Comune di Trani

Regione Puglia

OPERE DI CHIUSURA DEFINITIVA DEL I E DEL II LOTTO DI DISCARICA E IMPIANTI CONNESSI IN LOCALITÀ "PURO VECCHIO" TRANI (BAT)

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE:

AMIU S.p.A.

Sede legale e amministrativa alla Strada Provinciale 168

Località Puro Vecchio 76125 Trani (BT)

Codice Fiscale e Partita IVA 04939590727

PEC: amiutranispa@pec.it

PROGETTO:

Studio Romanazzi-Boscia e Associati s.r.l.

via Amendola 172/c, 70100 Bari - tel.: 080.548.21.87 - Fax: 080.5[illegible]

Prof. Ing. Eligio ROMANAZZI

Dott. Ing. Giovanni F. BOSCIA

Dott. Ing. Sebanino GIOTTA

Dott. Ing. Fabio PACCAPELO

Ing. Federico Cangialosi

Ing. Gianluca Intini

Dott. geol. Vito Specchio

ALLEGATO	2. STUDI E INDAGINI	SCALA:
R.2.2.8	2.2 GEOLOGIA E GEOTECNICA **RELAZIONE GEOFISICA E GEOSTRUTTURALE PARETE III LOTTO**	--- DATA: **GIUGNO 2022**

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE

COMUNE DI TRANI

OGGETTO

SITO DI DIACARICA RSU IN LOCALITÀ PURO VECCHIO.
INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE – LOTTO III

CODICE	ELABORATO
01	**RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE**

COMMITTENTE

AMIU TRANI

PROGETTISTI

ING. CANGIALOSI
TECNOLOGIA E AMBIENTE S.R.L.

GEOLOGIA E MODELLAZIONE

PROFESSOR E GEOLOGO VITO SPECCHIO

RILIEVI E INDAGINI

APOGEO s.r.l.
Via Caduti di Nassiriya, 170 70022 Altamura (BA)
Cod. Fisc. e P. IVA 01037210778
Tel.: 080/3143324 w w w . a p o g e o . b i z
Email: apogeo.altamura@libero.it - PEC: apogeo.altamura@pec.it
OS20A Class. I OS20B Class. III-BIS

IL DIRETTORE TECNICO

APOGEO S.r.l.
Il Direttore Tecnico
Dr. Geol. Pietro Pepe

REV.	DATA	RIFERIMENTO REVISIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	22/06/2022			PEPE	

SCALA		CODICE COMMESSA	2022_119

ELENCO ALLEGATI	
ALL01A- 01B – 01C	PLANIMETRIA UBICAZIONE DELLE INDAGINI
ALL02	INDAGINI GEOLETTRICHE
ALL03A	PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P
ALL 03B	PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL Vs, eq
ALL 04	RADARGRAMMI 2D
ALL 05	DOCUMENTAZIONE STRATIGRAFICA
ALL 06	REPORT DEL RILIEVO GEOMECCANICO
ALL 07	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

INDICE

1. PREMESSA 3
2. PROSPEZIONE GEOELETTRICHE 4

2.1 Descrizione del metodo – configurazioni elettrodiche 2D 4
2.2 Resistività apparente 5
2.3 Strumentazione utilizzata 6
2.4 Descrizione dell'indagine geoelettrica 2D 7
2.5 Elaborazione dei dati 2D 7
2.6 Interpretazione e rappresentazione dei dati 7

3. PROSPEZIONE SISMICA 9

3.1 Prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P 9
3.2.1 Descrizione del metodo e della strumentazione 9
3.2.2 Acquisizione dei dati 9
3.2.3 Elaborazione dei dati 9
3.2.4 Rappresentazione dei dati 10
3.2.5 Interpretazione dei risultati 10

3.2 Prospezione sismica per la stima del Vs,eq 12
3.2.1 RE.MI. - (Refraction Microtremor) - Descrizione del metodo e della strumentazione 12
3.2.2 RE.MI. - Acquisizione dei dati 12
3.2.3 RE.MI. - Elaborazione dei dati 12
3.2.4 RE.MI. - Rappresentazione dei risultati 13
3.2.5 RE.MI. – Interpretazione dei risultati 13

4. stima dei moduli elastici dinamici 16
5. INDAGINI GEORADAR 20

5.1 Descrizione del metodo 20
5.2 Limiti della metodologia 22
5.3 Utilizzo del GPR – IDS 22
5.4 Strumentazione utilizzata 23
5.5 Modalità di esecuzione 23
5.6 Elaborazione dei dati 24
5.6.1 Ringing noise 25
5.6.2 Background removal 25

5.7 Rappresentazione dei dati e analisi dei risultati 25

6. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO 28
7. videoispezioni 28
8. CALASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO 29

8.1 RILIEVO GEOSTRUTTURALE 29
3.2.6 Descrizione del metodo 30
3.2.7 Parametri geometrici misurati 31
3.2.8 Parametri meccanici misurati 31

8.2 Classificazione di Bieniawski dell'ammasso roccioso 36

ALLEGATO 01A-01B-01C – PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI 42
ALLEGATO 02: INDAGINI GEOELETTRICHE 46
ALLEGATO 03A - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P 50
ALLEGATO 03B – PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL Vs,eq 56
ALLEGATO 04 – RADARGRAMMI 2D 63
ALLEGATO 05 – STRATIGRAFIE 81
ALLEGATO 06 – REPORT DEL RILIEVO GEOMECCANICO 90
ALLEGATO 07 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 100

1. PREMESSA

Il presente elaborato descrive la campagna di indagini geognostiche e geostrutturali eseguite presso la discarica Amiu, in località "Puro Vecchio", nel comune di Trani

Il piano d'indagine previsto al fine di investigare adeguatamente il sottosuolo in esame è consistito nella esecuzione di:

- n. **3** prospezioni geoelettriche 2D con stendimento da 48 elettrodi a spaziatura 4,5-5,00 e 8,00 m, di lunghezza complessiva 230, 208, 376m, (**E.R.T.01÷ E.R.T.02÷ E.R.T.03**) eseguita secondo le configurazioni polo-dipolo, dipolo-dipolo assiale e Wenner al fine di ottenere un modello di resistività del sottosuolo;
- N. **2** prospezioni di sismica a rifrazione in onde P (onde P.01 e onde P.02) ubicato lungo le basi sismiche BS01 e BS02
- n. **2** prospezioni di sismica passiva con tecnica RE.MI., per la determinazione delle onde di taglio(S), (RE.MI.01 e RE.MI.02) ubicate lungo le basi sismiche BS01 e BS02; tale tecnica, che misura il tempo di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, prodotte da sorgenti naturali, consentirà di rilevare il dato sismico a maggiori profondità.
- N.**34** acquisizioni georadar con antenna a doppia frequenza da 200-600 MHz per un totale di circa 1,5 Km lineare
- N. **4** sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- N.**3** videoispezioni in fori di sondaggio

Nei capitoli successivi saranno descritte le strumentazioni, le modalità operative e i risultati applicate nella campagna di indagini geognostiche, e le ubicazioni delle indagini sono consultabili nell'allegato planimetrico 01A,01B,01C.

Di seguito uno stralcio planimetrico dell'area di indagine.

ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELL'AREA D'INDAGINE

2. PROSPEZIONE GEOELETTRICHE

Il metodo elettrico, in generale, consente di caratterizzare il sottosuolo attraverso la determinazione delle proprietà elettriche e ottenere informazioni per la ricostruzione del modello geostrutturale individuando anomalie stratigrafiche e tettoniche (cavità, terra rossa, faglie e fratture) o zone maggiormente conduttive per la presenza di acquiferi sotterranei. Il parametro fisico determinato per mezzo delle suddette indagini è la resistività apparente (ρa) che dipende dalla composizione mineralogica, dalla granulometria e dal contenuto in acqua della roccia.

2.1 Descrizione del metodo – configurazioni elettrodiche 2D

Le configurazioni elettrodiche da utilizzare sono varie e dipendono dal contesto geologico in cui ricade l'area e dalla natura dei targets dell'indagine. Gli array più utilizzati sono il Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Wenner. La configurazione del Dipolo-Dipolo assiale ha una maggiore risoluzione nel definire la distribuzione delle resistività apparenti nel sottosuolo lungo direzioni laterali, la configurazione Wenner evidenzia meglio le variazioni di resistività in un sottosuolo stratificato orizzontalmente mentre la configurazione del Polo-Dipolo consente di raggiungere profondità di investigazione maggiori.

Il metodo elettrico secondo le configurazioni Dipolo-Dipolo assiale, Polo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Wenner consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB) e di misurare la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta nel terreno tramite un dipolo di misura (MN); in tutte le configurazioni i dati sono acquisiti variando le posizioni degli elettrodi con tutte le combinazioni al fine di creare una griglia di punti sufficientemente densa (elaborazione tomografica). Nel Polo-Dipolo gli elettrodi di trasmissione sono posti uno sull'allineamento principale e l'altro ad una distanza solitamente non inferiore a tre volte la lunghezza dello stendimento.

La geometria del metodo elettrico consente di investigare l'area dalla superficie fino ad una profondità massima nel punto centrale dello stendimento pari a circa 0.2 L, dove L è la distanza massima fra i centri dei dipoli AB ed MN. Noti i valori di corrente immessi nel terreno tramite il dipolo AB e noti i valori di d.d.p. generati nei vari punti, si può calcolare la resistività apparente secondo la seguente formula:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

dove:

- K = fattore geometrico del dispositivo; dipende dalla geometria del dispositivo e varia al variare delle distanze fra i dipoli;
- ΔV = differenza di potenziale, misurata in milliVolts, creata sul dipolo MN;
- I = intensità di corrente, misurata in milliAmpere, generata dal dipolo AB.

Nell'area oggetto dell'indagine sono state utilizzate le configurazioni dipolari dipolo-dipolo assiale e polo-dipolo.

2.2 Resistività apparente

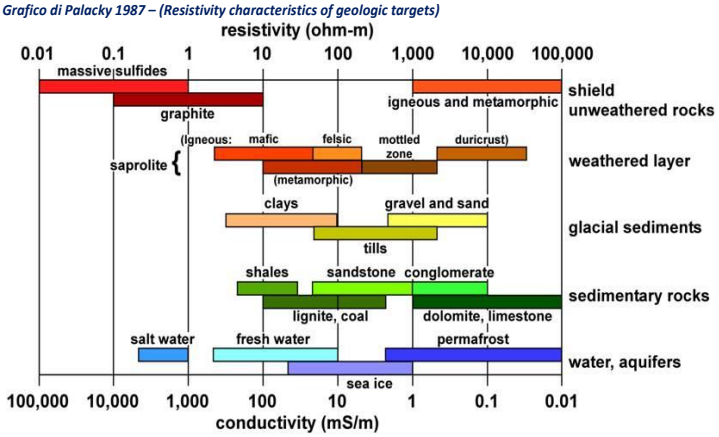
La resistività delle terre e delle rocce varia di diversi ordini di grandezze e dipende generalmente dal tipo di roccia, dalla porosità, dal collegamento fra i pori, dalla presenza o meno di fluidi, dalla presenza di materiale metallico nella matrice solida.

La maggior parte delle rocce sono costituite da minerali silicei che generalmente hanno una bassa conducibilità elettrica. I minerali più conduttivi sono rappresentati da magnetite, ematite, carbone, grafite, pirite e pirrotite. La porosità delle rocce incide significativamente sulla resistività. La presenza di acqua o fluidi nei pori fa generalmente abbassare i valori di resistività delle rocce. Ai fini dell'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche è fondamentale la conoscenza del modello geologico di partenza dell'area, del target dell'indagine e la taratura delle prospezioni geofisiche con indagini di tipo diretto. Infatti è possibile che rocce diverse siano caratterizzate dalla stessa resistività. Inoltre i ranges di resistività delle varie formazioni sono variabili, in funzione delle condizioni locali, della porosità, del grado di saturazione, del grado di alterazione ecc. In aggiunta nelle prospezioni geoelettriche, come negli altri metodi geofisici vale il principio di equivalenza, ovvero la possibilità che è più modelli di sottosuolo possono produrre lo stesso modello di resistività. L'acquisizione di dati 2D riduce notevolmente il problema legato a tale principio. Nella tabella e nel grafico di Palacky, riportati di seguito, sono indicati i ranges tipici dei valori di resistività di alcuni tra i terreni costituenti il sottosuolo.

Tabella – Resistività delle rocce (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara – Rapolla – Roberti e da "La prospezione Geofisica in campo ambientale" della Provincia di Milano).

LITOTIPO	RESISTIVITA' (Ohm x m)
Acqua di mare	2-3
Acqua	10
Argille, marne, grasse	3-30
Argille, marne magre	10-40
Rifiuti domestici	12-30
Suolo di copertura	10-200
Argille sabbiose, silt	25-105
Fanghi industriali	40-200
Sabbie con argille	50-300
Detrito alluvionale	50-1000
Olio esausto	150-700
Tufi	150-900
Sabbia, ghiaia in falda	200-400
Arenaria	300-3000
Calcare, dolomie, gesso	500-10000
Sabbia, ghiaia asciutta	800-5000
Gneiss	400-6000
Granito	2000-10000

Grafico di Palacky 1987 – (Resistivity characteristics of geologic targets)



(from Palacky, 1988)

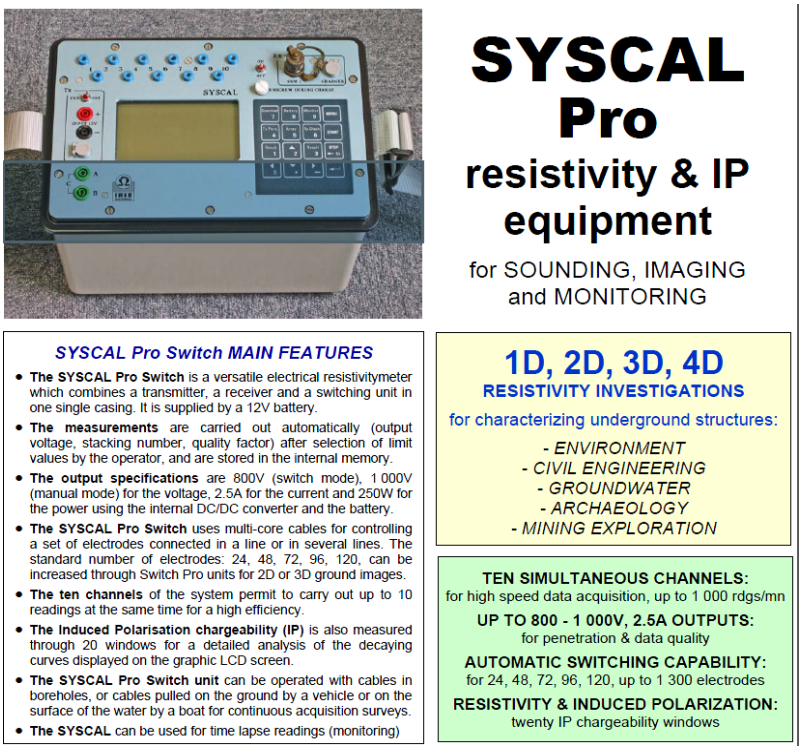
2.3 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita dal georesistivimetro Syscal Pro Switch 96 composto da:

- n. 2 batterie per l'invio di corrente elettrica;
- un trasformatore che consente uscite di corrente variabile da 120 Volt a 800 Volt;
- un sistema automatico di registrazione dati;
- n. 48 picchetti in acciaio inox connessi mediante cavi elettrici per l'invio della corrente e la misura dei potenziali. I picchetti sono stati disposti a equidistanza rispettivamente di 4,50 5,00 e 8.00m.

Il sistema SYSCAL R10 a 96 elettrodi consente di eseguire misure geoelettriche secondo tutte le metodologie conosciute ed in particolare è possibile eseguire, laddove ci sono gli spazi necessari, anche tomografie elettriche con profondità di indagine che possono raggiungere i 100 metri. Inoltre, è possibile realizzare una griglia sul terreno ed eseguire acquisizioni tridimensionali.

I tempi di acquisizione per ogni singola misura di resistività possono variare da 250ms a 1000ms.



2.4 Descrizione dell'indagine geoelettrica 2D

In questa campagna di indagine sono stati eseguiti n. 3 profili elettrici singoli secondo le configurazioni dipolo-dipolo, polo-dipolo e Wenner in ciascuna area di lunghezza pari a 230, 208 e 376m avendo utilizzato 48 elettrodi spaziati ogni 4,5, 5.0 e 8.0m, chiamate **ERT01**, **ERT02** e **ERT03**.

I profili elettrici sono stati ubicati così come mostrato nella planimetria in **Allegato 01A.**

L'acquisizione ha consentito di elaborare i dati secondo una modellazione bidimensionale (profilo) dello spazio investigato, valutando quantitativamente i volumi di aree elettricamente omogenee. I dati sono stati interpolati ed elaborati con il Software RES2DINV.

La profondità massima d'investigazione, letta nel punto centrale della pseudosezione ottenuta utilizzando i dati rilevati mediante la configurazione polo-dipolo è di circa 90 m.

2.5 Elaborazione dei dati 2D

I valori di resistività apparente calcolati sono stati riportati su una griglia il cui asse orizzontale indica la direzione dello stendimento e l'asse verticale indica la profondità. Fissati i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante un opportuno *countouring* si ottengono delle sezioni che consentono di dare un'interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati.

L'interpolazione e l'elaborazione dei dati acquisiti eseguita mediante il software RES2DINV ha restituito un modello il più prossimo possibile alla reale situazione geologica che insiste nel sottosuolo dell'area investigata.

2.6 Interpretazione e rappresentazione dei dati

Dall'analisi delle sezioni geoelettriche elaborate, si evince che il sottosuolo investigato è caratterizzato da un elettrostrato principale, definito da valori di resistività medio-alti, correlabili ad un ammasso calcareo da mediamente a molto fratturato e caratterizzato da

nuclei conduttivi associabili alla presenza di terra rossa e/o di cavità riempite di terra rossa. Al fine di individuare il modello di resistività che meglio rappresenta il sottosuolo, sono state rappresentate, nell'**Allegato 02**, le sezioni elettriche relative alle ERT01, ERT02 e ERT03 elaborate con il software RES2DINV ricavata mediante l'utilizzo delle configurazioni dipolo-dipolo, polo-dipolo e Wenner.

Al fine della comprensione dei dati interpretativi, è opportuno specificare, l'anomalia geofisica è definita in letteratura come una deviazione di un valore di una grandezza da un valore atteso, e che i dati geofisici risentono del principio di equivalenza, ovvero della possibilità che modelli di sottosuolo diversi restituiscano modelli geofisici analoghi, pertanto, l'esperienza del geologo-geofisico consente di interpretare i dati e definire gli algoritmi di inversione più idonei, le tipologie e le quantità di indagini dirette di taratura.

3. PROSPEZIONE SISMICA

3.1 Prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P

3.2.1 Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito.
Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità.
I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche.
Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello A6000/S con acquisizione computerizzata dei dati e in una sorgente del tipo ad impatto verticale per la generazione di onde rilevate da 24 geofoni rispettivamente di frequenza pari a 14Hz per le onde P.

3.2.2 Acquisizione dei dati

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione, in onde P (**BS01** e **BS02**), entrambe di lunghezza pari a 125 m per ciascuna delle quali sono stati effettuati cinque scoppi.
Infatti, per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento alle basi sismiche **BS01** e **BS02**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 5.0 m, i punti di scoppio A e B sono a 5.0 m rispettivamente dal **1°** e dal **24°** geofono, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio C è posto al centro dello stendimento stesso (fra il **12°** e il **13°** geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra **6°** e **7°** geofono e tra il **18°** e il **19°** geofono, quindi l'intero stendimento per ciascuna di queste basi risulta di 125m.
L'ubicazione del profilo sismico è mostrata nell'**Allegato 01A.**

3.2.3 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- ✓ Inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- ✓ Applicazione dei i filtri "*low-pass*" e "*high-pass*" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- ✓ *Picking* dei primi arrivi;
- ✓ Export delle dromocrone;
- ✓ Inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;

- ✓ Definizione del modello sismostratigrafico.

3.2.4 Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti nell'**allegato 03A**: per entrambe le basi sono stati riportati i sismogrammi relativi ai cinque punti di scoppio, le dromocrone, le sezioni tomografiche e i modelli sismostratigrafici. In particolare, l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismostrati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismostratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche.

3.2.5 Interpretazione dei risultati

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante precisare che generalmente:

a) i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
b) la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h<0.25*z$.
c) nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
d) i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Riguardo al punto d) (vedi Zezza1-1976), possono essere distinti 5 differenti gradi di carsificazione ai quali corrispondono le seguenti caratteristiche dell'ammasso roccioso carsificato:

e) grado V: Vp = 0,7-1,0 km/sec. Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto i cui relitti si trovano inglobati in abbondanti terre rosse;
f) grado IV: Vp = 1,1-1,9 km/sec. Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto attraversata in ogni senso da cavità carsiche attive e fossili;
g) grado III: Vp = 2,0-3,0 km/sec. Diffusa presenza di cavità collegate ai processi di dissoluzione carsica;
h) grado II: Vp = 3,1- 4,5 km/sec. Giunti di fessurazione interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche;
i) grado I: Vp > 4,5 km/sec. Assenza completa di manifestazioni carsiche; giunti di fessurazione radi e bancate compatte.

Di seguito sono stati riportati, in tabella, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione tipici di ogni litotipo.

Tabella 1.1 – Valori di velocità per le onde di compressione (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara – Rapolla – Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio – Elmi).

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcare fratturato	700-4200
Calcare compatto	2800-6400
Calcare cristallino	5700-6400
Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidride	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

[1] Valutazione geologica-tecnica degli ammassi rocciosi carsificati con particolare riferimento alle aree carsiche pugliesi. Mem. Soc. Geol. It., 14,1976.

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo in corrispondenza delle **Basi Sismiche BS01** e **BS02**. Il sottosuolo investigato è stato distinto, in tre sismostrati ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione. Data la lunghezza degli stendimenti eseguiti, è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità di circa 20.00 metri a partire dalla superficie topografica.
Di seguito si riportano le risultanze di queste basi sismiche eseguite:

- ✓ <u>BS01 in onde P ed S (mediante RE.MI.01): si individuano tre sismostrati</u>

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	680	299	0.00÷0.30	*Materiale di riporto*
2	1550	750	0.30÷3.90	*Calcare da molto a mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*
3	2100	1030	3.30÷15,00	*Calcare da mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*

✓ BS02 in onde P ed S (mediante RE.MI.02): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	672	315	0.00÷0.60	*Materiale di riporto*
2	1410	680	0.60÷4.00	*Calcare da molto a mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*
3	2152	1029	4,00÷15,00	*Calcare da mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*

3.2 Prospezione sismica per la stima del Vs,eq

3.2.1 RE.MI. - (Refraction Microtremor) - Descrizione del metodo e della strumentazione

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio (S) fino alla profondità a cui stazione il bedrock roccioso o un suolo molto rigido (VS,eq) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/1/2018 (G.U. 20 febbraio 2018, n.42 – s.o. n.8), sono stati eseguiti n. 2 profili Re.Mi. (**Re.Mi. 01** e **Re.Mi. 02**) ubicati in corrispondenza rispettivamente della stessa base sismica BS01 e BS02, come mostrato nell'**Allegato 01A**.
La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando semplicemente il rumore di fondo ed elaborando il segnale con un opportuno software.
A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "VS,eq".
Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a 4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della "MAE" modello X3000/S con acquisizione computerizzata dei dati.

3.2.2 RE.MI. - Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- predisposizione degli stendimenti, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spaziati e in linea retta, entrambe di lunghezza pari a 115 metri (**RE.MI.01 e RE.MI.02**);
- esecuzione di 20 registrazioni della durata di 30 sec del rumore ambientale;
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'3000/S.

3.2.3 RE.MI. - Elaborazione dei dati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo.
È importante rilevare che il profilo di ciascun stendimento è stato ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la

risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quelli ottenibili da un rilievo puntuale.
I dati sono stati interpolati ed elaborati con i Software SWAN prodotto dalla Geostudi Astier.

3.2.4 RE.MI. - Rappresentazione dei risultati

Nell'**Allegato 03B** sono stati rappresentati, in tre grafici, le elaborazioni dei dati acquisiti con il metodo RE.MI. e il sismogramma medio di tutte le interazioni, per ciascun stendimento svolto.
Il primo grafico, a partire dallo spettro F-K, mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo.
Nel grafico successivo, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati.
Il grafico successivo riporta il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S.

3.2.5 RE.MI. – Interpretazione dei risultati

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione NTC 2018 è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il Vs,eq, in sostituzione del Vs30, ottenuto attraverso la seguente formula:

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

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo
Vs,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 Vs non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio non si riferisce più necessariamente alla profondità di 30m, ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da Vs non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.
Basandosi sulle indagini sismiche svolte è stata stimata la categoria di suolo di fondazione. Poiché, in questo caso il bedrock o suolo rigido, come è possibile osservare dal seguente foglio di calcolo, è stato rilevato ad una profondità compresa tra **8.20m** e **5.4m** mentre il pacchetto di strati ad esso sovrapposto è contraddistinto da un valore di **602m/s<Vs,eq<675m/**s.

STIMA DEL Vs,eq – RE.MI. 01					
Strati	**Litotipo**	**Spessore strato (m)**	**Velocità onda S misurata in sito (m/s)**	**Rapporto spessore velocità**	**Tempi parziali in secondi (onda S misurata)**
h_1	STRATO 1	0,60	299,00	h_1/V_1	0,002
h_2	STRATO 2	7,60	750,00	h_2/V_2	0,010
H		**8,2**		Σ hi/Vi	0,012
			$V_{S,eq}$ *(misurata)* =	**m/s**	**675**

STIMA DEL Vs,eq – RE.MI. 02					
Strati	**Litotipo**	**Spessore strato (m)**	**Velocità onda S misurata in sito (m/s)**	**Rapporto spessore velocità**	**Tempi parziali in secondi (onda S misurata)**
h_1	STRATO 1	0,60	315,00	h_1/V_1	0,002
h_2	STRATO 2	4,80	680,00	h_2/V_2	0,007
H		**5,4**		Σ hi/Vi	0,009
			$V_{S,eq}$ *(misurata)* =	**m/s**	**602**

Da tale stima ne consegue che il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo "**B**", tale categoria viene nuovamente così definita:

Tabella 3.2. II - Categoria di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato	
Categoria	**Descrizione**
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati

	da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

È opportuno precisare che dal profilo REMI si ricavano i valori di velocità delle onde S lungo la verticale a circa metà della lunghezza dello stendimento fino a una profondità mutevole in funzione della variazione delle frequenze; generalmente, se non ci sono particolari "accidenti", la profondità d'investigazione è pari alla lunghezza dello stendimento; in questo caso per gli stendimenti RE.MI. eseguiti, i modelli sismostratigrafici riportano una profondità dei sismostrati di gran lunga superiore a 30 m, calcolandoli a partire dal piano d'indagine.

4. STIMA DEI MODULI ELASTICI DINAMICI

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P e dalla metodologia RE.MI., sono stati calcolati alcuni parametri geotecnici.
Assegnando, infatti, la densità in sito, ricavata empiricamente mediante l'equazione di Gardner, che lega la densità alla velocità delle onde longitudinali (Vp), sono stati calcolati il coefficiente di Poisson e alcuni moduli elastici dinamici. Le determinazioni dei moduli elastici, eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia.

I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (Rzhevsky et alii,1971) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.
Edin = 8.3Estat + 0,97

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno Ks (Kg/cm3) attraverso la relazione di Vesic (1961):
Ks = Es/B*(1 - υ 2)
dove
B = larghezza della fondazione;
Es = modulo di elasticità del terreno;
υ = coefficiente di Poisson.

Infine per la classificazione geotecnica dell'ammasso, nell'ambito dello stesso foglio di calcolo, attraverso le letture sismiche, sono state determinate indirettamente, i valori di indice di qualità della roccia (RQD), nel caso degli ammassi rocciosi, la coesione dell'ammasso e l'angolo di attrito dello stesso.
Allo stesso tempo, per l'analisi dei pali sottoposti a forze orizzontali e nella verifica a svergolamento è stato determinato, indirettamente, il coefficiente di reazione orizzontale, Kh. Tale modulo viene determinato dalla formula di Chiarugi Maia secondo la quale è funzione di: modulo edometrico, modulo elastico del palo, diametro del palo, coefficiente di Poisson.
In ultimo per effettuare un ulteriore verifica sui fattori di deformabilità delle terre, attraverso la relazione di Imai and Yoshimura, del 1977 sono stati determinati i valori di resistenza alla deformabilità del tipo SPT attraverso i valori delle velocità sismiche di taglio.

Si precisa che il valore delle velocità delle onde di taglio del primo sismostrato, relativamente ad entrambi gli stendimenti re.mi. non sono state rilevate dall'indagine, poiché lo spessore di tale sismostrato è molto esiguo e dunque non facilmente individuabile; lo stesso è stato stimato sulla base dei valori delle onde P e sulla natura del deposito in questione.
Di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti la base sismica eseguita; tali valori si riferiscono all'ammasso pertanto devono essere intesi come valori medi.

