



REGIONE BASILICATA

REGIONE BASILICATA



COMUNE DI COLOBRARO

Provincia di Matera

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

PROGRAMMA DI AZIONE E COESIONE COMPLEMENTARE AL PON "INFRASTRUTTURE E RETI" 2014-20 - ASSE C "ACCESSIBILITA' TURISTICA"

INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'ACCESSIBILITA' TURISTICA DEL SITO ATTRATTORE DI COLOBRARO "PAESE DELLA MAGIA"

ELABORATO N°:

5

DENOMINAZIONE:

RELAZIONE GEOLOGICA - INDAGINI GEOFISICHE

IL COMMITENTE:

COMUNE DI COLOBRARO (MT)

IL PROGETTISTA

Ing. Michele LUPO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

I COLLABORATORI
Ing. Claudio SCANDIFFIO
Geom. Marcello Eliseo MANGO

STUDIO TECNICO
ING. MICHELE LUPO

Via Kennedy n° 3 - 75016 Pomarico (MT)

E-mail: michel.lupo@libero.it
P.E.C. michele.lupo@ingpec.eu



CODICE
PROGETTO

...

DATA
PROGETTO

LUGLIO 2020

N. STESURA
ELABORATO

COLLABORAZIONE

COLLABORAZIONE

COMMITTENTE : Ing. Michele LUPÒ
Pomarico (MT)

RIF. LAVORO :
Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobraro (MT) "Il Paese della Magia"

ELABORATO :
Report Indagini Geofisiche

INDAGINI GEOFISICHE - GEOTECNICHE - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI



Il Direttore Tecnico :

Dr. Geol. G. Michele VIZZIELLO

PROGEO del Dr. Geol. VIZZIELLO G. M.
Via Plave, n. 4 Tel. 0835/332812
75100 MATERA
Cod. Fisc. VZZ GNN 67H15 P052K
Part. IVA 00577980774

ELENCO ALLEGATI :

- All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini - suddivise per singolo intervento;
- All.2) Prospezioni Sismiche onda P (Dromocrone-Sezioni Sismostratigrafiche-Dati Rifrattore);
- All.3) Prospezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri fx, fv, fk, Vs30);
- All.4) Referti Misure HVSR;
- All.5) Prospezioni Geoletriche;
- All.6) Documentazione Fotografica.

DATA :

Giugno 2020



Sommario

1. PREMESSA	2
2. Area Intervento “C-D” - INDAGINI SISMICHE	4
2.1 Premessa	4
2.2 Rilievi Sismici onda P	5
2.2.1 Metodologia Adottata Rilievi Sismici in onda P	5
2.2.2 Strumentazione Adottata e Trattamento dati	6
2.2.3 Risultanze del Rilievo Sismico in onda P	7
2.3 Rilievi Sismici a Tecnica MASW	8
2.3.1 Cenni Teorici	8
2.3.2 Acquisizione e Processing dati	9
2.3.3 Strumentazione Adottata e Trattamento dati	10
2.3.4 Risultanze del rilievo a Tecnica Masw e parametri elastodinamici	11
2.4 Misure di rumore sismico ambientale HVSR	12
2.4.1 Misure HVSR (rumore ambientale in campo libero) teoria, scopi e metodi	12
2.4.2 Strumentazione utilizzata, procedure di misura ed elaborazione dati	12
2.4.3 Risultanze delle Misure effettuate	15
3. Area Intervento “C-D” - INDAGINI GEOELETTRICHE	17
3.1 Premessa	17
3.2 Metodologia e Strumentazione Adottati	17
3.3 Tomografie 2D nelle aree di Indagine	19
4. Area Intervento “E-F” - INDAGINI GEOELETTRICHE	22
4.1 Tomografie 2D nelle aree di Indagine	22
5. Area Intervento “I” - INDAGINI GEOELETTRICHE	24
5.1 Tomografie 2D nelle aree di Indagine	24

1. PREMESSA

Il presente Report Geofisico riferisce sulle risultanze di un'indagine indiretta condotta per la caratterizzazione sismoelastica dei terreni presenti in 3 differenti aree del Comune di Colobraro, site lungo la Strada di Collegamento Colobraro-S.S. Sinnica, interessate dagli *"Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia" "* - Committ.: Ing. Michele Lupo - Pomarico.

Si sono adottate metodologie geofisiche quali Rilievi Sismici a Rifrazione in onda P, Rilievi a Tecnica MASW, misure HVSR e Tomografie Geoelettriche, per valutare la risposta dei terreni presenti in loco alle differenti metodologie adottate.

Le citate aree di indagine, afferiscono a n.3 distinti interventi di consolidamento/presidio di aree di versante interessate da movimenti di massa/dissesti poste nei pressi della sede della Strada di Collegamento Colobraro-S.S. Sinnica, e sono nell'ordine procedendo da valle verso monte:

1. **Intervento "C-D";**
2. **Intervento "E-F";**
3. **Intervento "I".**

Nello studio condotto, si tratteranno separatamente gli esiti della campagna di indagini geofisiche per ogni singola area di intervento.

Detta indagine (v. ubicazione riportata negli stralci planimetrici - All.1) è consistita in:

- **Area Intervento "C-D"**
 1. Esecuzione di n.2 stendimenti sismici tomografici a rifrazione in onda P, di lunghezza pari a da 96 ml/cad. (sigla: SS1-SS2);
 2. Esecuzione di n.2 stendimenti sismici a tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), di lunghezza pari a 96 ml/cad. (sigla: Masw1-Masw2), condotti sulla medesima traccia delle basi SS1-SS2 per la definizione del parametro V_{seq} , e classificazione sismica sito-specifica (NTC_2018);
 3. Esecuzione di n.1 misura di rumore sismico ambientale HVSR con tecnica di Nakamura;
 4. Esecuzione di n. 2 profili geoelettrici dipolari assiali (sigla: TE_1-TE_2), ubicati come da planimetria allegata, di lunghezza pari a 141.0 ml/cad., con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.



- **Area Intervento “E-F”**

5. Esecuzione di n. 1 profilo geoelettrico dipolare assiale (sigla: TE_3), ubicato come da planimetria allegata, di lunghezza pari a 94.0 ml, con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.

- **Area Intervento “I”**

6. Esecuzione di n. 2 profili geoelettrici dipolari assiali (sigla: TE_4-TE_5), disposti in maniera incrociata (v. planimetria allegata), di lunghezza pari a 94.0 ml/cad., con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.

Tutte le attività di indagine sono state seguite da ns. tecnici abilitati di comprovata esperienza nel settore specifico, sotto la continua supervisione dei tecnici della D.L. .

Nello svolgimento delle attività, si è tenuto conto della documentazione tecnica messa a disposizione dalla Committente e dei risultati dei sopralluoghi effettuati sul sito; eventuali variazioni condotte nell'indagine di campo rispetto alle specifiche tecniche di partenza, sono state preventivamente concordate con la D.L. .

2. Area Intervento "C-D" - INDAGINI SISMICHE

2.1 Premessa

Come riferito in premessa nell'ambito del progetto in essere, si sono adottate metodologie geosismiche quali Rilievi Sismici di superficie in onda P e Rilievi Sismici con tecnica MASW e tecnica di Nakamura, per valutare la risposta dei terreni alle differenti metodologie ed ottenere informazioni stratigrafiche al di sotto delle sezioni tracciate dai rilievi di campo.

La presente campagna geofisica inoltre, ha consentito di valutare la risposta sismica sito-specifica ai sensi del NTC 2018 - DM 17 gennaio 2018.

Le tipologie di rilievo condotte sul terreno e le ubicazioni corrispondenti, sono state indicate dalla DD.LL., in maniera tale da investigare al meglio le aree di interesse compatibilmente con gli spazi fisici a disposizione.



Fig.1) Postazione Base Sismica SS1

2.2 Rilievi Sismici onda P

Nell'area in parola si sono realizzati n. 2 rilievi sismici a rifrazione in onda P; data la lunghezza delle singole basi ($L=96\text{m}$), la profondità utile di investigazione è risultata pari a poco meno di 25.0m circa, la spaziatura tra i geofoni sugli stendimenti è risultata pari a 4.0m, con "offset" di 2.0m.

Per la rilevazione delle onde P, si è effettuata la energizzazione tramite "Hammer Blow" da 8 Kg fatto impattare su una piastra in lega di acciaio solidale con il terreno e posta sui vari punti di scoppio (*Shots*), ed utilizzati n. 24 geofoni con frequenza di vibrazione 10-14 Hz.

I valori di velocità cui si farà riferimento di seguito, riportati nelle sezioni sismostratigrafiche allegate, sono quelli *medi* valutati sullo stendimento con il metodo GRM-Tomografico (*GRM-type Analysis*).

2.2.1 Metodologia Adottata Rilievi Sismici in onda P

La tecnica di esecuzione della sismica di rifrazione, consiste nel rilevare a distanze orizzontali variabili rispetto ad un punto di origine, gli arrivi di onde sismiche di compressione e di taglio (con appositi geofoni da 10-14 Hz per le onde P) generate da una sorgente di impulsi sismici e rifratte da discontinuità geologico-strutturali.

La velocità di propagazione delle onde sismiche (V_p), costituisce il parametro discriminante per la determinazione della natura litologica del mezzo investigato.

La associazione delle velocità' rilevate ai corrispondenti litotipi ("taratura" delle misurazioni geofisiche) è stata fatta sulla base di dati stratigrafici effettuati nell'area e, quando non presenti, da ampia bibliografia in possesso per il progetto specifico.

Per ogni profilo (copertura tomografica eseguita con n. 7 *shots* a passo regolare) si sono eseguiti n. 2 scoppi (*Shots 1-7*) agli estremi del rilievo e n. 5 scoppi interni al rilievo (*Shots 2-3-4-5*), che permettono di tracciare il diagramma delle velocità complementari e di ottenere una ottima ricopertura di dati (informazioni sullo stesso rifratte da energizzazioni diverse), ricavare giaciture dei livelli rifrattori e ridurre infine il margine di errore in una investigazione di tipo indiretto.

Dopo aver determinato il tempo totale (*total time*), si sono definite profondità e velocità del/i rifratte/i sotto ciascun geofono con il metodo GRM (*Generalized Reciprocal Time-Palmer 1980*) e SeisOpt Pro v.4.0 (*Optim Inc. USA*) e Rayfract v. 3.36 (*Intelligent Resources Inc.*) per la elaborazione tomografica delle velocità sismiche in onda P.

2.2.2 Strumentazione Adottata e Trattamento dati

- Sismica di Superficie:

-Sismografo Mod. Geode Geometrics : acquisizione con risoluzione di 24 bit, con 24 canali con segnale digitale memorizzato direttamente sullo strumento; trasferimento dati su PC;

Geode Ultra-Light Exploration Seismograph



Fig.2) Sismografo GEODE (Geometrics USA)

Caratteristiche Tecniche:

Ultra Light-weight: 3.6 kg

Expandable:* Available with 3 to 24 channels per module; connect more modules to build low cost distributed systems up to 1000 channels.

Unmatched Specifications: 24 bit, ultra-high resolution 20 kHz bandwidth (8 to 0.02 ms sampling), low distortion (0.0005%), low noise (0.2uV), stacking accuracy (1/32 of sample interval).

-Apparato di ricezione (per Sismica di Superficie in onda P): 24 geofoni marca OYO 8-14 Hz, per onda P con time-break sincrono con la sorgente di energia;

-Sorgente di Energia (per Sismica di Superficie in onda P): energizzatore a cartucce a salve ESI; "Hammer Blow" da 8 Kg che impatta su una piastra in lega d'acciaio (onda P);

Trattamento dati (per Sismica di Superficie): display sismogrammi, lettura *first break points* per le onde P (FBP), analisi delle intensità dei segnali sismici, costruzione delle dromocrone, tramite programma trattamento dati : "WINSISM V.12", inversione tomografica (onda P) tramite programmi Rayfract v.3.36 (*Intelligent Resource Inc. USA*), SeisOpt Pro v.5.0 (*Optim Inc. USA*), Rayfract v. 3.36 (*Intelligent Resources Inc.*), definizione della profondità dei rifrattori tramite *GRM-Type-Analysis*; ottimizzazione e trasferimento dati in sistema C.A.D.

2.2.3 Risultanze del Rilievo Sismico in onda P

Per quel che concerne i rilievi in parola, nella elaborazione condotta è stata effettuata la correzione topografica della quota dei geofoni posti sugli stendimenti, vista la pendenza presente nelle aree di lavoro interessate dai movimenti franosi in atto.

L'analisi di insieme dei parametri geofisici derivanti dall'indagine condotta nelle due citate aree, consente di effettuare una suddivisione di n.2 differenti sismostrati, associati a differenti situazioni geologico-tecniche:

Rif. base SS1 :

- **I° livello:** ($V_p=550$ m/sec-prof. media da p.c. : **3.83m** circa), associato a coperture antropiche eterogenee areate/humificate ed interessate da movimento di materia, a scadenti caratteri geotecnici, con rifratore che si approfondisce passando da circa 1.0m nei primi 8.0m circa di monte, a 5.0/5.5m in media procedendo verso valle in corrispondenza della zona di maggior accumulo di frana (v. profilo sismico allegato e dati di profondità del rifratore);
- **II° livello:** ($V_p=1.450$ m/sec-prof. media da p.c. : **max investigaz.**), associato a substrato flischioide (alternanze argillo-arenaceo) a media resistenza e medi caratteri geotecnici le caratteristiche tecniche di tale sismostrato sembrano aumentare gradualmente con la profondità, visto l'andamento delle linee di isovelocità letto con il tomogramma sismico specifico.

Rif. base SS2 :

- **I° livello:** ($V_p=600$ m/sec-prof. media da p.c. : **3.60m** circa), associato a coperture antropiche eterogenee areate/humificate ed interessate da movimento di materia, a scadenti caratteri geotecnici, con rifratore a profondità circa omogenea ed andamento regolare (v. profilo sismico allegato e dati di profondità del rifratore);
- **II° livello:** ($V_p=1.950$ m/sec-prof. media da p.c. : **max investigaz.**), associato a substrato flischioide (alternanze arenaceo-argillose) a medio-discreta resistenza e medio-elevati caratteri geotecnici le caratteristiche tecniche di tale sismostrato sembrano aumentare gradualmente con la profondità, visto l'andamento delle linee di isovelocità letto con il tomogramma sismico specifico.

2.3 Rilievi Sismici a Tecnica MASW

La risposta sismica locale dell'Area di Intervento "C-D" , ai sensi della normativa sismica vigente (NTC 2018 – DM 17 gennaio 2008), è stata valutata con Tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), ottenendo il profilo verticale medio delle Vs nel baricentro delle linee sismiche in onda P (sigla rilievi: Masw1-Masw2) .

2.3.1 Cenni Teorici

La tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), consente di fornire un profilo verticale medio delle Vs relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento operato.

Tale profilo verticale delle Vs viene ricavato per inversione o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh).

Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo ed omogeneo, e sono il risultato dell'interferenza tra onde P ed onde Sv (onde di taglio verticali).

In un mezzo stratificato, tali onde sono di tipo guidato e dispersivo.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza.

Le componenti con frequenza minore, penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Il profilo di velocità onde di Rayleigh ($V_{\text{fase}}/\text{frequenza}$), può essere convertito nel profilo Vs/profondità. Il metodo SASW (Nazarian e Stokoe, 1984) utilizza una sorgente attiva e due sismometri da 1Hz polarizzati verticalmente spazati da 1m sino a 500m; le Vs sono ricavate dallo studio delle velocità di fase delle onde di Rayleigh.

Tali velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri d'ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier; l'interpretazione è svolta nel dominio delle frequenze, e si suppone che gli arrivi più energetici appartengano al treno d'onde di Rayleigh. In ambienti rumorosi, la metodologia SASW non porta sempre a risultati soddisfacenti per il fatto che, nel dominio delle frequenze non è possibile separare le onde di Rayleigh da quelle di altra natura.

Il metodo MASW (Park et al., 1999) è stato sviluppato in parte per superare le difficoltà del metodo SASW in ambienti rumorosi.

Viene effettuata infatti una registrazione simultanea di 12 o più canali, che fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità.

In questo caso la interpretazione e salvataggio dati nel dominio temporale, consente di separare le onde di Rayleigh presenti nelle acquisizioni (caratterizzate normalmente da elevata ampiezza di segnale); si stima che circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si tramuta in onde di superficie.

L'analisi spettrale detta "*overtone analysis*", produce un grafico Velocità di fase-frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie sul quale effettuare il *picking* della curva di dispersione, ed ottenere per successiva inversione il profilo 1-D delle Vs. La tecnica prevede inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento dello stendimento.

