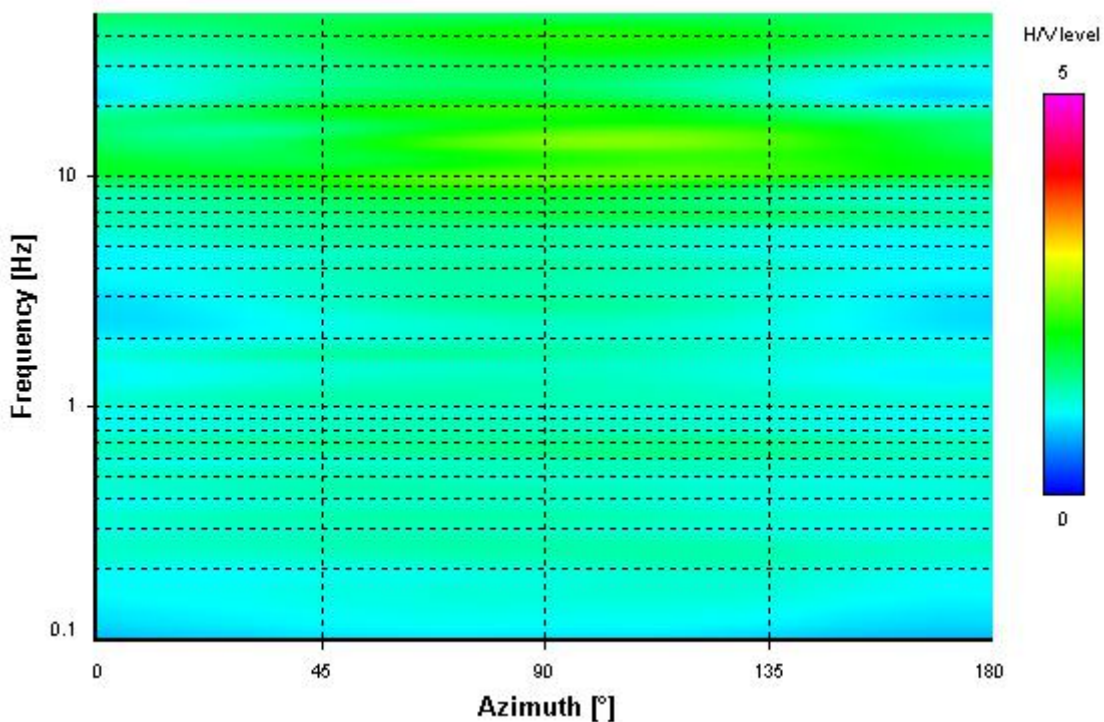
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR4

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: SR71 bivio Giuliano

Address: -

Latitude: 4830411

Longitude: 1732320

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/19 13:01:36

Recording length: 29.99 min

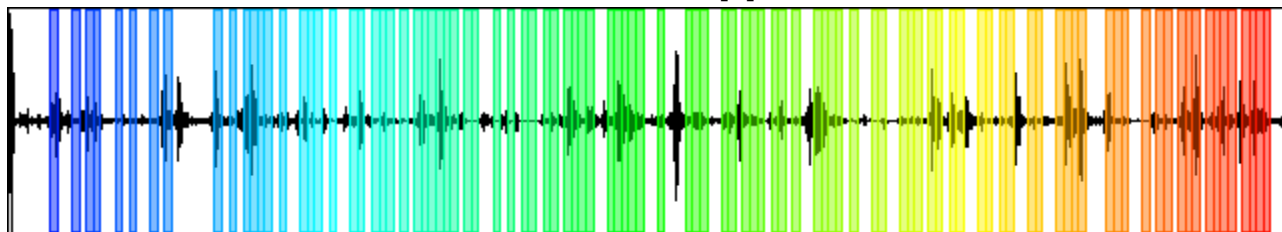
Windows count: 102

Average windows length: 10

Signal coverage: 56.66%

5318 Counts

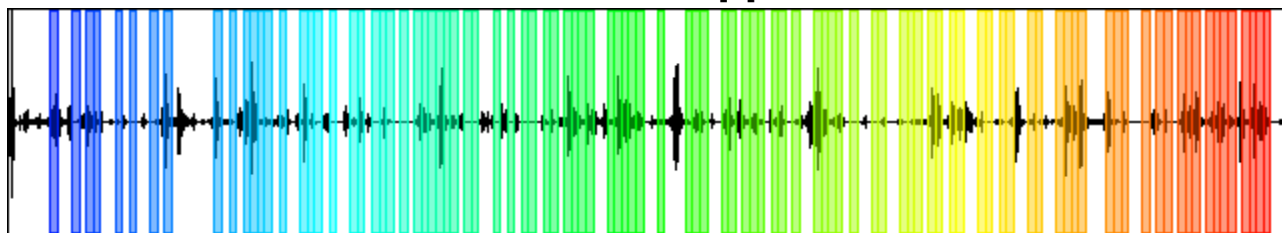
CHANNEL #1 [V]



-5521 Counts

12539 Counts

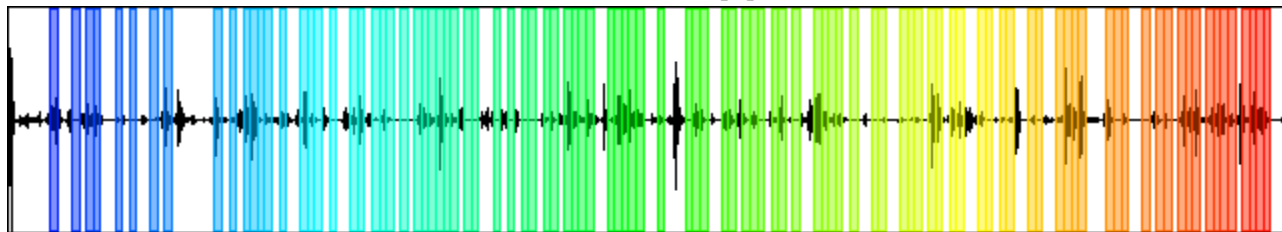
CHANNEL #2 [N]



-8429 Counts

8778 Counts

CHANNEL #3 [E]



-13664 Counts

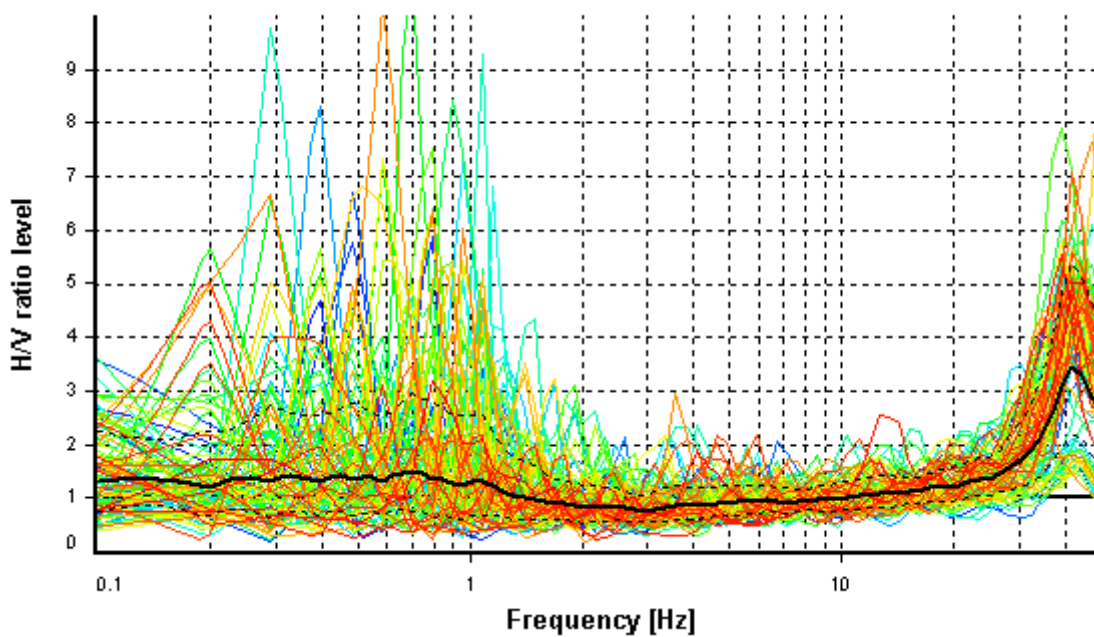
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

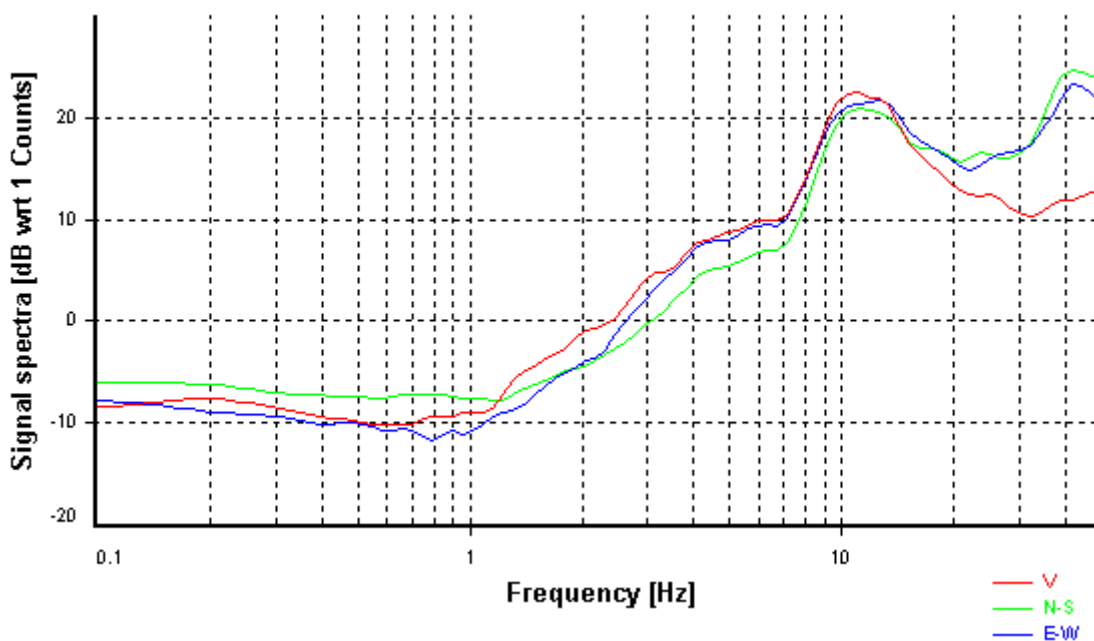
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

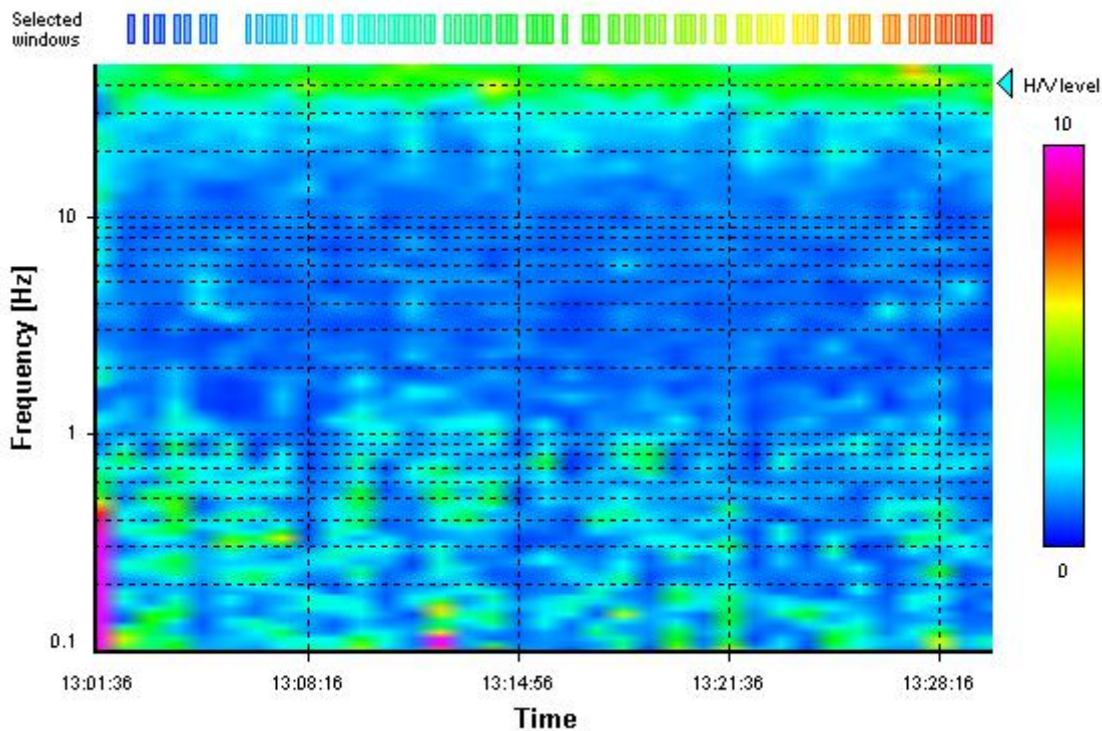
HVSR average



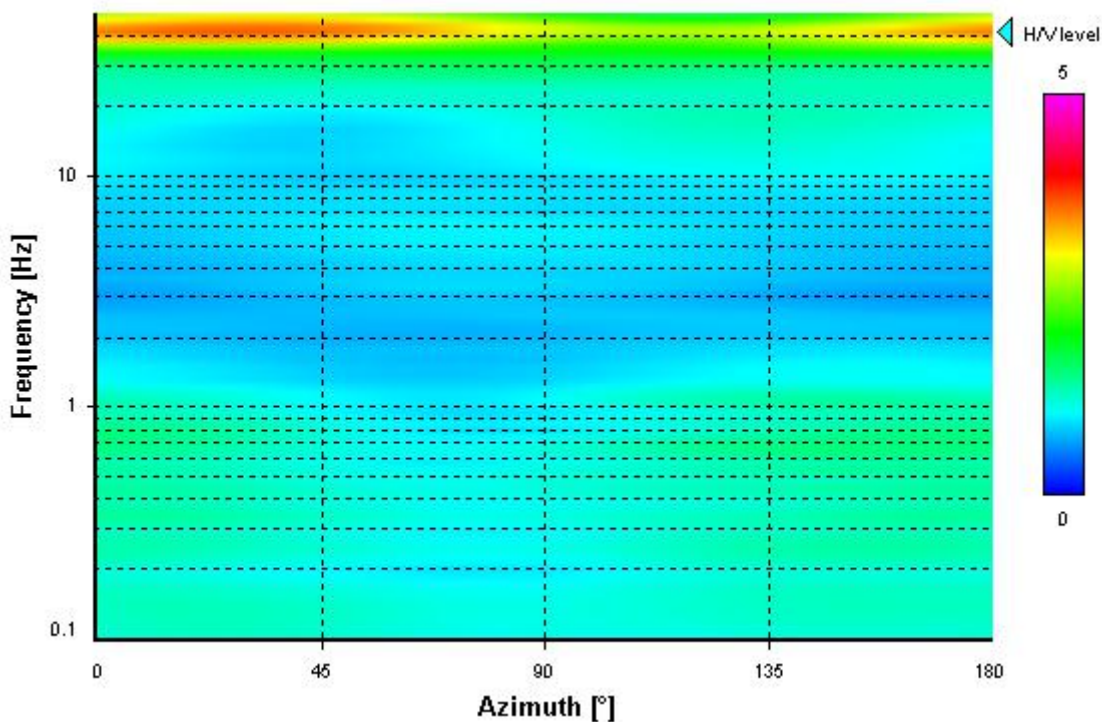
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



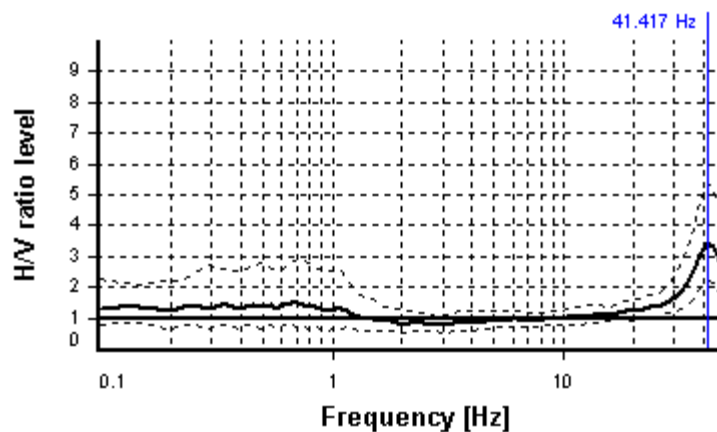
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

41.417 Hz

A_0 amplitude = 3.430

Average $f_0 = 42.550 \pm 3.303$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	102 valid windows (length > 0.24 s) out of 102	OK
$n_c(f_0) > 200$	42227.13 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 15	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	28.41902 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	0 Hz	NO
$A_0 > 2$	3.43 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.30321 >= 2.07087	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.57126 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR6

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Castelnuovo

Address: -

Latitude: 4826347

Longitude: 1730586

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/19 14:33:46

Recording length: 29.99 min

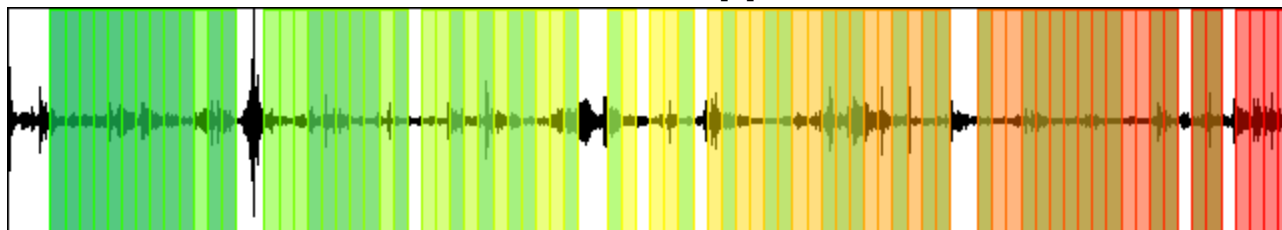
Windows count: 122

Average windows length: 20

Signal coverage: 135.57%

9649 Counts

CHANNEL #1 [V]



-8197 Counts

6998 Counts

CHANNEL #2 [N]



-7440 Counts

7898 Counts

CHANNEL #3 [E]



-6818 Counts

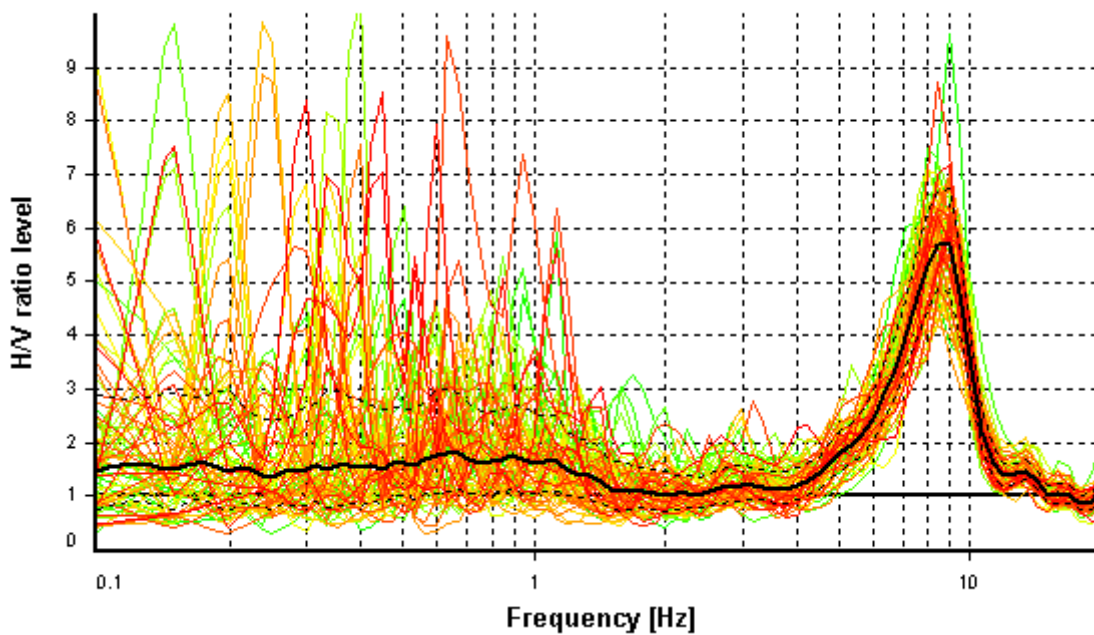
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

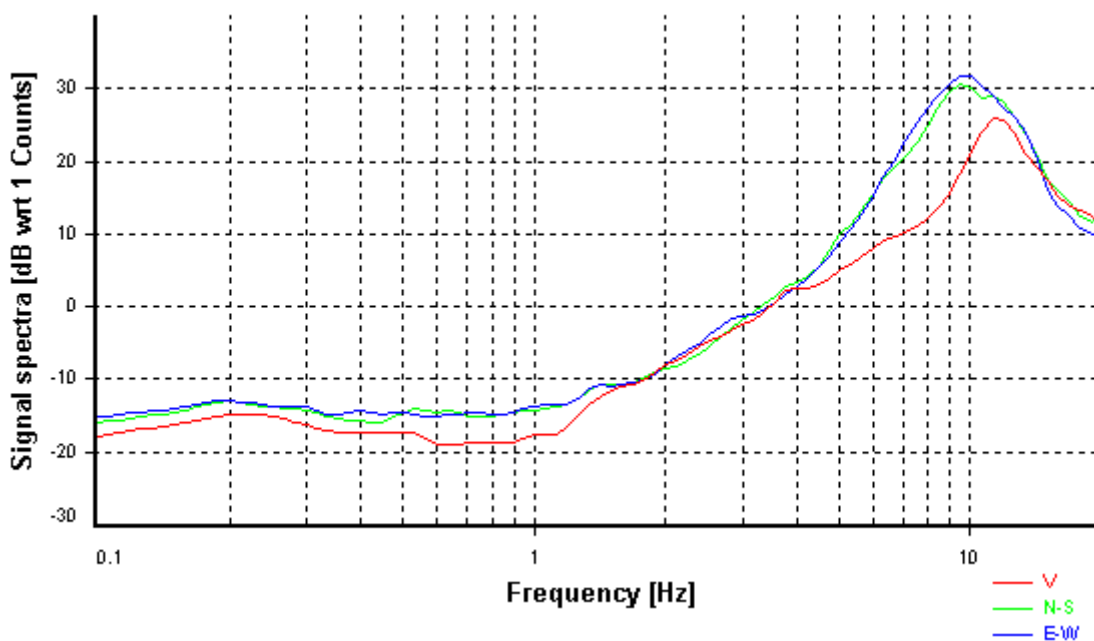
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

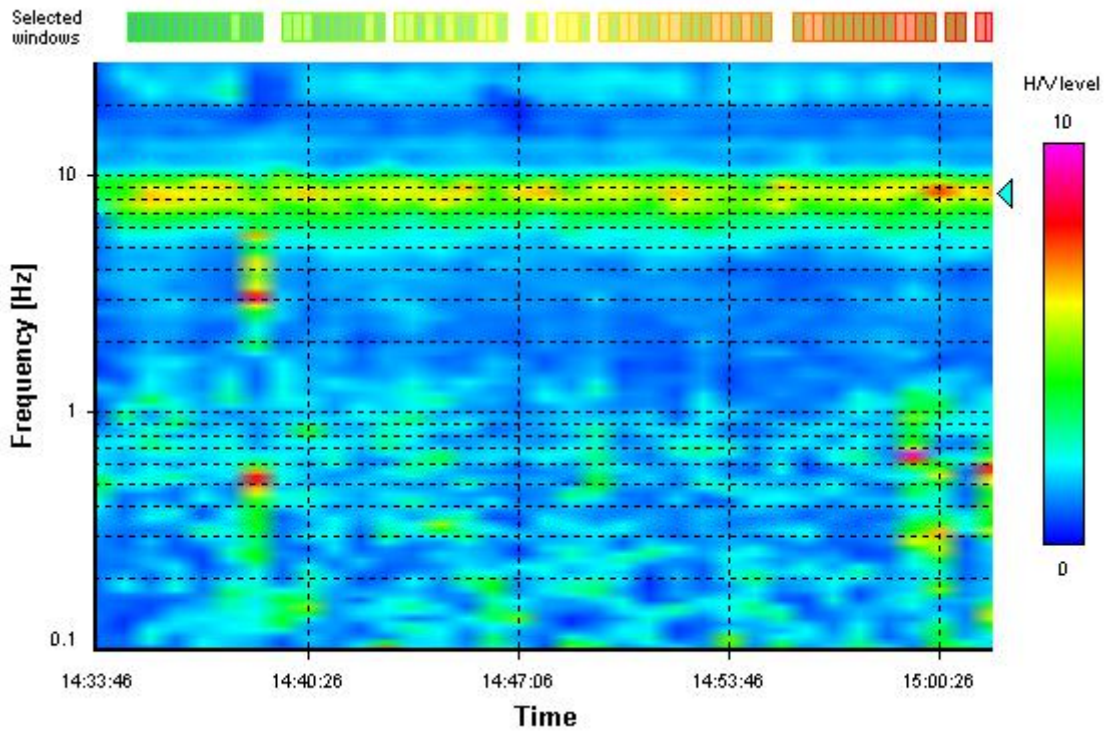
HVSR average



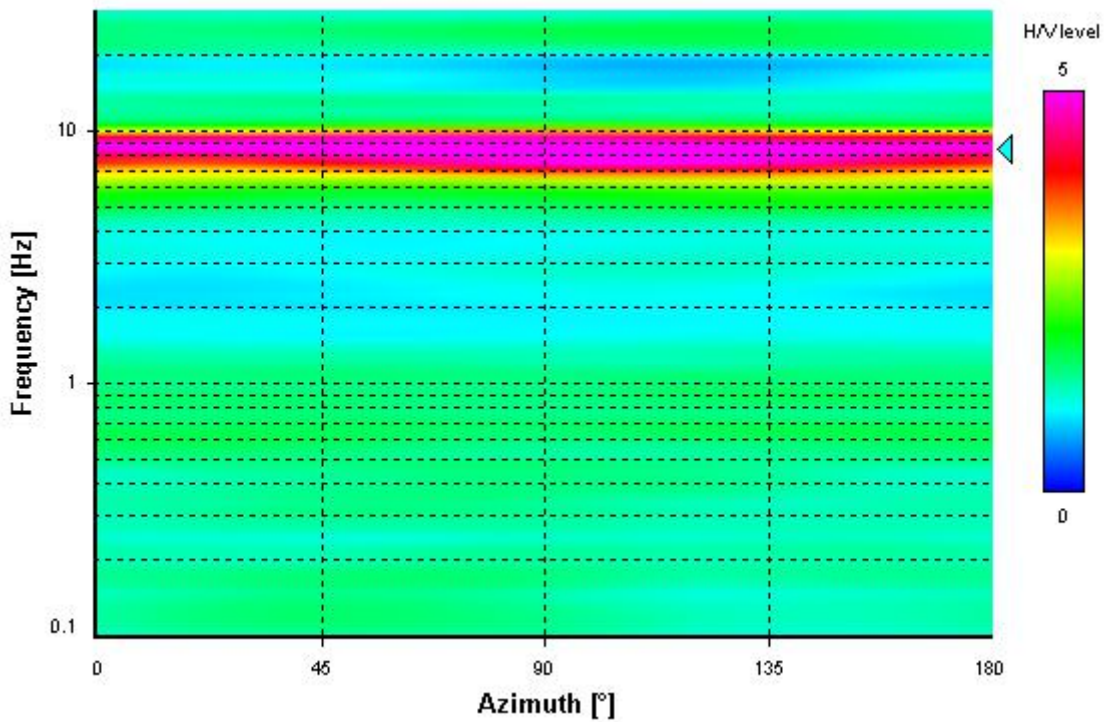
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



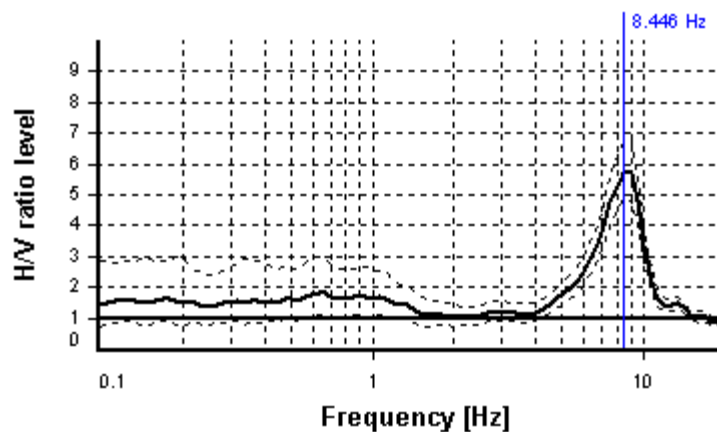
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

8.446 Hz

A_0 amplitude = 5.693

Average $f_0 = 8.503 \pm 0.528$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	122 valid windows (length > 1.18 s) out of 122	OK
$n_c(f_0) > 200$	20603.28 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 25	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	5.97752 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	10.63495 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.69 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	5.93% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.5282 >= 0.4223	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.16991 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR10

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Spedaletto

Address: -

Latitude: 4831698

Longitude: 1731474

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2020/11/17 09:20:25

Recording length: 30 min

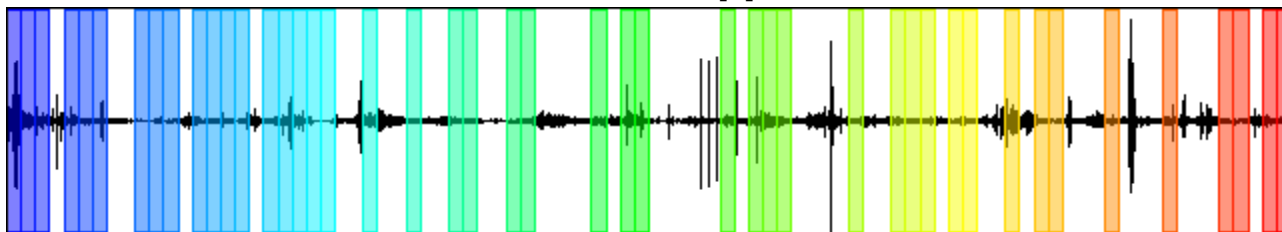
Windows count: 46

Average windows length: 20

Signal coverage: 51.11%

14099 Counts

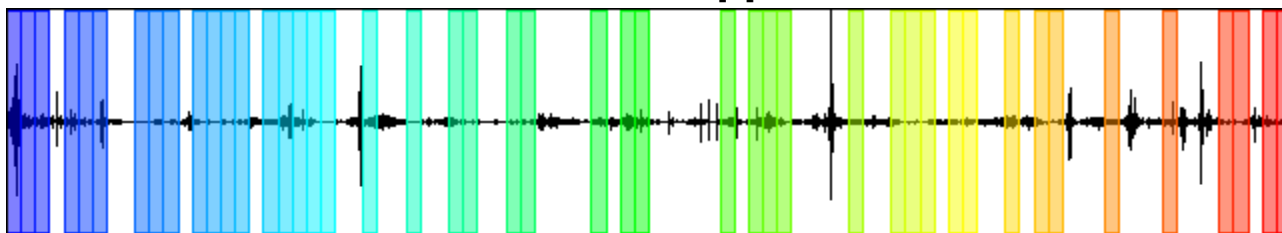
CHANNEL #1 [V]



-15425 Counts

45310 Counts

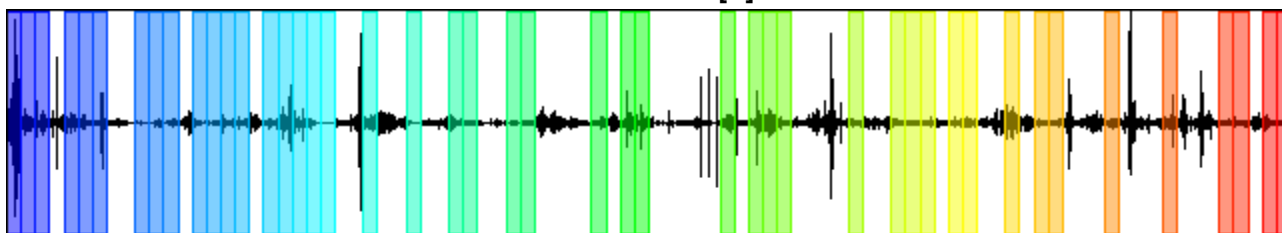
CHANNEL #2 [N]



-31372 Counts

28316 Counts

CHANNEL #3 [E]



-23991 Counts

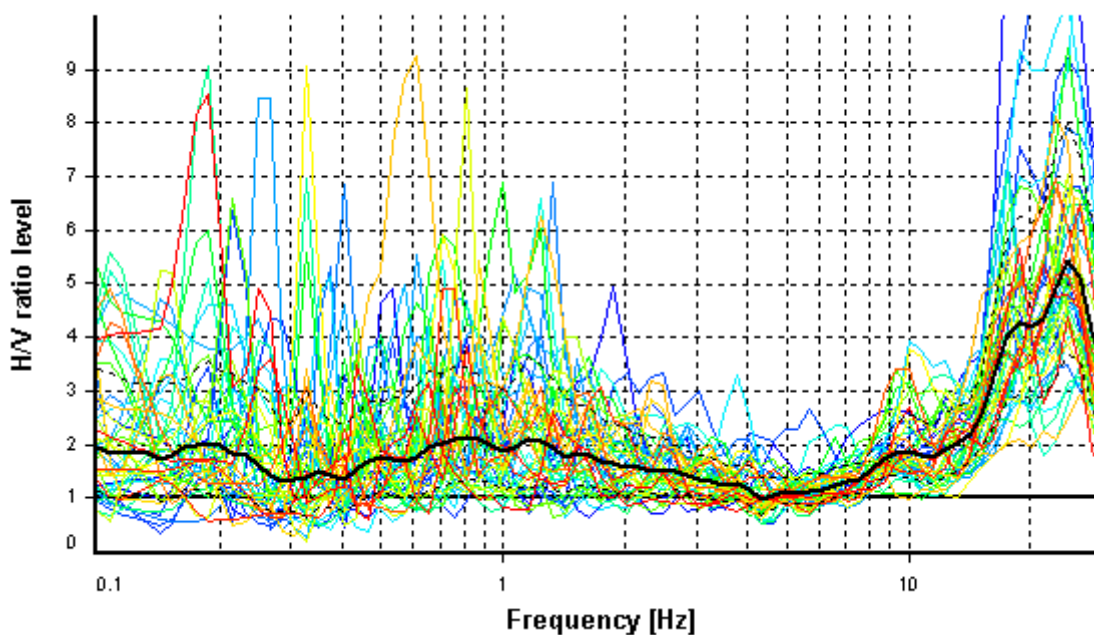
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

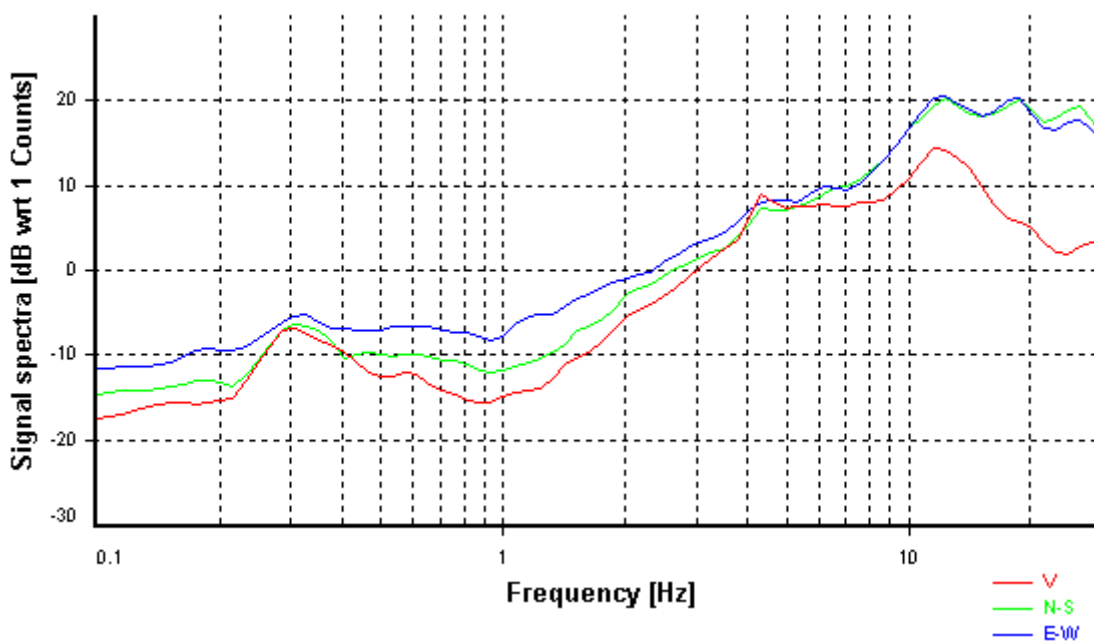
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

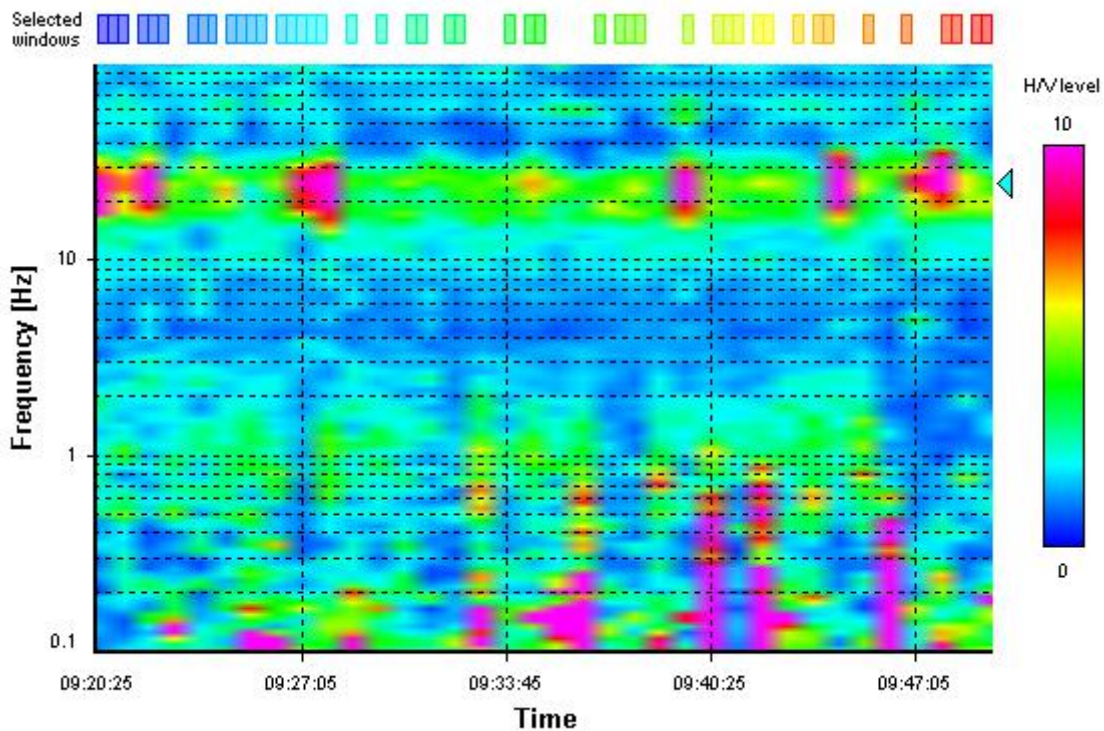
HVSR average



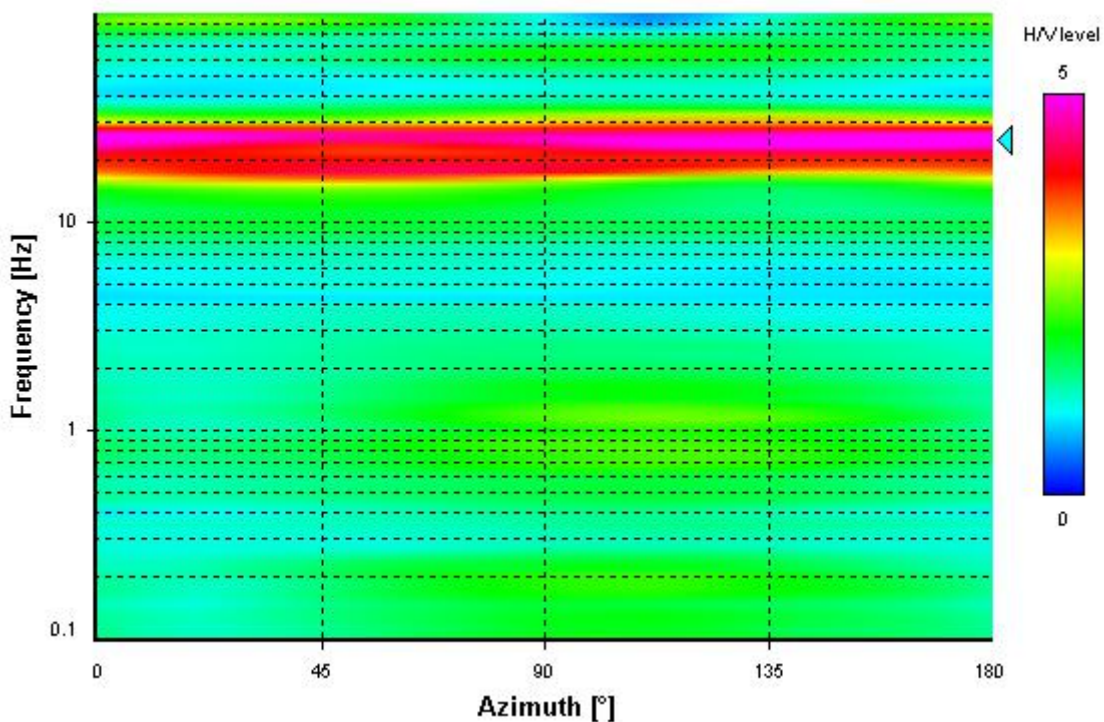
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



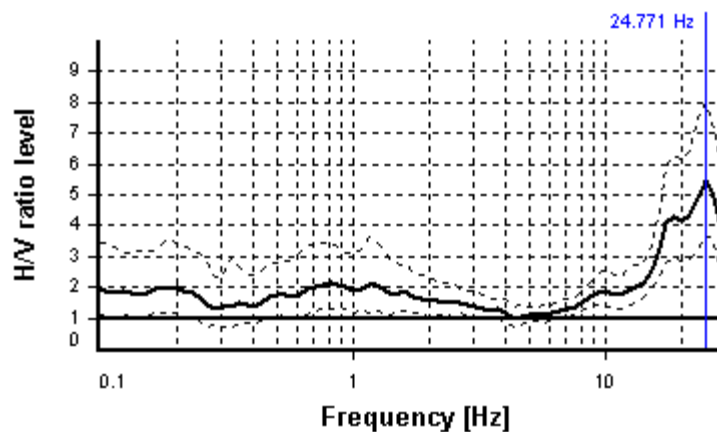
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

24.771 Hz

A_0 amplitude = 5.429

Average $f_0 = 23.606 \pm 3.404$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	46 valid windows (length > 0.4 s) out of 46	OK
$n_c(f_0) > 200$	22789.1 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 19	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	15.19911 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	32.74549 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.43 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.40425 >= 1.23854	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.47569 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR11

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ca di Buffa

Address: -

Latitude: 4825110

Longitude: 1735244

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

Recording start time: 2020/11/17 11:16:30

Recording length: 22.62 min

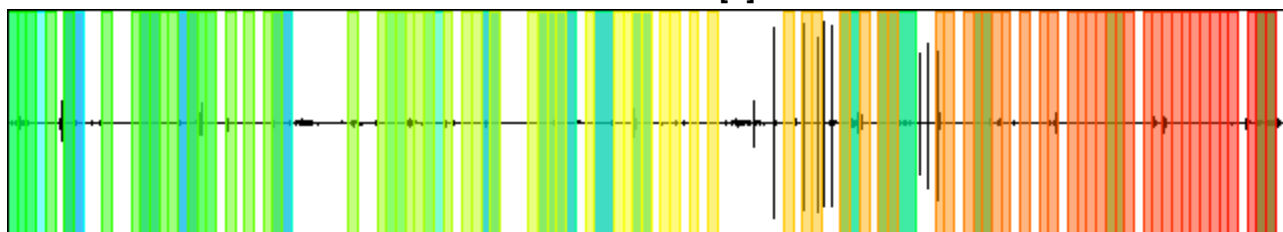
Windows count: 114

Average windows length: 12.96

Signal coverage: 108.84%

317267 Counts

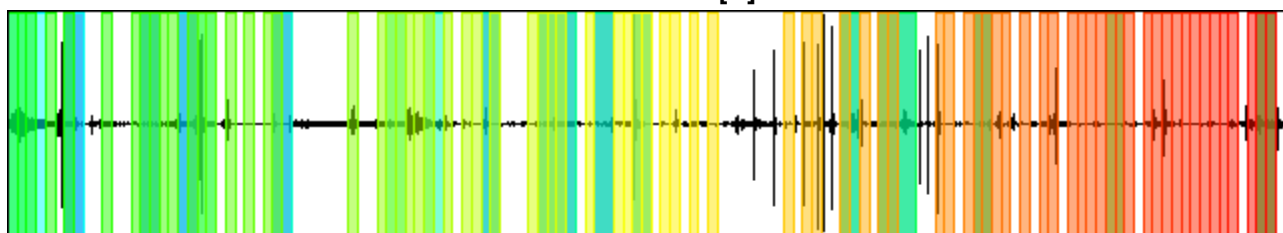
CHANNEL #1 [V]