Note bibliografiche			
Parametro calcolato	**Bibliografia**	**Unità di misura**	**Formula**
Modulo di Poisson (Bowles 1988)	Simeon Denis Poisson (Fisico e matematico francese)	Grandezza adimensionale	$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{0.5-\sigma}}$
Densità naturale	Equazione di Gardner	gr/cm³	$\rho=0,23Vp^{0,25}$
Correlazione empirica tra Vs e SPT	Imai and Yoshimura, 1977	Grandezza adimensionale	Vs=f/(Nspt)
Coefficiente di sottofondo	Vesic, 1961	Kg/cm³	k=E/[B(1-n2)]
Coefficiente di sottofondo verticale	Vol I di Geotecnica e tecnica delle fondazioni – Cestelli Guidi	Kg/cm³	$K_v = a_2*Ed/b$ dove a2=2/loge(b+2H)/b
Coefficiente di sottofondo orizzontale	Metodo Chiarugi-Maia	Kg/cm³	$k_h = \frac{E_d}{D\cdot(1-\upsilon^2)}\cdot\left(\frac{E_d\cdot D^4}{E_p\cdot J}\right)^{1/12}$ E_d: Modulo edometrico υ: Coefficiente di Poisson E_p: Modulo elastico della sezione, se in ca {Ep= 18000 × √(Rck)} D: Diametro del palo J: Momento d'inerzia della sezione se circolare {J = π × D⁴ / 64}
Modulo di Young dinamico	Bowles 1988	Mpa	$E = Vs^2\ \rho\ .\ [3Vp^2 - 4Vs^2 / Vp^2 - Vs^2]$
Modulo di Young statico	Rzhevsky et all., 1971	Mpa	$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$
Modulo di Bulk	Bowles 1988	Mpa	$K=E_{din}/(3*(1-2*n))$
Modulo di taglio dinamico	Bowles 1988	Mpa	$G_{din} = E_{din}/((2*(1+n))$
Modulo di taglio statico	Bowles 1988	Mpa	$G_{stat}=E_{stat}/(2*(1+n))$
Modulo di Compressione Edometrica	Relazione di Navier	Kh/cm²	$M = E * [(1-n) / (1-n-2*n^2)]$

BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	**680**	**1550**	**2100**
Velocità onde S (m/s):	**299**	**750**	**1030**
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	**6000**	**6000**	**6000**
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	**0,60**	**7,60**	**10,00**
Profondità Media Strato (m)	**0,30**	**4,40**	**13,20**
Modulo di Poisson (ν)	0,38	0,35	0,34
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = 0,23xVp^{0,25} (Gardner at al., 1974)	1,58	1,95	2,10
Porosità % (Ø) (correlazione Rzhesvky e Novik (1971)	44,39%	36,26%	31,12%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	3907	29479	59738
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) Gdin = Edin/((2*(1+ν))	1415	10941	22263
MOD. di BULK (K) (Kg/cm2): K=E_{din}/(3*(1-2*ν))	5433	32143	62861
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhevsky et alii, 1971)	471	3552	7197
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	170	1318	2682
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) ρ*Vp^2 (valido per le terre)	75	477	944
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) M=((Vp*Vp*ρ*(1+ν)*(1-2*ν)/(1-ν)) (relazione di NAVIER)	40	301	609
Rigidità Sismica (γ*V_p) (Tonn/m^2*sec)	**473**	**1459**	**2161**
Frequenza dello Strato	**125**	**25**	**26**
Periodo dello Strato	**0,01**	**0,04**	**0,04**
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)			
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	**>50**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =7,24E-07xVs^{3,15} (Formazioni a prevalente componente argillosa)	**46**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =1,77E-06xVs^{2,80} (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	**15**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =1,60E-06xVs^{2,90} (Depositi Alluvionali)	**24**	**>50**	**>50**
Φ = -80,942*ν^2-105,19*ν+73,668 (angolo di attrito da modello elastico)	**22**	**27**	**28**
Φmin =$Vs_1^{0,44}$-6,2 (angolo di resistenza al taglio minimo)	**42**	**66**	**76**
Φmax =$Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	**48**	**72**	**83**
Cu (coesione non drenata in Kg/cm^2= (Vs/23)$^{1/0,475}$*0,010197 (Dickenson 1990))	**2,26**	**15,65**	**30,51**
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	**1,09**	**2,84**	**3,93**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93)$^{1/0,63}$ *0,010197 (Levesques et al. 2007)	**3,24**	**13,95**	**23,09**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)$^{1/0,372}$ *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	**3,60**	**42,66**	**100,09**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)$^{1/0,510}$ *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010	**1,74**	**10,53**	**19,62**
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	**NA**	**57**	**69**
Φ (angolo di attrito in °)	**NA**	**30**	**30**
C (coesione in kg/cm^2)	**NA**	**2,9**	**3,5**
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delleVp in laboratoio 6000m/sec)	NA	0,258	0,350
Rapporto di velocita al quadrato (VR^2)	NA	0,067	0,123
RQD (0,97x(Vp/VLAB)2*100	NA	6,5%	11,9%
RQD (relazione empirica sui calcari - F. Zezza 1976)	NA	18,4%	28,0%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	**100**	**100**	**100**
D (ipotesi diametro palo in m)	**0,50**	**0,50**	**0,50**
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm^3-->VESIC 1961) k=E/[B(1-ν^2)]	**5,50**	**40,38**	**81,48**
k = 17,2*Vs^{1,25} Kg/cm^3(Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	**2,18**	**6,89**	**10,24**
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm^3 --> K_v = α2*Ed/b dove α2=2/$\log_e$(b+2H)/b	**0,27**	**7,27**	**16,11**
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	**0,34**	**32,46**	**194,17**
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	**2,3**	**2,1**	**2,0**
Q_{ult} (kg/cm^2) =γ_{nat}*vs*(0,1) (Keceli 2012)	**4,73**	**14,59**	**21,61**
Q_{amm}=Q_{ult}/Fs	**2,08**	**7,06**	**10,60**

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	**672**	**1410**	**2152**
Velocità onde S (m/s):	**315**	**680**	**1029**
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	**6000**	**6000**	**6000**
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	**1,20**	**4,80**	**10,00**
Profondità Media Strato (m)	**0,60**	**3,60**	**11,00**
Modulo di Poisson (ν)	0,36	0,35	0,35
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = 0,23xVp^{0,25} (Gardner at al., 1974)	1,58	1,90	2,11
Porosità % (Ø) (correlazione Rzhesvky e Novik (1971)	44,47%	37,57%	30,64%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	4257	23689	60443
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) Gdin = Edin/((2*(1+ν))	1566	8784	22356
MOD. di BULK (K) (Kg/cm2): K=E_{din}/(3*(1-2*ν))	5039	26055	67973
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhevsky et alii, 1971)	513	2854	7282
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	189	1058	2694
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) ρ*Vp^2 (valido per le terre)	73	385	997
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) M=((Vp*Vp*ρ*(1+ν)*(1-2*ν)/(1-ν)) (relazione di NAVIER)	43	242	616
Rigidità Sismica (γ*V_p) (Tonn/m^2*sec)	**497**	**1292**	**2173**
Frequenza dello Strato	**66**	**35**	**26**
Periodo dello Strato	**0,02**	**0,03**	**0,04**
STIMA PARAMETRI GEOTECNICI (VALIDO PER LE TERRE)			
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	**>50**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =7,24E-07xVs^{3,15} (Formazioni a prevalente componente argillosa)	**>50**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =1,77E-06xVs^{2,80} (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	**18**	**>50**	**>50**
N_{SPT} =1,60E-06xVs^{2,90} (Depositi Alluvionali)	**28**	**>50**	**>50**
Φ = -80,942*ν^2-105,19*ν+73,668 (angolo di attrito da modello elastico)	**25**	**27**	**27**
Φmin =$Vs_1^{0,44}$-6,2 (angolo di resistenza al taglio minimo)	**43**	**63**	**76**
Φmax =$Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	**49**	**69**	**83**
Cu (coesione non drenata in Kg/cm^2= (Vs/23)$^{1/0,475}$*0,010197 (Dickenson 1990))	**2,52**	**12,73**	**30,45**
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	**1,15**	**2,57**	**3,92**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93)$^{1/0,63}$ *0,010197 (Levesques et al. 2007)	**3,52**	**11,94**	**23,05**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187)$^{1/0,372}$ *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	**4,14**	**32,78**	**99,83**
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228)$^{1/0,510}$ *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010	**1,92**	**8,69**	**19,58**
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	**NA**	**53**	**69**
Φ (angolo di attrito in °)	**NA**	**29**	**31**
C (coesione in kg/cm^2)	**NA**	**2,7**	**3,5**
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delleVp in laboratoio 6000m/sec)	NA	0,235	0,359
Rapporto di velocita al quadrato (VR^2)	NA	0,055	0,129
RQD (0,97x(Vp/VLAB)2*100	NA	5,4%	12,5%
RQD (relazione empirica sui calcari - F. Zezza 1976)	NA	16,1%	29,0%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	**100**	**100**	**100**
D (ipotesi diametro palo in m)	**0,50**	**0,50**	**0,50**
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm^3-->VESIC 1961) k=E/[B(1-ν^2)]	**5,89**	**32,48**	**83,11**
k = 17,2*Vs^{1,25} Kg/cm^3(Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	**2,33**	**6,09**	**10,22**
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm^3 --> K_v = α2*Ed/b dove α2=2/$\log_e$(b+2H)/b	**0,46**	**4,95**	**16,30**
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	**0,63**	**21,28**	**174,45**
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	**2,1**	**2,1**	**2,1**
Q_{ult} (kg/cm^2) =γ_{nat}*vs*(0,1) (Keceli 2012)	**4,97**	**12,92**	**21,73**
Q_{amm}=Q_{ult}/Fs	**2,33**	**6,23**	**10,39**

5. INDAGINI GEORADAR

5.1 Descrizione del metodo

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione di alcune caratteristiche interne al mezzo indagato. In particolare, è possibile identificare interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica. Tali parametri sono in seguito correlabili a fattori fisici quali la posizione e le caratteristiche di eventuali manufatti sepolti, la presenza di zone umide o di altre non cementate e/o fratturate.

Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, è in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali riflessi sono captati in superficie tramite un'antenna ricevente. La scelta della configurazione, fondata sugli scopi della ricerca, è basata sulla profondità massima d'indagine e sul livello di dettaglio richiesto.

Questi, a loro volta, contribuiscono alla scelta della frequenza dell'antenna; a una bassa frequenza corrisponde, infatti, un'elevata penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa); al contrario ad alte frequenze corrispondono elevati livelli risolutivi con scarsa penetrazione del segnale. La generazione e la ricezione dei segnali a radiofrequenza sono operate da una o più antenne che sono fatte scorrere lungo le superfici da indagare. I dati raccolti, opportunamente elaborati, sono memorizzati e rappresentati su un'unità di controllo che genera anche gli impulsi necessari al funzionamento delle antenne.

Eventuali oggetti presenti sotto le superfici rilevate generano nelle immagini radar ("o radargrammi") alcune caratteristiche forme che vengono definite anomalie georadar.

Le anomalie radar si generano nelle zone dove sono presenti mezzi con diversa costante dielettrica e in presenza di discontinuità del sottosuolo. Tanto più evidente è l'anomalia quanto più forte è il contrasto fra le proprietà fisiche e quanto più omogeneo è il mezzo in cui l'anomalia ricade. Esempi di anomalie georadar sono rappresentati da sottoservizi, cavità, cisterne, strutture sepolte o ordigni bellici.

La riflessione dell'onda radar emessa avviene a causa delle differenti caratteristiche "elettriche''dei materiali attraversati. Tutti i mezzi reali assorbono le onde elettromagnetiche in misura dipendente dalle loro caratteristiche elettriche. In generale un mezzo omogeneo è definito, da un punto di vista elettrico, dalla seguente coppia di valori:

- costante dielettrica relativa (ε);
- conduttività (σ).

La tabella 1 riporta, il lavoro della costante dielettrica relativa e dell'attenuazione (in dB/m) per alcuni dei materiali più comuni. Si può rilevare come la presenza di acqua sia responsabile dell'aumento dei valori di entrambi i parametri, sebbene con intensità diversa dei vari materiali.

Materiale	Attenuazione (in dB/m)		Costante dielettrica	
	Secco	Bagnato	Secco	Bagnato
Asfalto	2-15	2-20	2-4	6-12
Argilla	10-20	20-100	2-10	4-40
Granito	0,5-3	2-5	5	7
Calcare	0,5-10	10-25	7	8
Sabbia	0,01-1	0,03-0,3	4-6	10-30
Cemento/mattoni	2-12	10-25	4-10	10-20
Terreno sabbioso	0,1-2	1-5	4-6	15-30
Terreno argilloso	0,3-3	5-30	4-6	10-15

Tabella 1. Valori di costante dielettrica relativa e attenuazione mostrati dai materiali più comuni.

Da questi valori è possibile risalire al comportamento del mezzo nei confronti della propagazione delle onde elettromagnetiche. Un trasmettitore genera un segnale di tipo impulsivo con una determinata frequenza di ripetizione. La successione di questi impulsi genera un segnale di durata dell'ordine di nanosecondi che è irradiato nel mezzo da un'antenna a larga banda.

La forma dell'impulso trasmesso è opportunamente calibrata in modo da ottenere una distribuzione spettrale di tipo gaussiano dove il valore centrale rappresenta la frequenza caratteristica, (o frequenza centrale) dell'antenna, che corrisponde alla frequenza dominante dell'impulso. La frequenza centrale dell'antenna determina le caratteristiche di risoluzione e di massima profondità di esplorazione.

Il segnale elettromagnetico ricavato è caratterizzato da una serie di picchi. La loro ampiezza dipende principalmente da tre fattori:

- natura del riflettore;
- natura del mezzo tra riflettore ed antenna;
- curva di amplificazione applicata.

5.2 Limiti della metodologia

Il metodo georadar rappresenta una delle metodologie più efficienti nella mappatura di sottoservizi e probabilmente l'unica metodologia applicabile ai fini del presente lavoro. Come tutte le metodologie indirette è caratterizzato da limiti intrinseci legati sia alle caratteristiche del mezzo da investigare sia alle caratteristiche degli oggetti target dell'indagine.

In linea generale si può affermare che:

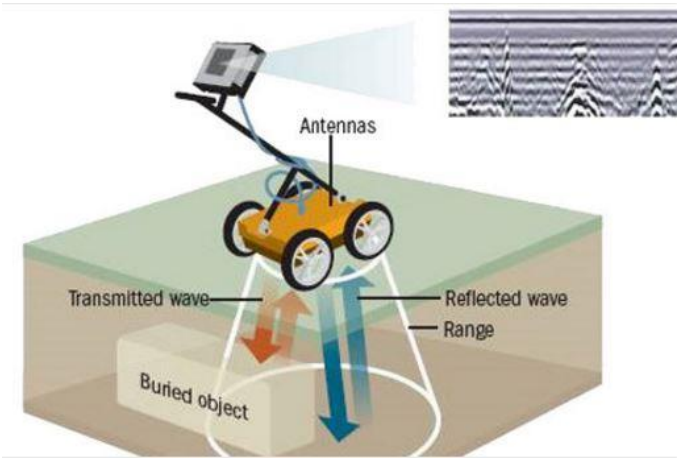
- l'ampiezza dell'onda elettromagnetica (EM) subisce un'attenuazione man mano che si propaga in profondità nel sottosuolo in modo proporzionale all'inverso della distanza.
- La riduzione di ampiezza del segnale è anche legata al tipo di materiale che l'onda EM attraversa, e in particolare alle sue perdite per conducibilità e/o (caso più raro) per isteresi; se il mezzo attraversato dall'onda EM ha un'elevata conducibilità elettrica, l'ampiezza dell'onda EM viene attenuata molto rapidamente; mezzi molto conduttivi sono quelli che contengono acqua, argilla, sali disciolti o elettroliti; elevati valori di conducibilità si rilevano anche nei suoli agricoli saturi di azoto e potassio o nei suoli umidi impregnati di carbonato di calcio.
- I sottoservizi in PVC e di piccolo diametro, soprattutto se frammisti a materiale eterogeneo, sono difficilmente individuabili così come non si riescono ad individuare cavi elettrici a media e bassa tensione.

La costante dielettrica varia in base alla composizione chimica, alla struttura fisica, alla quantità di umidità e alla temperatura del campione roccioso. Due materiali con costante dielettrica molto differente generano riflessioni ad ampiezze diverse; tale ampiezza è più pronunciata, quando le discontinuità sono superficiali.

5.3 Utilizzo del GPR – IDS

Il Ground Penetrating Radar è composto da una unità centrale e un sistema di antenne: ogni antenna funge da un trasmettitore (che trasmette un'onda elettromagnetica) e da ricevitore; il trasmettitore emette un impulso nel suolo e il ricevitore raccoglie le onde di impulso riflesse dalle interfacce tra materiali di diversa proprietà elettriche. Il sistema viene spostato lungo linee acquisendo dati sulla verticale della linea. Le onde riflesse vengono misurate e registrate da un'unità di controllo e i radargrammi vengono visualizzati in tempo reale su un monitor dove l'operatore può eseguire una prima analisi dei dati. Le geometrie di rilievo e le caratteristiche strumentali dipendono dagli obiettivi dell'indagine.

In generale per aumentare la profondità di investigazione è necessario utilizzare antenne a più bassa frequenza. Queste ultime però sono caratterizzate da una minore risoluzione e pertanto per ottenere un maggior dettaglio entro i primi 3 metri di profondità si utilizzano antenne a frequenza maggiore (> di 400Mhz). In ogni caso la profondità di investigazione può diminuire rapidamente per tutte le antenne in presenza di terreni conduttivi.



5.4 Strumentazione utilizzata

L'indagine è stata eseguita utilizzando il sistema radar OneVision della IDS costituito da:

- computer laptop Panasonic Toughbook CF 20;
- unità di controllo montata su carrello a quattro ruote;
- antenne di frequenza da 200Mhz con il sistema radar TR DUAL-F HI-MOD (OneVision);
- antenne di frequenza da 600Mhz con il sistema radar TR DUAL-F HI-MOD (OneVision);
- encoder collegato su una ruota del carrello (OneVision).

Il laptop consente tutte le operazioni di calibrazione del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali il tempo di registrazione, il guadagno e i tipi di filtro da applicare ai segnali elettromagnetici; nonché la visualizzazione del profilo in tempo reale consentendo una rapida valutazione, già durante le operazioni di campagna, della qualità dei segnali registrati. L'unità di controllo genera il segnale che è inviato alla sezione trasmittente che elabora il segnale ricevuto dalla sezione ricevente dell'antenna. All'unità centrale è collegata, tramite un cavo multipolare, l'antenna che ha il compito di trasmettere i segnali elettromagnetici all'interno della struttura da indagare e di ricevere le riflessioni dovute alle interfacce elettromagnetiche presenti alle diverse profondità d'indagine.

5.5 Modalità di esecuzione

Come già detto, le modalità di esecuzione possono variare in funzione delle esigenze dell'indagine, dei tempi disponibili e delle criticità oggettive presenti nelle aree di indagine. In via preliminare e non esaustiva si riportano alcuni dei diversi approcci metodologici e geometrie di rilievo:

1. Rilievi speditivi: individuazione dei sottoservizi in campo senza post elaborazione; tale approccio spesso è sufficientemente preciso e consente di individuare/tracciare l'andamento dei sottoservizi (o altri elementi) direttamente in campo mediante vernice spray;
2. Rilievi 2D con restituzione dei dati: in questo caso i dati vengono acquisiti secondo linee generalmente perpendicolari all'andamento presunto dei sottoservizi e/o cavità e i dati vengono restituiti secondo radargrammi 2D; le anomalie vengono riportate sui radargrammi e sulle planimetrie e classificate in base alla intensità della riflessione;
3. Rilievi 3D con restituzione dei dati: in questo caso i dati vengono acquisiti secondo spaziate 50cm e acquisite in una o due direzioni ortogonali tra loro; tale approccio generalmente restituisce risultati ad alta restituzione e vengono rappresentati anche mediante viste 3D e time-slices che permettono di visualizzare l'andamento planimetrico delle anomalie a varie profondità e ridurre significativamente le incertezze interpretative.

In tutti i casi è sempre utile rilevare le coordinate dei punti mediante GPS integrato o stazione totale.

Nel caso in esame è stato utilizzato l'approccio di cui al **punto 2**. Considerata la finalità delle indagini, sono stati determinati, in primo luogo, i target di misura (costante dielettrica e profondità d'indagine), in secondo luogo, la scelta delle frequenze d'indagine da dover utilizzare.

L'antenna utilizzata è l'IDS da 200-600 MHz attraverso la quale si sono raggiunte profondità d'investigazione di circa 3.5 m con un buon grado di risoluzione.

Tali linee radar sono state eseguite su tutta l'area in esame, in cui gli spazi lo hanno consentito, ed acquisite in due direzioni, in modo da poter interpolare più informazioni nell'area sottostante.

Ai fini del calcolo delle profondità di investigazione sono stati valutati precisi valori della costante dielettrica compreso tra 9 e 11 per entrambe le antenne.

5.6 Elaborazione dei dati

Il dato georadar "grezzo" presenta spesso la necessità di applicare filtraggi e correzioni necessarie a rimuovere il rumore ed enfatizzare l'andamento e l'estensione dei target dell'indagine.

Durante la fase di acquisizione in campagna, si è preferito applicare ai dati il solo guadagno e alcuni filtri necessari alla rimozione dei disturbi principali, preferendo rimandare alla successiva fase di elaborazione in ufficio la determinazione dei parametri ottimali.
La fase preliminare di elaborazione ha richiesto di determinare le componenti in frequenza proprie del segnale e quelle dovute al rumore, al fine di eliminare dai dati le informazioni non utili.
I dati sono stati acquisiti ed elaborati mediante il software GRED
Le fasi di processing dei dati hanno la precipua finalità di:

- Ottenere con maggiore precisione le profondità dei riflettori;
- Rimuovere il *noise* e i multipli;
- Ipotizzare la natura delle anomalie.

Le attività di processing eseguite, pertanto, sono:

- Time-zero (impostazione del tempo iniziale);
- eliminazione del *ringing noise*;
- enfatizzazione delle zone caratterizzate da inversione di polarità.

Per il primo obiettivo è stato utilizzato un *background removal* sul numero massimo di scansioni applicabile (1023).

5.6.1 Ringing noise

Il *ringing noise* generalmente appare come una riflessione orizzontale continua e rappresenta un noise coerente che:

- diminuisce la profondità di investigazione;
- maschera le riflessioni più deboli a profondità maggiori;
- nelle elaborazioni 3D maschera completamente il target dell'indagine.

Esistono varie tecniche per la rimozione del ringing noise, fra cui

- il background removal;
- il filtraggio nel dominio F-K;
- la deconvoluzione;
- la trasformata radon;

Il ringing noise non è altro che una riflessione che si ripete varie volte nel tempo e pertanto appare su tutto la finestra temporale di acquisizione.

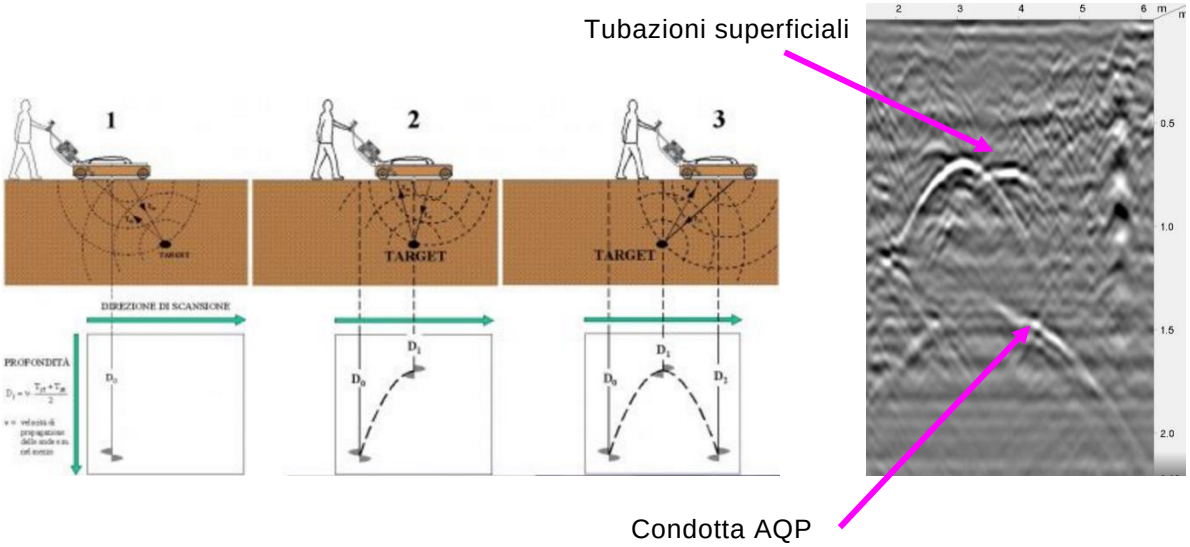
5.6.2 Background removal

In generale il background removal consente di rimuovere il rumore e il segnale a bassa frequenza e il rumore orizzontale.
In questo dopo la rimozione del ringing l'anomalia resta evidente mentre, con l'antenna a più bassa frequenza, diminuisce (ma non sparisce) il *ringing noise*.

5.7 Rappresentazione dei dati e analisi dei risultati

Le sezioni GPR si effettuano ripetendo il ciclo di trasmissione e ricezione innumerevoli volte spostando progressivamente l'antenna lungo una direzione prefissata; il programma di elaborazione provvede ad accostare opportunamente le tracce dei segnali ricevuti. Il risultato è quello esemplificato nella figura riportata di seguito in cui i segnali radar appaiono in varia tonalità di colore (o di grigio), in funzione delle caratteristiche dielettriche dei terreni investigati.

Per effettuare un profilo esistono due differenti tecniche operative: la metodologia in dominio di tempo e quella in dominio di spazio. Esse differiscono tra loro per la modalità con cui viene effettuata la ripetizione del ciclo trasmissione/ricezione dell'impulso radar.

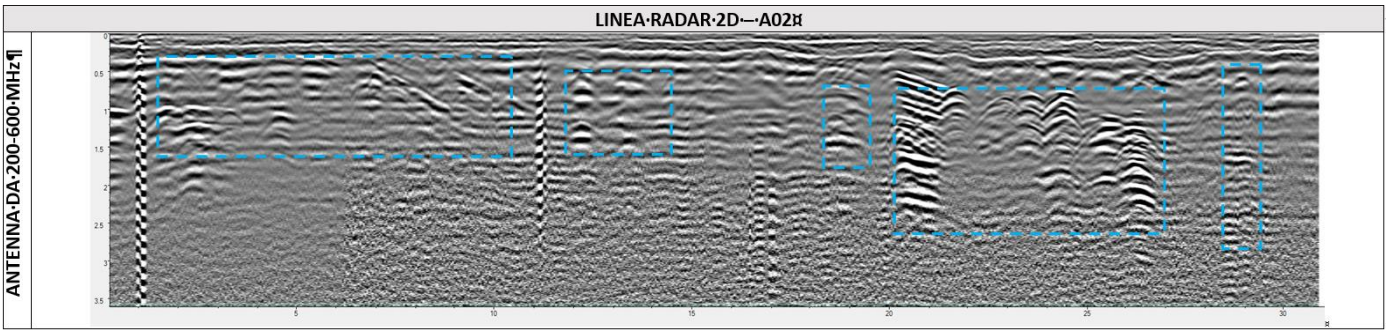


Nei profili in dominio di tempo gli impulsi radar vengono emessi ad intervalli di tempo costanti (da 1 a 100 ms). L'operatore deve in questo caso muovere l'antenna sulla superficie da investigare, lungo una determinata direzione, mantenendo una velocità costante. Soltanto così sarà possibile, in fase di interpretazione, associare la posizione di un riflettore individuato sulla sezione GPR alla reale posizione sul terreno.
Nelle sezioni georadar di dominio di spazio l'intervallo tra gli impulsi è regolato in funzione della posizione. I georadar in grado di operare in dominio di spazio si avvalgono di un trasduttore di posizione, mediante il quale il sistema tiene conto dello spazio percorso dall'antenna; questo è il caso della strumentazione utilizzata per questo rilievo. In questo modo l'operatore può spostare l'antenna più o meno velocemente (max 3 km/h), fermarsi e ripartire senza che ciò si ripercuota sull'accuratezza della sezione GPR. Infatti, offrono una precisione assai più elevata nella localizzazione delle riflessioni in senso longitudinale e trasversale.

5.7.1 radargrammi 2D

Di seguito si riporta una rappresentazione tipologica delle varie riflessioni individuate e della legenda interpretativa, relativa alle linee radar 2D acquisite con il sistema IDS.

	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate		



L'elaborazione delle acquisizioni è stata rappresentata in **Allegato 04** dove è possibile osservare i radargrammi 2D su cui è stata eseguita l'interpretazione con rettangoli celesti per meglio evidenziare l'andamento delle riflessioni riconosciute.
Dalle acquisizioni georadar sono state rilevate anomalie areali riconducibili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate.

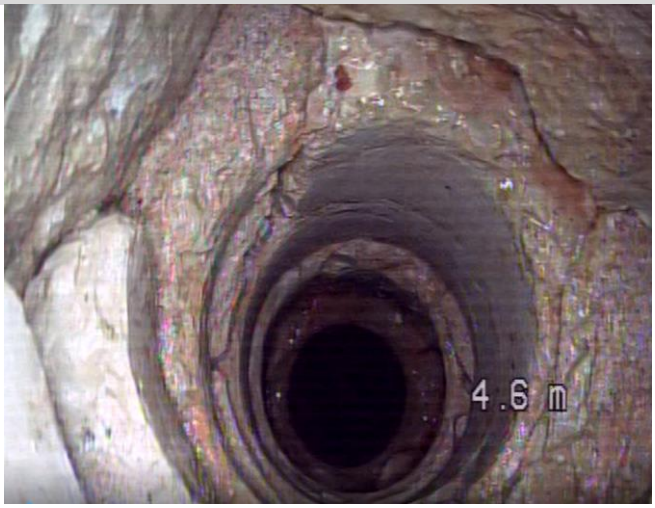
6. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

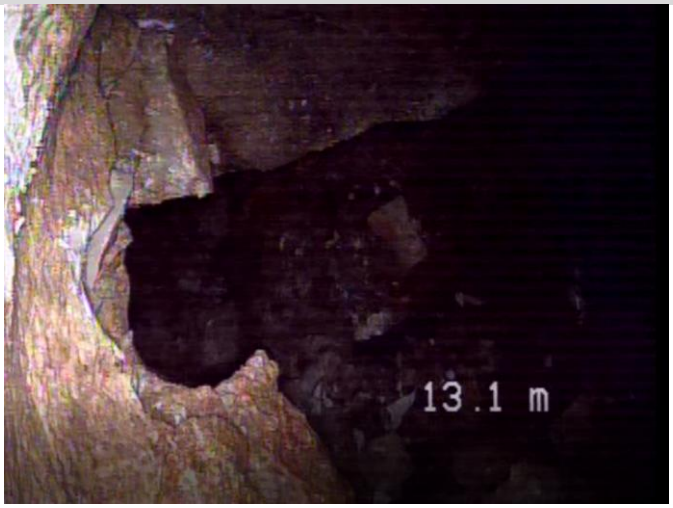
Nell'ambito del presente studio sono stati commissionati n. 4 sondaggi geognostici (S01, S02, S03, S04) a carotaggio continuo. I sondaggi S01, S02 e S03 sono stati spinti fino alla profondità di 30 m a partire dal piano campagna mentre il sondaggio S04 è stato approfondito fino a 45 m di profondità.
L'ubicazione dei sondaggi è stata scelta sulla base dei risultati ottenuti dalle indagini geoelettriche nell'intento di intercettare zone ad alta criticità in termini di alterazione e/o presenza di vuoti.
I sondaggi sono stati disposti così come mostrato in Planimetria (**Allegato 01A**) e nell'allegato fotografico è possibile osservare la successione stratigrafica e le caratteristiche fisiche dell'ammasso roccioso in termini di grado di fratturazione, livello di alterazione e presenza di cavità.
Le caratteristiche geologiche osservate hanno permesso di definire la successione stratigrafica del sito in esame in corrispondenza di ciascun sondaggio dalla superficie topografica attuale. Sugli elaborati stratigrafici in **Allegato 05** è possibile consultare il dettaglio delle profondità rilevate per ogni variazione litologica.

7. VIDEOISPEZIONI

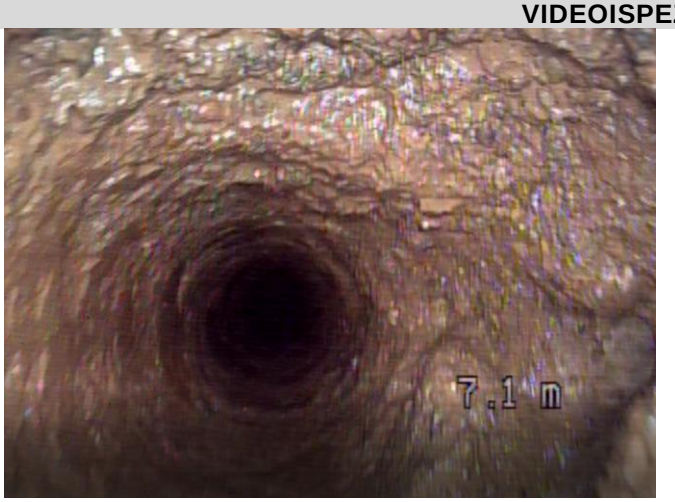
A fine terebrazione, in tre dei quattro fori di sondaggio è stata condotta una videoispezione con telecamera di piccolo diametro collegata a un sistema di acquisizione e registrazione automatico.
Dalla visualizzazione delle registrazioni è stato possibile determinare con maggior dettaglio la profondità e l'estensione delle cavità già individuate durante la fase di carotaggio, il grado di alterazione e le fratture interessanti l'ammasso roccioso in esame.
Di seguito alcuni fermo immagine delle videoispezioni.