2.3.2 Acquisizione e Processing dati

L'analisi mediante tecnica MASW, è stata effettuata registrando onde di superficie (sorgente attiva-massa battente) registrando i dati sismici (*common-shot gathers*) mediante array lineare di 24 geofoni (bassa frequenza: 4.5 Hz) su n.3 tracce da 1 sec/cad, con geofoni distanziati con passo 4.0m e offset variabile 2.0-5.0-10.0m.

Si sono registrate su n. 24 canali, onde con range di frequenza 2-30Hz, che in condizioni ottimali offrono dettagliate informazioni sulla ricostruzione del profilo Vs in profondità.

Dopo aver caricato il *dataset* di campo, si è determinato tramite software dedicato lo spettro di velocità (diagramma Velocità/Frequenza).

Nello spettro di velocità $v-f$ sono visualizzati gli andamenti con evidente coerenza di fase e potenza significativa che consentono di riconoscere in modo "visivo" le onde di Rayleigh che hanno carattere dispersivo (Modo Fondamentale), rispetto a quelle (onde Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente) che hanno altri Modi e tipi di onde (Modo superiore – *Aliasing spaziale*).

Si è eseguito il *picking* (Modo Fondamentale) della curva di dispersione; tali valori sono stati poi plottati su un diagramma *velocità'-frequenza*, per l'analisi della curva di dispersione ed

ottimizzazione del modello diretto monodimensionale di Vs. Negli elaborati prodotti sono stati riportati oltre al sismogramma prescelto per l'inversione, i seguenti spettri:

- **Spettro FX:** proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.

La figura viene mostrata in un sistema distanza -frequenza. Analizzando lo spettro è possibile comprendere a quali frequenze è situato l'impulso di energia e se al segnale è sovrapposto del *noise*.

- **Spettro FK :** proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma medio, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.

La figura viene mostrata in un sistema numero d'onda-frequenza. Da tale spettro è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.

- **Spettro FV :** proviene da una FFT 2D applicata all'intero sismogramma, considerando il valore assoluto delle frequenze positive.

La figura viene mostrata in un sistema frequenza-velocità. Anche da tale spettro è possibile estrarre la curva di dispersione sperimentale.

2.3.3 Strumentazione Adottata e Trattamento dati

- Tecnica MASW:

-Sismografo Mod. Geode Geometrics : acquisizione con risoluzione di 24 bit, con 24 canali con segnale digitale memorizzato direttamente sullo strumento; trasferimento dati su PC;

-Apparato di ricezione (per Sismica di Superficie in onda S): 24 geofoni marca OYO-GEOSPACE 4.5 Hz con time break sincrono con la sorgente di energia (starter);

-Sorgente di Energia (per Sismica di Superficie in onda P tipo "Hammer Blow" da 8 Kg che impatta su una piastra in lega d'acciaio (onda P);

-Trattamento dati (per Sismica di Superficie): display sismogrammi, *processing* dei dati SEGY, calcolo dello spettro di velocità per ogni traccia acquisita, effettuazione del *picking* della curva di dispersione, plottaggio su un diagramma periodo-velocità di fase, ottimizzazione del modello diretto di velocità delle onde di taglio: softwares:

winMASW 4.0 (Eliosoft); SWAN 1.4 (GeoStudi Astier Srl).

2.3.4 Risultanze del rilievo a Tecnica Masw e parametri elastodinamici

Nell'analisi delle velocità delle onde di taglio rilevate con tecnica Masw del sito di interesse, si è considerato un numero di strati (n. 5) adeguato ad effettuare il miglior *fitting* della curva di dispersione.

Le velocità delle onde di taglio lette lungo le 2 verticali considerate, hanno un graduale aumento di velocità, in accordo con la particolare situazione stratigrafica presente nel sito investigato, così come riportato nella tabella che segue:

Profilo Verticale Vs				Masw 1
Spessore (m)	Profondità (da m)	(a m)	Vs (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
2.90	0.00	2.90	207	Vseq (0.00-17.95 m): 365 m/sec
2.65	2.90	5.55	254	
12.40	5.55	17.95	501	
8.71	17.95	26.66	813	
3.34	26.66	30.00	883	Tipo di Suolo: B

Profilo Verticale Vs				Masw 1
Spessore (m)	Profondità (da m)	(a m)	Vs (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
3.21	0.00	3.21	289	Vseq (0.00-16.56 m): 489 m/sec
5.78	3.21	8.99	495	
7.57	8.99	16.56	684	
8.38	16.56	24.94	931	
5.06	24.94	30.00	1058	Tipo di Suolo: B

Il suolo presente nelle 2 aree di interesse (v. **Tabella 3.2.II_NTC2018** - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato), rientrano nella cat. **B** di cui alle NTC vigenti.

2.4 Misure di rumore sismico ambientale HVSR

Nell'area di Intervento "C-D", è stata condotta inoltre:

- n.1 misura di rumore sismico ambientale in campo libero con tecnica geofisica denominata HVSR.

2.4.1 Misure HVSR (rumore ambientale in campo libero) teoria, scopi e metodi

La tecnica di indagine geofisica denominata HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) si basa sull'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale del moto del suolo causato da sollecitazioni sismiche di qualsiasi ampiezza, generate da terremoti o da sorgenti artificiali.

Negli ultimi anni, si sta rapidamente diffondendo nell'ambito degli studi geologico-ingegneristici la tecnica HVSR che utilizza il rumore (*noise*) sismico, o *microtremore*, come sorgente di sollecitazione del moto del suolo (in questo caso, è nota anche come tecnica di Nakamura).

Lo scopo principale della tecnica HVSR è di individuare eventuali frequenze proprie di oscillazione, o frequenze di risonanza, del suolo. La tecnica si basa sul principio che il suolo è assimilabile ad un corpo viscoelastico, per cui è possibile misurarne le frequenze di risonanza, in ogni punto. L'utilizzo del microtremore, che è costantemente presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, rende questo tipo di prospezione geofisica non intrusiva, rapida e poco costosa.

2.4.2 Strumentazione utilizzata, procedure di misura ed elaborazione dati

Tutte le registrazioni dei microtremori presentate in questo studio sono state effettuate con il tromografo digitale modello "Tromino" della ditta Micromed s.r.l., che è uno strumento progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Si tratta di un apparecchio portatile compatto di circa 10x7x14 cm e 1.0 kg di peso, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza alcun cavo esterno.

Lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN 4150, grazie a sismometri *mid-frequency* la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una frequenza di campionamento di 512 Hz.

Lo strumento memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico o elettronico; registra contemporaneamente la componente verticale e le due componenti orizzontali N-S e E-O, tra loro ortogonali.

Per questo motivo, prima di avviare ogni misura, lo strumento deve essere collocato in posizione perfettamente orizzontale (con l'ausilio di una bolla incorporata sulla sua parte superiore) e con la freccia presente accanto al display direzionata verso il Nord.



Fig.3) Tromografo modello "Tromino" nell'area di indagine

I risultati di ciascuna analisi sono stati ottenuti col software Grilla in dotazione a TROMINO. In sintesi, il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo t (per questo studio, $t = 20$ minuti), e digitalizzato a 24 bit. Il software Grilla, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza (durata) L
2. elimina il trend da ciascuna finestra
3. ne fa il "taper" con una finestra Bartlett
4. crea il "pad" di ciascuna finestra con degli zero
5. calcola la trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di liscio f , e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza, per ciascuna finestra.

Il principale prodotto finale dell'elaborazione dei dati registrati dal Tromino è rappresentato dal grafico HVSR (fig. 4), con in ascissa i valori di frequenza (espressi in Hz) e in ordinata l'ampiezza del rapporto spettrale HV (adimensionale).

La funzione HVSR finale è data dalle media degli HVSR di ciascuna finestra. Per produrre l'HVSR finale, le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e vengono poi divise per la componente verticale. Tutti i grafici HVSR presentati in questo studio sono stati ottenuti con lisciamento secondo finestre triangolari con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

Ciascun picco nel grafico HVSR indica, in ascissa, un valore di frequenza di risonanza (o modo fondamentale), al quale corrisponde, in ordinata, un valore di amplificazione delle componenti orizzontali del moto del suolo rispetto alla componente verticale. Poiché la frequenza è relazionata alla profondità secondo la formula :

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$

il valore di una frequenza di risonanza corrisponde alla profondità della superficie di discontinuità che separa due livelli stratigrafici sovrapposti e che mostrano un contrasto di impedenza sismica.

Maggiore è il contrasto di impedenza tra due strati geologici, maggiore è l'ampiezza attesa del picco HV, tuttavia è importante sottolineare che la relazione tra le due variabili non è lineare.

Per ogni misura, oltre al grafico HVSR, il software Grilla elabora altri 3 grafici:

- l'H/V TIME HISTORY, utile per distinguere i picchi che sono propri del sito (riconoscibili per l'intera durata della registrazione) da quelli che non lo sono (quindi riconoscibili solo in alcuni brevi momenti della registrazione) e che vengono di solito eliminati nell'elaborazione finale degli HVSR;
- il DIRECTIONAL H/V, che serve per evidenziare l'eventuale direzionalità di un picco, ovvero per capire se una frequenza di amplificazione è legata ad una particolare struttura (caratterizzata quindi da una sua orientazione) oppure se essa presenta una distribuzione isotropica nel terreno;
- il SINGLE COMPONENT SPECTRA, che evidenzia l'andamento spettrale velocità/frequenza di ognuna delle tre singole componenti di moto del suolo.

L'insieme dei 4 grafici viene infine illustrato nel referto automatico che il software Grilla elabora per ogni misura.

2.4.3 Risultanze delle Misure effettuate

Si è eseguita n.1 misura di rumore sismico ambientale (denominata HVSR_1), della durata di 20 minuti.

La misura è stata eseguita su terreno, prestando particolare attenzione nel verificare che la superficie di appoggio dello strumento fosse perfettamente solidale con il terreno.

Prima di procedere all'elaborazione finale, le misure sono state 'ripulite' manualmente da ogni disturbo (generalmente antropico) indotto da cause diverse dal rumore ambientale. Al termine di questa operazione, le misure sono state ridotte di una determinata percentuale della durata originaria.

Nell'elaborazione finale delle misure, è stata utilizzata una frequenza di campionamento di 128 Hz, con finestre di 20/60 s e una percentuale di "lisciamento" (*smoothing*) del 10%. L'intervallo totale di frequenza analizzato è compreso tra 0.0 e 64 Hz, mentre l'intervallo di frequenza considerato significativo per l'interazione suolo-struttura e tenuto quindi in considerazione nei referti automatici per l'eventuale esistenza di picchi di amplificazione evidenti è 0.3 – 15 Hz. L'analisi e la discussione dei grafici HVSR sono state quindi limitate all'intervallo 0.3 – 15 Hz.

In questo paragrafo sono illustrati e discussi i grafici HVSR riferiti alle misure effettuate, mentre i referti automatici elaborati dal software Grilla, completi di tutti i grafici sviluppati per ogni singola misura, sono riportati come allegato di questo studio.

I grafici HVSR delle misure condotte, hanno fornito i seguenti esiti (è bene ricordare che i criteri SESAME (2005) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2).

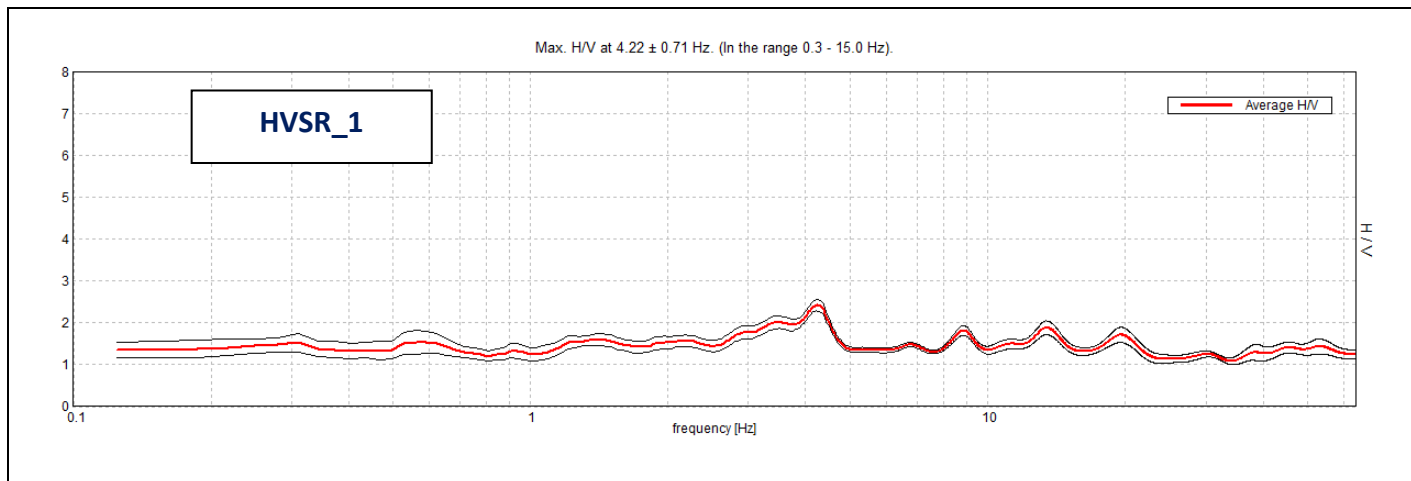


Fig.4) Grafico HVSr ottenuto dalla misura di rumore ambientale effettuate (HVSr1). Per la discussione dei dati, vedi testo. I picchi di amplificazione a frequenze superiori a 13-15 Hz non sono rilevanti dal punto di vista dell'interazione suolo-struttura e sono probabilmente generati dalla presenza di sottili livelli superficiali di materiale sciolto, naturale (suolo, detrito, solette antropiche etc.). I rapporti completi prodotti dal software Grilla per ognuna delle misure sono consultabili nell'Allegato specifico "Referti H/V"

La curva HVSr ottenute dalla misura di rumore ambientale HVSr_1, mostra un modo di oscillazione fondamentale del terreno, per il valore di frequenza di 4.22 Hz e non mostrano significativi picchi secondari.

Per gli interventi di ripristino/consolidamento delle strutture esistenti nell'area di studio, si suggerisce di tener conto, in fase di progettazione, della frequenza propria di oscillazione del terreno, allo scopo di evitare di farla coincidere con la frequenza di oscillazione delle strutture stesse onde scongiurare il fenomeno della "doppia risonanza".

3. Area Intervento “C-D” - INDAGINI GEOELETRICHE

3.1 Premessa

Come riferito in premessa, nell’ambito della problematica in essere si è adottata la metodologia Geoelettrica con restituzione Tomografica dei dati rilevati, per ottenere informazioni stratigrafiche ed idrogeologiche al di sotto delle sezioni tracciate dai rilievi di campo.

Le tipologie di rilievo condotte sul terreno e le ubicazioni corrispondenti, sono state realizzate in maniera tale da investigare al meglio l’area di interesse compatibilmente con gli spazi fisici a disposizione.

Nello specifico tale campagna di indagini si configura nella:

- Esecuzione di n. 2 profili geoelettrici dipolari assiali (sigla: **TE_1-TE_2**), ubicati come da planimetria allegata, di lunghezza pari a 141.0 ml/cad., con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.

Di seguito si riportano i commenti sulla metodologia di indagine adottata ed i relativi risultati.

3.2 Metodologia e Strumentazione Adottati

La strumentazione utilizzata nella campagna di prospezioni geoelettriche è prodotta dalla IRIS Instruments ed è composta da un resistivimetro ad elevatissima sensibilità e velocità in grado di gestire contemporaneamente 10 letture per volta, un Georesistivimetro (mod. **SYSCAL Pro. SWITCH 96**) sensibile a misure fino ad un decimo di Volt ed una serie di picchetti metallici (acciaio inox).



Fig.5) SYSCAL Pro. SWITCH 96 Elettrodi

Le caratteristiche tecniche della strumentazione adottata sono riportate di seguito:

SYSCAL Pro SPECIFICATIONS

TRANSMITTER

- 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.

RECEIVER

- 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
- 50 to 60Hz power line frequency rejection
- Stacking process, SP linear drift correction
- Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable),
- Internal 12V, 7Ah battery

GENERAL

- Memory: 21 000 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

La metodologia adottata nel caso specifico è la prospezione geoelettrica con il metodo del dipolo-dipolo con elaborazione Tomografica dei dati del rilievo.

Tale metodologia consiste nella determinazione delle resistività apparenti del sottosuolo lungo sezioni predeterminate la cui traccia è data da stendimenti dipolari assiali.

Dal punto di vista operativo il metodo consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB), e di misurare tramite un dipolo di lettura (MN) la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta dal campo elettrico creato nel terreno.

Una volta fissata l'equidistanza dipolare, le misure vengono registrate spostando alternativamente il dipolo di corrente ed il dipolo di lettura al fine di ottenere una maglia di punti di lettura, disposti lungo una sezione.

