



Comune di Trani

Regione Puglia



OPERE DI MESSA IN SICUREZZA DI EMERGENZA (MISE) DEI LOTTI I, II, III DISCARICA PER RSU SITA IN TRANI E DENOMINATA "PURO VECCHIO"

CIG: 7060424E30

PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE:

AZIENDA MUNICIPALIZZATA IGIENE URBANA
Comune di Trani
Via Barletta, 161 - Trani
P.IVA 05487980723



PROGETTO:

Studio Romanazzi-Boscia e Associati s.r.l.
via Amendola 172/c. 70100 Bari - tel.: 080.548.21.87 - Fax: 080.548.22.67
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

Ing. Vincenzo Catalucci



Vito Specchio

ALLEGATO

R.2.2

R - ELABORATI DESCRITTIVI

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

SCALA:

...

DATA: GIUGNO 2018

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE

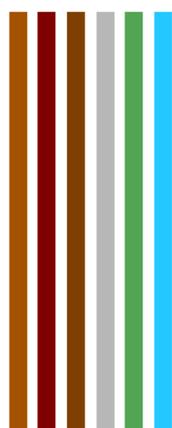
COMUNE DI TRANI

OGGETTO

**INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E
D'EMERGENZA DEL SITO DI DISCARICA DI RIFIUTI
SOLIDI URBANI IN LOCALITÀ PURO VECCHIO - TRANI**

ELABORATO

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE



COMMITTENTE

Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia e Associati srl

INDAGINI E RILIEVI

APOGEO s.r.l.

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (BA)
Cod. Fisc. e P. IVA 01037210778 REA: 472212 - Cap. Soc. € 94.628,00 i.v.
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it - PEC: apogeo@pec.joomlahost.it
www.apogeo.biz

Dott. Geol. Pietro PEPE

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



OS20A Class. I
OS20B Class. III-BIS



ALLEGATI

SCALA

ALL.01a – PLANIMETRIA INDAGINI ZONA VASCA DI ASSORBIMENTO

1:1000

ALL.01b – PLANIMETRIA INDAGINI ZONA SILOS

1:1000

ALL.01c - PLANIMETRIA INDAGINI GPR

1:500

ALL.02a – RISULTATI INDAGINE SISMICA IN ONDE P

ALL.02b – RISULTATI INDAGINE SISMICA PER LA STIMA DELLA VSeq

ALL.03 – RISULTATI INDAGINE GEOELETTRICA

ALL.04a – RISULTATI INDAGINE GEORADAR DI SUPERFICIE

ALL.04B – RISULTATI INDAGINE GEORADAR IN FORO

ALL.05 – STRATIGRAFIE

ALL.06 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

DATA

Giugno 2018

Rif. Commessa

046_2018

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	CAMPAGNA GEOGNOSTICA.....	5
2.1	PROSPEZIONI SISMICHE DI SUPERFICIE IN ONDE P	5
2.1.1	Descrizione del metodo e della strumentazione	5
2.1.2	Acquisizione dei dati	5
2.1.3	Elaborazione dei dati	6
2.1.4	Rappresentazione dei dati	6
2.1.5	Interpretazione dei risultati.....	6
2.2	PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VSeq: MASW.....	9
2.2.1	MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Descrizione del metodo e della strumentazione	9
2.2.2	MASW – Acquisizione dei dati	9
2.2.3	MASW – Rappresentazione dei risultati	10
2.2.4	MASW – Interpretazione dei risultati	10
2.3	STIMA DEI MODULI DINAMICI	12
2.4	TOMOGRAFIA GEOELETRICA	15
2.4.1	Strumentazione utilizzata	15
2.4.2	Resistività apparente	17
2.4.3	Elaborazione dei dati della geoelettrica di superficie.....	18
2.4.4	Interpretazione dei dati	18
2.5	INDAGINI GEORADAR	20
2.5.1	Descrizione del metodo.....	20
2.5.2	Limiti della metodologia	22
2.5.3	Utilizzo del GPR – GSSI.....	22
2.5.4	Strumentazione utilizzata.....	23
2.5.5	Modalità di esecuzione	24
2.5.6	Elaborazione dei dati	25
2.5.7	Rappresentazione dei dati e analisi dei risultati.....	26
3	RILIEVO TOPOGRAFICO CON DRONE E GPS.....	28
3.1	Rilievo DRONE.....	28
3.2	Rilievo GPS	29
3.2.1	Strumentazione utilizzata	30
3.2.2	Tecnologia di rilievo.....	31
3.2.3	Collegamento del rilievo alla rete GNSS della NetGEO	31
4	PROVE DI PERMEABILITÀ	33
4.1.1	Prove di permeabilità in fori di sondaggio e in pozzetto.....	33
5	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI PRESENTI NELL’AREA	41
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	43
	ALLEGATO 01 – PLANIMETRIE	44
	ALLEGATO 02A – SISMICA DI SUPERFICIE IN ONDE P.....	49
	ALLEGATO 02B – SISMICA DI SUPERFICIE PER LA STIMA DEL VSeq.....	56
	ALLEGATO 03 – INDAGINE GEOELETRICA.....	61
	ALLEGATO 04A – INDAGINE GEORADAR DI SUPERFICIE.....	64
	ALLEGATO 04B – INDAGINE GEORADAR IN FORO.....	88
	ALLEGATO 05 – STRATIGRAFIE	92
	ALLEGATO 06 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	93

1 PREMESSA

Con la presente relazione si espongono i risultati ottenuti dalla campagna di indagine geognostica eseguita presso il Comune di Trani nell'ambito degli **"INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E D'EMERGENZA DEL SITO DI DISCARICA DI RIFIUTI SOLIDI URBANI IN LOCALITÀ PURO VECCHIO - TRANI"** su commissione dello Studio R.B.A. Romanazzi – Boscia e Associati srl studio associato.

Le indagini sono state eseguite in zone diverse all'interno delle aree di pertinenza della discarica, la prima, in corrispondenza di quella che sarà l'area di sedime delle trincee disperdenti, dove affiorano rocce calcarenitiche e la seconda in corrispondenza dell'area a nord della discarica dove affiora la roccia calcarea, in modo tale da caratterizzare tutti i litotipi presenti.

Inoltre sono stati indicati i principali parametri geotecnici di 5 punti in cui sarà realizzato un impianto di captazione del percolato di cui 4 punti di raccolta del percolato ubicati sul corpo di discarica del I Lotto e un punto di stoccaggio ubicato subito a nord del I Lotto dove affiora la roccia calcarea.

Nello specifico la campagna geognostica è consistita nell'esecuzione di:

- ✓ n.3 sondaggi geognostici a distruzione di nucleo (S01, S02 ed S03 eseguiti rispettivamente fino a 10, 30 e 20 metri di profondità dal p.c.);
- ✓ prelievo di campioni di terra da sottoporre ad analisi per la definizione di una piano di gestione delle terre e rocce da scavo;
- ✓ n.2 scavi geognostici (uno si superficie 1X1m circa ed uno di superficie 2X2m circa) per l'esecuzione di prove di permeabilità in pozzetto;
- ✓ n.2 prove di permeabilità in foro;
- ✓ n.2 tomografie sismiche a rifrazione in onde p per la ricostruzione della sismostratigrafia locale;
- ✓ n.2 indagini sismiche MASW per la determinazione della VSeq per la determinazione della categoria di suolo ai sensi dell'NTC del D.M 17 Gennaio 2018;
- ✓ n. 2 tomografie geoelettriche per la ricostruzione del modello elettrico del terreno;
- ✓ una indagine georadar di superficie per l'individuazione di anomalie nel sottosuolo utilizzando contemporaneamente 2 antenne a frequenza centrale di 270 e 400 MHz;
- ✓ n. 3 acquisizione georadar eseguite all'interno dei sondaggi geognostici con antenna da 500 MHz;
- ✓ n. 3 videoispezioni eseguite all'interno dei sondaggi geognostici realizzati;
- ✓ un rilievo topografico di tutta l'area di discarica eseguito integrando tecnica di rilievo drone e rilievo GPS dei punti di controllo.

Nella presente relazione vengono descritte tutte le modalità di lavoro e si espongono i risultati di tutte le indagini eseguite nonché la loro ubicazione in tavole di dettaglio in scala 1:1000 e 1:500.

Di seguito si mostra uno stralcio planimetrico generale con l'indicazione delle aree in cui sono state eseguite le indagini.

Si sottolinea che nella fase di indagine la vasca disperdente delle acque meteoriche era ubicata nella zona adiacente a quella definita nell'incontro del 26/04.2018 tra l'RTP e AMIU S.p.A., pertanto, essendo i due punti molto vicini, è ragionevole ritenere che i risultati delle indagini eseguite siano estendibili anche alla nuova area definita, fermo restando l'esecuzione di future prove di assorbimento proprio in corrispondenza della nuova area di sedime della vasca disperdente.

Ortofoto con l'indicazione della ubicazione generale delle aree oggetto di indagine



2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA

Al fine di caratterizzare i terreni dal punto di vista geologico-tecnico, si è ricorso ad indagini dirette e indirette; attraverso l'acquisizione e l'analisi di diversi parametri geofisici e geotecnici, è stato possibile fornire un'interpretazione attendibile sulle condizioni e sulle caratteristiche del sottosuolo avvalorate anche dall'esecuzione di due sondaggio geognostici a carotaggio continuo.

Sono state eseguite indagini sismiche, in primo luogo per rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica – rifrattori – ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di terreno con differente grado di densità e compattezza; in secondo luogo per ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale e classificare i terreni alla luce della recente normativa sismica (V_{Seq}) (D.M. 17/01/2018).

2.1 PROSPEZIONI SISMICHE DI SUPERFICIE IN ONDE P

2.1.1 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 ed orizzontale per la generazione di onde rilevate da 24 geofoni rispettivamente di frequenza pari a 14Hz per le onde P e di 4.5 Hz per le onde S.

2.1.2 Acquisizione dei dati

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite n. 2 prospezione sismica a rifrazione, di lunghezza pari a 155m e offset pari a 5m; per tutte le basi sismiche sono stati effettuati cinque scoppi e utilizzati 24 geofoni, ottenendo con buon dettaglio della sismostratigrafia del sito.

Per tutte le basi sismiche, i punti di scoppio A e B sono a 3m 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.

L'ubicazione dei profili sismici sono mostrati nell'**Allegato 01A – 01B**.

2.1.3 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 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.

2.1.4 Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti come di seguito riportato:

- In **allegato 02A** sono riportati, per entrambe le basi sismiche, i sismogrammi relativi ai punti di scoppio relativi alle onde P, le dromocrone relative alle onde P, la sezione tomografica e il modello sismostratigrafico. 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.

2.1.5 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.

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
Calcere fratturato	700-4200
Calcere compatto	2800-6400
Calcere 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

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, per ciascun profilo eseguito, in tre sismostrati, ognuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione.

Generalmente, data la lunghezza degli stendimenti eseguiti e la natura litologica dei terreni esaminati, è stato possibile investigare il sottosuolo fino ad una profondità di circa 20m a partire dalla superficie topografica.

Di seguito si riportano le risultanze delle basi sismiche eseguite:

- ✓ BS01 in onde P ed S: si individuano tre sismo strati

Strato	Vp m/s	Vs m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	480	200	0,00÷1,00	Materiale di riporto
2	1370	802	1,00÷5,00	Calcareniti mediamente cementate e poco alterate
3	2300	1400	5,00÷16,00	Calcere micritico mediamente fratturato, a luoghi molto fratturato

- ✓ BS02 in onde P ed S: si individuano tre sismo strati

Strato	Vp m/s	Vs m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	450	180	0,00÷0,50	Terreno vegetale
2	1450	810	0,50÷10,00	Calcere molto fratturato e alterato con presenza di sacche di terra rossa
3	2350	1354	10,00÷23,00	Calcere micritico mediamente fratturato

2.2 PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL VSeq: MASW

Le prove sismiche a rifrazione sono tra le più utili per la caratterizzazione geomeccanica delle terre e delle rocce. Nello specifico, risultano dunque molto utili nel determinare:

- la stratigrafia dei terreni di copertura del bedrock;
- la localizzazione di zone fratturate (meccanicamente degradate);
- la stima del parametro Vseq per la determinazione della categoria di suolo ai sensi dell'NTC del D.M 17 Gennaio 2018;
- la determinazione dei principali moduli elastici dei litotipi presenti nel sottosuolo.

Le misure risultano molto affidabili per profondità comprese fino a circa 30÷60m, compatibilmente con il tipo di sorgente utilizzato.

2.2.1 MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Descrizione del metodo e della strumentazione

Nel presente lavoro sono stati presi in esame i metodi di prospezione sismica MASW 1D (Multichannel Analysis of Surface Waves) che consentono di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie: le onde di Rayleigh.

La procedura utilizzata può essere suddivisa in tre fasi:

- **Acquisizione:** registrazione e osservazione dei dati sismici “grezzi” contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- **Processing:** trattamento dei dati attraverso filtraggio e altre tecniche finalizzate all'estrazione delle caratteristiche di dispersione ossia espresse come velocità di fase in funzione delle frequenze;
- **Inversione:** uso di un modello del terreno che permette di ricavare un profilo monodimensionale della velocità delle onde S ed altri parametri in funzione della profondità.

Il metodo MASW impiega una sorgente artificiale appositamente creata, del tipo ad impatto verticale (massa battente di 8Kg).

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali (dotato di estensione a 48 canali), della “MAE” modello X610S, con acquisizione computerizzata dei dati e geofoni a frequenza di 4.5Hz (ad asse verticale).

La fase di acquisizione viene effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione: infatti, tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la migliore informazione possibile riguardo la propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale-rumore.

Per quanto riguarda il MASW, la presenza di rumore di tipo casuale risulta di notevole disturbo, a questo scopo si procede sommando i segnali di successive energizzazioni rendendo in tal modo la potenza del segnale superiore a quella del rumore.

2.2.2 MASW – Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- predisposizione dello stendimento, cioè una serie di 24 geofoni regolarmente spazati e in linea retta, di lunghezza pari a 115 m con energizzazione ad una distanza di 10.0 m dal primo

- geofono eseguendo più registrazioni in modo da ottenere sufficienti dati per correlare le informazioni del sottosuolo, evidenziando eventuali eterogeneità dello stesso;
- osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione;
 - 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' X610S.

2.2.3 MASW – Rappresentazione dei risultati

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 si sia ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad esempio con la tecnica down-hole, risulta più rappresentativo a larga scala rispetto a quello ottenibile da un rilievo puntuale.