VIDEOISPEZIONI S01

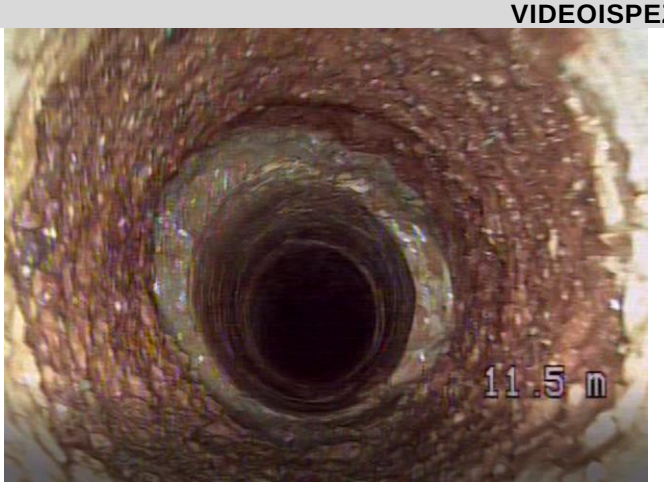




VIDEOISPEZIONI S02



VIDEOISPEZIONI S03



8. CALASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geostrutturale l'ammasso roccioso presente, è stato eseguito un rilievo in sito al fine di determinare alcuni parametri caratteristici delle discontinuità, utili per eventuali modellizzazioni oltre a classificare secondo l'indice RMR di Bieniawski l'ammasso roccioso.

Per quanto riguarda il rilievo geostrutturale in sito sono stati misurati i principali parametri caratteristici in 9 punti di misura; mentre per la classificazione di Bieniawski sono stati attribuiti i punteggi per 4 zone, rappresentate dalle porzioni della parete in corrispondenza dei sondaggi eseguiti sul ciglio dicava.

8.1 RILIEVO GEOSTRUTTURALE

La finalità del rilievo geo-strutturale è stata quella di ottenere più informazioni possibili in sito sia dal punto di vista geometrico che meccanico dell'ammasso roccioso. In allegato 01C è indicata l'ubicazione dei punti misura relativi a ciascuna discontinuità.

3.2.6 Descrizione del metodo

Il metodo consiste nel rilevare le caratteristiche geomeccaniche di un ammasso roccioso secondo dei punti di stazione, distribuite lungo l'affioramento roccioso.
Il materiale utilizzato in campagna è stato il seguente:

- Schede di campagna
- Bussola da geologo
- Martello di shmidt
- Pettine di Barton
- Metro ripiegabile
- Tabelle di confronto per i parametri JCR e JCS.

Per ogni affioramento, le discontinuità sono state riconosciute e tracciate sia su base fotografica che su carta geo-strutturale.
Per la raccolta dei dati geo-strutturali sul campo è stata approntata una scheda di rilevamento ad hoc e che contiene, oltre al litotipo e alla giacitura della stratificazione, i seguenti caratteri: tipo di discontinuità, condizione dei giunti (lunghezza, apertura, rugosità, riempimento, alterazione), indice JRC, indice JCS, condizioni idrauliche.
I parametri misurati possono essere distinti tra parametri geometrici e parametri meccanici che unitamente concorrono alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

Sclerometro	Pettine di Burton
Bussola	

3.2.7 Parametri geometrici misurati

Tutte le discontinuità, che siano fratture, faglie, giunti, superfici di strato o altro, vengono assimilate a delle superfici piane; pertanto, per ognuno di questi piani è stata misurata la sua giacitura mediante due parametri fondamentali: immersione (**I**) e inclinazione (**i**).
Dalle giaciture delle discontinuità è possibile definire le varie famiglie di discontinuità che sono rappresentate da un insieme di discontinuità caratterizzate dall'avere giaciture subparallele.

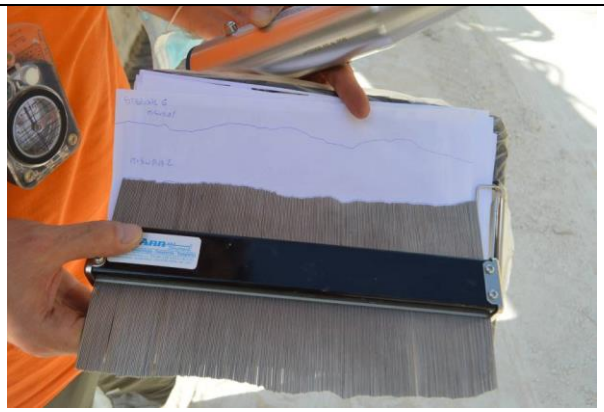
3.2.8 Parametri meccanici misurati

Tra i parametri meccanici misurati in sito abbiamo l'apertura (**A**) che è la distanza media che separa due discontinuità misurata ortogonalmente ad esse, nel cui interspazio può essere presente aria, acqua o riempimento solido. Nel caso in cui sia presente riempimento (**rp**) solido viene annotato il suo spessore medio e il tipo di riempimento.
La rugosità (**JRC**) viene misurata per mezzo del pettine di Barton e rappresenta le irregolarità delle superfici di una data discontinuità.

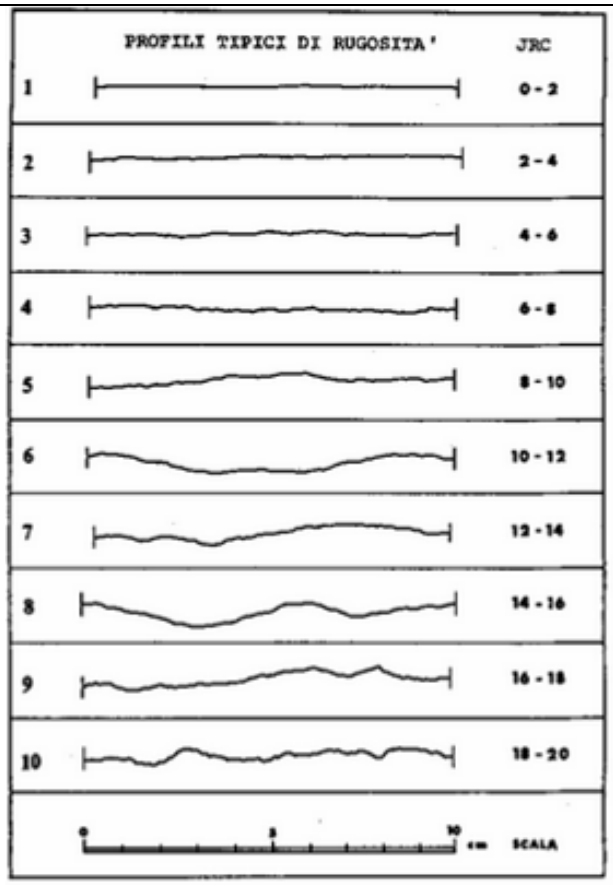
Pettine di Burton

Ogni misura viene effettuata ponendo il pettine lungo la direzione di massima pendenza poi i profili di rugosità ottenuti vengono confrontati con i profili standard proposti da Barton e Choubey (1977). Ogni profilo di rugosità è stato ricalcato su carta per poi essere digitalizzato e allegato alla scheda di rilievo di campagna.

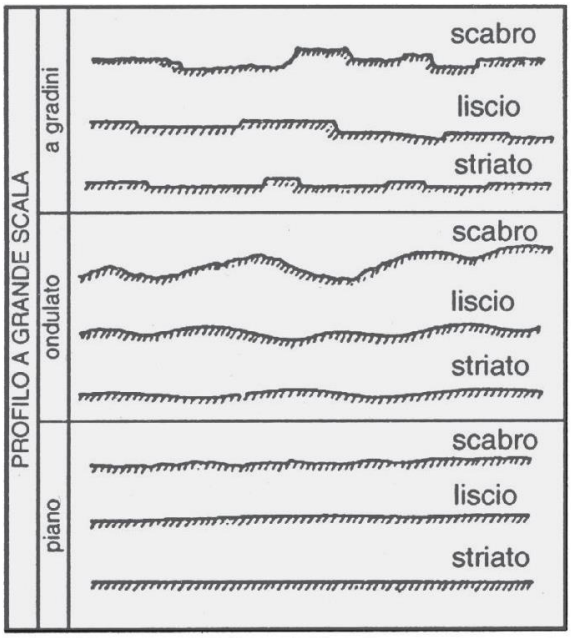
Pettine di Burton-



Profili di rugosità e corrispondenti intervalli di valori di JRC (*Barton e Choubey - 1977*)

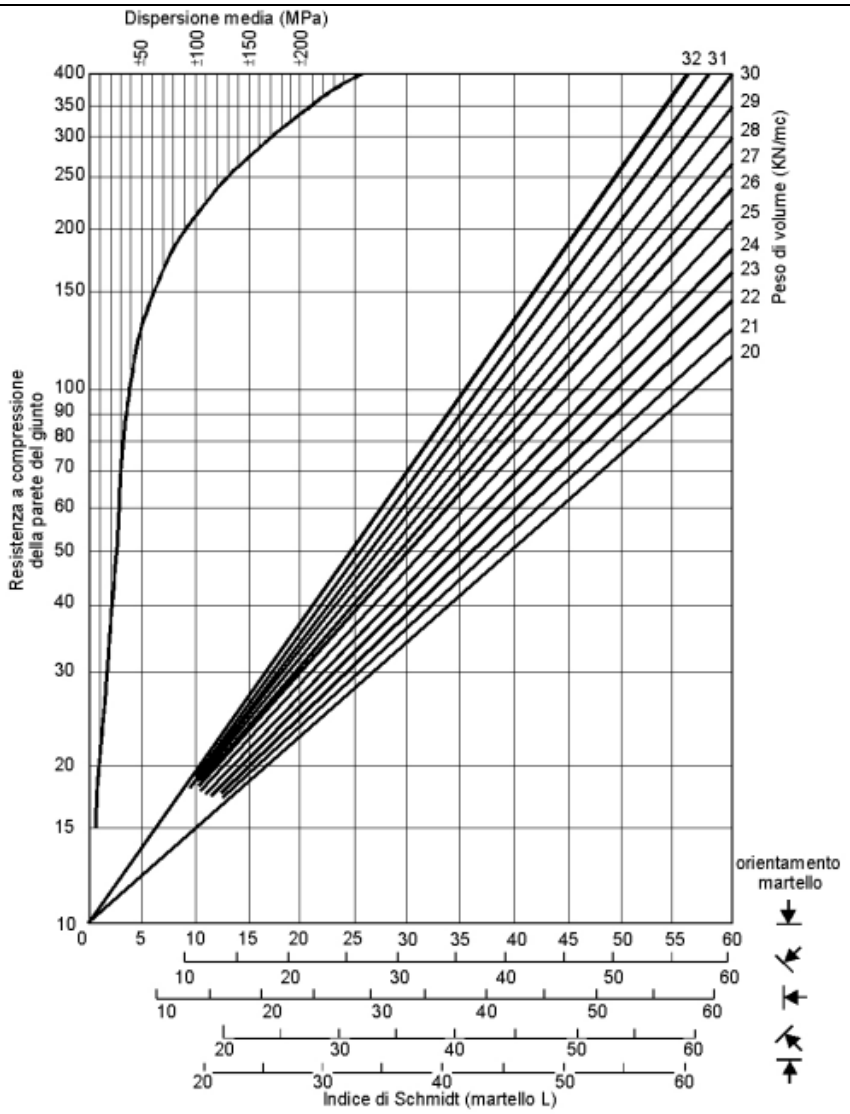


Profili di scabrezza a grande scala (maggiori di 10 cm) in base alla classificazione proposta dall'ISRM, 1978, rappresentazione da Casadio & Elmi, 2006



L'ultimo parametro meccanico misurato è la resistenza a compressione del materiale costituente le pareti (**JCS**-*joint Wall Compressive Stenght).* Questo parametro viene misurato per mezzo di uno sclerometro per roccia o martello di Schmidt ponendolo in maniera ortogonale alla superficie di discontinuità avendo cura di posizionare il martello su una superfice regolare e di essere distante del bordo della discontinuità di almeno 5 centimetri per ottenere un valore attendibile. Dato che la superficie su cui viene eseguita la misura può avere qualsiasi giacitura, va indicato anche quale è la posizione del martello al momento della misura, in modo tale da poterlo correggere mediante l'abaco proposto da Miller avendo a disposizione anche il peso di volume della roccia.

Abaco per la correzione dell'indice di rimbalzo misurato "r" e di quello caratteristico R_{car} necessario per il calcolo di JCS (resistenza a compressione della superficie di discontinuità) in funzione del peso di volume della roccia allo stato anidro (da Miller,1965)



Gradi di alterazione (ISRM, 1978, mod. in riferimento a Bienawski, 1989)

	TERMINE	DESCRIZIONE	GRADO
W1 Non alterato	**Fresco**	Non sono presenti segni di alterazione; lievi decolorazioni sulle superfici delle discontinuità principali	I
W2 Leggermente alterato	**Leggermente alterato**	La decolorazione indica alterazione del materiale roccioso e delle superfici di discontinuità. Tutto il materiale roccioso può essere decolorato per alterazione ed essere esternamente più debole rispetto alle condizioni non alterate	II
W3 Mediamente alterato	**Moderatamente alterato**	Meno della metà della roccia è decomposta e/o disintegrata. E' presente roccia decolorata o non alterata, sia arealmente che localmente.	III
W4 Molto alterato	**Fortemente alterato**	Più della metà della roccia è decomposta e/o disintegrata. E' presente roccia decolorata o non alterata, sia arealmente che localmente	IV
W5 Decomposto	**Completamente alterato**	Tutto il materiale roccioso è decomposto e/o disintegrato .La originaria struttura è ancora in buona misura intatta	V
	Suolo residuale	Tutto il materiale roccioso si è trasformato in suolo. La struttura generale e la tessitura del materiale è distrutta. Notevoli variazioni di volume, ma il terreno non ha praticamente subito trasporto.	VI

(da Bieniawski, 1989)

Condizioni Idrauliche dei giunti (ISRM, 1978, mod. in riferimento a Bienawski, 1989)

Discontinuità senza riempimento

Cond. Idraul.	CLASSE	DESCRIZIONE
CI1 *Asciutti*	U I	La discontinuità è molto serrata e asciutta. Non sembra possibile un flusso d'acqua lungo di essa
	U II	La discontinuità è asciutta senza alcuna evidenza di filtrazione
CI2 *Umidi*	U III	La discontinuità è asciutta ma mostra evidenze di flusso d'acqua (colorazione, ruggine, ecc.)
CI3 Bagnati	U IV	La discontinuità è umida ma senza presenza di acqua libera
CI4 *Stillicidio*	U V	La discontinuità mostra filtrazione, occasionali gocce d'acqua, ma non un flusso continuo
CI5 *Venute d'acqua*	U VI	La discontinuità mostra un flusso continuo d'acqua (stimarne la portata e la pressione)

(da Bieniawski, 1989)

Discontinuità' con riempimento

Cond. Idraul.	CLASSE	DESCRIZIONE
CI1 *Asciutti*	F I	I materiali di riempimento sono molto consolidati e secchi, flussi significativi appaiono poco probabili per la loro scarsa permeabilità
CI2 *Umidi*	F II	I materiali di riempimento sono umidi ma non è presente acqua libera
CI3 Bagnati	F III	I matèriali di riempimento sono bagnati, con occasionali gocce d'acqua
CI4 *Stillicidio*	F IV	I materiali di riempimento mostrano segni di dilavamento; presenza di un flusso d'acqua continuo (stimarne la portata)
CI5 *Venute d'acqua*	F V	I materiali di riempimento sono asportati localmente, considerevoli flussi d'acqua si hanno lungo i canali di dilavamento (stimarne portata e pressione)
	F VI	I materiali di riempimento sono completamente dilavati, si hanno rilevanti pressioni dell'acqua (stimare portata e pressione)

Gli elaborati relativi a ciascuna discontinuità sono rappresentati in **Allegato 06** dove è possibile consultare i parametri fisico meccanici caratterizzanti le fratture dell'ammasso roccioso.

8.2 Classificazione di Bieniawski dell'ammasso roccioso

La classificazione di Bieniawski degli ammassi rocciosi permette, sulla base delle indagini eseguite, di identificare i parametri più significativi che influenzano il loro comportamento e trarre dati quantitativi È stato utilizzato il *RMR System* (Rock Mass Rating System – Bienawsky 1973), che utilizza i seguenti parametri:

1. RQD (Rock qualità designation), cioè il rapporto fra la sommatoria delle carote di lunghezza superiore a 10cm e la lunghezza totale del tratto analizzato (espresso in %); dato è stato attribuito sulla base dei dati acquisiti nella fase di carotaggio;
2. Spaziatura delle discontinuità;
3. Condizioni delle discontinuità:
4. Condizioni Idrogeologiche;
5. Resistenza alla compressione monoassiale.

L'incidenza di questi parametri nel comportamento geotecnico di un ammasso si esprime per messo dell'RMR, rock mass rating, valore che varia da 0 a 100 identificando l'ammasso in classi di appartenenza differenti come riportato in tabella. La somma dei punteggi ottenuti consente inoltre di assegnare i valori della coesione **c** e dell'angolo di attrito **φ**

PUNTEGGIO	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scandente

SONDAGGIO S01

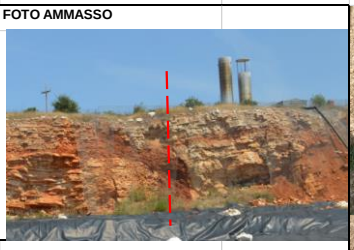
DESCRIZIONE AMMASSO	FOTO AMMASSO
L'ammasso roccioso di natura calcarea, presenta una stratificazione sub-orizzontale con superfici di discontinuità che si dispongono verticalmente. Le discontinuità si presentano circa equispaziate e con forma ondulata. L'ammasso roccioso si presenta molto aterato con abbondante presenza di terra rossa. *NB* *la scheda si riferisce, prudenzialmente, ai livelli più scadenti dell'ammasso roccioso*	

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO (Rock Mass Rating SYSTEM)		
PARAMETRO	**VALORE**	**PUNTEGGIO**
RESIST. ALLA COMPRESS.IONE MONOASSIALE DEL MATERIALE INTATTO (Mpa)	25-50	4
RQD (%)	<25	3
SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA' (metri)	0,2-0,6	10
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	Superficie leggermente ruvida, apertura<1mm, pareti molto alterate	20
CONDIZIONI GENERALI DI UMIDITA'	Completamente Asciutto	15
INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'	Sfavorevole	-15
	PUNTEGGIO TOTALE	**37**

CLASSI DELL'AMMASSO IN BASE AL PUNTEGGIO (Beniawski, 1973)		VALORI DA FORMULA
CLASSIFICAZIONE AMMASSO	SCADENTE	
COESIONE (kPa)	100-200	185
ANGOLO DI ATTRITO (°)	15°- 25°	23,5

Punteggio	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe	I	II	III	IV	V
Descr. A.R.	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

SONDAGGIO S02

DESCRIZIONE AMMASSO	FOTO AMMASSO
L'ammasso roccioso di natura calcarea, presenta una stratificazione sub-orizzontale con superfici di discontinuità che si dispongono verticalmente. Le discontinuità si presentano circa equispaziate e con forma ondulata. L'ammasso roccioso si presenta molto aterato con abbondante presenza di terra rossa. *NB* *la scheda si riferisce, prudenzialmente, ai livelli più scadenti dell'ammasso roccioso*	
i (frequenza giunti - n. per metro)	15
RQD CALCOLATO (da Priest e Hudson)	56,35005736

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO (Rock Mass Rating SYSTEM)		
PARAMETRO	**VALORE**	**PUNTEGGIO**
RESIST. ALLA COMPRESS.IONE MONOASSIALE DEL MATERIALE INTATTO (Mpa)	25-50	4
RQD (%)	<25	3
SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA' (metri)	0,06-0,2	8
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	Superficie leggermente ruvida, apertura<1mm, pareti molto alterate	20
CONDIZIONI GENERALI DI UMIDITA'	Umido	10
INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'	Sfavorevole	-15
	PUNTEGGIO TOTALE	**30**

CLASSI DELL'AMMASSO IN BASE AL PUNTEGGIO (Beniawski, 1973)		VALORI DA FORMULA
CLASSIFICAZIONE AMMASSO	SCADENTE	
COESIONE (kPa)	100-200	150
ANGOLO DI ATTRITO (°)	15°- 25°	20

Punteggio	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe	I	II	III	IV	V
Descr. A.R.	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

SONDAGGIO S03

DESCRIZIONE AMMASSO	FOTO AMMASSO
L'ammasso roccioso di natura calcarea, presenta una stratificazione sub-orizzontale con superfici di discontinuità che si dispongono verticalmente. Le discontinuità si presentano circa equispaziate e con forma ondulata. L'ammasso roccioso si presenta molto aterato con abbondante presenza di terra rossa. *NB* *la scheda si riferisce, prudenzialmente, ai livelli più scadenti dell'ammasso roccioso*	

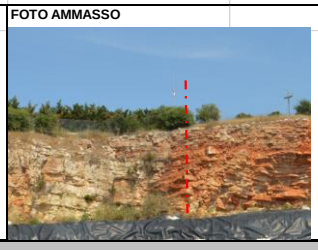
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO (Rock Mass Rating SYSTEM)

PARAMETRO	VALORE	PUNTEGGIO
RESIST. ALLA COMPRESS.IONE MONOASSIALE DEL MATERIALE INTATTO (Mpa)	25-50	4
RQD (%)	<25	3
SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA' (metri)	0,06-0,2	8
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	Superficie leggermente ruvida, apertura<1mm, pareti leggermente alterate	25
CONDIZIONI GENERALI DI UMIDITA'	Completamente Asciutto	15
INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'	Indifferente	-7
	PUNTEGGIO TOTALE	48

CLASSI DELL'AMMASSO IN BASE AL PUNTEGGIO (Beniawski, 1973)		VALORI DA FORMULA
CLASSIFICAZIONE AMMASSO	DISCRETO	
COESIONE (kPa)	200-300	240
ANGOLO DI ATTRITO (°)	25°- 35°	29

Punteggio	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe	I	II	III	IV	V
Descr. A.R.	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

SONDAGGIO S04

DESCRIZIONE AMMASSO	FOTO AMMASSO
L'ammasso roccioso di natura calcarea, presenta una stratificazione sub-orizzontale con superfici di discontinuità che si dispongono verticalmente. Le discontinuità si presentano circa equispaziate e con forma ondulata. L'ammasso roccioso si presenta molto aterato con abbondante presenza di terra rossa. *NB* *la scheda si riferisce, prudenzialmente, ai livelli più scadenti dell'ammasso roccioso*	

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO (Rock Mass Rating SYSTEM)

PARAMETRO	VALORE	PUNTEGGIO
RESIST. ALLA COMPRESS.IONE MONOASSIALE DEL MATERIALE INTATTO (Mpa)	25-50	4
RQD (%)	<25	3
SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA' (metri)	0,06-0,2	8
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	Superficie leggermente ruvida, apertura<1mm, pareti molto alterate	20
CONDIZIONI GENERALI DI UMIDITA'	Umido	10
INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'	Sfavorevole	-15
	PUNTEGGIO TOTALE	**30**

CLASSI DELL'AMMASSO IN BASE AL PUNTEGGIO (Beniawski, 1973)		VALORI DA FORMULA
CLASSIFICAZIONE AMMASSO	SCADENTE	
COESIONE (kPa)	100-200	150
ANGOLO DI ATTRITO (°)	15°- 25°	20

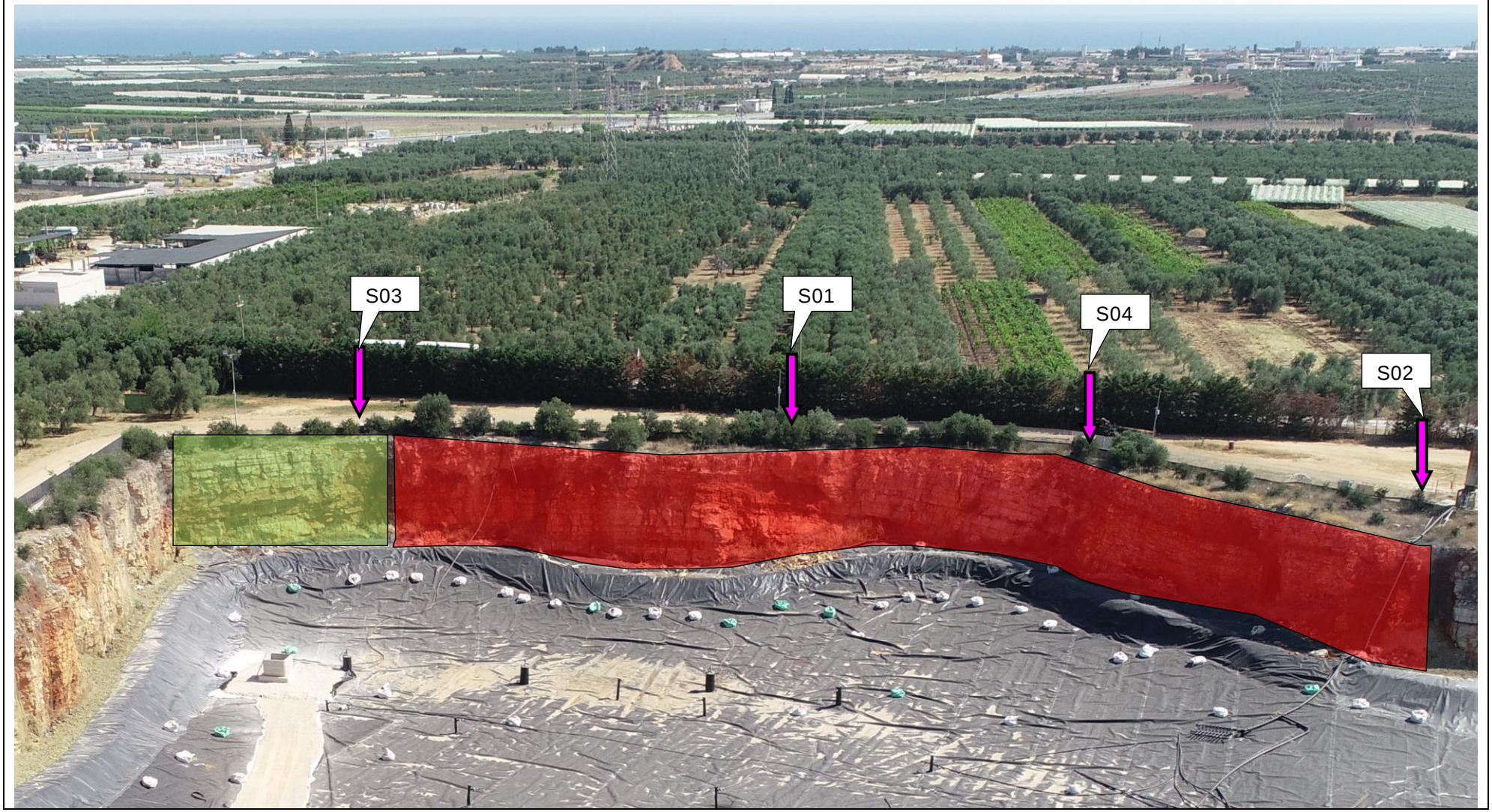
Punteggio	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe	I	II	III	IV	V
Descr. A.R.	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

Avendo descritto e investigato quattro settori del fronte nord-est della discarica oggetto di impermeabilizzazione, è stato possibile individuare due tipologie di ammasso roccioso:

- ammasso roccioso scadente
- ammasso roccioso discreto

Nella seguente rappresentazione sono rappresentate in verde le porzioni dell'ammasso roccioso con caratteristiche geotecniche discrete, ed in rosso le porzioni dell'ammasso roccioso con caratteristiche scadenti.