-273780 Counts

120606 Counts

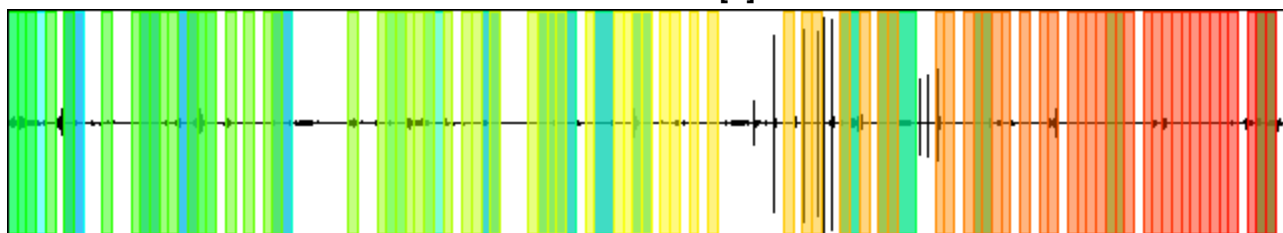
CHANNEL #2 [N]



-116116 Counts

361856 Counts

CHANNEL #3 [E]



-380804 Counts

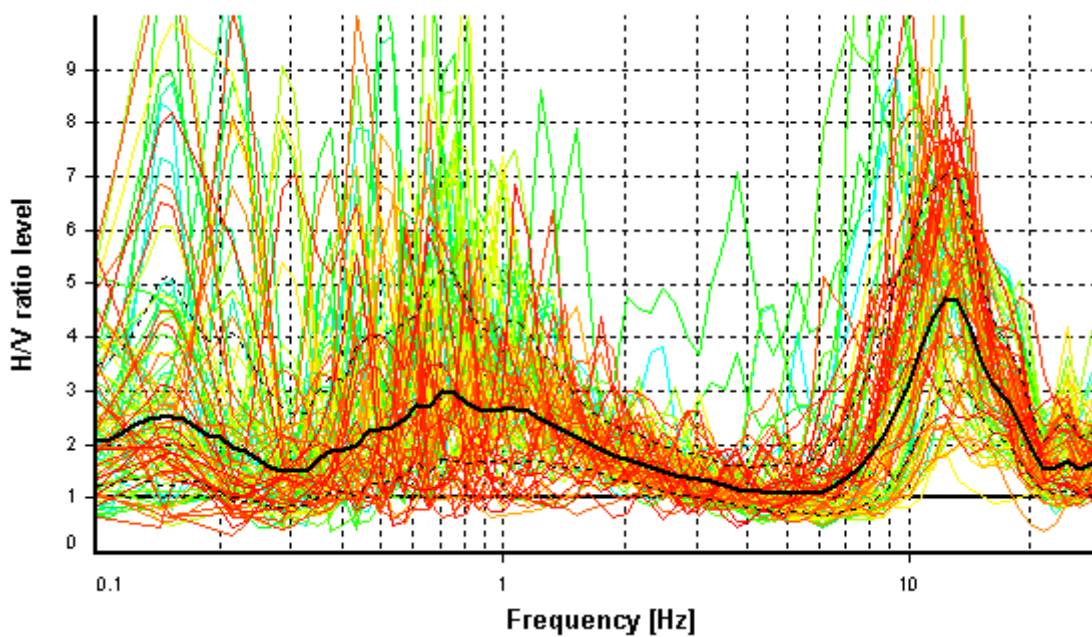
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

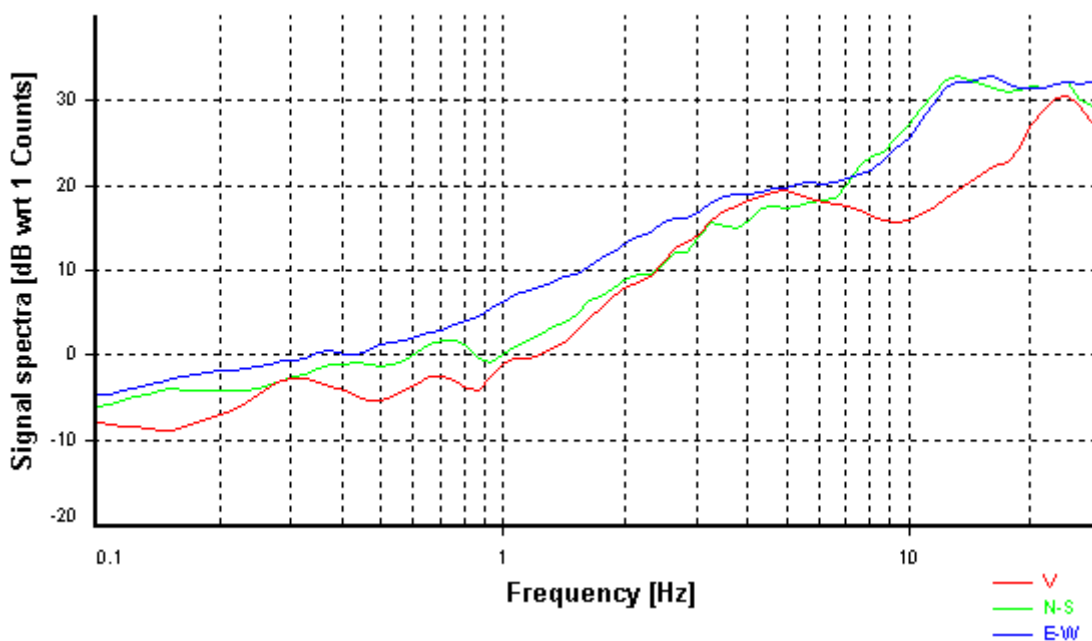
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

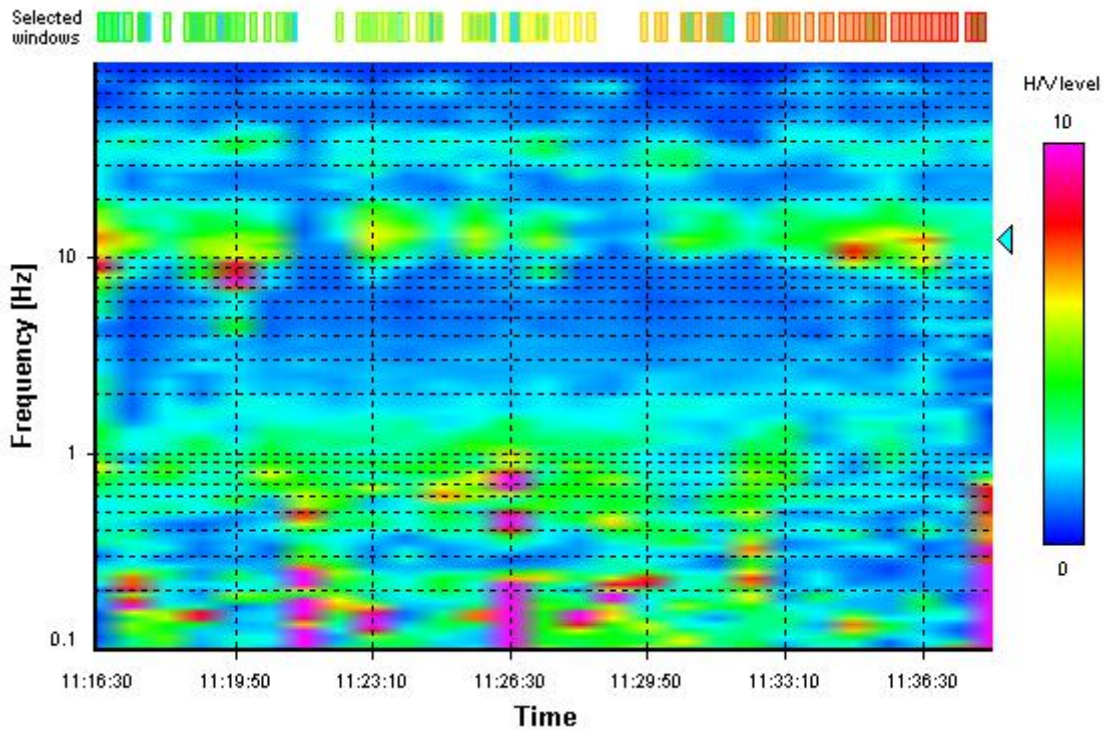
HVSR average



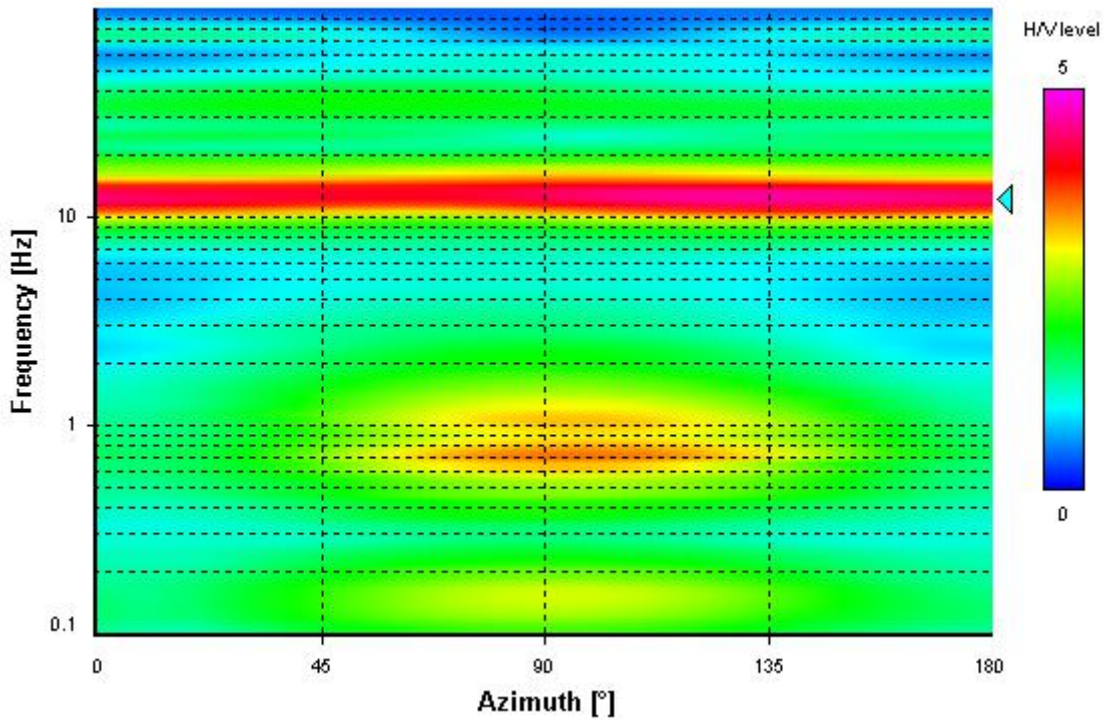
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



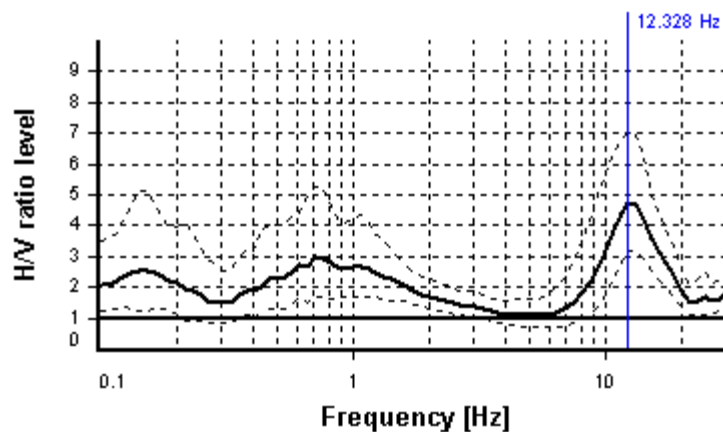
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

12.328 Hz

A_0 amplitude = 4.737

Average $f_0 = 12.431 \pm 1.506$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	114 valid windows (length > 0.81 s) out of 114	OK
$n_c(f_0) > 200$	18209.15 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 19	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	8.69749 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	20.09233 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.74 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.50564 >= 0.61642	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.4827 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR12

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Belvedere

Address: -

Latitude: 4825040

Longitude: 1734135

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/25 09:33:45

Recording length: 30 min

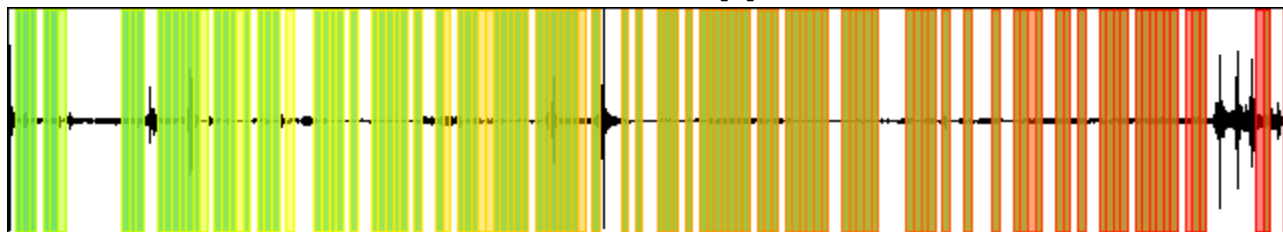
Windows count: 317

Average windows length: 10

Signal coverage: 176.11%

5655 Counts

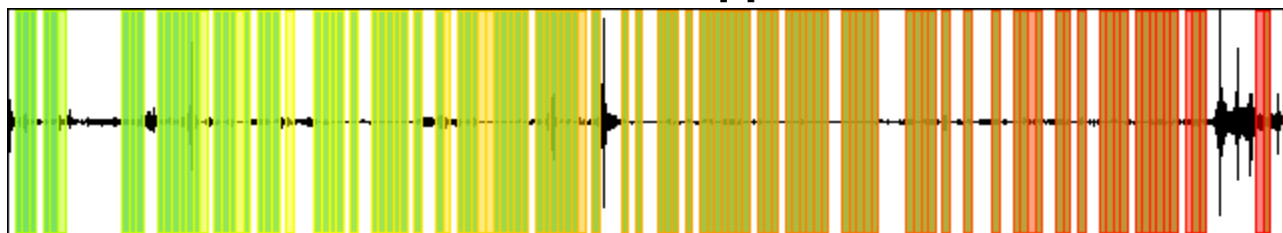
CHANNEL #1 [V]



-5599 Counts

6786 Counts

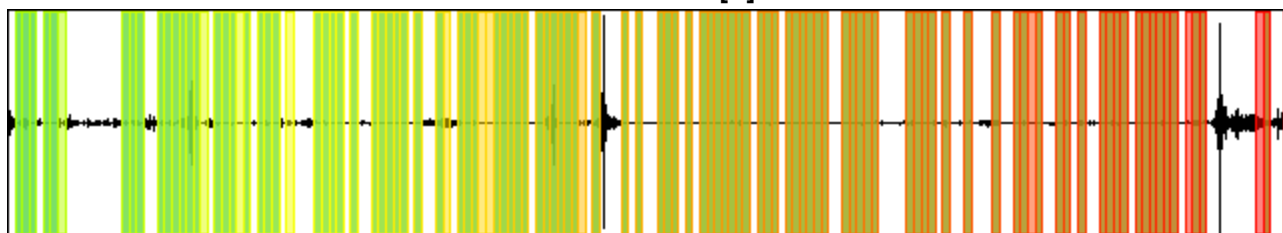
CHANNEL #2 [N]



-5732 Counts

10941 Counts

CHANNEL #3 [E]



-11423 Counts

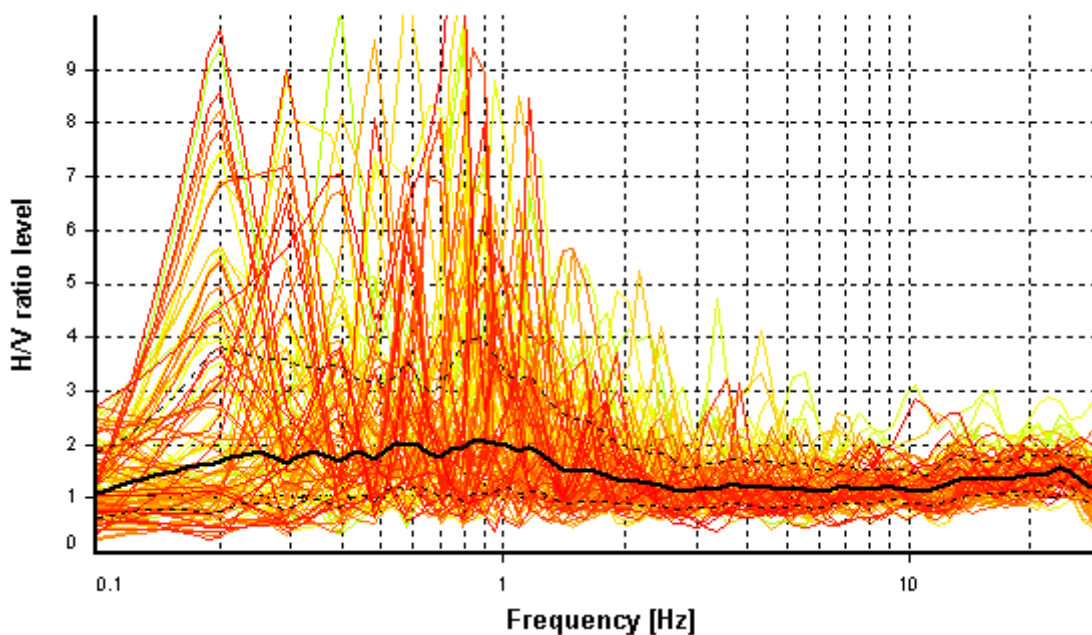
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

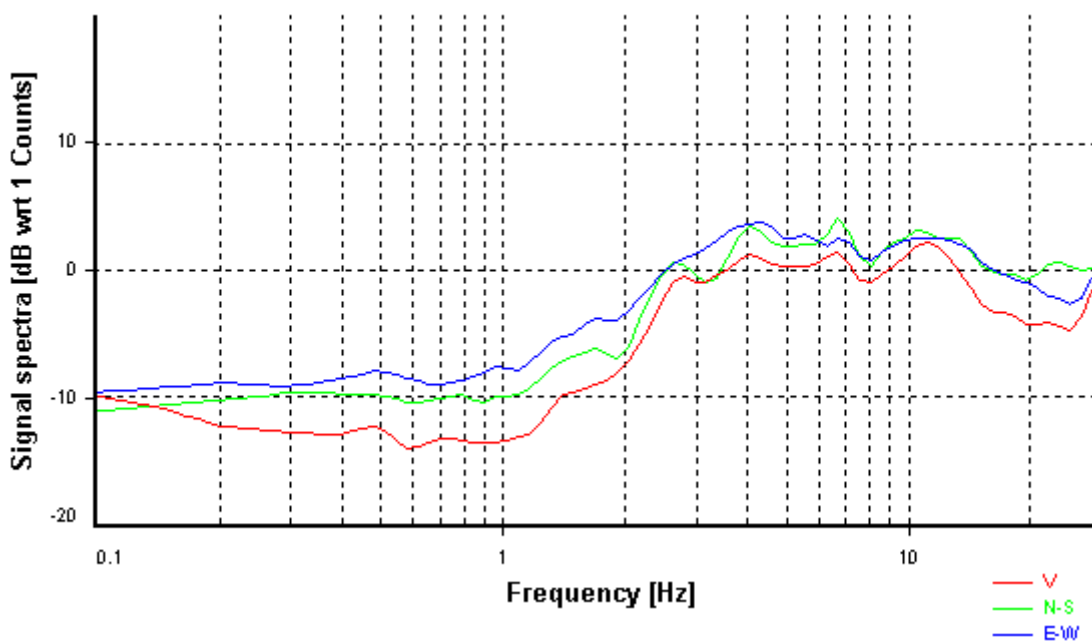
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

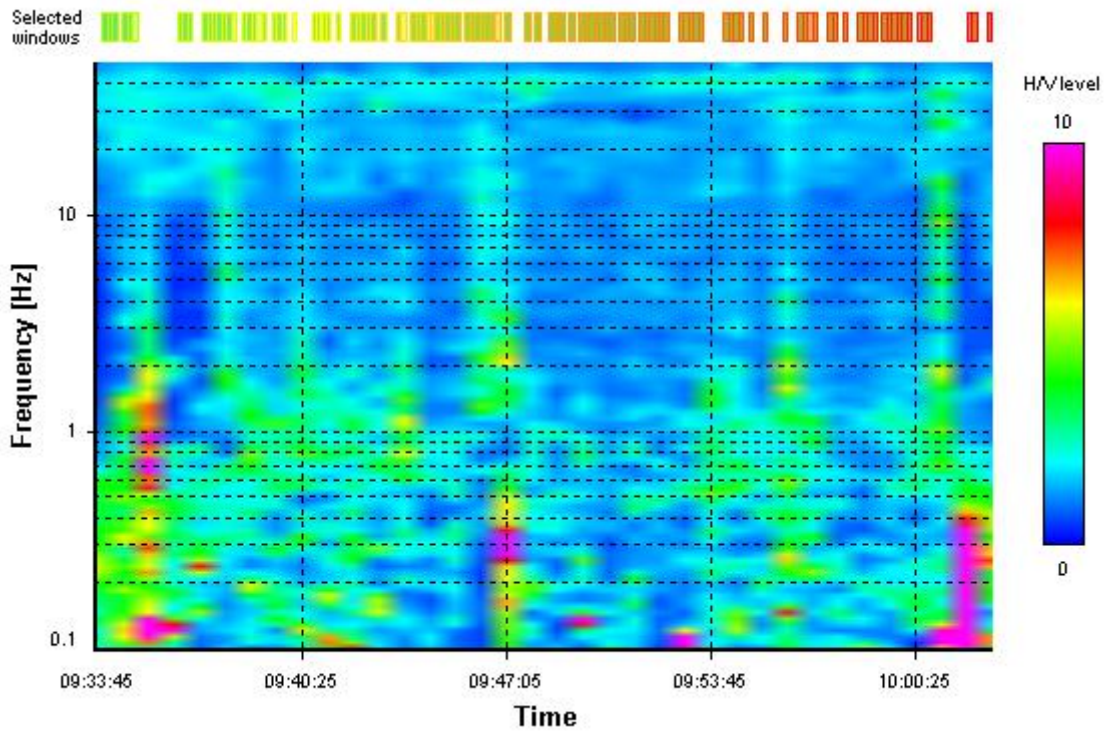
HVSR average



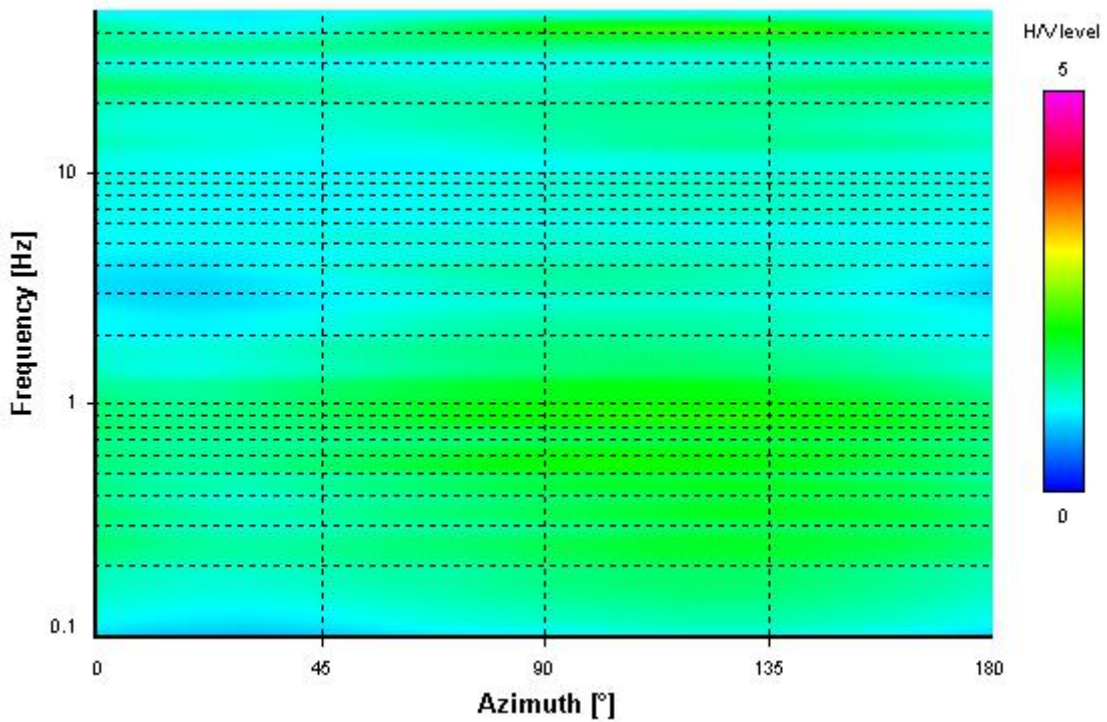
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR13

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Belvedere

Address: -

Latitude: 4824651

Longitude: 1734130

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 14:27:35

Recording length: 30 min

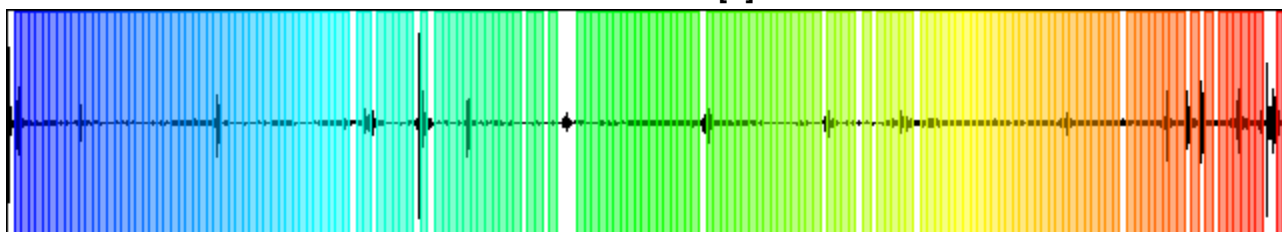
Windows count: 158

Average windows length: 10

Signal coverage: 87.78%

12353 Counts

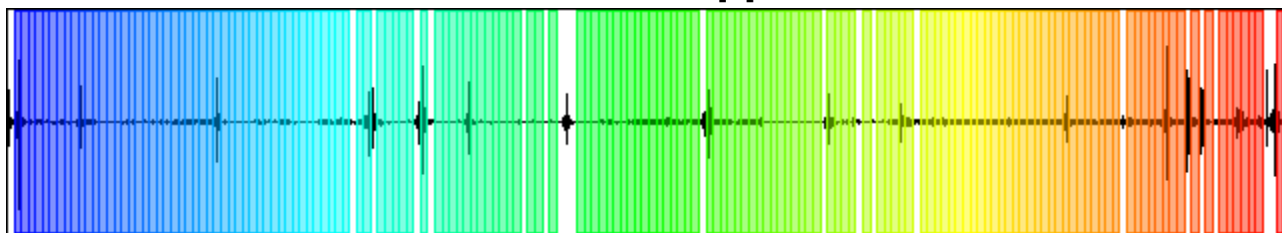
CHANNEL #1 [V]



-11442 Counts

30064 Counts

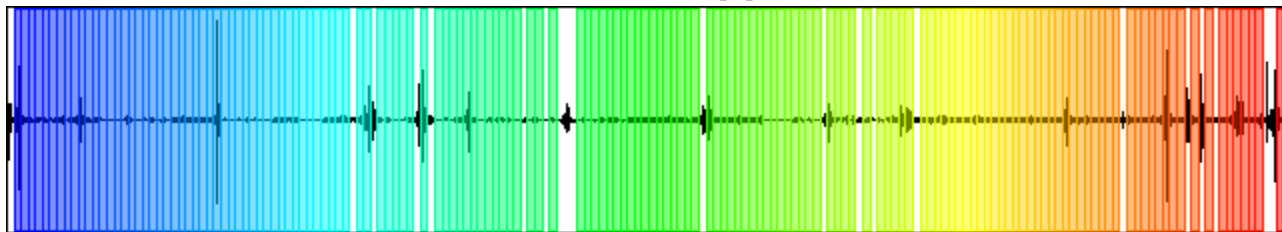
CHANNEL #2 [N]



-31622 Counts

20179 Counts

CHANNEL #3 [E]



-22495 Counts

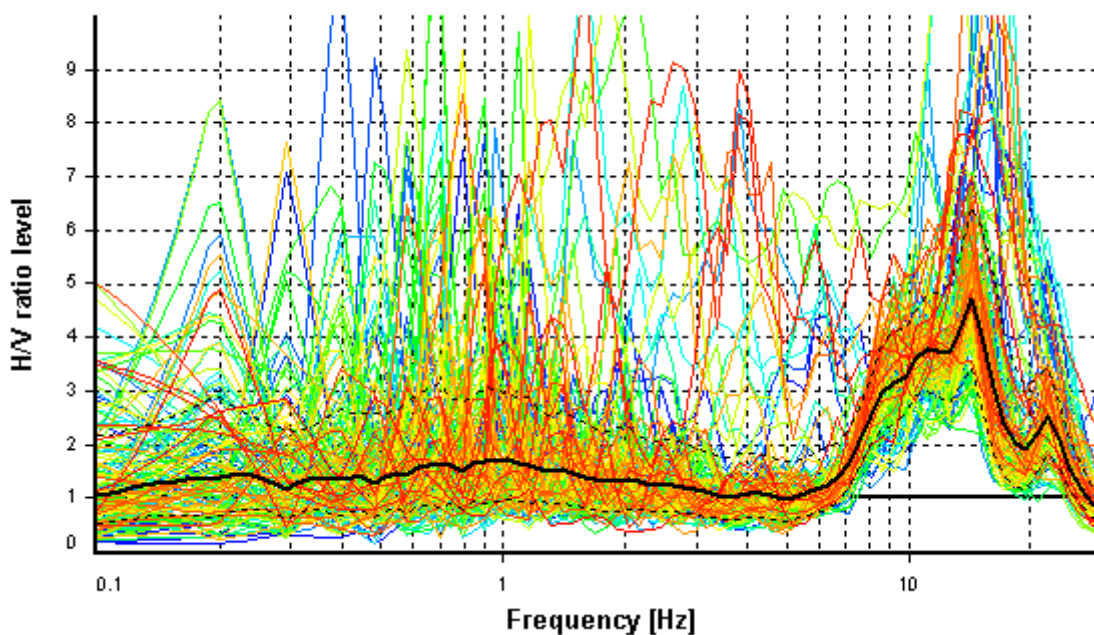
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

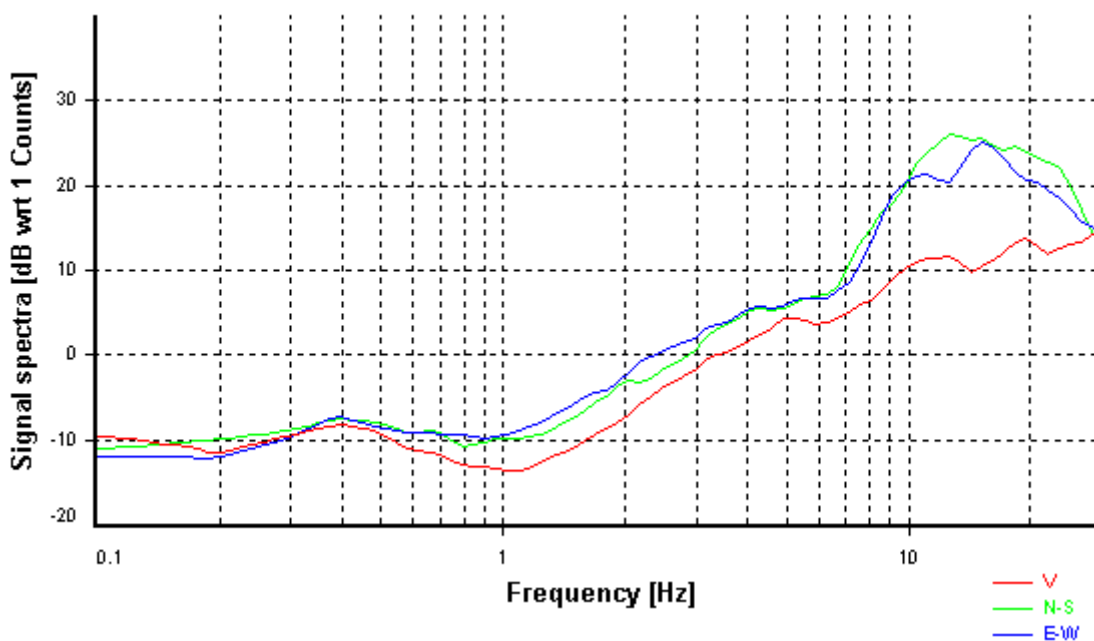
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

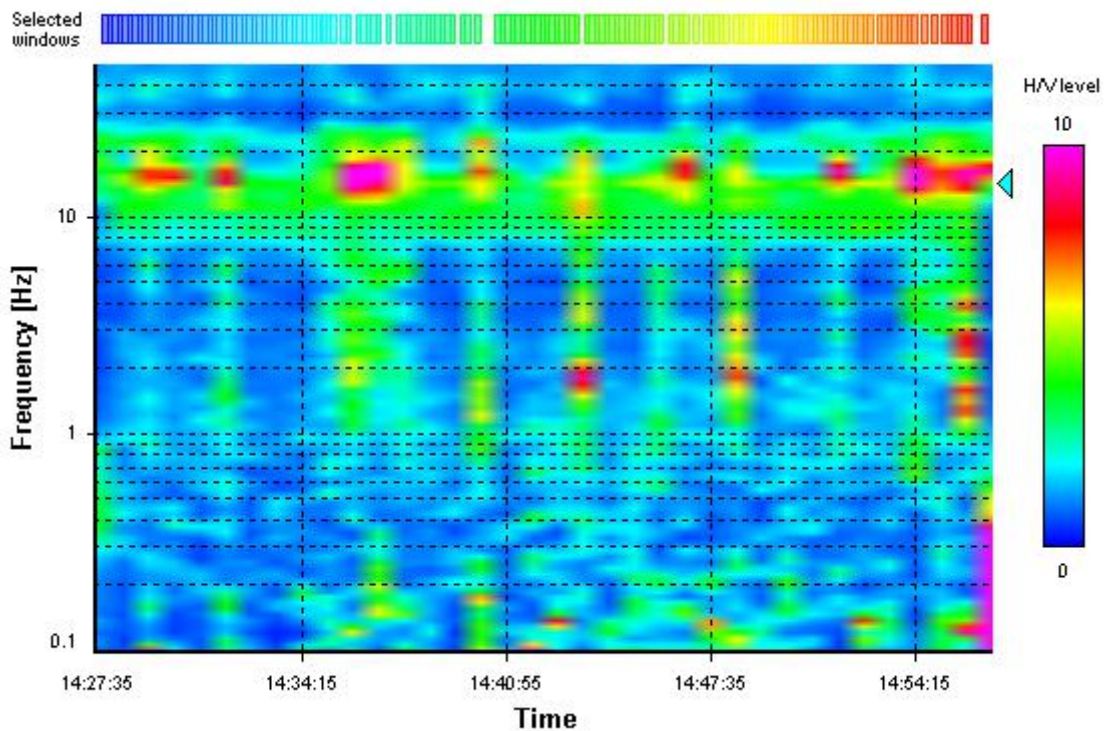
HVSR average



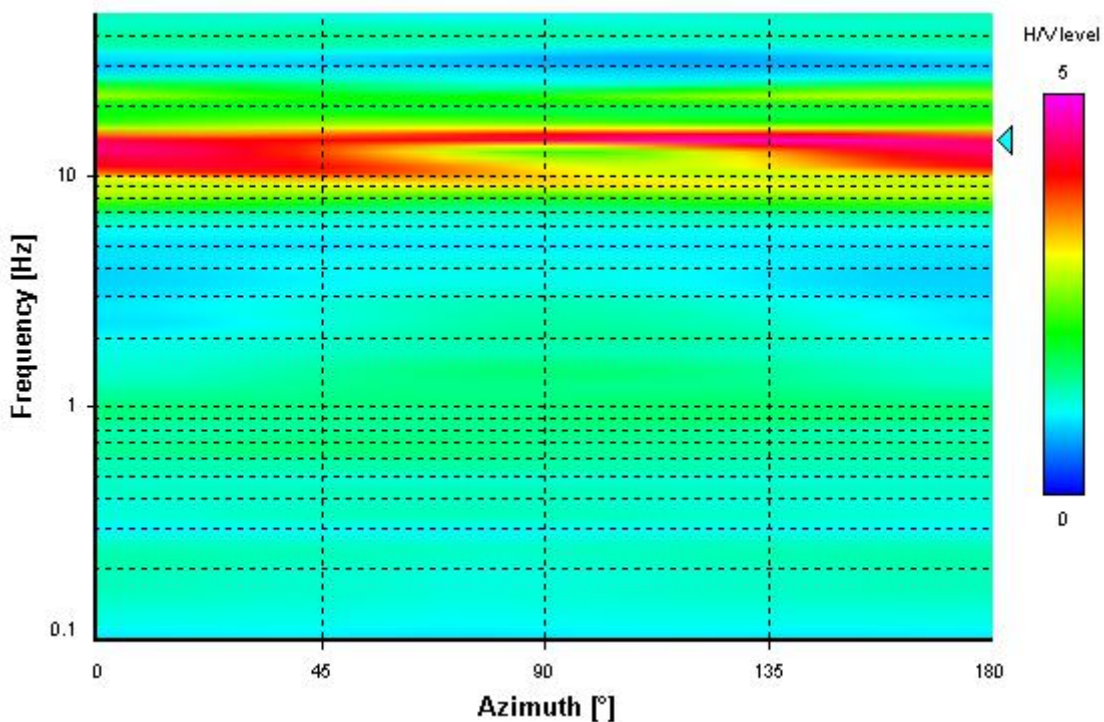
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



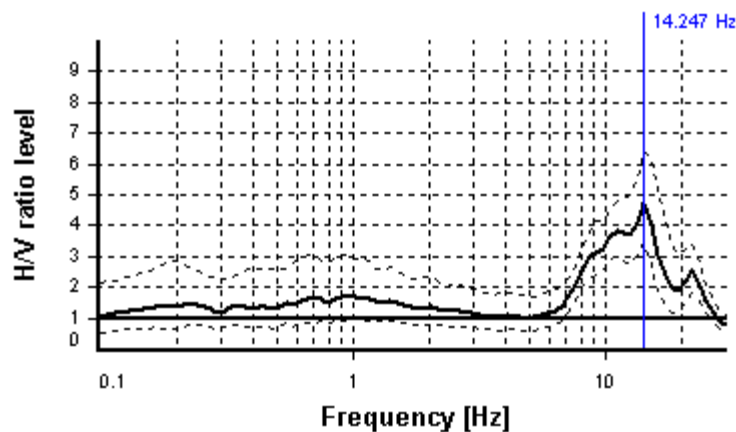
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

14.247 Hz

A_0 amplitude = 4.713

Average $f_0 = 13.513 \pm 1.739$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	158 valid windows (length > 0.7 s) out of 158	OK
$n_c(f_0) > 200$	22510.27 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	7.60502 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	18.31356 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.71 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.7387 >= 0.71235	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.36434 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR14

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ca di Buffa

Address: -

Latitude: 4825329

Longitude: 1734946

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/25 10:56:00

Recording length: 30 min

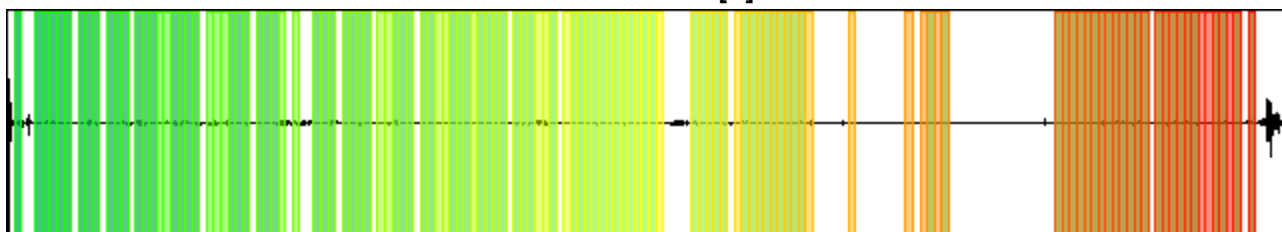
Windows count: 223

Average windows length: 10

Signal coverage: 123.89%

5528 Counts

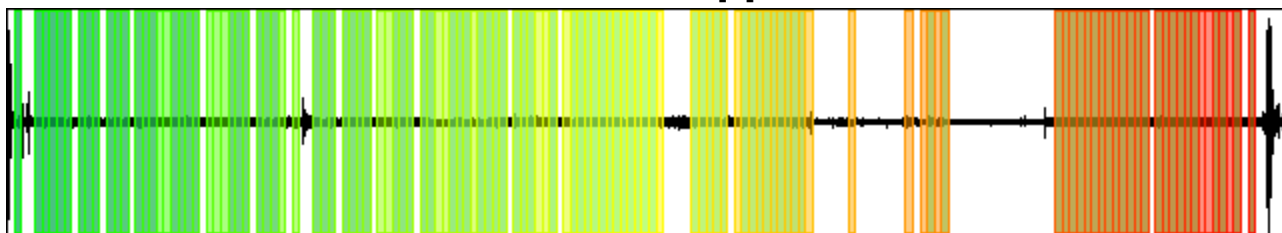
CHANNEL #1 [V]



-14381 Counts

2563 Counts

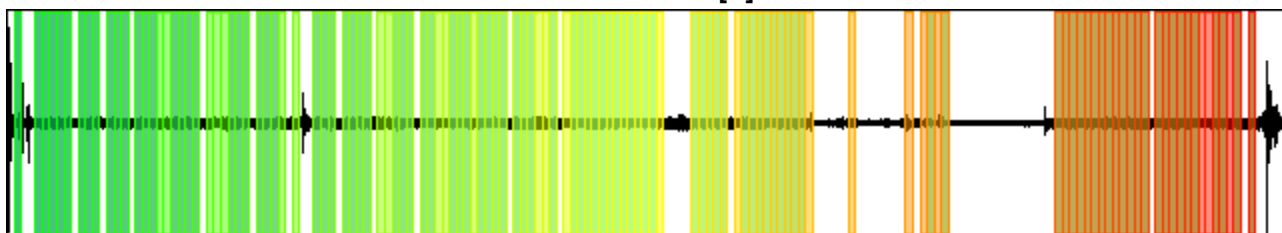
CHANNEL #2 [N]



-2752 Counts

2042 Counts

CHANNEL #3 [E]



-2396 Counts

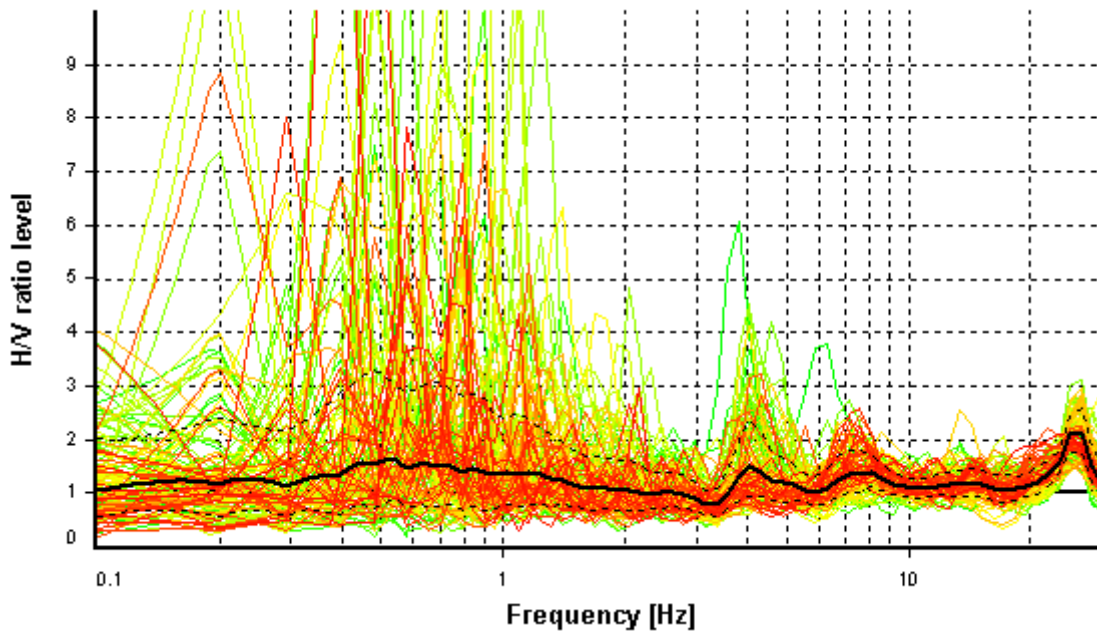
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

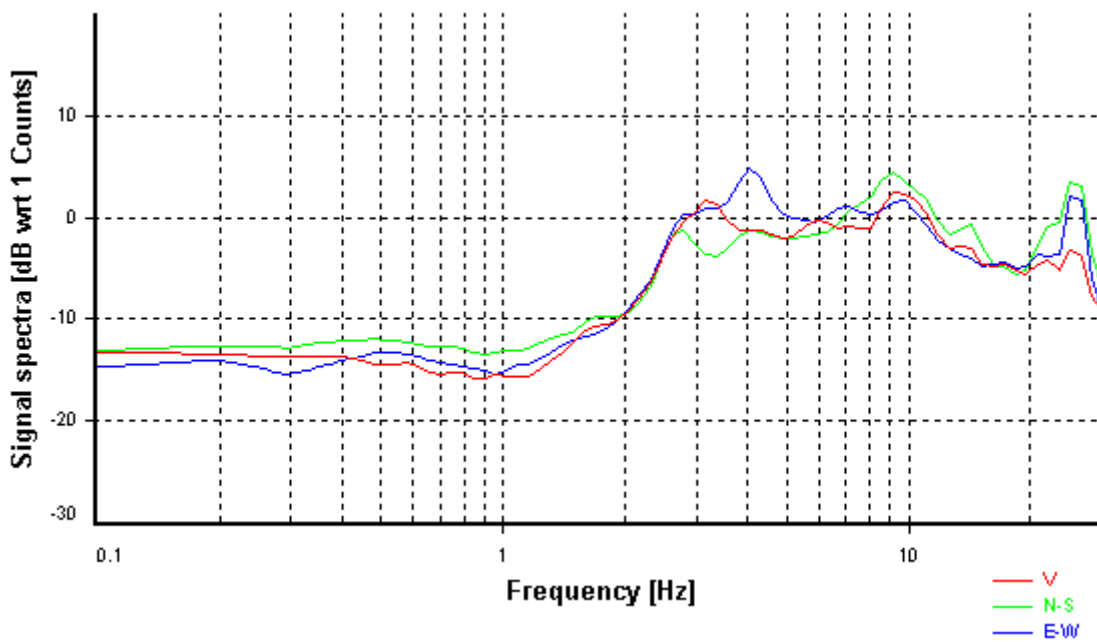
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