Conoscendo in ogni punto la d.d.p. e l'intensità di corrente I , si ricava la resistività apparente per quel punto applicando le formule relative alla "teoria dei dipoli infinitesimali" secondo la quale l'equidistanza dipolare "a" deve essere minore o al massimo uguale di un determinato valore della distanza interdipolare "R" (tale valore si assume pari a 0.2).

Una volta ottenuti in campo i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante il programma *RES2DINV*, si sono ottenute delle sezioni di iso-resistività (pseudosezioni) che consentono di dare una interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati suddivisi blocchi rettangolari (la cui dimensione e posizione regolare è automaticamente generata dal programma).

Un avanzato sottoprogramma di modellizzazione è stato usato per calcolare i valori di resistività, e una tecnica di ottimizzazione non lineare dei minimi quadrati, è usata per il programma di *inversione* (De Groot-Hedlin e Constable 1990, Loke e Barker 1996), sino ad ottenere la *Sezione di Resistività* (Fig.2) basata sul metodo dell'inversione (*Inverse Model Resistivity Section*).

3.3 Tomografie 2D nelle aree di Indagine

Come si evince dalla Planimetria con Indagini allegata, le Tomografie Elettriche **TE_1-TE_2** sono state eseguite con 48 elettrodi per una lunghezza/cad. pari a $L=141.0$ m, con distanza interdipolare pari a $R=3.0$ m (spazio unitario tra elettrodi); con profondità di massima investigazione, letta nella porzione centrale dello stendimento, intorno ai 35.0/38.0m circa.

I due rilievi sono stati condotti **TE_1** circa in asse con la principale frana rilevata, **TE_2** perpendicolarmente ad essa circa tra le quote 220-225m (v. planimetria con indagini).



Fig.6) Postazione Tomografia Elettrica TE_1

Si è cercato con l'indagine specifica di evidenziare eventuali disomogeneità/anomalie del sottosuolo delle aree di rilievo, legate alla presenza di parti in movimento/dissesto eterogenee, areate/disarticolate (generalmente mediamente resistive) ed infiltrazioni/circolazioni idriche eventualmente presenti nel sottosuolo, che forniscono risposta anomalmente basso-resistiva a causa della conducibilità elettrolitica dell'acqua.

Di seguito si riporta una tabella schematica relativa alla risposta geoelettrica dei tomogrammi effettuati, rimandando agli elaborati grafici specifici eventuali approfondimenti.

Nell'ambito dello schema di sintesi sotto riportato, si sono individuati n.4 ranges di resistività validi per l'area del rilievo, vale a dire:

Sigla	Risposta geoelettrica	Resistività (ohm*m)
R	Resistiva	>20
MR	Medio-Resistiva	10-20
MC	Medio-Conduittiva	5-10
C	Conduittiva	<5

La risposta geoelettrica **R** (resistiva), si è individuata presumibilmente in corrispondenza delle coperture areate/disarticolate in prevalenza arenacee debolmente limose, che offrono resistenza relativamente elevata al passaggio di corrente elettrica.

La risposta geoelettrica **MR** (medio-resistiva) e **MC** (medio-conduittiva), si sono individuate con buona probabilità in corrispondenza di substrato limo-sabbioso, con valori maggiormente resistivi all'aumentare della frazione litoide/arenacea nel terreno.

Infine, la risposta **C** (conduittiva), si è individuata presumibilmente in corrispondenza di parti fini/umide conducibilità elettrolitica e/o parti argillose a conducibilità ionica.

Ciò premesso nell'ambito del Tomogramma **TE_1** condotto in asse della principale frana presente nell'area di intervento "C-D", ben evidenzia la presenza di coperture areate e disarticolate in dissesto, con andamento a conca e spessore di max accumulo pari a 5.0/6.0m da p.c..

Il Tomogramma inoltre evidenzia la parte di valle/basale della frana occupata da porzioni conduittive del sottosuolo, interpretate come zone sature e/o a maggior componente fine.

Il resto del rilievo mostra aree del sottosuolo Medio-Resistive ($\rho=10\div 20$ ohm*m), presumibilmente interessate da presenza di substrato flischioide argillo-arenaceo (in prevalenza pelitico).

Il tomogramma **TE_2**, condotto circa parallelamente alle curve di livello tra le quote 220-225m slm, evidenzia una risposta generalmente più conduittiva della tomografia appena descritta, con 2 aree eterogenee (disarticolate/presumibilmente interessate da movimento gravitativo) poste a profondità max da p.c. di circa 2.5/3.0m.

Il Tomogramma inoltre evidenzia aree conduittive ($\rho<5/10$ ohm*m) poste sulla parte basale delle aree in presumibile frana, attribuite a zone sature e/o a maggior componente fine.



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 - 75100 MATERA - 0835-381960-261746

Il resto del rilievo mostra aree del sottosuolo Medio-Resistive ($\rho=10\div 20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), presumibilmente interessate da presenza di substrato flischioide argilloso-arenaceo (in prevalenza pelitico).

4. Area Intervento “E-F” - INDAGINI GEOELETTICHE

4.1 Tomografie 2D nelle aree di Indagine

Nell’area di intervento specifica, la campagna di indagini è consistita nella:

- Esecuzione di n. 1 profilo geoelettrico dipolare assiale (sigla: **TE_3**), ubicato come da planimetria allegata, di lunghezza pari a 94ml, con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.



Fig.7) Postazione Tomografia Elettrica TE_3

Si precisa che metodologia di indagine e strumentazione adottati, sono i medesimi già descritti nel precedente capitolo.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per l’area in parola :

I ranges di resistività validi per l’area del rilievo, sono stati i seguenti :

Sigla	Risposta geoelettrica	Resistività (ohm*m)
R	Resistiva	>20
MR	Medio-Resistiva	10-20
MC	Medio-Conduittiva	5-10
C	Conduittiva	<5



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO - CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 - 75100 MATERA - 0835-381960-261746

con risposta analoga a quanto chiarito nel precedente capitolo.

Ciò premesso, nel Tomogramma **TE_3** condotto circa parallelamente alle curve di livello tra le quote 280-285 m, ben evidenzia la presenza di coperture areate e disarticolate talora in frana e con andamento a conca e spessore di max accumulo variabile da 2.5/3.0m a 30/4.0m da p.c..

Il Tomogramma inoltre evidenzia un elettrostrato intermedio (prof. 6.0/6.5m da p.c.) prevalentemente conduttivo del sottosuolo, interpretato come zone sature e/o a maggior componente fine.

Il resto del rilievo mostra aree del sottosuolo Medio-Resistive ($\rho=10\div 20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$), presumibilmente interessate da presenza di substrato flischioide argilloso-arenaceo (in prevalenza pelitico).

5. Area Intervento "I" - INDAGINI GEOELETRICHE

5.1 Tomografie 2D nelle aree di Indagine

Nell'area di intervento "I", la campagna di indagini è consistita nella:

1. Esecuzione di n. 2 profili geoelettrici dipolari assiali (sigla: **TE_4-TE_5**), disposti in maniera incrociata (v. planimetria allegata), di lunghezza pari a 94.0 ml/cad., con interpretazione Tomografica dei dati di resistività ottenuti.



Fig.8) Postazione Tomografia Elettrica TE_4

Anche in questo caso, la metodologia di indagine e strumentazione adottati, sono i medesimi già descritti nei precedenti capitoli.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per l'area in parola :

I ranges di resistività validi per l'area del rilievo, generalmente a più elevata resistività, per probabile presenza di un substrato a maggior componente litico/arenacea, sono stati i seguenti :

Sigla	Risposta geoelettrica	Resistività (ohm*m)
R	Resistiva	>100
MR	Medio-Resistiva	50-100
MC	Medio-Conduittiva	10-50
C	Conduittiva	<10

con risposta analoga a quanto chiarito nei precedenti capitoli.

Ciò premesso, nei Tomogrammi **TE_4-TE_5** condotti in maniera incrociata, si evidenzia la parte posta nella vicinanza degli estremi A delle basi (realizzate nei pressi di una recinzione/piazzale) prossimi alla strada esistente, costituita da presenza di coperture areate ed eterogenee, attribuite (visti i dati di affioramenti) a riporti/coperture antropiche per spessori di circa 2.0/2.2m da p.c..

Rimanendo nella parte alta dei tomogrammi **TE_4-TE_5**, è presente un elettrostrato intermedio (prof. 6.5/7.0m circa da p.c.) interpretato come terreno composto da alternanze di litologie (in prevalenza pelitiche); più in basso si evidenzia l'elettrostrato di base con aumento delle resistività a $\rho=100\div150 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ associato a presenza di substrato flischioide perlopiù arenaceo.

L'andamento di tali elettrostrati nell'ambito delle tomografie in parola non risulta sempre regolare, così come riportato nei tomogrammi di cui al presente paragrafo.

****** Ciò chiarito, per le tipologie di rilievo effettuate, si rimanda agli elaborati specifici prodotti, per una più approfondita analisi dello studio condotto.

Matera, giugno 2020

Elenco Allegati:

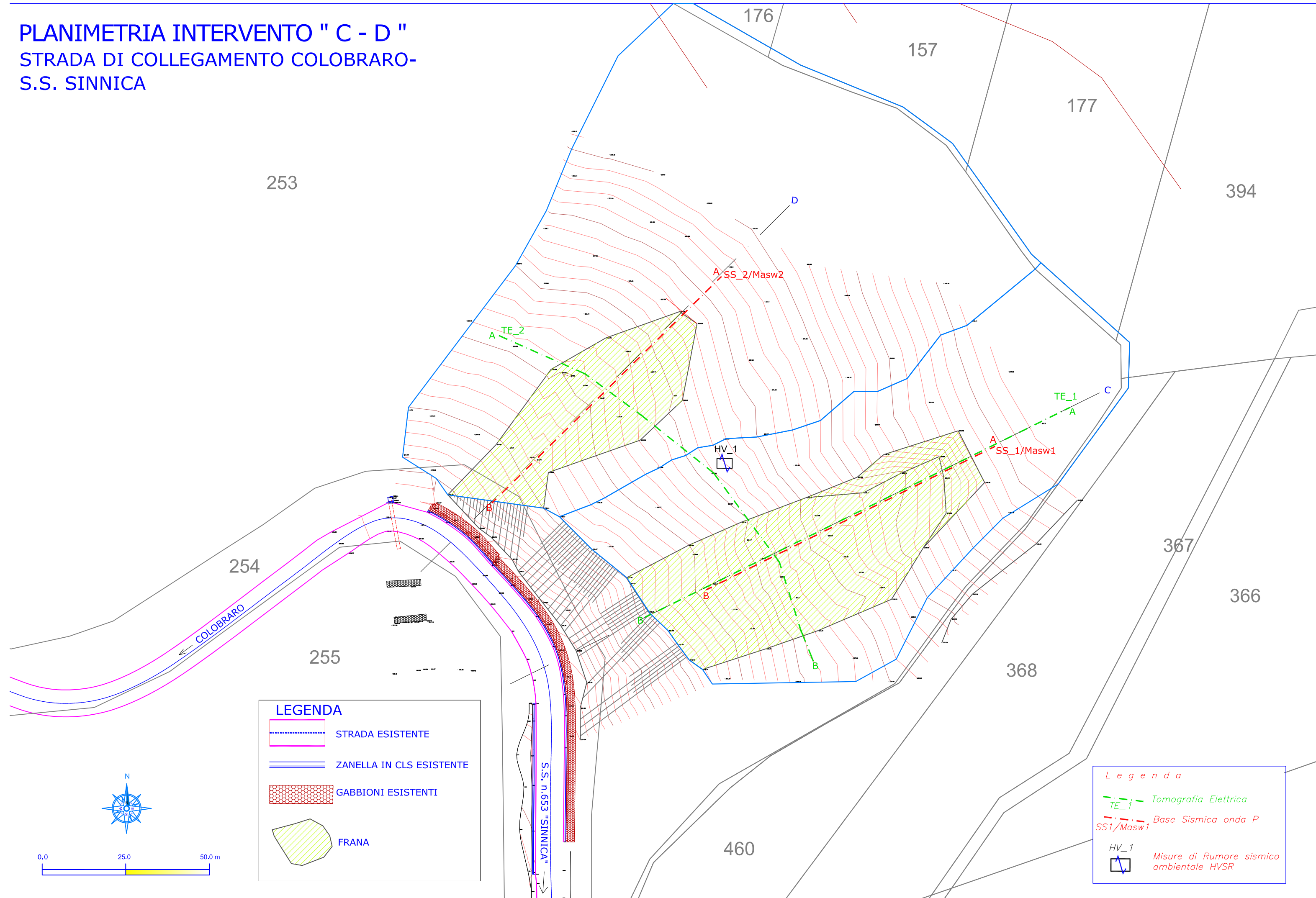
- All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini – suddivise per singolo intervento;
- All.2) Prospezioni Sismiche onda P (Dromocrone-Sezioni Sismostratigrafiche-Dati Rifrattore);
- All.3) Prospezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri f_x , f_v , f_k , V_s30);
- All.4) Referti Misure HVSR;
- All.5) Prospezioni Geoelettriche;
- All.6) Documentazione Fotografica.





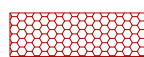
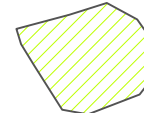
DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

All.1) Planimetria con Ubicazione Indagini – suddivise per singolo intervento




PLANIMETRIA INTERVENTO " C - D "
STRADA DI COLLEGAMENTO COLOBRARO-
S.S. SINNICA



LEGENDA

-  STRADA ESISTENTE
-  ZANELLA IN CLS ESISTENTE
-  GABBIONI ESISTENTI
-  FRANA

Legenda

-  *TE_i* Tomografia Elettrica
-  *SS1/Masw1* Base Sismica onda P
-  *HV_1* Misure di Rumore sismico ambientale HVSR

PLANIMETRIA INTERVENTO " E - F "

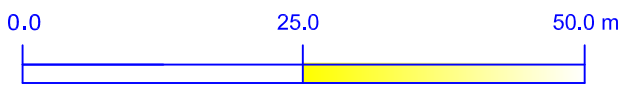
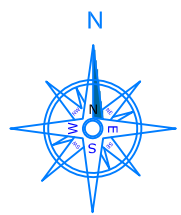
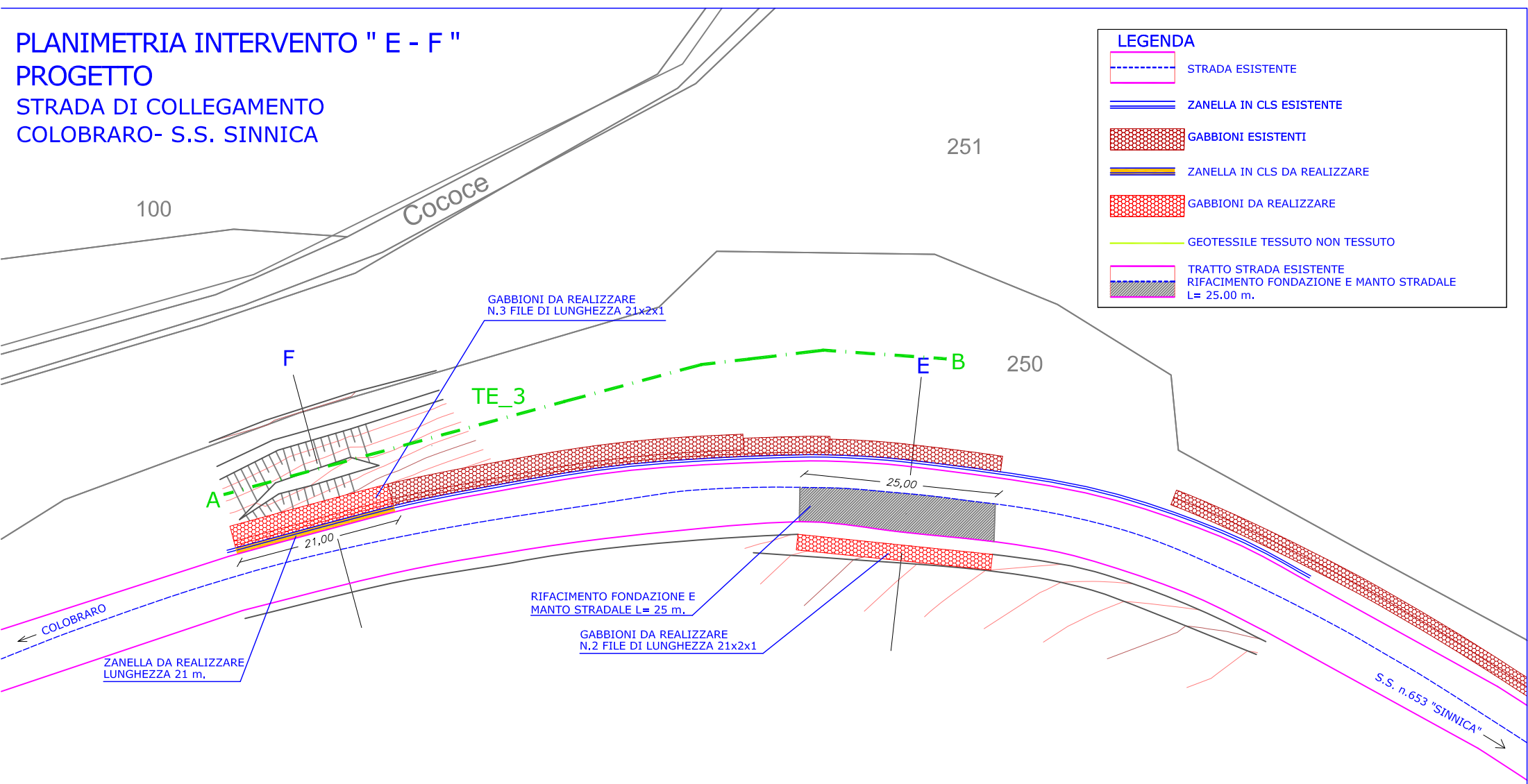
PROGETTO

STRADA DI COLLEGAMENTO

COLOBRARO- S.S. SINNICA

LEGENDA

-  STRADA ESISTENTE
-  ZANELLA IN CLS ESISTENTE
-  GABBIONI ESISTENTI
-  ZANELLA IN CLS DA REALIZZARE
-  GABBIONI DA REALIZZARE
-  GEOTESSILE TESSUTO NON TESSUTO
-  TRATTO STRADA ESISTENTE
RIFACIMENTO FONDAZIONE E MANTO STRADALE
L= 25.00 m.