Ai fini dell'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche è di fondamentale importanza la conoscenza geologica dell'area e la taratura delle prospezioni geofisiche con indagini di tipo diretto, così come è stato possibile fare in questo caso. Infatti, è possibile che terreni diversi siano caratterizzati dalle stesse velocità sismiche. Inoltre i ranges delle velocità delle varie formazioni sono molto variabili, in funzione delle condizioni locali.

Nell'**Allegato 02B** sono riportati i risultati dell'elaborazione della tecnica MASW.

Il primo grafico 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 secondo grafico, 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.

Nell'ultimo grafico, viene riportato il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S da cui è così possibile calcolare il valore del Vs30 e di conseguenza caratterizzare il sito in una delle categorie di suolo di fondazione.

2.2.4 MASW – Interpretazione dei risultati

Sulla base delle indagini sismiche eseguite e applicando l'espressione riportata nel DM 17/01/2018:

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

nell'area di interesse, mediante il programma di interpretazione "Swan della Geostudi", è stato possibile calcolare la velocità delle onde S, associando la relativa categoria di suolo di fondazione secondo quanto indicato nella Nuova Normativa Sismica, come di seguito sintetizzato nelle tabelle:

È opportuno precisare che, mediante il metodo MASW1D, si ricavano i valori di velocità delle onde S lungo la verticale rispettivamente a 1/3 della lunghezza dello stendimento essendo stato eseguito uno scoppio ad una distanza di 10.0 metri dal primo geofono. I profili sismostratigrafici ricavati da tale tecnica risultano raggiungere la massima profondità di investigazione fino a circa 1/2 la lunghezza dello stendimento.

Come indicato nella tabella, i profili MASW hanno consentito di stimare un valore di velocità delle onde S >800m/s già dal secondo metro di profondità; da cui scaturisce che il sottosuolo investigato rientra nella categoria di suolo di fondazione di classe “A” (rif. Categoria del sottosuolo da NTC 2018, tabella di seguito riportata).

Tabella 3.2. II e 3.2.III - Categoria di sottosuolo	
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	Depositati 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	Depositati 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.

2.3 STIMA DEI MODULI DINAMICI

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P ed S, 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 (V_p), 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.

$$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$$

Inoltre, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno K_s (Kg/cm^3) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s/B(1 - \nu^2)$$

dove:

B = larghezza della fondazione;

E = modulo di elasticità del terreno;

ν = 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, K_h . 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.

Di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti lo stendimento sismico svolto; tali valori si riferiscono al deposito pertanto devono essere intesi come valori medi.

BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	480	1370	2300
Velocità onde S (m/s):	200	802	1400
V _{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.00	5.00	10.00
Profondità Media Strato (m)	0.50	3.50	11.00
Modulo di Poisson (ν)	0.39	0.24	0.21
Densità naturale (γ _{nat} in gr/cm ³)	1.45	1.88	2.14
Porosità % (Ø)	46.26	37.94	29.25

MOD. di YOUNG DINAMICO - (E _{din} in Mpa o Nmm ²)	159	2944	9935
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G _{din} in Mpa o Nmm ²)	57	1188	4120
MOD. di BULK (K) (Mpa o Nmm ²): K=E _{din} /(3*(1-2*ν))	252	1882	5627
MOD. di YOUNG STATICO (E _{stat} in Mpa o Nmm ²)	19	355	1197
MOD. di TAGLIO STATICO (G _{stat} in Mpa o Nmm ²)	7	143	496
MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²)	334	3534	11339
MOD. DI COMPRESIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²)	400	4257	13660

Rigidità Sismica (γ*V _p)	290	1510	3001
Frequenza dello Strato	50	40	35
Periodo dello Strato	0.02	0.02	0.03

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE TERRE (NON VALIDO PER LE ROCCE)			
SPT (N) VALUE (Imai and Yoshimura, 1977)	19	>50	>50
Cu (coesione non drenata in Kg/cm ² =(Vs/23) ^{1/0.475} *0,010197 (Dickenson 1990))	0.97	18.02	58.22
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17,5)/2,63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	0.71	3.04	5.36
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7,93) ^{1/0.63} *0,010197 (Levesques et al. 2007))	1.71	15.52	37.58
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187) ^{1/0.372} *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	1.22	51.08	228.40
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228) ^{1/0.510} *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.79	12.01	35.81

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky	NA	56	77
φ	27	29	31
C	NA	2.9	3.9
Rapporto di velocità VR	NA	0.228	0.383
Rapporto di velocità al quadrato (VR ²)	NA	0.052	0.147
RQD (0,97x(Vp/VLAB) ² *100	NA	5.1%	14.3%
RQD (riferito alla curva di Car 1976)	NA	15.5%	31.8%

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B	100	100	100
D	0.50	0.50	0.50
K = [Co/(1+ν)] * VESIC 1961	2.29	38.35	127.44
k = 17,2*Vs ^{1.25} Kg/cm ³ (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	1.32	7.49	15.02
K _v [Co/(1+ν)] * VESIC 1961	3.81	88.66	361.23
K _h [Co/(1+ν)] * VESIC 1961	2.86	213.15	2222.84

INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	2.4	1.7	1.6
Q _{ult} (kg/cm ²) = γ _{nat} *vs*(0,1)	2.90	15.10	30.01
Q _{amm} =Q _{ult} /Fs	1.21	8.84	18.27

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	450	1450	2350
Velocità onde S (m/s):	180	810	1354
V _{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	0.50	10.00	11.37
Profondità Media Strato (m)	0.25	5.50	16.19
Modulo di Poisson (ν)	0.40	0.27	0.25
Densità naturale (γ _{nat} in gr/cm ³)	1.43	1.91	2.16
Porosità % (Ø)	46.54	37.20	28.79

MOD. di YOUNG DINAMICO - (E _{din} in Mpa o Nmm ²)	127	3129	9698
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G _{din} in Mpa o Nmm ²)	45	1229	3875
MOD. di BULK (K) (Mpa o Nmm ²): K=E _{din} /(3*(1-2*ν))	223	2300	6505
MOD. di YOUNG STATICO (E _{stat} in Mpa o Nmm ²)	15	377	1168
MOD. di TAGLIO STATICO (G _{stat} in Mpa o Nmm ²)	5	148	467
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²)	289	4016	11901
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm ²)	345	4837	14337

Rigidità Sismica (γ*V _p)	257	1547	2918
Frequenza dello Strato	90	20	30
Periodo dello Strato	0.01	0.05	0.03

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE TERRE (NON VALIDO PER LE ROCCE)			
SPT (N) VALUE (Imai and Yoshimura, 1977)	14	>50	>50
Cu (coesione non drenata in Kg/cm ² =(Vs/23) ^{1/0.475} *0,010197 (Dickenson 1990))	0.78	18.40	54.27
Cu=(coesione non drenata=(Vs-17.5)/2.63 *0,010197 (Oh et al. 2008))	0.63	3.07	5.18
Cu=(coesione non drenata=(Vs/7.93) ^{1/0.63} *0,010197 (Levesques et al. 2007))	1.45	15.77	35.64
Cu=(coesione non drenata=(Vs/187) ^{1/0.372} *0,010197*100 da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.92	52.47	208.79
Cu=(coesione non drenata=(Vs/228) ^{1/0.510} *0,010197*100 da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.64	12.25	33.54

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky	NA	57	77
φ	27	30	31
C	NA	2.9	3.9
Rapporto di velocità VR	NA	0.242	0.392
Rapporto di velocità al quadrato (VR ²)	NA	0.058	0.153
RQD (0,97x(Vp/VLAB) ² *100	NA	5.7%	14.9%
RQD (riferito alla scala Caricatore 1976)	NA	16.8%	32.7%

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B	100	100	100
D	0.50	0.50	0.50
K = (Co/Ed) ³ >VESIC 1961	1.86	41.53	127.18
k = 17,2*Vs ^{1,25} Kg/cm ³ (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	1.16	7.58	14.41
K _v (Co/Ed) ³ > α 2Ed dov α 2Ed	2.08	127.90	394.41
K _n (Co/Ed) ³ > CcarMa	1.27	384.55	3467.47

INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
Fs (Fattore di sicurezza= Vp/Vs)	2.5	1.8	1.7
Q _{ult} (kg/cm ²) = γ _{nat} *vs*(0,1)	2.57	15.47	29.18
Q _{amm} =Q _{ult} /Fs	1.03	8.64	16.81

2.4 TOMOGRAFIA GEOELETRICA

L'esecuzione di tomografie elettriche ha permesso di ottenere un modello elettrostratigrafico del sottosuolo utile a determinare l'andamento dei materiali di riporto in superficie e delle rocce in profondità.

L'ubicazione degli stendimenti geoelettrici è consultabile nella planimetria (**Allegato 01A e 01B**), mentre i risultati sono racchiusi nell'**allegato 03**.

2.4.1 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un 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. 24 elettrodi** in acciaio inox connessi mediante cavi elettrici per l'invio della corrente e la misura dei potenziali.

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. Si riportano di seguito alcuni screenshots delle caratteristiche strumentali.



SYSCAL Pro

resistivity & IP equipment

for SOUNDING, IMAGING and MONITORING

SYSCAL Pro Switch MAIN FEATURES

- The SYSCAL Pro Switch is a versatile electrical resistivitymeter which combines a transmitter, a receiver and a switching unit in one single casing. It is supplied by a 12V battery.
- The measurements are carried out automatically (output voltage, stacking number, quality factor) after selection of limit values by the operator, and are stored in the internal memory.
- The output specifications are 800V (switch mode), 1 000V (manual mode) for the voltage, 2.5A for the current and 250W for the power using the internal DC/DC converter and the battery.
- The SYSCAL Pro Switch uses multi-core cables for controlling a set of electrodes connected in a line or in several lines. The standard number of electrodes: 24, 48, 72, 96, 120, can be increased through Switch Pro units for 2D or 3D ground images.
- The ten channels of the system permit to carry out up to 10 readings at the same time for a high efficiency.
- The Induced Polarisation chargeability (IP) is also measured through 20 windows for a detailed analysis of the decaying curves displayed on the graphic LCD screen.
- The SYSCAL Pro Switch unit can be operated with cables in boreholes, or cables pulled on the ground by a vehicle or on the surface of the water by a boat for continuous acquisition surveys.
- The SYSCAL can be used for time lapse readings (monitoring)

1D, 2D, 3D, 4D RESISTIVITY INVESTIGATIONS

for characterizing underground structures:

- ENVIRONMENT
- CIVIL ENGINEERING
- GROUNDWATER
- ARCHAEOLOGY
- MINING EXPLORATION

TEN SIMULTANEOUS CHANNELS:

for high speed data acquisition, up to 1 000 rdgs/mn

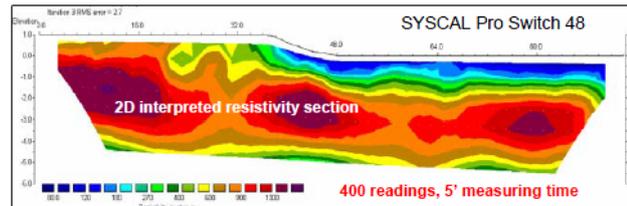
UP TO 800 - 1 000V, 2.5A OUTPUTS:
for penetration & data quality

AUTOMATIC SWITCHING CAPABILITY:
for 24, 48, 72, 96, 120, up to 1 300 electrodes

RESISTIVITY & INDUCED POLARIZATION:
twenty IP chargeability windows

PC SOFTWARE:

- ELECTRE Pro: sequence management
- PROSYS II: data transfer, process, display
- COMSYSPro: control of SYSCAL by PC
- SYSMAR: continuous acquisition
- PROCESSING: x2ipi (w/seq manag.)
- INTERPRETE: ERTLab (w/seq manag.)
- Res2/3Dinv, IX1D, Winsev



SYSCAL Pro SPECIFICATIONS

TRANSMITTER

- Max voltage: 800V in switch mode
- Max voltage: 1 000V in manual mode
- Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2%
- Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene.
- Option 25mA max for readings on samples
- Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s
- Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt.

RECEIVER

- Automatic ranging, 10 input channels
- Input impedance: 100 Mohm
- Max voltage channel 1: 15V
- Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V
- Protection up to 1 000V
- Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV
- 50 to 60Hz power line frequency rejection
- Stacking process, SP linear drift correction
- Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable),
- Internal 12V, 7Ah battery

GENERAL

- Memory: 21 000 readings
- USB & SD card link
- GPS input for coordinates
- Fiber glass casing, weather proof
- Temperature range: -20 to +70°C
- SYSCAL Pro Switch 48: 31x23x36cm,
- Weight: 13kg,
- Cable w/ 24 take-out: 23kg

2.4.2 Resistività apparente

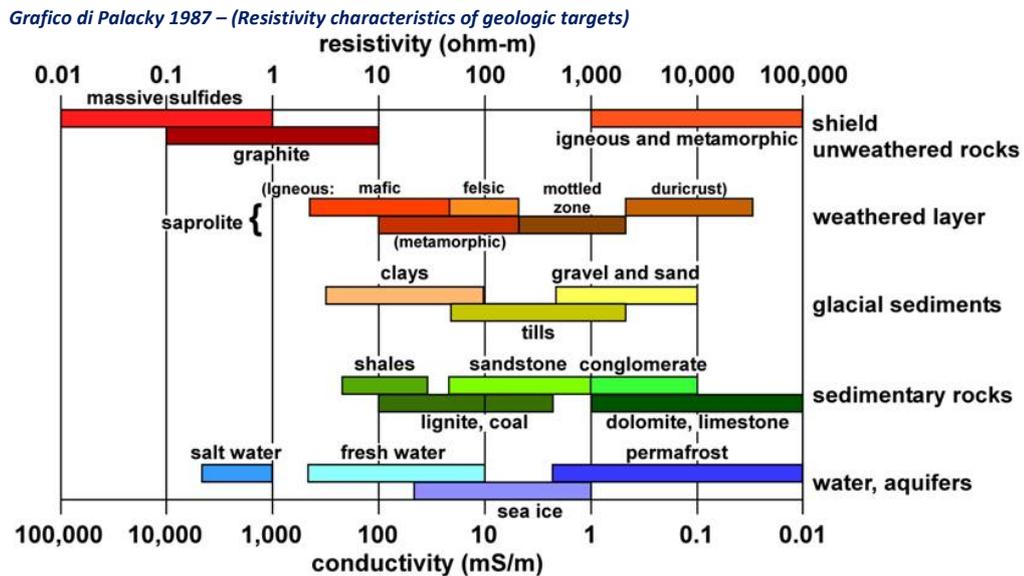
La resistività delle terre e delle rocce variano di diversi ordini di grandezze e dipende generalmente dal tipo di roccia, dalla porosità, dal collegamento fra i pori, dalla presenza o meno di fluidi, dalla presenza di materiale metallico nella matrice solida.