Rappresentazione delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso roccioso (da indice RMR Bieniawski)



ALLEGATO 01A-01B-01C – PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

- UBICAZIONE DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE- Scala 1:1000

ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEORADAR- Scala 1:1000

ALLEGATO 01C: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DEI PUNTI DI RILIEVO GEOSTRUTTURALE- Scala 1:1000

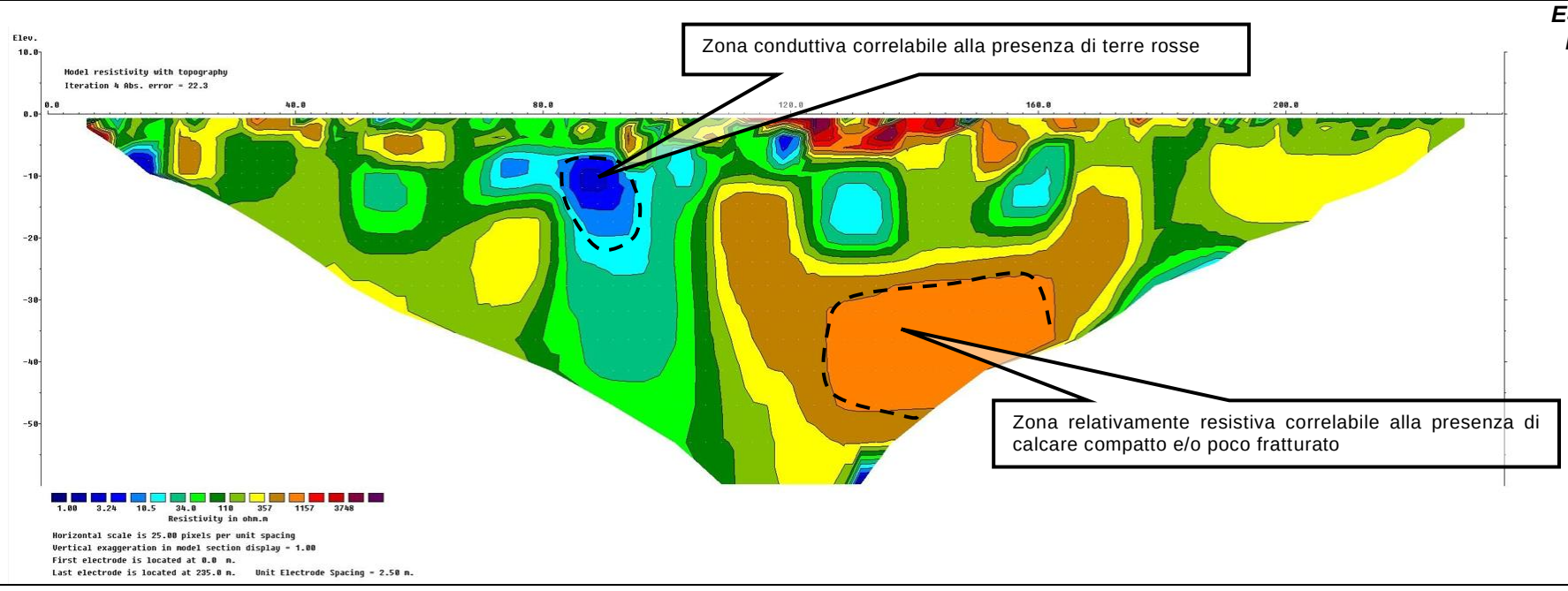
ALLEGATO 02: INDAGINI GEOELETTRICHE

- ELABORATI INDAGINI GEOELETTRICHE

TRANI *E.R.T.01 – MODELLO DI RESISTIVITA'*

ELABORAZIONE RES2DIN DIPOLO-DIPOLO

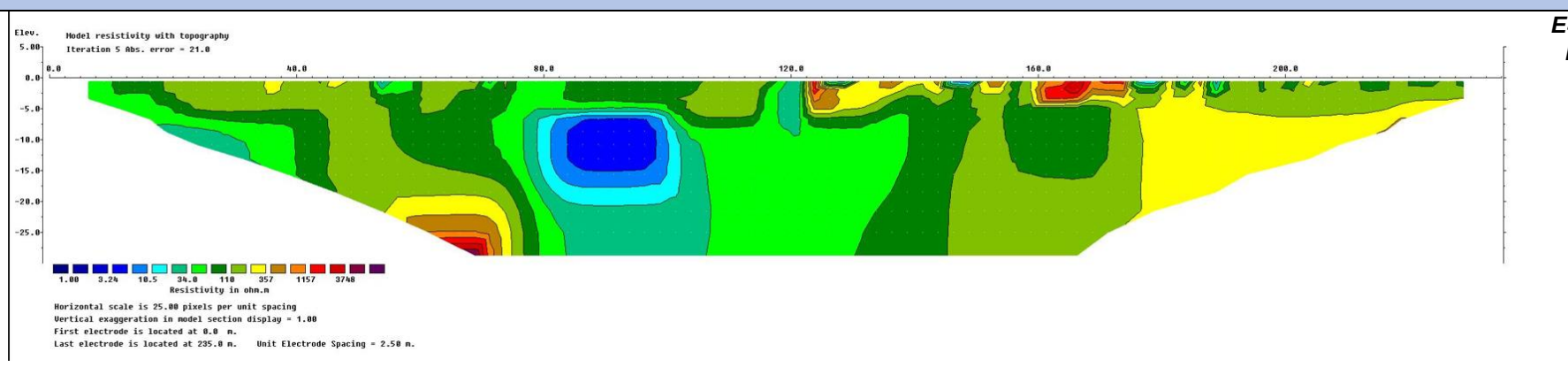
E01 W ***E48 E***



TRANI E.R.T.01 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN WENNER

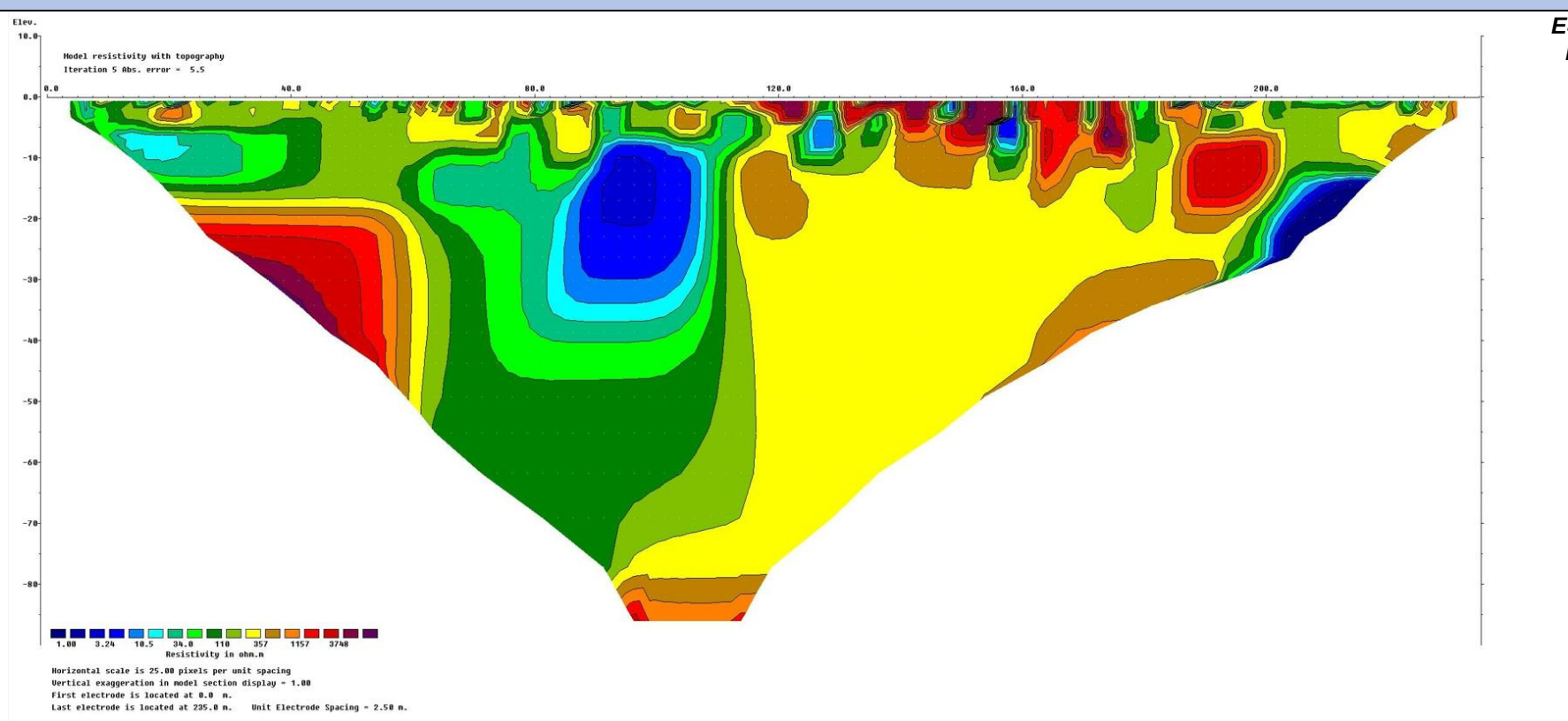
E01 W ***E48 E***



TRANI E.R.T.01 – MODELLO DI RESISTIVITA'

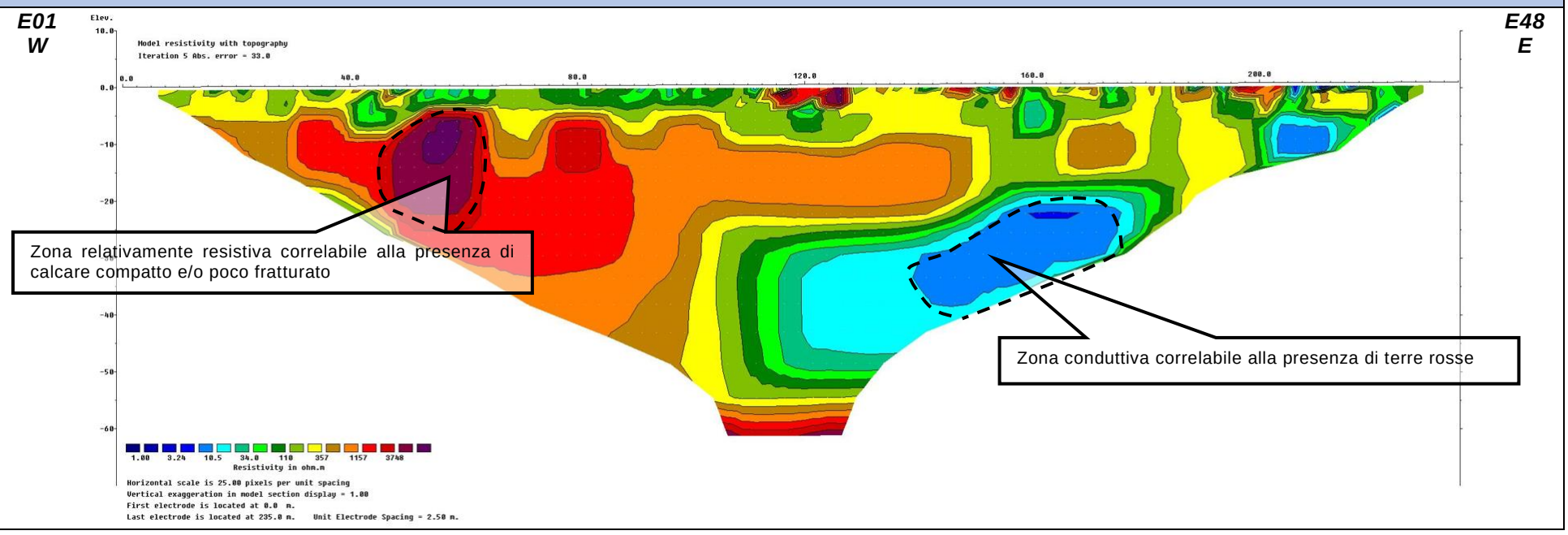
ELABORAZIONE RES2DIN POLO-DIPOLO

E01 W ***E48 E***



TRANI E.R.T.02 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN DIPOLO-DIPOLO

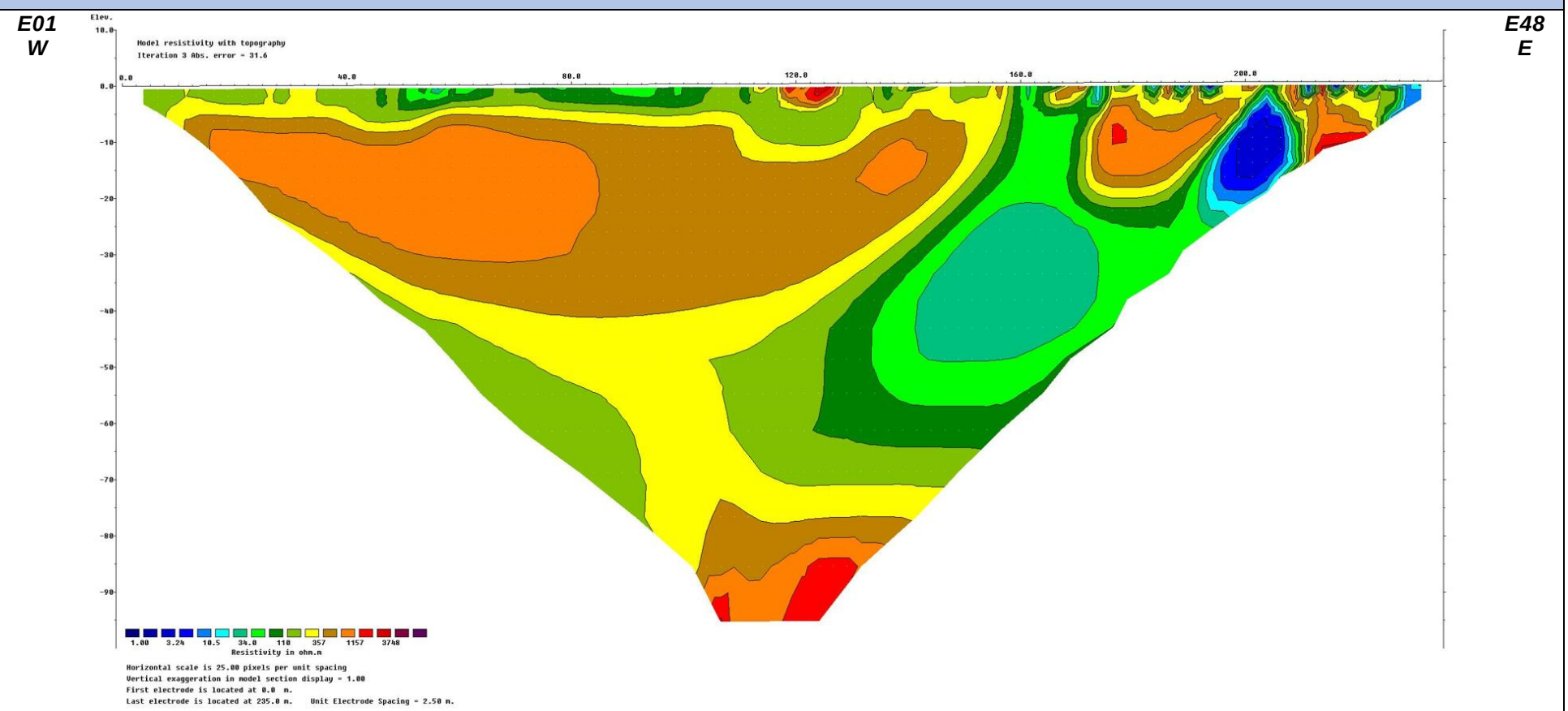


TRANI E.R.T.02 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN WENNER

TRANI E.R.T.02 – MODELLO DI RESISTIVITA'

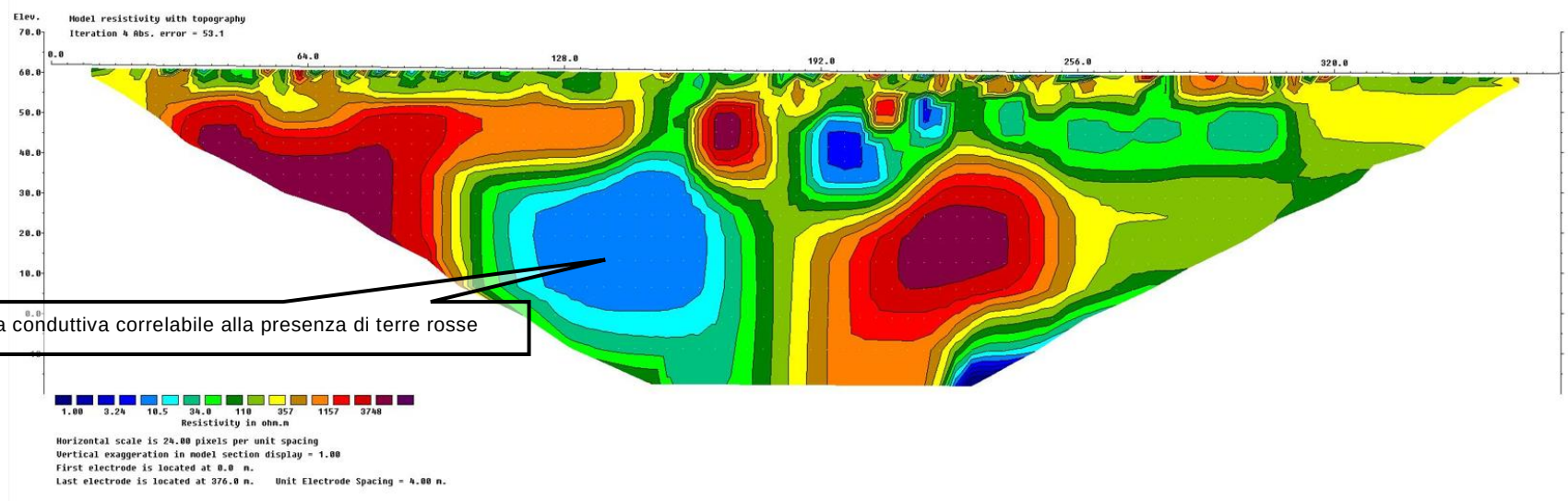
ELABORAZIONE RES2DIN POLO-DIPOLO



TRANI E.R.T.03 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN DIPOLO-DIPOLO

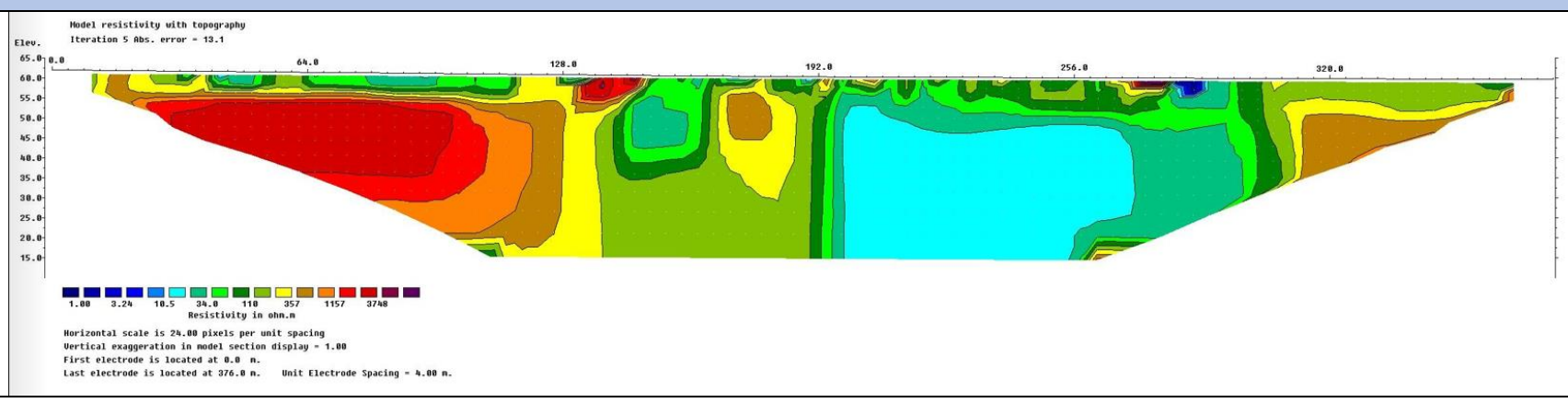
E01 W — E48 E



TRANI E.R.T.03 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN WENNER

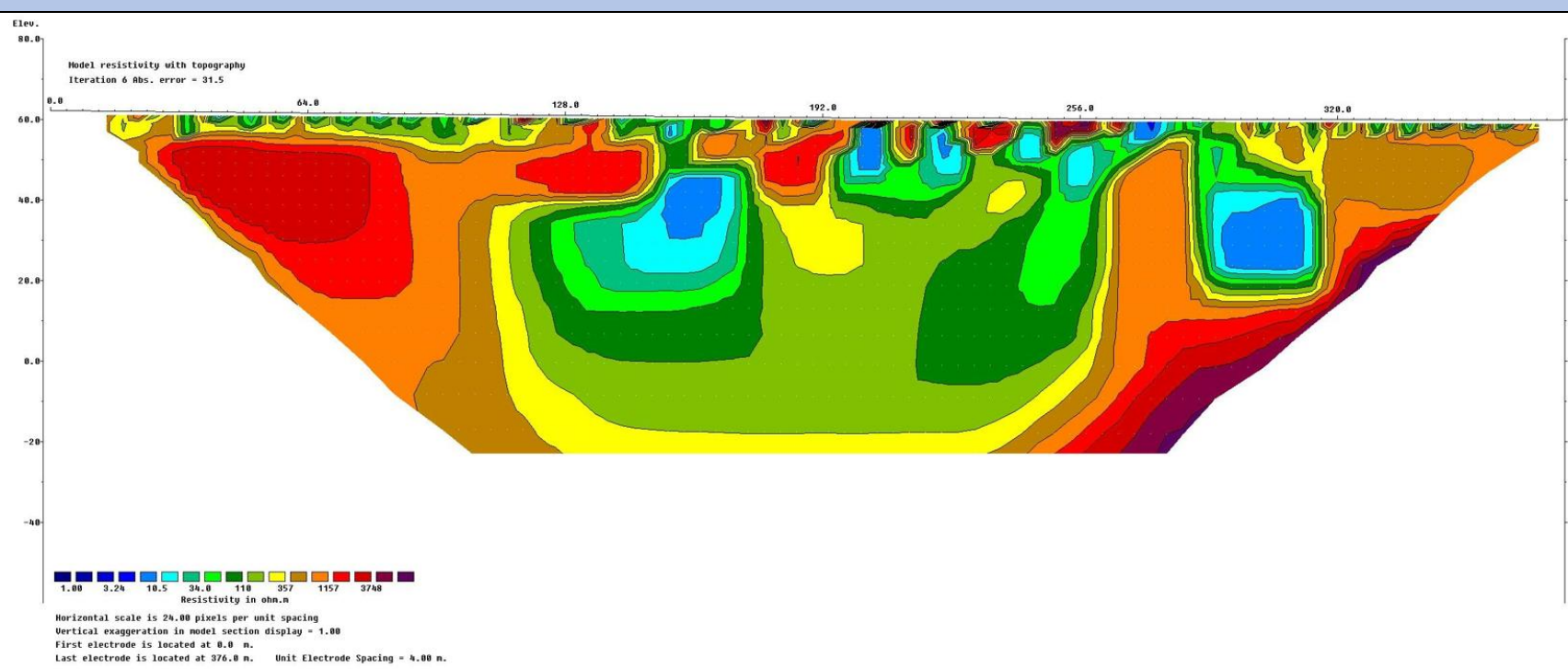
E01 W — E48 E



TRANI E.R.T.03 – MODELLO DI RESISTIVITA'

ELABORAZIONE RES2DIN POLO-DIPOLO

E01 W — E48 E

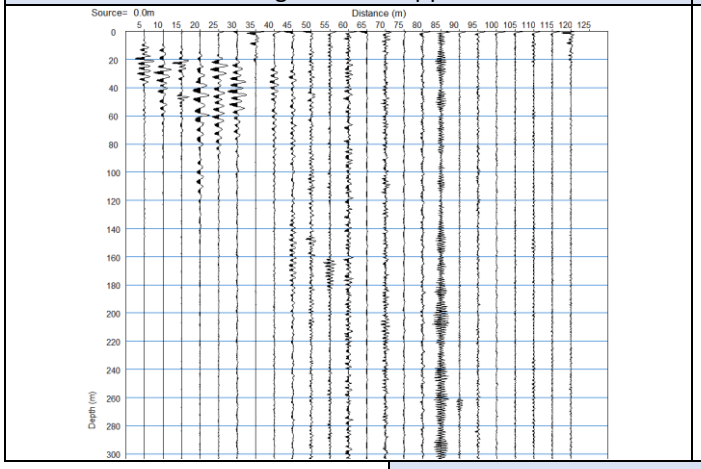


ALLEGATO 03A - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P

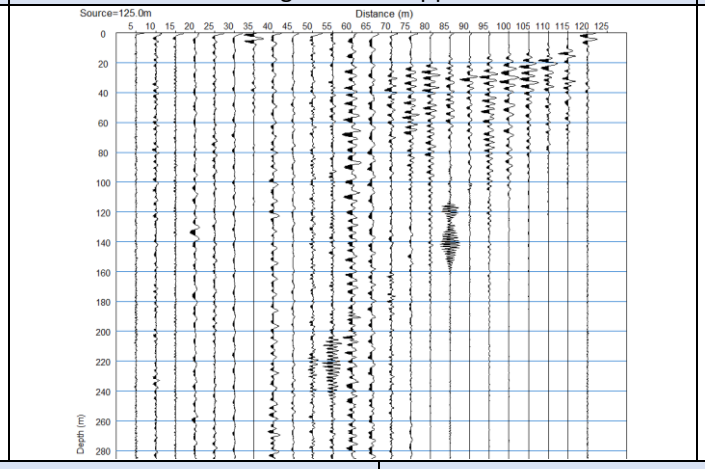
- SISMOGRAMMI ONDE P
- DROMOCRONE ONDE P
- SEZIONE TOMOGRAFICA E MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO

TRANI - BASE SISMICA BS01 ONDE P

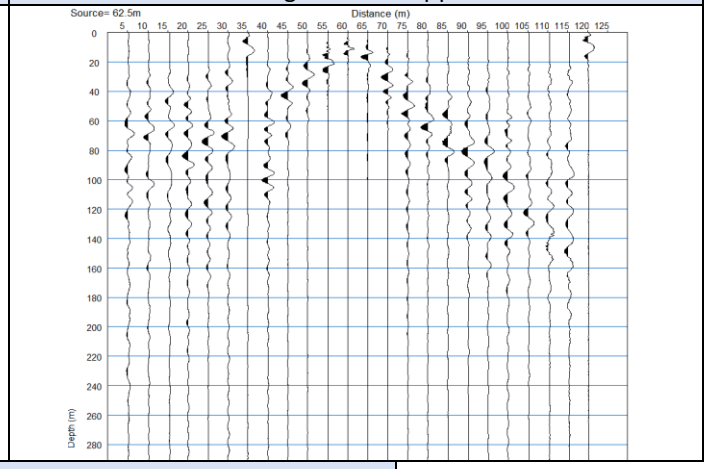
Sismogramma scoppio A



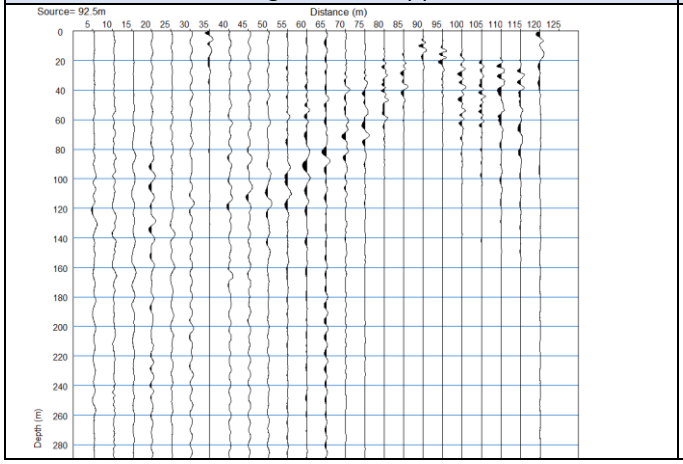
Sismogramma scoppio B



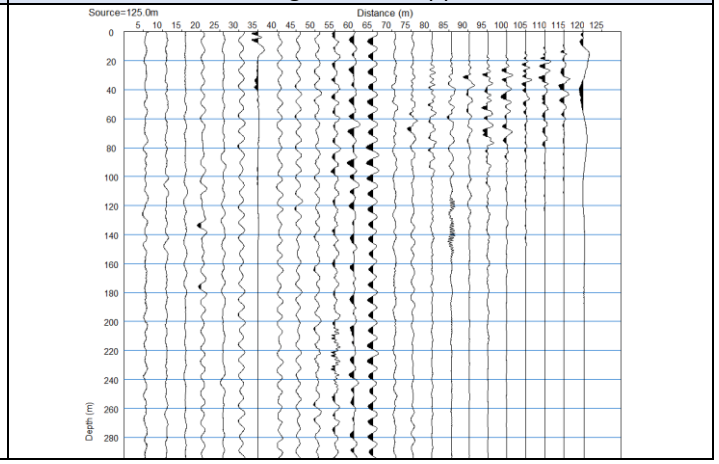
Sismogramma scoppio C



Sismogramma scoppio D

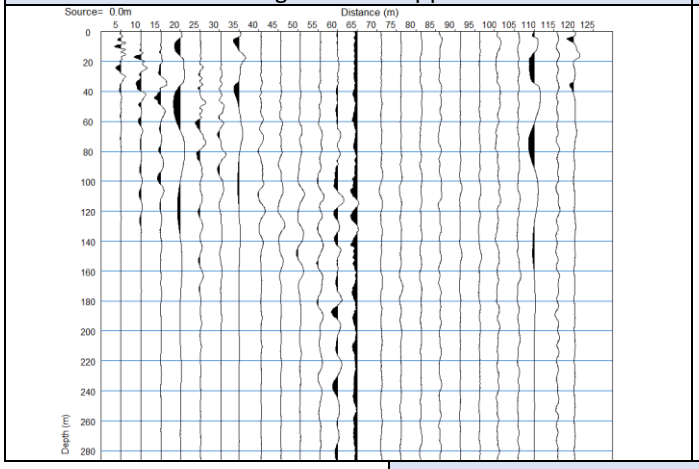


Sismogramma scoppio E

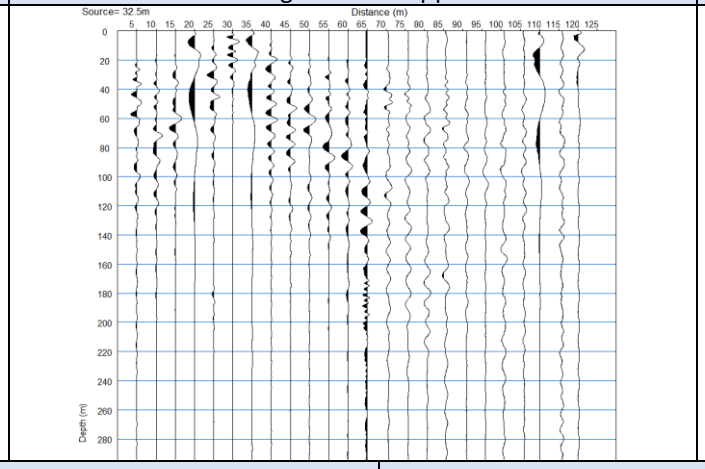


TRANI (BA) - BASE SISMICA BS02 ONDE P

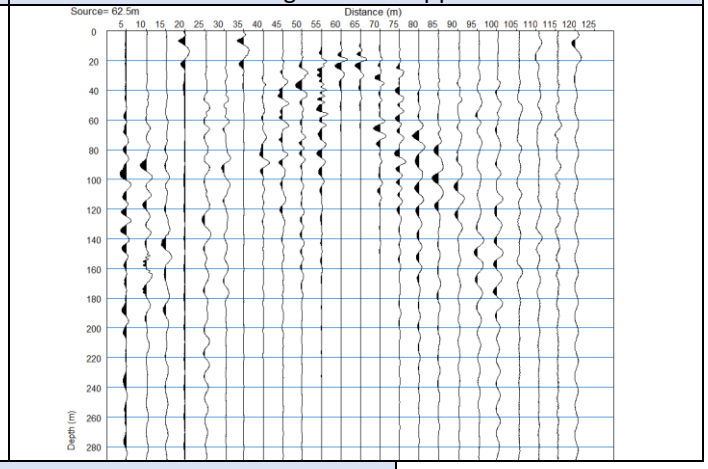
Sismogramma scoppio A



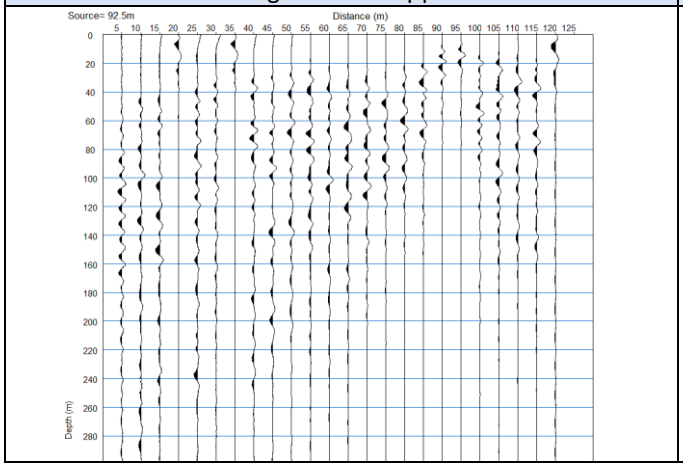
Sismogramma scoppio B



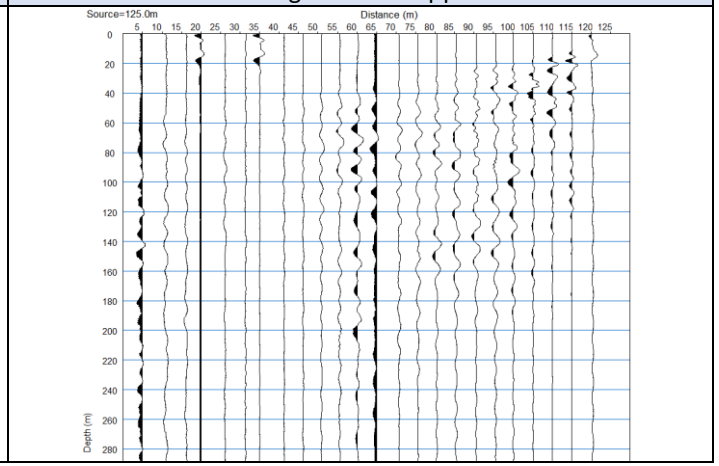
Sismogramma scoppio C



Sismogramma scoppio D

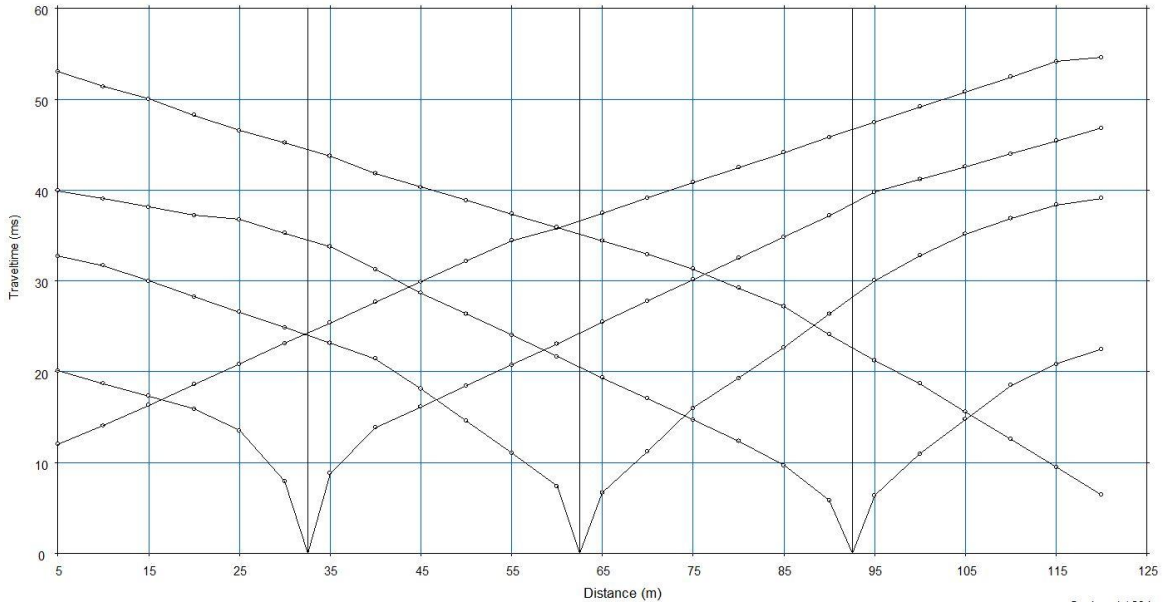


Sismogramma scoppio E

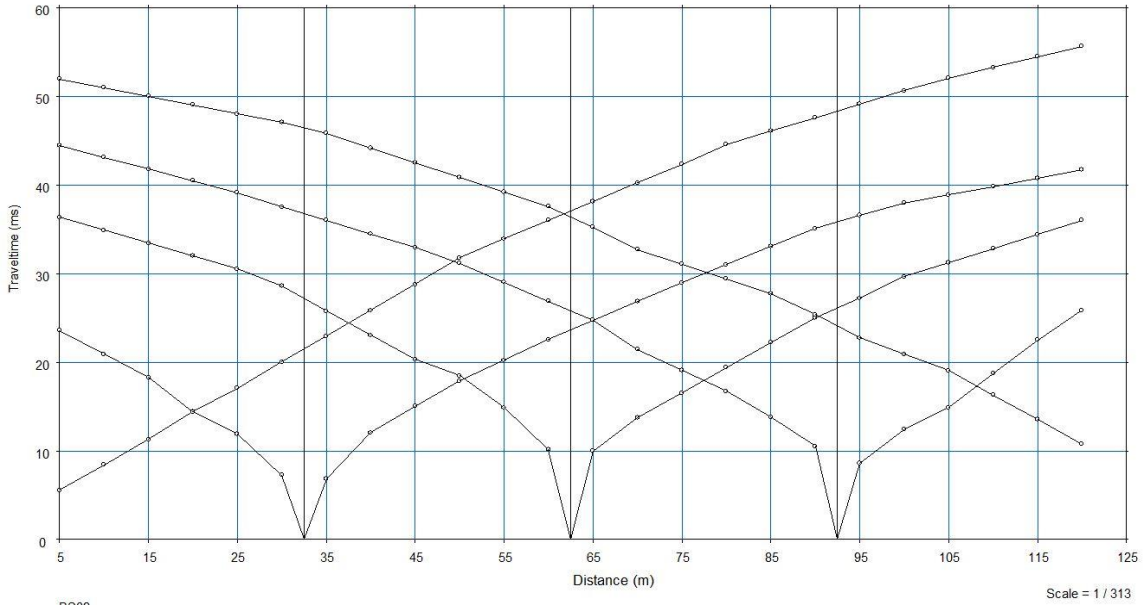


DROMOCRONE BS01 e BS02 in ONDE P

Località "Trani" -BS01-ONDE P

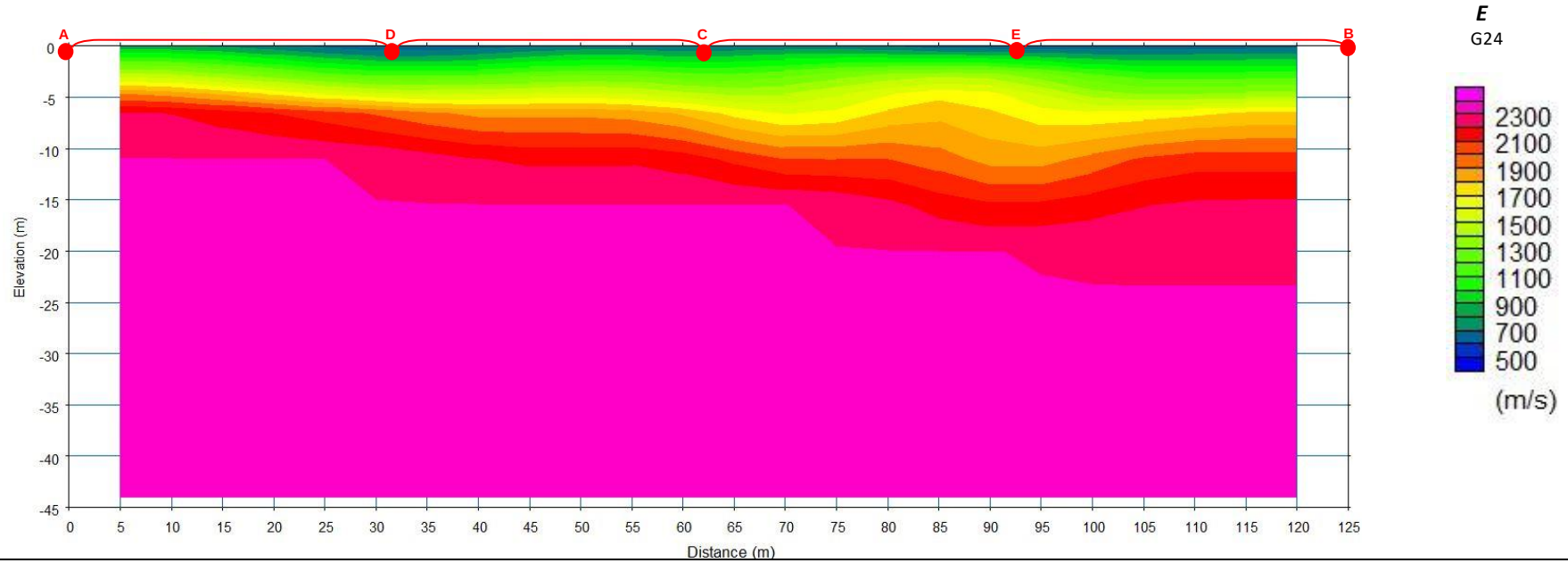


Località "Trani" -BS02-ONDE P

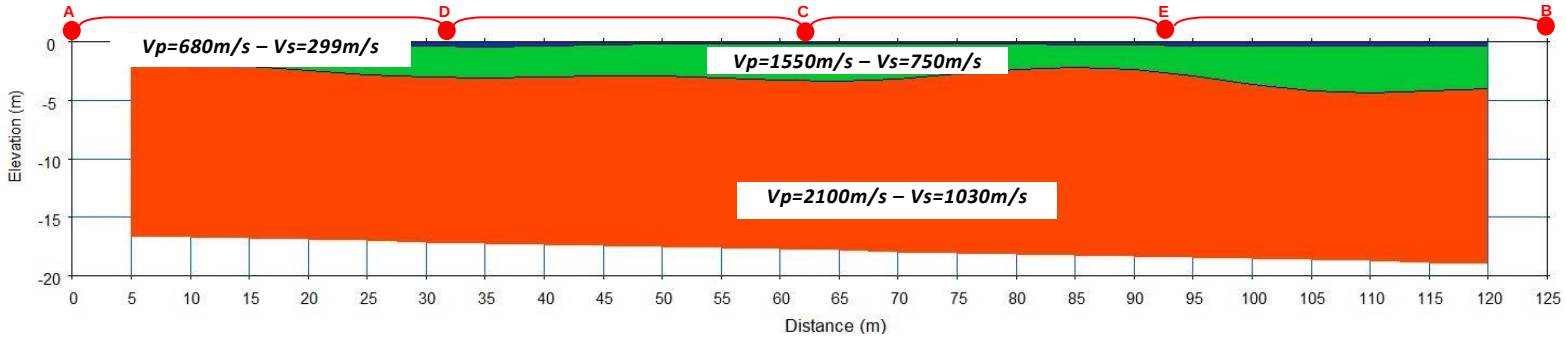


Località "Trani" - BASE SISMICA 01

SEZIONE TOMOGRAFICA Onde P



MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO Onde P ed S



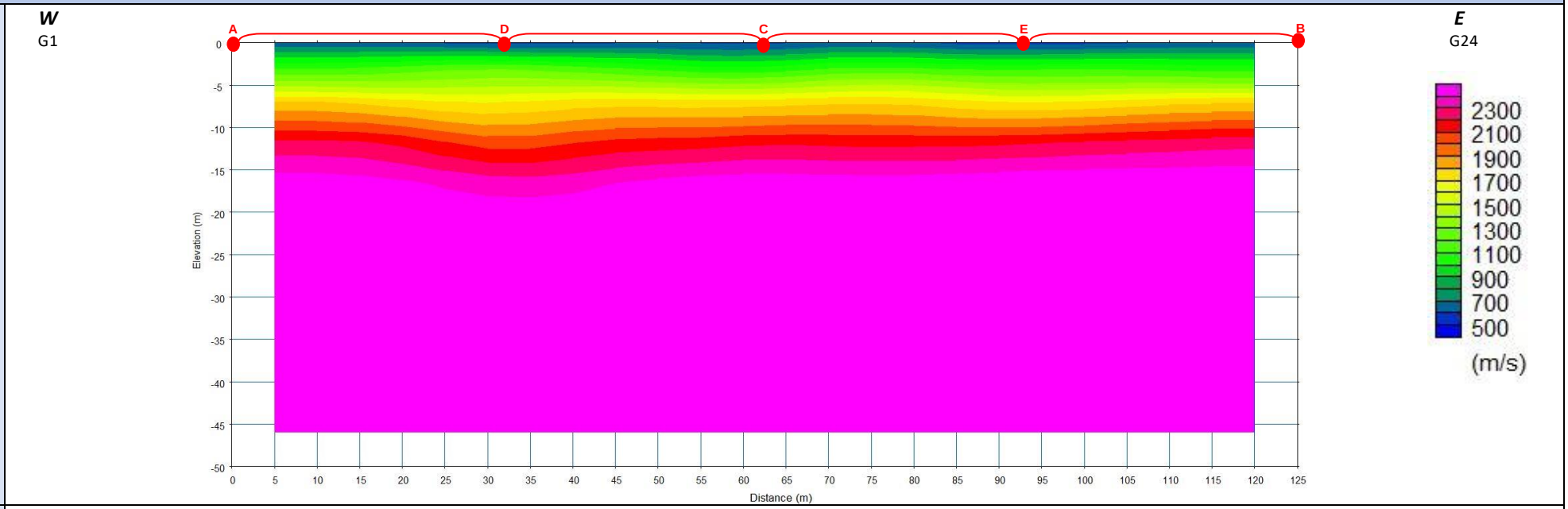
punti di scoppio

LEGENDA

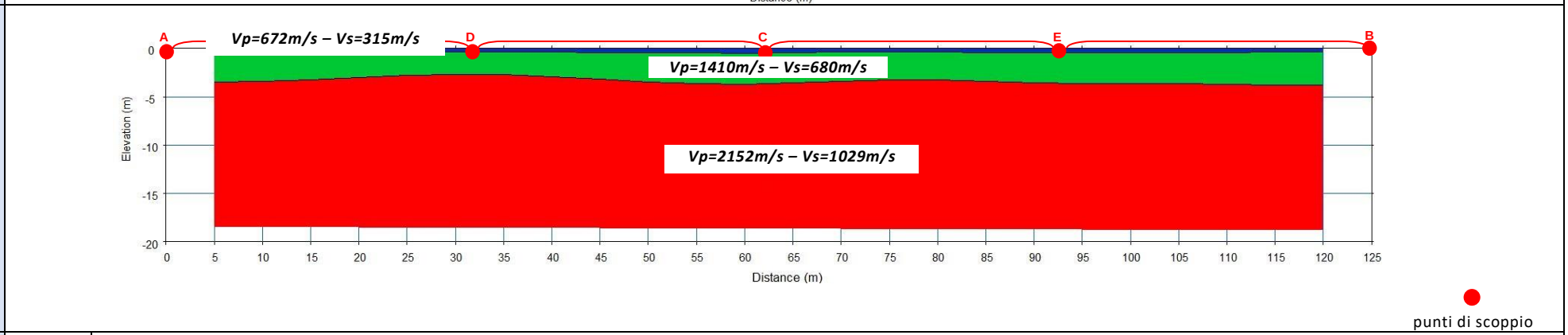
	Materiale di riporto		*Calcare da molto a mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*		*Calcare mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*

Località "Trani" - BASE SISMICA 02

SEZIONE TOMOGRAFICA Onde P



MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO Onde P ed S



LEGENDA

	Materiale di riporto		*Calcare da molto a mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*		*Calcare mediamente fratturato e alterato con inclusioni terrose*

ALLEGATO 03B – PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VS,EQ

- ELABORATI INDAGINI RE.MI.
  - SISMOGRAMMI MEDI
  - SPETTRI DELLE FREQUENZE
  - CURVE DI DISPERSIONE
  - PROFILI VS
  - TABELLE VALORI VS

LOCALITA' MODUGNO (BA) - ELABORAZIONI RE.MI.01

SISMOGRAMMA MEDIO

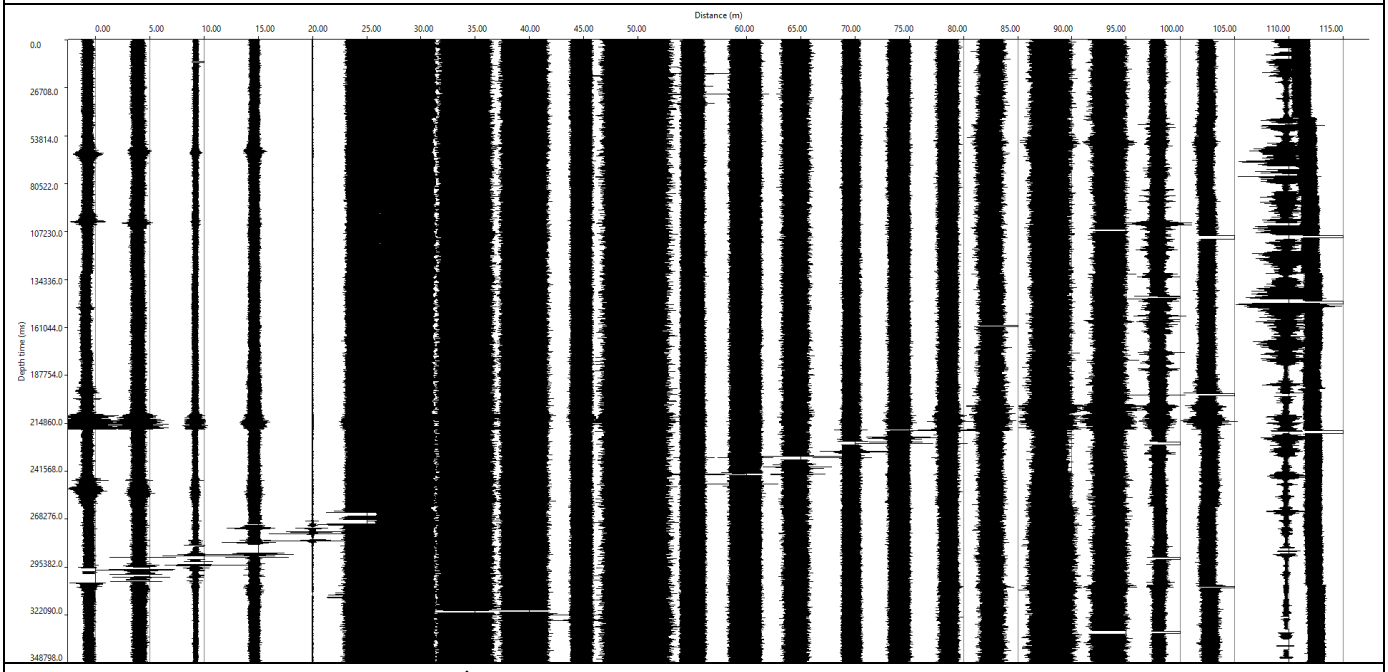
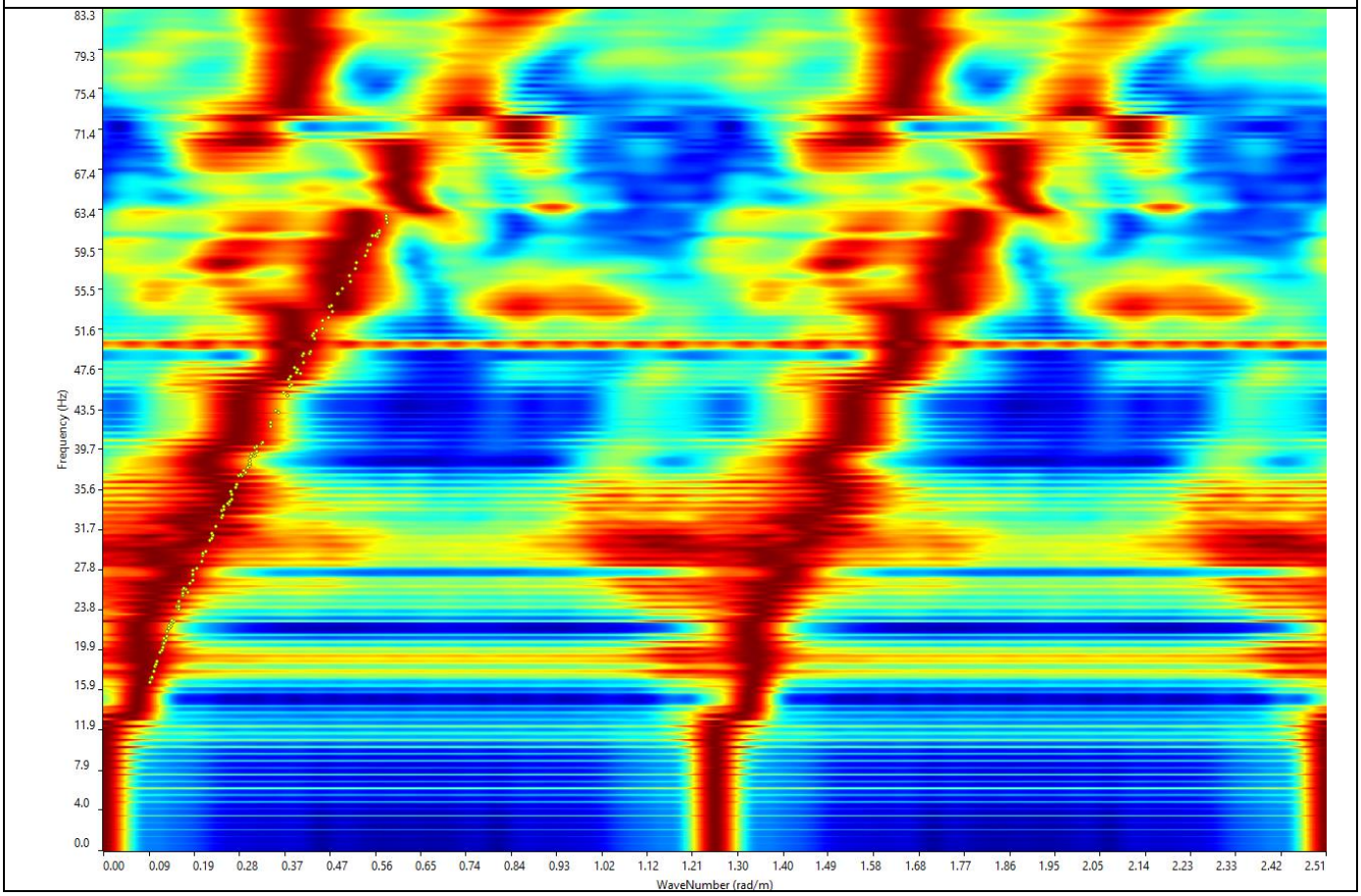
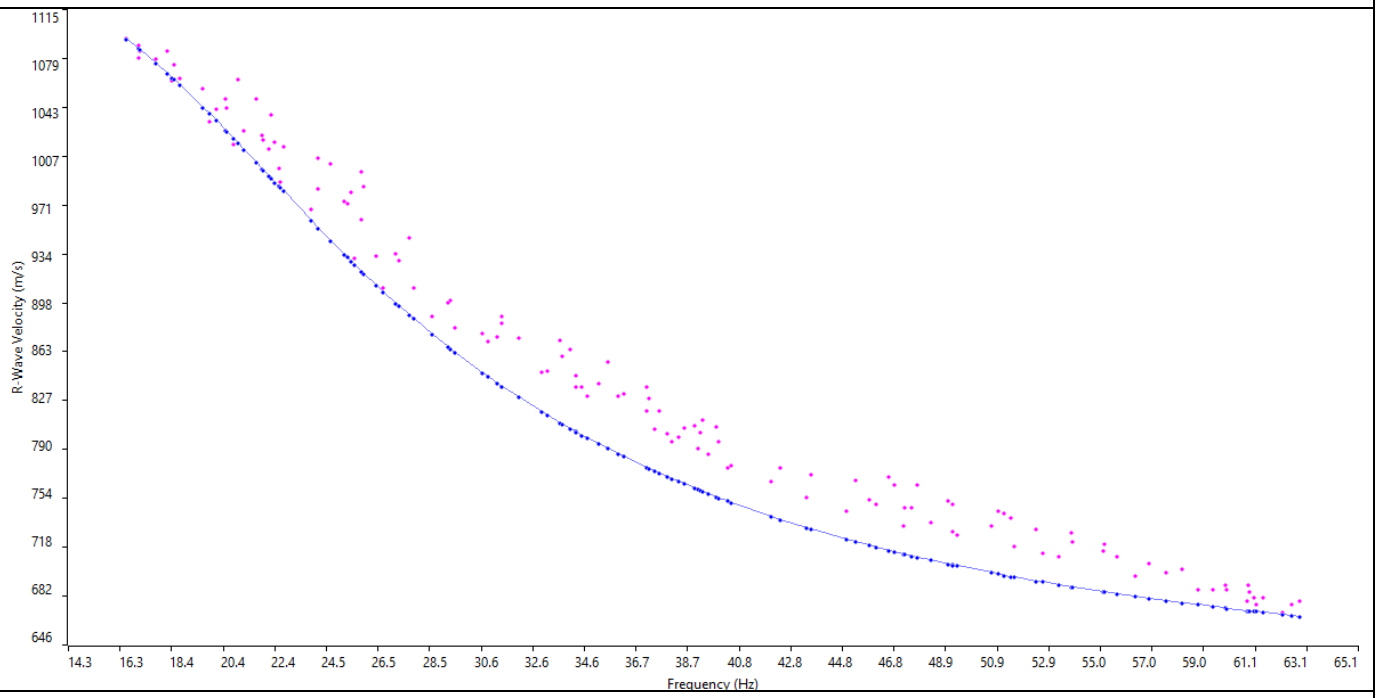


GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

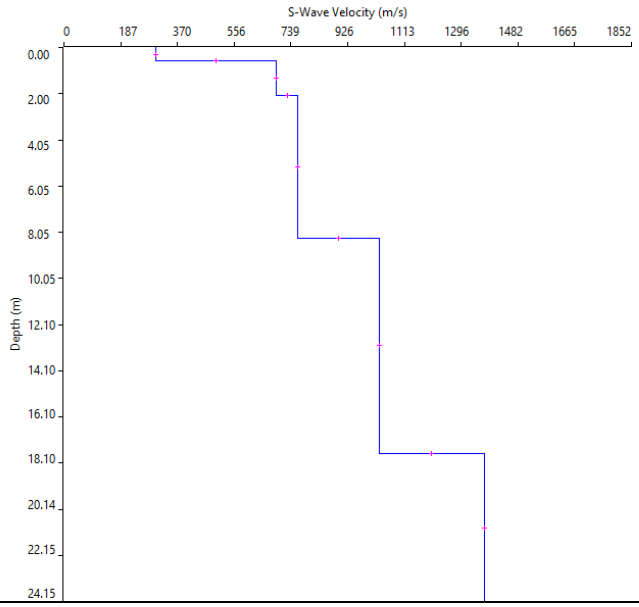


CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS

Categoria "B" – Vs,eq = 675 m/s calcolato a partire dal p.c. fino al bedrock sismico posto a 8.2m di profondità



N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	0.59	0.00	299
Layer 2	1.50	0.59	692
Layer 3	6.21	2.08	764
Layer 4	9.42	8.29	1030
Layer 5	INF	17.72	1371

LOCALITA' TRANI - ELABORAZIONI RE.MI.02

SISMOGRAMMA MEDIO

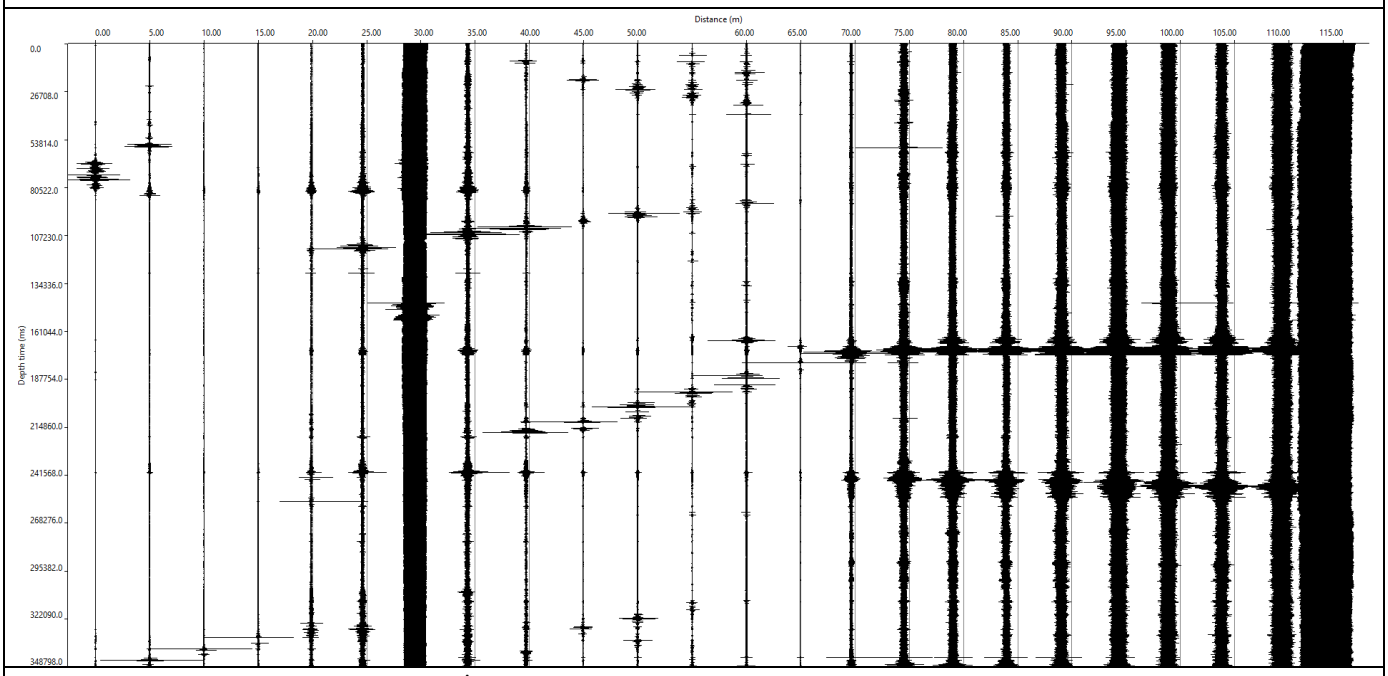
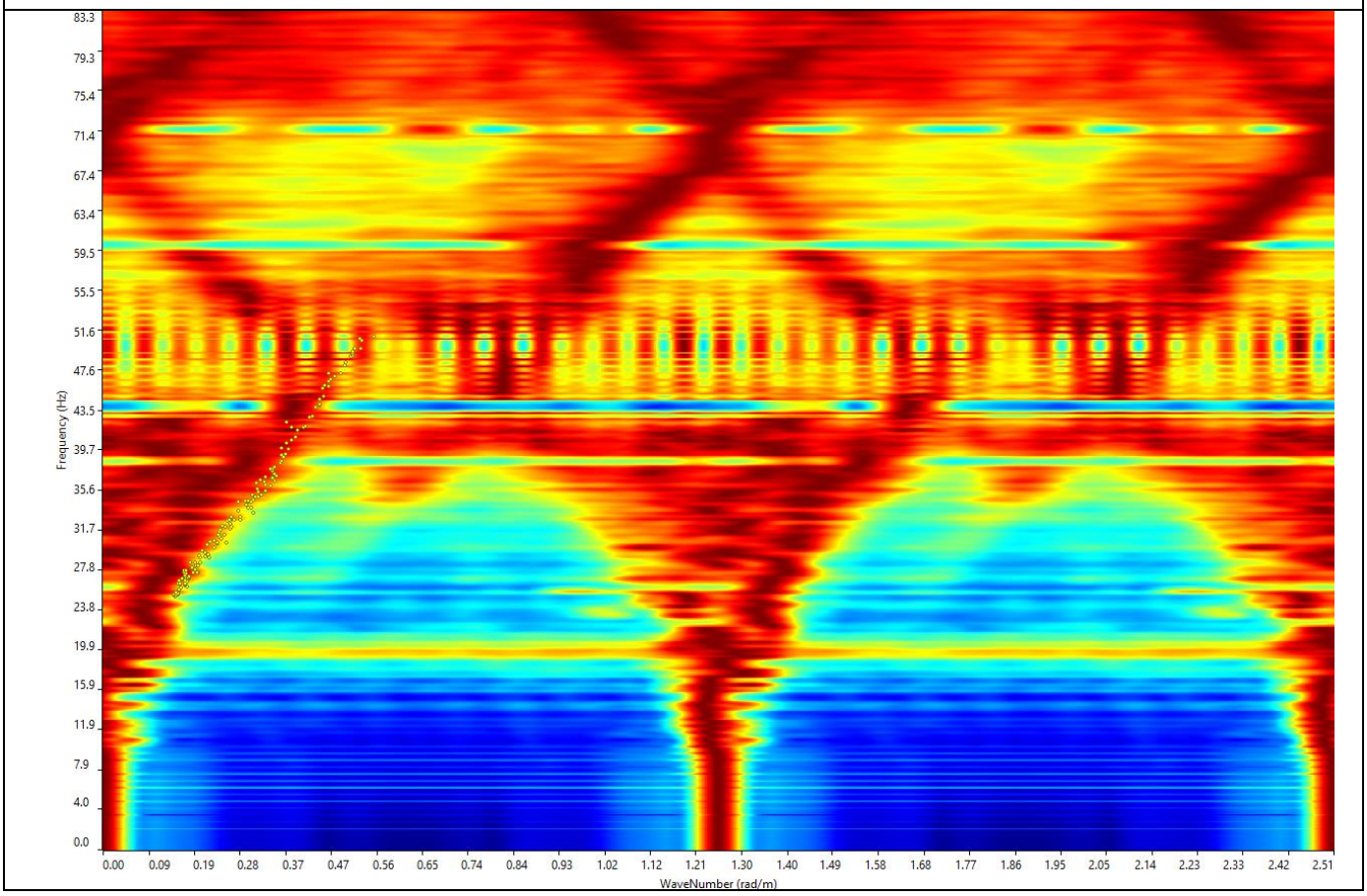
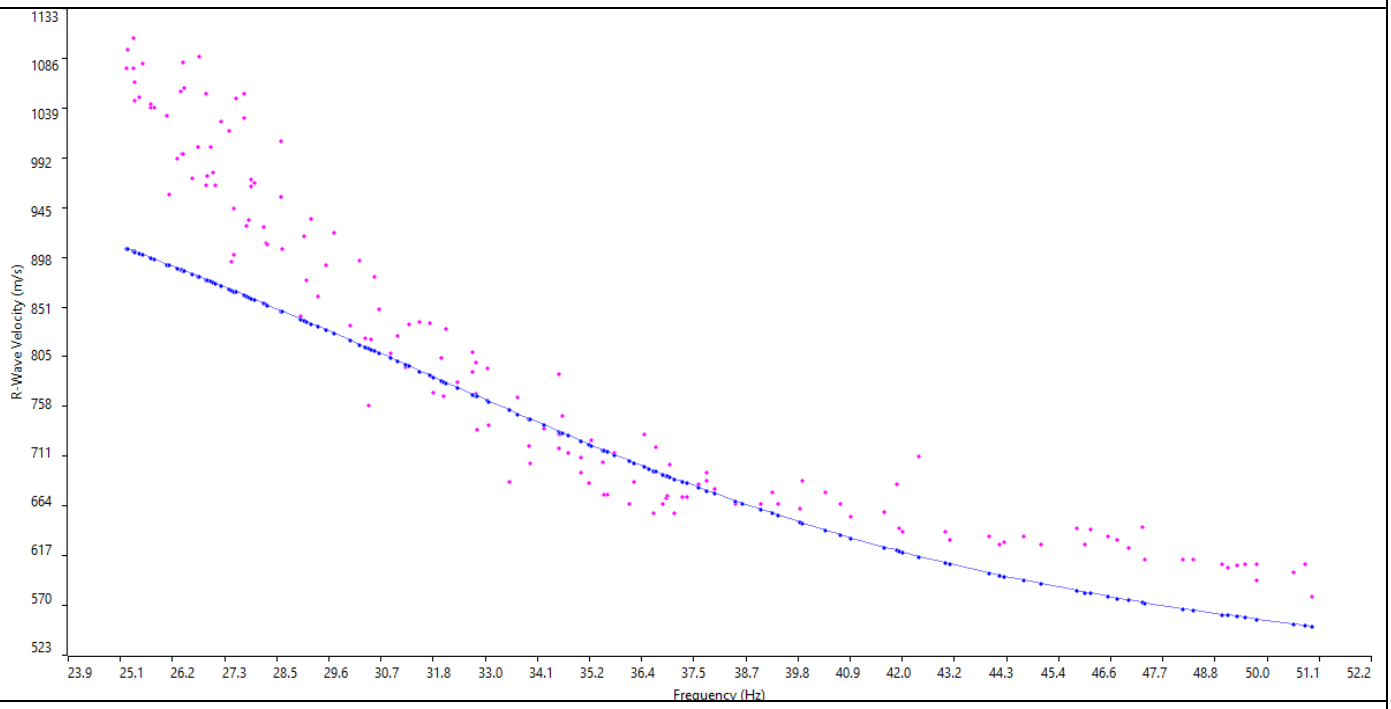


GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE

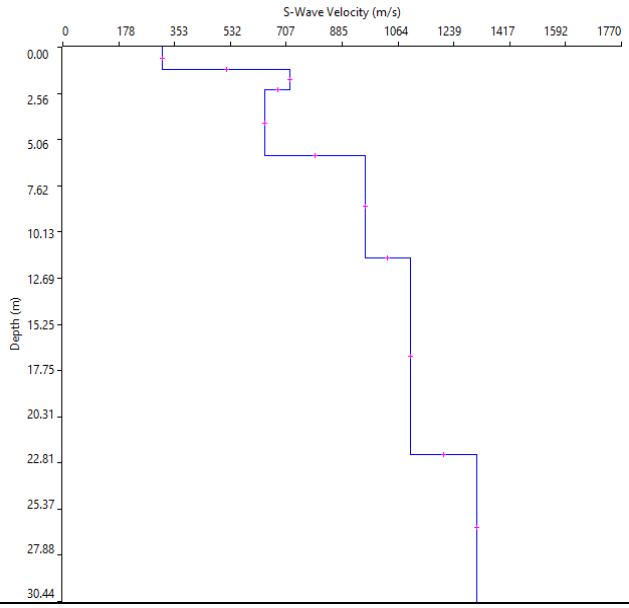


CURVA DI DISPERSIONE



PROFILO VS

Categoria "B" – Vs,eq = 602 m/s calcolato a partire dal p.c. fino al bedrock sismico posto a 5.4 m di profondità



N. SISMOSTRATI – SPESSORI - PROFONDITA' - VELOCITA' ONDE S

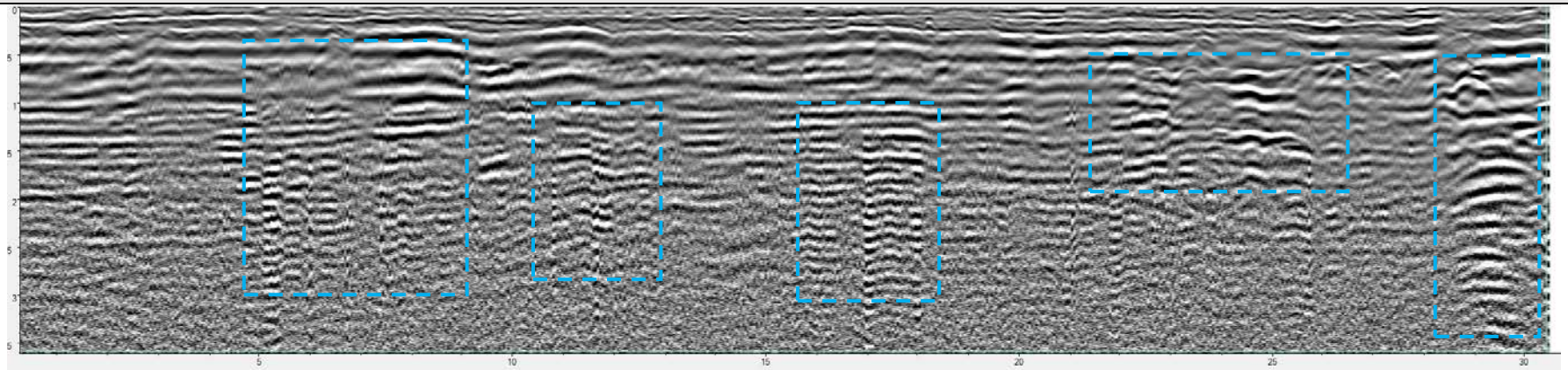
	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	1.23	0.00	315
Layer 2	1.13	1.23	721
Layer 3	3.60	2.36	640
Layer 4	5.59	5.96	957
Layer 5	10.81	11.55	1100
Layer 6	INF	22.36	1312

ALLEGATO 04 – RADARGRAMMI 2D

- RADARAGRAMMI 2D (ANTENNA 200-600 MHz)

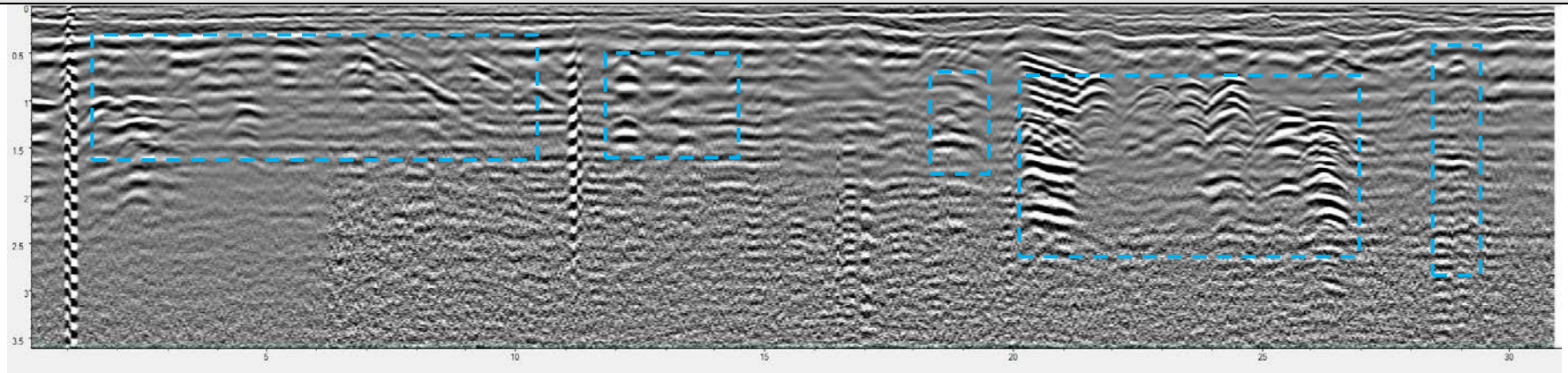
LINEA RADAR 2D – A01

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A02

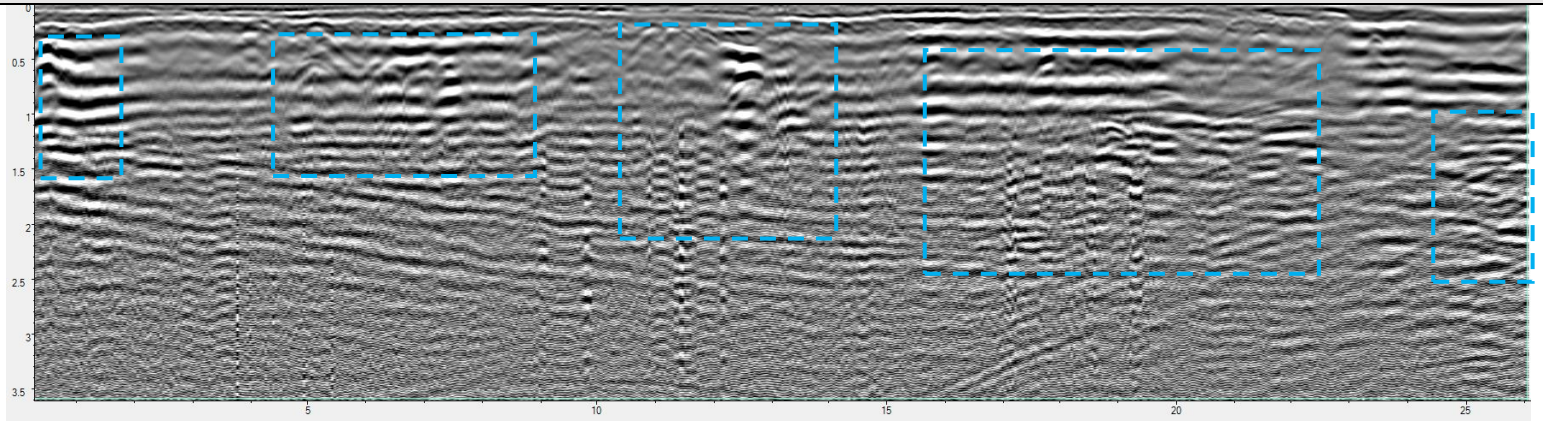
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

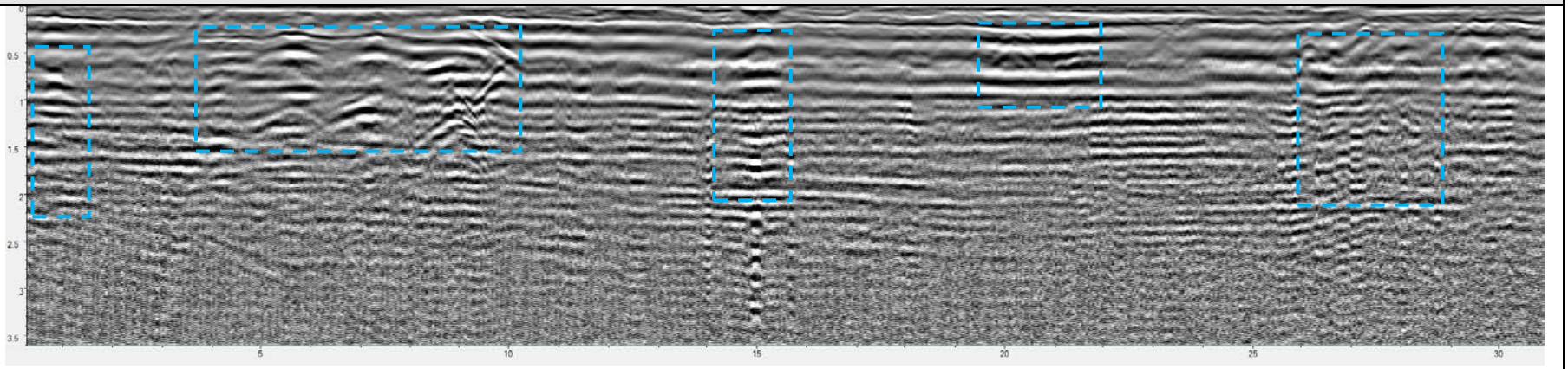
LINEA RADAR 2D – A03

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A04

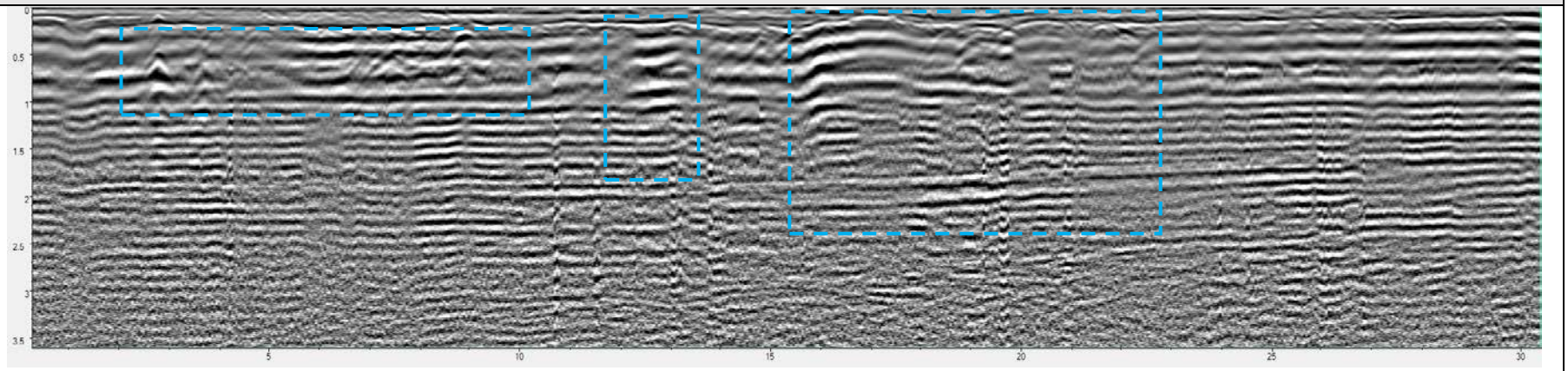
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

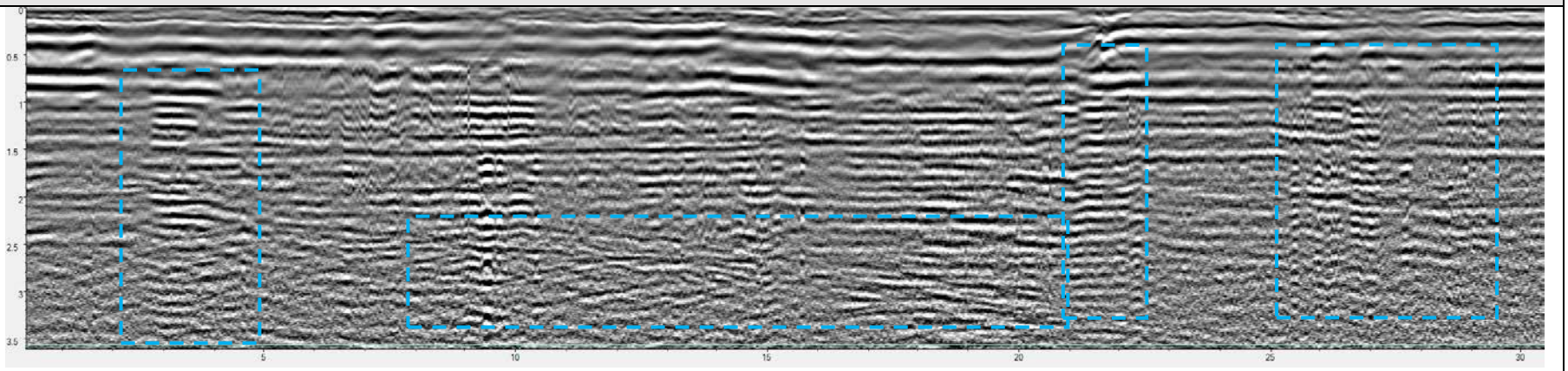
LINEA RADAR 2D – A05

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A06

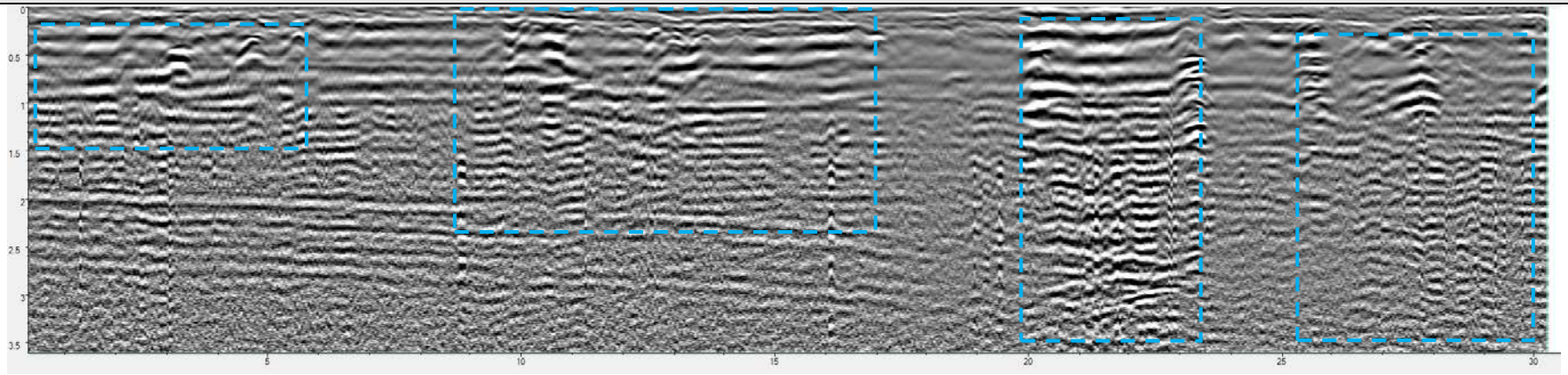
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

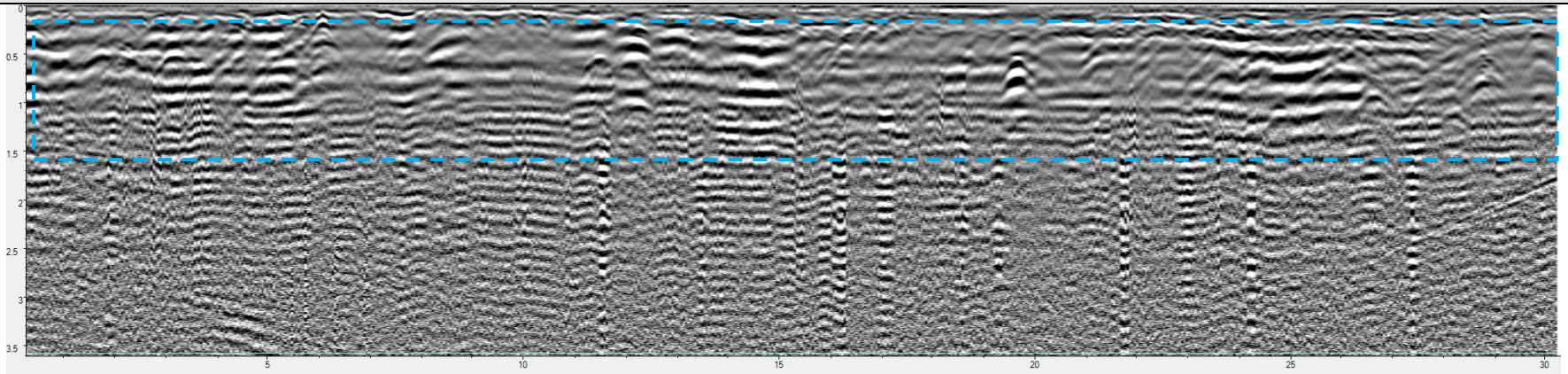
LINEA RADAR 2D – A07

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A08

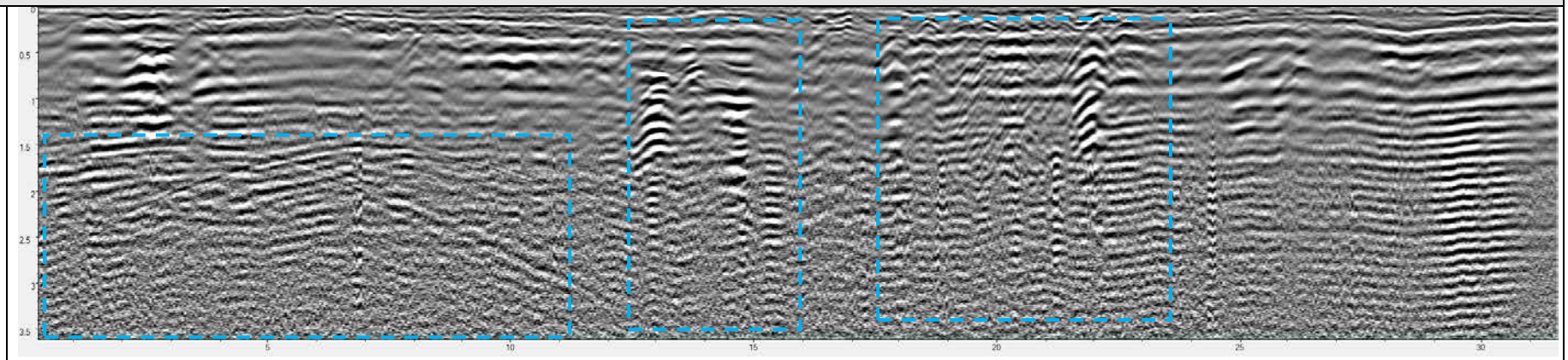
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

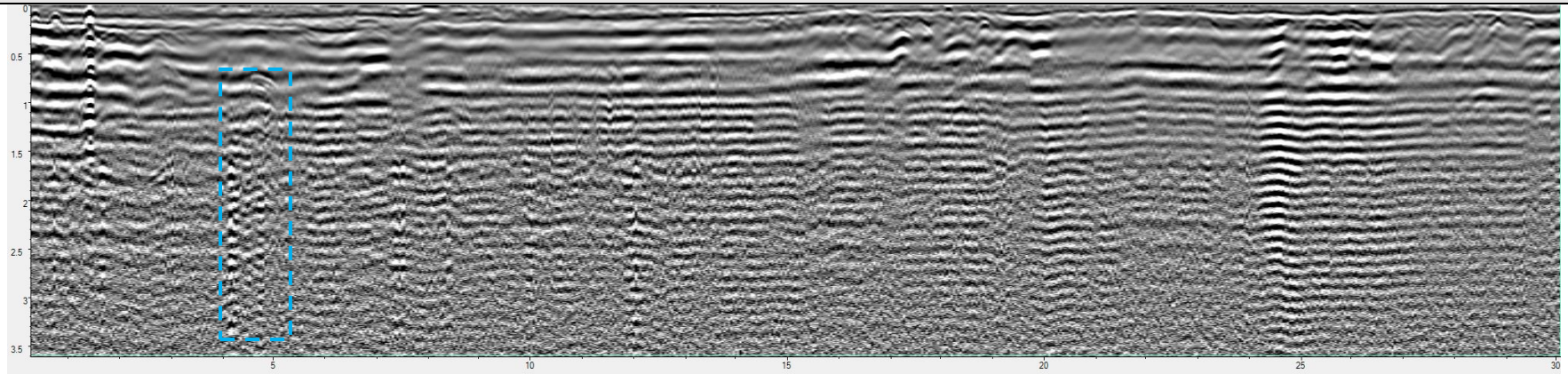
LINEA RADAR 2D – A09

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A10

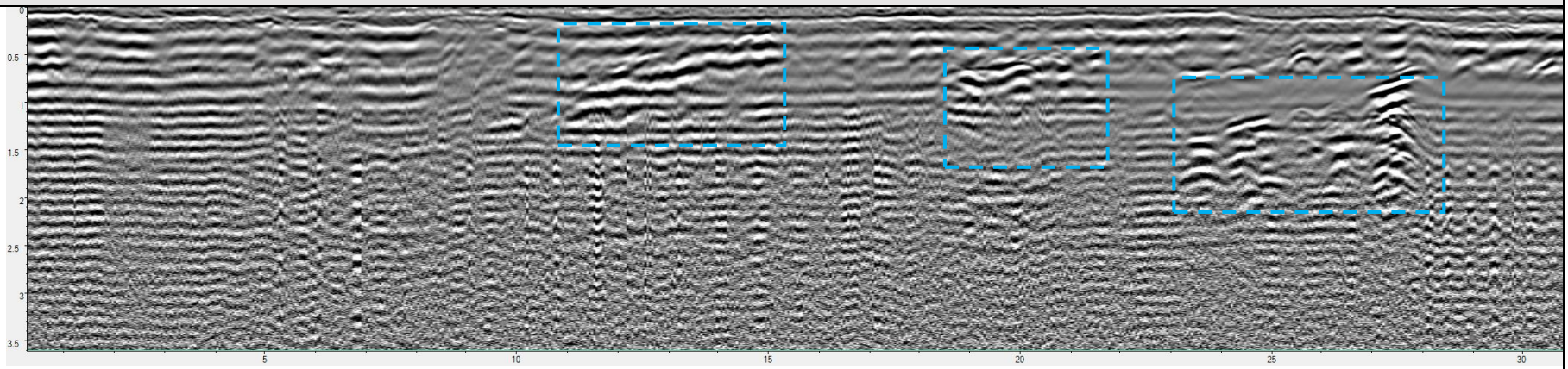
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

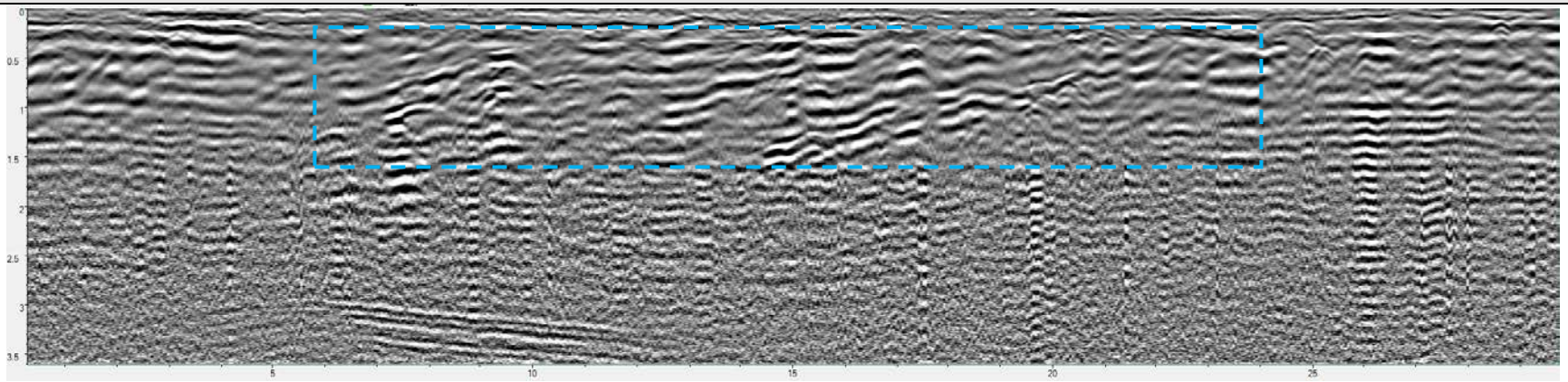
LINEA RADAR 2D – A11

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A12

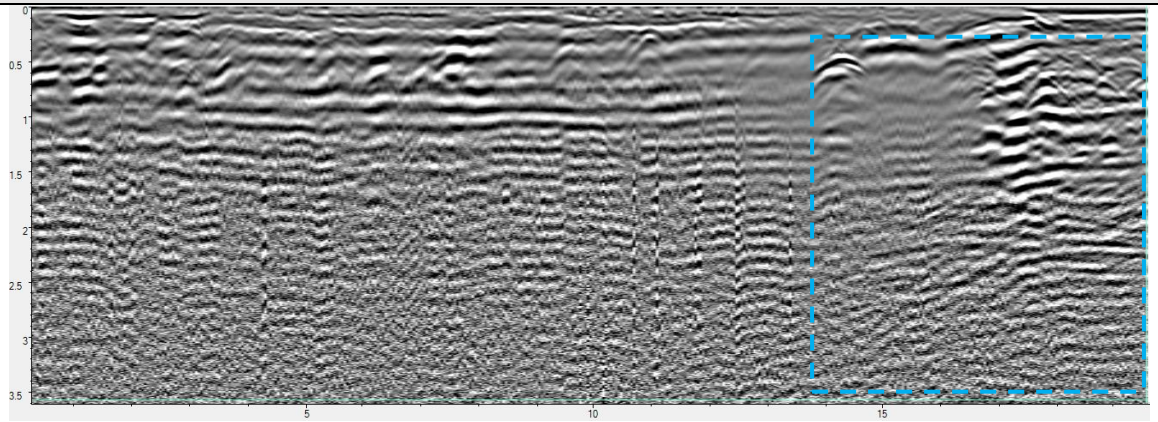
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