Legenda

 Tomografia Elettrica

TE_1

PLANIMETRIA INTERVENTO "I"
PROGETTO
STRADA DI COLLEGAMENTO
COLOBRARO- S.S. SINNICA

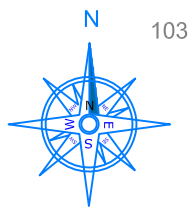
56

81

271

57

strada comunale

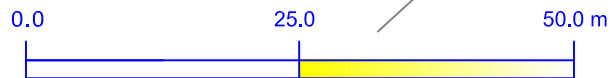


103

11

208

2



Legenda

TE_1 Tomografia Elettrica

Provinciale
← TURSI

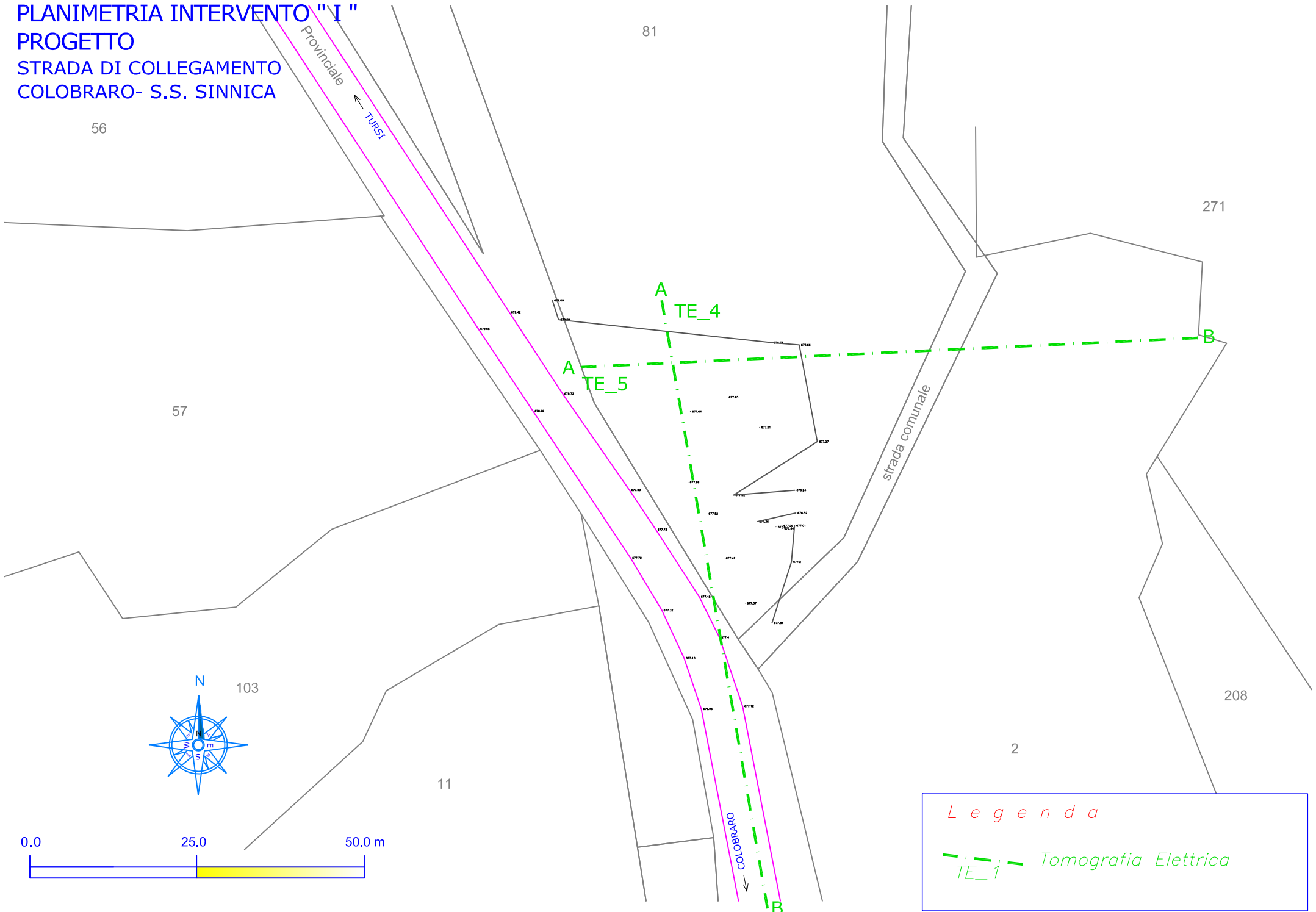
COLOBRARO
←

A
TE_4

A
TE_5

B

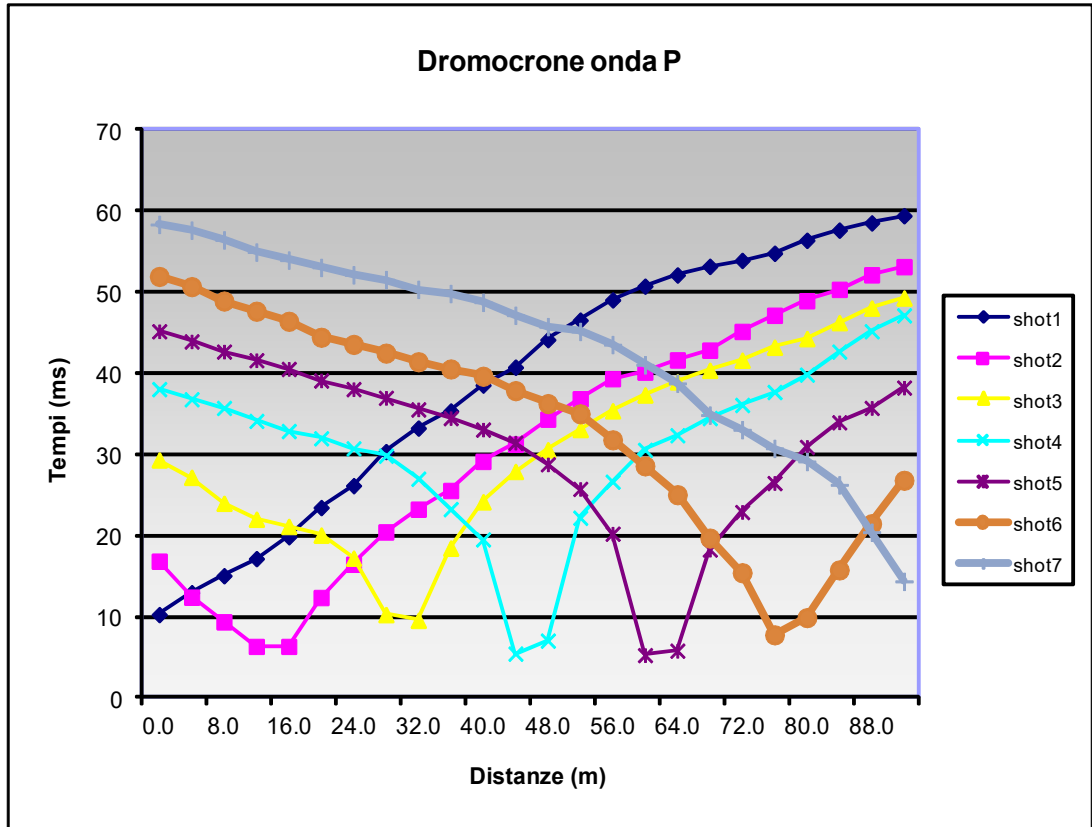
B



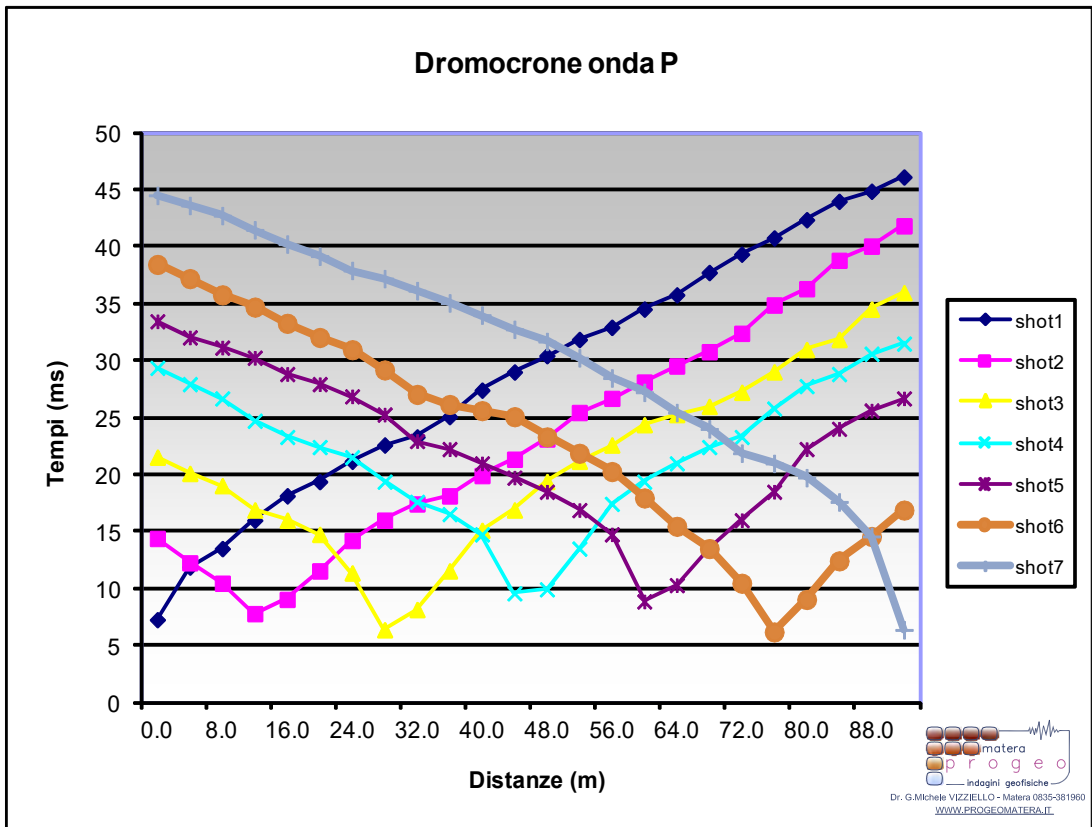


DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

All.2) Prospezioni Sismiche onda P (Dromocrone-Sezioni Sismostratigrafiche-Dati Rifratore)



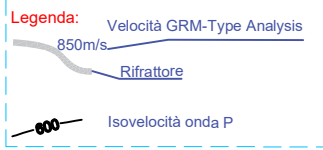
Base 1 - ond P - Colobrarò (MT)



Base 2 - ond P - Colobrarò (MT)

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

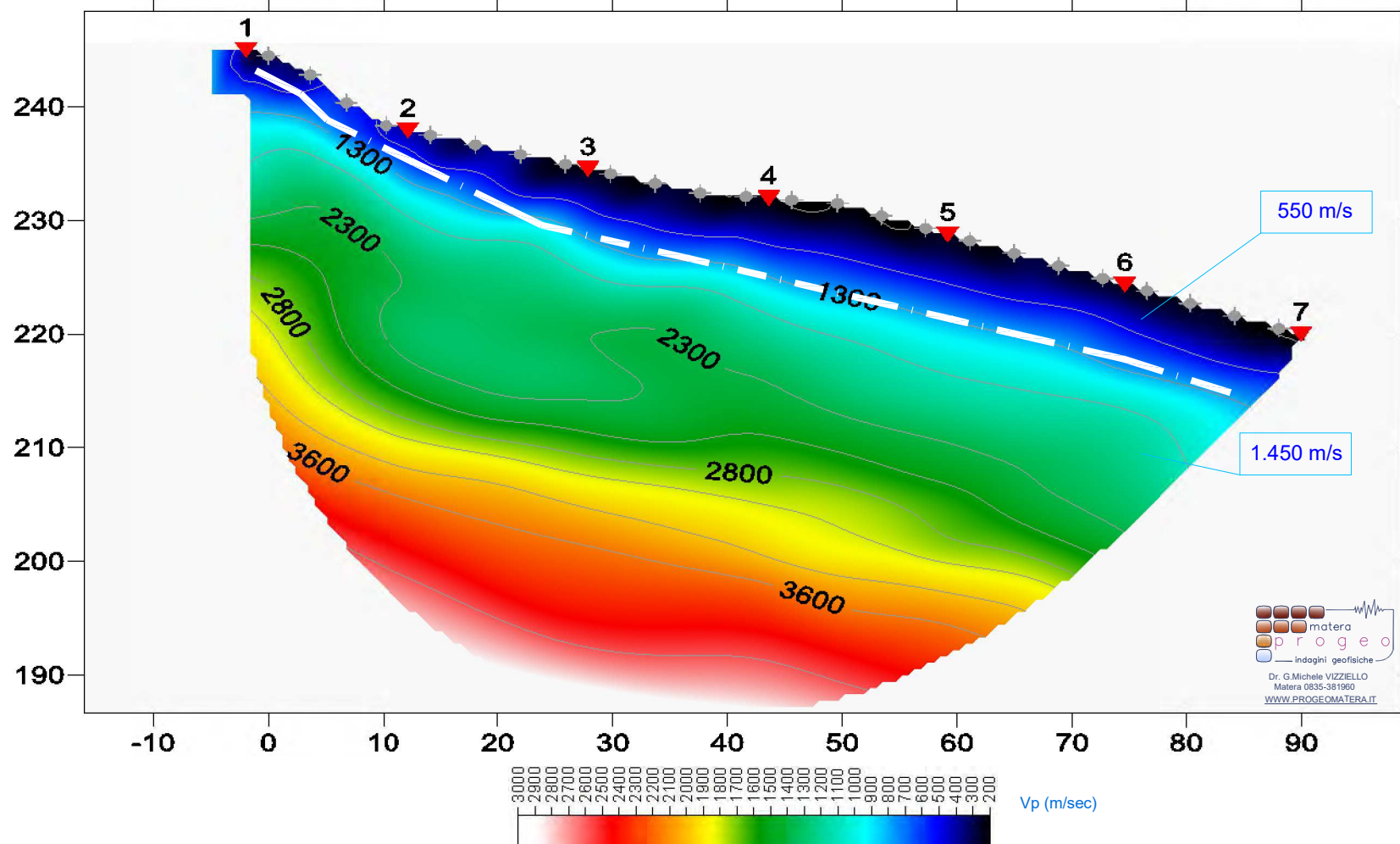


BASE SS1_P

I° Sismostr.
II° Sismostr.
III° Sismostr.

Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
550	-	3.83
1.450	-	max indagine

SS1 RMS error 4.1%=1.42ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial DELTATV.GRD v. 3.36



CANTIERE: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrano "Il Paese della Magia"
COMITENTE: Ing. Michele LUPO Pomarico (MT)
DATA: giu-20

TOMOGRAFIA SISMICA **SSI**

	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	550	-	3.83
II° Sismostr.	1.450	-	max indagine
III° Sismostr.			