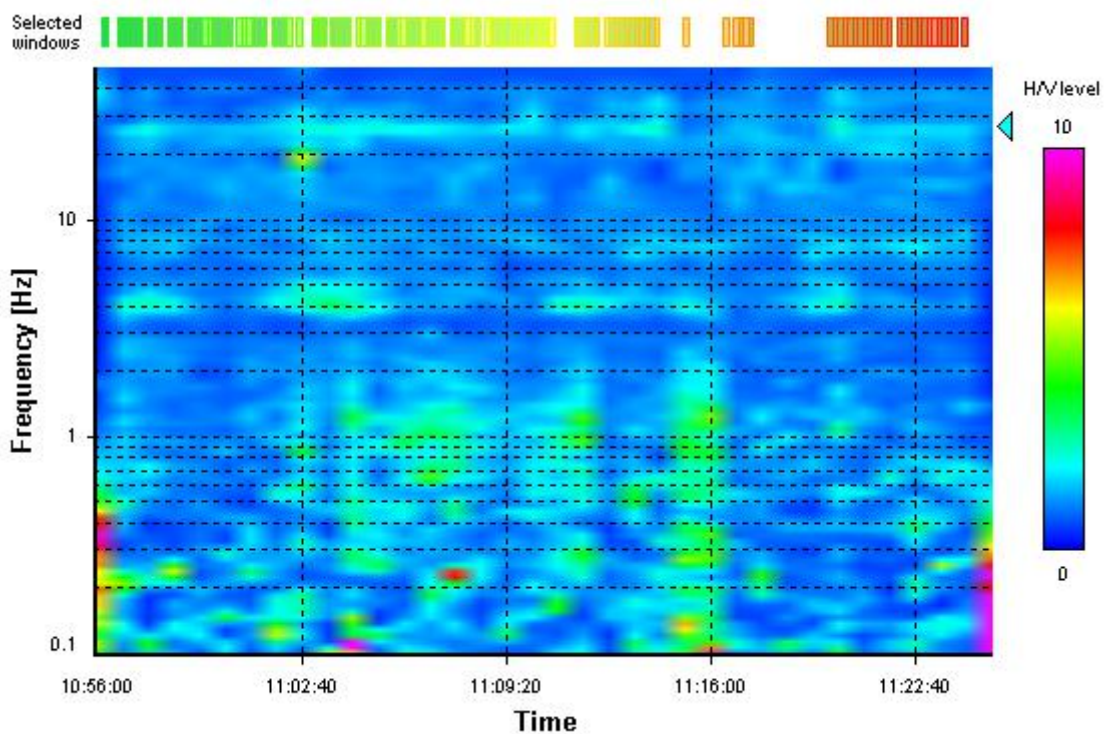
HVSR average



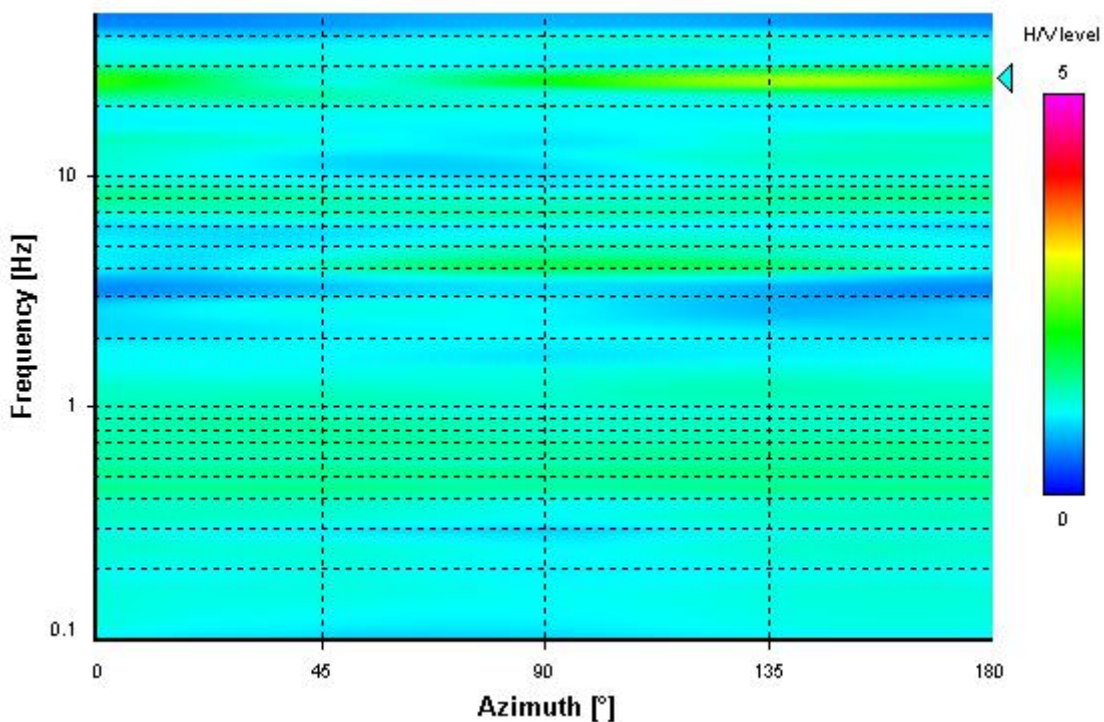
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



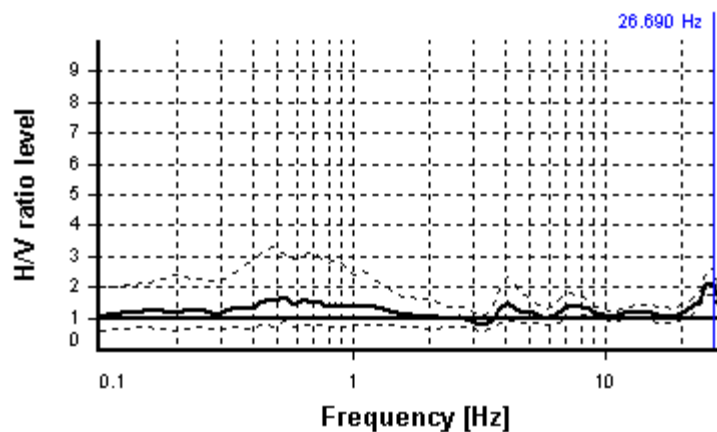
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

26.690 Hz

A_0 amplitude = 2.122

Average $f_0 = 26.107 \pm 1.485$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	223 valid windows (length > 0.37 s) out of 223	OK
$n_c(f_0) > 200$	59518.45 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 22	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	17.19929 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	41.41742 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.12 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	6.08% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.48483 >= 1.33449	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21209 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR15

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Ca di Buffa

Address: -

Latitude: 4825346

Longitude: 1735110

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

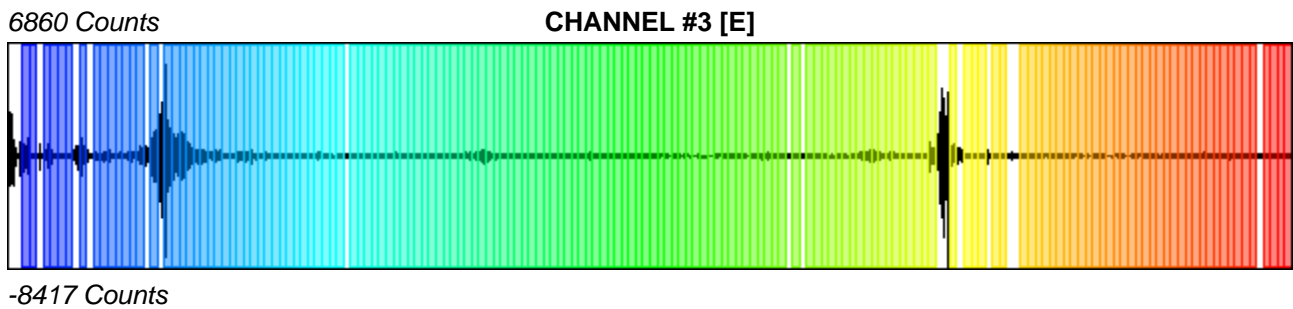
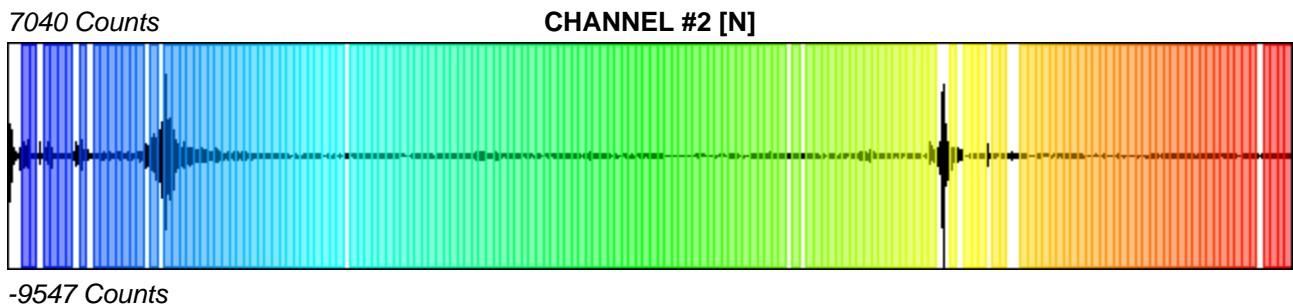
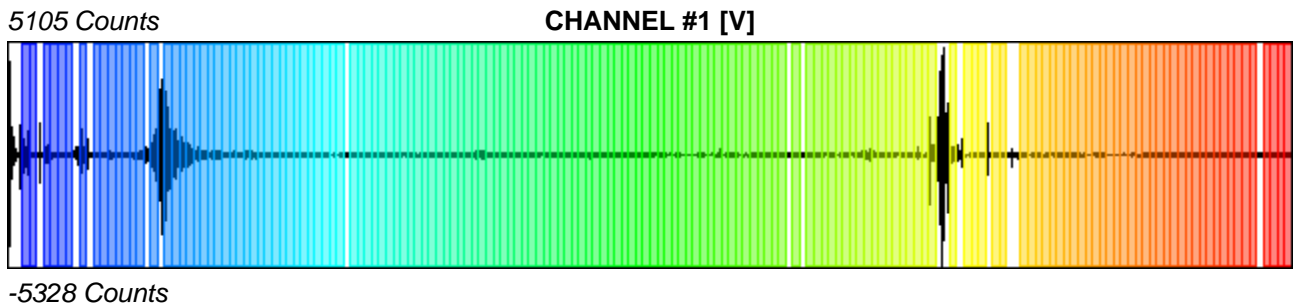
Recording start time: 2020/11/25 11:34:30

Recording length: 30 min

Windows count: 163

Average windows length: 10

Signal coverage: 90.56%



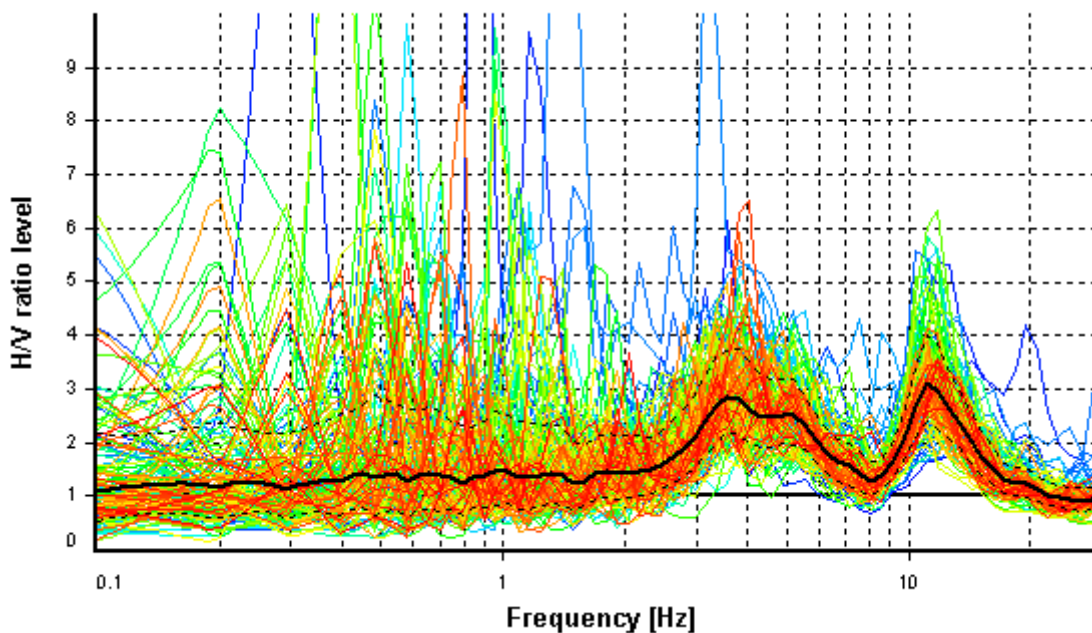
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

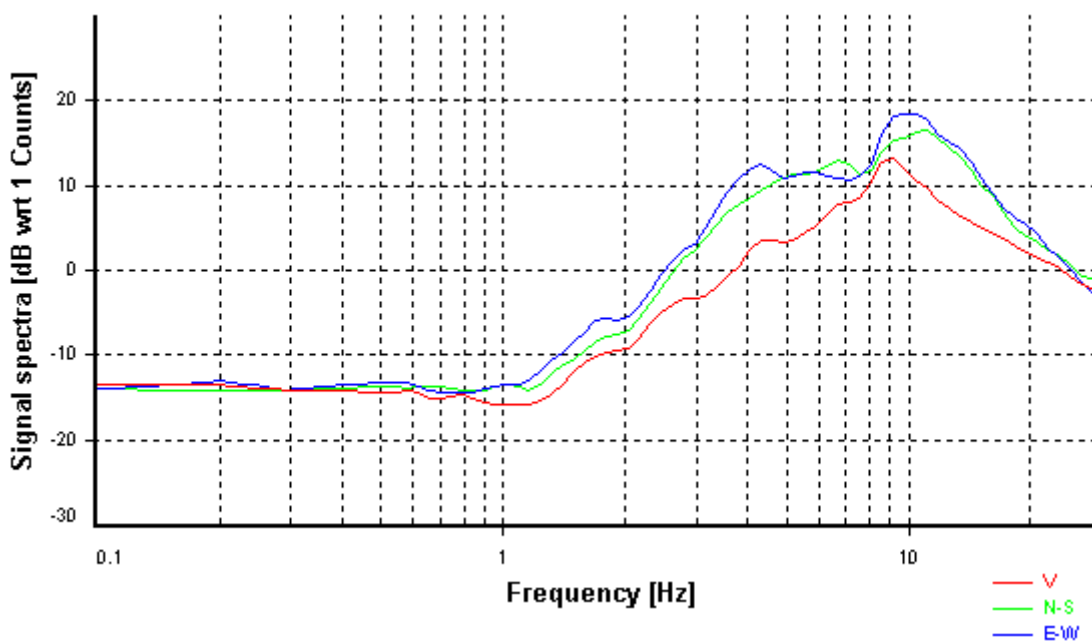
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

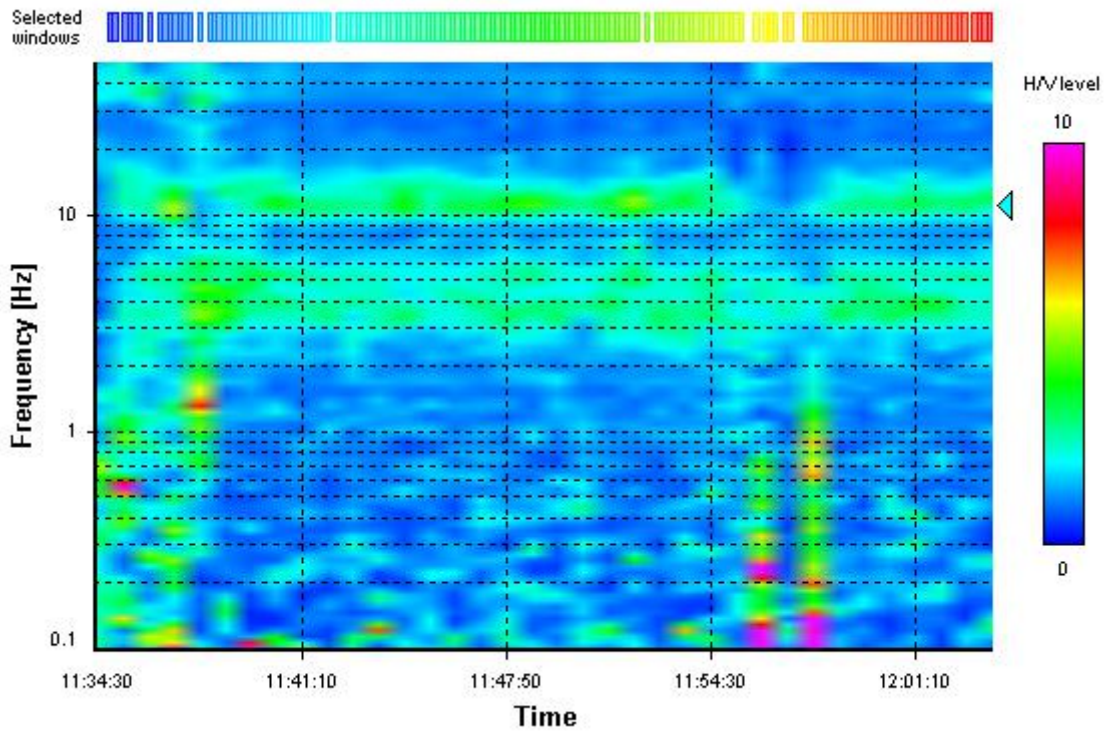
HVSR average



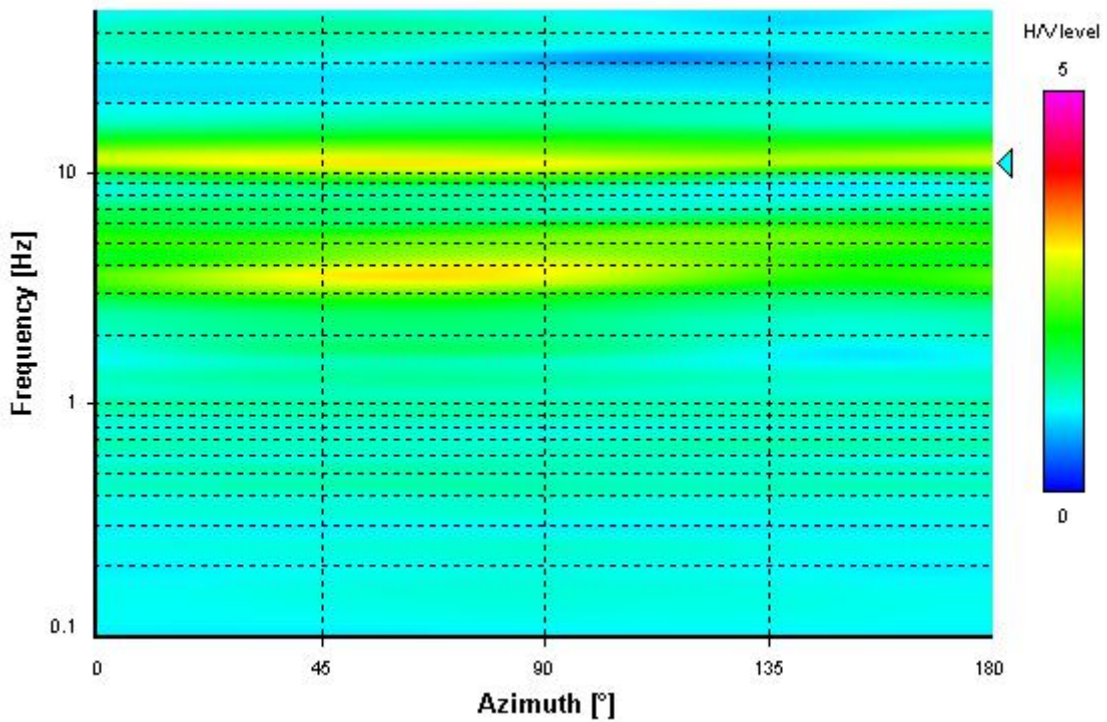
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



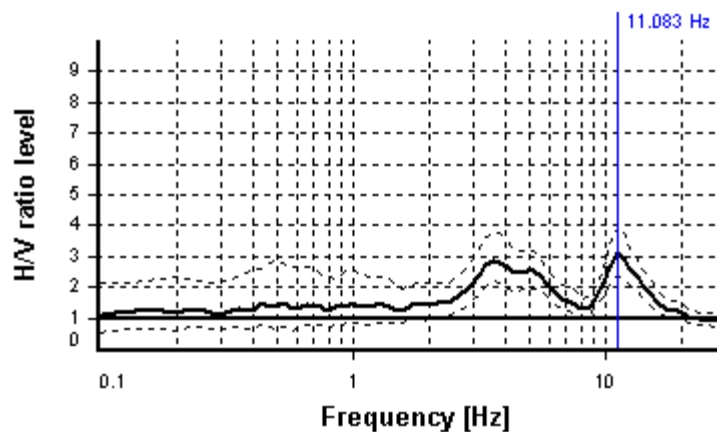
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

11.083 Hz

A_0 amplitude = 3.091

Average $f_0 = 11.458 \pm 1.044$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	163 valid windows (length > 0.9 s) out of 163	OK
$n_c(f_0) > 200$	18065.99 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	8.62234 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	16.15281 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.09 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.04415 >= 0.55417	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.29129 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR16

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Chiaveretto

Address: -

Latitude: 4825688

Longitude: 1736451

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

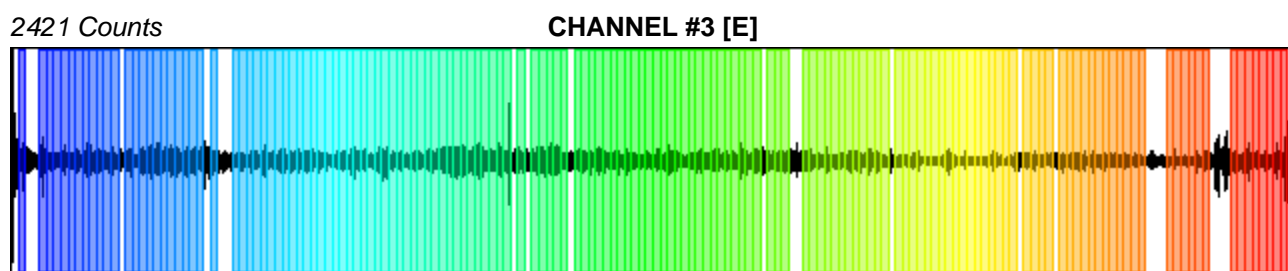
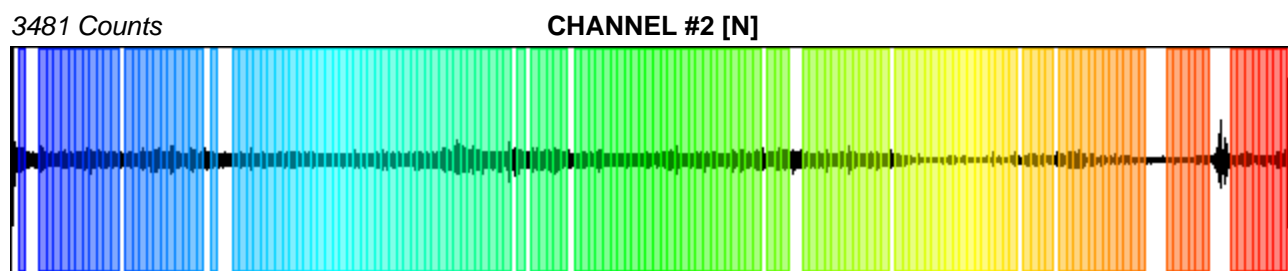
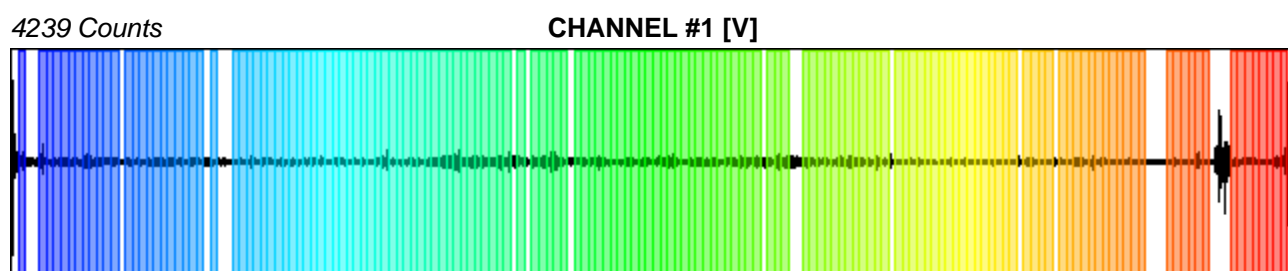
Recording start time: 2020/11/25 12:18:26

Recording length: 30 min

Windows count: 157

Average windows length: 10

Signal coverage: 87.22%



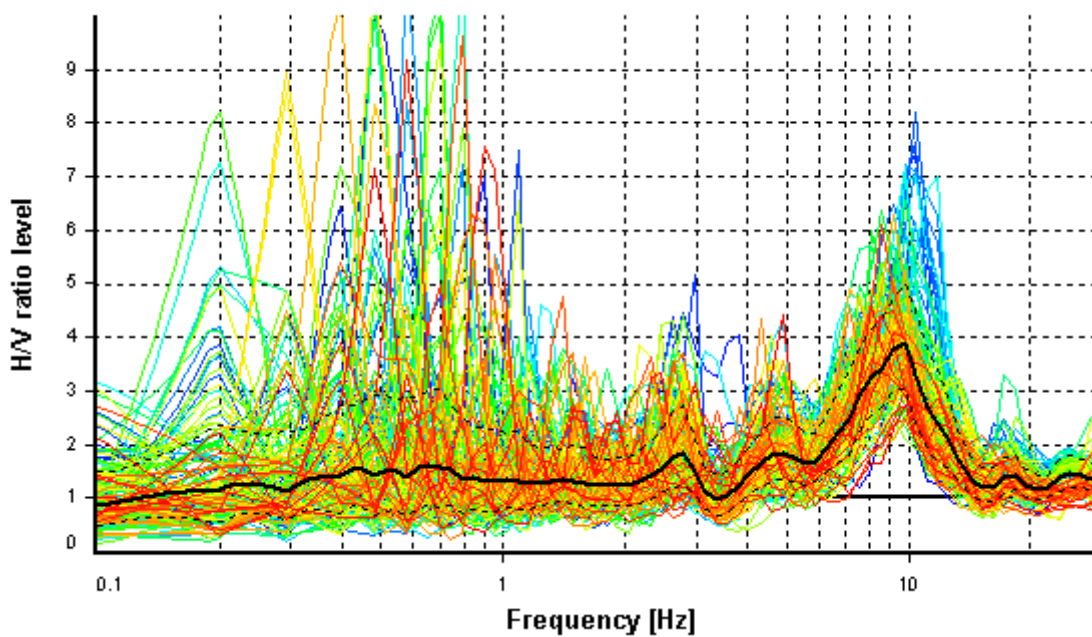
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

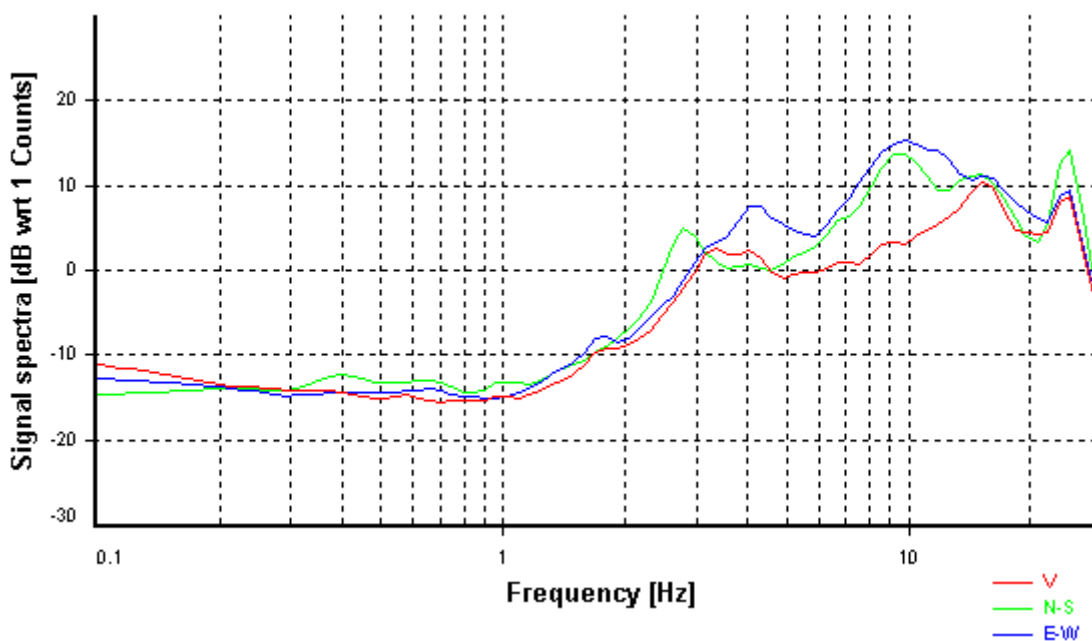
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

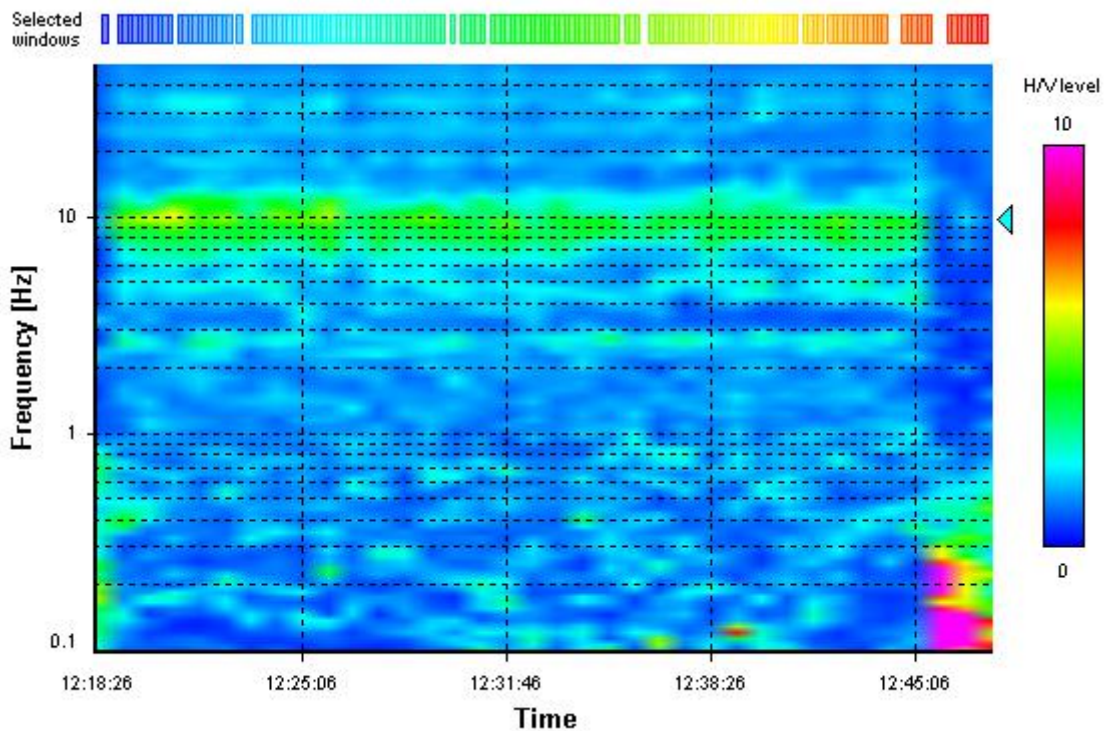
HVSR average



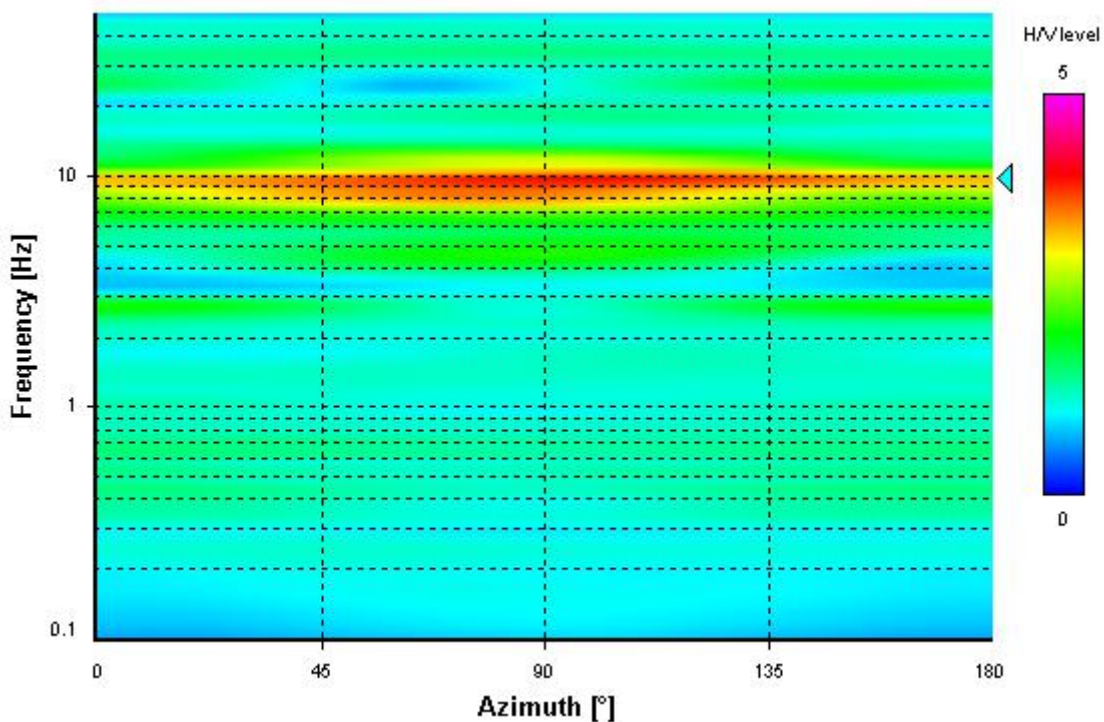
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



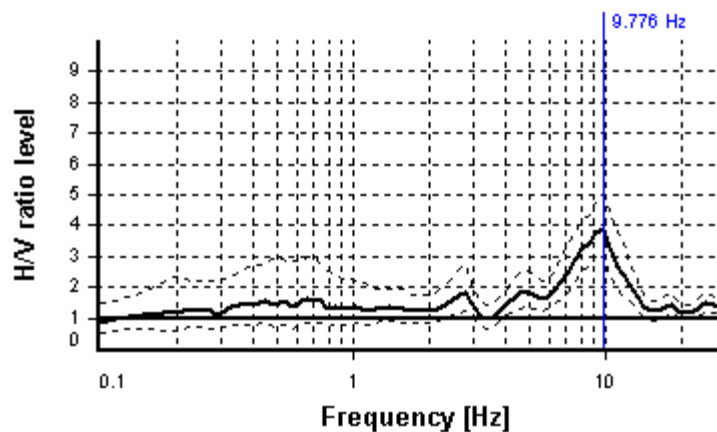
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

9.776 Hz

A_0 amplitude = 3.901

Average $f_0 = 9.287 \pm 0.892$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	157 valid windows (length > 1.02 s) out of 157	OK
$n_c(f_0) > 200$	15347.91 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	5.91631 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	13.38016 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.9 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.8918 >= 0.48879	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.28587 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR17

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Chiaveretto

Address: -

Latitude: 4826267

Longitude: 1736553

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

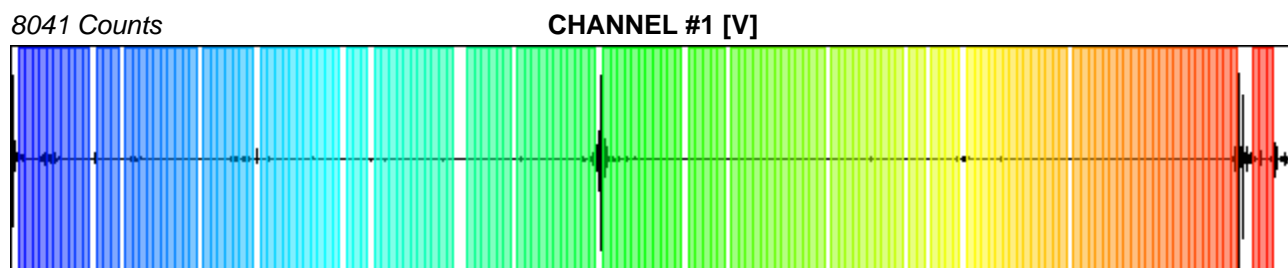
Recording start time: 2020/11/25 12:59:39

Recording length: 30 min

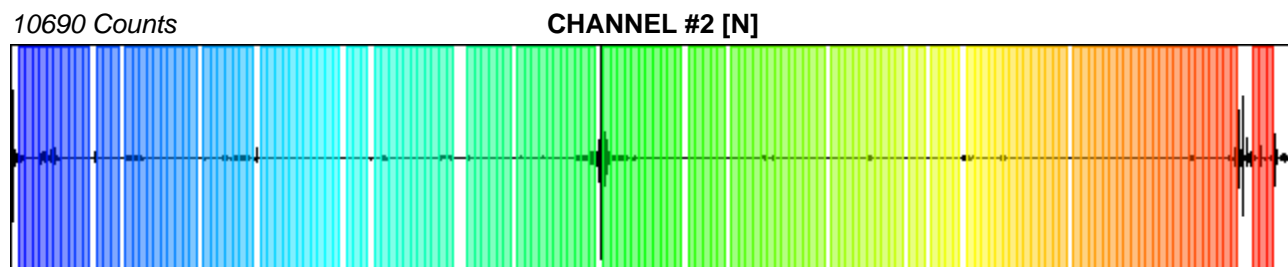
Windows count: 157

Average windows length: 10

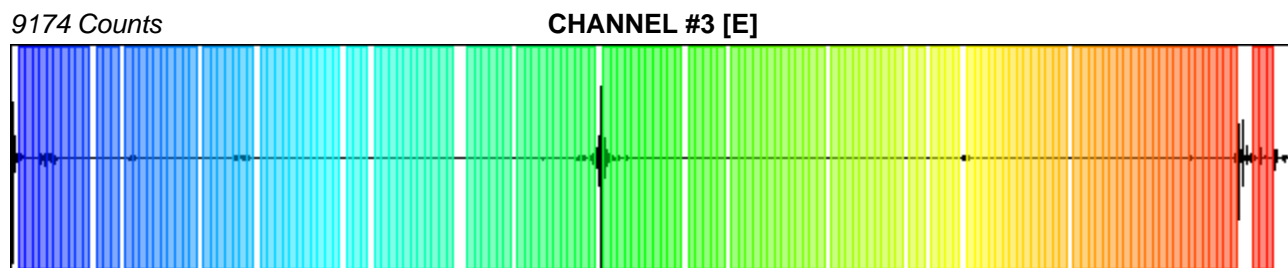
Signal coverage: 87.22%



-10499 Counts



-9822 Counts



-14311 Counts

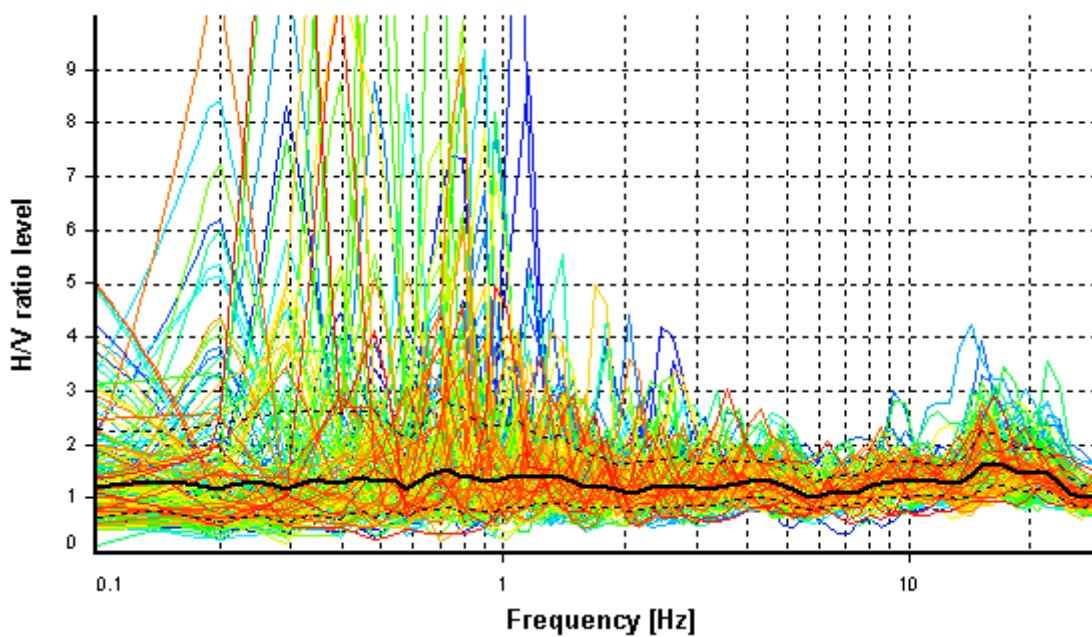
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

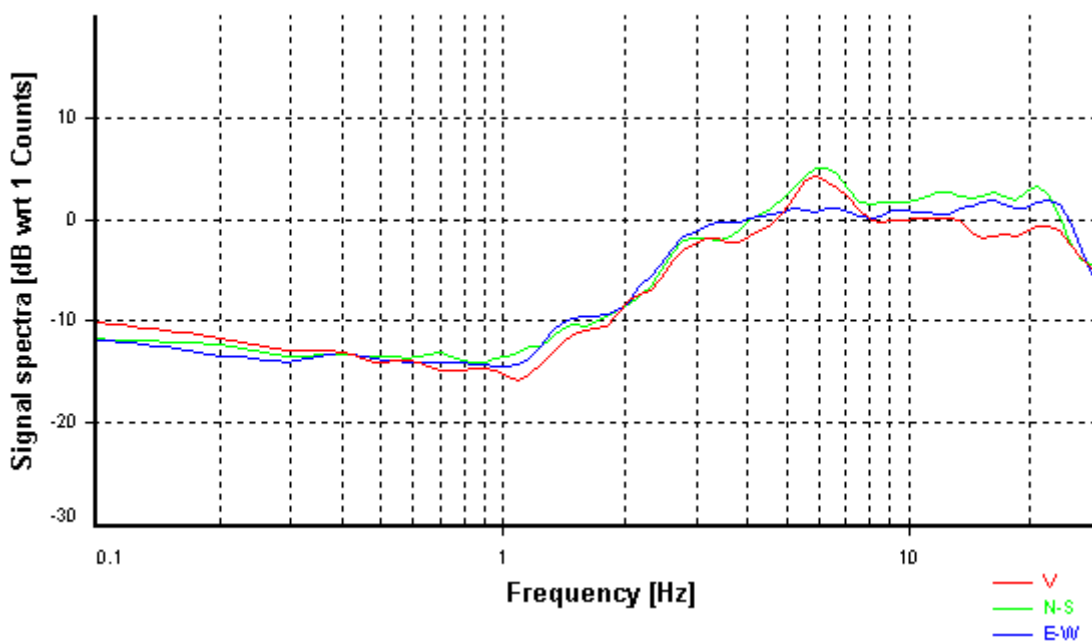
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