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
Calcere, dolomie, gesso	500-10000
Sabbia, ghiaia asciutta	800-5000
Gneiss	400-6000
Granito	2000-10000



2.4.3 Elaborazione dei dati della geoelettrica di superficie

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.

Per il caso in esame mediante il software RES2DINV sono state ottenute le sezioni di isoresistività (pseudosezione) secondo le configurazioni Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo che consente di dare una interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati, suddivisi in blocchi rettangolari di dimensione e posizione regolare generate automaticamente dal programma.

Quindi, ai fini della elaborazione dei dati si è proceduto nel seguente modo:

- i dati sono stati ripuliti di tutti i valori con resistività negativa e intensità di corrente inferiore a 10mA (ad esempio in caso di quadripoli distanti);
- sono stati esportati i dati relativi ad i singoli array;
- i files sono stati elaborati mediante il software RES2DINV.

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

2.4.4 Interpretazione dei dati

Le pseudosezioni elaborate ed esposte nell'**Allegato 03** mostrano una differenziazione delle classi di resistività secondo diverse tonalità di colore.

L'anomalia geofisica rappresenta generalmente, nella comune definizione della letteratura, una deviazione di un valore di una grandezza da un valore atteso. A questo si aggiunge che la geofisica risente del principio di equivalenza, ovvero della possibilità che modelli di sottosuolo diversi restituiscano modelli geofisici analoghi. In generale 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.

In linea generale è possibile asserire che le zone più conduttive (**gradazioni del colore blu**) sono riconducibili o alla presenza della copertura di suolo o anche a depositi argillosi; mentre le zone più resistenti (**gradazioni del colore rosso**) sono correlabili a porzioni di sottosuolo asciutte e quindi poco conduttive.

Dall'analisi delle pseudosezioni ricavate dall'indagine geoelettrica è stato possibile delineare l'elettrostratigrafia dei terreni in esame, dove, nella ERT01, eseguita in corrispondenza della zona delle trincee disperdenti, l'elettro stratigrafia mostra un corpo conduttivo, che va dal piano campagna fino a 5 metri di profondità, nella zona più a ovest riconducibile a materiale di riempimento; probabilmente nella porzione più a ovest dello stendimento era presente una cava nelle calcareniti. nella porzione più a est dello stesso stendimento si nota una zona mediamente resistiva, per uno spessore di circa 5-6 metri, riconducibile alla presenza della roccia calcarenitica. In profondità si osservano zone con resistività variabile legate alle condizioni della roccia calcarea che si presenta molto fratturata con vuoti laddove i valori di resistività aumentano, e più alterata con presenza di terre rosse nelle fratture, laddove i valori di resistività sono più bassi.

In corrispondenza dell'ERT02, invece, nell'area dei silos, l'assetto delle resistività apparenti è abbastanza stratificato, almeno fino a 6 metri di profondità, dove si osserva la presenza di uno strato conduttivo in superficie, caratterizzato dalla presenza della massicciata stradale, umida, sovrapposta ad uno strato di calcare molto fratturato e alterato. In profondità, anche qui si osserva una zona caratterizzata da valori di resistività alti, probabilmente dovuti alla presenza di vuoti e fratture, e zone relativamente meno resistenti probabilmente per la presenza di terra rossa all'interno delle fratture

2.5 INDAGINI GEORADAR

2.5.1 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.

2.5.2 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:

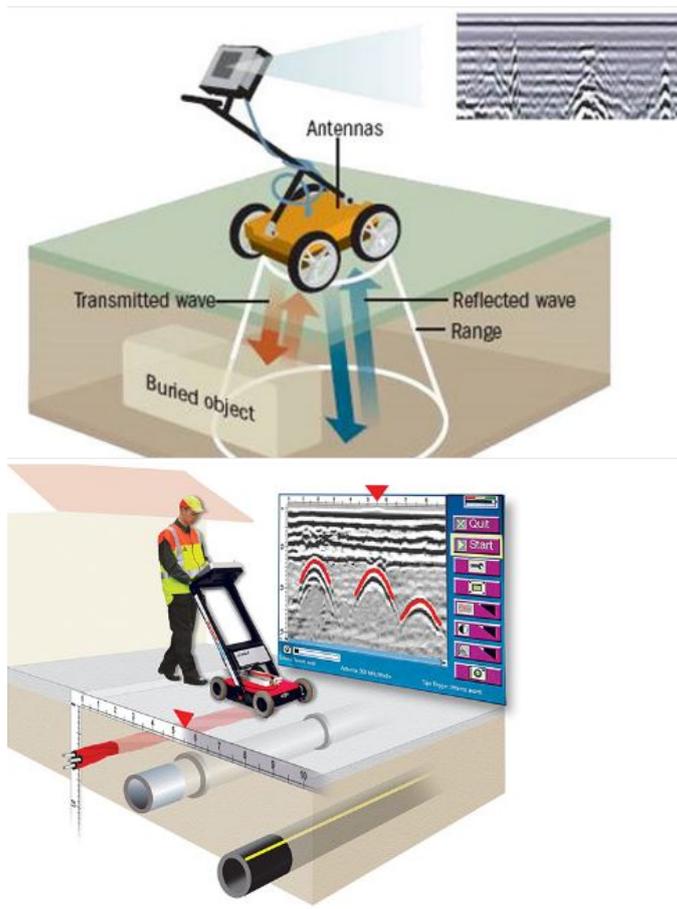
- l'ampiezza dell'onda elettromagnetica (EM) subisce un'attenuazione man mano che si propaga in profondità nel sottosuolo in modo proporzionale all'inverso della distanza.
- La riduzione di ampiezza del segnale è anche legata al tipo di materiale che l'onda EM attraversa, e in particolare alle sue perdite 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.

2.5.3 Utilizzo del GPR – GSSI

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.



2.5.4 Strumentazione utilizzata

L'indagine è stata eseguita utilizzando due sistemi di radar differenti.

Il primo sistema radar SIR20 della GSSI costituito da:

- computer laptop Panasonic Toughbook CF 29;
- unità di controllo montata carrello a tre ruote;
- antenna di frequenza da 270Mhz con il sistema radar SIR20;
- antenna di frequenza da 400Mhz con il sistema radar SIR20;
- encoder collegato su una ruota del carrello;
- cavo multipolare.

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.

2.5.5 Modalità di esecuzione

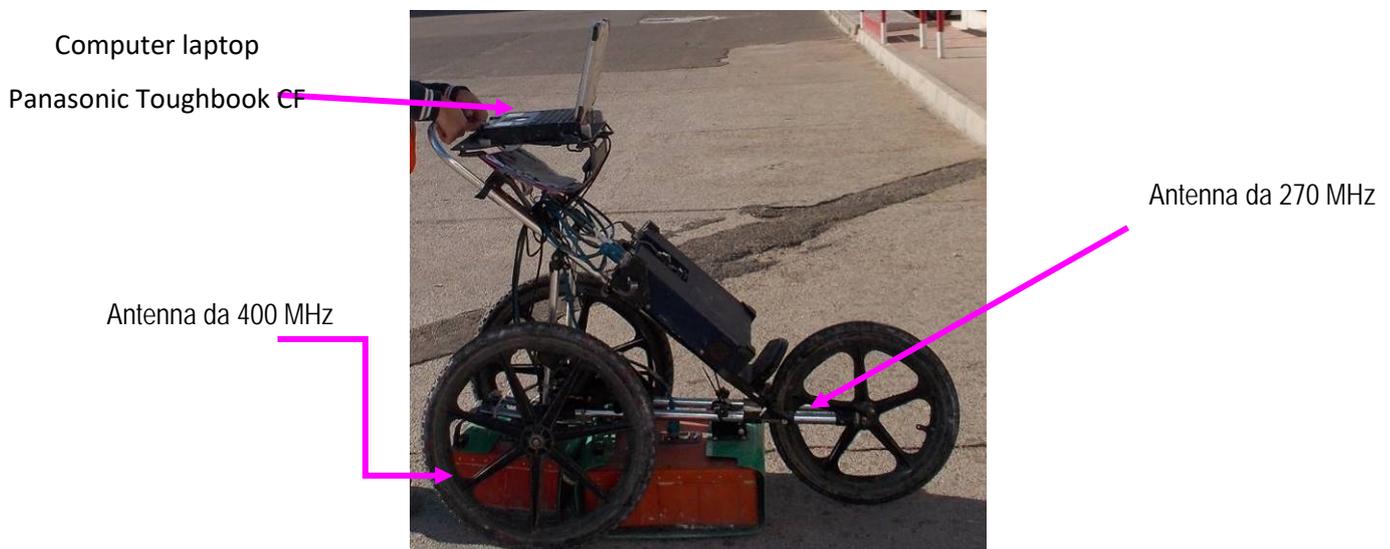
Come già detto le modalità di esecuzione possono variare in funzione delle esigenze dell'indagine, dei tempi disponibili e delle criticità oggettive presenti nelle aree di indagine. In via preliminare e non esaustiva si riportano alcuni dei diversi approcci metodologici e geometrie di rilievo:

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 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) mediante test in sito, in secondo luogo, la scelta di utilizzare contemporaneamente le antenne radar da 270 e 400MHz per il sistema radar GSSI.

Tale approccio metodologico è servito per eseguire una analisi accurata raggiungendo, con antenna da 270 MHz, profondità di circa 6 metri, mentre con l'antenna da 400MHz si raggiungono profondità inferiori (circa 3m) ma una risoluzione migliore. Ai fini del calcolo delle profondità di investigazione sono stati valutati precisi valori della costante dielettrica compreso tra 9 e 11.



2.5.6 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 RADAN della GSSI.

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*;
- enfaticizzazione delle zone caratterizzate da inversione di polarità.

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

2.5.6.1 *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.

2.5.6.2 *Background removal*

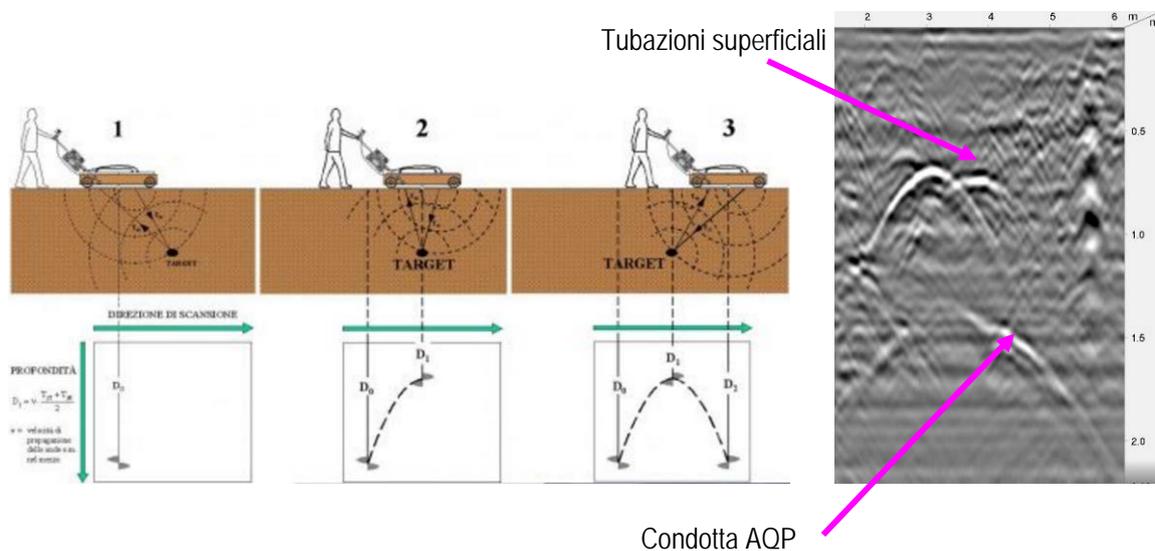
In generale il *background removal* consente di rimuovere il rumore e il segnale a bassa frequenza e il rumore orizzontale.

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*.

2.5.7 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 della loro tonalità.

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.

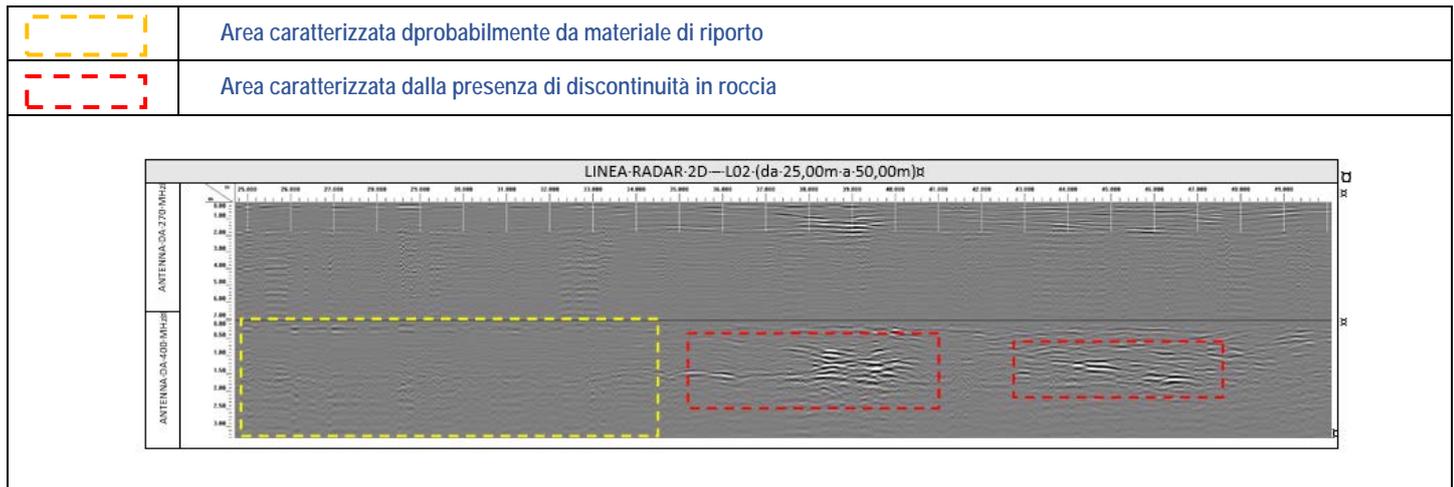


Nei profili in dominio di tempo gli impulsi radar vengono emessi ad intervalli di tempo costanti (da 1 a 100 ms). L'operatore deve in questo caso muovere l'antenna sulla superficie da investigare, lungo una determinata direzione, mantenendo una velocità costante. Soltanto così sarà possibile, in fase 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.