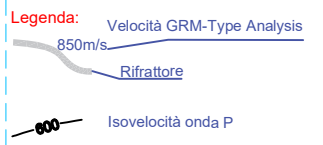
Parziali	Quota Rifratt.1 Relativa (m)	Topografia Relativa (m)	Prof. Rifratt.1 da p.c. (m)	Parziali	Quota Rifratt.2 Relativa (m)	Topografia Relativa (m)	Prof. Rifratt.2 da p.c. (m)
0.0	243.478	244.50	1.02	0.0		244.50	
4.0	241.810	242.80	0.99	4.0		242.80	
8.0	238.334	240.35	2.02	8.0		240.35	
12.0	236.205	238.35	2.14	12.0		238.35	
16.0	235.118	237.50	2.38	16.0		237.50	
20.0	233.923	236.65	2.73	20.0		236.65	
24.0	232.661	235.80	3.14	24.0		235.80	
28.0	231.396	234.95	3.55	28.0		234.95	
32.0	230.195	234.10	3.91	32.0		234.10	
36.0	229.060	233.25	4.19	36.0		233.25	
40.0	228.002	232.40	4.40	40.0		232.40	
44.0	227.558	232.10	4.54	44.0		232.10	
48.0	227.136	231.80	4.66	48.0		231.80	
52.0	226.736	231.50	4.76	52.0		231.50	
56.0	225.608	230.40	4.79	56.0		230.40	
60.0	224.572	229.30	4.73	60.0		229.30	
64.0	223.615	228.20	4.58	64.0		228.20	
68.0	222.737	227.10	4.36	68.0		227.10	
72.0	221.803	226.00	4.20	72.0		226.00	
76.0	220.705	224.90	4.19	76.0		224.90	
80.0	219.393	223.80	4.41	80.0		223.80	
84.0	217.868	222.70	4.83	84.0		222.70	
88.0	216.221	221.60	5.38	88.0		221.60	
92.0	214.588	220.50	5.91	92.0		220.50	

MEDIA
3.83

MEDIA
n.r.

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

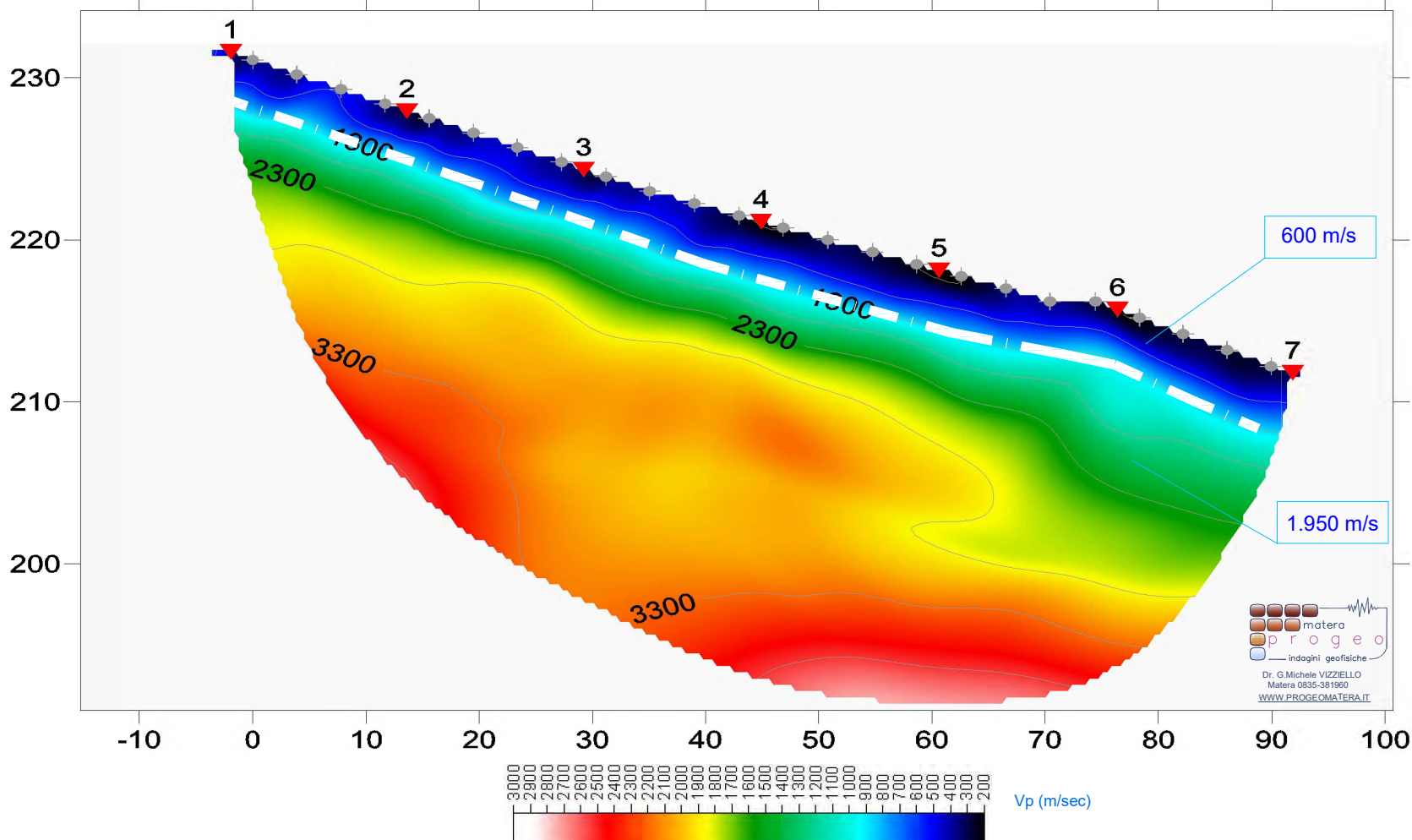


BASE SS2_P

I° Sismostr.
II° Sismostr.
III° Sismostr.

Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
600	-	3.60
1.950	-	max indagine

SS2 RMS error 4.3%=1.06ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial DELTATV.GRD v. 3.36



CANTIERE: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"
COMITENTE: Ing. Michele LUPO Pomarico (MT)
DATA: giu-20

TOMOGRAFIA SISMICA **SS2**

	Vel. P (m/sec)	Vel. S (m/sec)	Prof. (m da p.c.)
I° Sismostr.	600	-	3.60
II° Sismostr.	1.950	-	max indagine
III° Sismostr.			

Parziali	Quota Rifratt.1 Relativa (m)	Topografia Relativa (m)	Prof. Rifratt.1 da p.c. (m)	Parziali	Quota Rifratt.2 Relativa (m)	Topografia Relativa (m)	Prof. Rifratt.2 da p.c. (m)
0.0	227.92	231.10	3.18	0.0		231.10	
4.0	227.12	230.20	3.08	4.0		230.20	
8.0	226.22	229.30	3.08	8.0		229.30	
12.0	225.27	228.40	3.13	12.0		228.40	
16.0	224.33	227.50	3.17	16.0		227.50	
20.0	223.39	226.60	3.21	20.0		226.60	
24.0	222.45	225.70	3.25	24.0		225.70	
28.0	221.52	224.80	3.28	28.0		224.80	
32.0	220.60	223.90	3.30	32.0		223.90	
36.0	219.69	223.00	3.31	36.0		223.00	
40.0	218.92	222.25	3.33	40.0		222.25	
44.0	218.13	221.50	3.37	44.0		221.50	
48.0	217.31	220.75	3.44	48.0		220.75	
52.0	216.45	220.00	3.55	52.0		220.00	
56.0	215.58	219.25	3.67	56.0		219.25	
60.0	214.69	218.50	3.81	60.0		218.50	
64.0	213.80	217.75	3.95	64.0		217.75	
68.0	212.93	217.00	4.07	68.0		217.00	
72.0	212.01	216.20	4.19	72.0		216.20	
76.0	211.89	216.20	4.31	76.0		216.20	
80.0	210.80	215.20	4.40	80.0		215.20	
84.0	209.74	214.20	4.46	84.0		214.20	
88.0	209.04	213.20	4.16	88.0		213.20	
92.0	208.54	212.20	3.66	92.0		212.20	

MEDIA
3.60

MEDIA
n.r.



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

All.3) Prospezioni Sismiche a tecnica Masw (Sismogrammi, Curve di Dispersione, Spettri f_x , f_v , f_k , V_s30)

Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

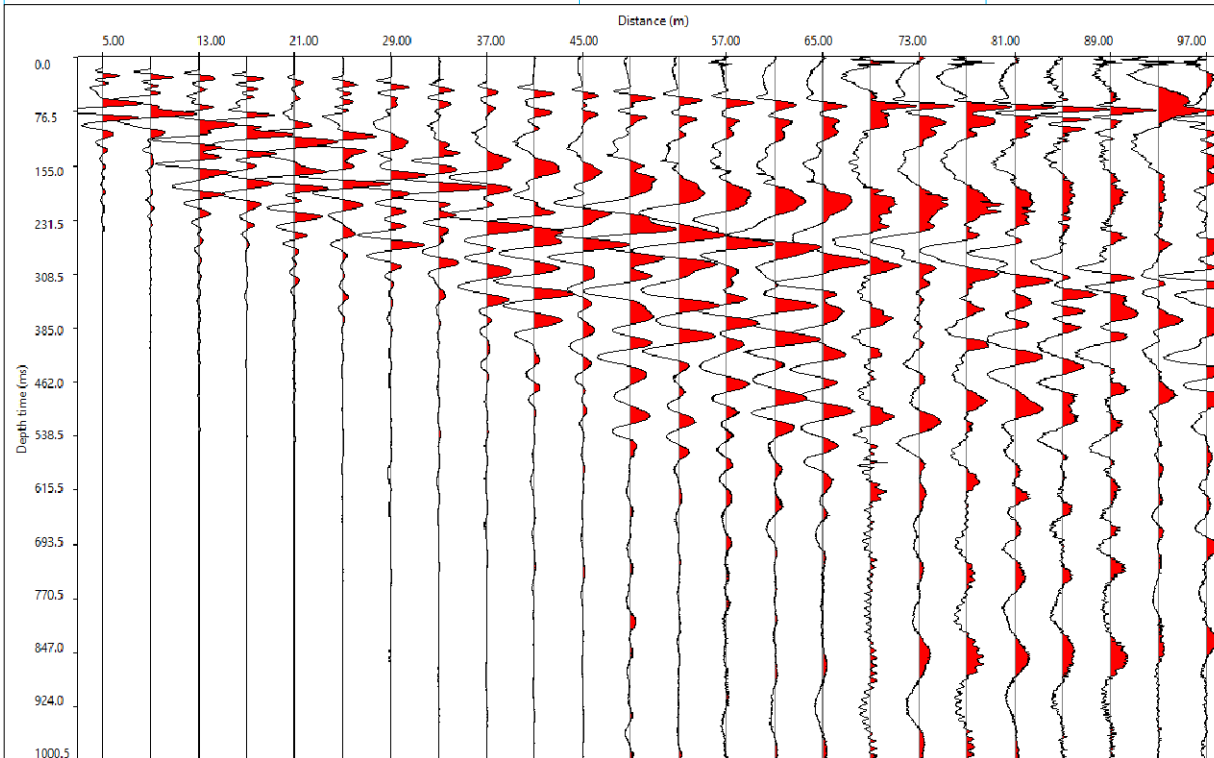
Rif: MASW_1

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

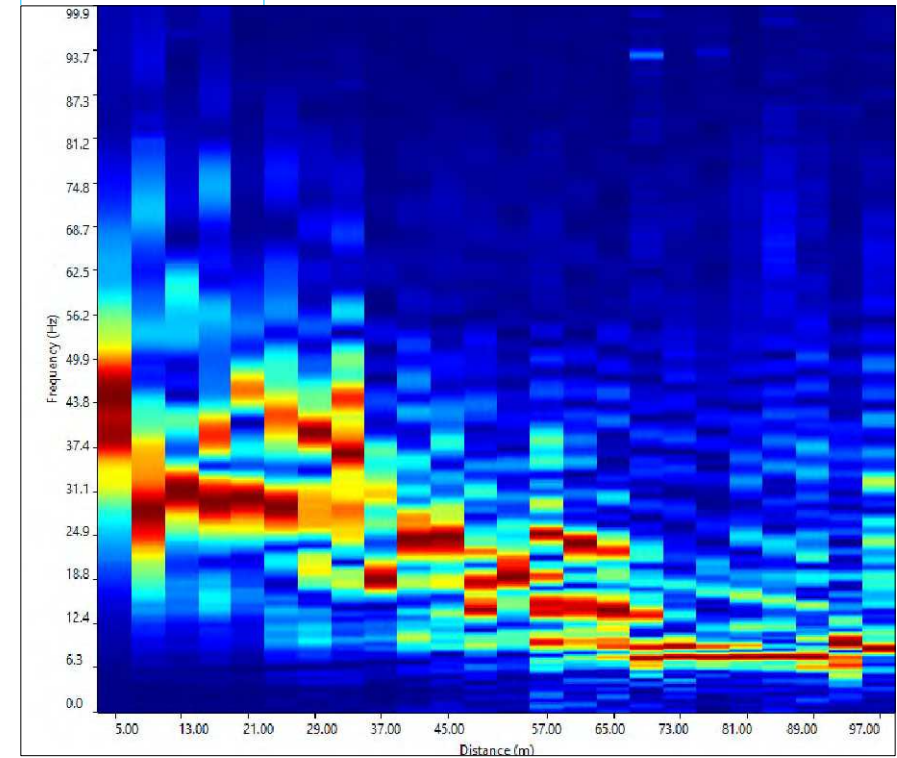
Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Sismogramma di Riferimento

Shot: 5.0m
Passo: 4.0m



Spettro FX



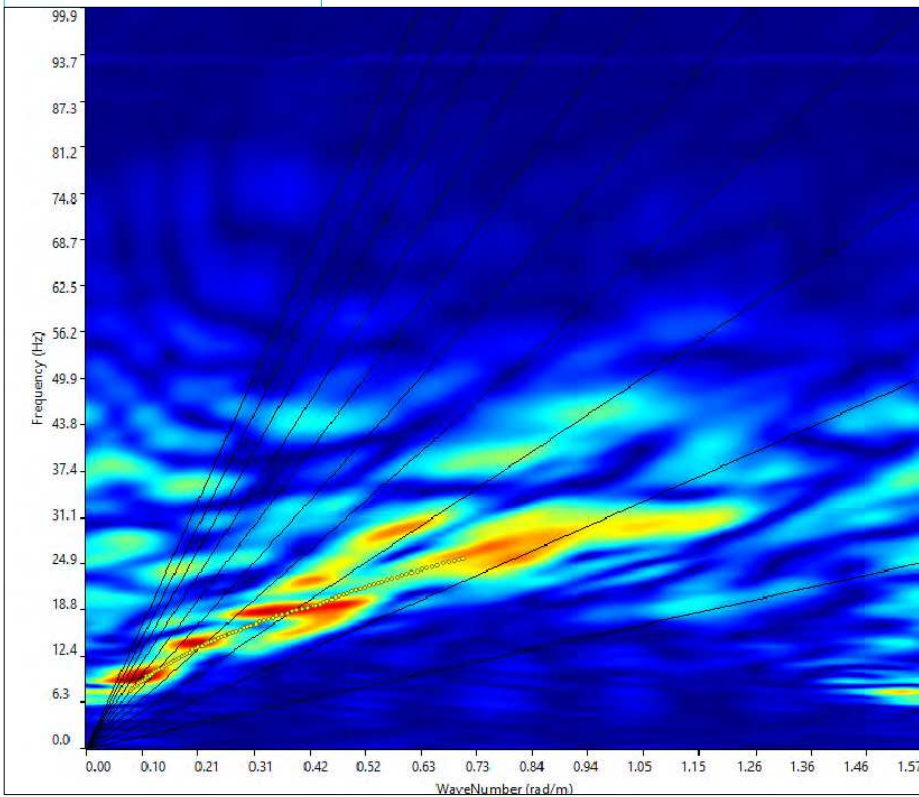
Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