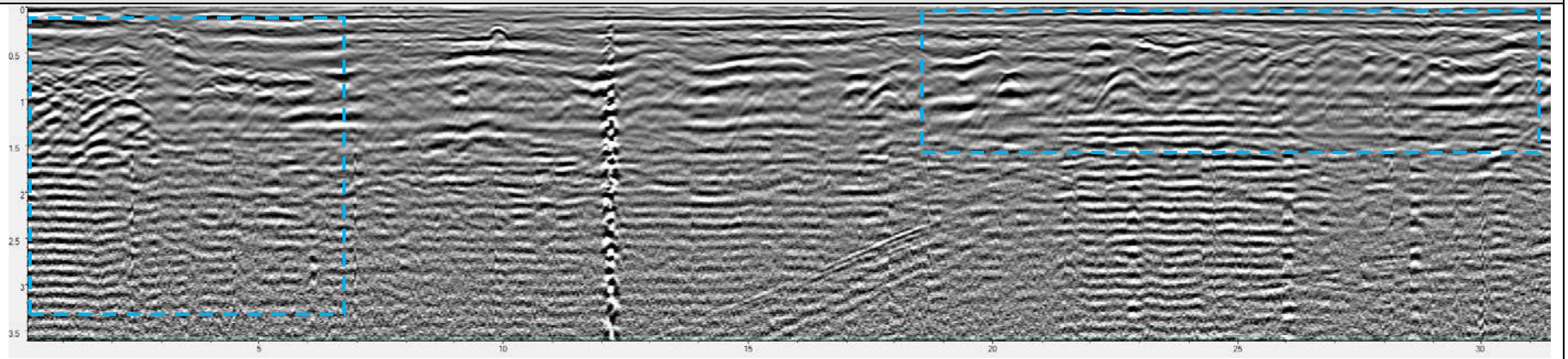
LINEA RADAR 2D – A13

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A14

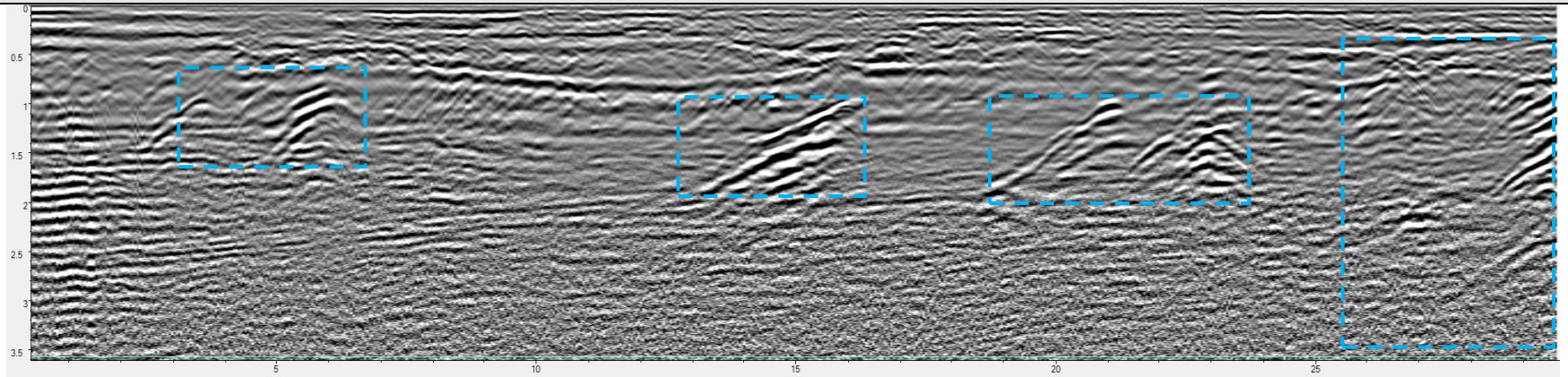
ANTENNA DA 200 MHz



Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

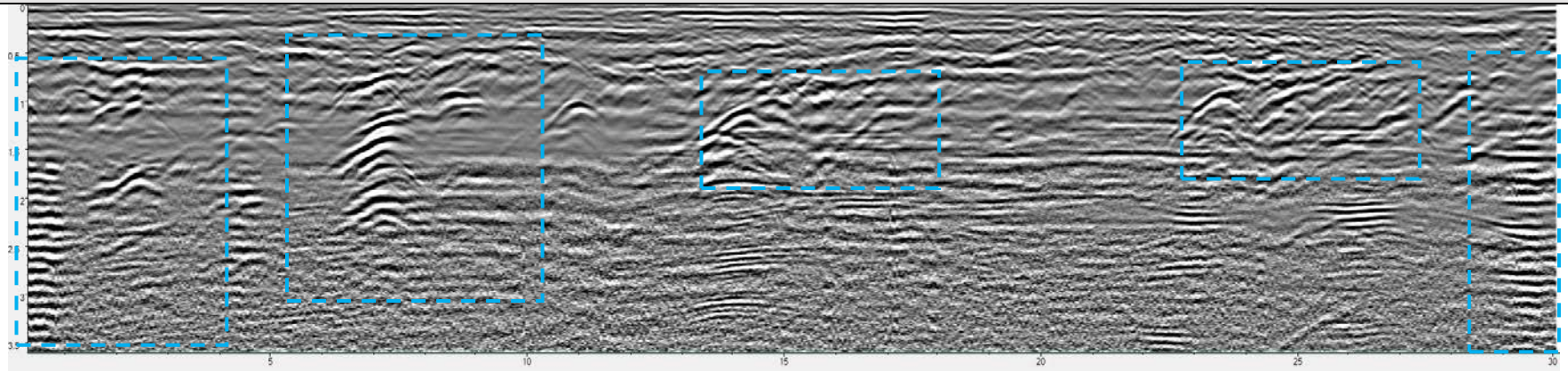
LINEA RADAR 2D – A15

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A16

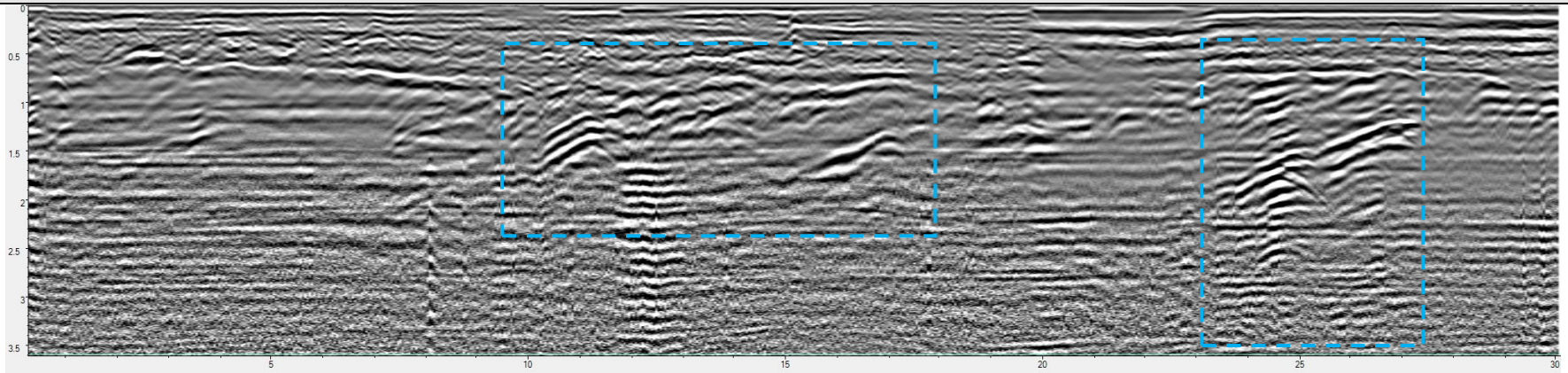
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

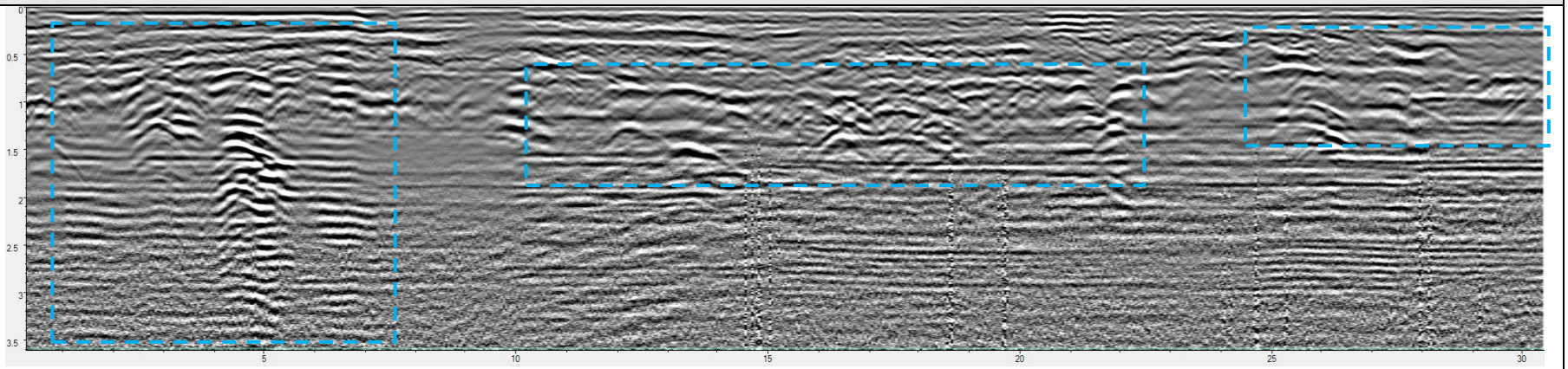
LINEA RADAR 2D – A17

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A18

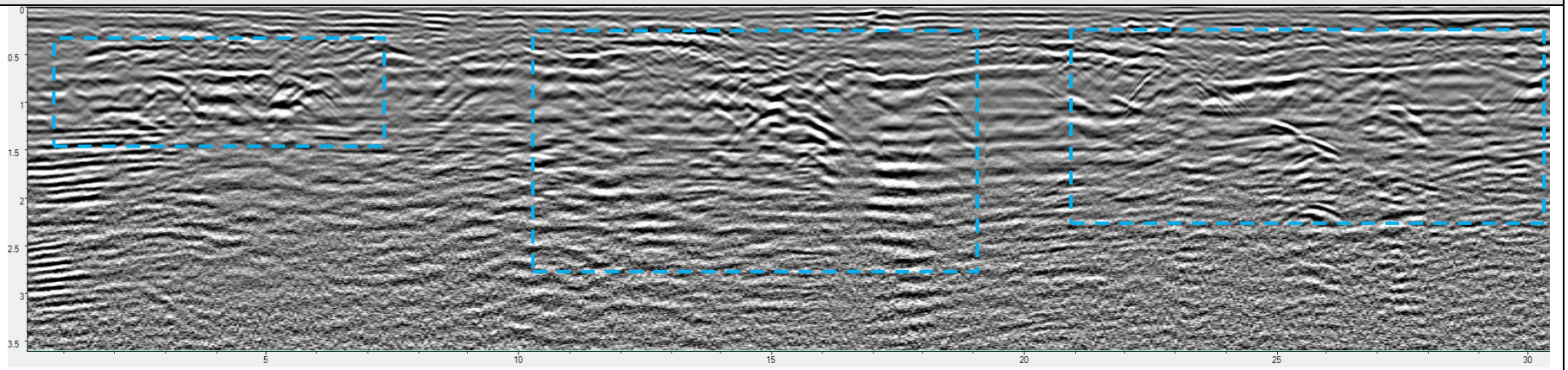
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

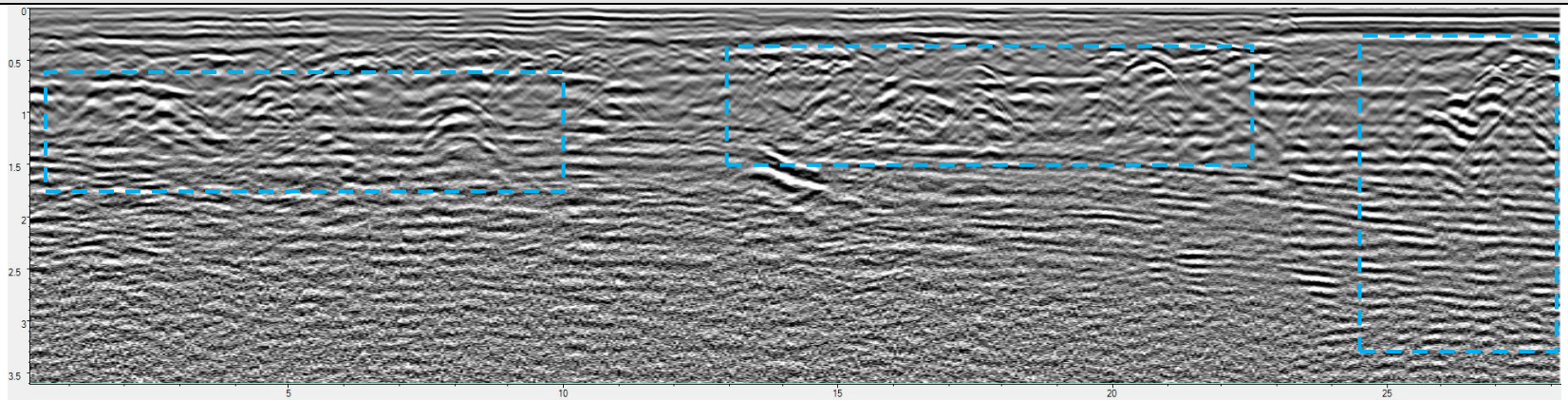
LINEA RADAR 2D – A19

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A20

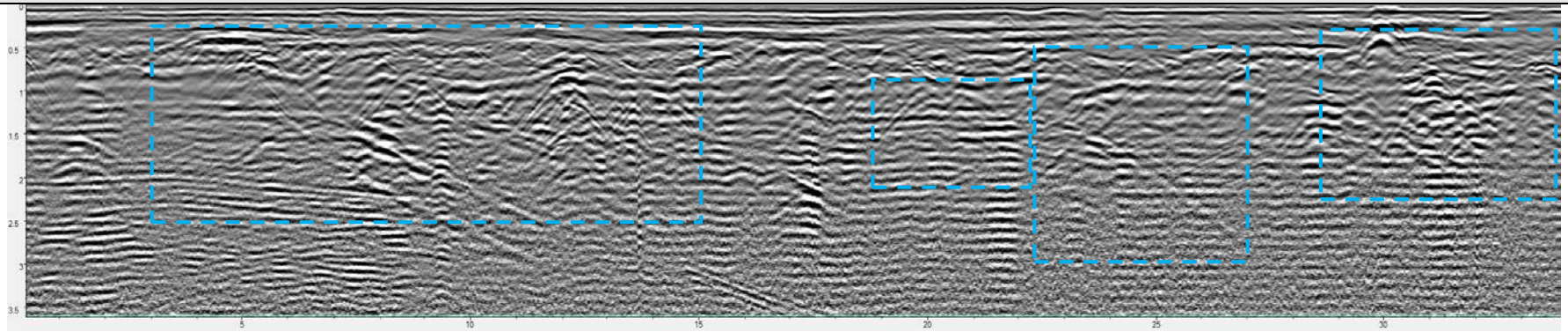
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

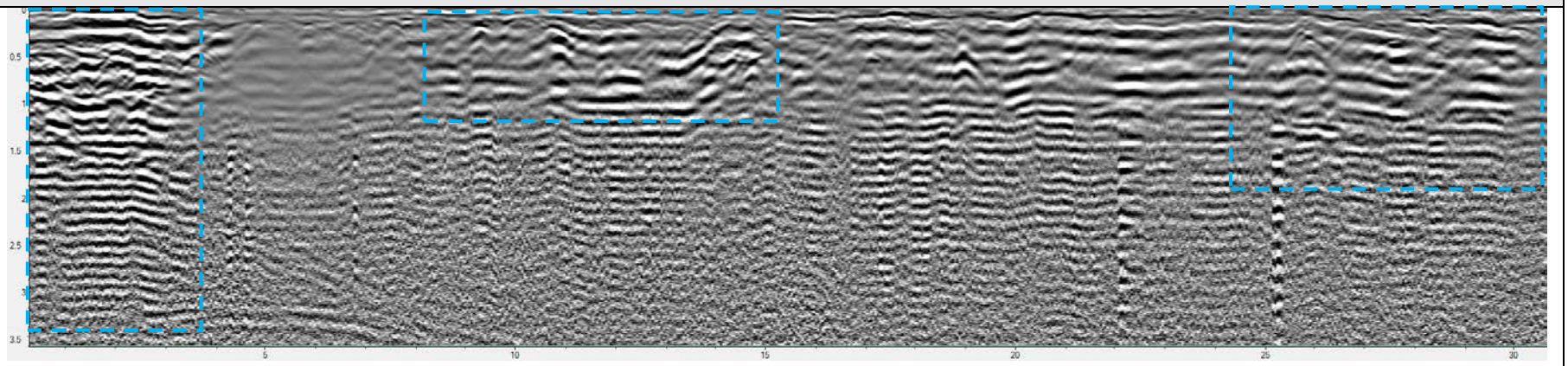
LINEA RADAR 2D – A21

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A22

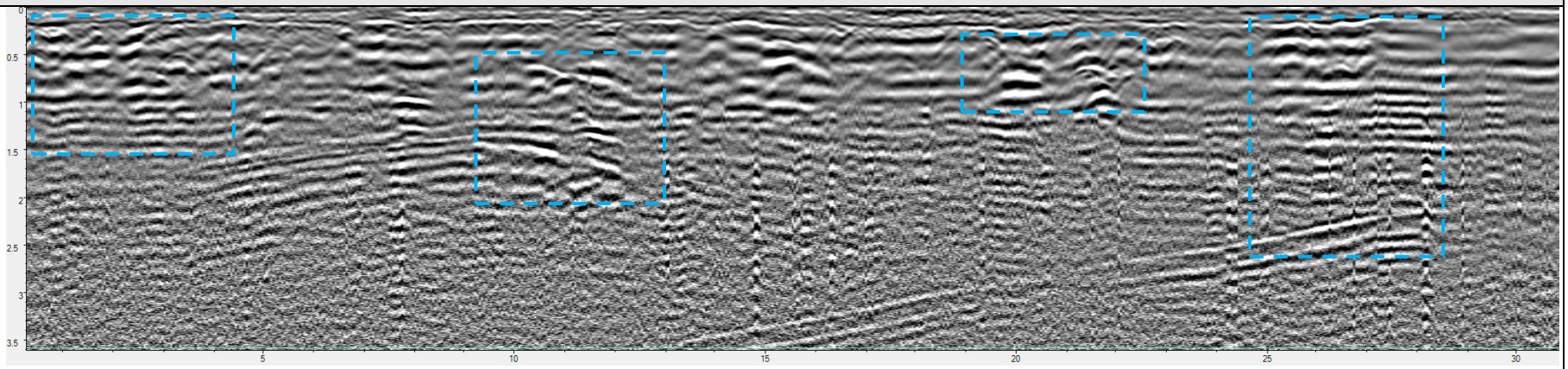
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

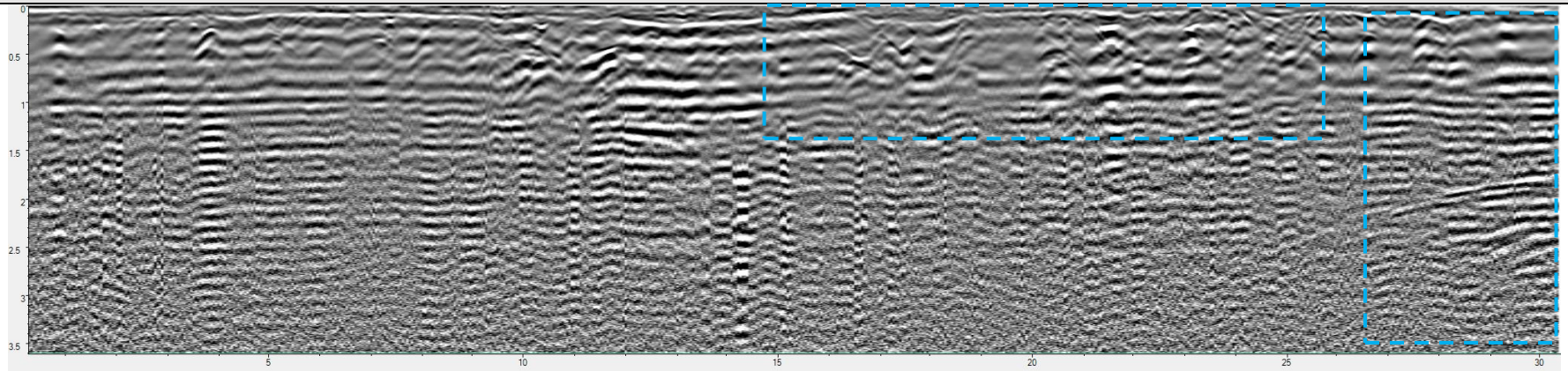
LINEA RADAR 2D – A23

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A24

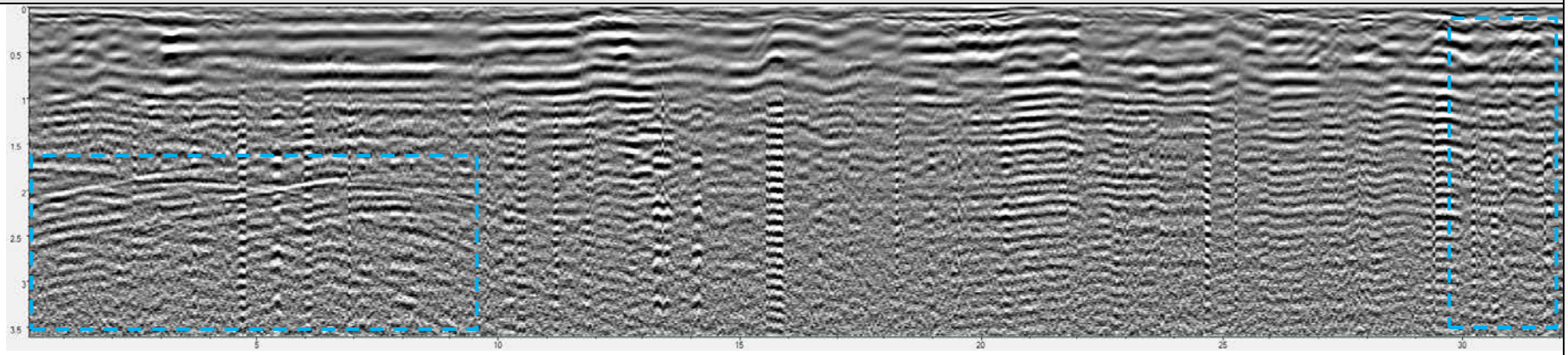
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

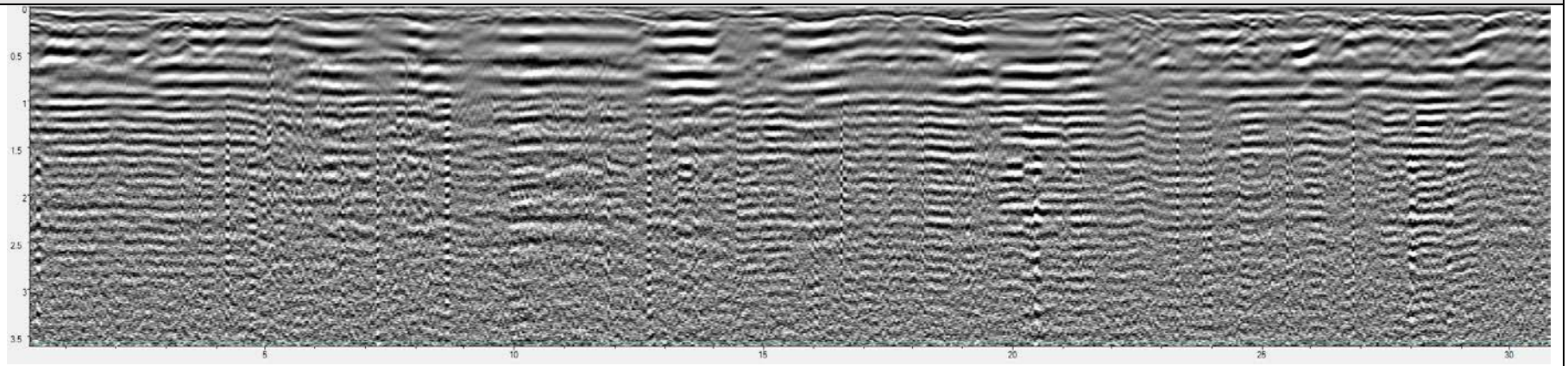
LINEA RADAR 2D – A25

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A26

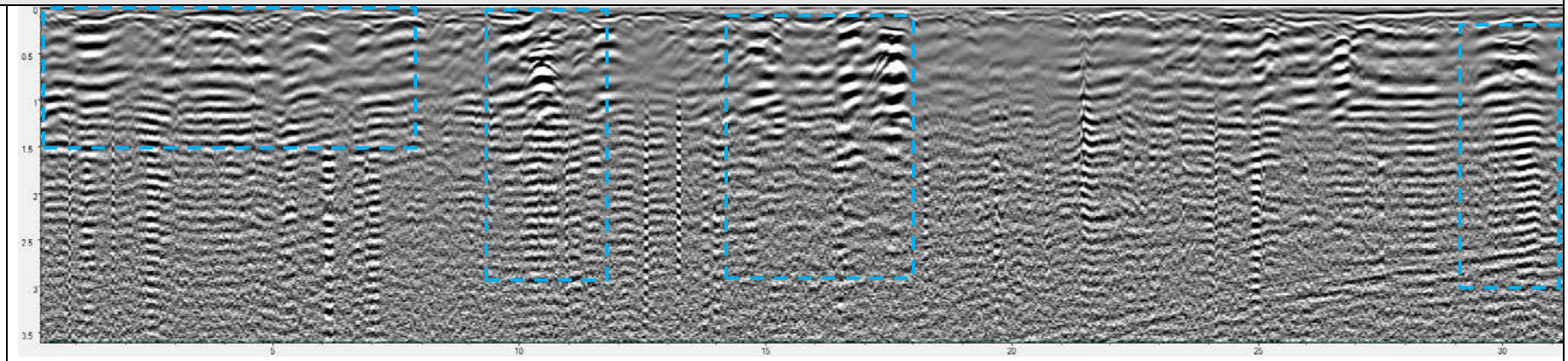
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

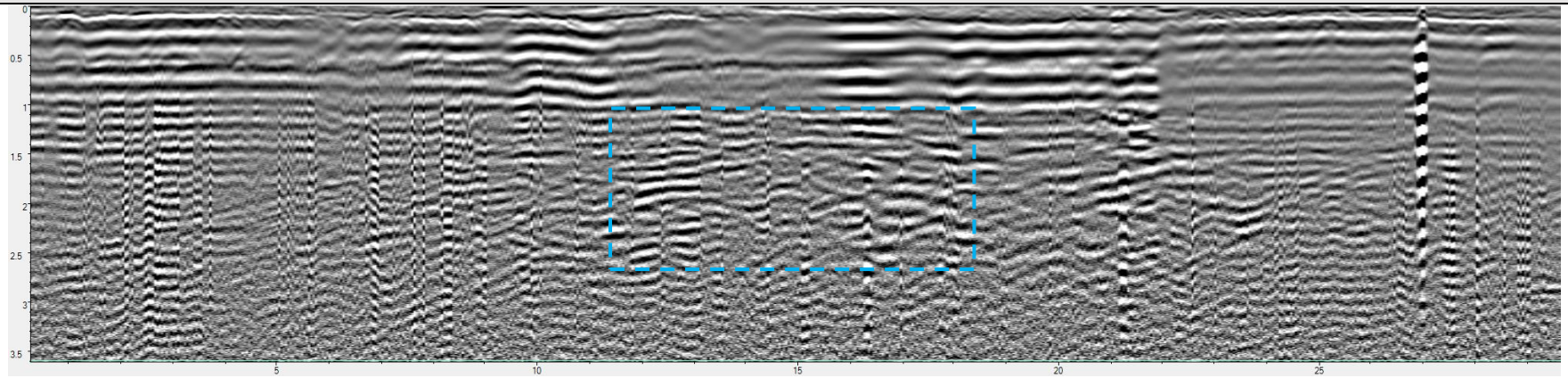
LINEA RADAR 2D – A27

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A28

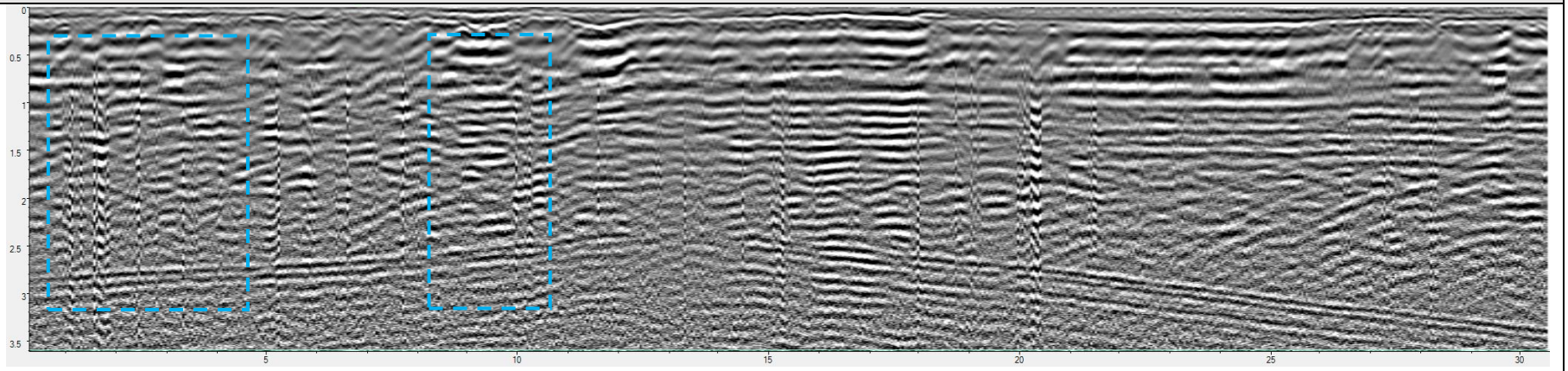
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