2.5.7.1 Radargrammi 2D

Di seguito si riporta una rappresentazione 2D tipo delle varie riflessioni individuate e delle relative interpretazioni, relative alle linee radar 2D acquisite con il sistema GSSI.



Dall'indagine georadar è stato possibile:

- ✓ individuare delle aree dove il segnale è fortemente attenuato, probabilmente dovuto alla presenza di materiale di riporto costituito prevalentemente da terreno vegetale, queste zone sono state indicate nei radargrammi 2D esposti in **allegato 04A** con dei rettangoli tratteggiati color giallo
- ✓ individuare zone caratterizzate da piccoli vuoti e discontinuità che probabilmente rappresentano l'interfaccia stratigrafica calcarenite-calcare

3 RILIEVO TOPOGRAFICO CON DRONE E GPS

3.1 Rilievo DRONE

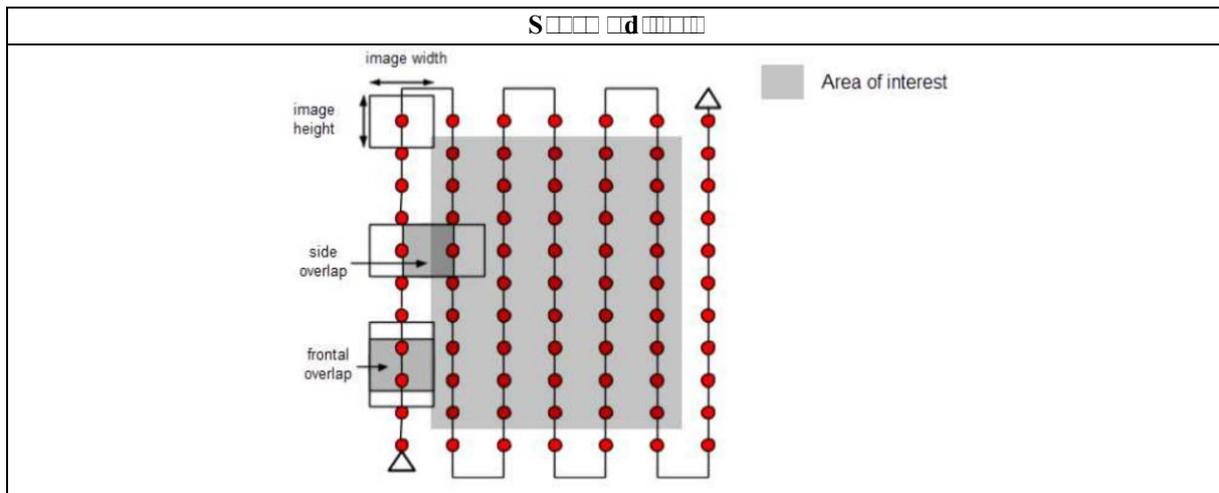
Al fine di rilevare con precisione l'andamento geomorfologico dell'area, è stato eseguito un rilievo mediante volo con DRONE georefereto mediante Ground Control Points (rilevati con GPS in modalità RTK).

Il rilievo è stato eseguito scattando oltre 500 fotogrammi dell'area con una risoluzione di 20 mega pixel, elaborando tali immagini, mediante software dedicato; la corretta calibrazione (georeferenziazione) della nuvola di punti del modello 3D è stata possibile eseguendo il rilievo GPS dei punti noti (GCP: Ground Control Point).

Base di volo del Drone



La sovrapposizione delle aree inquadrare di ogni singola foto eseguita è stata dell'80% di sovrapposizione longitudinale - overlap (rispetto alla direzione di volo) e dell'80% di sovrapposizione laterale - overside (tra le strisciate). Le immagini sono state acquisite seguendo una maglia regolare a "zig-zag" procedendo in un'unica direzione. Come mostra lo schema che segue.



La velocità di volo è stata di 4m/s per garantire una alta risoluzione e ridurre al minimo le vibrazioni in volo. È stato utilizzato il metodo automatico di rilievo tramite i waypoints pertanto nel software di gestione del drone sono stati impostati i parametri di volo.

3.2 Rilievo GPS

Il rilievo GPS, eseguito in modalità GSM, ha permesso di georeferenziare i Ground Control Point per il rilievo drone, i sondaggi geognostici, i pozzetti per le prove di assorbimento e tutte le indagini geofisiche eseguite nella presente campagna geognostica.

I Ground Control Point sono stati ubicati internamente alla zona del rilievo, facilmente visibili e identificabili dall'alto; la loro distribuzione omogenea nell'area di lavoro sia in planimetria che in altimetria (punti alti e punti bassi), ha permesso di valutare gli scarti e la precisione del rilievo in modo da ridurre al minimo gli errori.

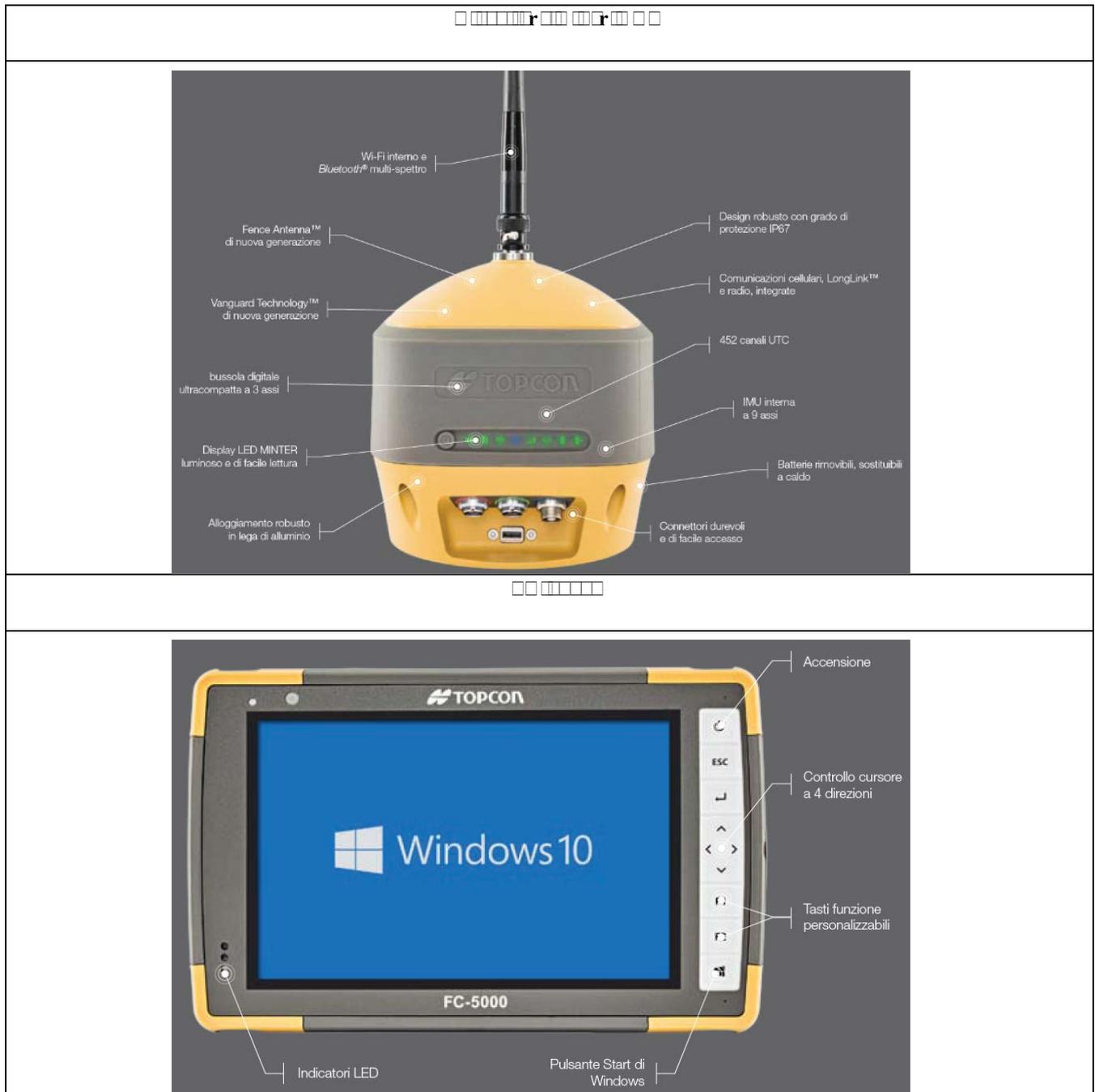


3.2.1 Strumentazione utilizzata

La strumentazione GPS è composta da una stazione costituita da:

- N. 1 Ricevitore GPS HiPer HR con tecnologia UTC (Universal Tracking Channel);
- N. 1 Controller FC-5000 per l'acquisizione dei dati, con sistema operativo Microsoft Windows 10.

L'elaborazione dei dati avviene attraverso il software Magnet.



3.2.2 Tecnologia di rilievo

Per il rilievo si utilizzano n. 1 ricevitore GPS (HiPer HR) e n. 1 controller (FC-5000) che si interfacciano mediante un collegamento Bluetooth per l'acquisizione dei dati; in questo modo le informazioni sono inviate dal ricevitore verso le stazioni permanenti GNSS di proprietà della NetGeo.

La Rete NetGEO è costituita da 200 Stazioni Permanenti dotate di ricevitori Topcon NET-G3A, NET-G3, Odyssey-RS oppure GB-1000 e antenne Topcon CR-G3, CR-3, G3-A1 oppure PG-A1 in grado di acquisire segnali dalla costellazione satellitare americana GPS e dalla costellazione russa GLONASS.

Ciascuna stazione permanente invia in tempo reale al Centro di Controllo presso la Topcon Positioning Italy le osservazioni effettuate dai satelliti. Il calcolo di rete viene effettuato dal software MagNET realizzato da Topcon: un programma che gestisce in modo semplice e completo reti di Stazioni Permanenti GNSS e distribuisce agli utenti i servizi di correzione in tempo reale (VRS, DGPS ecc.).

Ogni rete di Stazioni Permanenti materializza un Sistema di Riferimento e lo distribuisce all'utenza per mezzo dei suoi prodotti: NetGEO è inquadrata nel sistema di riferimento ETRF2000-RDN (Rete Dinamica Nazionale) con la certificazione dell'Istituto Geografico Militare, in questo modo gli utenti posso posizionarsi in tempo reale e post-processamento direttamente nel nuovo Sistema di Riferimento ufficiale italiano.



3.2.3 Collegamento del rilievo alla rete GNSS della NetGEO

La prima fase da eseguire è collegare il controller FC-5000 al ricevitore Hiper-HR, tale legame avviene attraverso il software Magnet presente nel controller. Dopo l'apertura, il software esegue due passaggi:

- Il primo passaggio sta nel collegare il controller al ricevitore tramite la connessione Bluetooth;
- Il secondo passaggio sta nel collegare il controller, il quale al suo interno ha una scheda GSM con una copertura dati Internet, alle stazioni permanenti della NetGeo tramite connessione ad una rete.

La determinazione delle coordinate assolute è stata possibile grazie all'utilizzo di GPS geodetico a doppia frequenza configurato per la ricezione della rete GNSS della NetGEO. Com'è noto, con le Reti di stazioni permanenti è possibile rilevare con alta precisione e rapidamente i punti topografici, infatti il ricevitore Hiper-HR ha una precisione di 3 mm + 0.1 ppm in altezza e 3.5 mm + 0.4 ppm in verticale.

La metodologia per il rilievo georeferenziale, basata sulle stazioni permanenti GNSS (Global Navigation Satellite System) della NetGeo, è in grado di realizzare un'infrastruttura geodetica e fornire un servizio di correzione differenziale dei dati acquisiti tale da consentire, agli utenti, il raggiungimento di un'accuratezza del dato di "posizione" su scala millimetrica, in tempo reale.

4 PROVE DI PERMEABILITÀ

4.1.1 Prove di permeabilità in fori di sondaggio e in pozzetto

La determinazione del coefficiente di permeabilità del terreno attraverso prove in sito presenta non poche difficoltà e incertezze fatta eccezione nei casi di terreni omogenei ed isotropi che si trovano in ambiti le cui condizioni al contorno sono note, pertanto, la scelta del metodo di prova deve essere effettuata in funzione del tipo di terreno e del grado di precisione desiderato.

La misura sperimentale della permeabilità di un terreno può essere fatta sia in laboratorio che in situ: per i terreni naturali le misure in situ risultano generalmente più significative e quindi preferibili (essendo la permeabilità fortemente influenzata anche dai caratteri macrostrutturali).

Considerate le litologie incontrate, poco permeabili, in entrambi i sondaggi sono state eseguite due prove di permeabilità a carico variabile.

Le prove in fori di sondaggio mediante l'immissione di acqua all'interno del foro stesso, permettono di determinare la permeabilità dei terreni al fondo di fori di sondaggio al di sopra o al di sotto del livello della falda e possono eseguirsi sia a carico costante sia a carico variabile.

In data 13/04/2018 sono state eseguite le prove di permeabilità in 2 fori di sondaggio (S03 ed S02) e in 2 scavi a base quadrata (scavo1 di superficie 2X2m e scavo 2 di superficie 1.1X1.1m).

La stratigrafia generale dell'area delle trincee disperdenti è:

da 0 a 1 m dal p.c. terreno vegetale

da 1 a 6/9 m dal p.c. calcareniti poco fratturate e mediamente cementate

da 6/9m in poi dal p.c. Calcari fratturati e alterati

Solo nello scavo 1, con dimensioni 2X2 per 2,5 m di profondità, è stato rinvenuto suolo vegetale per lo spessore di 2,5 m con alla base blocchi di calcare in assetto caotico; probabilmente in corrispondenza dello scavo due era presene uno scavo (o fronte di cava di calcarenite) colmato con materiale di riporto.

Per il sondaggio S02 la prova è stata eseguita occludendo il sondaggio intorno agli 8 metri di profondità con materiale di risulta per poter caratterizzare meglio le calcareniti dal punto di vista della permeabilità. Mentre nel sondaggio S03 la prova è stata condotta nel foro di sondaggio fino a 20 metri di profondità, dove sono presenti i calcari molto fratturati; infatti nel sondaggio S03 non è stato possibile riempire il foro e raggiungere un livello costante, nonostante siano stati immessi 9000 litri di acqua con una portata di 10 litri al secondo. Tuttavia è stato fatto un calcolo di permeabilità considerando che la portata massima immessa fosse la portata necessaria a mantenere ipoteticamente il livello costante, pertanto si può dire che la permeabilità reale sarà superiore a quella ottenuta.