Rif: MASW_1

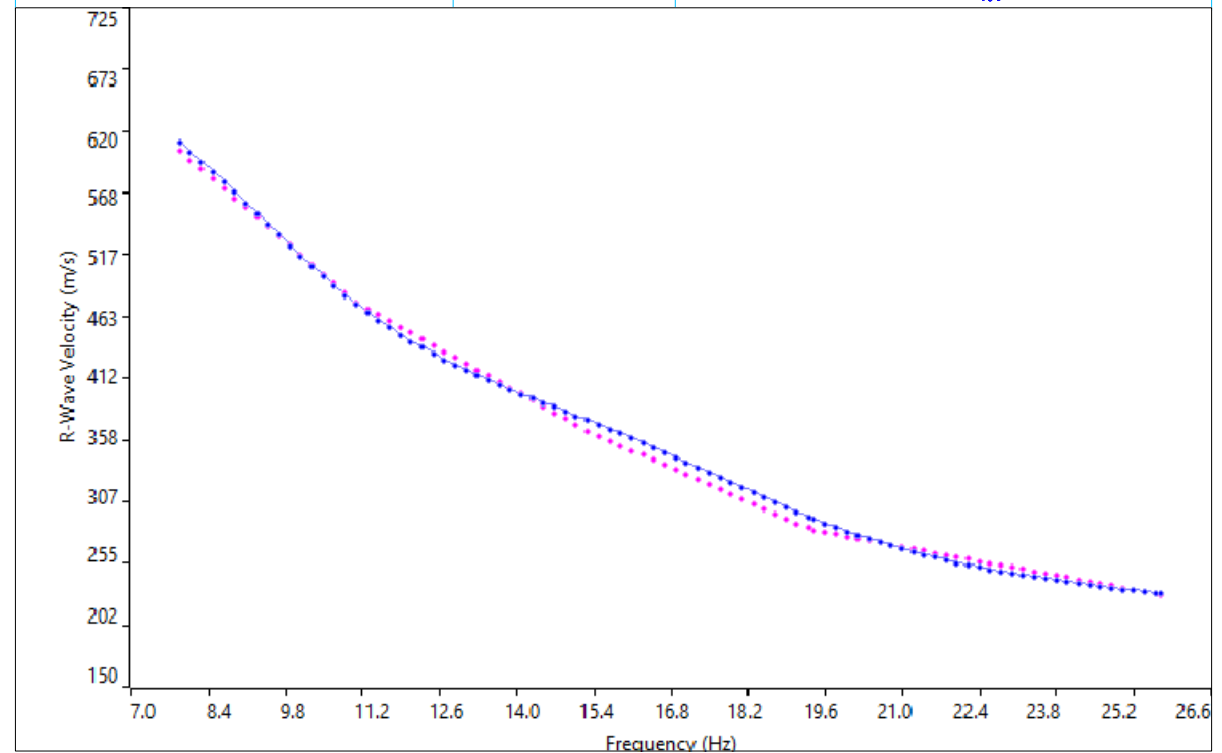
Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Spettro FK



Curve di Dispersione



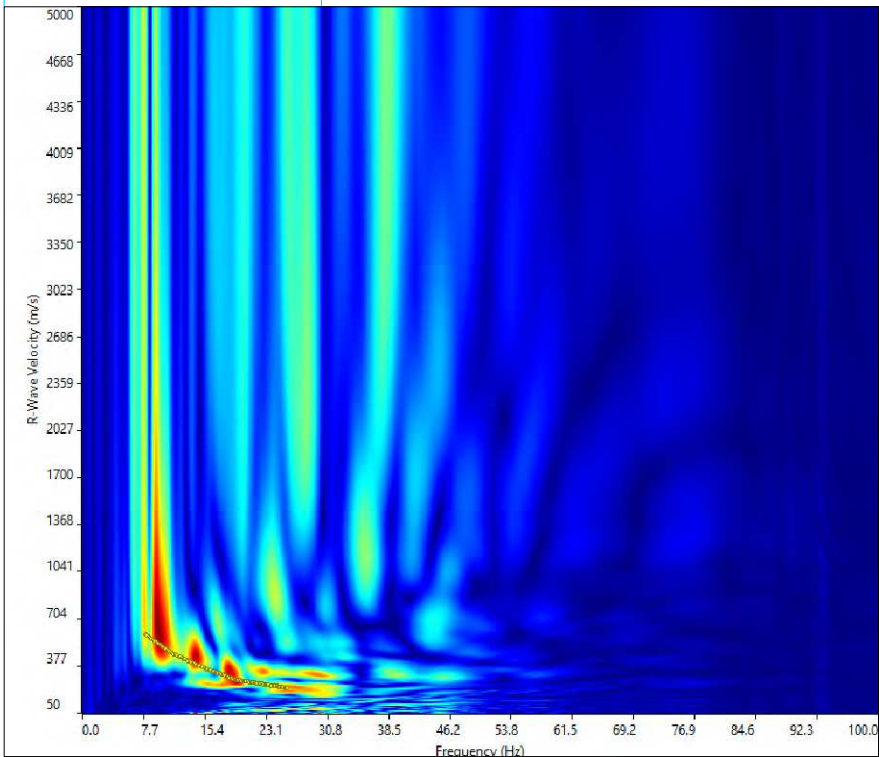
Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

Rif: MASW_1

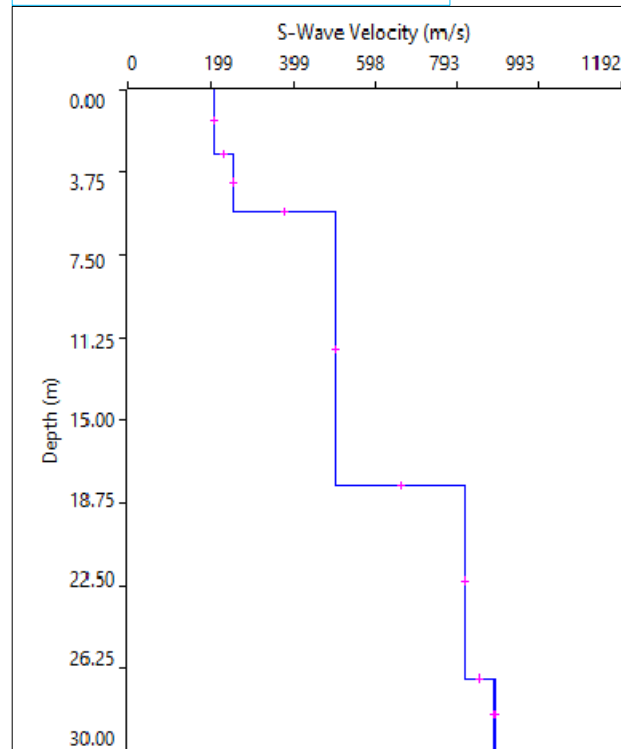
Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Spettro FV



Profilo verticale Vs



Profilo Verticale Vs				Masw 1
Spessore (m)	Profondità (da m)	(a m)	Vs (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
2.90	0.00	2.90	207	Vseq (0.00-17.95 m): 365 m/sec
2.65	2.90	5.55	254	
12.40	5.55	17.95	501	
8.71	17.95	26.66	813	Tipo di Suolo: B
3.34	26.66	30.00	883	

Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

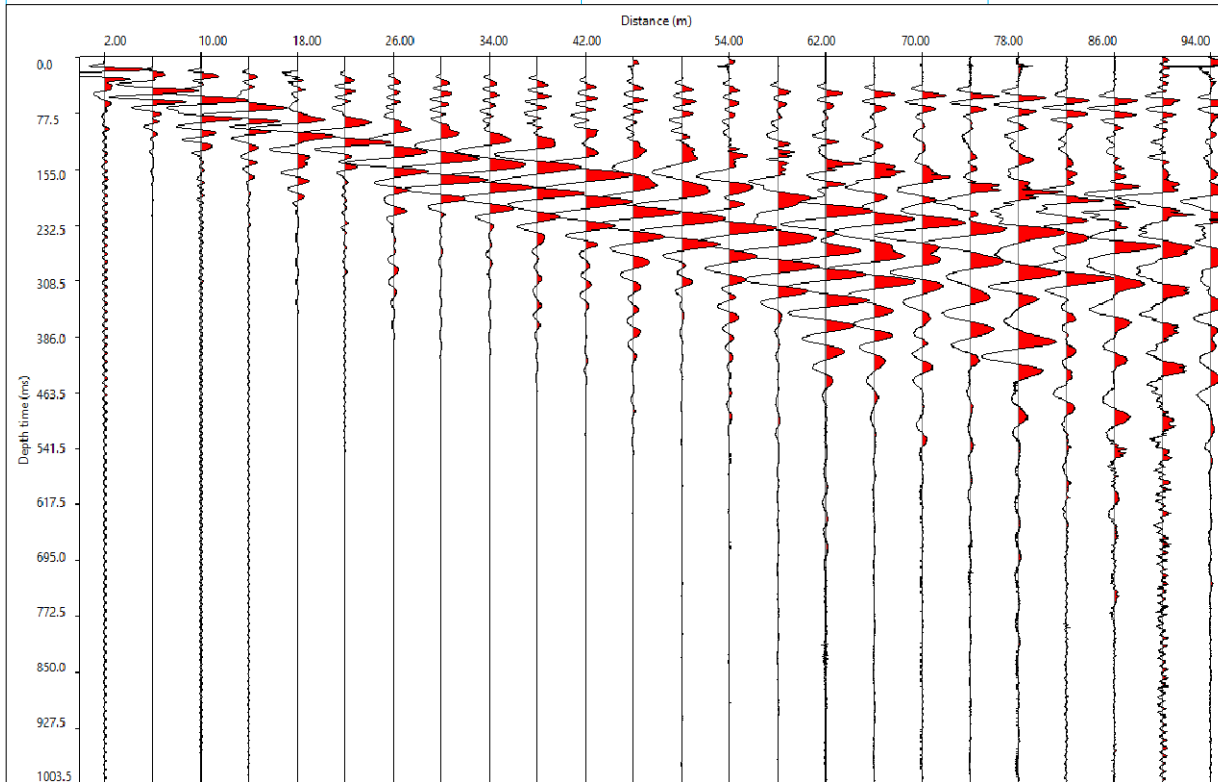
Rif: MASW_2

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

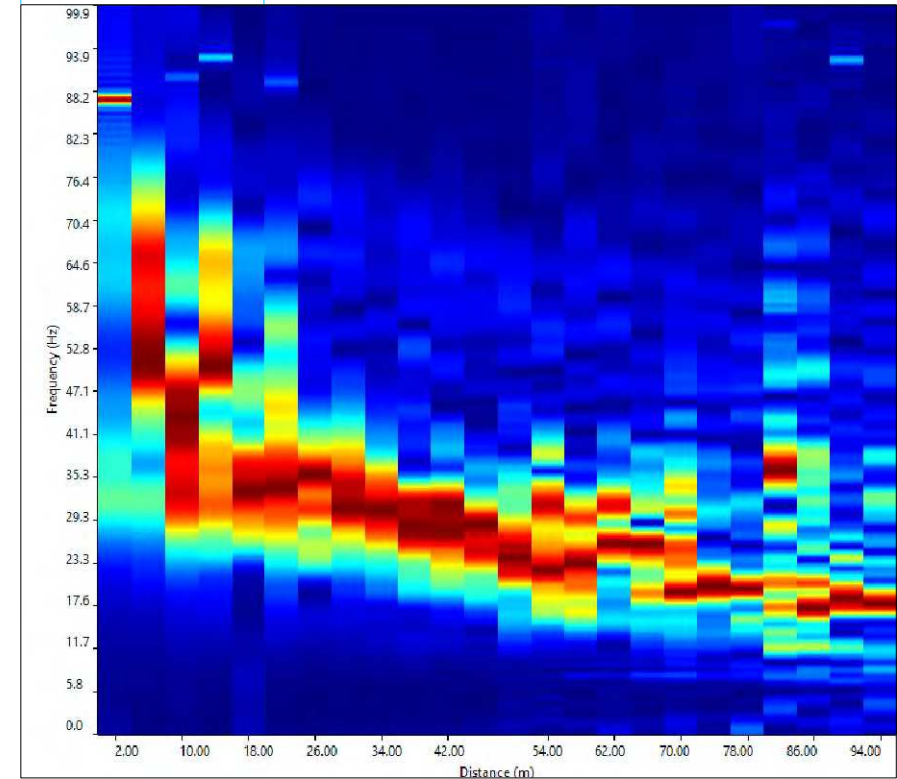
Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Sismogramma di Riferimento

Shot: 2.0m
Passo: 4.0m



Spettro FX



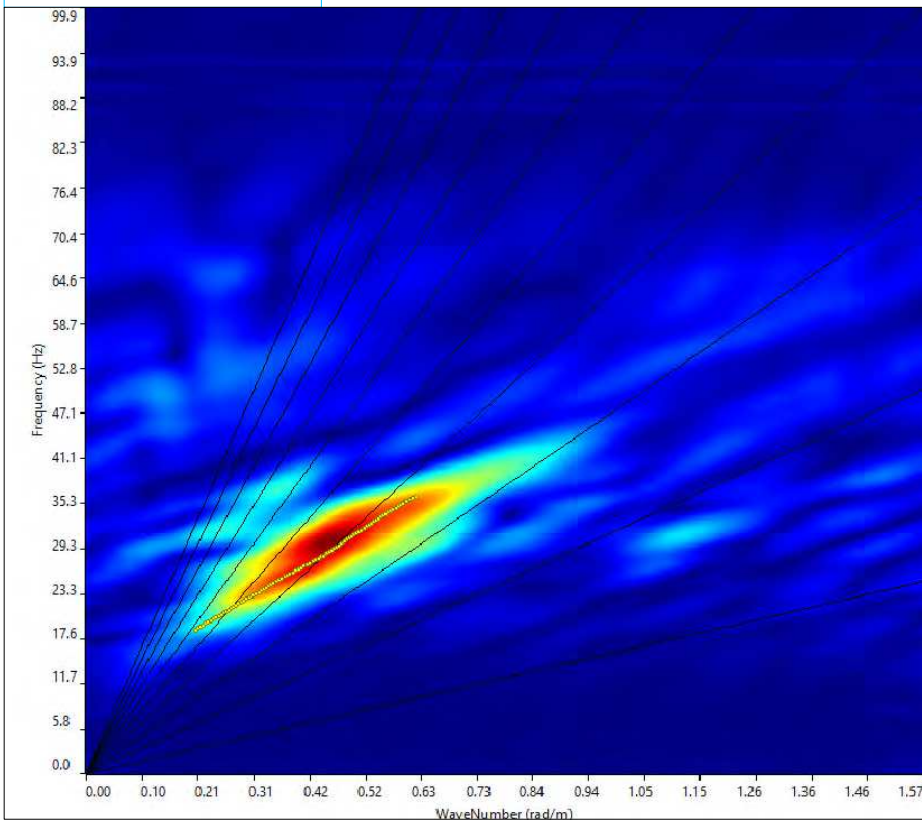
Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

Rif: MASW_2

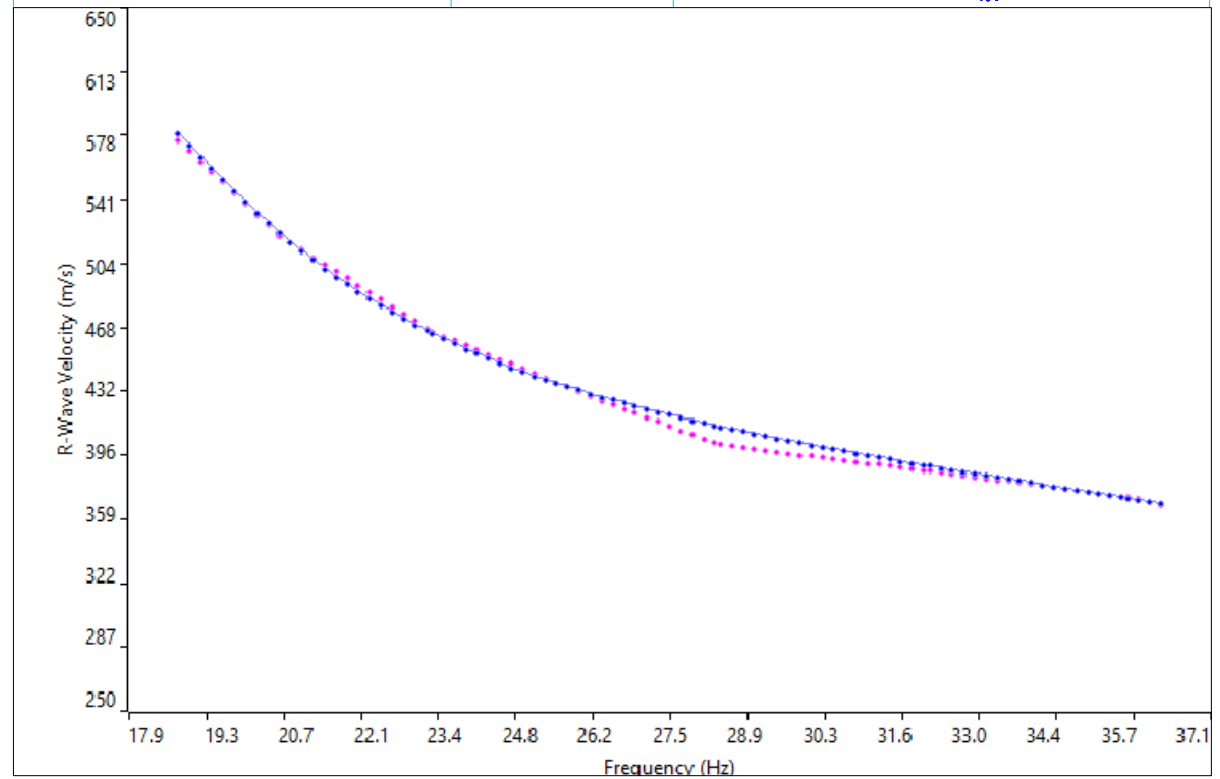
Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Spettro FK