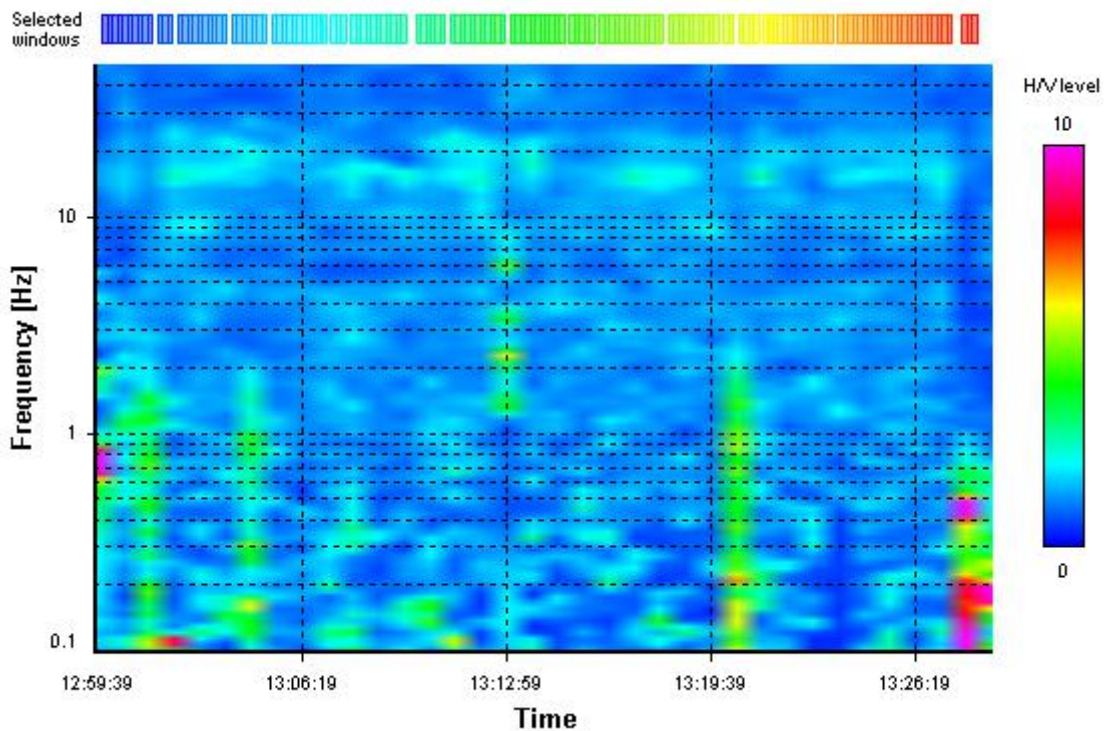
HVSR average



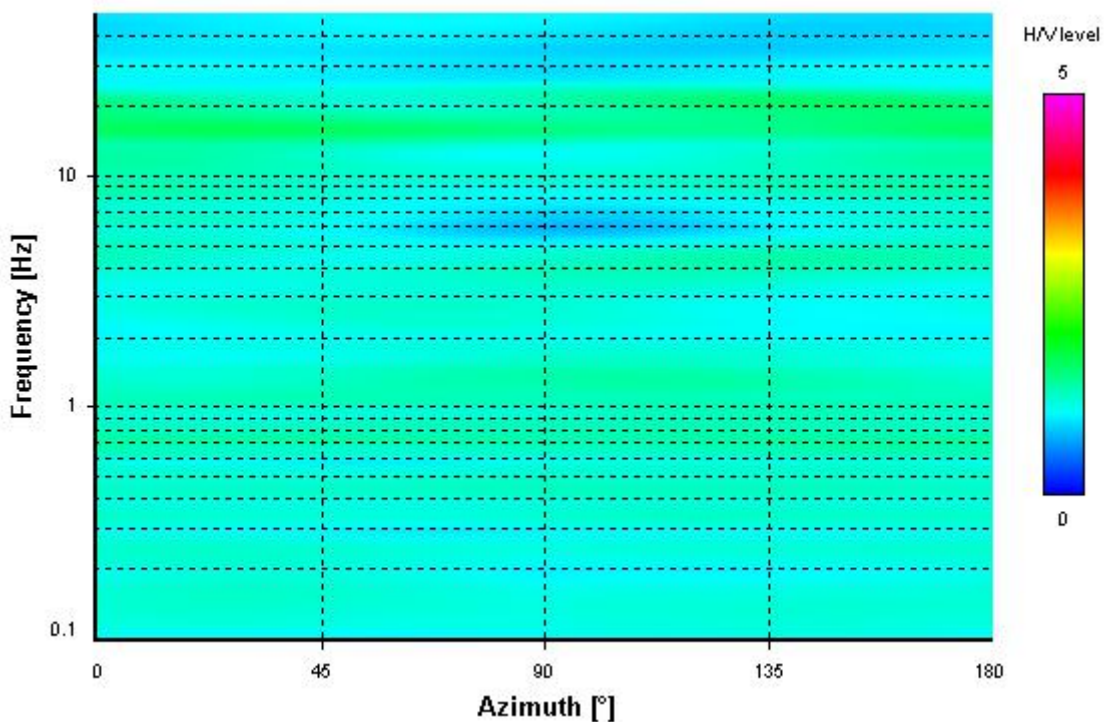
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR18

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: La Buca

Address: -

Latitude: 4826531

Longitude: 1736965

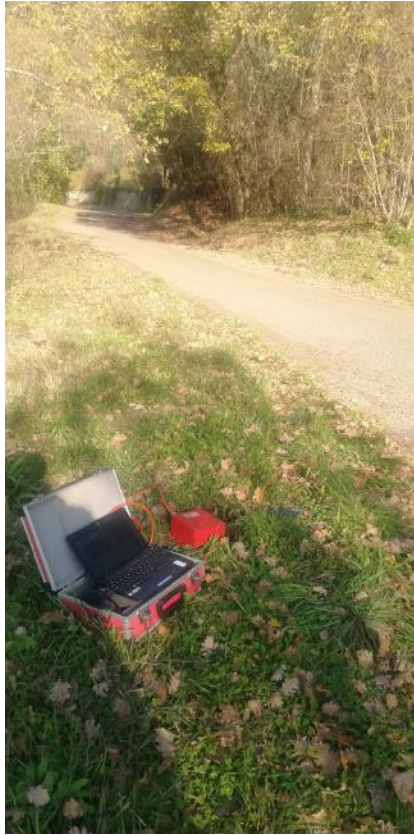
Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/25 13:52:28

Recording length: 30 min

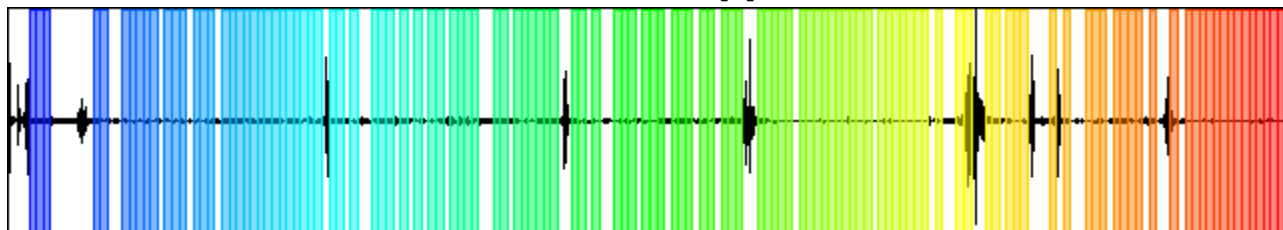
Windows count: 125

Average windows length: 10

Signal coverage: 69.44%

5266 Counts

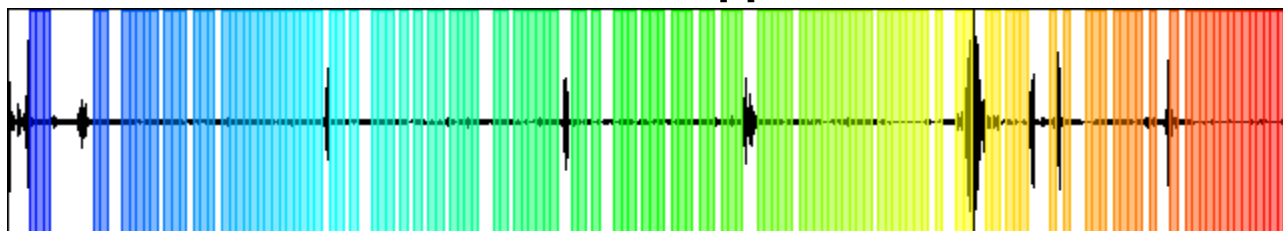
CHANNEL #1 [V]



-4859 Counts

7530 Counts

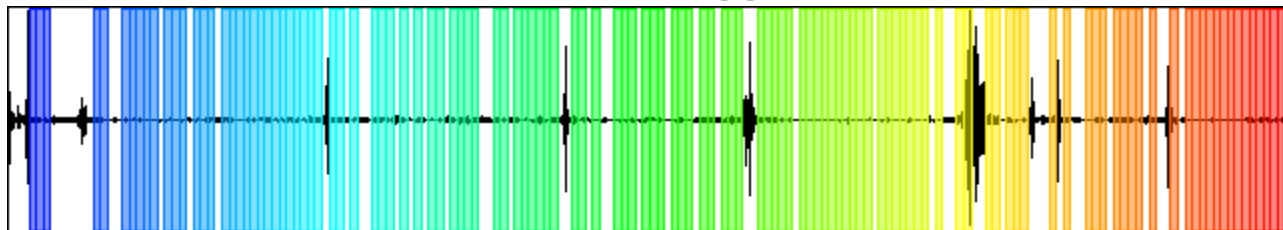
CHANNEL #2 [N]



-7594 Counts

8312 Counts

CHANNEL #3 [E]



-7882 Counts

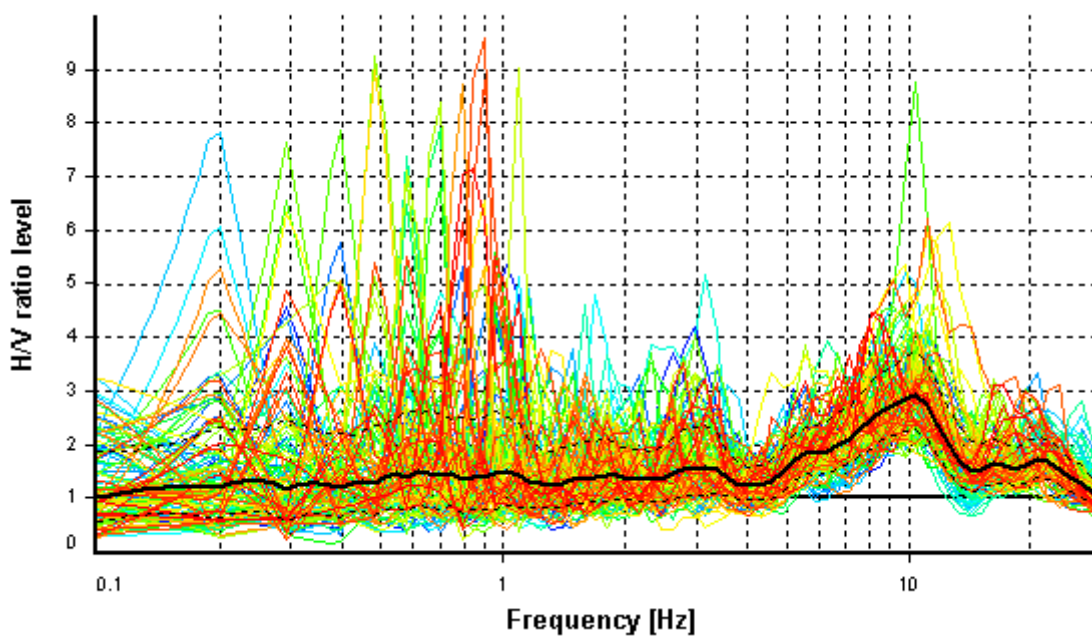
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

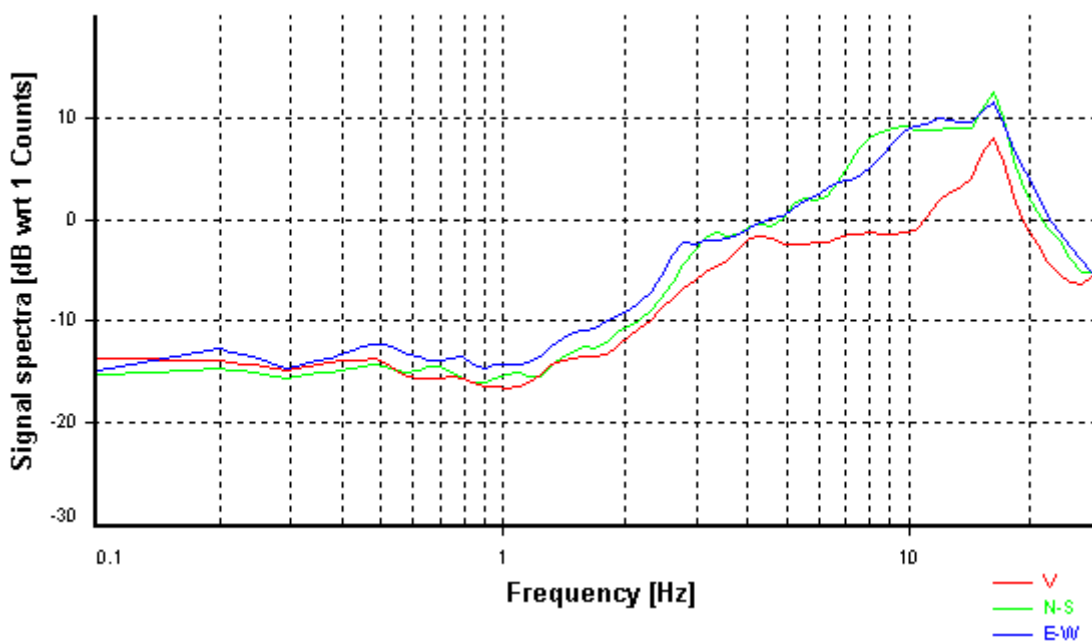
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

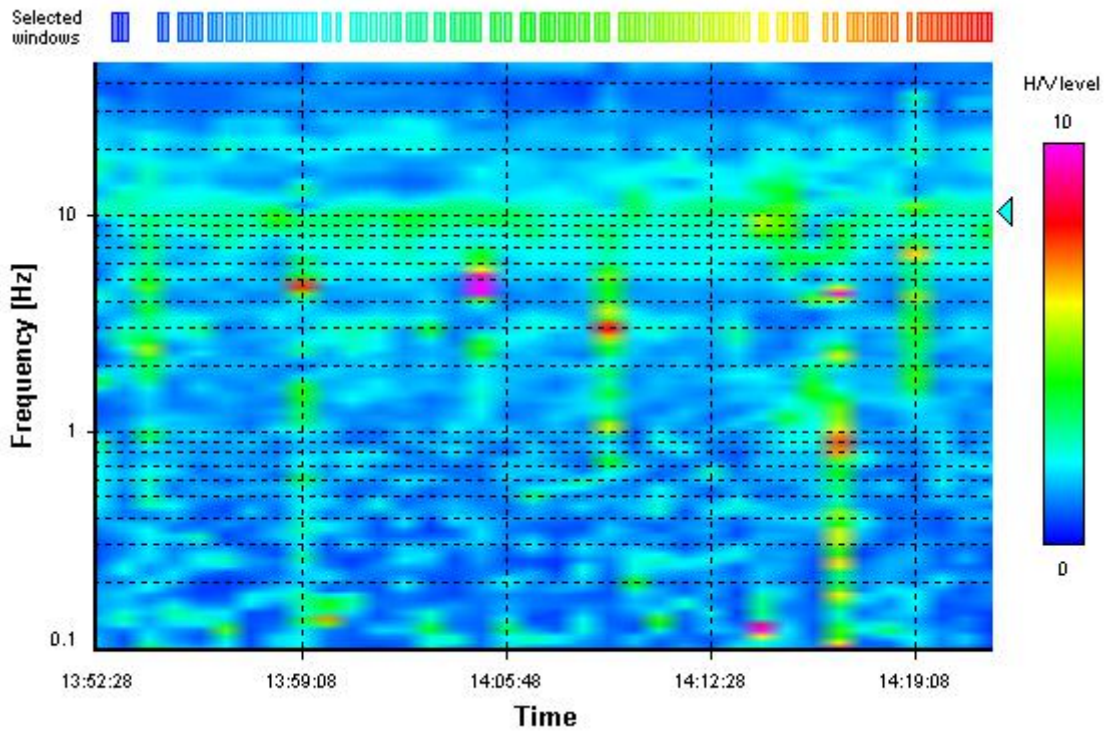
HVSR average



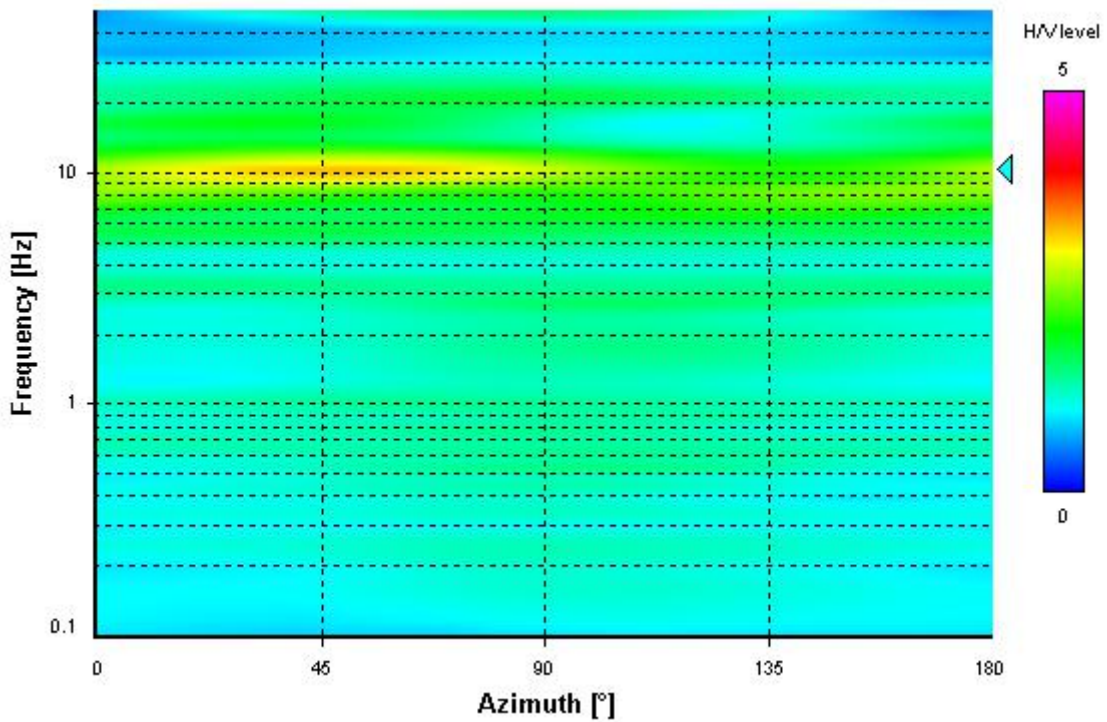
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



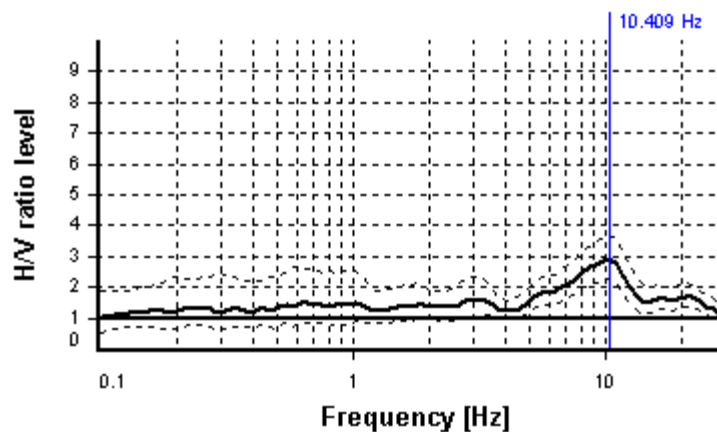
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

10.409 Hz

A_0 amplitude = 2.918

Average f_0 = 9.765 ± 1.191



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	125 valid windows (length > 0.96 s) out of 125	OK
$n_c(f_0) > 200$	13011.34 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	4.60258 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	25.06597 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.92 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.19065 >= 0.52045	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.27831 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR20

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Calbenzano

Address: -

Latitude: 4833204

Longitude: 1731107

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 09:39:09

Recording length: 30 min

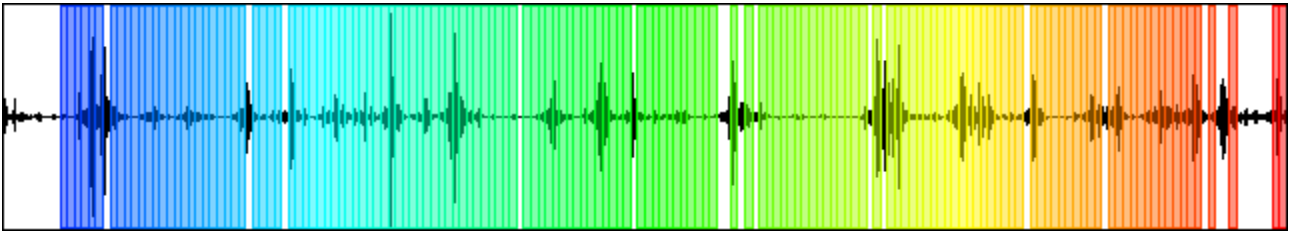
Windows count: 151

Average windows length: 10

Signal coverage: 83.89%

16066 Counts

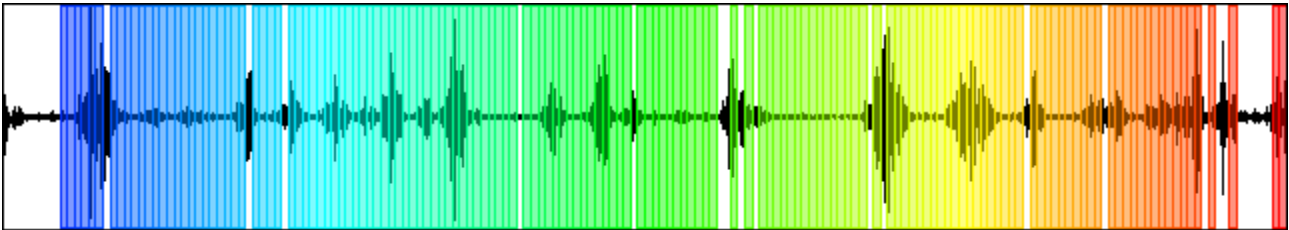
CHANNEL #1 [V]



-17457 Counts

11525 Counts

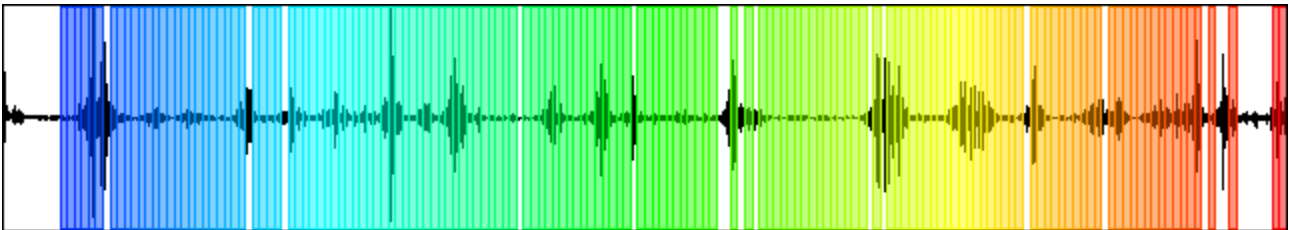
CHANNEL #2 [N]



-11257 Counts

19338 Counts

CHANNEL #3 [E]



-17974 Counts

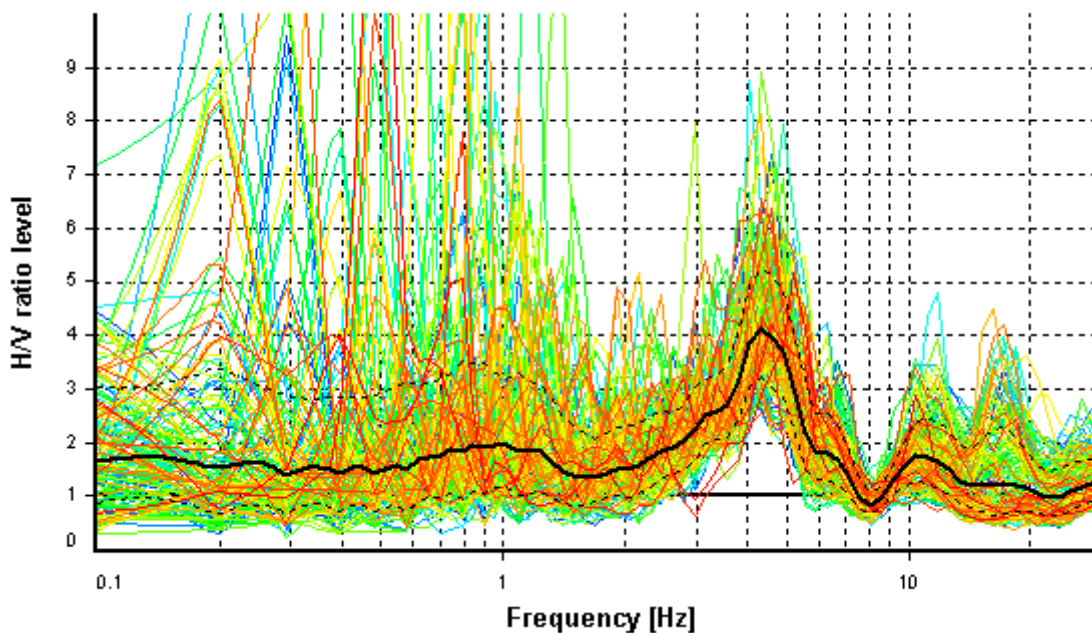
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

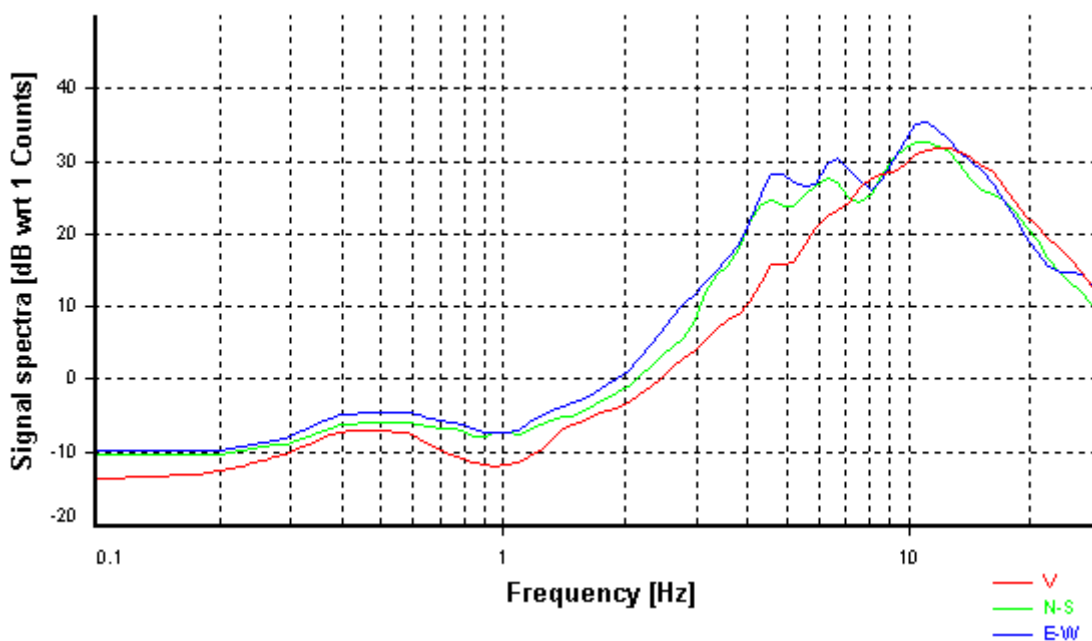
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

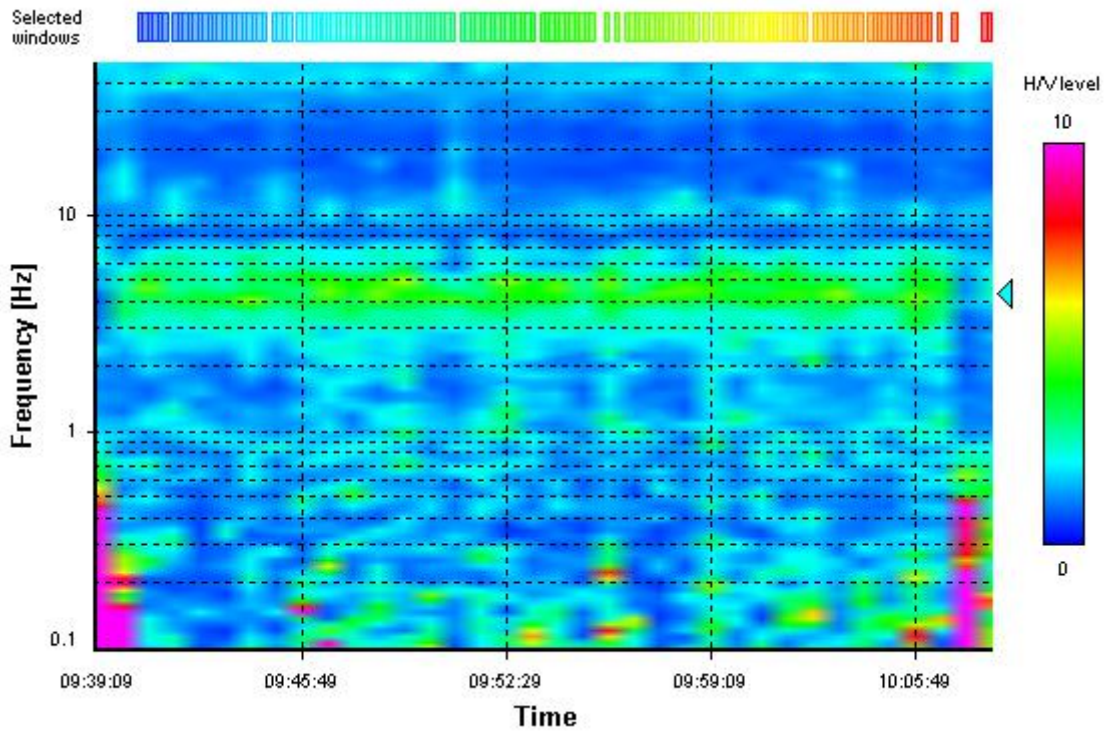
HVSR average



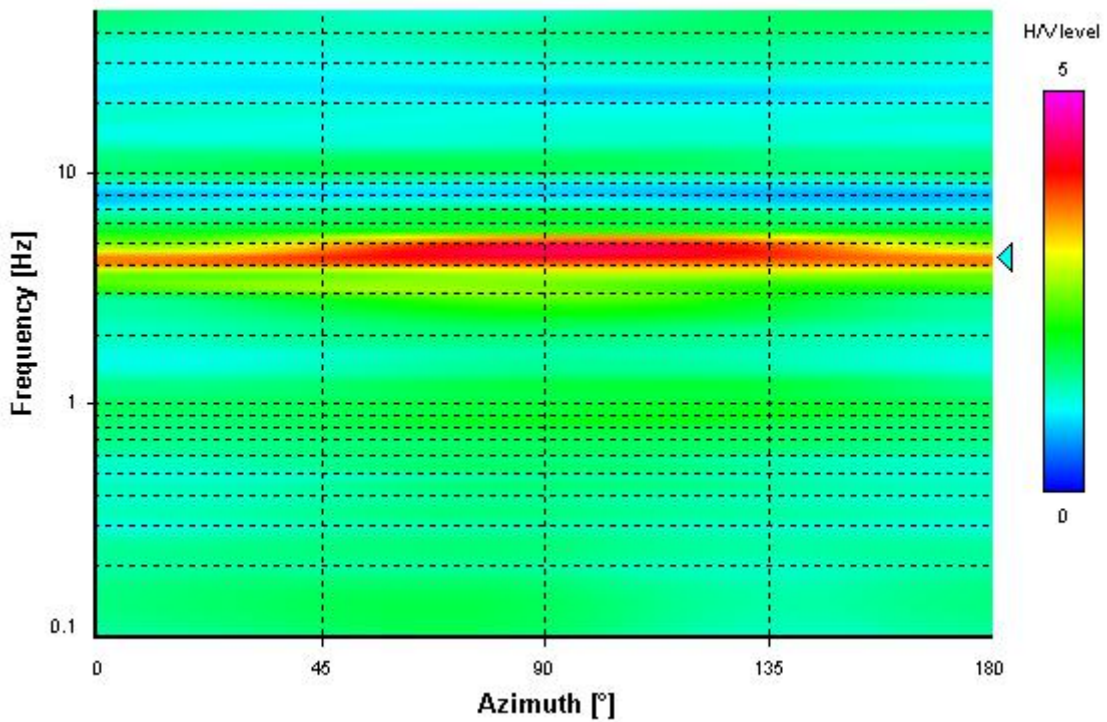
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



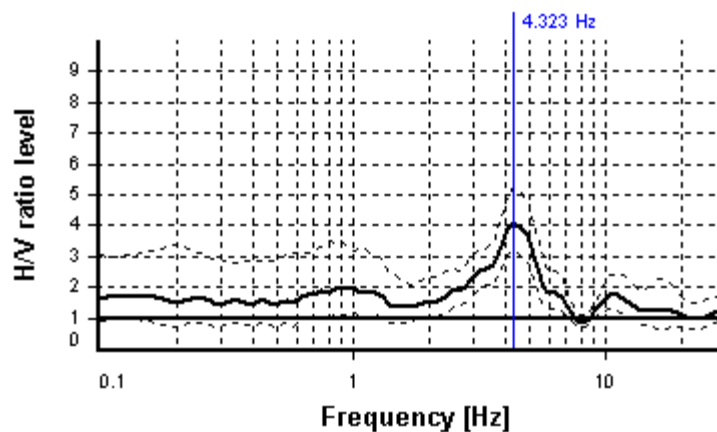
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

4.323 Hz

A_0 amplitude = 4.114

Average $f_0 = 4.383 \pm 0.490$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	151 valid windows (length > 2.31 s) out of 151	OK
$n_c(f_0) > 200$	6527.04 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.7855 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	5.91631 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.11 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.49046 >= 0.21613	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.27591 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR21

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Subbiano SR71

Address: -

Latitude: 4833637

Longitude: 1730240

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 10:31:08

Recording length: 30 min

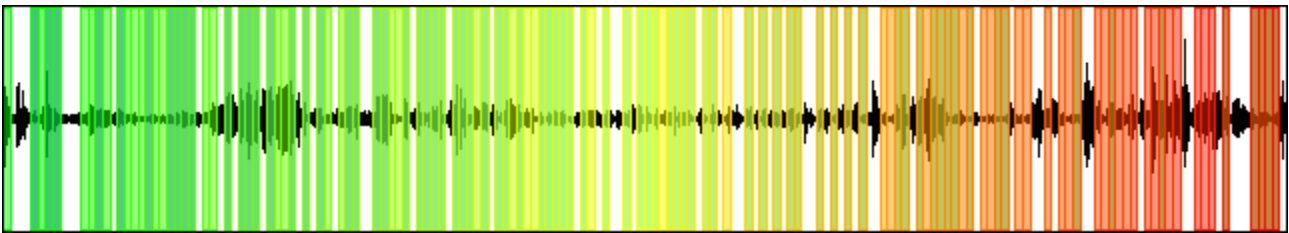
Windows count: 204

Average windows length: 10

Signal coverage: 113.33%

5329 Counts

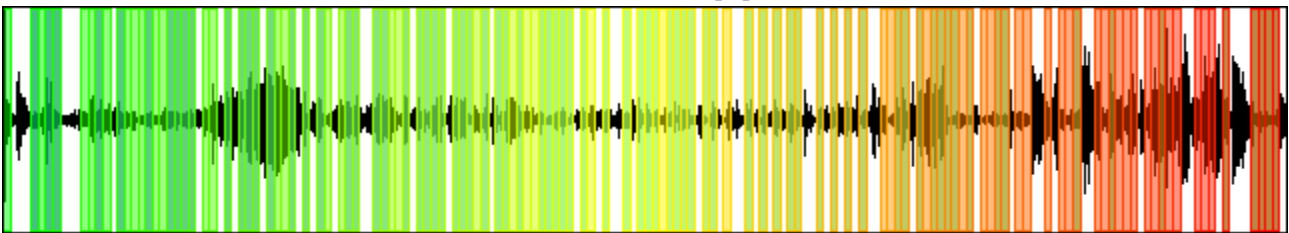
CHANNEL #1 [V]



-6525 Counts

6871 Counts

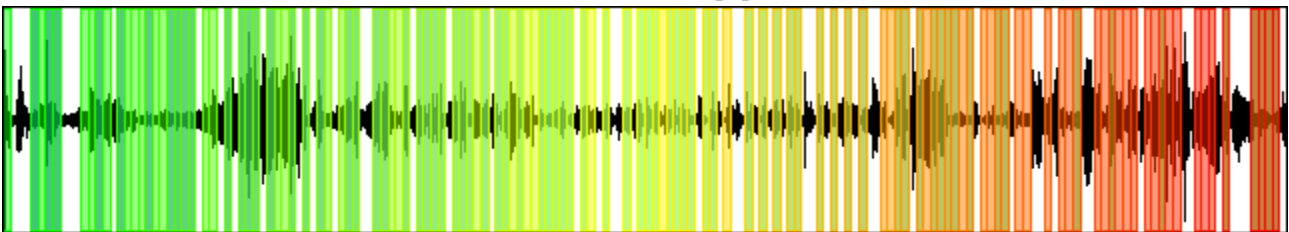
CHANNEL #2 [N]



-5592 Counts

5024 Counts

CHANNEL #3 [E]



-6373 Counts

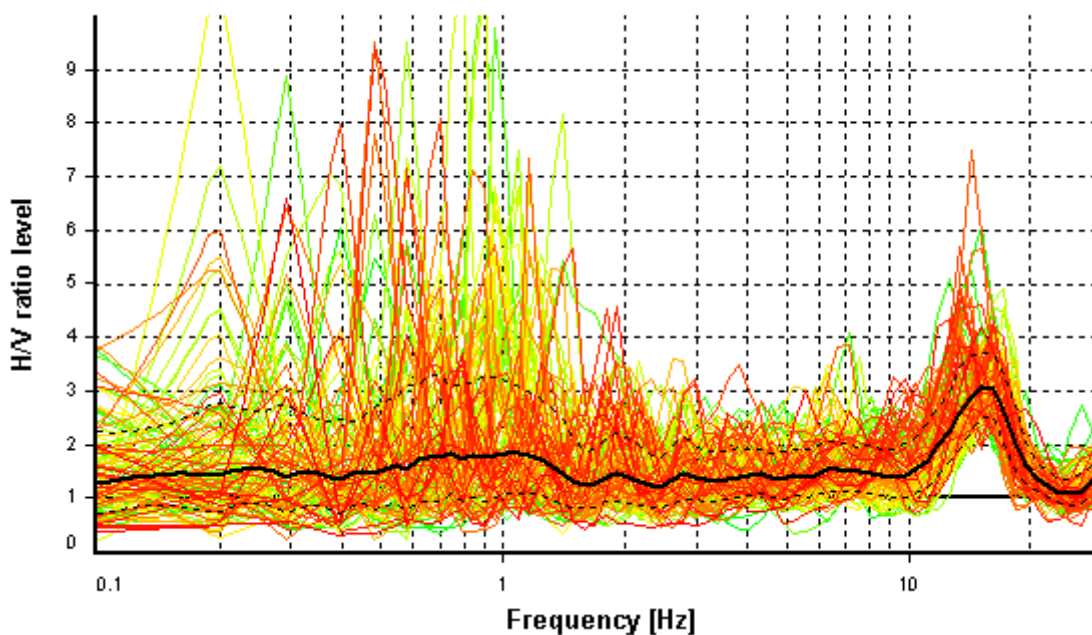
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

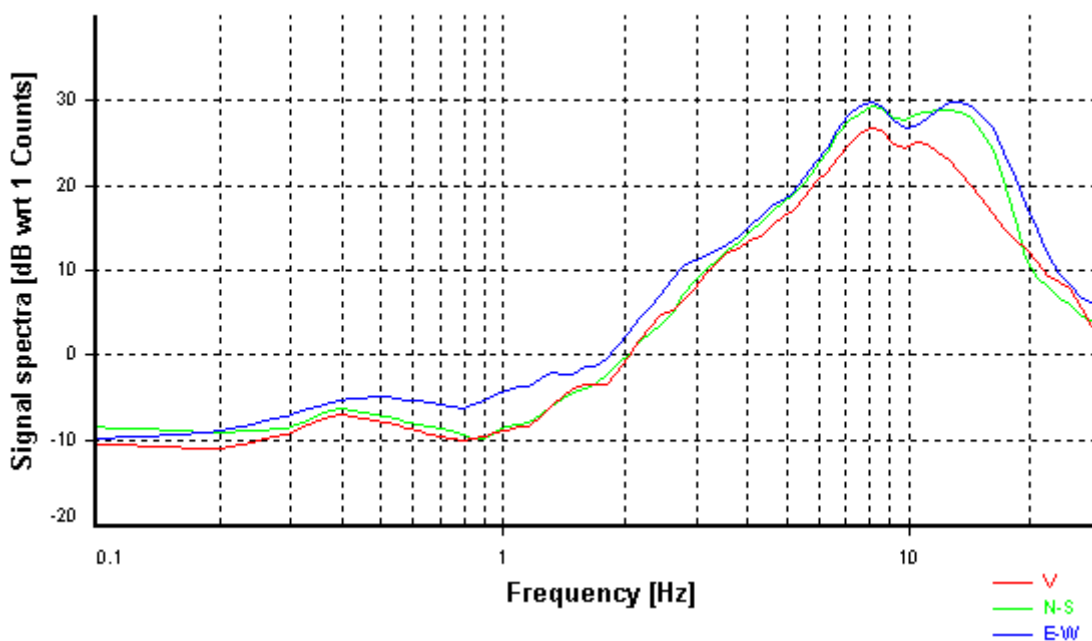
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

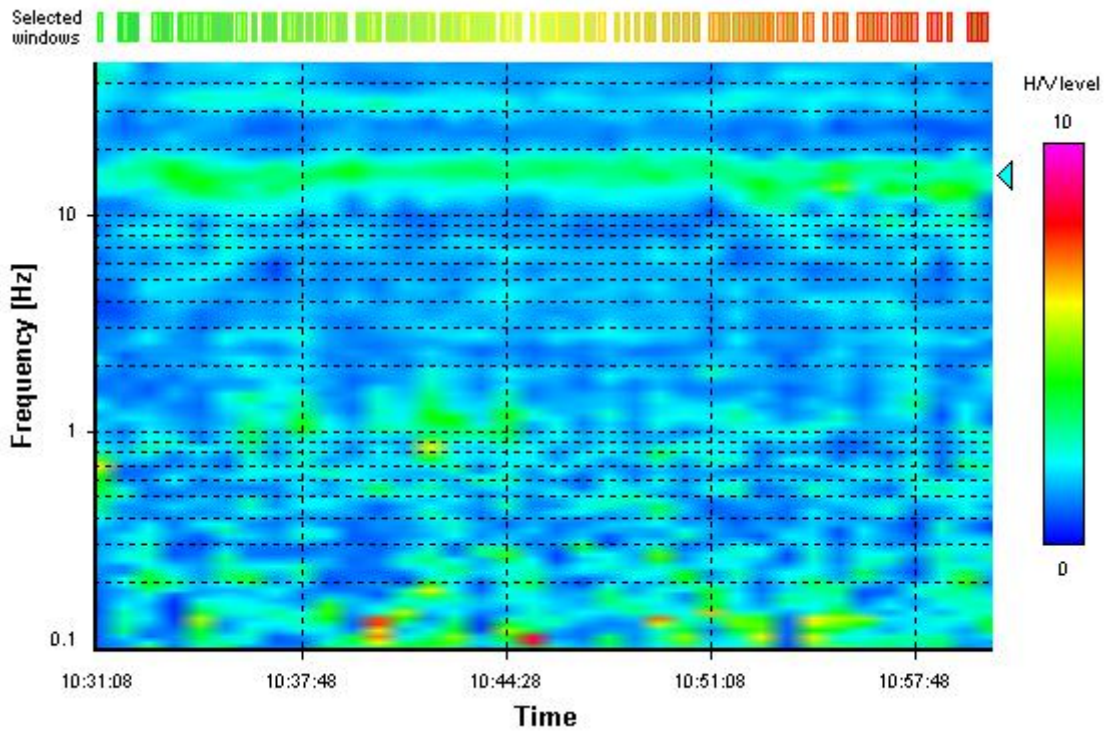
HVSR average



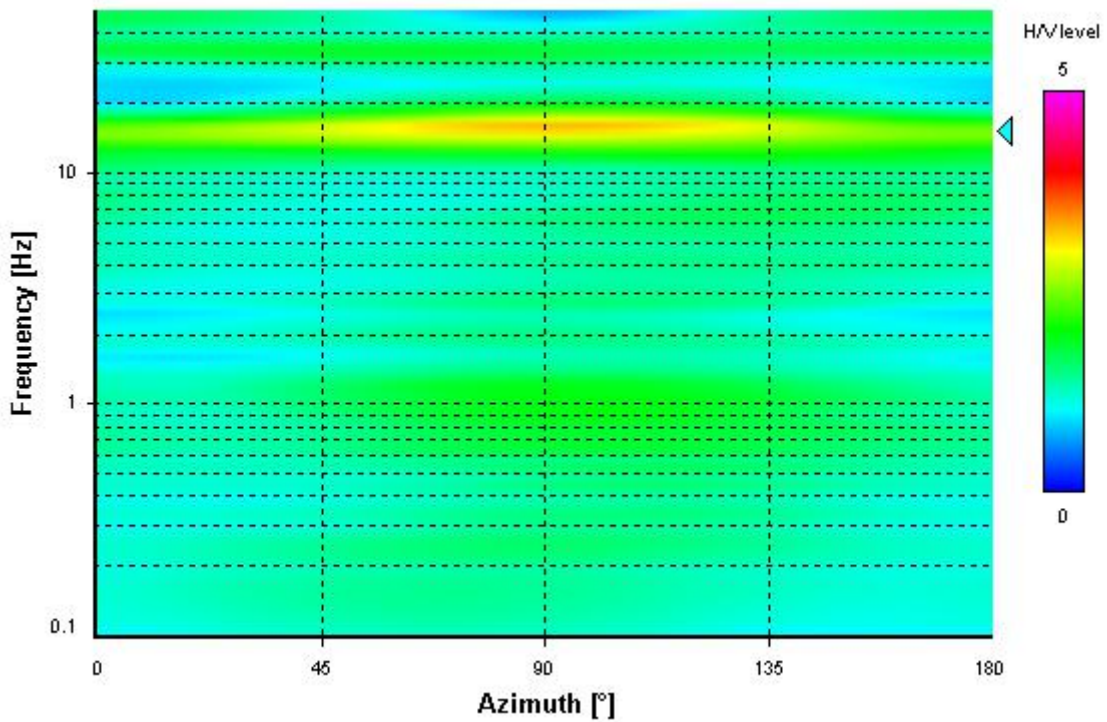
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



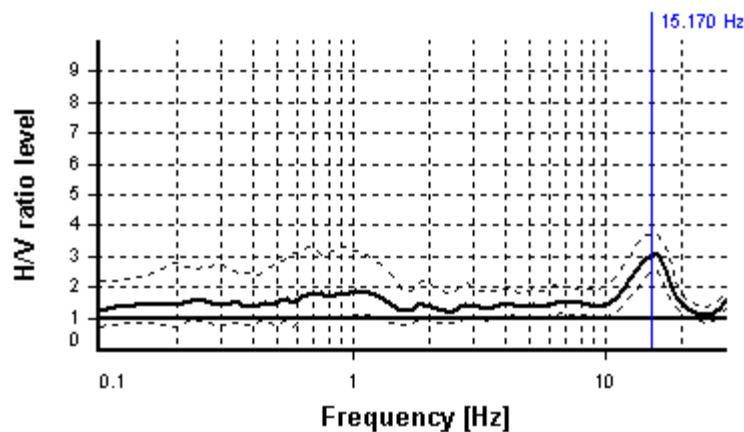
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