Di seguito le tabelle delle prove di permeabilità eseguite sia a carico costante che a carico variabile.

DATI OTTENUTI DALLA PROVA A CARICO VARIABILE ESEGUITA NEL SONDAGGIO S02

	ApoGeo Soc. Coop. a r.l. Via Claudio Monteverdi, 1 – 70022 Altamura (BA) P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it www.apogeo.biz
--	--

PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)
SONDAGGIO N. 02

Committente:	Sindaco R. Altamura
Direttore dei Lavori:	
Località:	D. Carica di Trapani
Oggetto dell'appalto:	Intervento di manutenzione straordinaria di carico RS di Carica di Trapani
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	Altamura
Geologo di cantiere:	Dr. Salvatore Taccardi
Assistente:	Dr. Salvatore Taccardi
Diametro foro sondaggio (m):	0.101
Falda:	ASSENTE
Inizio tratto di prova (m dal p.c):	0.2
Fine tratto di prova (m dal p.c):	8
Lunghezza tratto di prova (m):	7.8
Coefficiente di Forma (m)	0
Litologia:	Carica

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$C_F = \frac{2\pi D \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 - 1}\right)} = 6.8319452$$

CALCOLO DELLA PERMEABILITÀ (K) IN m/sec

Formula AGI 1977:

$$K = \frac{A}{C_F * (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

N. LETTURA	INTERVALLO DI TEMPO (sec)	LIVELLO PIEZOMETRICO (m)	COEFFICIENTE DI FORMA	PERMEABILITÀ (m/sec)
1	0	0.2		
2	60	0.3	9.718495507	2.34E-06
3	140	0.4	9.718495507	1.79E-06
4	270	0.6	9.718495507	2.98E-06
5	380	0.8	9.718495507	1.37E-06
6	550	1	9.718495507	1.06E-06
7	720	1.2	9.718495507	1.13E-06
8	850	1.4	9.718495507	1.13E-06
9	960	1.6	9.718495507	2.70E-06

Valore medio di permeabilità = 1.69E-06 m/sec

PROVA A CARICO COSTANTE ESEGUITA NELLO SCAVO 01

Apogeo S.r.l. Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA) P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it www.apogeo.biz	
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO COSTANTE (A.G.I. 1977) Scavo01	
Stazione appaltante:	Sediò R.A. Roa alla Rocca A. Rocca
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI (TR)
Oggetto dell'appalto:	Intervento di manutenzione straordinaria di opere d'edilizia RS e loca. P. V. e Tra.
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	ApoGeo
Geologo di cantiere:	Dott. Paolo Piro
Falda	ASSENTE
Litologia:	Tirreno v. a. c. d. c. c. c.

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:	
$K = Q / b^2 * 1/27(h_m/b)+3$	

	Prova n°	Prova n°	Prova n°	Media
Q (ml/min)	5	5		
durante la prova)	721	750		
h _m (cm)	120	119		
b (cm)	200	200		
K (cm/s)	9.03E-06	8.74E-06		8.89E-06
K (cm/s)	9.03E-08	8.74E-08		8.89E-08

PROVA A CARICO VARIABILE ESEGUITA NELLO SCAVO 01



Apogeo S.r.l.
Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA)
P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324
Email: apogeo.altamura@libero.it
www.apogeo.biz

PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)

Scavo 01

Stazione appaltante:	Sind. R. A. Ro. a. Ca. Co. C. A. A. Co. C. A.
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI
Oggetto dell'appalto:	Intervento di manutenzione straordinaria di carico RS. Località Pro. V. Co. C. A. Tra.
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	ApoGeo S.r.l.
Geologo di cantiere:	Dr. Co. P. P.
Falda	ASSENTE
Litologia:	T. Co. V. Co. C. A. Co. C. A. Co. C. A. Co. C. A.

FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:

$$K = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1 + (2h_m/b)}{27} \cdot (h_m/b) + 3$$

	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Media
h ₁	119	117		
h ₂	117	115		
t ₂ - t ₁	62	65		
h _m	118	116		
b	200	200		
K	6.19E-05	5.94E-05		6.06E-05
K	6.19E-07	5.94E-07		6.06E-07

PROVA A CARICO VARIABILE ESEGUITA NELLO SCAVO 02

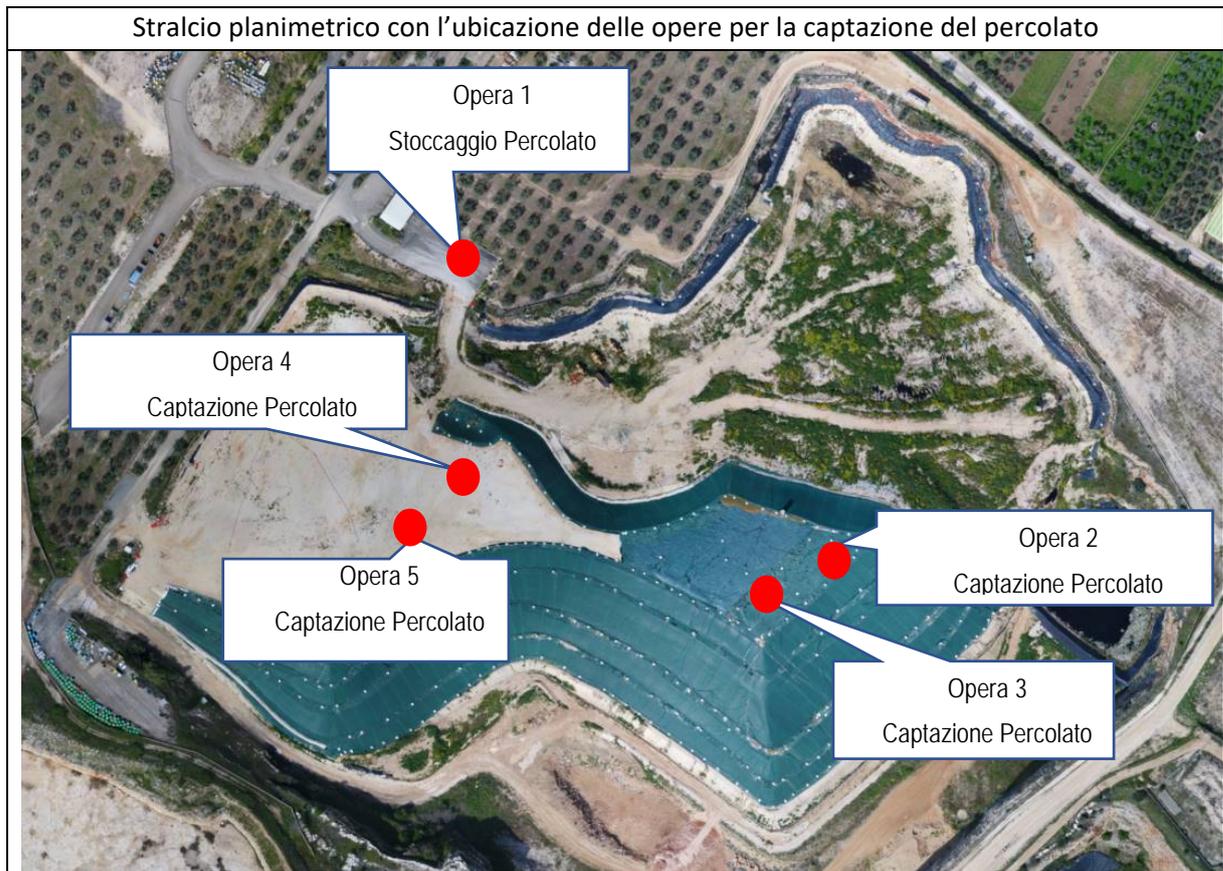
<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> <p>Apogeo S.r.l. Via Caduti di Nassiriya 170 – 70022 Altamura (BA) P. IVA: 01037210778 Tel. e fax. 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it www.apogeo.biz</p> </div>	
PROVA DI PERMEABILITÀ ESEGUITA A CARICO VARIABILE (A.G.I. 1977)	
Scavo 02	
Stazione appaltante:	S...diò R...A...Ro...a...o...a...A...oc...r...
Direttore dei Lavori:	
Località:	TRANI
Oggetto dell'appalto:	l...v...d...a...o...a...d...o...a...d...o...d...carica RS...oca... P...o V...o...Tra...
Data:	13/04/2018
Impresa esecutrice:	A...o...o...r...
Geologo di cantiere:	Dr...o...P...o...P...
Falda	ASSENTE
Litologia:	Ca...ar...
<p>FORMULA PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI FORMA DA NORMATIVA A.G.I.:</p> $K = h_1 - h_2 / t_2 - t_1 * 1 + (2h_m / b) / 27 * (h_m / b) + 3$ <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> </div>	

	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Prova n° 4	Media
h₁	103	100	95	80	
h₂	100	95	80	48	
t₂ - t₁	2:7	2:4	12:8	70	
h_m	101.5	97.5	87.5	64	
b	110	110	110	110	
K	1.89E-03	3.57E-03	2.07E-03	8.81E-04	2.51E-03
K	1.89E-05	3.57E-05	2.07E-05	8.81E-06	2.51E-05

5 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI PRESENTI NELL'AREA

Nella presente campagna geognostica sono stati valutati anche i parametri geotecnici dei terreni su cui saranno realizzate alcune opere per la captazione del percolato. Su ogni punto sono stati eseguiti dei sopralluoghi e sono stati determinati i principali parametri geotecnici sulla base delle risultanze di prove condotte su campioni simili e da bibliografia.

Di seguito si mostra uno stralcio planimetrico con l'ubicazione dei punti interessati dalle opere in progetto e i relativi parametri geotecnici.



Opera 1 – Impianto di stoccaggio: Roccia Calcarea

- Peso di volume della roccia: 2,45 g/cm³
- Coesione: 2,7 Kg/cm²
- Angolo di attrito: 33°

Opera 2 – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

- Peso di volume della roccia: 1,48 g/cm³
- Coesione: 0 Kg/cm²
- Angolo di attrito: 20°

Opera 3 – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

Peso di volume della roccia: 1,48 g/cm³

- Coesione: 0 Kg/cm²
- Angolo di attrito: 20°

Opera 4: – Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

Peso di volume della roccia: 1,48 g/cm³

- Coesione: 0 Kg/cm²
- Angolo di attrito: 20°

Opera 5– Opera di captazione percolato: Presenza di RSU

Peso di volume della roccia: 1,48 g/cm³

- Coesione: 0 Kg/cm²
- Angolo di attrito: 20°

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalla esecuzione di tutte le indagini eseguite, è possibile asserire che, nelle aree in cui è prevista l'ubicazione delle trincee di drenaggio, come mostrato dal sondaggio S03, dall'indagine elettrica ERT01 e dall'indagine georadar, è presente, materiale di riempimento a granulometria prevalentemente fine, di circa 6-7 metri di spessore, che colma probabilmente una vecchia cava di calcarenite. Tali terreni hanno mostrato una bassa permeabilità, come messo in evidenza dalle prove di assorbimento eseguite nello scavo 1, ubicati nella suddetta zona. Considerato che le indagini geognostiche si riferiscono ad una area adiacente alla zona definita in corso di variante, è consigliabile eseguire ulteriori prove di permeabilità in sondaggio e/o in pozzetto nella nuova area di sedime delle trincee di drenaggio.

Per quanto riguarda le categorie di suolo, dei terreni presenti, avendo mostrato una velocità delle onde s maggiore di 800 m/s, sia dove affiorano i calcari che dove affiorano le calcareniti, secondo le NTC 2018 sono classificabili come categoria A.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti, sono esposti nei fogli dei moduli dinamici ricavati dalle indagini sismiche eseguite.



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III Bis

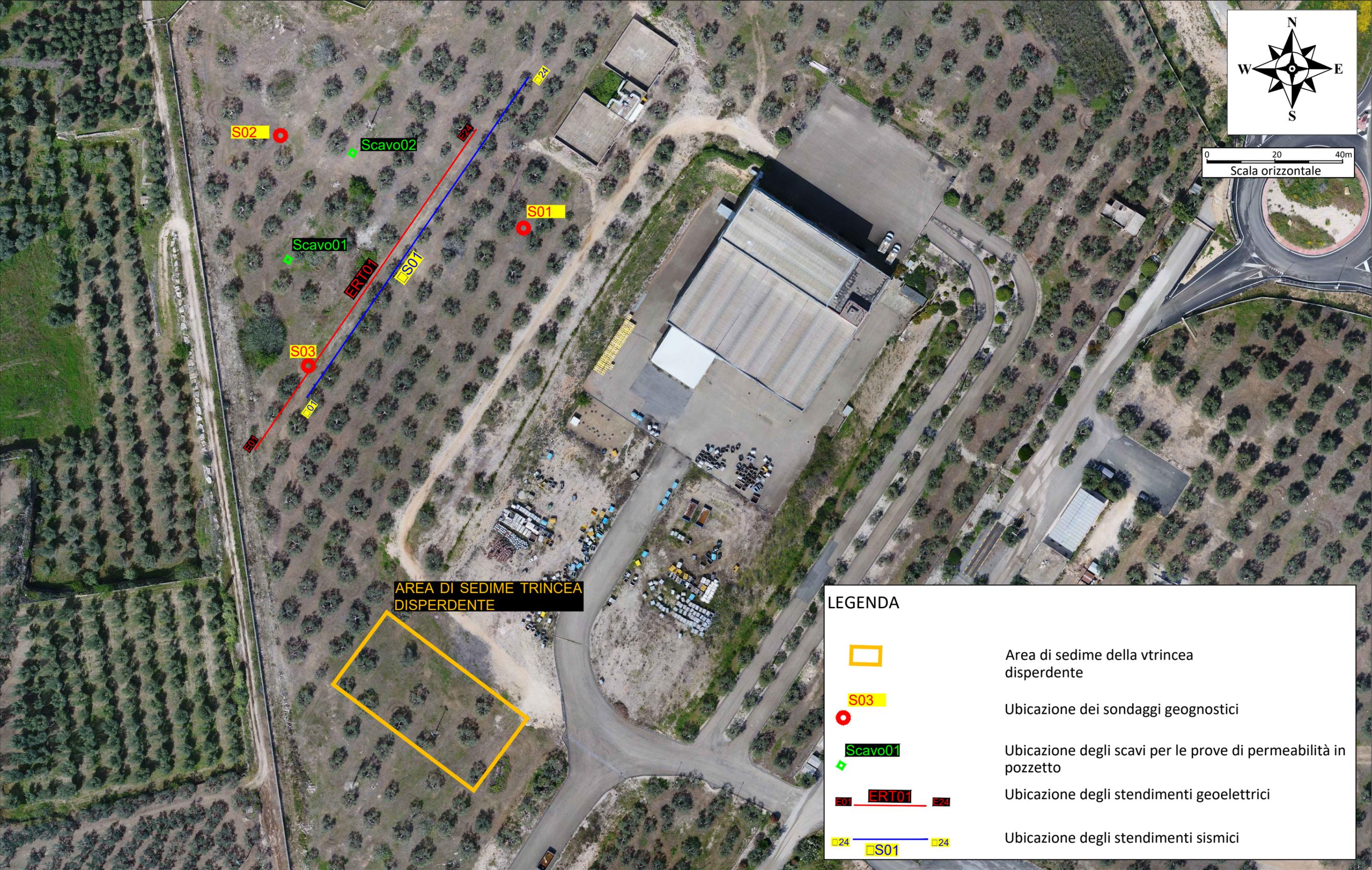


Azienda certificata



ALLEGATO 01 – PLANIMETRIE

ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DELLA TRINCEA DISPERDENTE - Località Puro vecchio Trani - Scala 1:1000