Curve di Dispersione



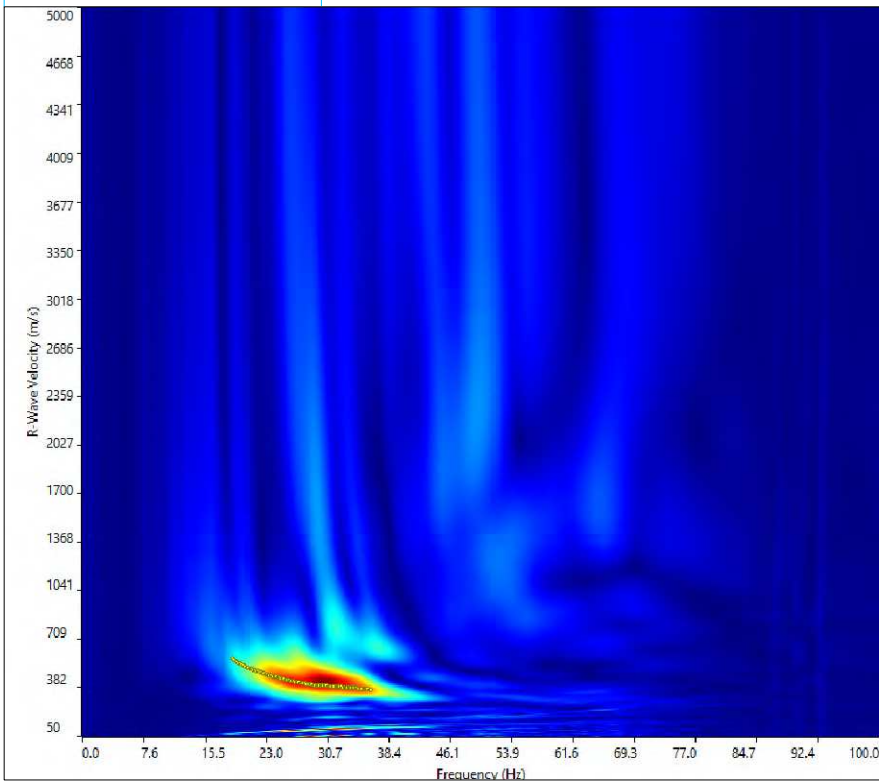
Vseq - Metodo MASW (Multichannel Analysis of Superficial Waves)

Rif: MASW_2

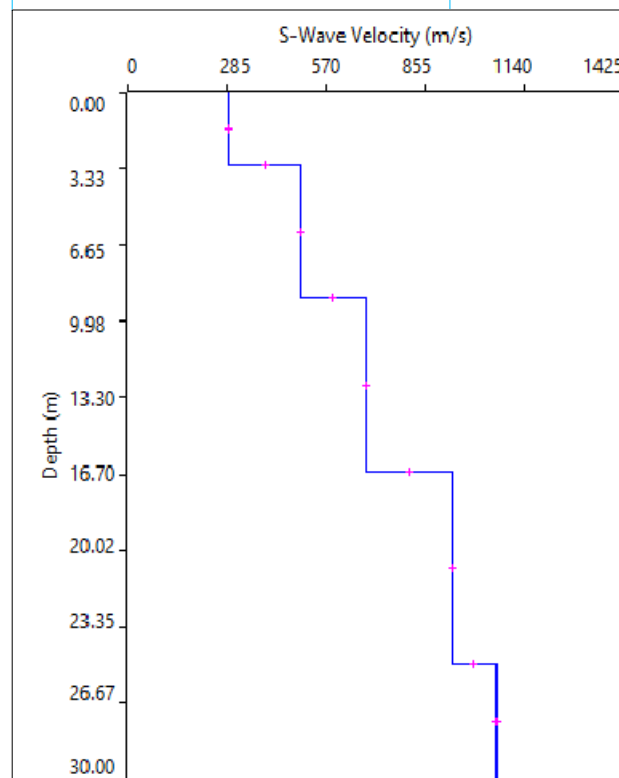
Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)
Data: Giu. 2020

Spettro FV



Profilo verticale Vs



Profilo Verticale Vs				Masw 1
Spessore (m)	Profondità (da m)	(a m)	Vs (m/sec)	Tipo di analisi: Onde di Rayleigh
3.21	0.00	3.21	289	Vseq (0.00-16.56 m): 489 m/sec
5.78	3.21	8.99	495	
7.57	8.99	16.56	684	
8.38	16.56	24.94	931	
5.06	24.94	30.00	1058	Tipo di Suolo: B



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

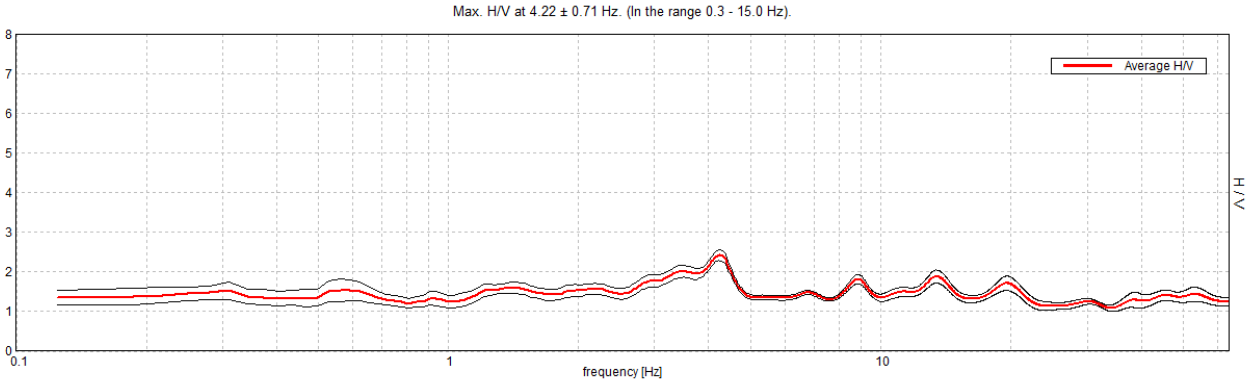
All.4) Referti Misure HVSr

COLOBRARO, COLO HV-1

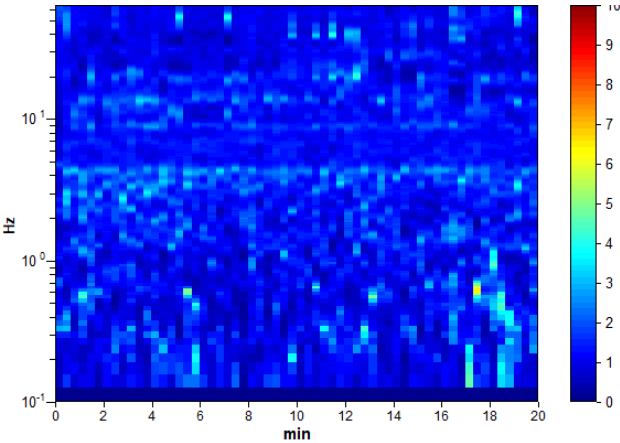
Instrument: TRZ-0157/01-11
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: 51
Start recording: 19/06/20 10:07:42 End recording: 19/06/20 10:27:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

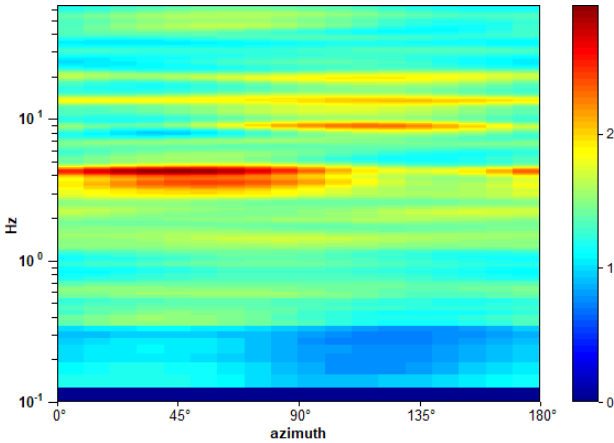
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



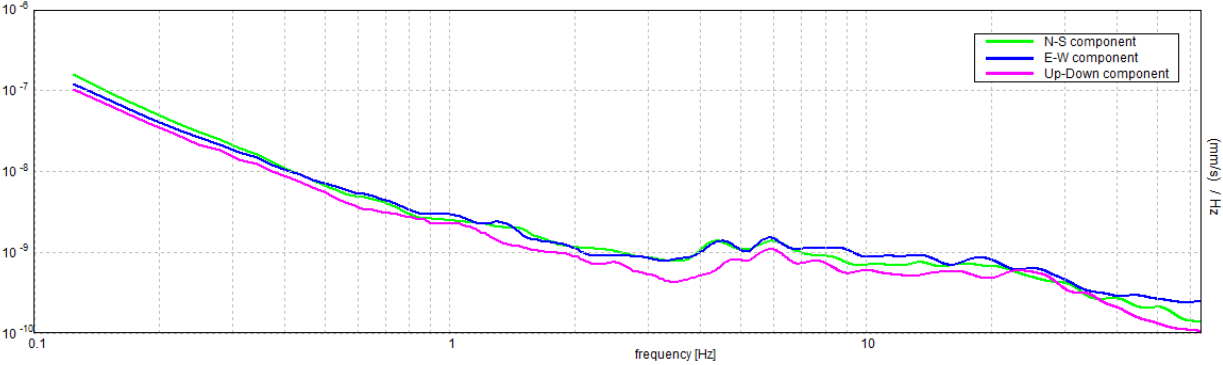
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.22 ± 0.71 Hz (in the range 0.3 - 15.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5062.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 204 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.42 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1691 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.71341 < 0.21094$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1338 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

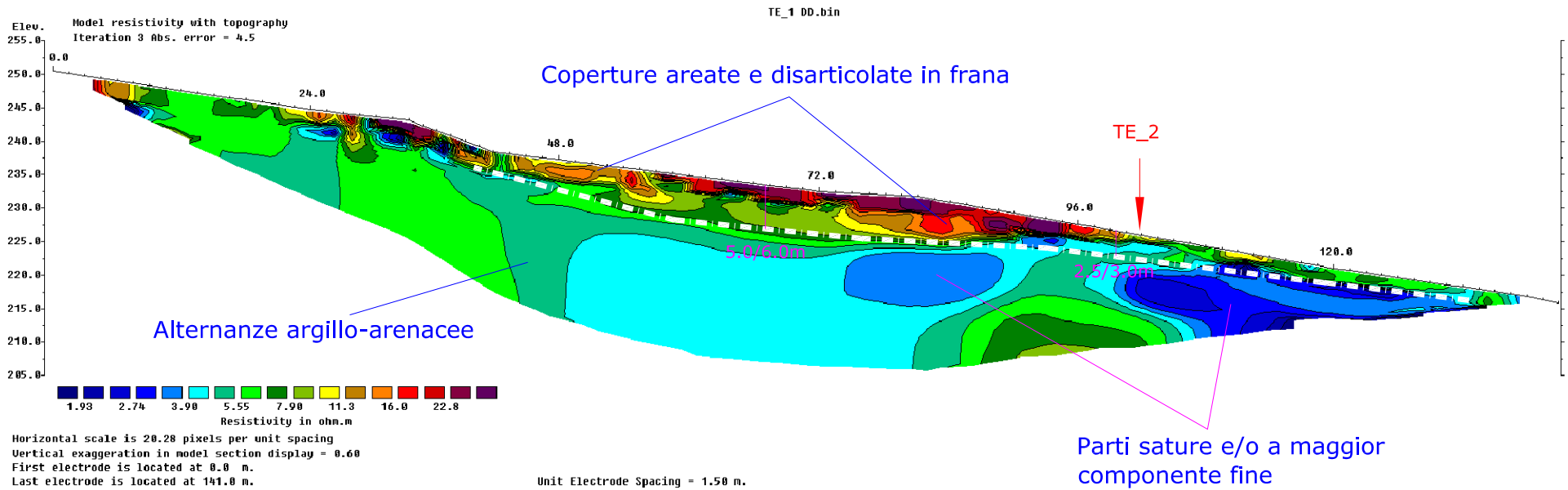
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

All.5) Prospezioni Geoelettriche

ELETTRODI



S.1
 ↓
 Sondaggi meccanici di taratura

Legenda
 Ranges di resistività:

R:	$\rho > 20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$
MR:	$\rho = 10 - 20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$
MC:	$\rho = 5 - 10 \text{ ohm}\cdot\text{m}$
MC:	$\rho < 5 \text{ ohm}\cdot\text{m}$

**TOMOGRAMMA DI RESISTIVITA'
 CON ATTRIBUZIONE STRATIGRAFICA**

TE_1

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"
Committ: Ing. Michele LUPO
 Pomarico (MT)

— Limite Electrostrato Omogeneo (blue, magenta o bianco)
 3-6m Profondità Electrostrato da p.c. (m)

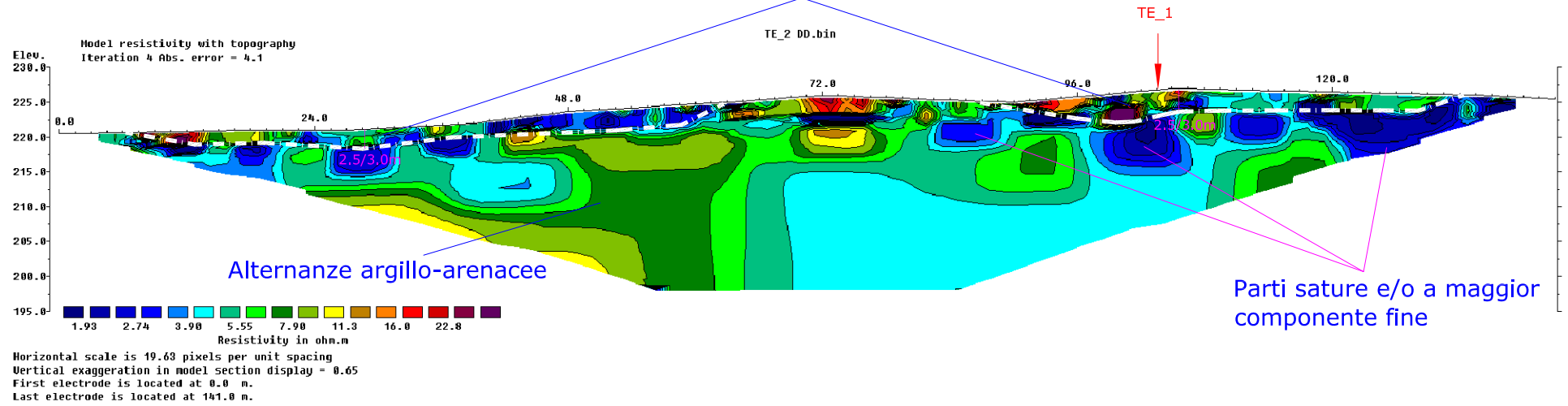
1	2
●	●
	Elettrodi acciaio inox
	Spazio elettrodi: 3.0m

Data: Giu. 2020

ELETTRODI



Coperture sature disarticolate in frana



S.1
 ↓
 Sondaggi meccanici di taratura

Legenda
 Ranges di resistività:

R:	$\rho > 20 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MR:	$\rho = 10 - 20 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MC:	$\rho = 5 - 10 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MC:	$\rho < 5 \text{ ohm} \cdot \text{m}$

TOMOGRAMMA DI RESISTIVITA'
 CON ATTRIBUZIONE STRATIGRAFICA

TE_2

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica
 al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"
 Committ: Ing. Michele LUPO
 Pomarico (MT)

Limite Electrostrato Omogeneo
 (blue, magenta o bianco)

3-6m Profondità Electrostrato da p.c. (m)