15.170 Hz

A_0 amplitude = 3.064

Average $f_0 = 15.160 \pm 1.419$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	204 valid windows (length > 0.66 s) out of 204	OK
$n_c(f_0) > 200$	30946.82 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	10.40907 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	20.76335 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.06 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.41916 >= 0.7585	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.21355 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR22

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Santa Mama

Address: -

Latitude: 4834576

Longitude: 1730338

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 11:17:12

Recording length: 30 min

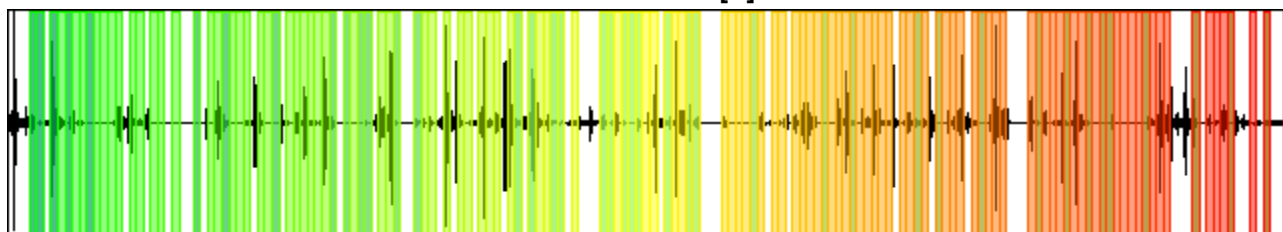
Windows count: 175

Average windows length: 10

Signal coverage: 97.22%

53377 Counts

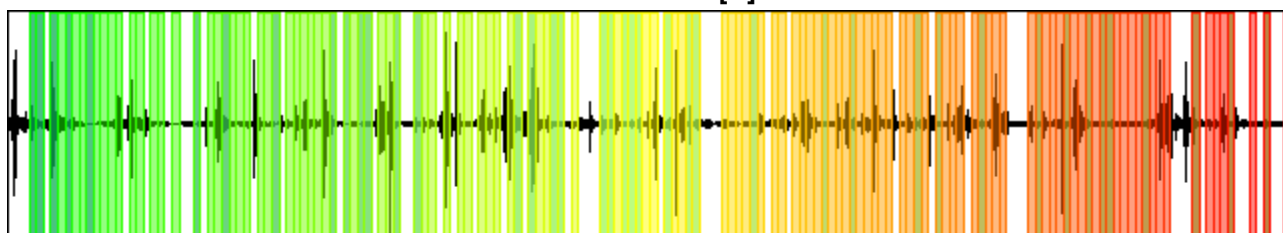
CHANNEL #1 [V]



-51192 Counts

32066 Counts

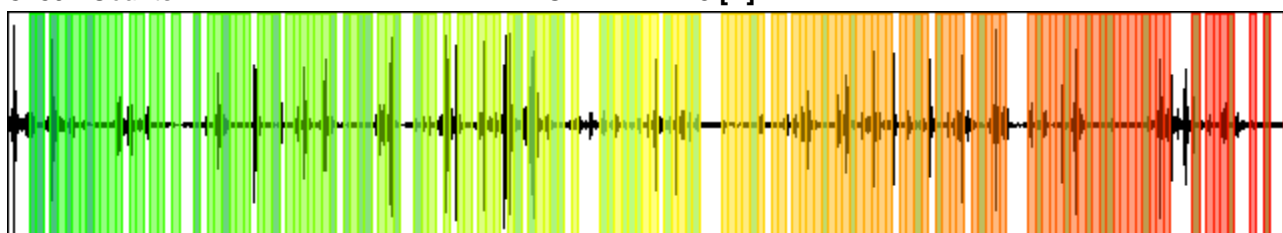
CHANNEL #2 [N]



-39317 Counts

32697 Counts

CHANNEL #3 [E]



-32332 Counts

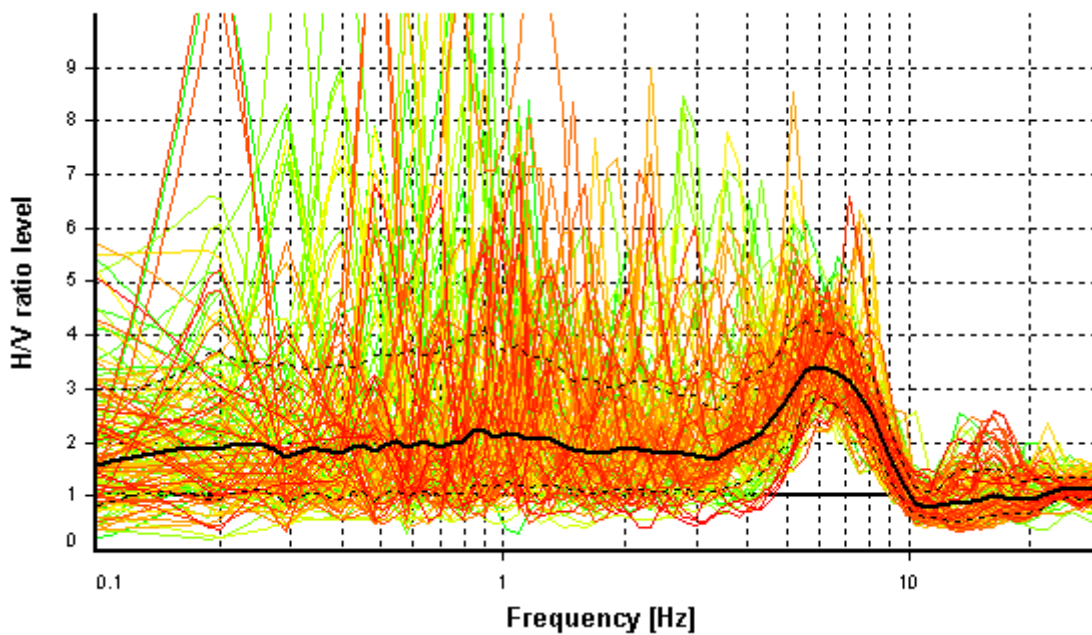
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

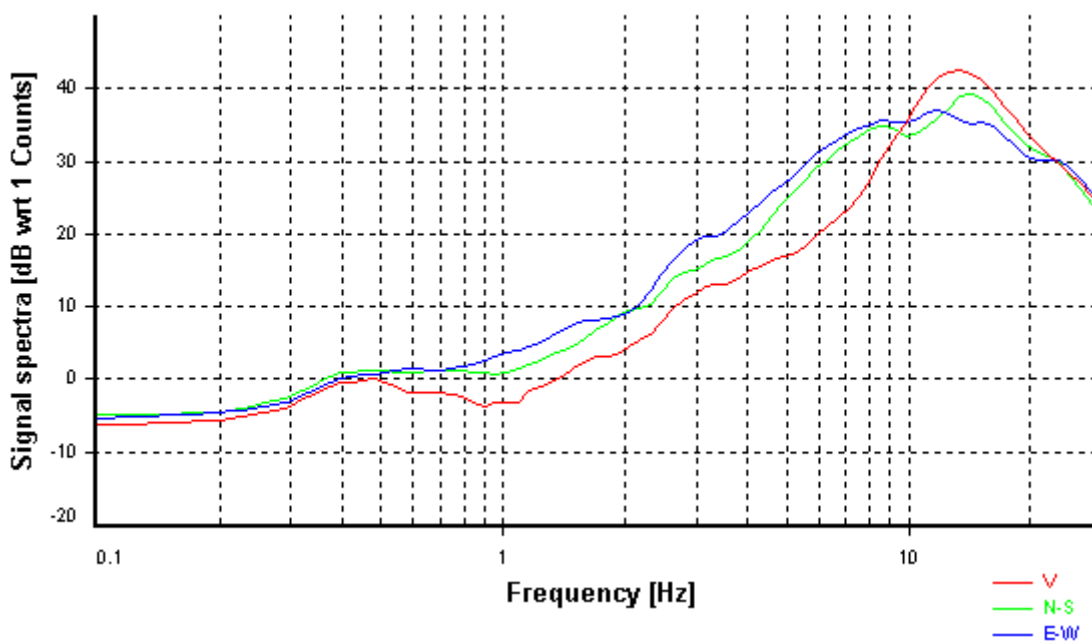
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

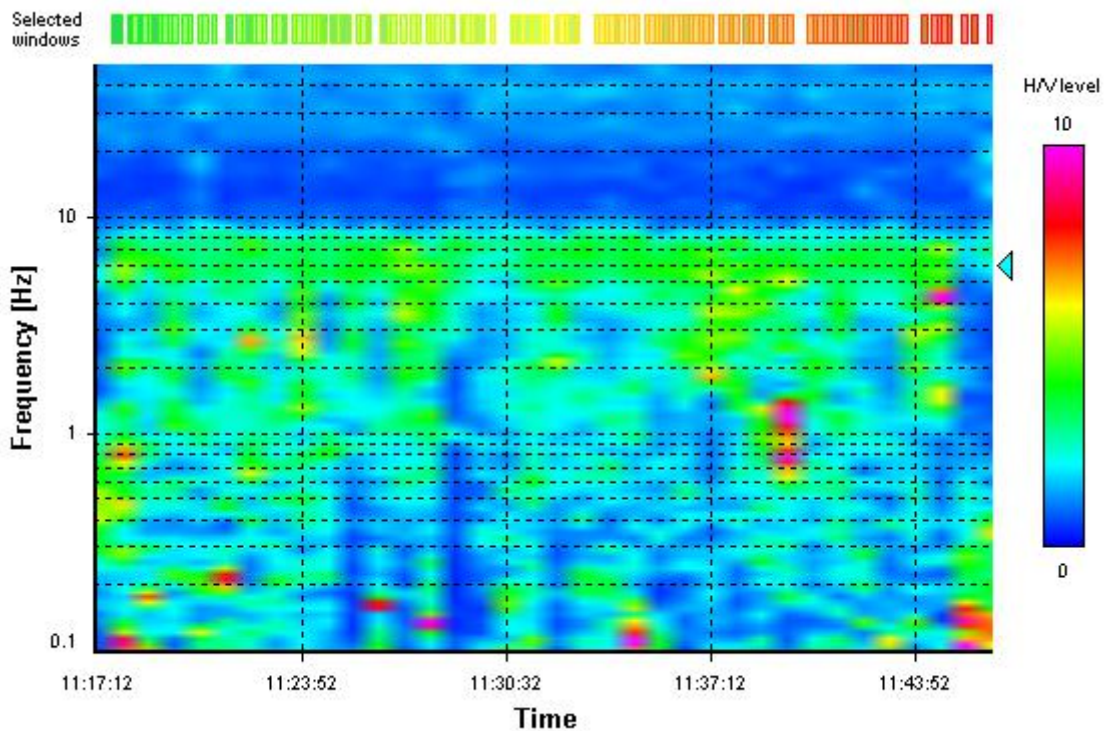
HVSR average



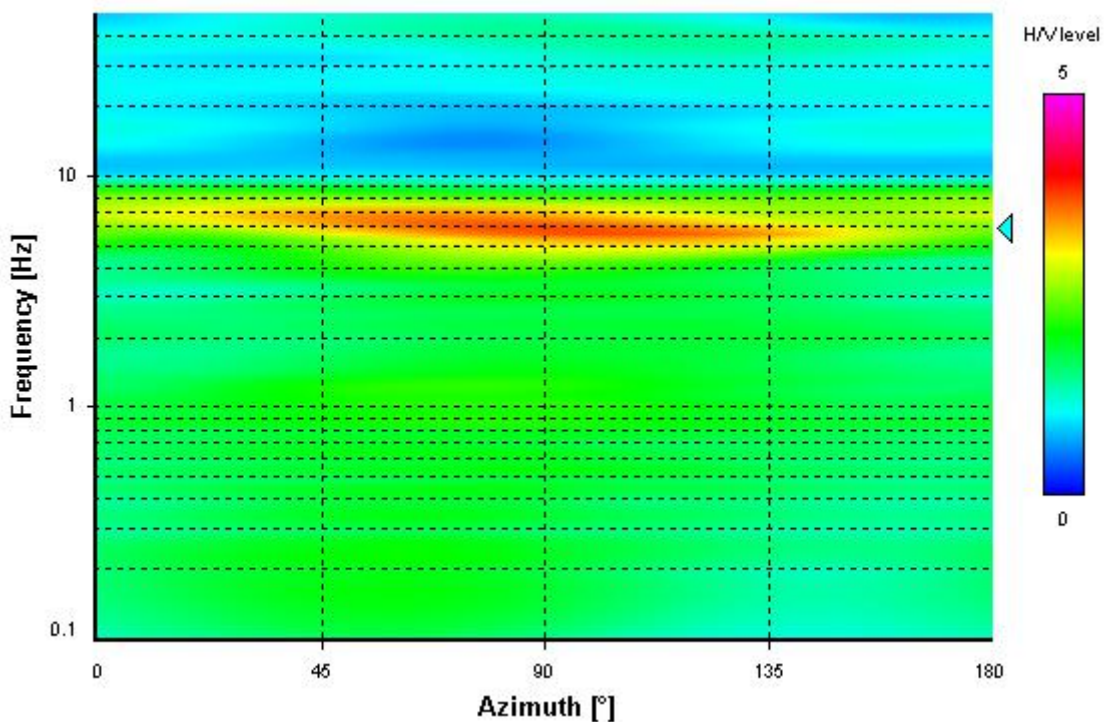
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



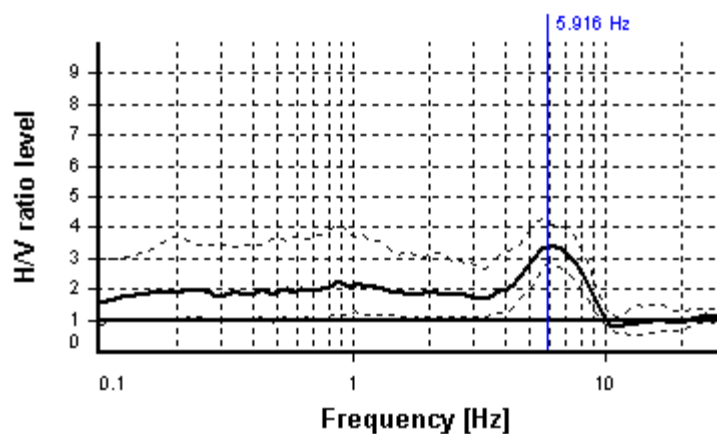
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

5.916 Hz

A_0 amplitude = 3.407

Average $f_0 = 6.096 \pm 1.018$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	175 valid windows (length > 1.69 s) out of 175	OK
$n_c(f_0) > 200$	10353.54 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	3.36272 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	9.18094 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.41 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	6.08% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.01801 \geq 0.29582	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.19856 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR23

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Castagnoli - Santa Mama

Address: -

Latitude: 4835005

Longitude: 1730553

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

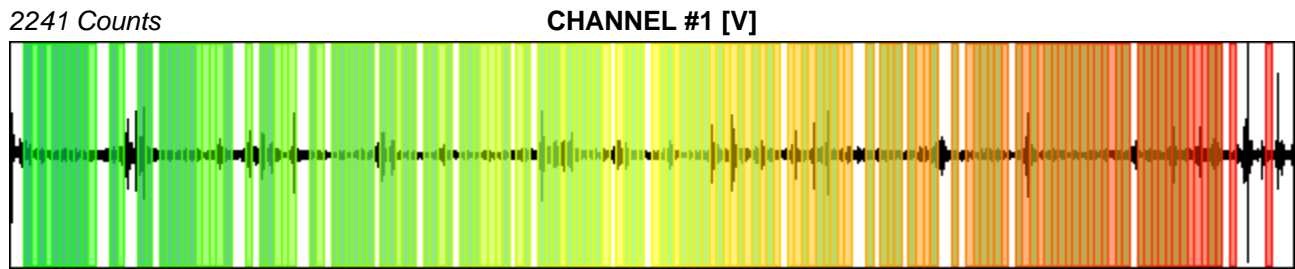
Recording start time: 2020/11/30 11:55:12

Recording length: 30 min

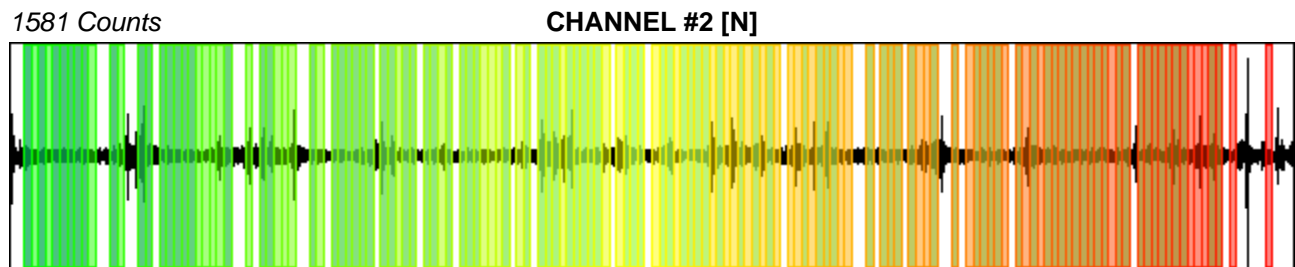
Windows count: 237

Average windows length: 10

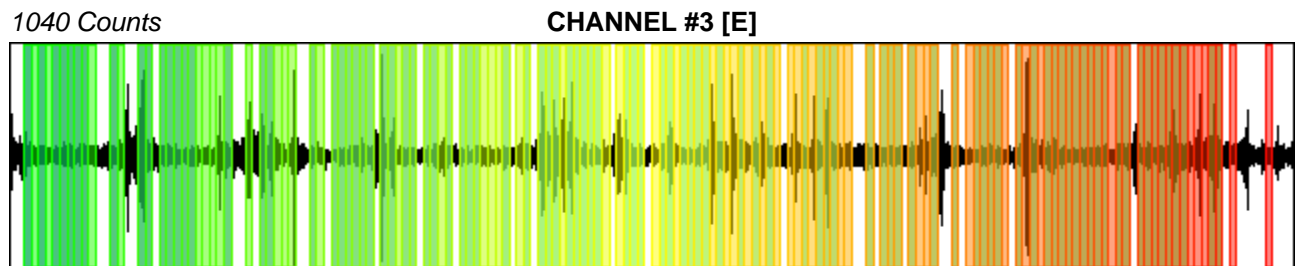
Signal coverage: 131.67%



-2172 Counts



-1819 Counts



-1153 Counts

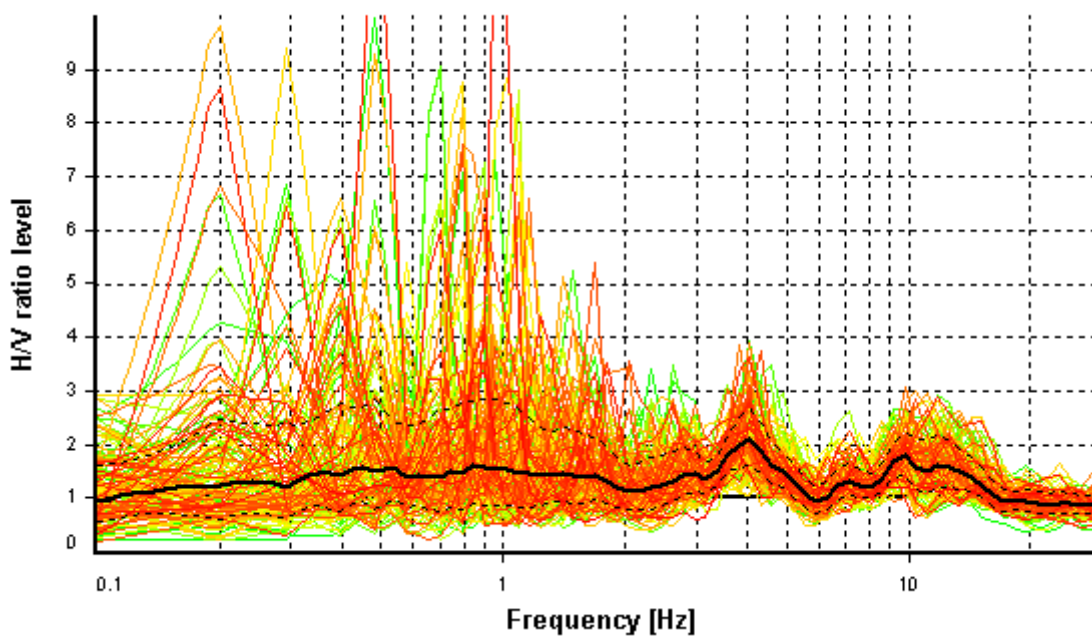
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

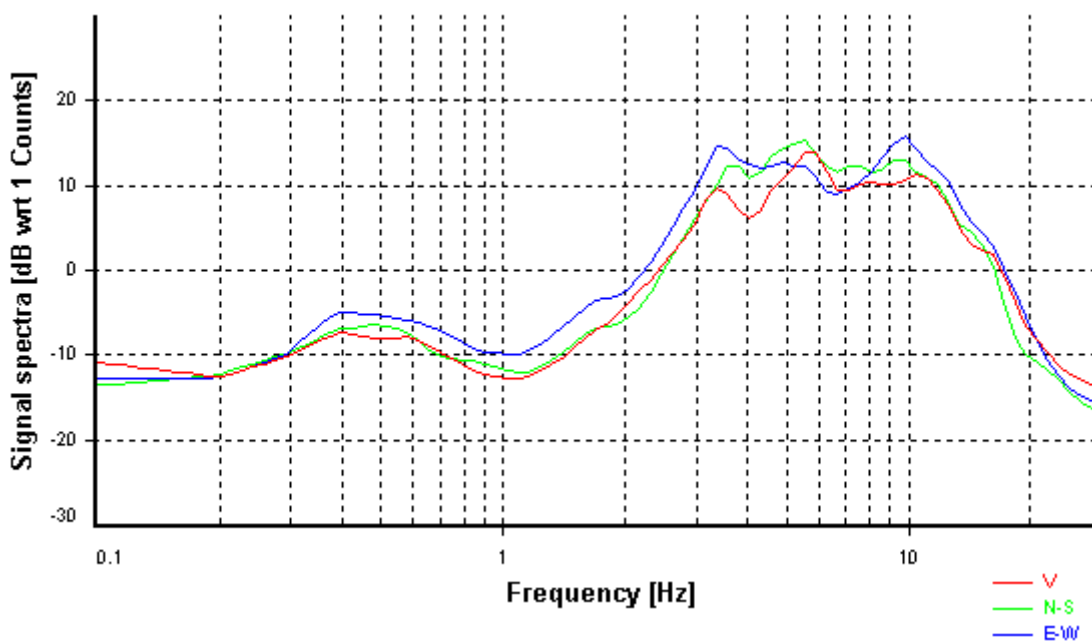
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

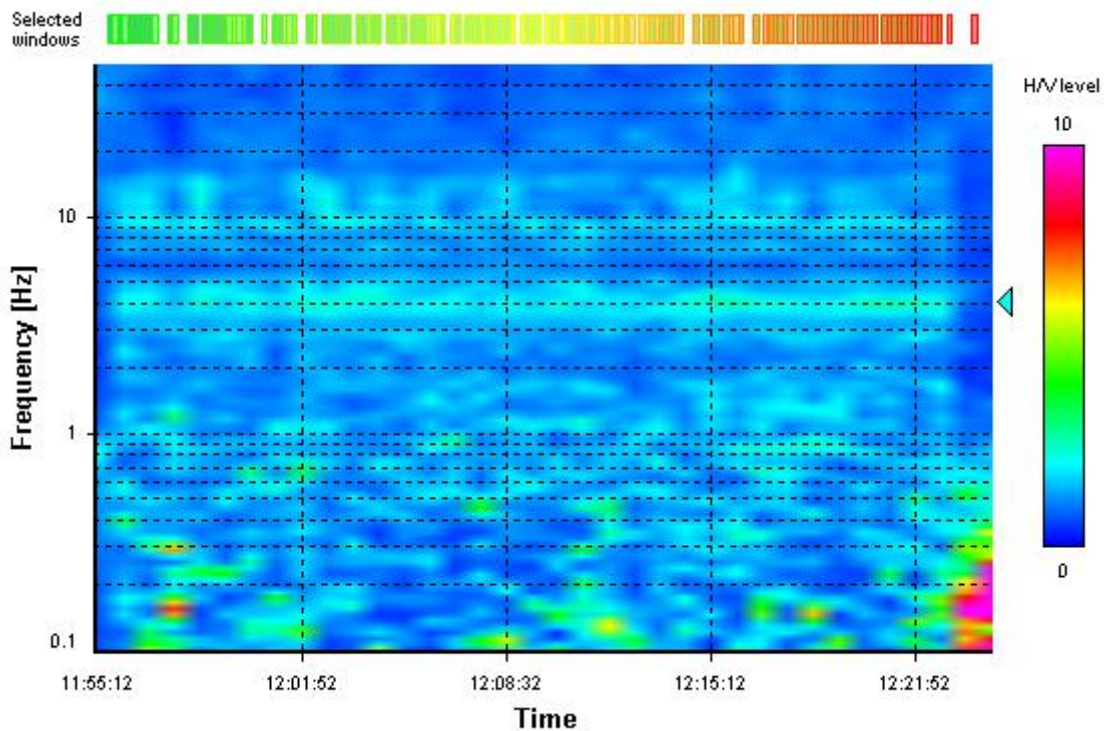
HVSR average



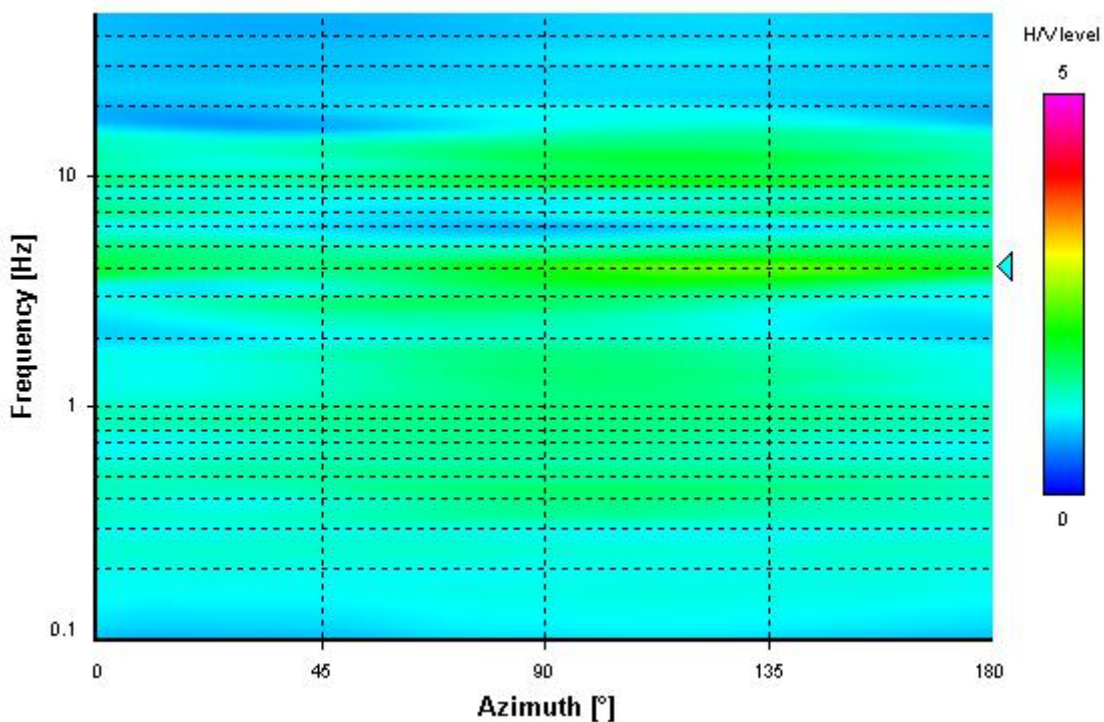
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



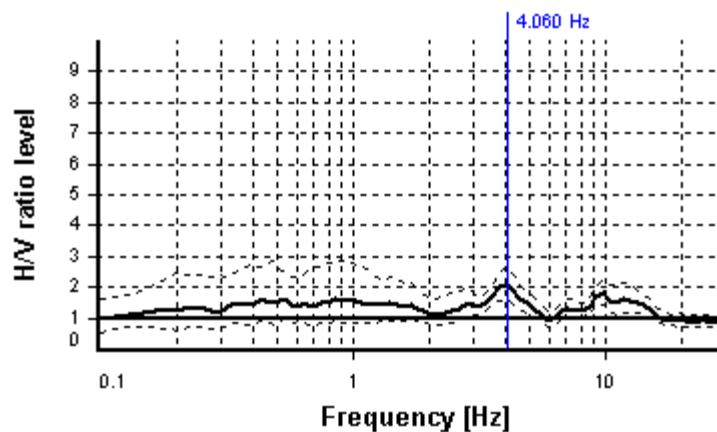
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

4.060 Hz

A_0 amplitude = 2.079

Average $f_0 = 3.904 \pm 0.561$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	237 valid windows (length > 2.46 s) out of 237	OK
$n_c(f_0) > 200$	9621.12 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	5.91631 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.08 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.56089 >= 0.20298	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2937 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		NO

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR24

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Santa Mama

Address: -

Latitude: 4835013

Longitude: 1729390

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 12:36:07

Recording length: 30 min

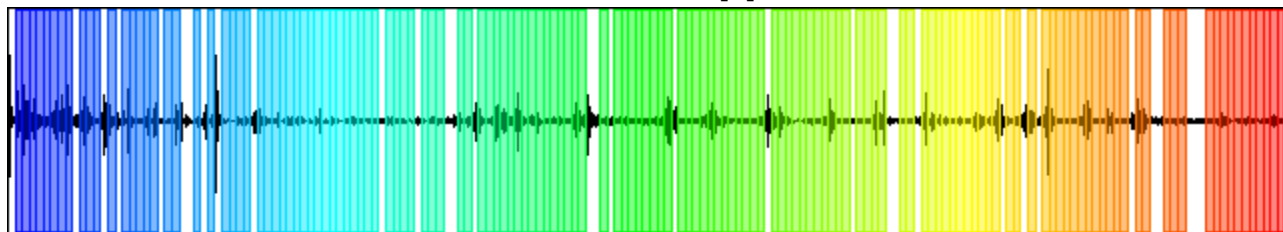
Windows count: 147

Average windows length: 10

Signal coverage: 81.67%

8840 Counts

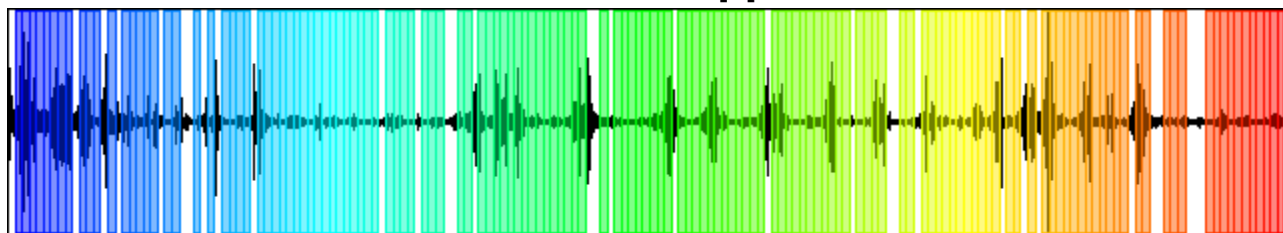
CHANNEL #1 [V]



-6226 Counts

7748 Counts

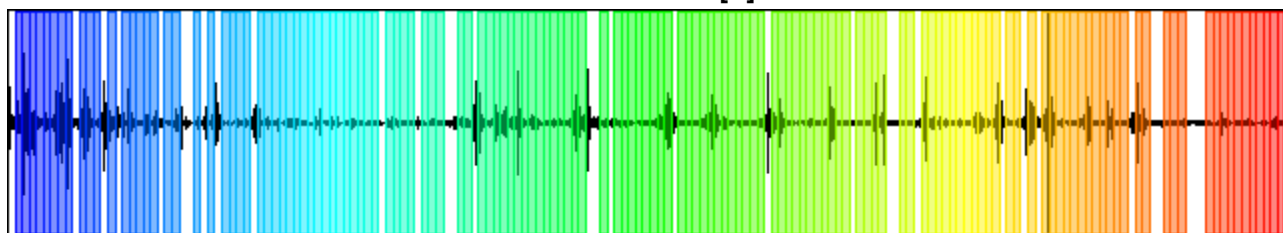
CHANNEL #2 [N]



-7704 Counts

12635 Counts

CHANNEL #3 [E]



-12975 Counts

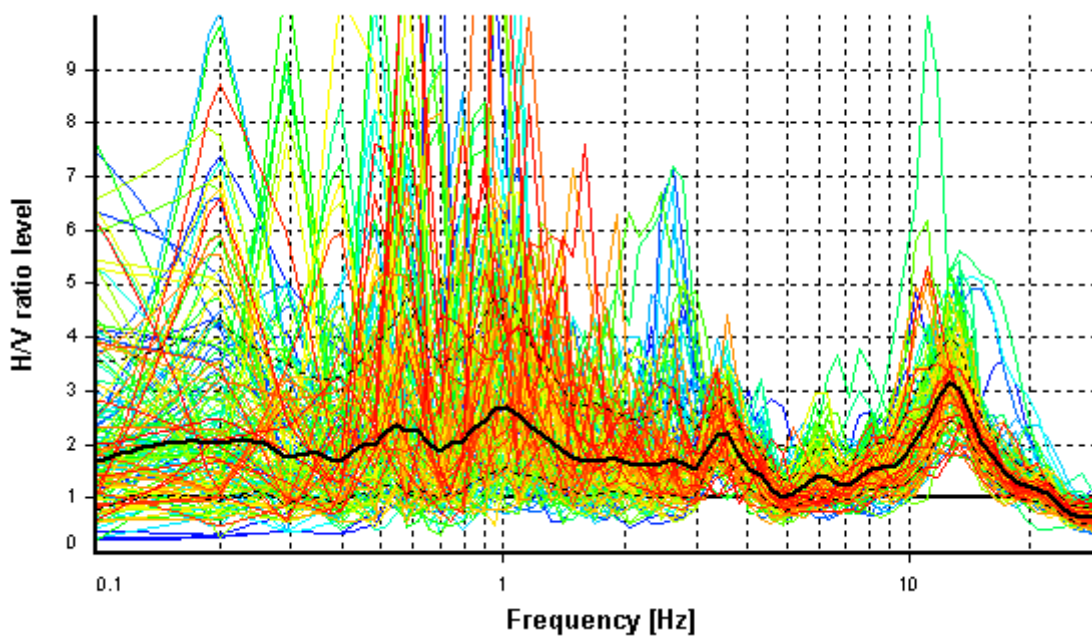
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

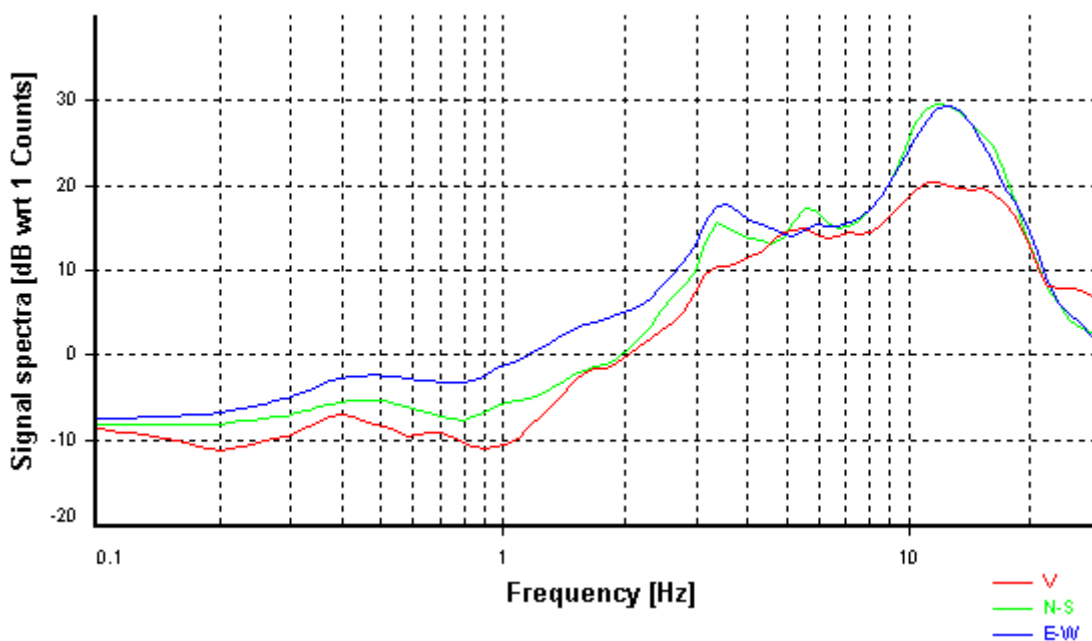
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

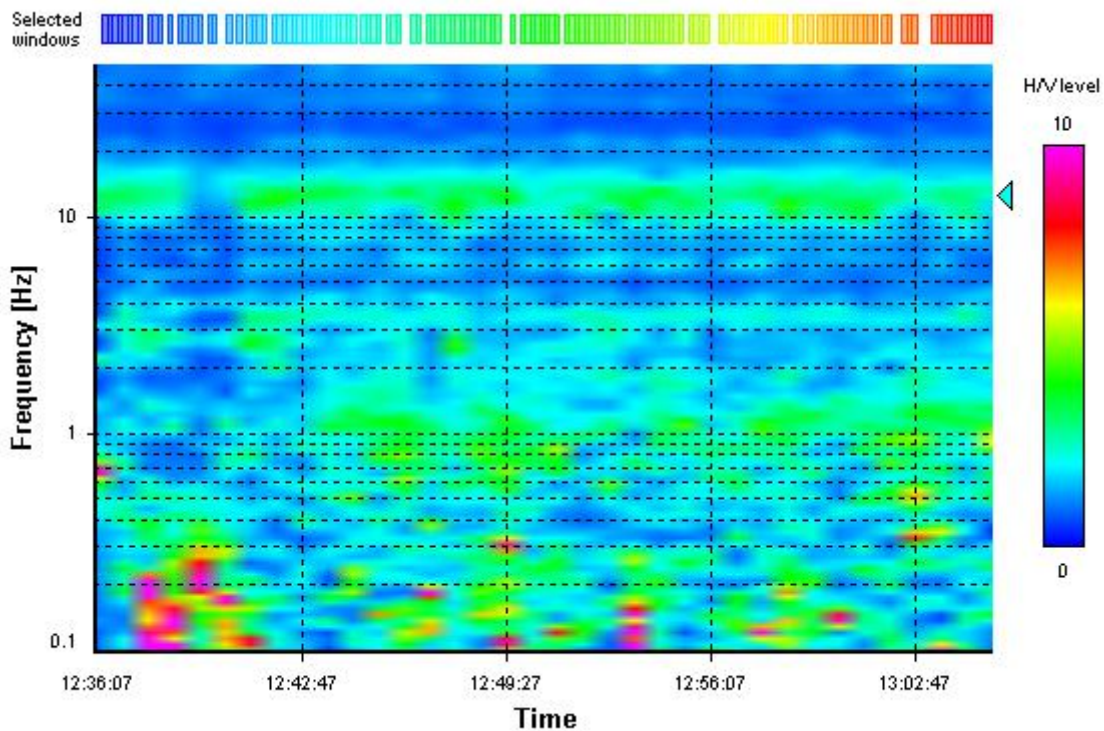
HVSR average



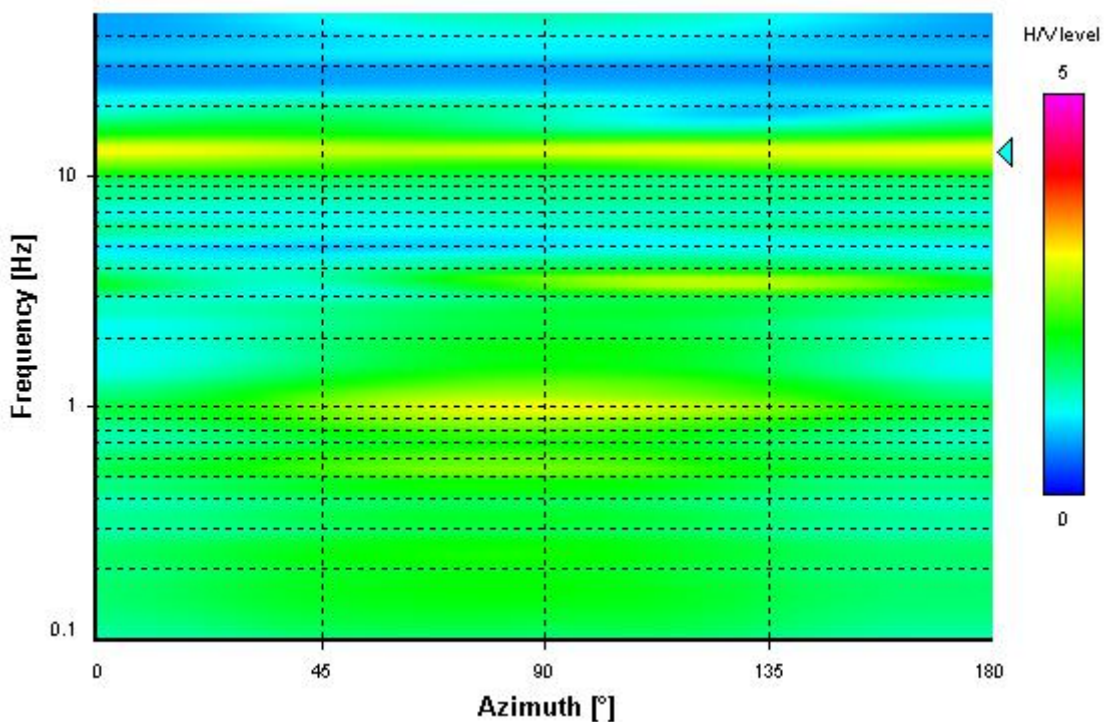
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



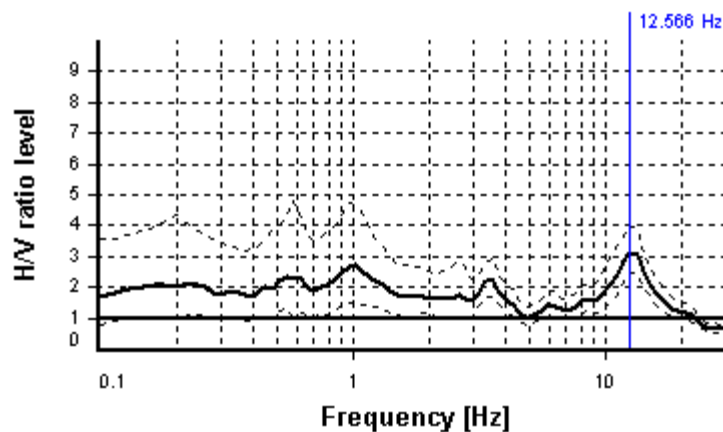
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

12.566 Hz

A_0 amplitude = 3.131

Average $f_0 = 12.568 \pm 1.005$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	147 valid windows (length > 0.8 s) out of 147	OK
$n_c(f_0) > 200$	18472.1 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	8.62234 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	17.19929 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.13 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.00504 >= 0.6283	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.27754 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

STATION INFORMATION

Station code: PSI_HVSR25

Model: SARA GEOBOX

Sensor: SARA SS45PACK (integrated 4.5 Hz sensors)

Notes: -

PLACE INFORMATION

Place ID: Santa Mama

Address: -

Latitude: 4835013

Longitude: 1730242

Coordinate system: 3003

Elevation: nd m s.l.m.