AREA DI SEDIME TRINCEA DISPERDENTE

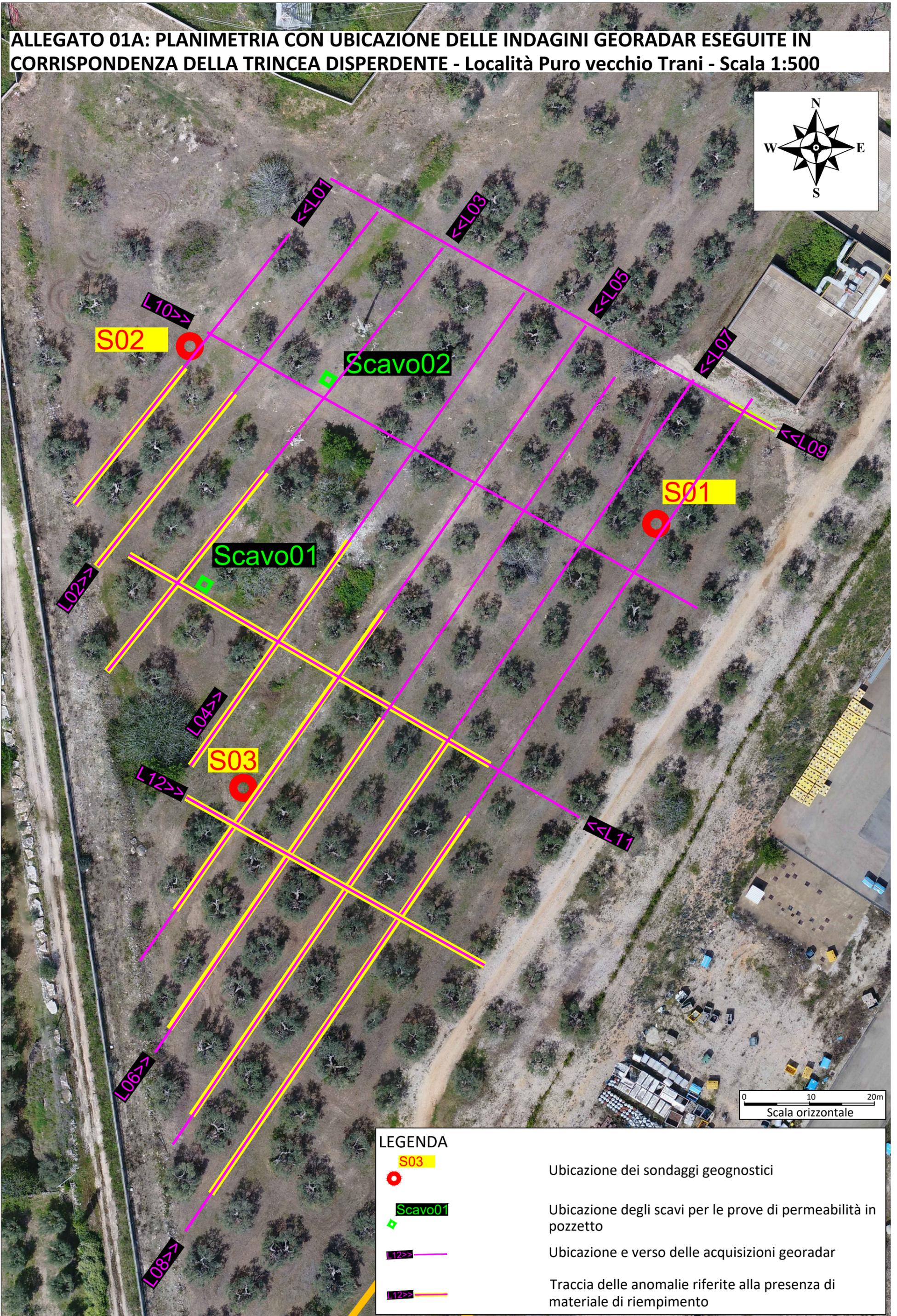
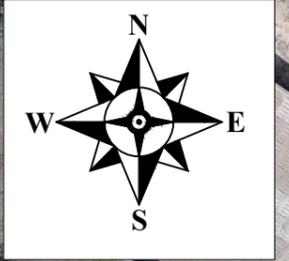
LEGENDA

-  Area di sedime della vtrincea disperdente
-  Ubicazione dei sondaggi geognostici
-  Ubicazione degli scavi per le prove di permeabilità in pozzetto
-  Ubicazione degli stendimenti geoelettrici
-  Ubicazione degli stendimenti sismici

ALLEGATO 01B: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLA ROCCIA CALCAREA
Località Puro vecchio Trani - Scala 1:1000



ALLEGATO 01A: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEORADAR ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DELLA TRINCEA DISPERDENTE - Località Puro vecchio Trani - Scala 1:500



LEGENDA

S03



Ubicazione dei sondaggi geognostici

Scavo01



Ubicazione degli scavi per le prove di permeabilità in pozzetto

L12>>



Ubicazione e verso delle acquisizioni georadar

L12>>



Traccia delle anomalie riferite alla presenza di materiale di riempimento

0 10 20m
Scala orizzontale

ALLEGATO 02A – SISMICA DI SUPERFICIE IN ONDE P

- SISMOGRAMMI ONDE P
- DROMOCRONE ONDE P
- SEZIONI TOMOGRAFICHE E MODELLI SISMOSTRATIGRAFICI



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. IIIBis

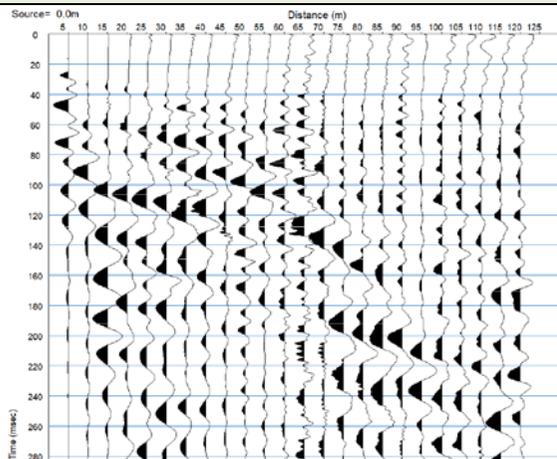


Azienda certificata

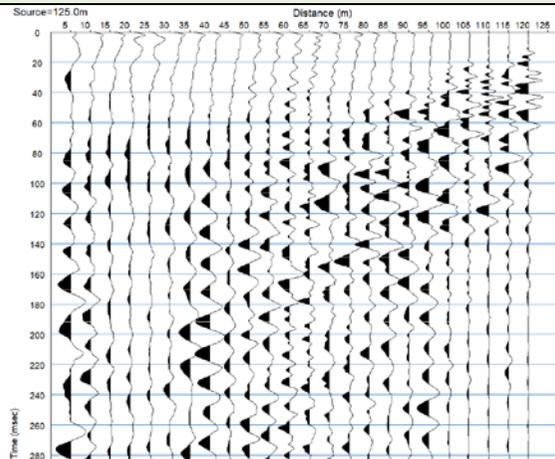


Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" - BASE SISMICA BS01 – ONDE P

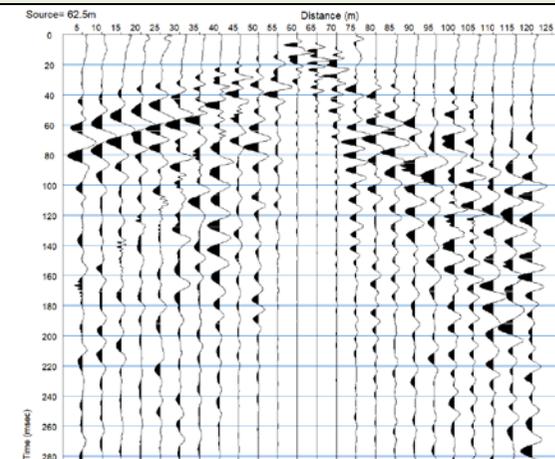
Sismogramma scoppio A



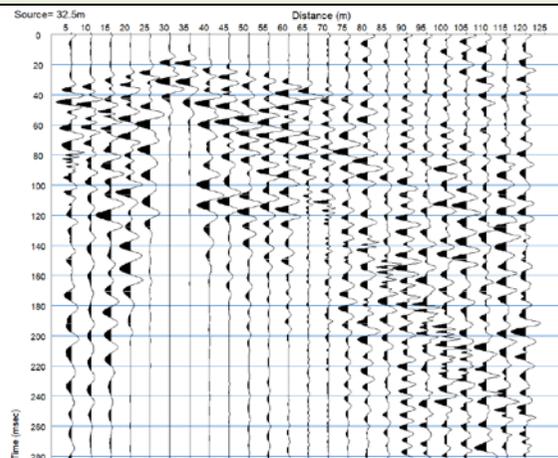
Sismogramma scoppio B



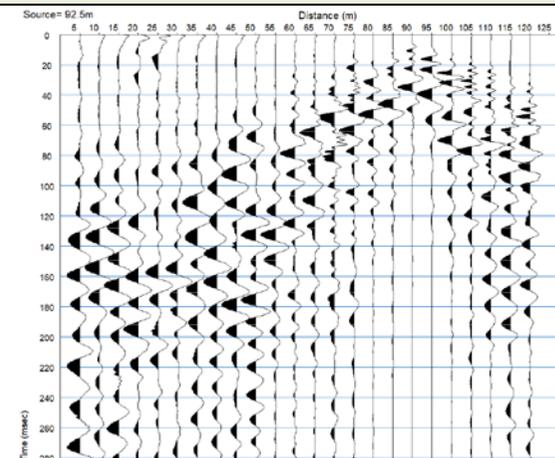
Sismogramma scoppio C



Sismogramma scoppio D



Sismogramma scoppio E





Cat. OS20A Class. I
 Cat. OS20B Class. IIIBis

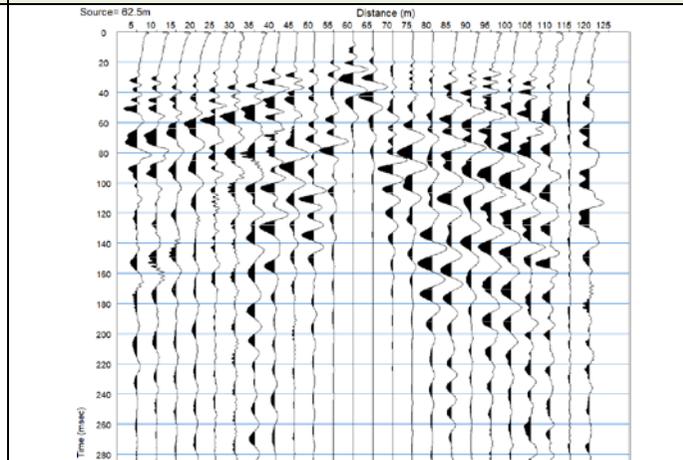
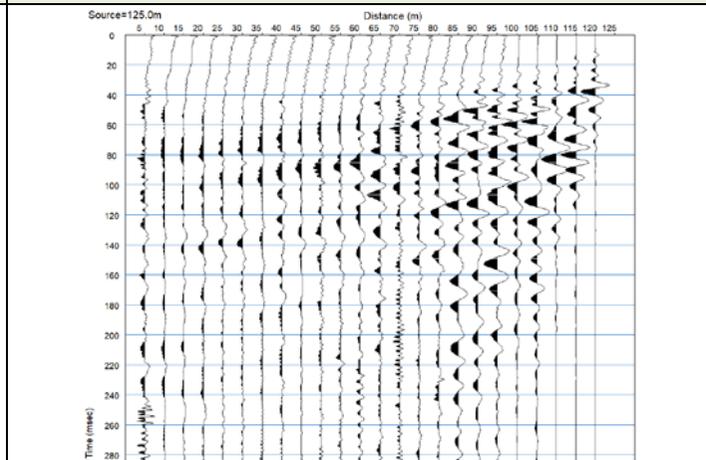
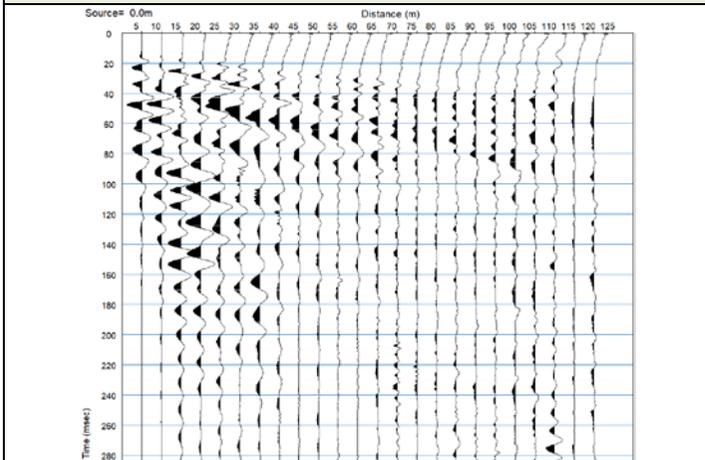