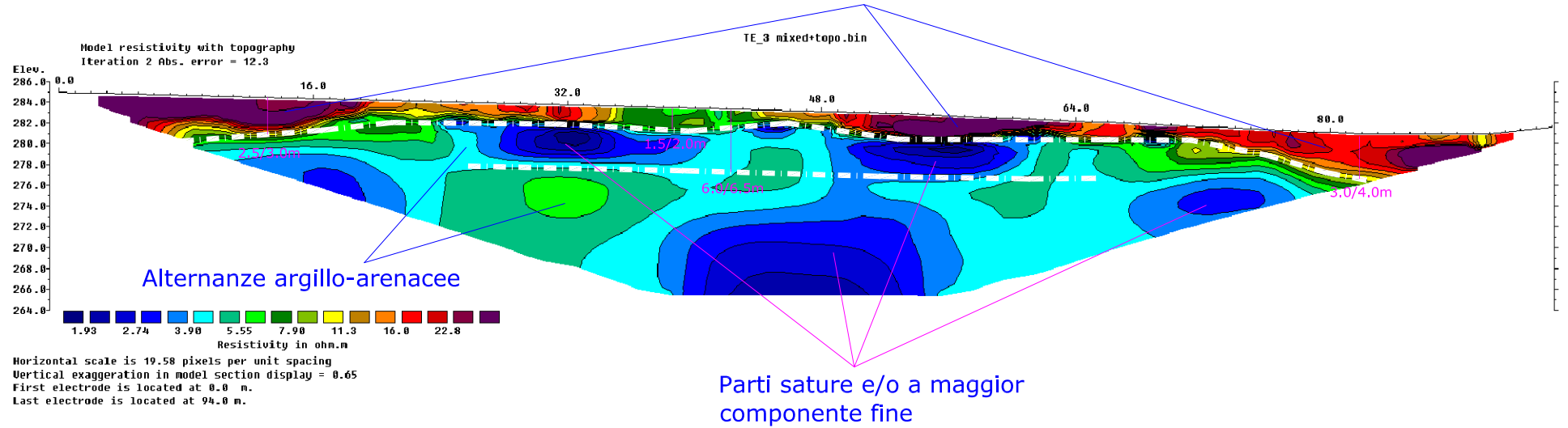
1	2
•	•
	Elettrodi acciaio inox
	Spazio elettrodi: 3.0m

Data: Giu. 2020

ELETTRODI



Coperture areate e disarticolate, talora in frana



S.1
Sondaggi meccanici di taratura

Legenda
Ranges di resistività:

R:	$\rho > 20$ ohm*m
MR:	$\rho = 10-20$ ohm*m
MC:	$\rho = 5-10$ ohm*m
MC:	$\rho < 5$ ohm*m

TOMOGRAMMA DI RESISTIVITA'
CON ATTRIBUZIONE STRATIGRAFICA

TE_3

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica
al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)

Limite Electrostrato Omogeneo
(blue, magenta o bianco)

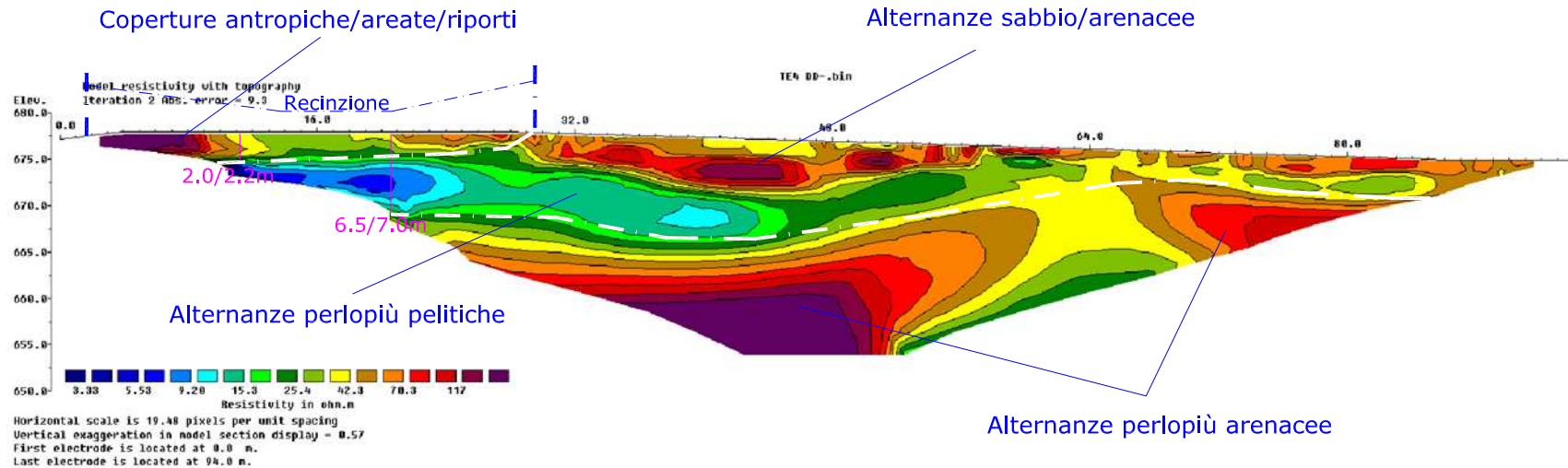
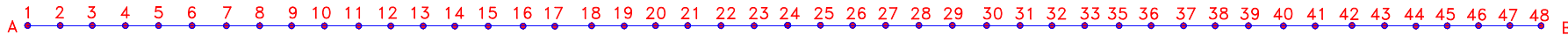
3-6m Profondità Electrostrato da p.c. (m)

1	2
●	●
	Elettrodi acciaio inox
	Spazio elettrodi: 2.0m

Data: Giu. 2020

progeo
indagini geofisiche
www.progeomatera.it

ELETTRODI



Coperture antropiche/areate/riporti

Alternanze sabbio/arenacee

Recinzione

2.0/2.2m

6.5/7.0m

Alternanze perlopiù pelitiche

Alternanze perlopiù arenacee

S.1

Sondaggi meccanici di taratura

Legenda
Ranges di resistività:

- R: $\rho > 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
- MR: $\rho = 50 - 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
- MC: $\rho = 10 - 50 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
- MC: $\rho < 10 \text{ ohm} \cdot \text{m}$

TOMOGRAMMA DI RESISTIVITA'
CON ATTRIBUZIONE STRATIGRAFICA

TE_4

Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica
al Sito Attrattore di Colobraro "Il Paese della Magia"

Committ: Ing. Michele LUPO
Pomarico (MT)

Limite Electrostrato Omogeneo
(blue, magenta o giallo)

3-6m Profondità Electrostrato da p.c. (m)

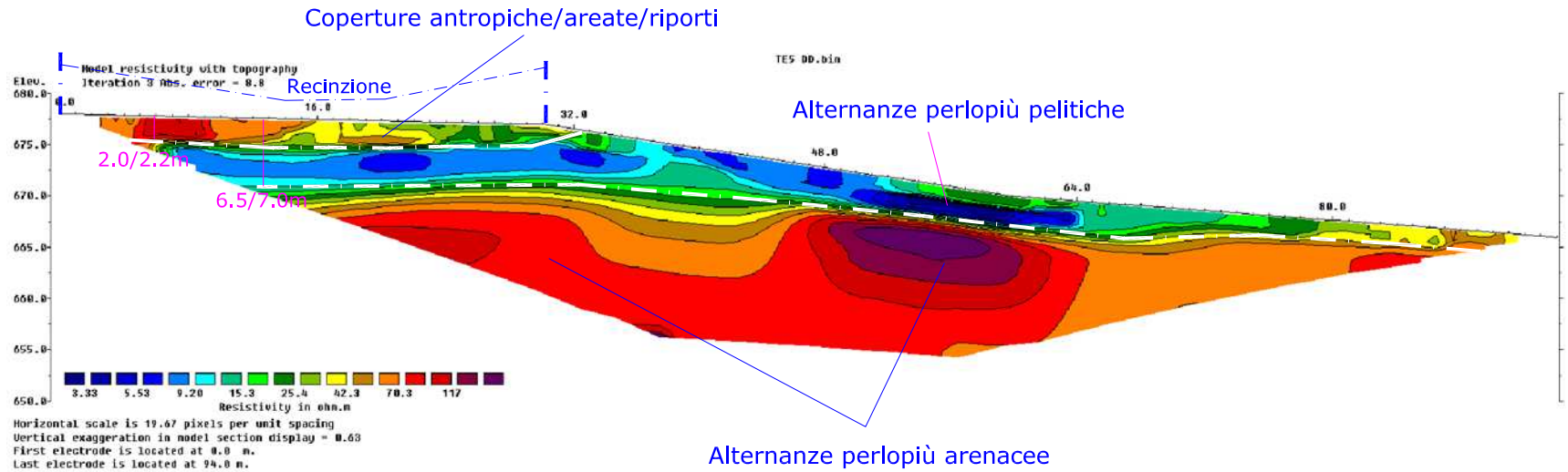
1

2

Elettrodi acciaio inox
Spazio elettrodi: 2.0m

Data: Giu. 2020

ELETTRODI



S.1
 Sondaggi meccanici di taratura

Legenda
 Ranges di resistività:

R:	$\rho > 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MR:	$\rho = 50 - 100 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MC:	$\rho = 10 - 50 \text{ ohm} \cdot \text{m}$
MC:	$\rho < 10 \text{ ohm} \cdot \text{m}$

**TOMOGRAMMA DI RESISTIVITA'
 CON ATTRIBUZIONE STRATIGRAFICA**

TE_5

**Rif.: Interventi per il miglioramento dell'Accessibilità Turistica
 al Sito Attrattore di Colobrarò "Il Paese della Magia"**

**Committ: Ing. Michele LUPO
 Pomarico (MT)**

Limite Electrostrato Omogeneo
 (blue, magenta o bianco)

3-6m Profondità Electrostrato da p.c. (m)

1	2
•	•
	Elettrodi acciaio inox
	Spazio elettrodi: 2.0m

Data: Giu. 2020



DR. G.M. VIZZIELLO- INDAGINI GEOFISICHE - IN SITO – CARATTERIZZAZIONI AMBIENTALI
VIA LA MARTELLA,126 – 75100 MATERA – 0835-381960-261746

All.6) Documentazione Fotografica



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Sismico Base SS1 (vista NE)



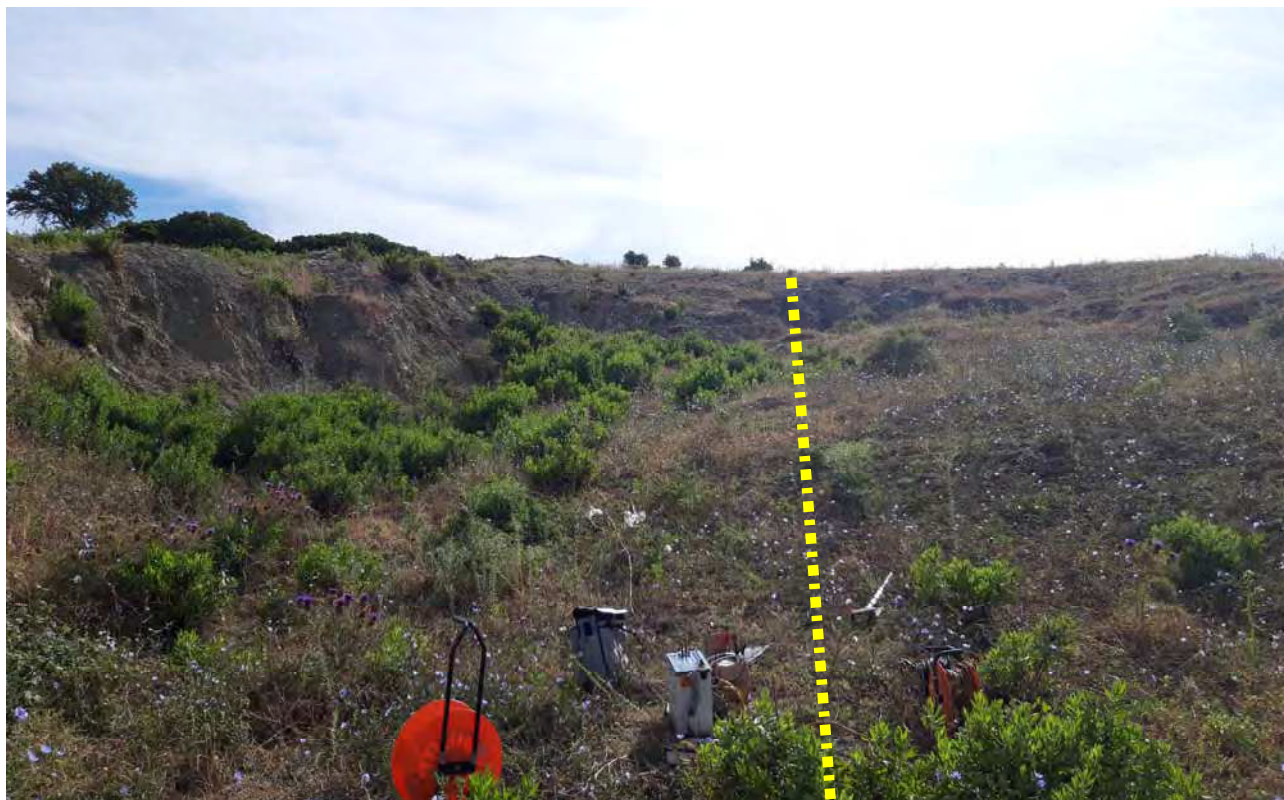
Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Sismico Base SS1 (vista SW)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Sismico Base SS2 (vista NE)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Sismico Base SS2 (vista SW)



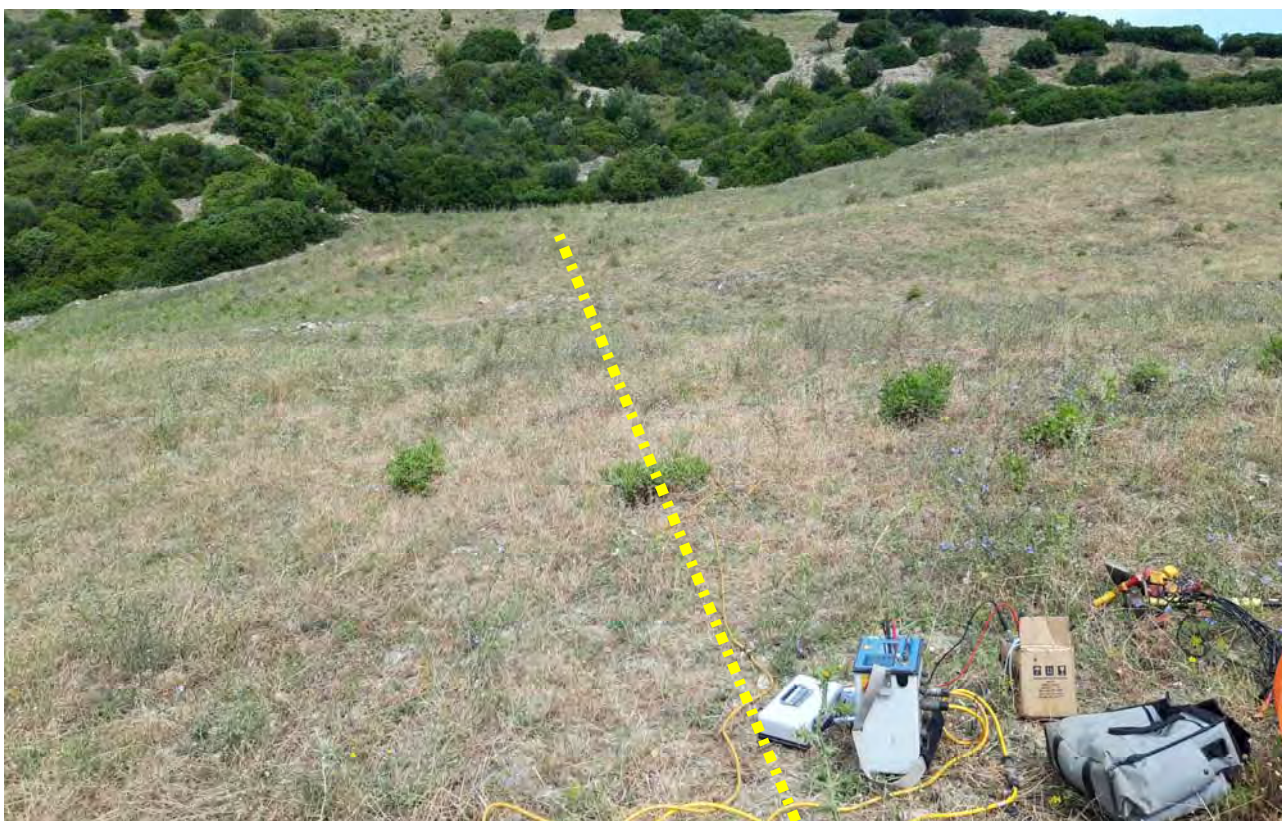
Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE1 (vista NE)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE1 (vista SW)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Goelettrico Tomografico TE2 (vista SE)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Rilievo Goelettrico Tomografico TE2 (vista NW)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Misura Rumore Sismico Ambientale HVSR1 (vista NE)



Area di Intervento "C-D" - Postazione Misura Rumore Sismico Ambientale HVSR1 (vista SW)



Area di Intervento "E-F" - Postazione Rilievo Goelettrico Tomografico TE3 (vista NE)



Area di Intervento "E-F" - Postazione Rilievo Goelettrico Tomografico TE3 (vista SW)



Area di Intervento "I" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE4 (vista N)



Area di Intervento "I" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE4 (vista S)



Area di Intervento "I" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE5 (vista W)



Area di Intervento "I" - Postazione Rilievo Geoelettrico Tomografico TE5 (vista E)