Weather: -

Notes: -

PHOTOGRAPHIC REFERENCES



SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 100 Hz

Recording start time: 2020/11/30 13:30:11

Recording length: 30 min

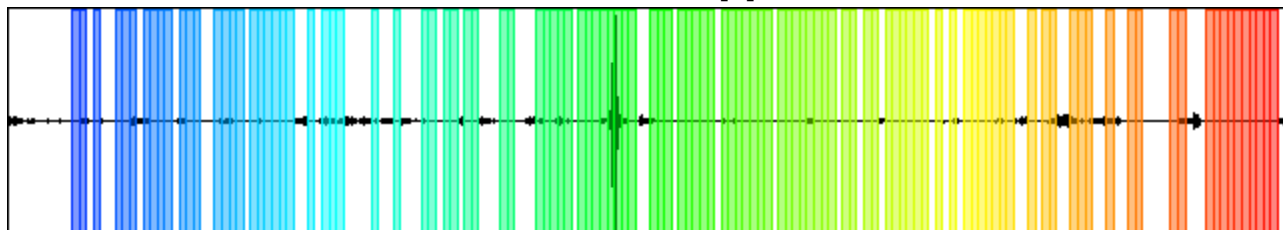
Windows count: 113

Average windows length: 10

Signal coverage: 62.78%

73047 Counts

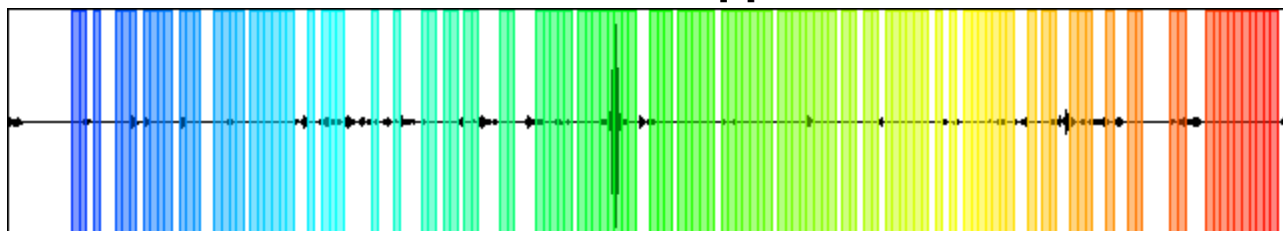
CHANNEL #1 [V]



-77260 Counts

104822 Counts

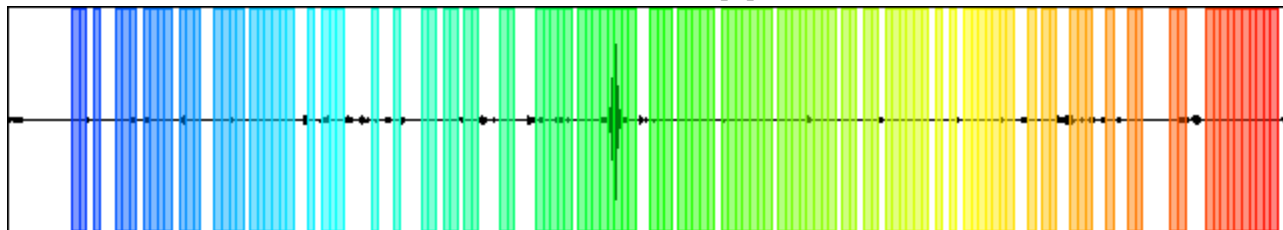
CHANNEL #2 [N]



-104614 Counts

92563 Counts

CHANNEL #3 [E]



-121466 Counts

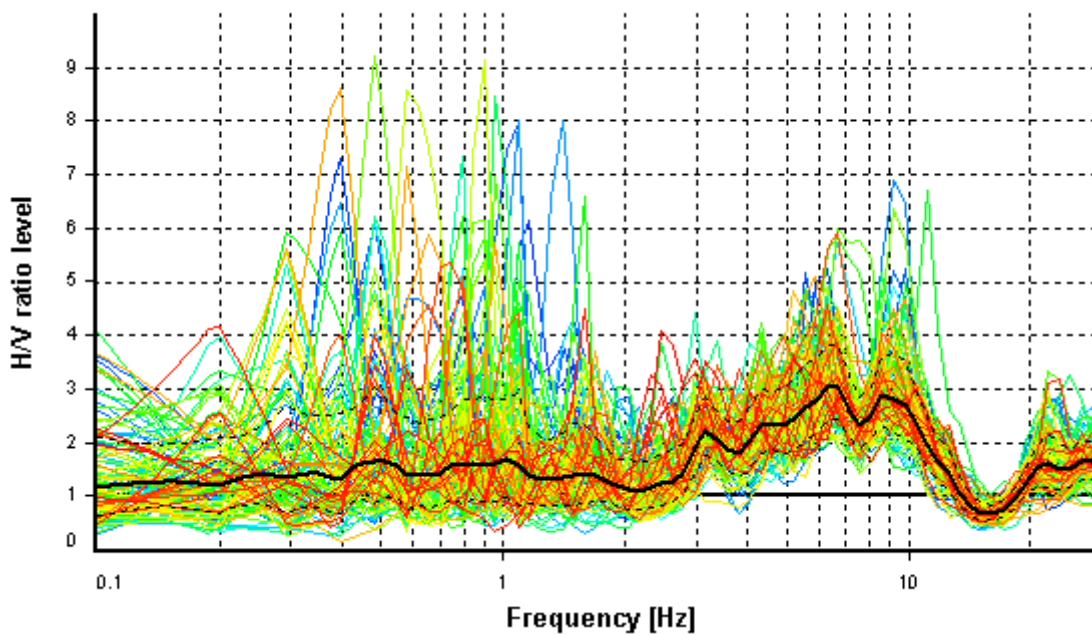
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

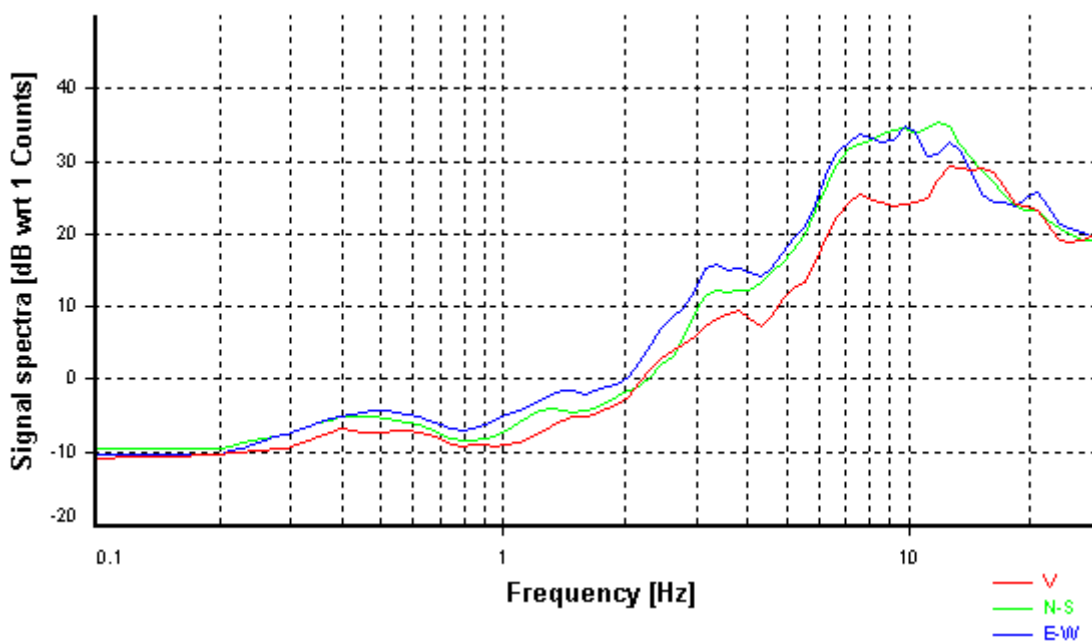
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

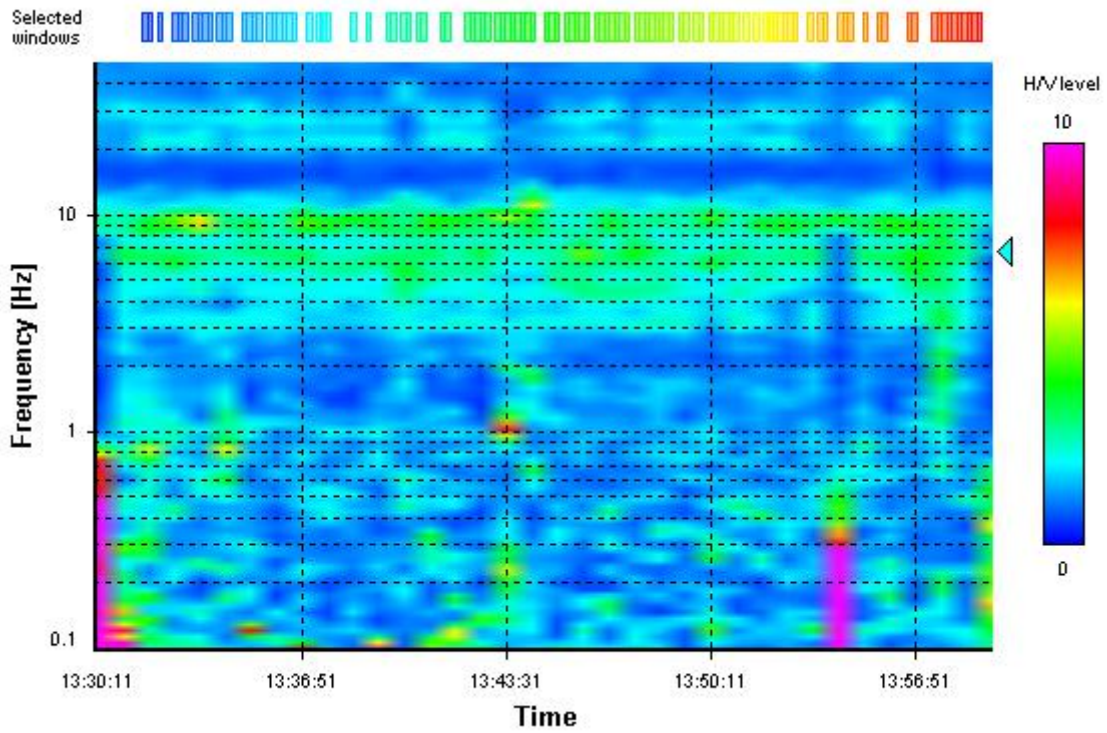
HVSR average



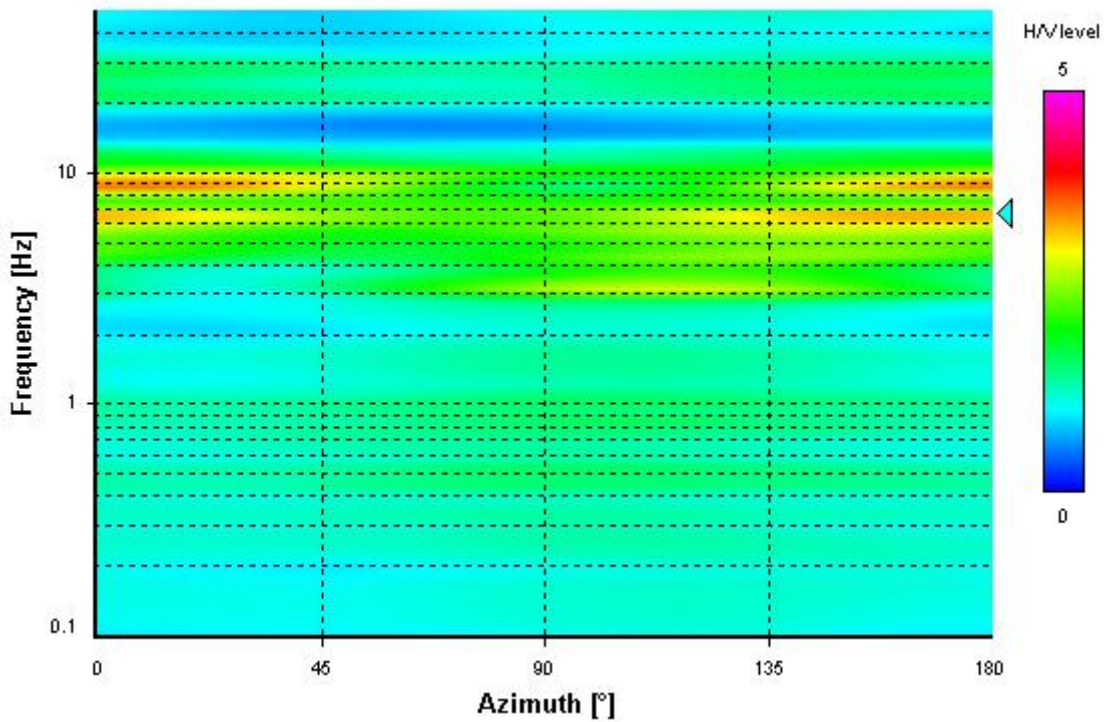
Signal spectra average



HVSR time-frequency analysis (50 seconds windows)



HVSR directional analysis



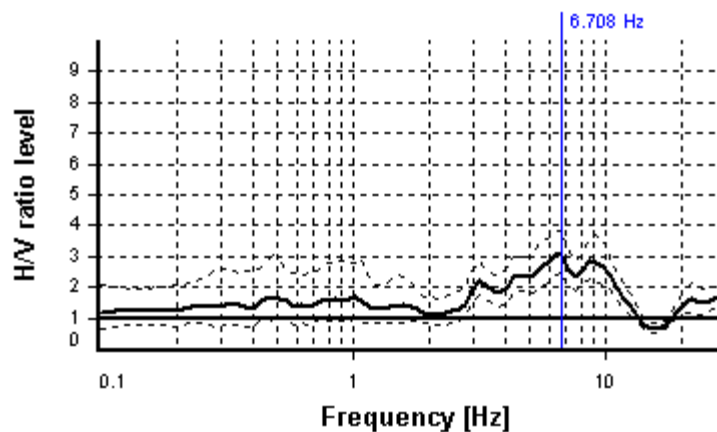
SESAME CRITERIA

Selected f_0 frequency

6.708 Hz

A_0 amplitude = 3.057

Average $f_0 = 7.046 \pm 1.588$



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	113 valid windows (length > 1.49 s) out of 113	OK
$n_c(f_0) > 200$	7579.74 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	2.7855 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	12.56605 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.06 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.58822 >= 0.33539	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.25401 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

COMUNE DI SUBBIANO

20 – APRILE - 2022

TRIGEO

TRIGEO snc
di Andrea Nencetti e Benedetto
Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE
MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D
DENOMINATA PSI_ERT 1”**

SUBBIANO (AR)

FIRENZE
Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO
Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE:



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/fax: 0575 294500 - 055 9062212
Cell: 339 2288117 - 328 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETTRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO "WENNER-SCHLUMBERGER"	8
4.0 "PROCESSING" DEI DATI 2D	9
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 1	11
6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 1	12
ALLEGATI	13

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Marzo 2022**, a supporto degli studi di microzonazione sismica MS2-MS3 all'interno del **Comune di Subbiano (AR) (Fig.1)**.

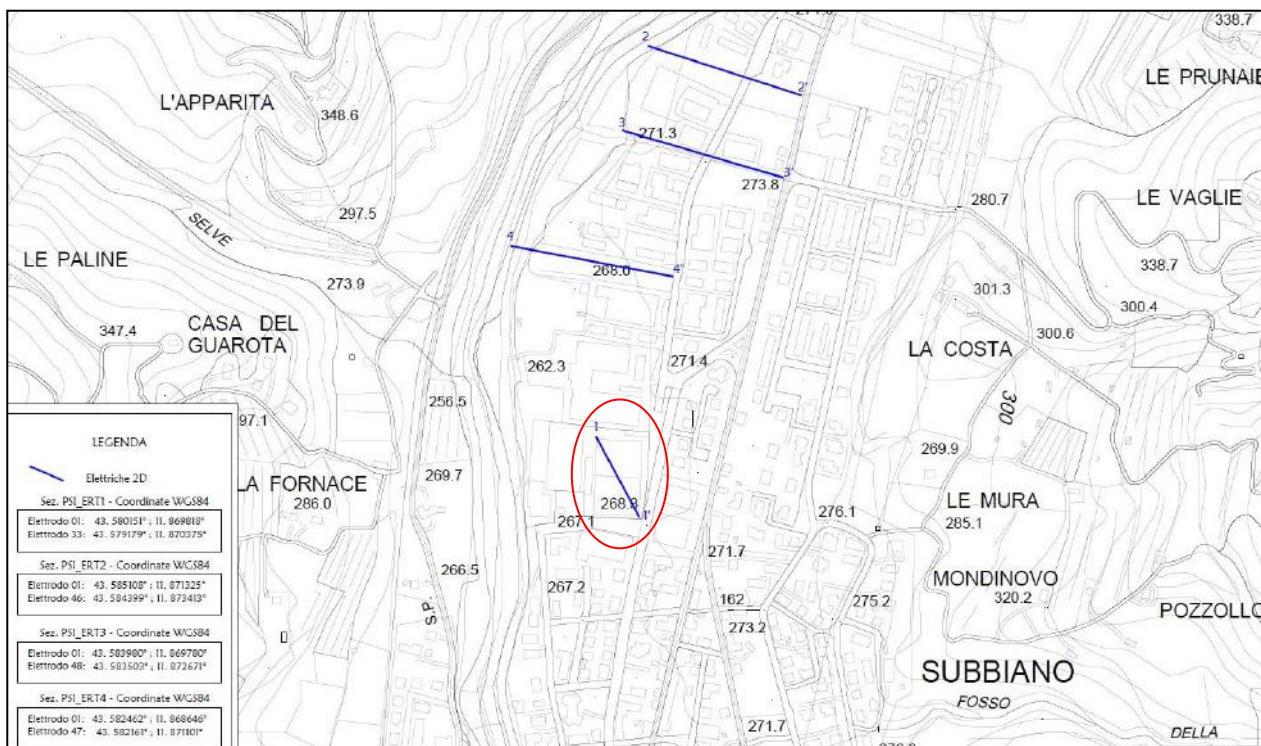


Figura 1. Aree d'intervento: PSI_ERT 1 - Comune di Subbiano (AR).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse, è stato programmato uno stendimento in tomografia geoelettrica 2D, convenuto con il tecnico incaricato **Dott. Geol. Nicolò Sbolci**, ed eseguito in un'area all'interno del Comune di Subbiano, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni in funzione dei valori di resistività.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nella sezione **PSI-ERT1** sono stati installati 33 elettrodi con spaziatura 4 m, acquisendo complessivamente 128 ml di rilievo.

L'acquisizione è stata effettuata tramite array **Wenner-Schlumberger**, che ha fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale; la sezione 2D in seguito è stata elaborata tramite Software Res2Dinv.

Nella **Tavola 01** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su carta geologica.

Nella **Tavola 02** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su CTR.

Nella **Tavola 03**, è stato riportato in inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, su CTR.

Nella **Tavola 04**, in scala 1:500, vengono riportati i risultati della sezione geoelettrica 2D PSI_ERT1, ottenuta tramite l'elaborazione con software Res2Dinv e la relativa sezione interpretativa.

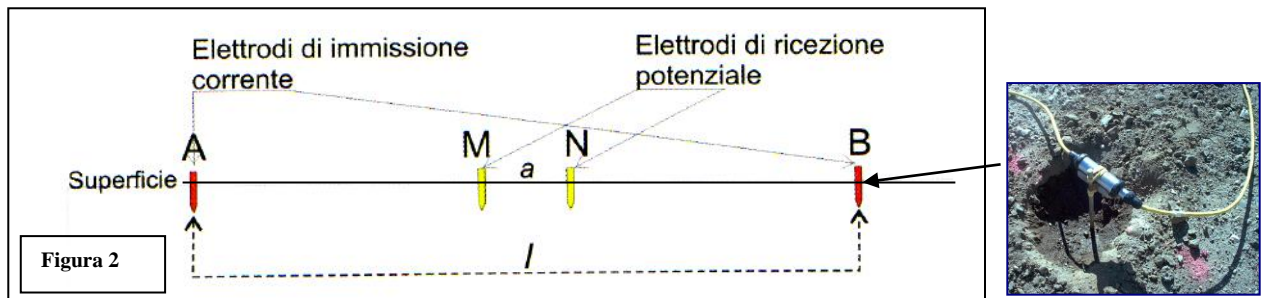
Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

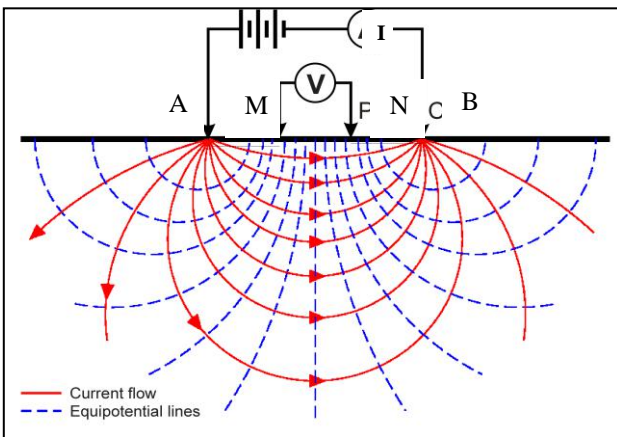
La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Wenner-Schlumberger*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*.

L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (**Fig. 2**).

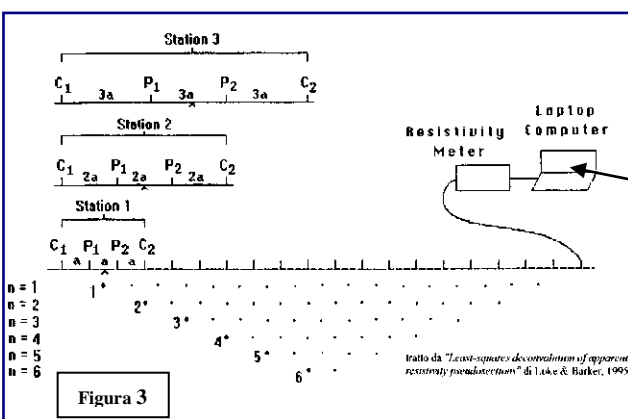


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodoica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull’intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro Switch con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS		
<p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, Cable w/ 24 take-out: 23kg

Figura 4: Syscal Pro SWITCH – 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L’array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l’indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

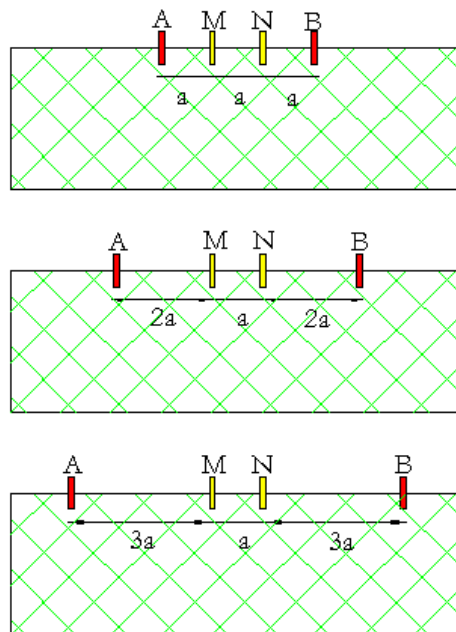
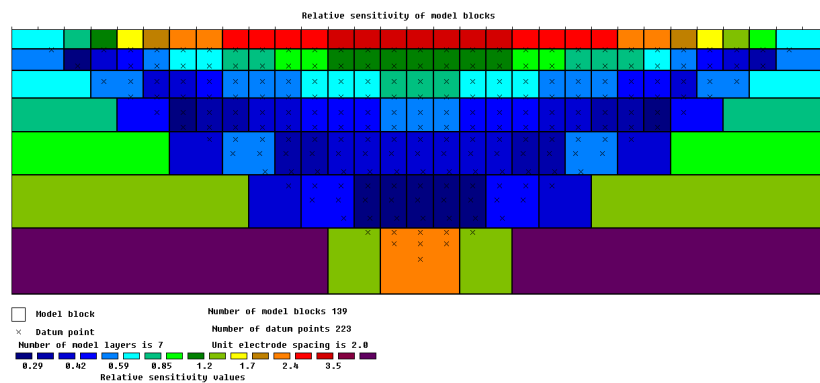


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 “PROCESSING” DEI DATI 2D

Il software RES2DINV[®] (Geotomo Software[®]), utilizzato nel corso del presente lavoro per elaborare le sezioni 2D, permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione permette partendo dai valori di resistività apparente di arrivare a quelli reali del terreno investigato.

Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

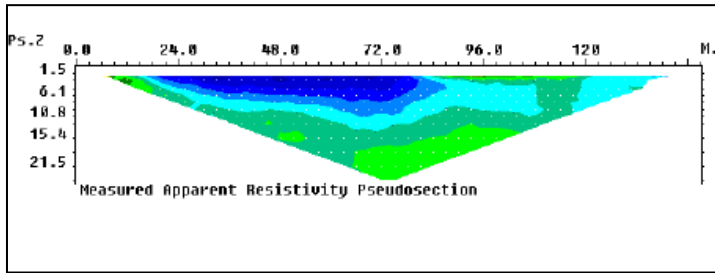


La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

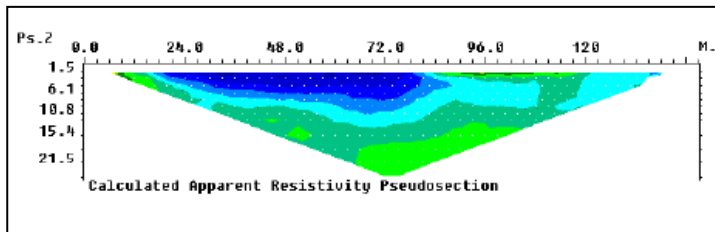
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodo sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

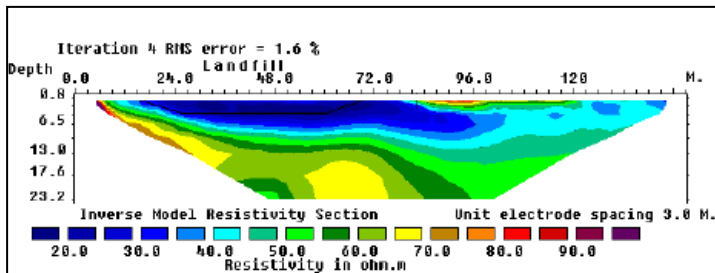
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 1

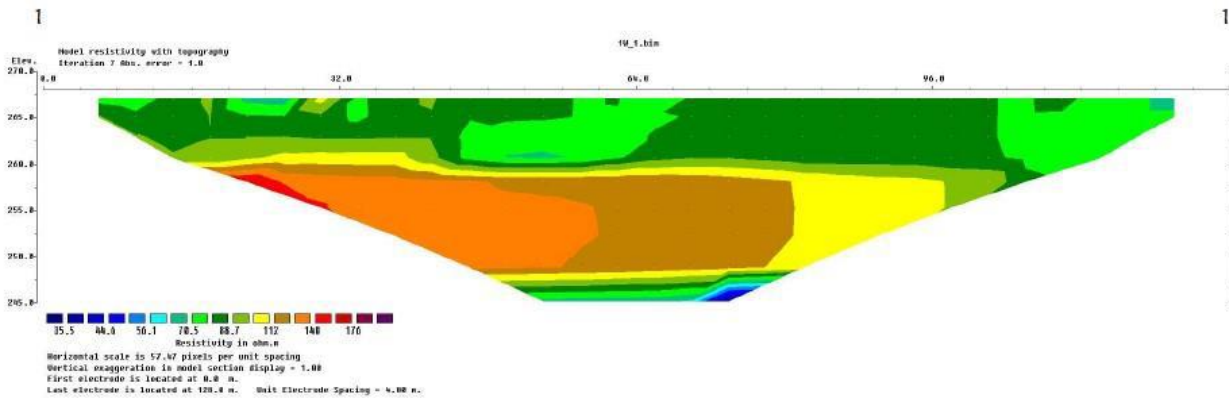


6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 1

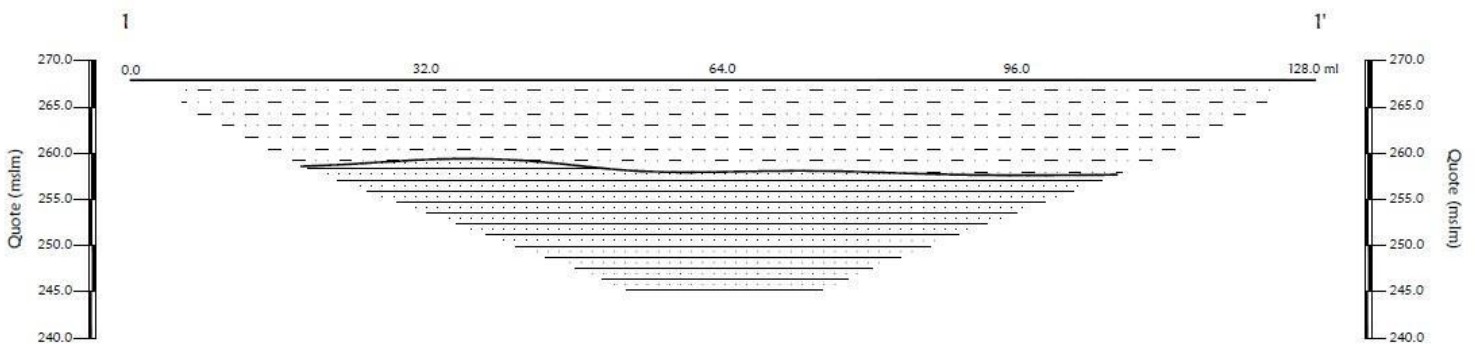
Nella sezione **PSI_ERT1**, si evidenzia un livello superficiale caratterizzato da valori medio-alti di resistività > 80 Ohm.m, che presenta un andamento circa sub-orizzontale e spessori medi di ca. 8-9 metri; i materiali in questione sono riconducibili al terreno di copertura e depositi alluvionali caratteristici della zona.

Al di sotto, è netto il passaggio a materiali più resistivi con valori maggiori di 150 Ohm.m, ascrivibili alla **Facies Arenacea del Substrato** (Formazione di M.te Falterona).

Tomografia elettrica 2D - PSI_ERT1



Sezione interpretativa - PSI_ERT1



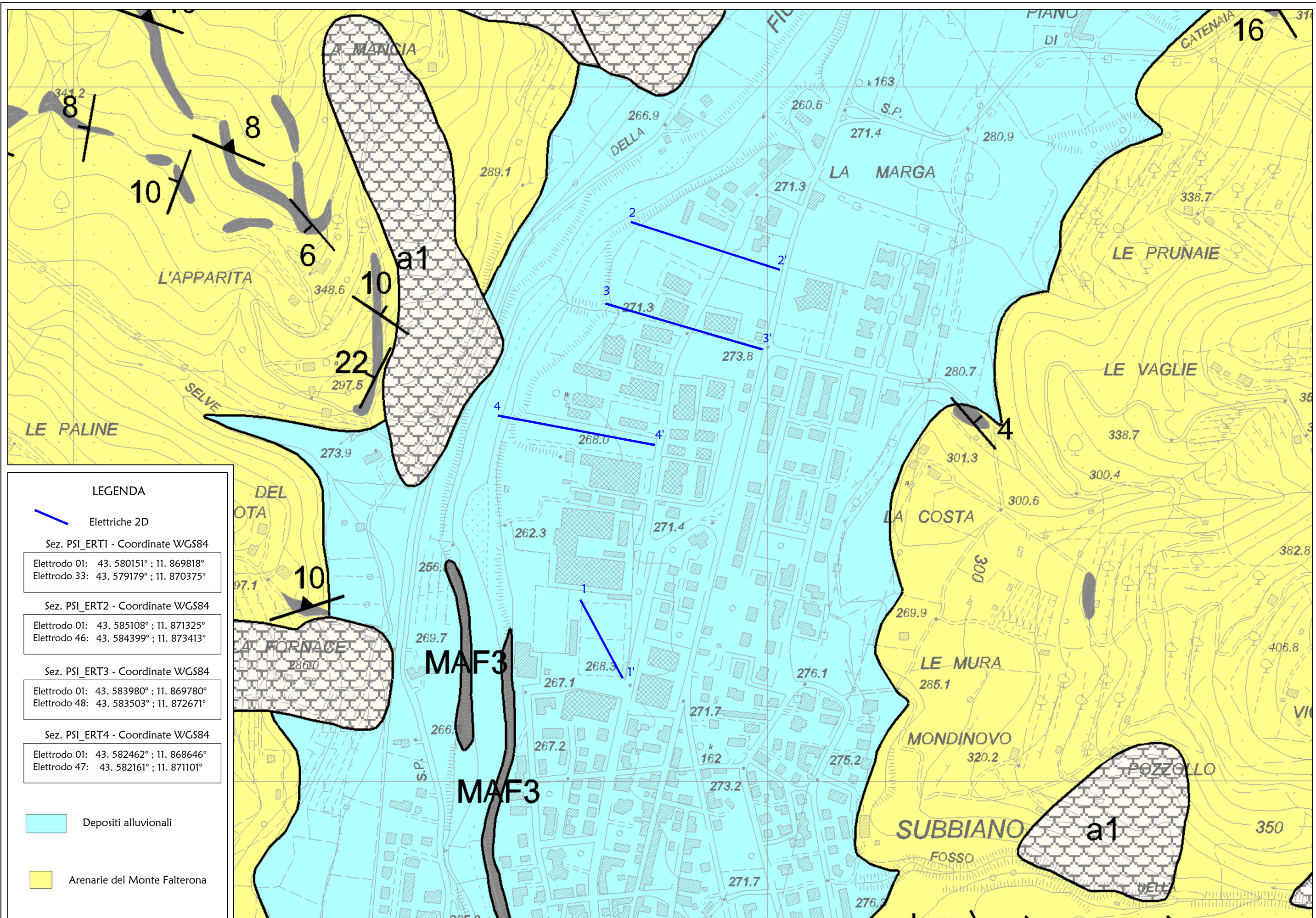
LEGENDA

- | | | | |
|--|---|--|--|
| | Terreno di copertura e depositi alluvionali
Valori medio-alti di resistività >80 Ohm.m | | Facies arenacea del substrato (M.te Falterona)
Valori alti di resistività > 150 Ohm.m |
|--|---|--|--|


Arezzo, li 20/04/2022

TRIGEО s.r.l.
di Nappetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOC (AR)
PIVA 02024110518
Tel/Fax: 0575 234900 - 055 906221/2
Cell: 339 2288117 - 339 728928
www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA

 Elettriche 2D

Sez. PSI_ERT1 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 580151° ; 11. 869818°
 Elettrodo 33: 43. 579179° ; 11. 870375°

Sez. PSI_ERT2 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 585108° ; 11. 871325°
 Elettrodo 46: 43. 584399° ; 11. 873413°


Sez. PSI_ERT3 - Coordinate WGS84

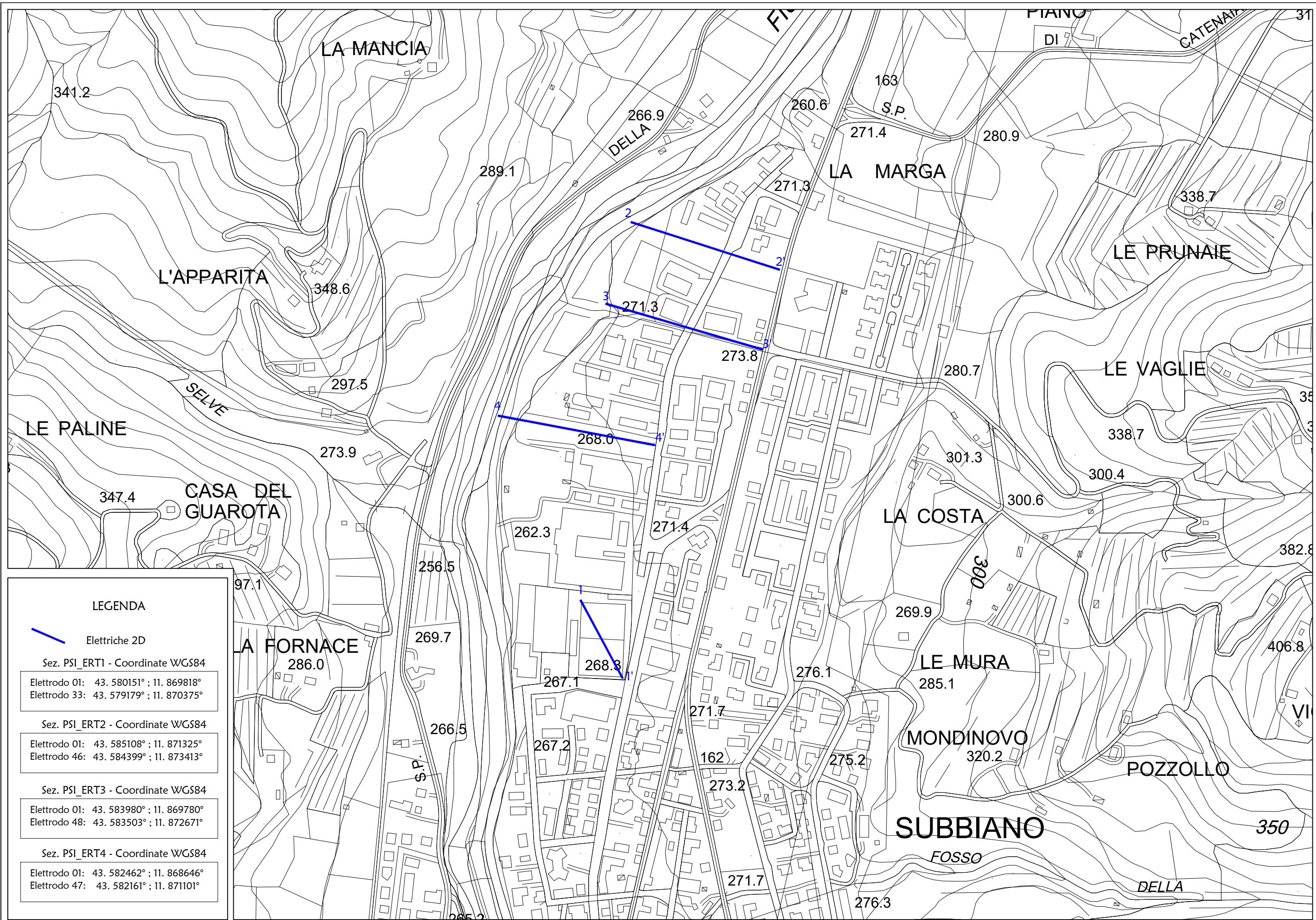
Elettrodo 01: 43. 583980° ; 11. 869780°
 Elettrodo 48: 43. 583503° ; 11. 872671°

Sez. PSI_ERT4 - Coordinate WGS84


Elettrodo 01: 43. 582462° ; 11. 868646°
 Elettrodo 47: 43. 582161° ; 11. 871101°

 Depositi alluvionali

 Arenarie del Monte Falterona



LEGENDA

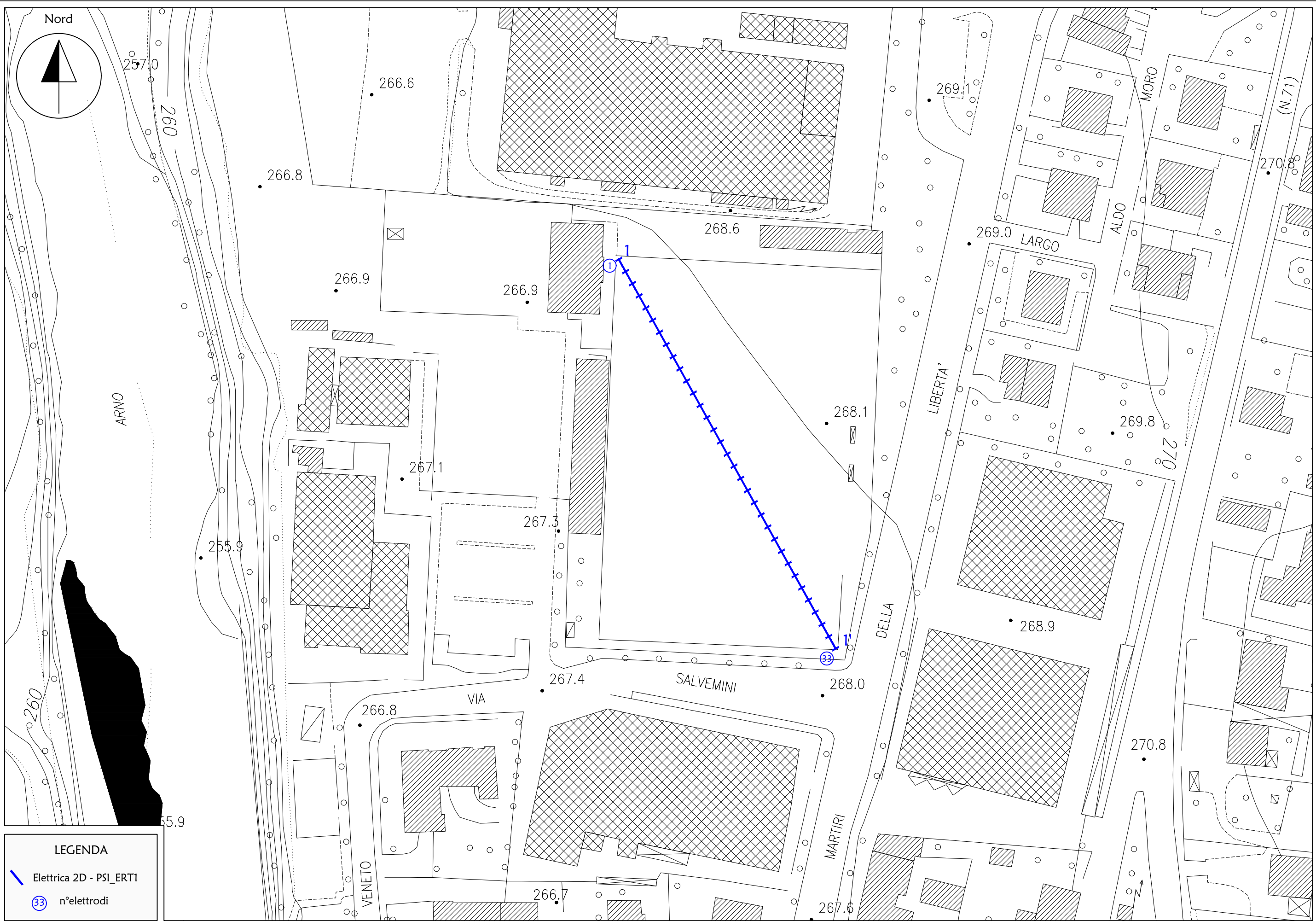
 Elettriche 2D

Sez. PSI_ERT1 - Coordinate WGS84
 Elettrodo 01: 43.580151° ; 11.869818°
 Elettrodo 33: 43.579179° ; 11.870375°


Sez. PSI_ERT2 - Coordinate WGS84
 Elettrodo 01: 43.585108° ; 11.871325°
 Elettrodo 46: 43.584399° ; 11.873413°


Sez. PSI_ERT3 - Coordinate WGS84
 Elettrodo 01: 43.583980° ; 11.869780°
 Elettrodo 48: 43.583503° ; 11.872671°

Sez. PSI_ERT4 - Coordinate WGS84
 Elettrodo 01: 43.582462° ; 11.868646°
 Elettrodo 47: 43.582161° ; 11.871101°



LEGENDA

 Elettrica 2D - PSI_ERT1

 n°elettrodi

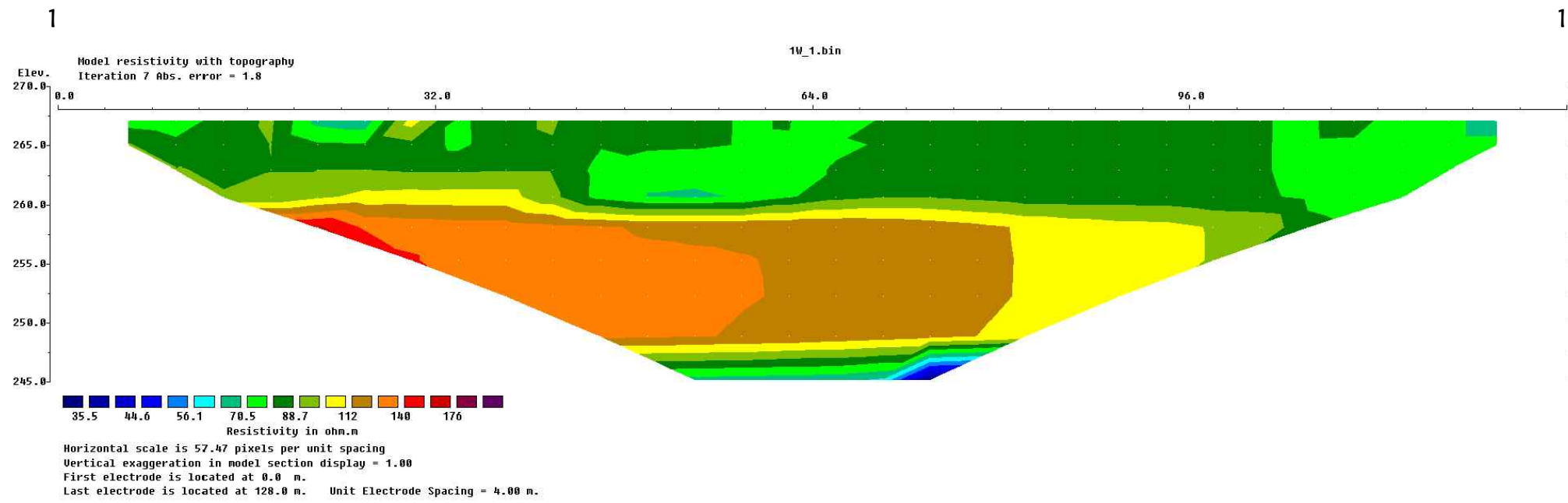
Scala 1:1000

Aprile 2022

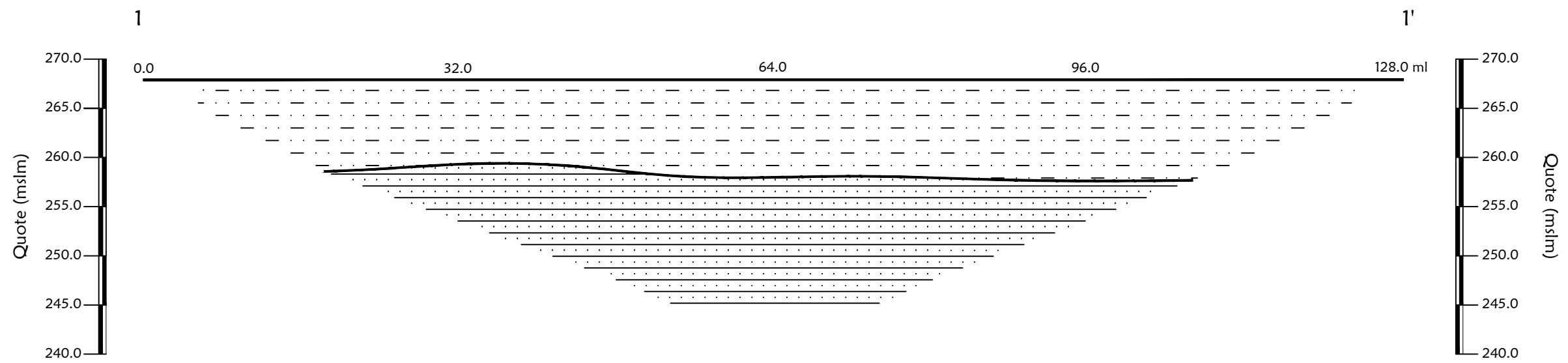
Tavola 03 - Planimetria di dettaglio - PSI_ERT1 - Campo da calcio - Via Martiri della Libertà - Subbiano (AR)



Tomografia elettrica 2D - PSI_ERT1



Sezione interpretativa - PSI_ERT1



LEGENDA

- | | | | |
|--|---|--|--|
| | Terreno di copertura e depositi alluvionali | | Facies arenacea del substrato (M.te Falterona) |
| | Valori medio-alti di resistività >80 Ohm.m | | Valori alti di resistività > 150 Ohm.m |

COMUNE DI SUBBIANO

20 – APRILE - 2022

TRIGEO

TRIGEO snc
di Andrea Nencetti e Benedetto
Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE
MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D
DENOMINATA PSI_ERT 2”**

SUBBIANO (AR)

FIRENZE
Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO
Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE:



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/fax: 0575 294500 - 055 9062212
Cell: 339 2288117 - 328 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETTRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO "WENNER-SCHLUMBERGER"	8
4.0 "PROCESSING" DEI DATI 2D	9
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 1	11
6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 2	12
ALLEGATI	13

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Marzo 2022**, a supporto degli studi di microzonazione sismica MS2-MS3 all'interno del **Comune di Subbiano (AR) (Fig.1)**.