Azienda certificata

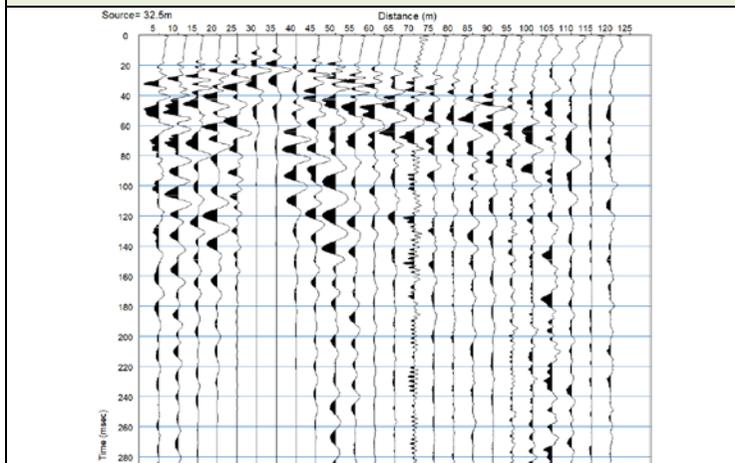


Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"- BASE SISMICA BS02 – ONDE P

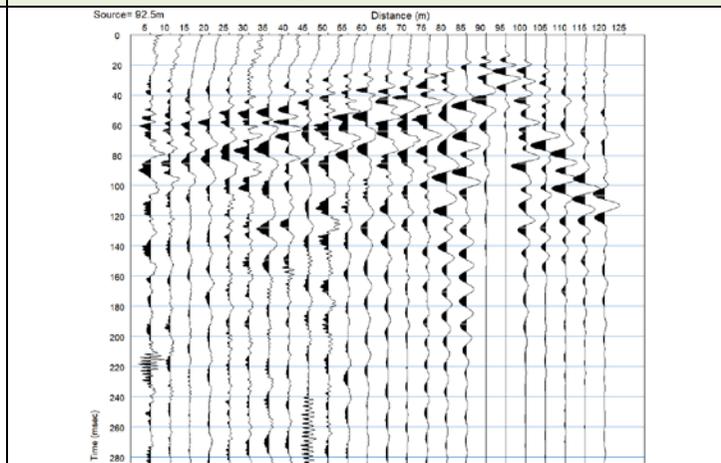
Sismogramma scoppio A **Sismogramma scoppio B** **Sismogramma scoppio C**



Sismogramma scoppio D

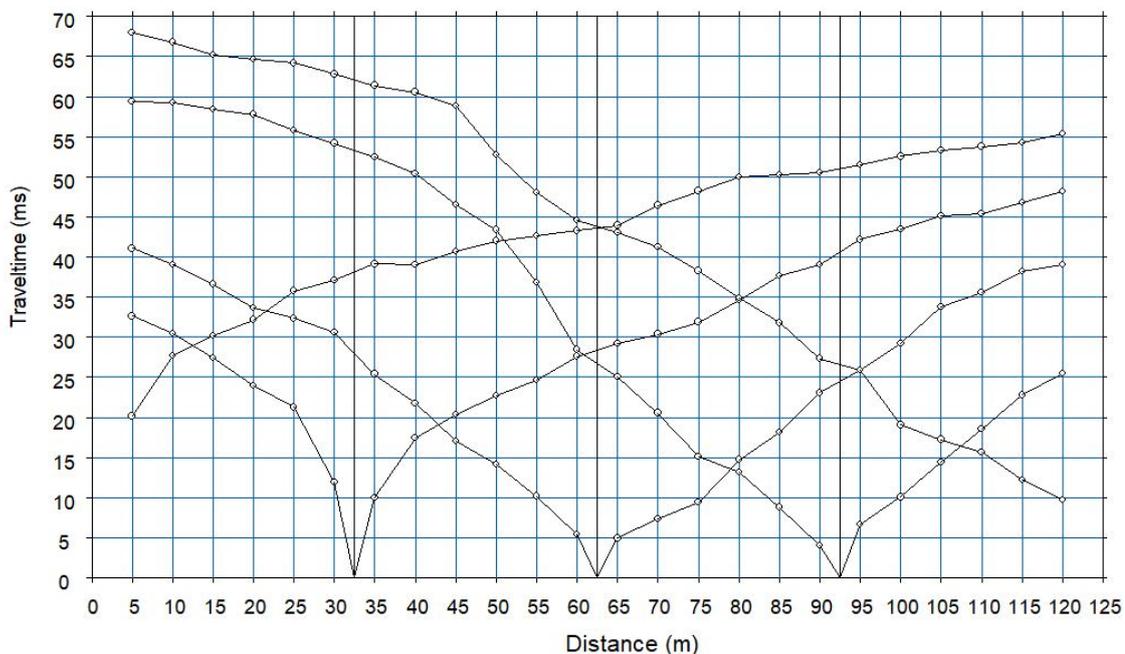


Sismogramma scoppio E

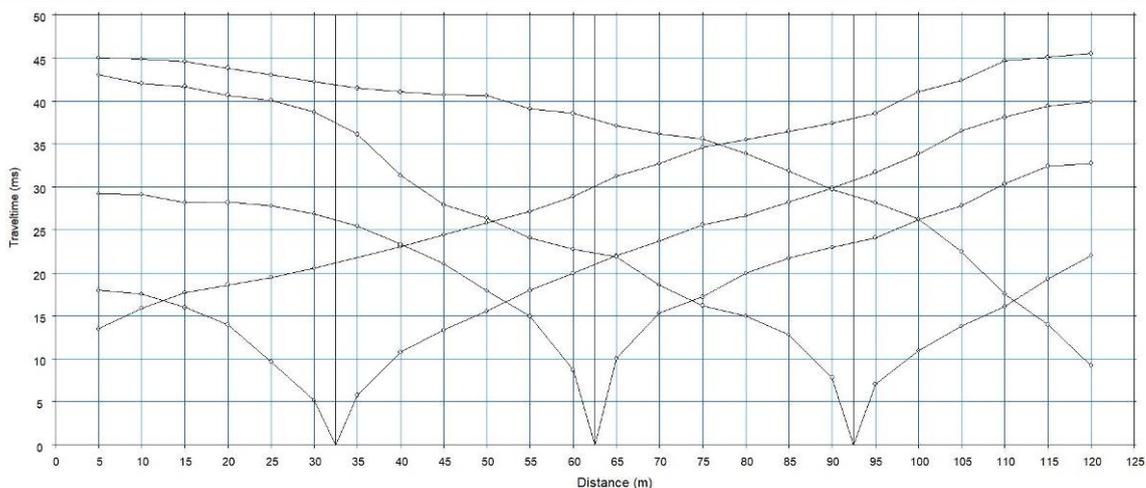


DROMOCRONE BS01 e BS02 - ONDE P

DROMOCRONE BS01 E BS02 - ONDE P - Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"



BS01 – ONDE P



BS02 – ONDE P



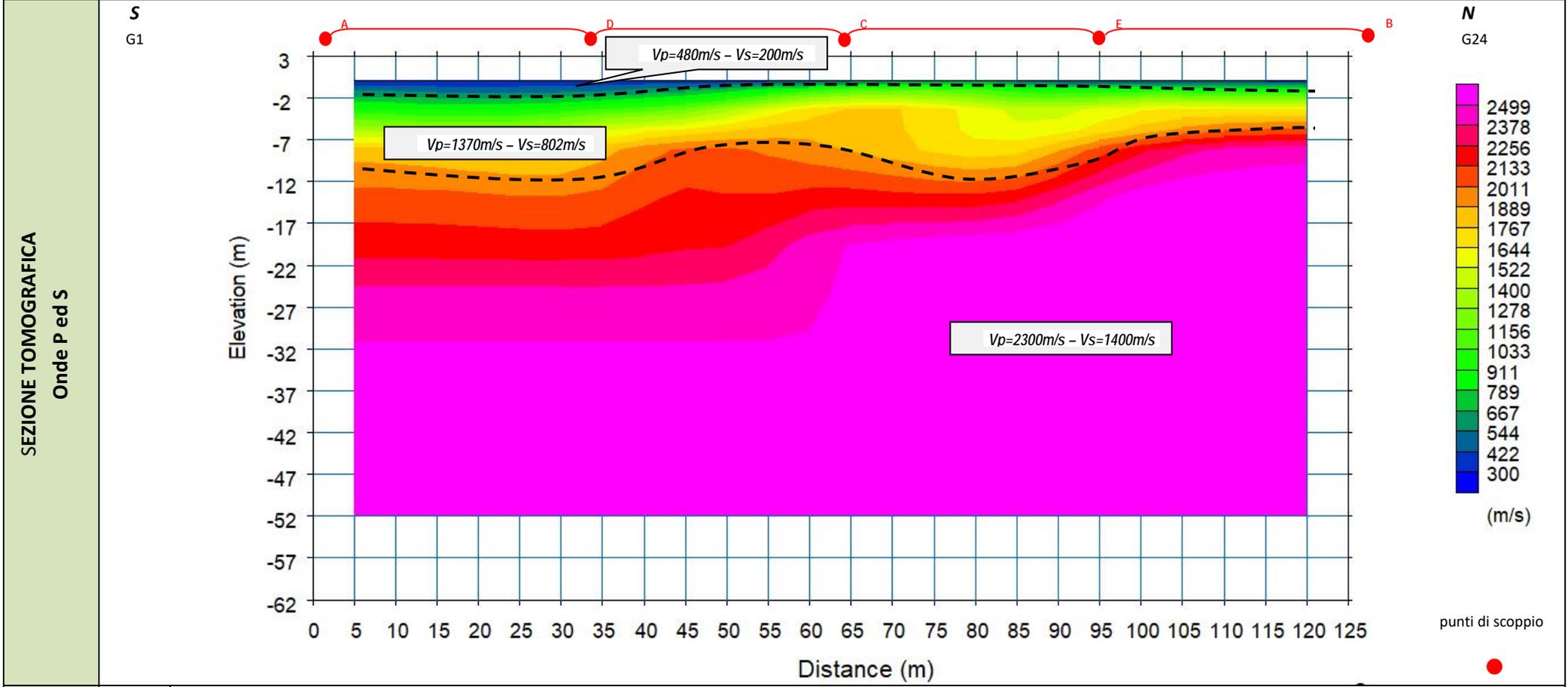
Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. IIIBis



Azienda certificata



Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" - BASE SISMICA 01



LEGENDA

	Materiale di riporto		Deposito sabbioso limoso poco addensato		Deposito sabbioso limoso ben addensato
---	----------------------	---	---	---	--



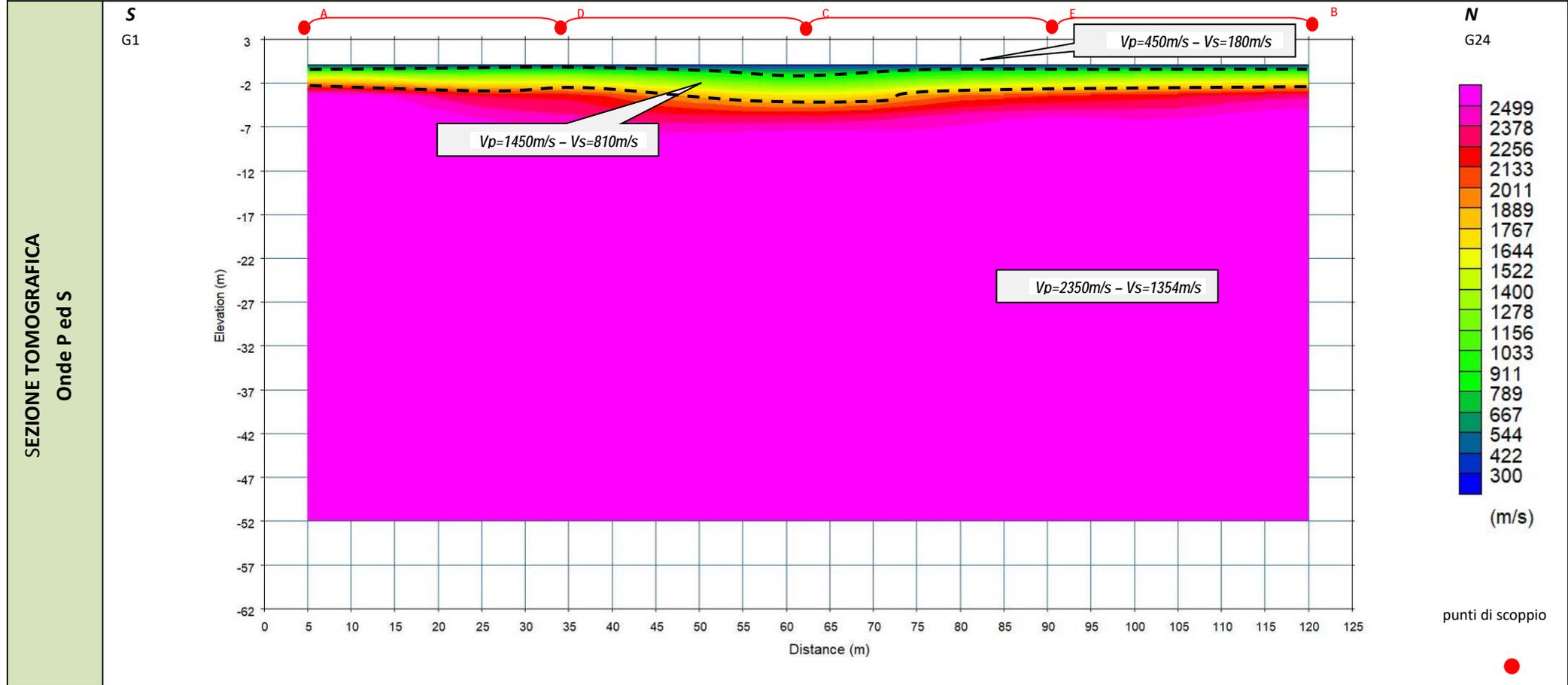
Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III Bis



Azienda certificata



Località "Puro Vecchio - Trani (BT)" - BASE SISMICA 02



LEGENDA



Materiale di riporto



Deposito sabbioso limoso poco addensato



Deposito sabbioso limoso ben addensato



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III Bis



Azienda certificata





Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



Azienda certificata



ALLEGATO 02B – SISMICA DI SUPERFICIE PER LA STIMA DEL V_{Seq}

- ELABORATI INDAGINI MASW
 - SISMOGRAMMA MEDIO
 - SPETTRO DELLE FREQUENZE
 - CURVA DI DISPERSIONE
 - PROFILI VS

ELABORATI INDAGINE MASW: MASW.01, MASW.02

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – MASW. 01 - BASE SISMICA BS1