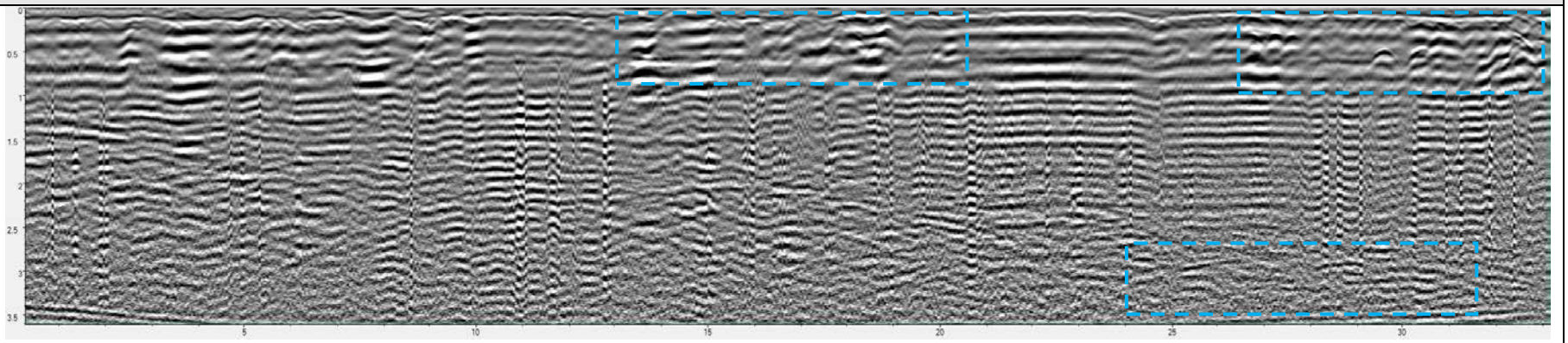
LINEA RADAR 2D – A29

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A30

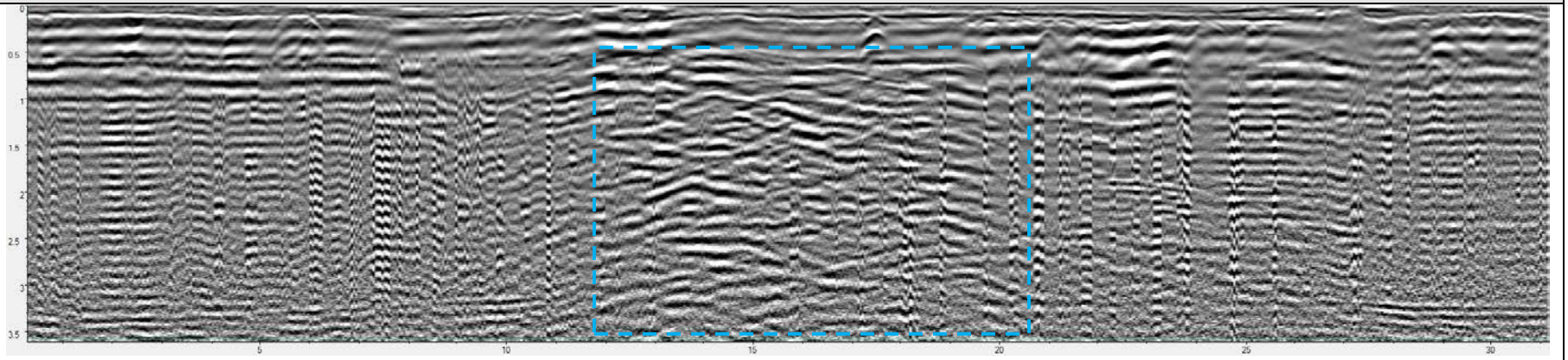
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

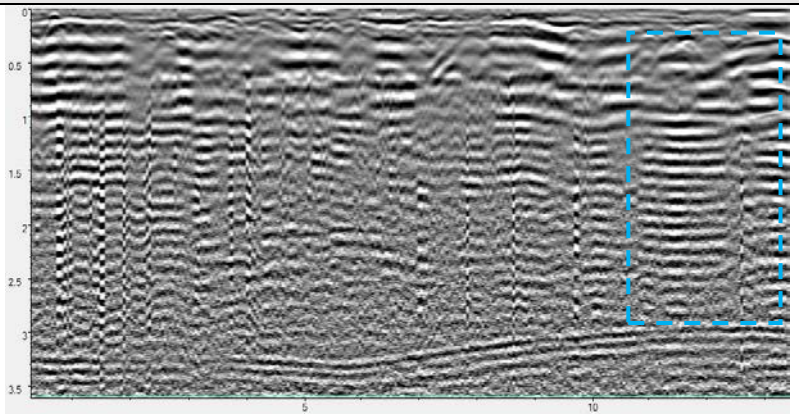
LINEA RADAR 2D – A31

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A32

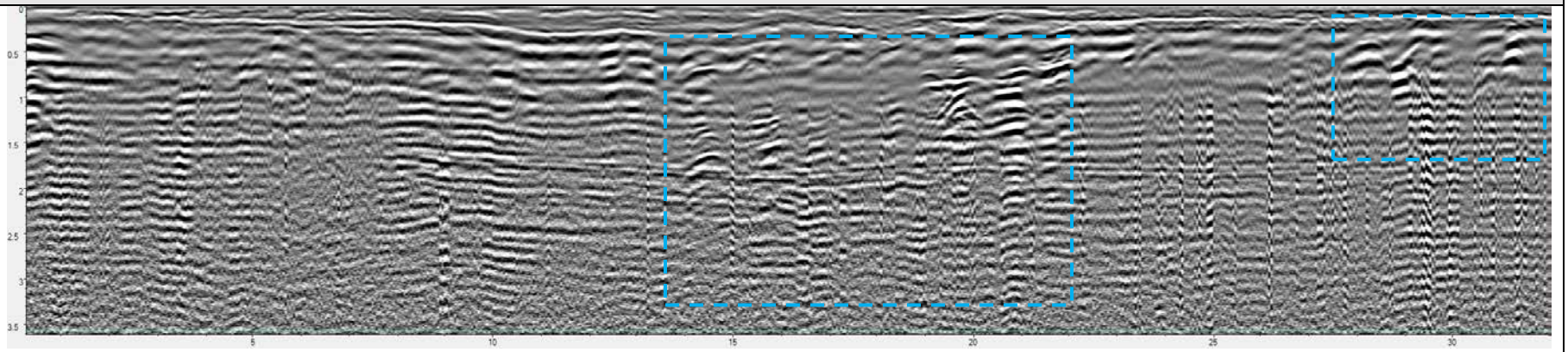
ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

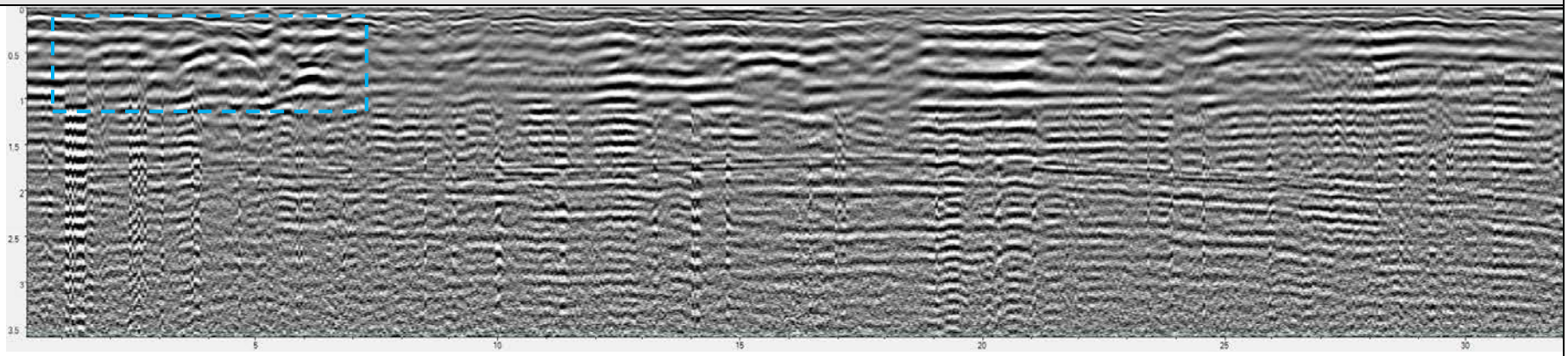
LINEA RADAR 2D – A33

ANTENNA DA 200 MHz



LINEA RADAR 2D – A34

ANTENNA DA 200 MHz



	Riflessioni areali correlabili alla presenza di porzioni rocciose fratturate e/o alterate

ALLEGATO 05 – STRATIGRAFIE

- STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Stratigrafia del Sondaggio **S1** 0 a 20 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568127 N; Y:614065 E ; Z:60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	*Data esecuzione:* **16-17/05/2022**

Prof. (metri)	Colonna Stratigr.	Spess. (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
1		1.00	**Breccia e terreno di riporto**	80	N.A.		TUBO PVC	CROSS-HOLE
2		1.80	**Calcare** di colore grigio chiaro, molto fratturato, localmente alterato	90	0	MEDIA		
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13		10.20	**Calcare compatto** di colore bianco-beige, mediamente fratturato in alternanza a calcare molto fratturato, localmente alterato. Tra 4.10 m e 4.20 m presente livello limoso-sabbioso e tra 7.20 m e 7.30 m presente livello di terra rossa	85	40	BASSA		
14 15		1.80	**Cavità carsica**	0	N.A.			
16		1.70	**Blocchi** di calcare crollati e concrezionati con alla base materiale terroso di alterazione	10	N.A.	ALTA		
17		0.50	**Calcare** di colore bianco-beige, mediamente fratturato	60	0			
18		0.80	**Cavità carsica**	0	N.A.			
19 20		2.20	**Calcare** di colore bianco-beige, mediamente fratturato, con livelli molto fratturati e alterati, alternato a calcare a stratificazione sottile. Presenza di vuoti tra 22.35 e 22-50m e tra 28.5 e 29.0m	85	20	BASSA		

Stratigrafia del Sondaggio **S1** da 20 a 30 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568127 N; Y:614065 E; Z: 60 s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	*Data esecuzione:* **16-17/05/2022**

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
21 22		2.20	**Calcare** compatto di colore bianco-beige, mediamente fratturato	85	30	BASSA	TUBO PVC	CROSS-HOLE
		0.30	**Cavità carsica**					
23 24 25 26 27 28		6.10	**Calcare** compatto di colore bianco-beige, mediamente fratturato	85	20			
29		0.50	**Cavità carsica**					
30		0.92	**Calcare** compatto di colore bianco-beige, mediamente fratturato	90	0			

FONDO DEL FORO 30 METRI

Stratigrafia del Sondaggio **S2** 0 a 20 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568080 N; Y:614103 E; Z:60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	*Data esecuzione:* **17-18-19/05/2022**

Prof. (metri)	Colonna Stratigr.	Spess. (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
1		1.10	**Breccia e terreno di riporto**	60	N.A.		TUBO PVC	CROSS-HOLE
2 3		1.40	**Calcare** di colore grigio-beige, molto fratturato. Tra 2.50 e 3.20m presente livello molto alterato con terra rossa	80	0	MEDIA		
4 5 6 7 8		5.20	**Terra rossa** mediamente consistente con presenza di ooidi e pisoidi. Localmente presenti ciottoli calcarei di dimensione variabile	85	N.A.	MEDIA		
9 10		2.00	**Calcare** di colore bianco-beige, molto fratturato, mediamente alterato	85	0	MEDIA		
11 12 13			**Calcare compatto** di colore bianco-beige, mediamente fratturato e alterato con livelli decimetrici molto alterati	90	35	BASSA		
14			**Limo argilloso** mediamente consistente di colore verdognolo-marroncino, alterato	70	N.A.			
15			**Breccia calcarea** in matrice limosa di colore marroncino	70	N.A.			
			Calcare di colore rossastro, molto fratturato e alterato	70	0			
16			**Calcare** di colore beige, fratturato e alterato con presenza di terra rossa	70	0			
			Cavità carsica					
17 18 19 20			**Calcare di colore bianco-beige,** mediamente fratturato e alterato, alternato a livelli molto fratturati e alterati.	85	20	BASSA		

Stratigrafia del Sondaggio **S2** da 20 a 30 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568080 N; Y:614103 E; Z:60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	*Data esecuzione:* **17-18-19/05/2022**

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
21 22 23			**Calcare** di colore bianco-beige, mediamente fratturato e alterato alternato a livelli molto fratturati e alterati. Presenta vuoto tra 16.5 e 16.7m	85	20	BASSA	TUBO PVC	CROSS-HOLE
24 25 26 27 28 29			**Terra** rossa mediamente consistente con livello calcareo tra 27.7 e 28.5m	90	N.A.	BASSA		
30			**Limo** di colore marroncino, poco consistente con inclusioni di ciottoli calcarei	90	N.A.			

FONDO DEL FORO 30 METRI

Stratigrafia del Sondaggio **S3** 0 a 20 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568153 N; Y:614019 E; Z:60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	*Data esecuzione:* **19-20/05/2022**

Prof. (metri)	Colonna Stratigr.	Spess. (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
1		1.00	**Breccia e terreno di riporto**	80	N.A.		TUBO PVC	CROSS-HOLE
2 3 4 5		4.00	**Calcare** di colore grigio-beige, molto fratturato con livelli molto alterati	85	0	MEDIA		
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15		10.00	**Calcare** di colore bianco-beige da mediamente a molto fratturato e alterato alternato a calcare a stratificazione sottile. Da 9.40 e 9.60m e 11.95 e 12.05m presenti livelli di terra rossa	95	0	MEDIA		
16 17 18 19 20		5.00	**Calcare** di colore grigio chiaro-beige, molto fratturato e mediamente alterato. Localmente presenti livelli di terra rossa	90	20	BASSA		

Stratigrafia del Sondaggio **S3** da 20 a 30 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568153 N; Y:614019 E; Z:60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
	Data esecuzione: **19-20/05/2022**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
21 22 23 24 25 26 27 28 29		9.60	**Calcare** di colore grigio chiaro-beige, molto fratturato e mediamente alterato. Localmente presenti livelli di terra rossa	80	0	BASSA	TUBO PVC	CROSS-HOLE
30		0.40	**Terra rossa**	90	N.A.			

FONDO DEL FORO 30 METRI

Stratigrafia del Sondaggio **S4** 0 a 25 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568110 N; Y:614088 E; Z: 60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
	Data esecuzione: **30-31/05/2022-01/06/2022**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	

Prof. (metri)	Colonna Stratigr.	Spess. (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
1		1.00	**Breccia e terreno di riporto**	80	N.A.		TUBO PVC	CROSS-HOLE
2 3 4 5 6 7 8 9 10		9.00	**Calcare** di colore grigio chiaro-beige,molto fratturato alternato a calcare a stratificazione sottile. Mediamente alterato	90	0	MEDIA		
11 12		2.40	**Calcare** di colore bianco-beige, mediamente fratturato con livello molto fratturato. Mediamente alterato. Tra 10.6 e 10.7 presente livello limoso di colore marroncino con inclusione di ciottoli calcarei	95	23	MEDIA		
13 14		2.00	**Terra rossa** da mediamente a poco consistente con inclusione di ciottoli di dimensione variabile	90	N.A	MEDIA		
15 16 17		2.20	**Calcare** di colore grigio chiaro-beige, molto fratturato,mediamente alterato	70	0	MEDIA		
18 19 20 21 22 23		6.40	**Terra rossa** con locali inclusioni di ciottoli di natura calcarea. Tra 21.0-21.5m e tra 22.2 e 22.4 m presenti livelli calcarei molto fratturati e alterati	95	N.A	MEDIA		
24 25		2.00	**Calcare** di colore bianco-beige molto fratturato e alterato con livelli di terra rossa	80	0	MEDIA		

Stratigrafia del Sondaggio **S4** 0 a 20 metri

Committente: AMIU TRANI	*Regione:* **Puglia** *Comune:* **Trani**
	Taglio CTR: **424093**
Oggetto: INTERVENTI DI RIPRISTINO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DELLA PARETE LATERALE - LOTTO III	*COORD.* (UTM33 WGS84): X:4568110 N; Y:614088 E; Z: 60 m s.l.m.
	Metodo di perforazione: **Carotaggio continuo**
	Doppio carotiere: **SI** *Rivestimento foro:* **SI**
Impresa esecutrice: **Apogeo S.r.l.** Via Caduti di Nassiriya 170- 70022 Altamura (BA) Att. SOA OS20A Class. I -OS20B Class. IIIbis	*Diametro di perforazione:* **101 mm**
	Data esecuzione: **30-31/05/2022-01/06/2022**
Red. Stratigrafia: **Dott. Geol. Pietro PEPE**	

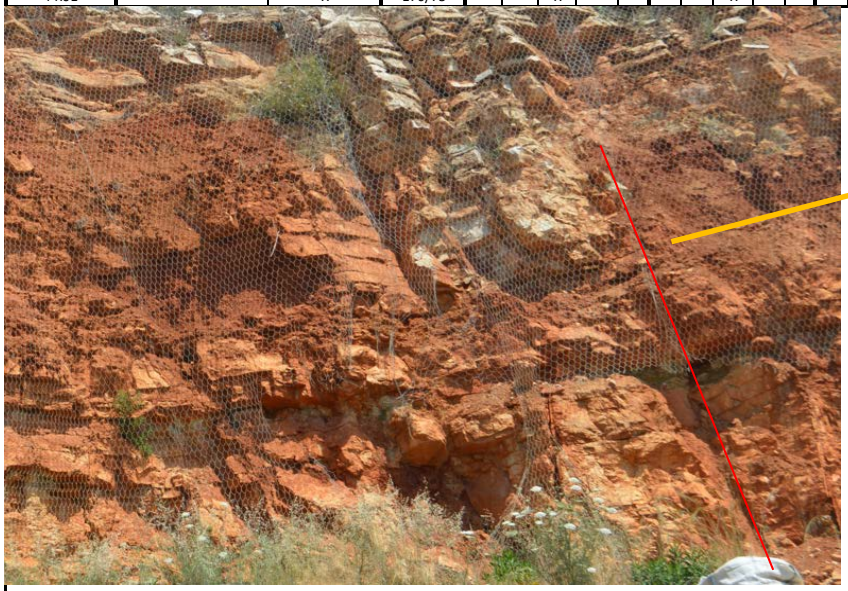
Prof. (metri)	Colonna Stratigr.	Spess. (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	% CAROT.	RQD %	TENDENZA A FRANARE	ALLESTIM. FORO	PROVE IN FORO
26 27 28 29 30 31 32		7.00	**Calcare** di colore bianco-beige molto fratturato e alterato con livelli di terra rossa	80	0	MEDIA	TUBO PVC	CROSS-HOLE
33 34 35 36 37 38 39 40		8.00	**Calcare** a statificazione sottile di colore bianco-beige alternato a calcare mediamente fratturato,Localmente presenta alterazione. Tra 38.45 e 38.60m presente livello limoso con inclusione di ciottoli millimetrici. Presente vuoto da 35.80 a 36.0 m	90	15	BASSA		
41 42 43 44		3.80	**Calcare** di colore grigio chiaro-beige, molto fratturato, mediamente alterato, con livelli di terra rossa	85	0	BASSA		
45		1.00	**Terra rossa** mediamente consistente con rari e trovanti ciottoli di natura calcarea	90	N.A	BASSA		
		0.20	**Limo** molto consistente di colore marroncino					

FONDO DEL FORO 45 METRI

ALLEGATO 06 – REPORT DEL RILIEVO GEOMECCANICO

- RILEIVO GEOSTRUTTURALE

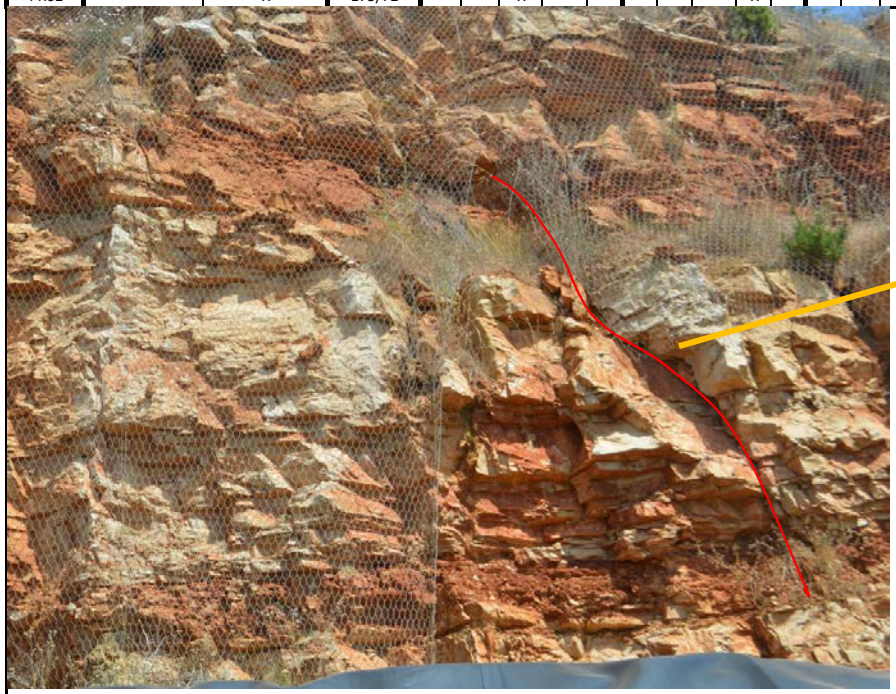
Comune	TRANI (BT)	**Località**							AMIU TRANI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m^3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR01		X	170/75			X					X											X	15	31↘	48		X				V	U III



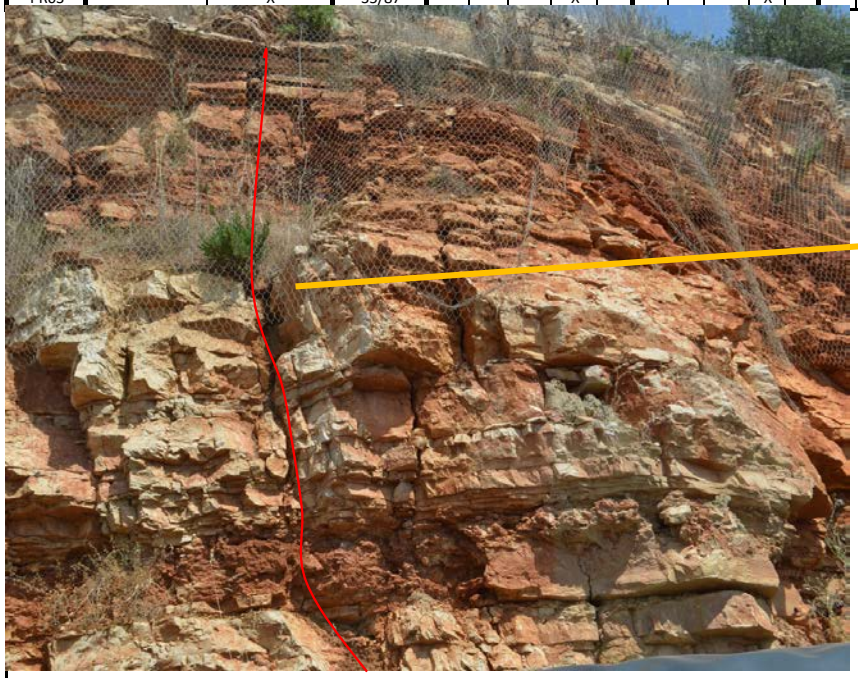
Comune	TRANI (BT)	**Località**	AMIU TRANI						
Litotipo	Roccia calcarea								

Peso unità di volume apparente della roccia: 24.0 kN/m3

Punto Rilevato	Tipo giunto		Giacitura [°]	Continuità [m]					Apertura [mm]					Scabrezza a grande scala									Pettine di burton	Indice di rimbalzo "r"	JCS	Riempimento [mm]					Alterazione	Condizioni Idrauliche
														ondulato			a gradini			planare			classe JRC									
	faglia	frattura	imm/incl	<1	1-3	3-10	10-20	>20	0	<0.1	0.1-1	1-5	>5	rug.	lisc.	stri.	rug.	lisc.	stri.	rug.	lisc.	stri.	1-20			0	comp.<5	comp>5	molle<5	molle>5	I-VI	UI-UVI e FI-FVI
PR02		X	175/72			X						X							X				16	46→	70	X					II	U III

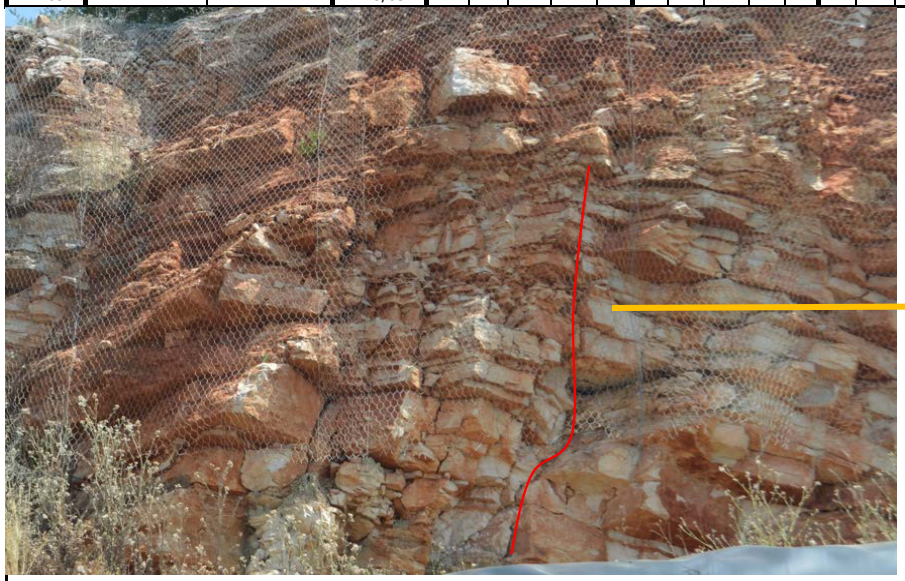


Comune	TRANI (BT)	**Località**							AMIU TRANI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR03		X	35/87				X					X										X	16	35↘	55		X				III	UIII



Comune	TRANI (BT)	**Località**							AMIU TRANI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR04		X	210/70				X					X				X							18	42→	60		X				II	UII

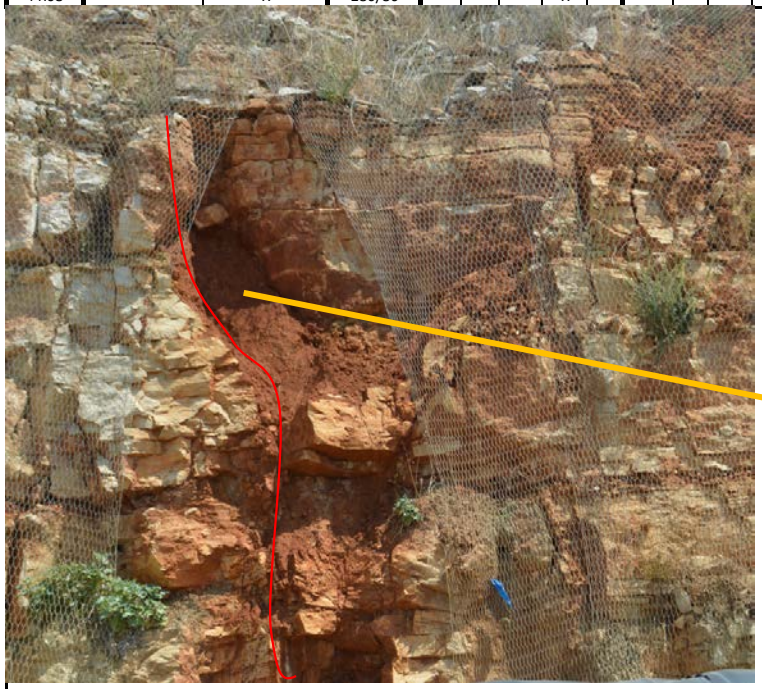
Comune	TRANI(BT)	**Località**							AMIU TARNI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR05		X	275/68			X					X										X		20	42→	60	X					II	U III



| | | |

| | | |

Comune	TRANI (BT)	**Località**							AMIU TRANI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR08		X	280/86				X					X		X									18	24↘	33					X	VI	FII



Comune	TRANI (BT)	**Località**							AMIU TRANI																							
Litotipo	Roccia calcarea																															
Peso unità di volume apparente della roccia: 24,0 kN/m3																																
Punto Rilevato	**Tipo giunto**		**Giacitura [°]**	**Continuità [m]**					**Apertura [mm]**					**Scabrezza a grande scala**									**Pettine di burton**	**Indice di rimbalzo "r"**	**JCS**	**Riempimento [mm]**					**Alterazione**	**Condizioni Idrauliche**
														ondulato			**a gradini**			**planare**			**classe JRC**									
	faglia	**frattura**	**imm/incl**	**<1**	**1-3**	**3-10**	**10-20**	**>20**	**0**	**<0.1**	**0.1-1**	**1-5**	**>5**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**rug.**	**lisc.**	**stri.**	**1-20**			**0**	**comp.<5**	**comp>5**	**molle<5**	**molle>5**	**I-VI**	**UI-UVI e FI-FVI**
PR09		X	290/85				X			X							X						16	38↗	43	X					II	U II

ALLEGATO 07 - DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

"TRANI" – INDAGINE GEOELETTRICA	
ERT01 p.to di vista dal geofono E01	ERT01 p.to di vista dal geofono E48
ERT02 p.to di vista dal geofono E01	ERT02 p.to di vista dal geofono E48

“TRANI” – INDAGINE GEOELETTRICA	
ERT03 p.to di vista dal geofono E01	ERT03 p.to di vista dal geofono E48

“TRANI” – INDAGINE SISMICA IN ONDE P E RE.MI	
BS01 p.to di vista dal geofono G01	BS01 p.to di vista dal geofono G24
BS01 p.to di vista della strumentazione	

“TRANI” – INDAGINE SISMICA IN ONDE P E RE.MI	
BS02 p.to di vista dal geofono G01	BS02 p.to di vista dal geofono G24
BS02 p.to di vista della strumentazione	

“TRANI” – INDAGINE GEORADAR	
GEORADAR ANTENNA 200-600 MHz	GEORADAR ANTENNA 200-600 MHz

TRANI-SONDAGGIO S01	
S01-UBICAZIONE TRIVELLA	S01-INSTALLAZIONE TUBO ATOSSICO IN PVC
S01-CASSA 1 (da 0 a 5 m)	S01-CASSA 2 (da 5 a 10 m)
S01-CASSA 3 (da 10 a 15 m)	S01-CASSA 4 (da 15 a 20 m)

SONDAGGIO S01	
S01-CASSA 5 (da 20 a 25 m)	S01-CASSA 6 (da 25 a 30 m)
S01-VIDEOISPEZIONE	

SONDAGGIO S02

S02-UBICAZIONE TRIVELLA	S02-INSTALLAZIONE TUBO ATOSSICO IN PVC
S02-CASSA 1 (da 0 a 5 m)	S02-CASSA 2 (da 5 a 10 m)
S02-CASSA 3 (da 10 a 15 m)	S02-CASSA 4 (da 15 a 20 m)

SONDAGGIO S02	
S02-CASSA 5 (da 20 a 25 m)	S02-CASSA 6 (da 25 a 30 m)
S02-VIDEOISPEZIONE	

SONDAGGIO S03	
S03-UBICAZIONE TRIVELLA	S03-INSTALLAZIONE TUBO ATOSSICO IN PVC
S03-CASSA 1 (da 0 a 5 m)	S03-CASSA 2 (da 5 a 10 m)
S03-CASSA 3 (da 10 a 15 m)	S03-CASSA 4 (da 15 a 20 m)

SONDAGGIO S03	
S03-CASSA 5 (da 20 a 25 m)	S03-CASSA 6 (da 25 a 30 m)
S03-VIDEOISPEZIONE	

SONDAGGIO S04

S04-UBICAZIONE TRIVELLA	S04-INSTALLAZIONE TUBO ATOSSICO IN PVC
S04-CASSA 1 (da 0 a 5 m)	S04-CASSA 2 (da 5 a 10 m)
S04-CASSA 3 (da 10 a 15 m)	S04-CASSA 4 (da 15 a 20 m)

SONDAGGIO S04

S04-CASSA 5 (da 20 a 25 m)

S04-CASSA 6 (da 25 a 30 m)

S04-CASSA 7 (da 30 a 35 m)

S04-CASSA 8 (da 35 a 40 m)

S04-CASSA 9 (da 40 a 45 m)