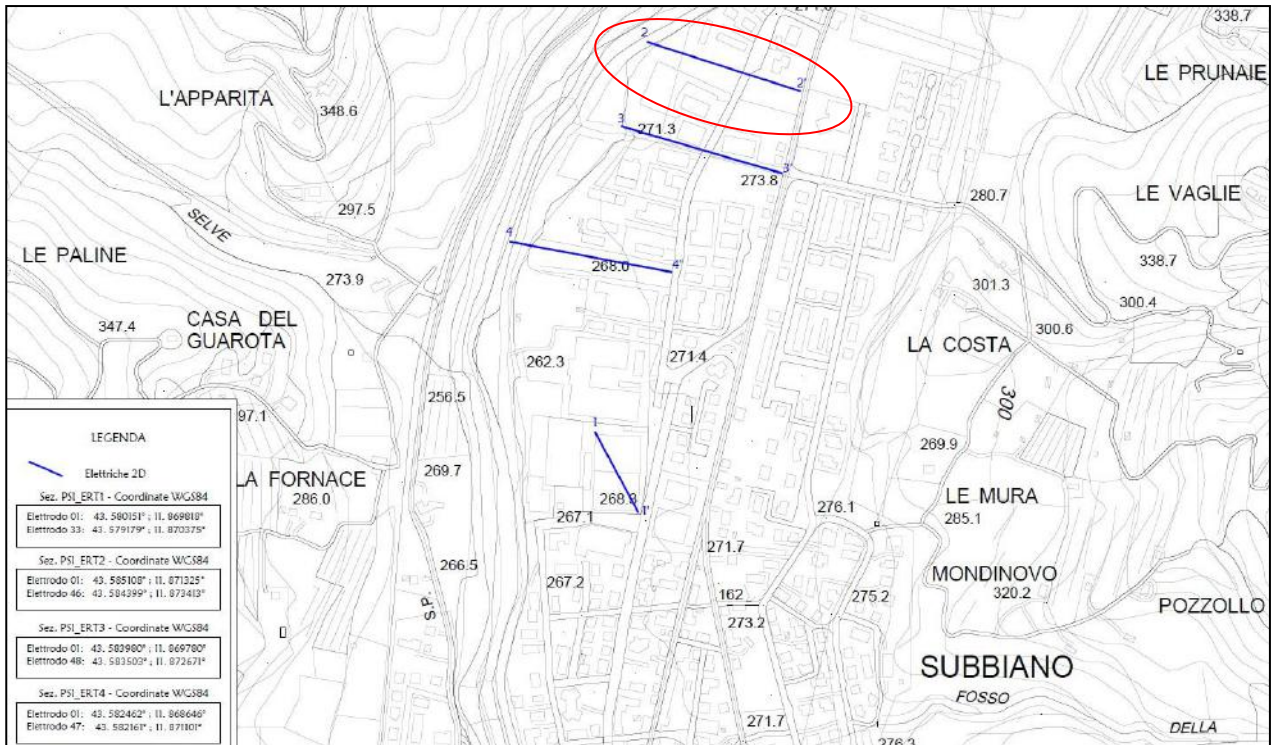


Figura 1. Aree d'intervento: PSI_ERT 2 - Comune di Subbiano (AR).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse, è stato programmato uno stendimento in tomografia geoelettrica 2D, convenuto con il tecnico incaricato **Dott. Geol. Nicolò Sbolci**, ed eseguito in un'area all'interno del Comune di Subbiano, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni in funzione dei valori di resistività.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nella sezione **PSI-ERT2** sono stati installati 46 elettrodi con spaziatura 5 m, acquisendo complessivamente 225 ml di rilievo.

L'acquisizione è stata effettuata tramite array **Wenner-Schlumberger**, che ha fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale; la sezione 2D in seguito è stata elaborata tramite Software Res2Dinv.

Nella **Tavola 01** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su carta geologica.

Nella **Tavola 02** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su CTR.

Nella **Tavola 03**, è stato riportato in inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, su CTR.

Nella **Tavola 04**, in scala 1:1000, vengono riportati i risultati della sezione geoelettrica 2D PSI_ERT2, ottenuta tramite l'elaborazione con software Res2Dinv e la relativa sezione interpretativa.

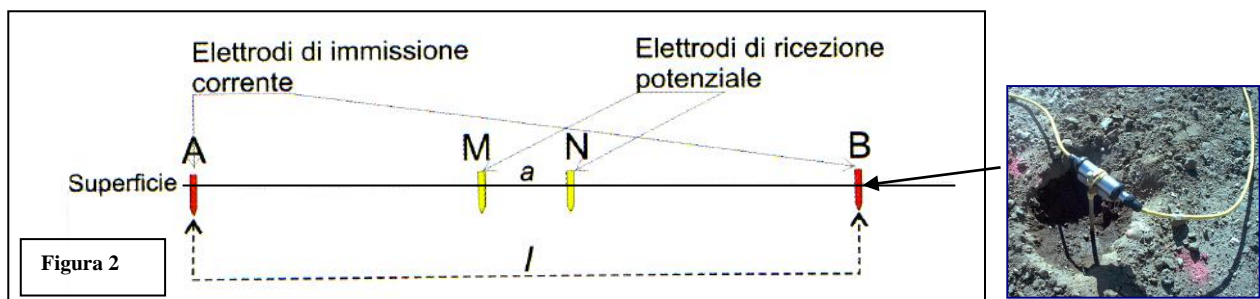
Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

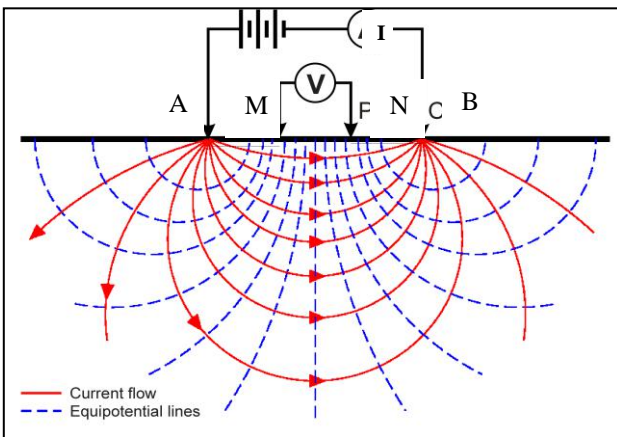
La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Wenner-Schlumberger*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*.

L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (Fig. 2).

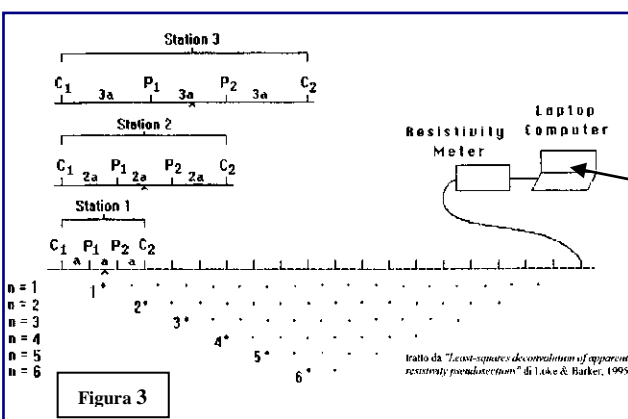


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodoica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull’intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro Switch con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS		
<p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, Cable w/ 24 take-out: 23kg

Figura 4: Syscal Pro SWITCH – 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L’array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l’indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

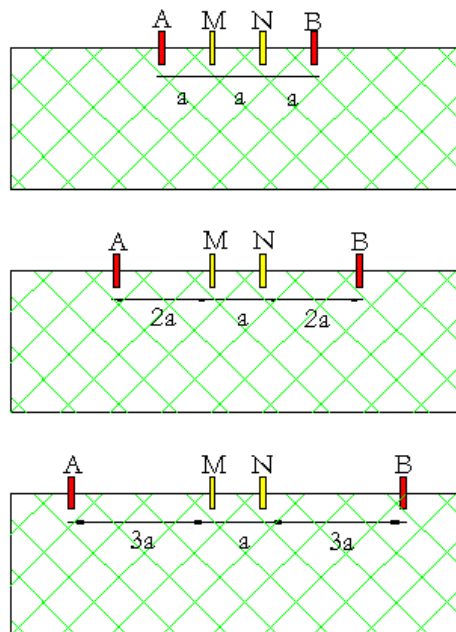
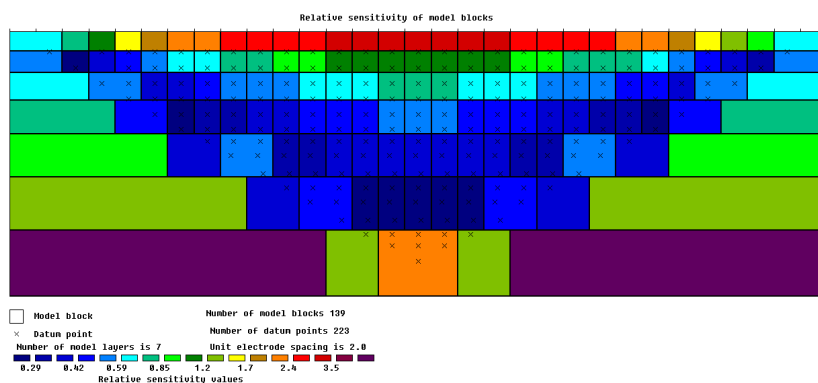


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 “PROCESSING” DEI DATI 2D

Il software RES2DINV[®] (Geotomo Software[®]), utilizzato nel corso del presente lavoro per elaborare le sezioni 2D, permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione permette partendo dai valori di resistività apparente di arrivare a quelli reali del terreno investigato.

Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

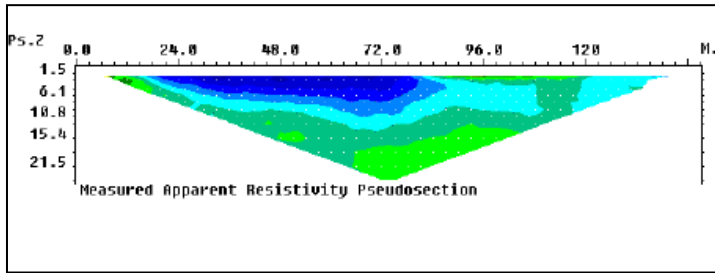


La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

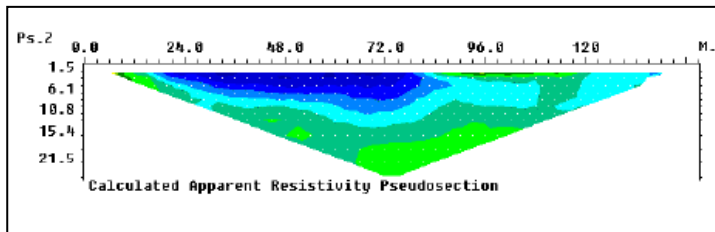
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodo sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

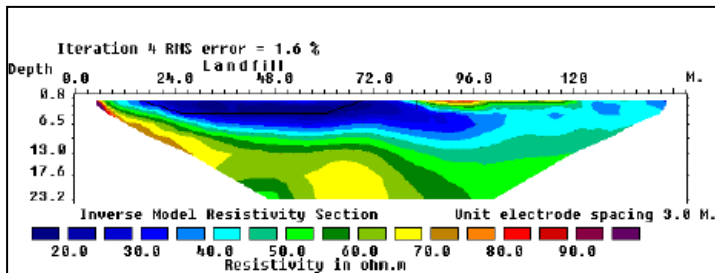
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

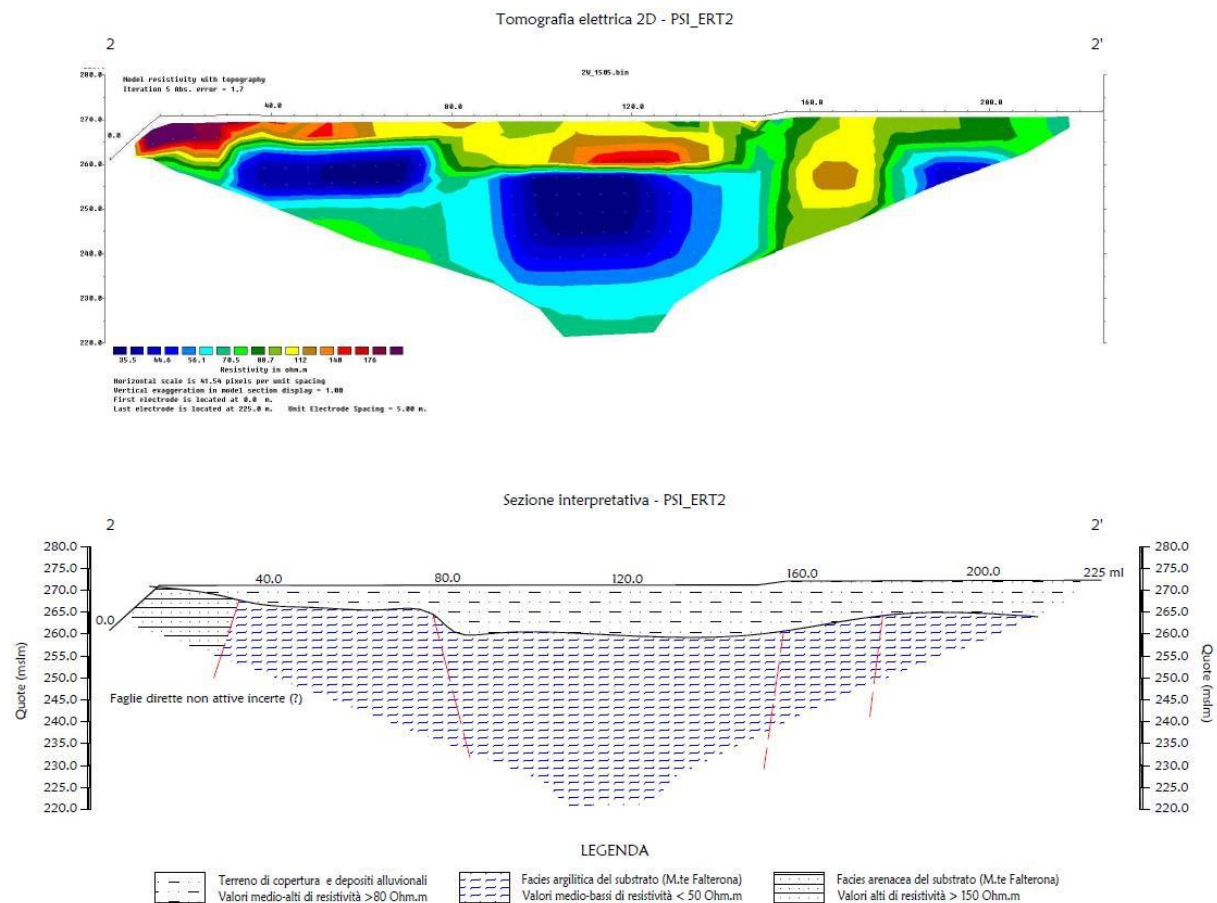
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 2



6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 2

Nella sezione **PSI_ERT2** si evidenzia un livello superficiale correlabile a coperture alluvionali caratterizzato da valori medio-alti di resistività > 80 Ohm.m, con spessori medi non superiori ai 10 metri; inoltre, nella porzione iniziale della sezione (più vicina all'alveo fluviale) tali depositi risultano più assottigliati attestandosi nell'ordine dei 2-3 metri.

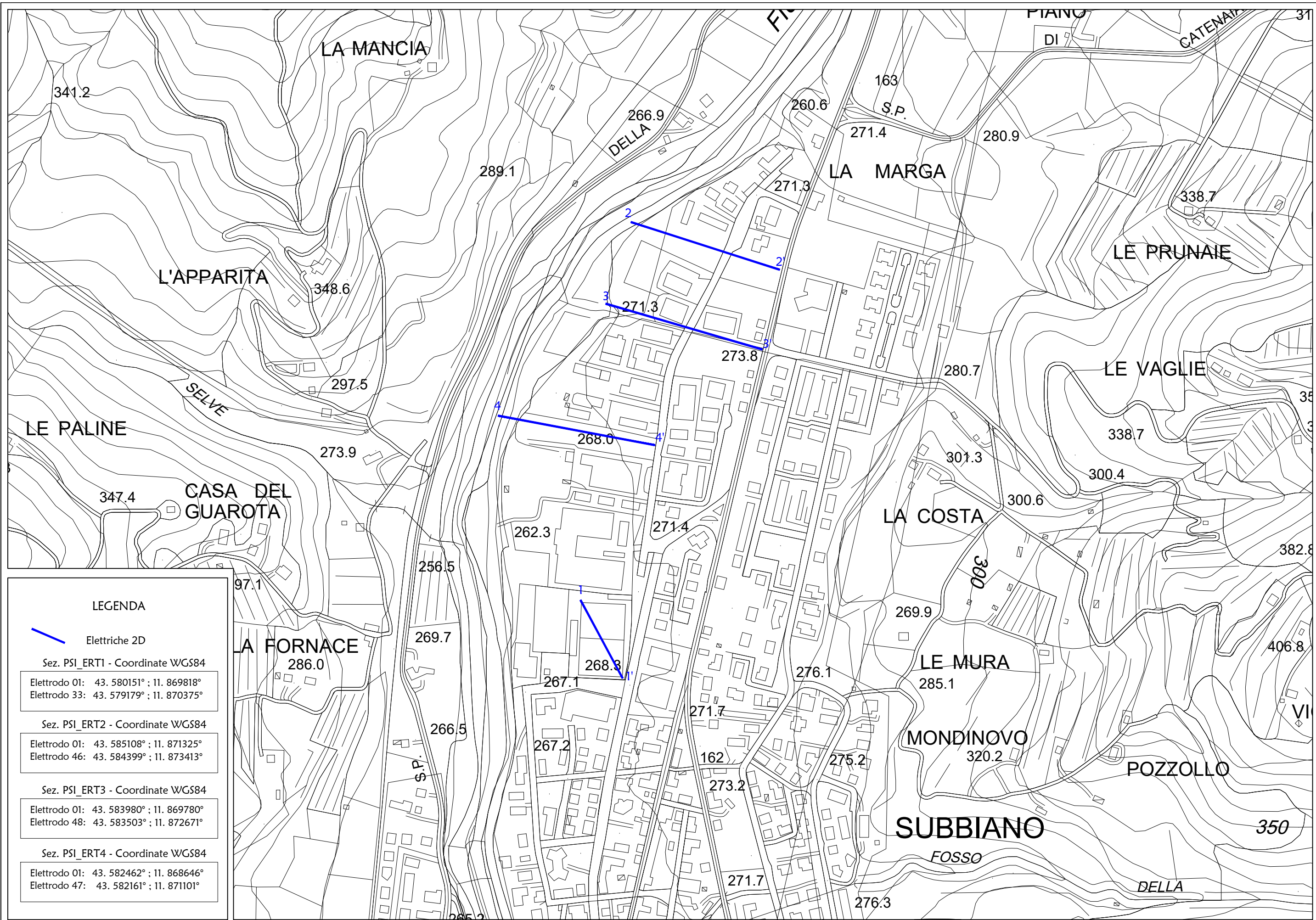
Al di sotto, si evidenziano valori medio-bassi di resistività < 50 Ohm.m, presumibilmente legati alla Facies argillitica del substrato (Formazione di M.te Falterona); nei pressi della scarpata (progressive 0-20ml) i materiali assumono valori più resistivi (> 150 Ohm.m), legati probabilmente alla Facies più arenacea. In corrispondenza delle progressive 35 ml, 80 ml, 150 ml e 180 ml, come indicato nella tavola 04 interpretativa, si notano sia a differenze di quota nei valori conduttivi che passaggi laterali ad elementi più resistivi, che potrebbero indicare la presenza di faglie dirette non attive (?).



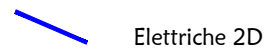
Arezzo, li 20/04/2022

TRIGEO s.p.a.
 Via Mazzini, 117 - 50014 - Arezzo (AR)
 P.IVA 02074110518
 Tel. 0573 238117 - 238118
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA



Elettriche 2D

Sez. PSI_ERT1 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 580151° ; 11. 869818°
 Elettrodo 33: 43. 579179° ; 11. 870375°

Sez. PSI_ERT2 - Coordinate WGS84

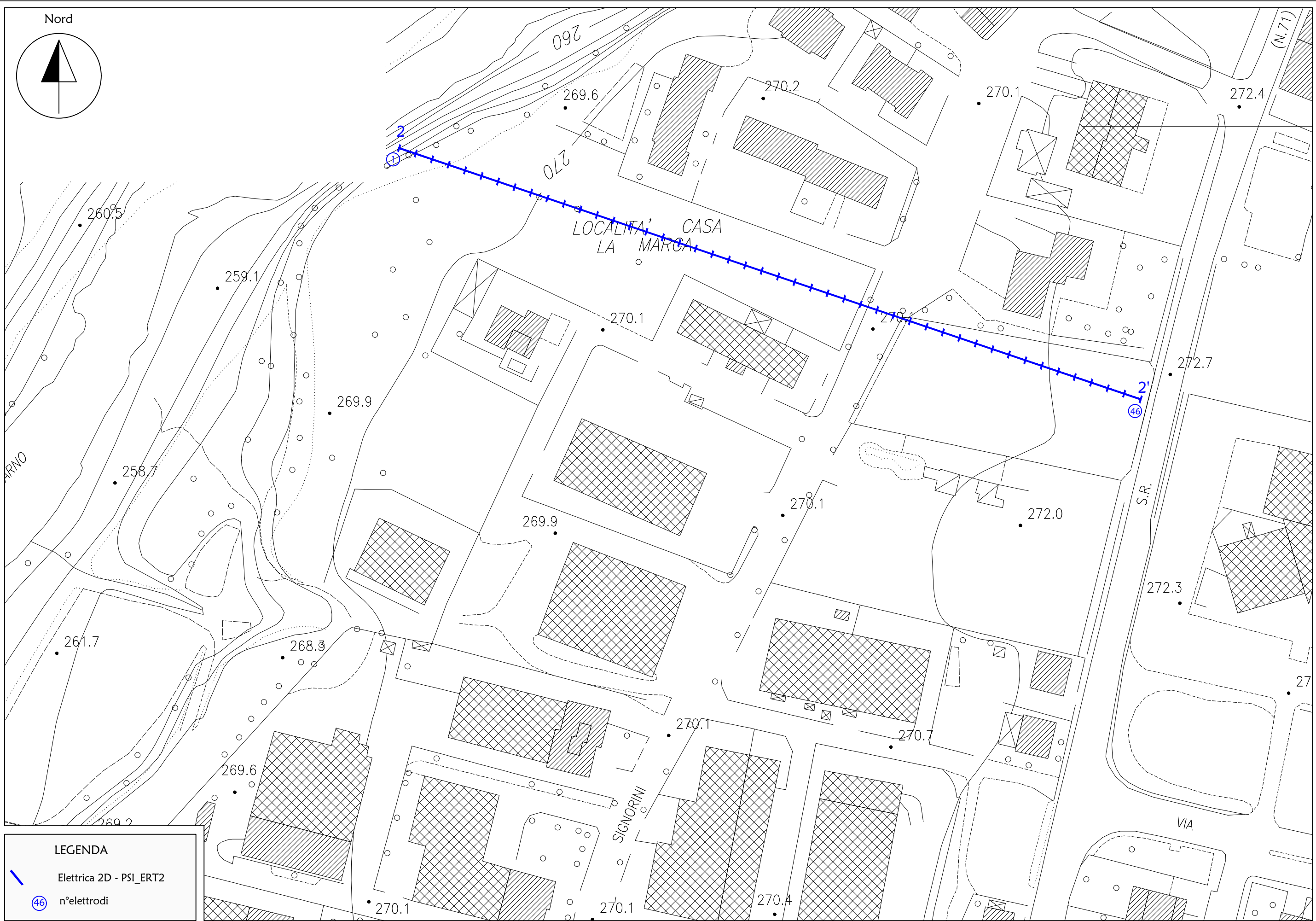
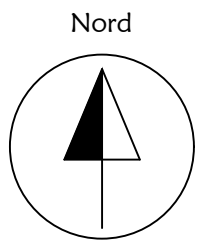
Elettrodo 01: 43. 585108° ; 11. 871325°
 Elettrodo 46: 43. 584399° ; 11. 873413°

Sez. PSI_ERT3 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 583980° ; 11. 869780°
 Elettrodo 48: 43. 583503° ; 11. 872671°

Sez. PSI_ERT4 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 582462° ; 11. 868646°
 Elettrodo 47: 43. 582161° ; 11. 871101°



LEGENDA	
	Elettrica 2D - PSI_ERT2
	n°elettrodi

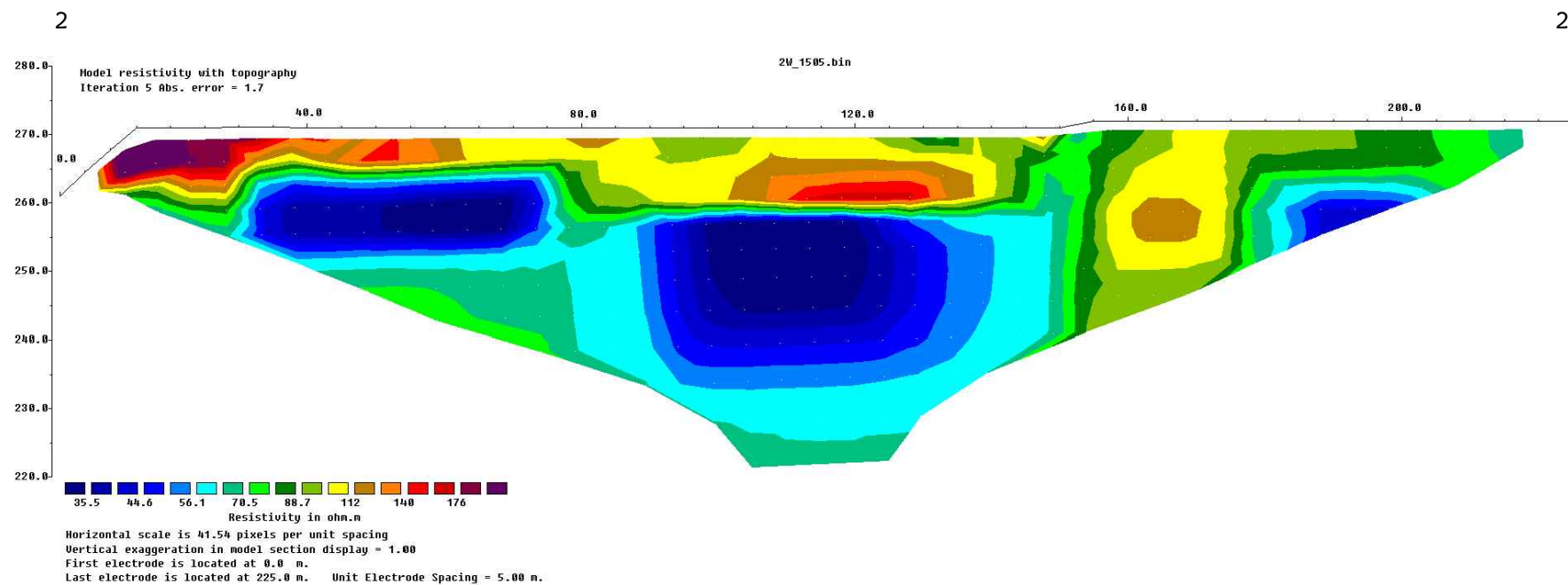
Scala 1:1000

Aprile 2022

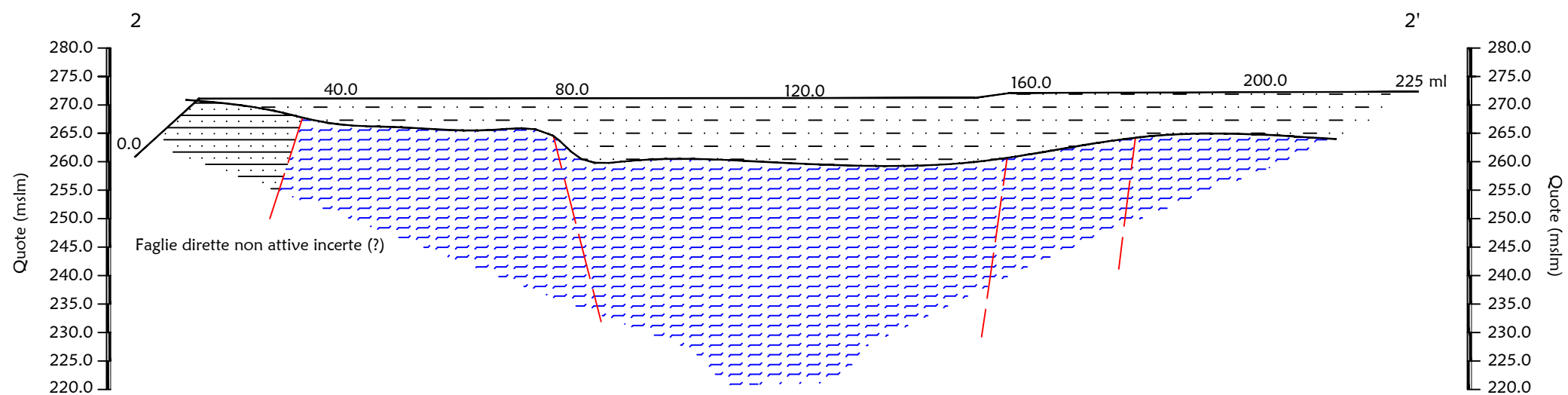
Tavola 03 - Planimetria di dettaglio - PSI_ERT2 - Via Signorini - Subbiano (AR)









Tomografia elettrica 2D - PSI_ERT2



Sezione interpretativa - PSI_ERT2



LEGENDA

- | | | |
|---|---|--|
|  Terreno di copertura e depositi alluvionali |  Facies argillica del substrato (M.te Falterona) |  Facies arenacea del substrato (M.te Falterona) |
|  Valori medio-alti di resistività >80 Ohm.m |  Valori medio-bassi di resistività < 50 Ohm.m |  Valori alti di resistività > 150 Ohm.m |

COMUNE DI SUBBIANO

20 – APRILE - 2022

TRIGEO

TRIGEO snc
di Andrea Nencetti e Benedetto
Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE
MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D
DENOMINATA PSI_ERT 3”**

SUBBIANO (AR)

FIRENZE
Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO
Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE:



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/fax: 0575 294500 - 055 9062212
Cell: 339 2288117 - 328 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETTRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO "WENNER-SCHLUMBERGER"	8
4.0 "PROCESSING" DEI DATI 2D	9
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 3	11
6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 3	12
ALLEGATI	13

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Marzo 2022**, a supporto degli studi di microzonazione sismica MS2-MS3 all'interno del **Comune di Subbiano (AR) (Fig.1)**.

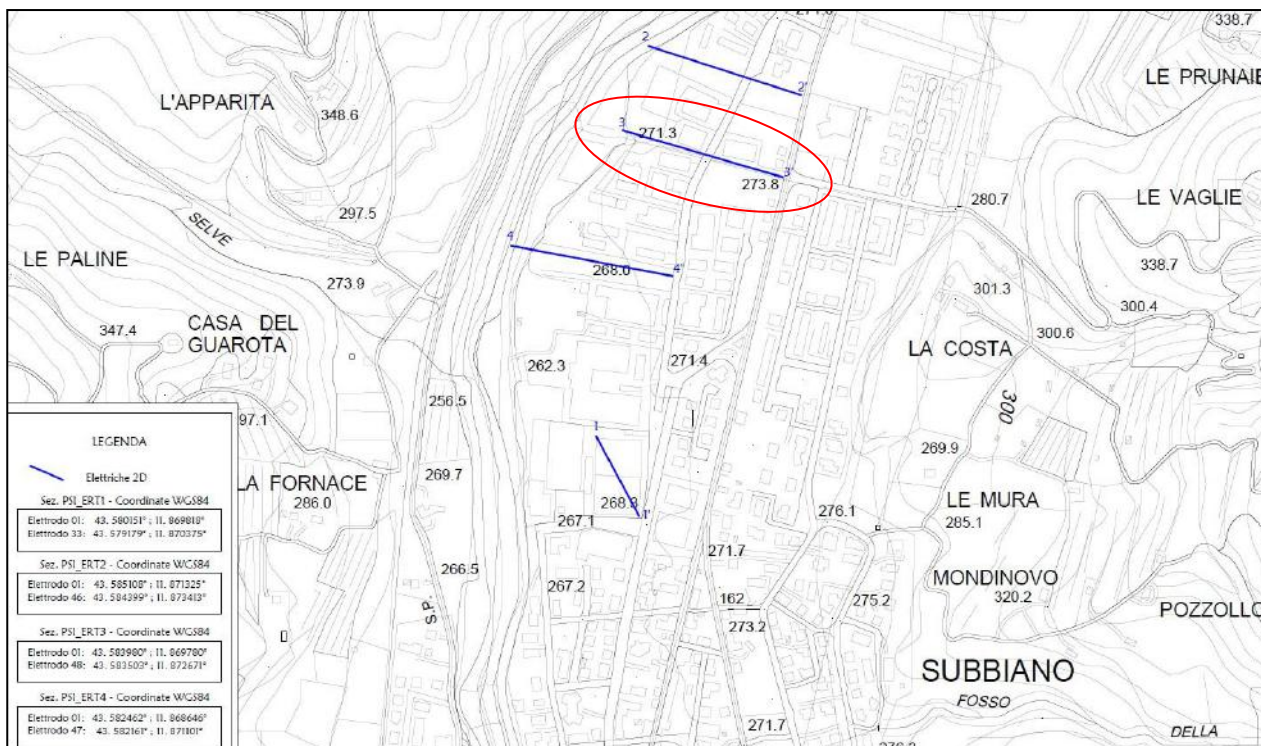


Figura 1. Aree d'intervento: PSI_ERT 3 - Comune di Subbiano (AR).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse, è stato programmato uno stendimento in tomografia geoelettrica 2D, convenuto con il tecnico incaricato **Dott. Geol. Nicolò Sbolci**, ed eseguito in un'area all'interno del Comune di Subbiano, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni in funzione dei valori di resistività.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nella sezione **PSI-ERT3** sono stati installati 48 elettrodi con spaziatura 5 m, acquisendo complessivamente 235 ml di rilievo.

L'acquisizione è stata effettuata tramite array **Wenner-Schlumberger**, che ha fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale; la sezione 2D in seguito è stata elaborata tramite Software Res2Dinv.

Nella **Tavola 01** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su carta geologica.

Nella **Tavola 02** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su CTR.

Nella **Tavola 03**, è stato riportato in inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, su CTR.

Nella **Tavola 04**, in scala 1:1000, vengono riportati i risultati della sezione geoelettrica 2D PSI_ERT2, ottenuta tramite l'elaborazione con software Res2Dinv e la relativa sezione interpretativa.

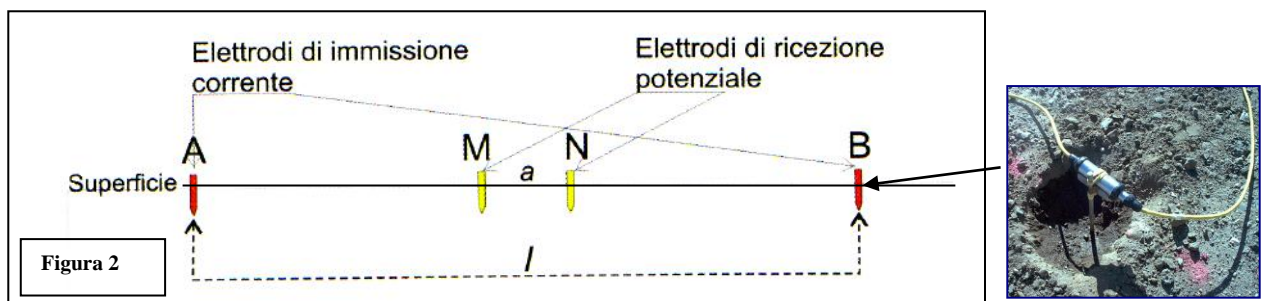
Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

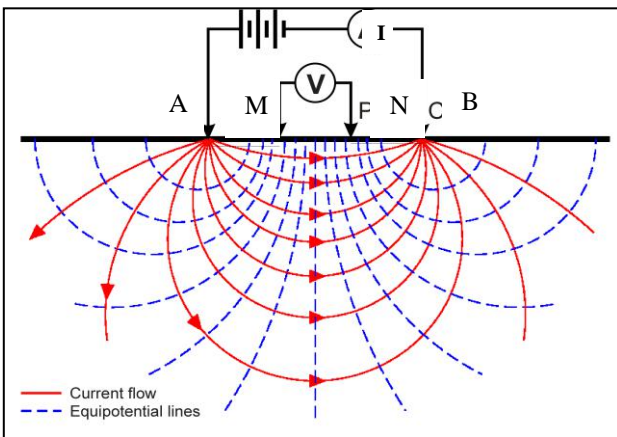
La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Wenner-Schlumberger*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*.

L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (**Fig. 2**).

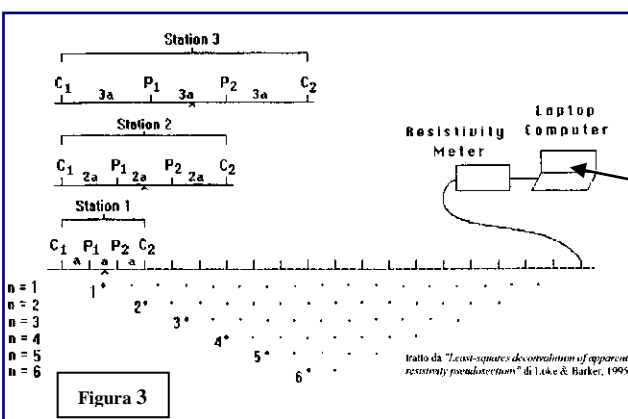


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodoica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull’intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro Switch con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS		
<p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, Cable w/ 24 take-out: 23kg

Figura 4: Syscal Pro SWITCH – 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L’array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodotico.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l’indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

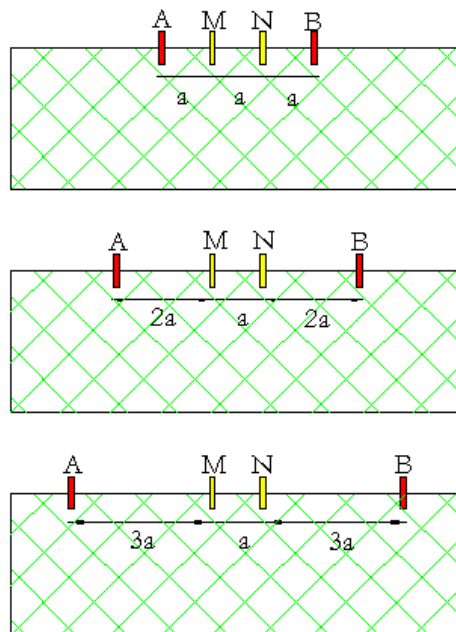
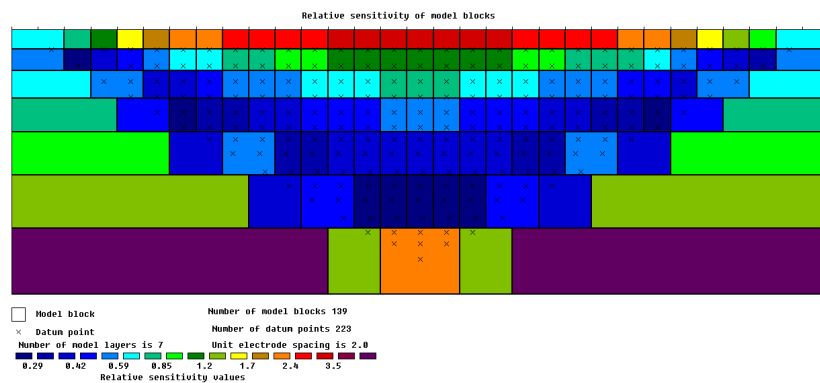


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 “PROCESSING” DEI DATI 2D

Il software RES2DINV[®] (Geotomo Software[®]), utilizzato nel corso del presente lavoro per elaborare le sezioni 2D, permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione permette partendo dai valori di resistività apparente di arrivare a quelli reali del terreno investigato.

Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

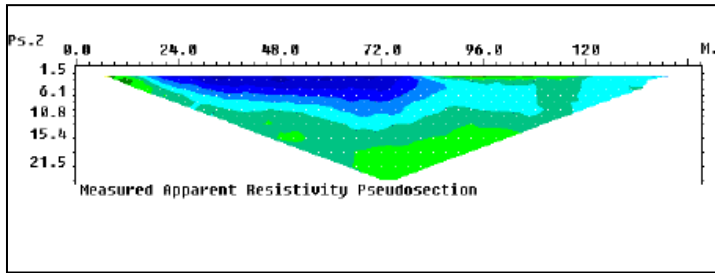


La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

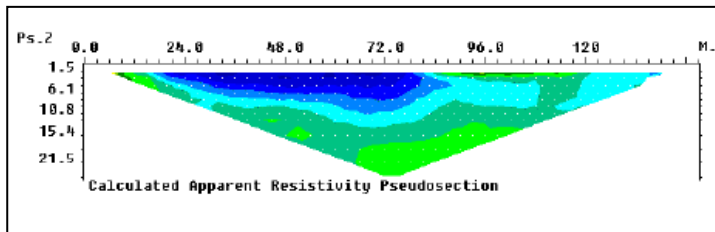
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodo sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

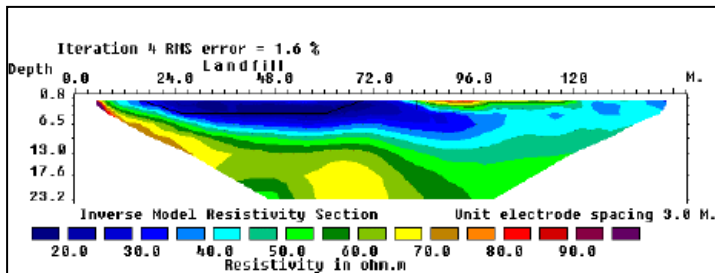
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

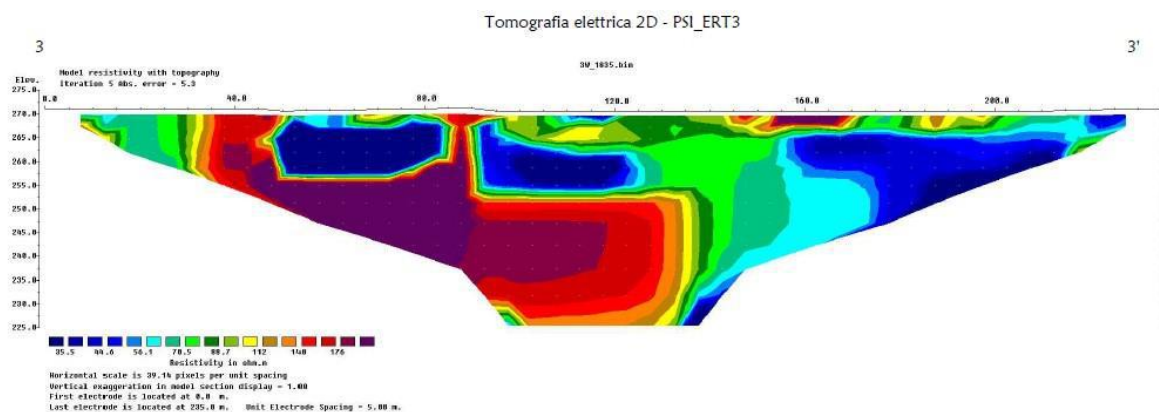
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 3



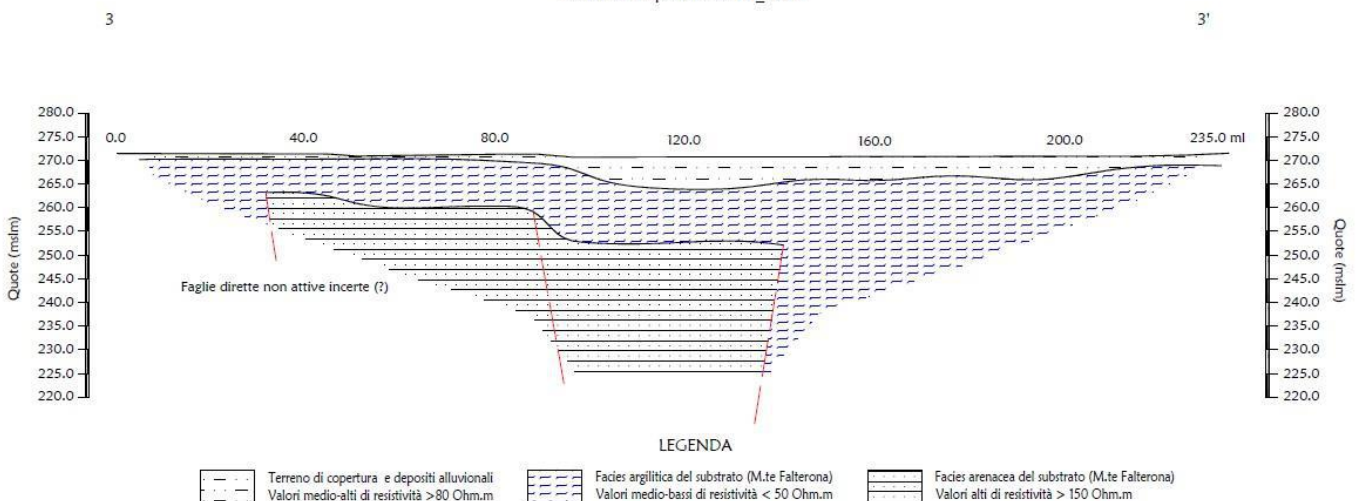
6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 3

La sezione **PSI_ERT3** mostra un livello superficiale di coperture alluvionali caratterizzato da valori medio alti di resistività > 80 Ohm.m, con spessori medi di ca. 3-4 metri (porzioni centrale e finale). La presenza del substrato risulta dunque abbastanza superficiale, fino a raggiungere il piano campagna all’inizio della sezione (fino a progressiva 90 ml ca.).

Le probabili faglie dirette non attive (?) individuabili alle progressive 30 ml 90 ml e 150 ml, giustificherebbero inoltre i passaggi laterali tra materiali conduttivi < 50 Ohm.m (Facies Argillitica) e litologie più resistenti > 150 Ohm.m (Facies Arenacea) all’interno del substrato.



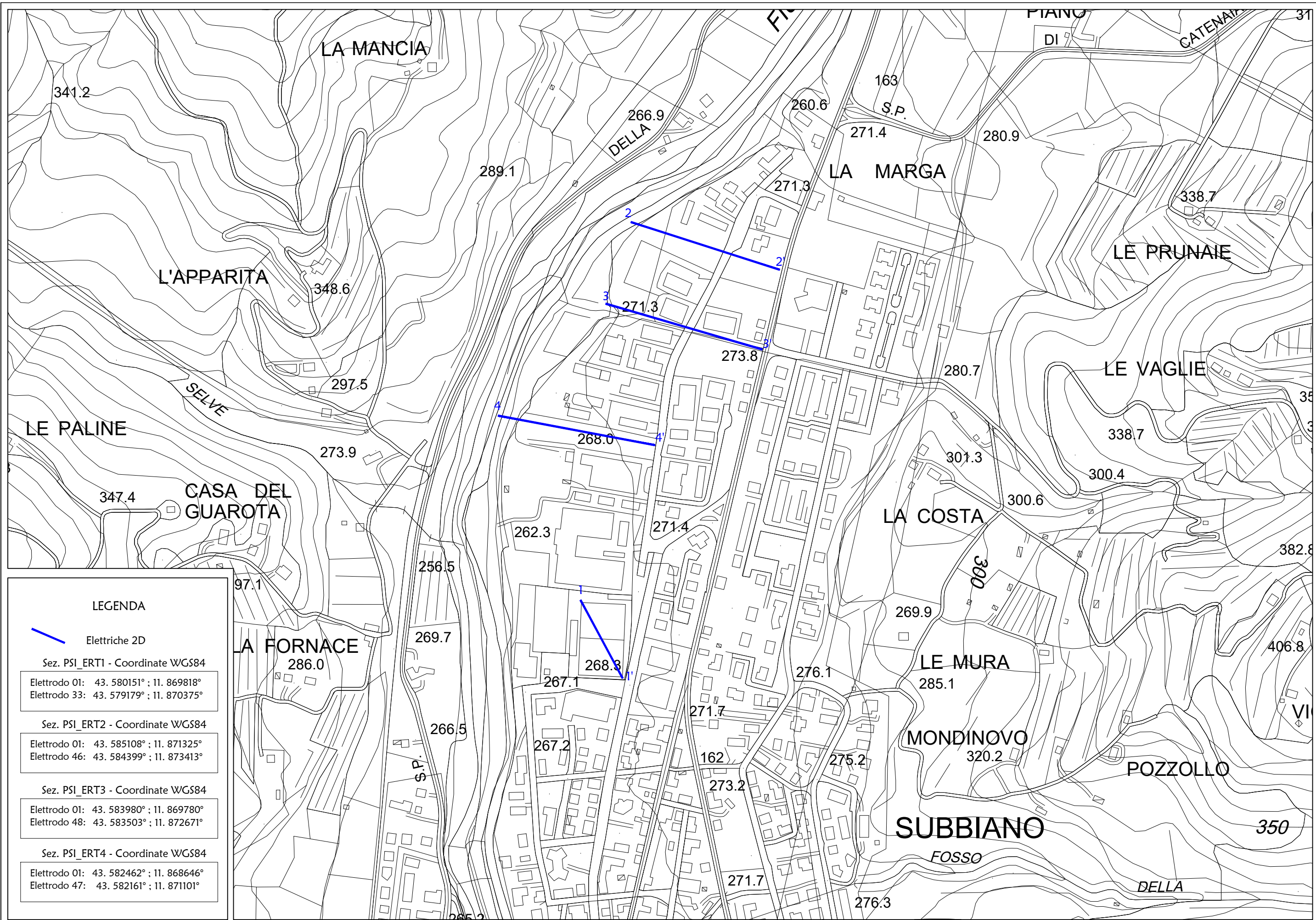
Sezione interpretativa - PSI_ERT3



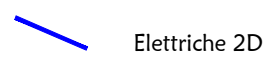
Arezzo, lì 20/04/2022

TRIGEO s.r.l.c.
 di Nobili Agnès e Burchi Benedetto
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
 P.IVA 02064110518
 Telefono 0575 224300 - 0575 905222
 Cell. 339 2288172 - 339 7279981
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA



Elettriche 2D

Sez. PSI_ERT1 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 580151° ; 11. 869818°
 Elettrodo 33: 43. 579179° ; 11. 870375°

Sez. PSI_ERT2 - Coordinate WGS84

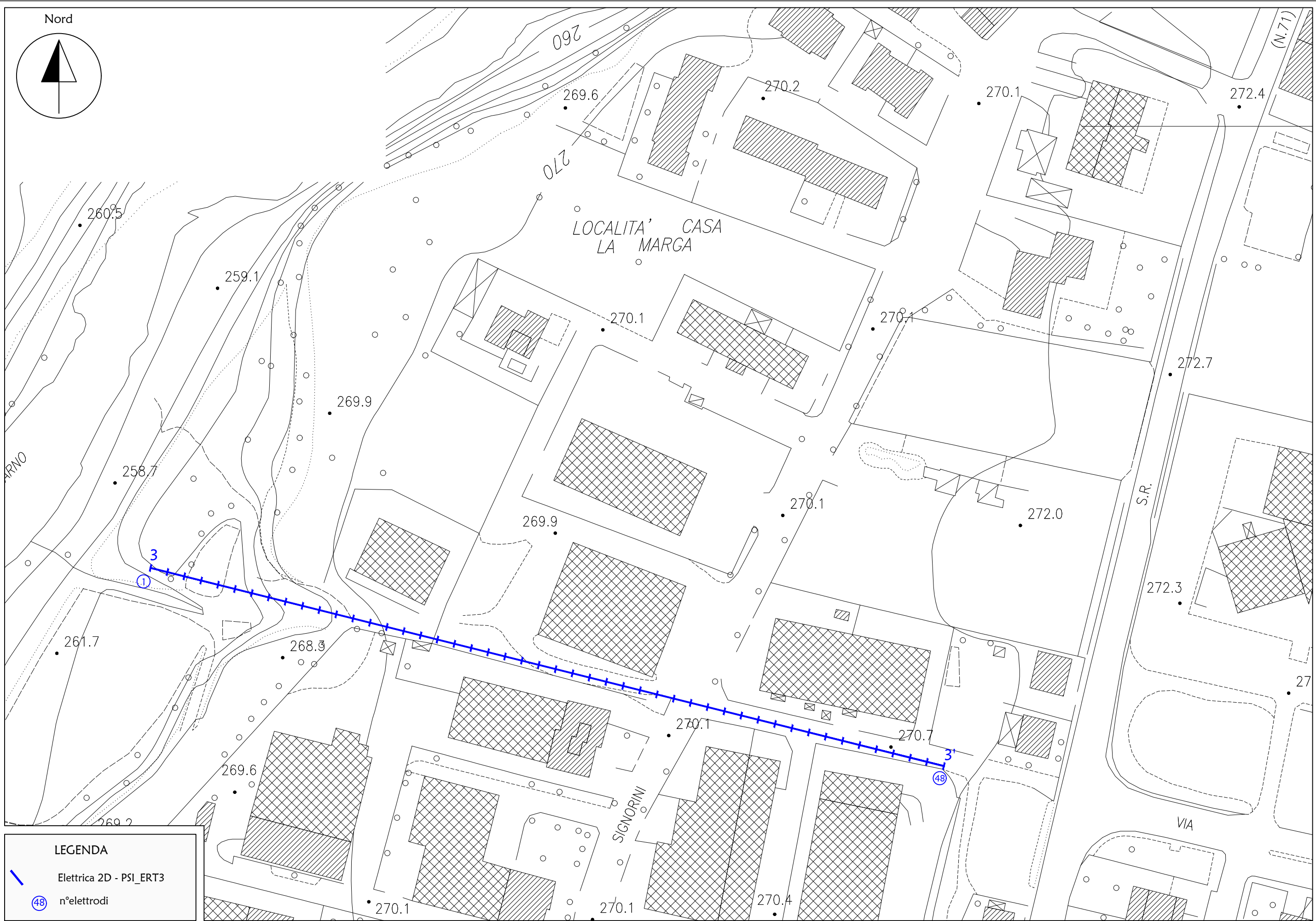
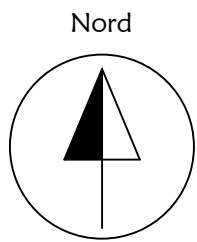
Elettrodo 01: 43. 585108° ; 11. 871325°
 Elettrodo 46: 43. 584399° ; 11. 873413°

Sez. PSI_ERT3 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 583980° ; 11. 869780°
 Elettrodo 48: 43. 583503° ; 11. 872671°

Sez. PSI_ERT4 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43. 582462° ; 11. 868646°
 Elettrodo 47: 43. 582161° ; 11. 871101°



LEGENDA	
	Elettrica 2D - PSI_ERT3
	n°elettrodi

Scala 1:1000

Aprile 2022

Tavola 03 - Planimetria di dettaglio - PSI_ERT3 - Via Signorini - Subbiano (AR)



COMUNE DI SUBBIANO

20 – APRILE - 2022

TRIGEO

TRIGEO snc
di Andrea Nencetti e Benedetto
Burchini
Via Mazzini, 18
52011 Soci (AR)
P.IVA 02024110518
info@trigeo.it

RELAZIONE TECNICA

**“INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE
MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D
DENOMINATA PSI_ERT 4”**

SUBBIANO (AR)

FIRENZE
Via Nino Bixio, 9
50131 Firenze
firenze@trigeo.it
T/F 055 400619
M 328 7213928

AREZZO
Via Petrarca, 33
52100 Arezzo
arezzo@trigeo.it
T/F 0575 294500
M 339 2288117

COMMITTENTE:



CERTIFICATO
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE
NON DISTRUTTIVE E
SEMIDISTRUTTIVE
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02024110518
Tel/fax: 0575 294500 - 055 9062212
Cell: 339 2288117 - 328 7213928
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

INDICE

INTRODUZIONE	3
1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI	4
2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETTRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
3.0 ARRAY DI TIPO "WENNER-SCHLUMBERGER"	8
4.0 "PROCESSING" DEI DATI 2D	9
5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 4	11
6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 4	12
ALLEGATI	13

INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nel mese di **Marzo 2022**, a supporto degli studi di microzonazione sismica MS2-MS3 all'interno del **Comune di Subbiano (AR) (Fig.1)**.

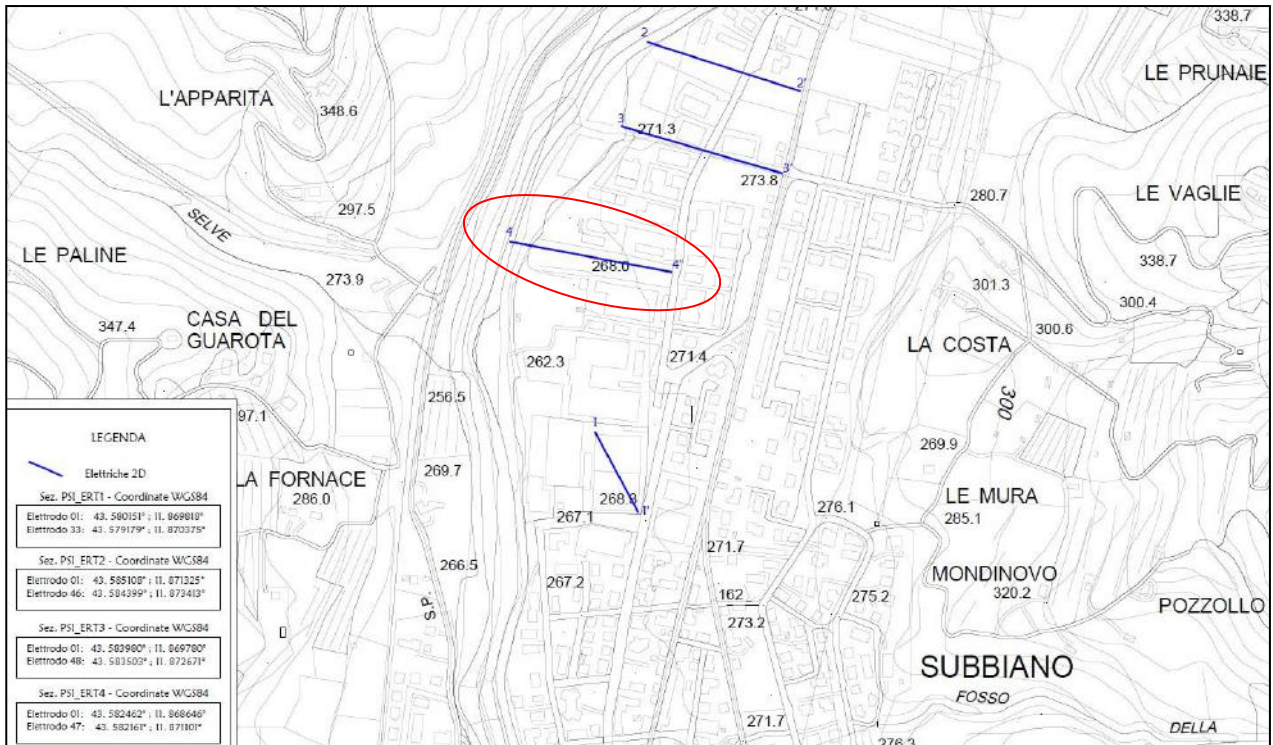


Figura 1. Aree d'intervento: PSI_ERT 4 - Comune di Subbiano (AR).

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse, è stato programmato uno stendimento in tomografia geoelettrica 2D, convenuto con il tecnico incaricato **Dott. Geol. Nicolò Sbolci**, ed eseguito in un'area all'interno del Comune di Subbiano, in modo da valutare le caratteristiche litologiche dei terreni in funzione dei valori di resistività.

1.0 SCHEMA OPERATIVO E PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nella sezione **PSI-ERT4** sono stati installati 47 elettrodi con spaziatura 5 m, acquisendo complessivamente 230 ml di rilievo.

L'acquisizione è stata effettuata tramite array **Wenner-Schlumberger**, che ha fornito ottimi risultati sia in senso orizzontale che in quello verticale; la sezione 2D in seguito è stata elaborata tramite Software Res2Dinv.

Nella **Tavola 01** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su carta geologica.

Nella **Tavola 02** è stato riportato un inquadramento generale corografico in scala 1:5.000 e le coordinate WGS84 dell'indagine eseguita su CTR.

Nella **Tavola 03**, è stato riportato in inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, su CTR.

Nella **Tavola 04**, in scala 1:1000, vengono riportati i risultati della sezione geoelettrica 2D PSI_ERT2, ottenuta tramite l'elaborazione con software Res2Dinv e la relativa sezione interpretativa.

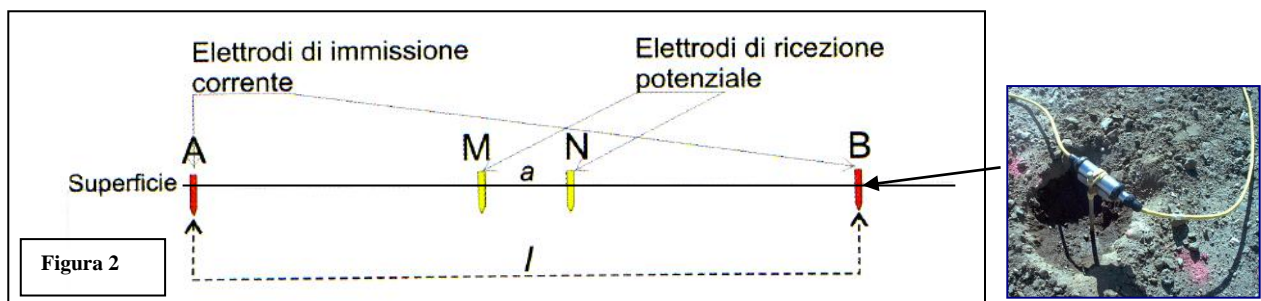
Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE GEOELETRICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il metodo geoelettrico nelle indagini geofisiche sfrutta le proprietà di rocce, sedimenti (terre) di condurre in modo diverso la corrente elettrica. Il parametro che viene misurato è la resistività elettrica che dipende dalla porosità, dalla permeabilità e dal contenuto ionico dei fluidi di ritenzione.

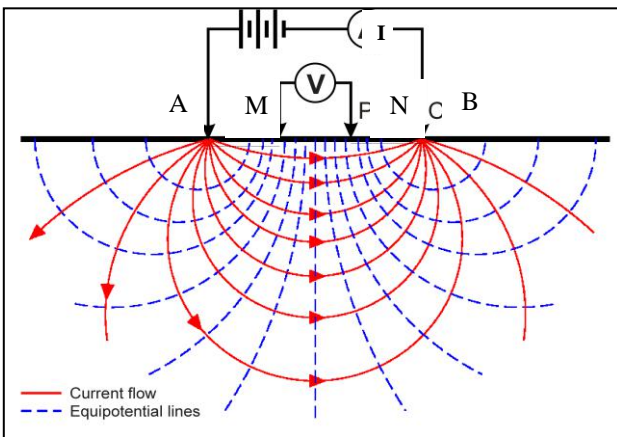
La tomografia elettrica rappresenta un'evoluzione recente dei sondaggi elettrici verticali (S.E.V.), ed è funzionale grazie ai notevoli progressi dell'elettronica digitale e della modellistica geofisica. A seconda della distanza reciproca tra gli elettrodi che immettono la corrente e gli altri che la misurano, si possono investigare profondità sempre maggiori di terreno. Vengono usati *array* diversi a seconda della problematica da indagare, in generale i più utilizzati sono: *Wenner-Schlumberger*, *dipolo-dipolo* e *polo-dipolo*.

L'esecuzione di un profilo tomografico prevede l'installazione di una serie di picchetti metallici (elettrodi), che vengono utilizzati tanto come elettrodi di corrente che di potenziale (**Fig. 2**).

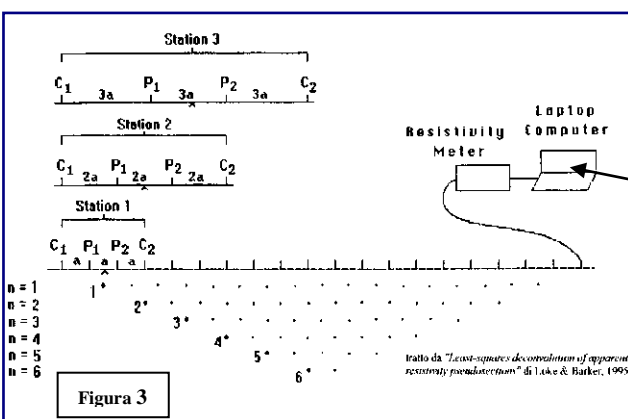


Tramite gli elettrodi **A - B** si immette nel terreno una corrente continua I_c , mentre tramite gli elettrodi **M-N** viene rilevata la differenza di potenziale V che si instaura. Conoscendo I_c e misurando V si calcola la resistività elettrica relativa alla configurazione elettrodoica utilizzata, usando la formula:

$$\rho_a = \frac{\pi(l_{(A,B)} / 2)^2 - (a_{(M,N)} / 2)^2}{a_{(M,N)}} \cdot \frac{V}{I_c}$$



Spostando lateralmente il dispositivo elettronico (M-N) si rilevano le variazioni orizzontali della resistività e con il progressivo incremento della distanza che intercorre tra le due coppie di elettrodi (A-B) si esplorano strati via via più profondi, il risultato è una sezione bidimensionale in profondità (Fig. 3).



Dato che il caso di un sottosuolo omogeneo può ritenersi solo teorico, i valori di resistività rilevati sono valori di resistività “apparente” (ρ_a), influenzati e mediati sull'intero spessore indagato. La resistività apparente si misura in $\Omega \cdot m$ (Ohm per metro lineare) ed esprime il valore della resistività calcolato con una certa configurazione geometrica ed è dipendente dai valori di resistività dei singoli strati interessati dalla corrente immessa.

Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata, nel caso specifico si è trattato di un georesistivimetro SYSCAL Pro Switch con 96 elettrodi e 10 canali le cui caratteristiche tecniche vengono qui riportate (Fig. 4).



<p>SYSCAL Pro SPECIFICATIONS</p> <p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max voltage: 800V in switch mode - Max voltage: 1 000V in manual mode - Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2% - Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; - 1200W with external AC/DC and Motor Gene. - Option 25mA max for readings on samples - Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s - Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - Automatic ranging, 10 input channels - Input impedance: 100 Mohm - Max voltage channel 1: 15V - Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V - Protection up to 1 000V - Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV - Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz - Stacking process, SP linear drift correction - Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable), 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Memory: 40 000 readings - USB & SD card link - GPS input for coordinates - Fiber glass casing, weather proof - Temperature range: -20 to +70°C - SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm, - Weight: 13kg, - Cable w/ 24 take-out: 23kg
---	---	--

Figura 4: Syscal Pro SWITCH – 96 Elettrodi 10 Canali.

3.0 ARRAY DI TIPO “WENNER-SCHLUMBERGER”

L’array di tipo “Wenner-Schlumberger” prevede di lasciare i due elettrodi di potenziale M e N ad una distanza fissa (a) sempre nel centro dello stendimento elettrodo.

Nella prima misura gli altri due elettrodi di corrente A e B vengono allineati rispettivamente alla stessa distanza a , agli estremi opposti.

Via via che l’indagine vuole esplorare sezioni di terreno a profondità maggiore si allarga la distanza degli elettrodi di corrente per multipli di a fino ad un valore compatibile con il numero degli elettrodi a disposizione (**Fig. 5**). In questo caso si introduce il fattore n , ovvero il rapporto tra A-M (o N-B) e M-N.

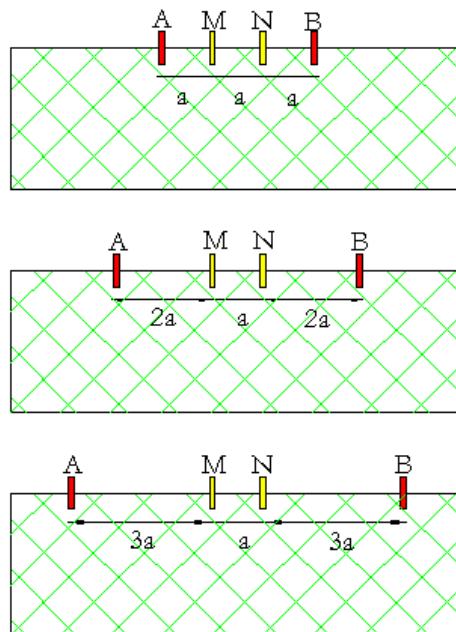
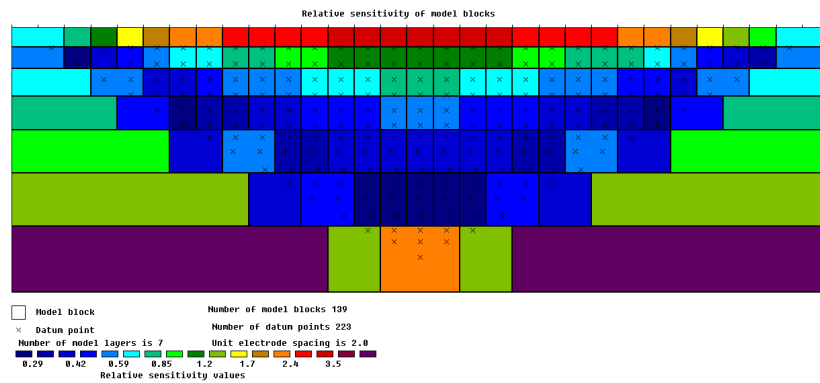


Fig. 5 – Geometria del metodo “Wenner-Schlumberger”.

4.0 “PROCESSING” DEI DATI 2D

Il software RES2DINV[®] (Geotomo Software[®]), utilizzato nel corso del presente lavoro per elaborare le sezioni 2D, permette di ottenere un modello bidimensionale di resistività per i dati ottenuti dal rilievo elettrico e sfruttando il metodo dell’inversione permette partendo dai valori di resistività apparente di arrivare a quelli reali del terreno investigato.

Il modello bidimensionale utilizzato nel programma di inversione consiste in un numero di blocchi rettangolari il cui arrangiamento dipende dalla posizione dei dati rilevati.

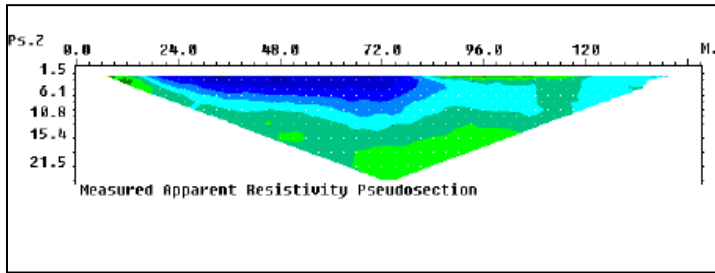


La distribuzione e posizione dei blocchi è automaticamente generata dal programma in modo tale che il numero dei blocchi non superi il numero dei dati acquisiti.

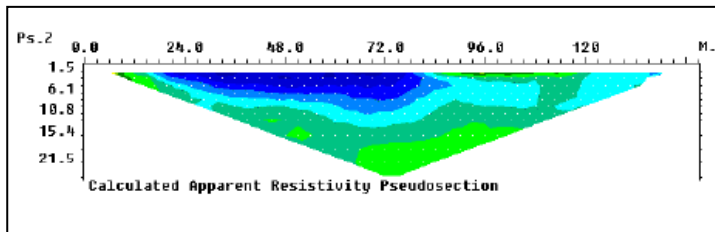
Una complessa routine di modellizzazione viene utilizzata per calcolare i valori di resistività apparente mentre per la routine di inversione viene impiegata una tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non lineare.

Nelle sezioni estrapolate si individua nell’asse orizzontale la distanza progressiva dell’allineamento elettrodo sul terreno e nell’asse verticale la profondità rispetto al piano di campagna.

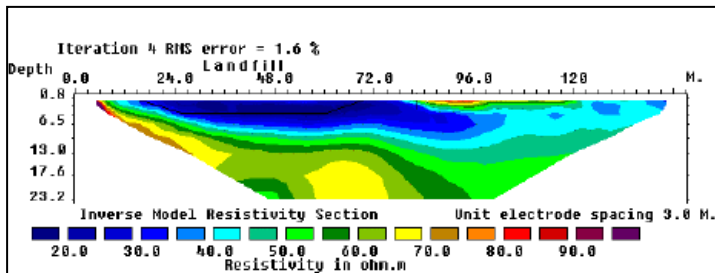
Il software RES2DINV® restituisce 3 profili tomografici che esprimono rispettivamente:



La pseudosezione misurata, che rappresenta una distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione di una profondità teorica.



La pseudosezione calcolata, che è stata ottenuta dal modello bidimensionale.



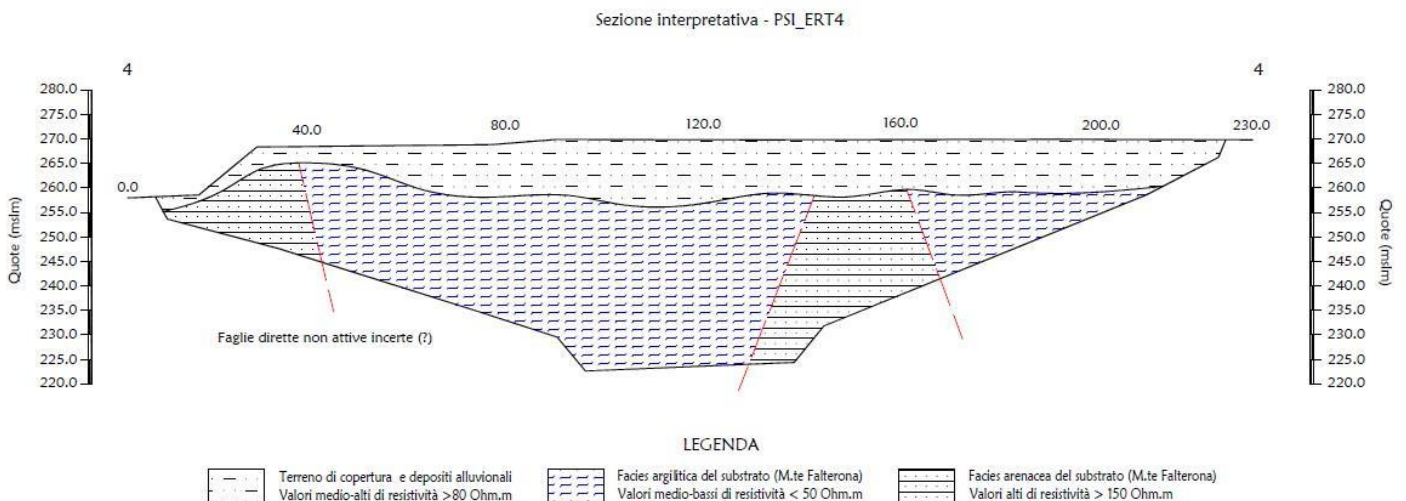
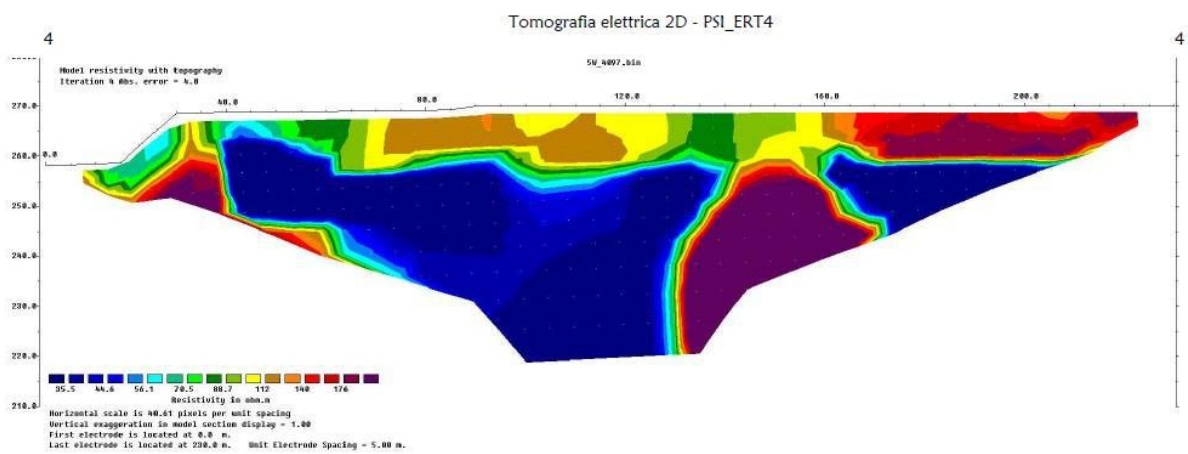
La vera e propria sezione 2D, dove è rappresentata la distribuzione verticale ed orizzontale della resistività reale del terreno oggetto d'indagine.

5.0 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFIA PSI_ERT 4



6.0 ANALISI DEI RISULTATI DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA PSI_ERT 4

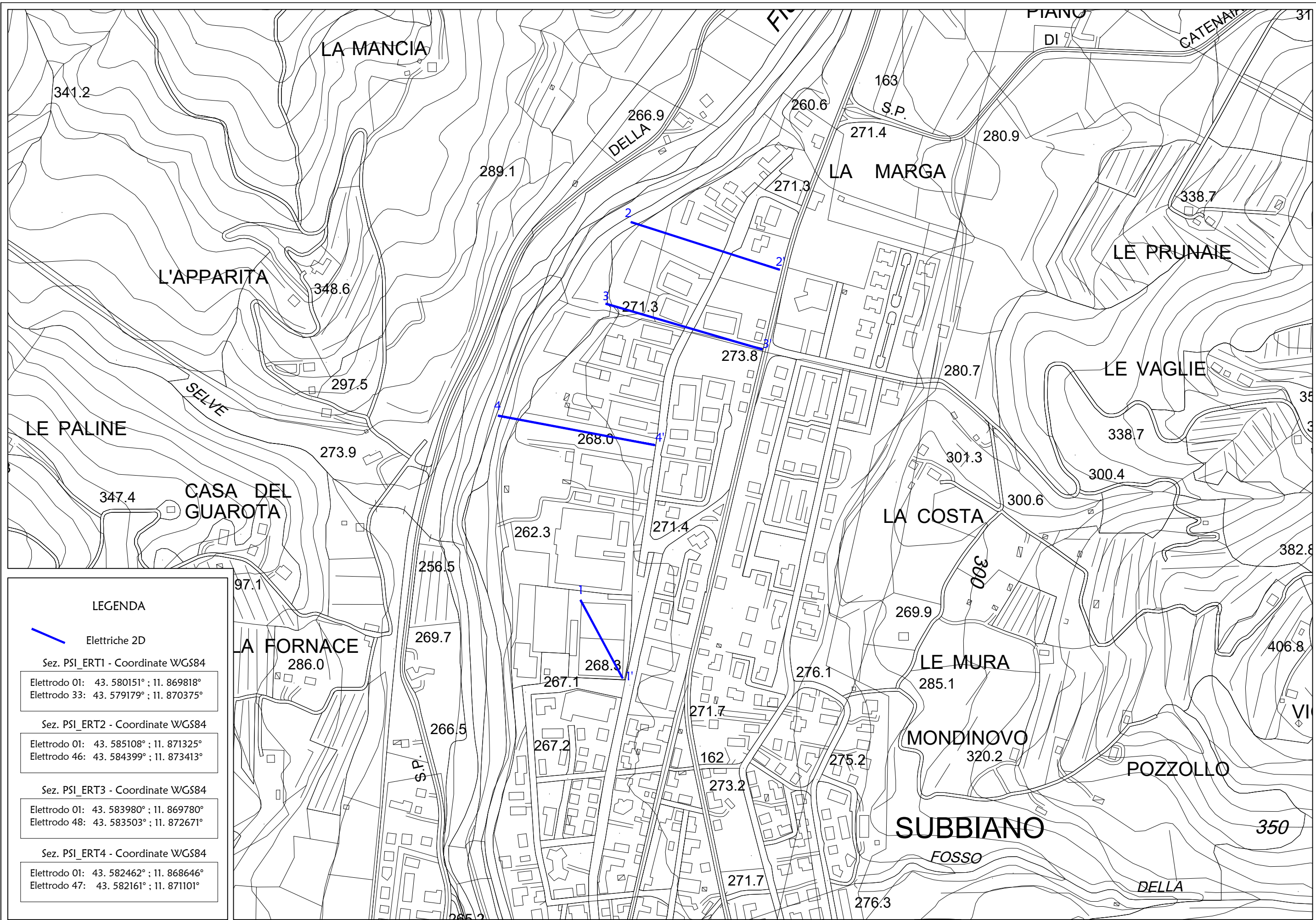
Nella sezione **PSI_ERT4** è evidente il passaggio tra i materiali alluvionali superficiali (resistività > 80 Ohm.m) caratterizzati da spessori medi di ca. 8-9 metri (minori nella porzione iniziale della sezione, in corrispondenza dell'alveo fluviale), con il substrato, che sembra presentare importanti spessori argillitici con valori medio bassi di resistività < 50 Ohm.m; i passaggi laterali ad alti valori di resistività > 150 Ohm.m all'interno del substrato (Facies Arenacea) individuati alle progressive 40 ml, 140 ml e 160 ml, potrebbero essere correlate alla presenza di faglie normali non attive (?).



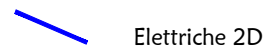
Arezzo, li 20/04/2022

TRIGEO s.p.a.
di Napoli Agnelli e Burgini Benedetto
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)
P.IVA 02064110518
Tel/Fax: 0576 294300 - 055 908222
Cell: 339 2288117 - 339 7278981
www.trigeo.it - info@trigeo.it

ALLEGATI



LEGENDA



Elettriche 2D

Sez. PSI_ERT1 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43.580151° ; 11.869818°
 Elettrodo 33: 43.579179° ; 11.870375°

Sez. PSI_ERT2 - Coordinate WGS84

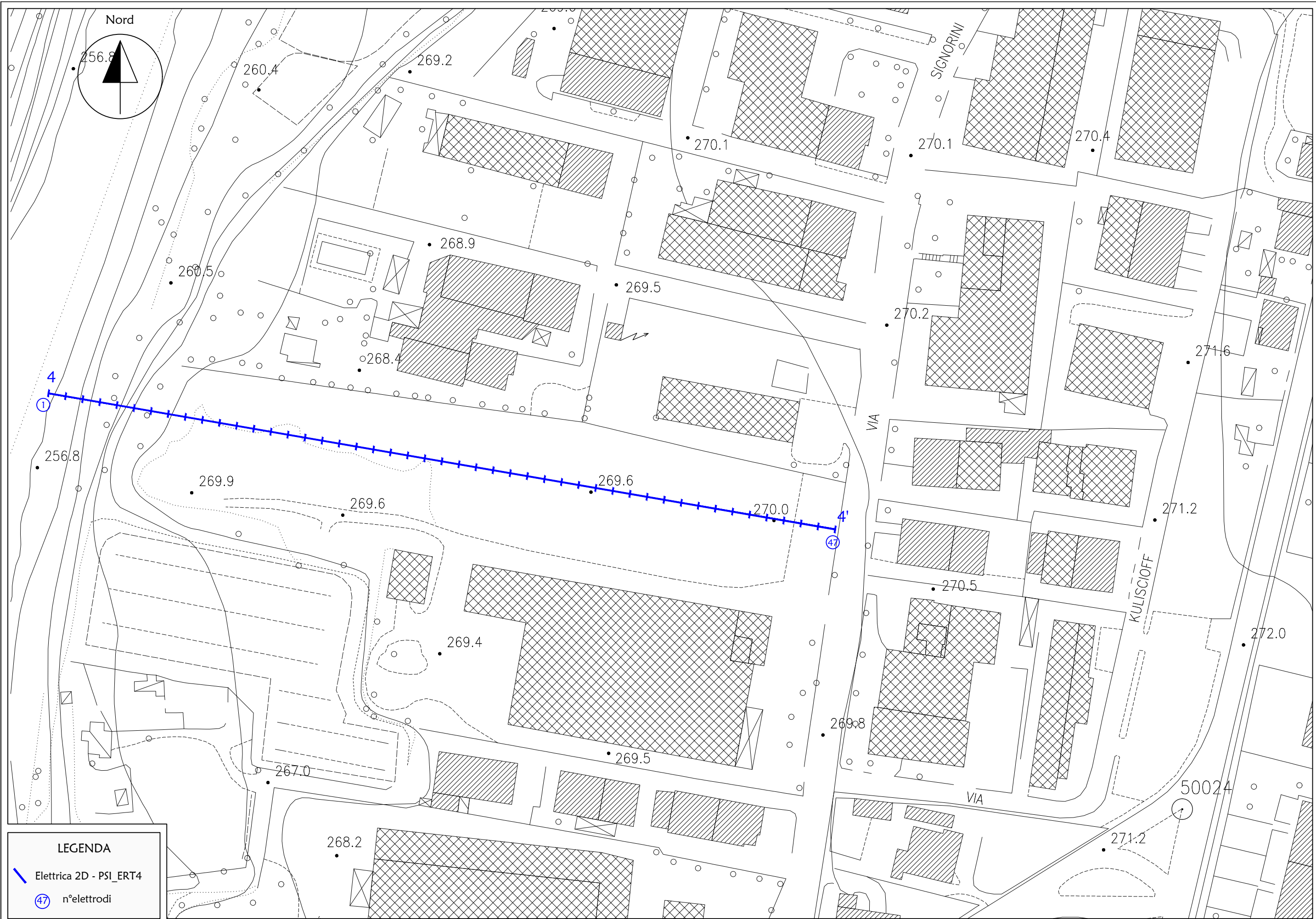
Elettrodo 01: 43.585108° ; 11.871325°
 Elettrodo 46: 43.584399° ; 11.873413°

Sez. PSI_ERT3 - Coordinate WGS84

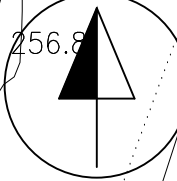
Elettrodo 01: 43.583980° ; 11.869780°
 Elettrodo 48: 43.583503° ; 11.872671°

Sez. PSI_ERT4 - Coordinate WGS84

Elettrodo 01: 43.582462° ; 11.868646°
 Elettrodo 47: 43.582161° ; 11.871101°



Nord



LEGENDA

- Elettrica 2D - PSI_ERT4
- 47 n°elettrodi

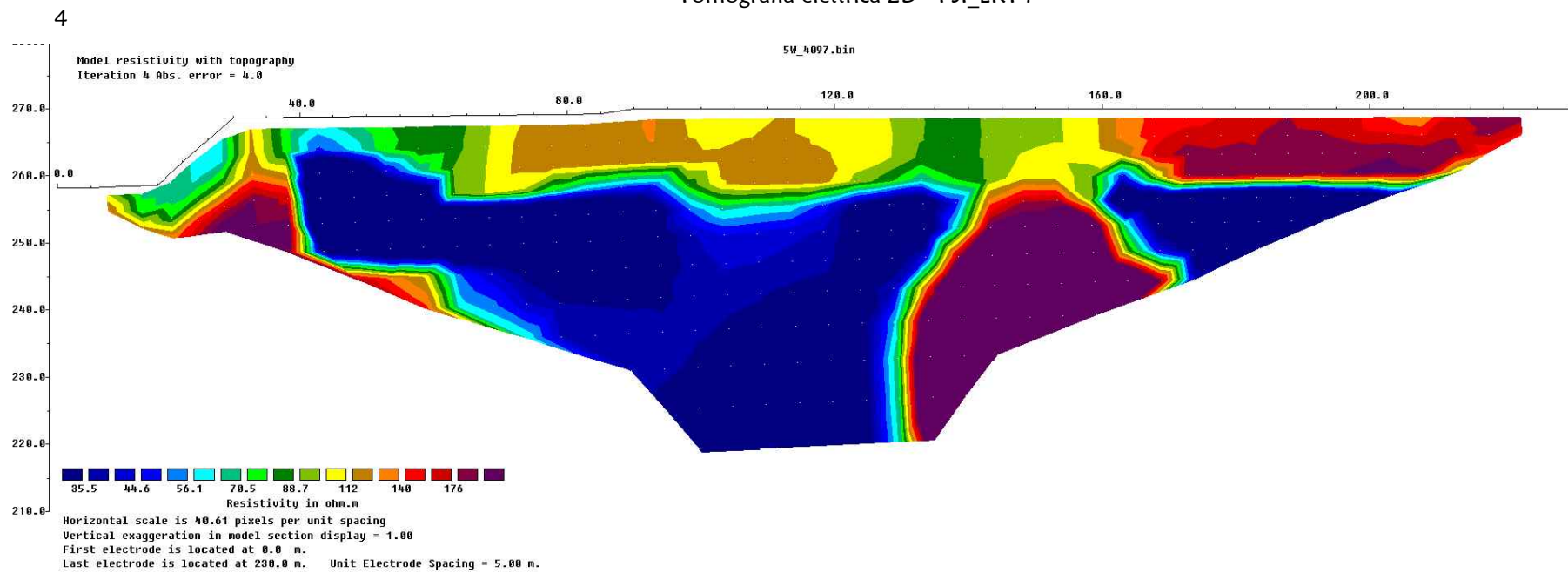
Scala 1:1000

Aprile 2022

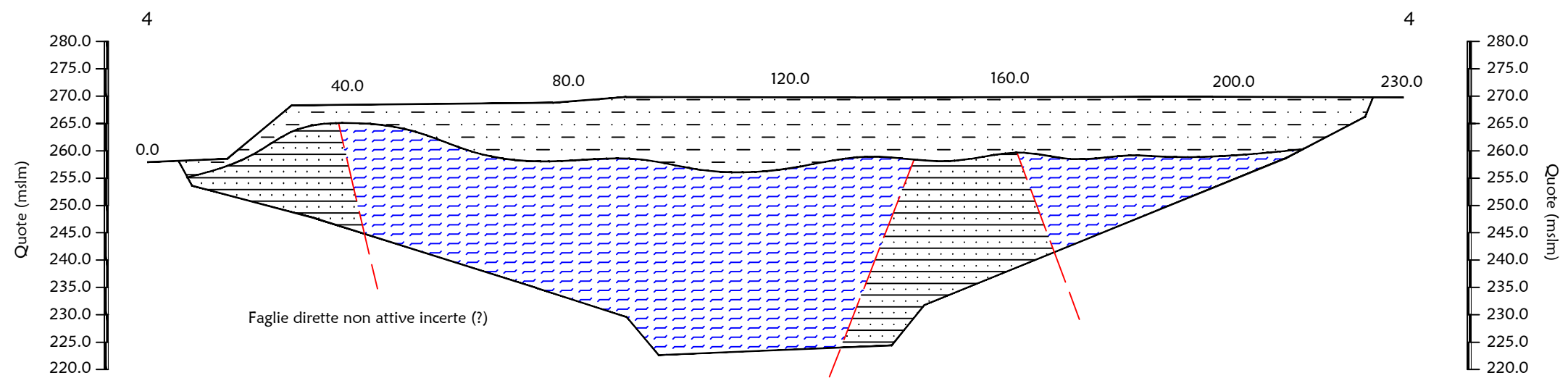
Tavola 03 - Planimetria di dettaglio - PSI_ERT4 - Via Signorini - Subbiano (AR)






Tomografia elettrica 2D - PSI_ERT4



Sezione interpretativa - PSI_ERT4



LEGENDA

- | | | |
|---|---|--|
|  Terreno di copertura e depositi alluvionali
Valori medio-alti di resistività >80 Ohm.m |  Facies argillica del substrato (M.te Falterona)
Valori medio-bassi di resistività < 50 Ohm.m |  Facies arenacea del substrato (M.te Falterona)
Valori alti di resistività > 150 Ohm.m |
|---|---|--|