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW. 01

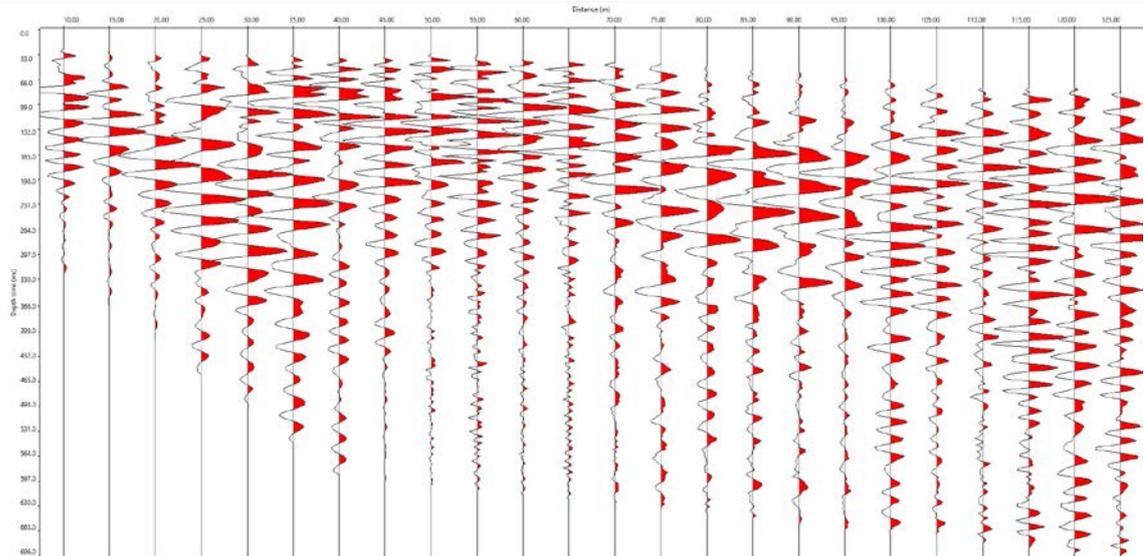
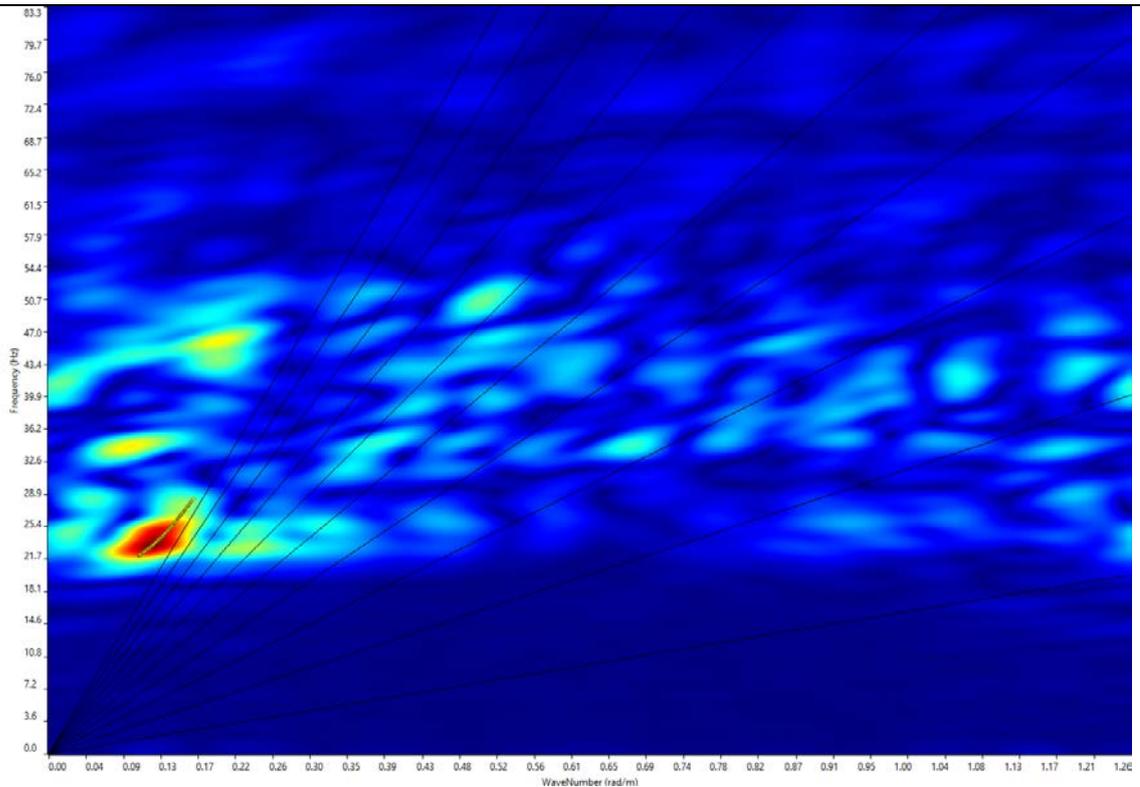
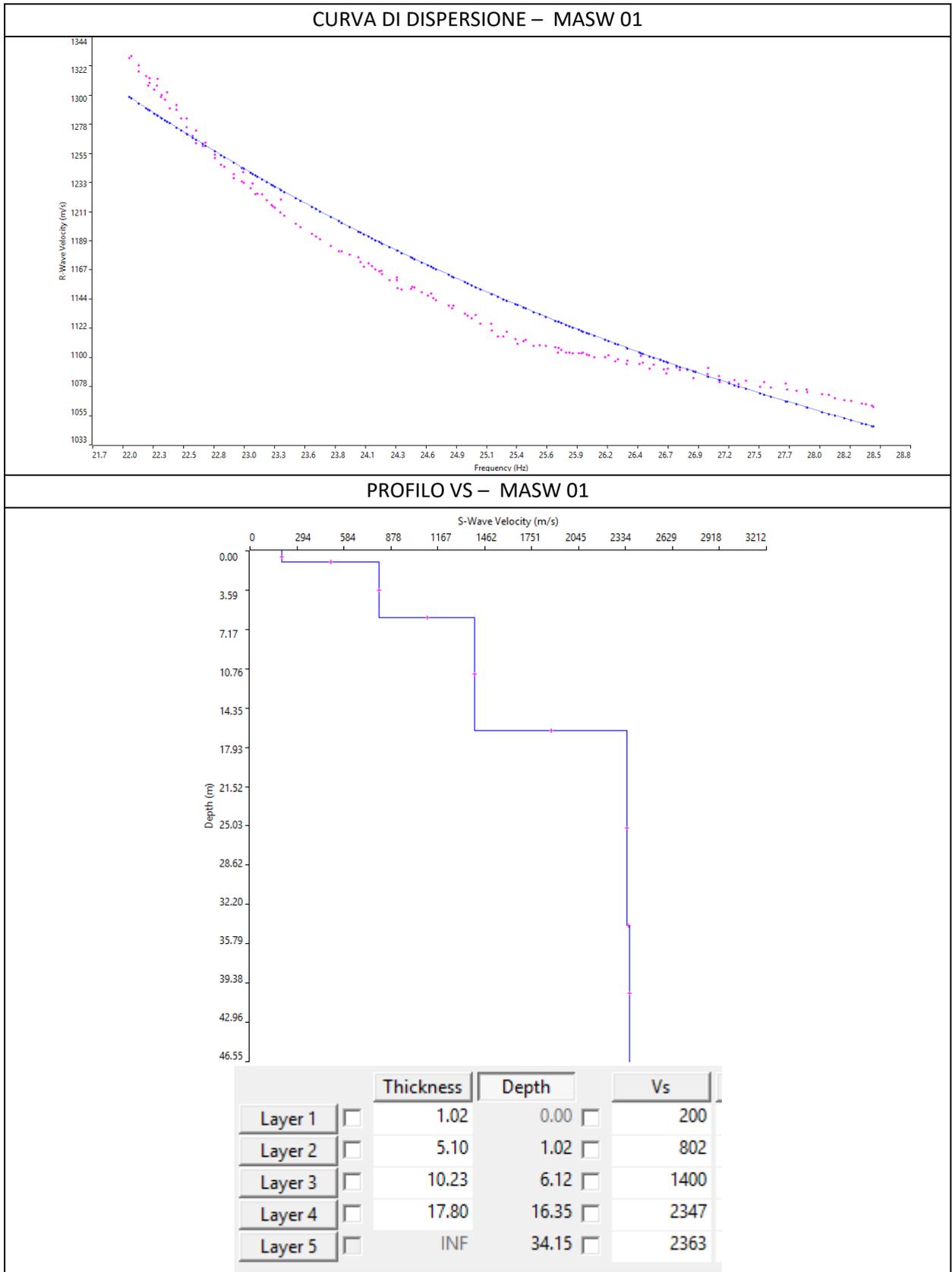


GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW 01





Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – MASW 02 - BASE SISMICA BS2

SISMOGRAMMA MEDIO – MASW 02

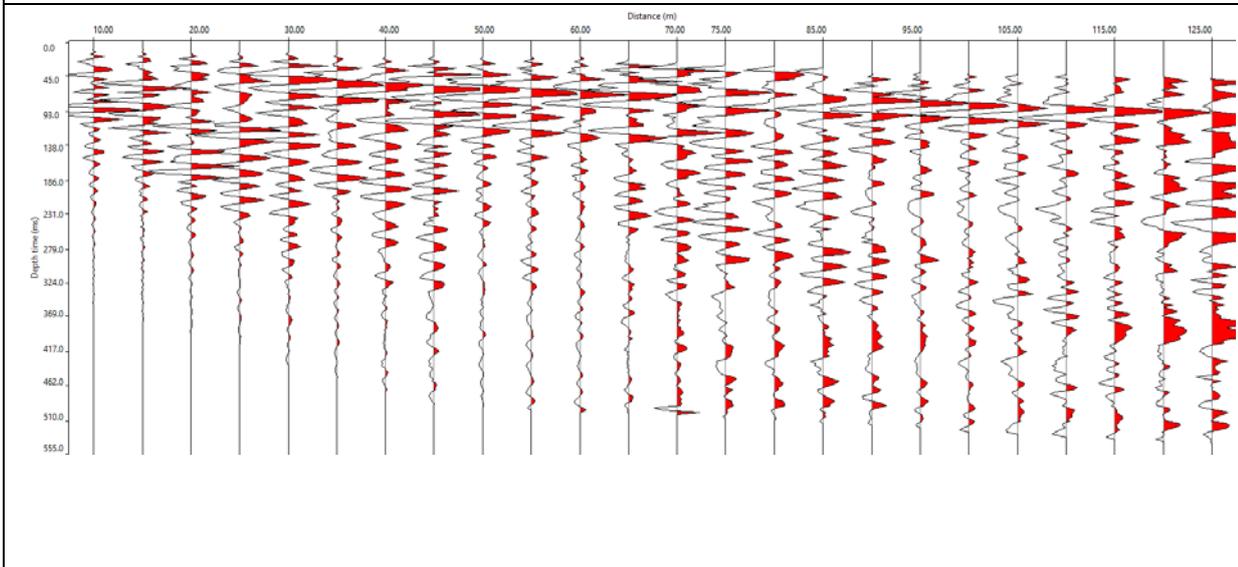
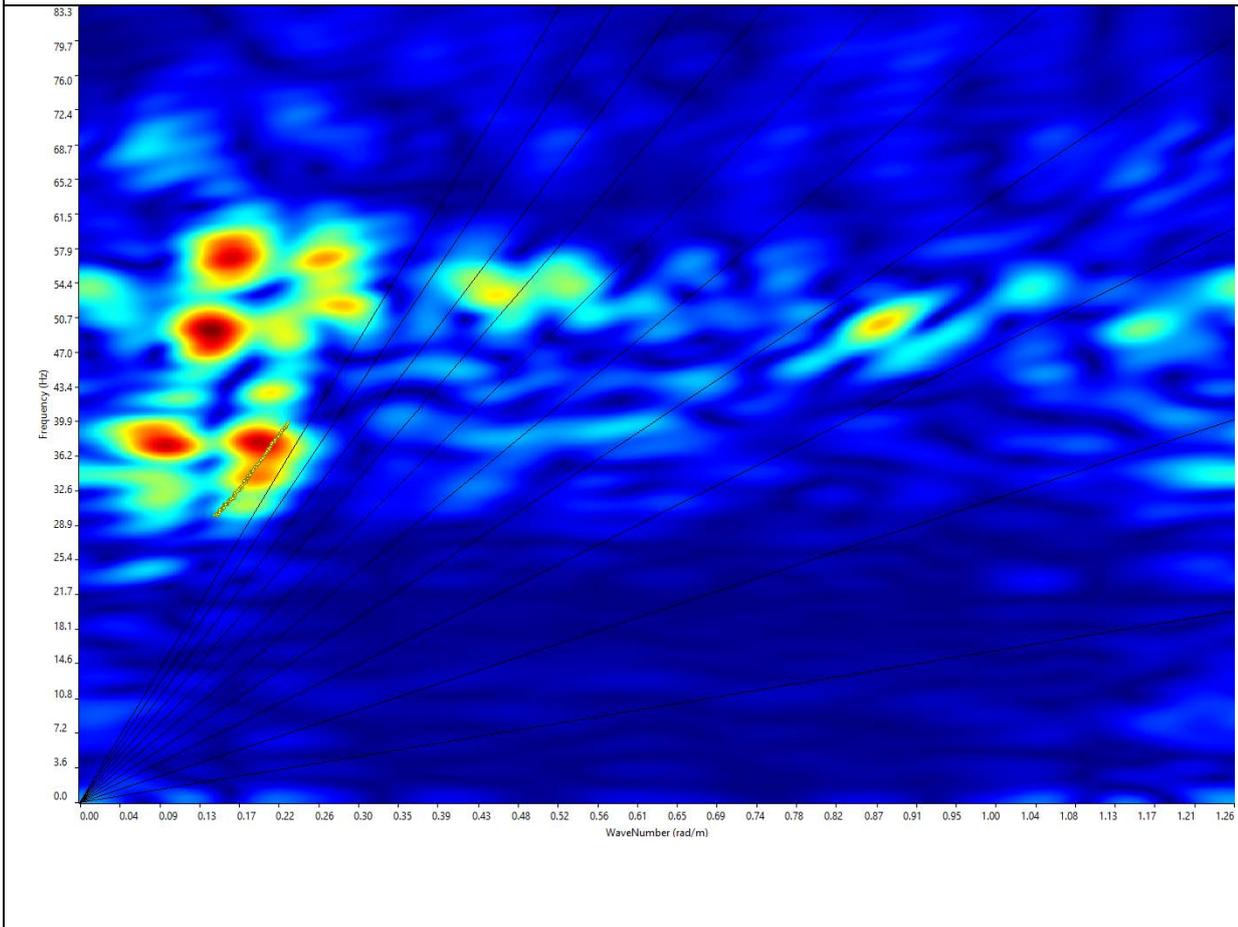
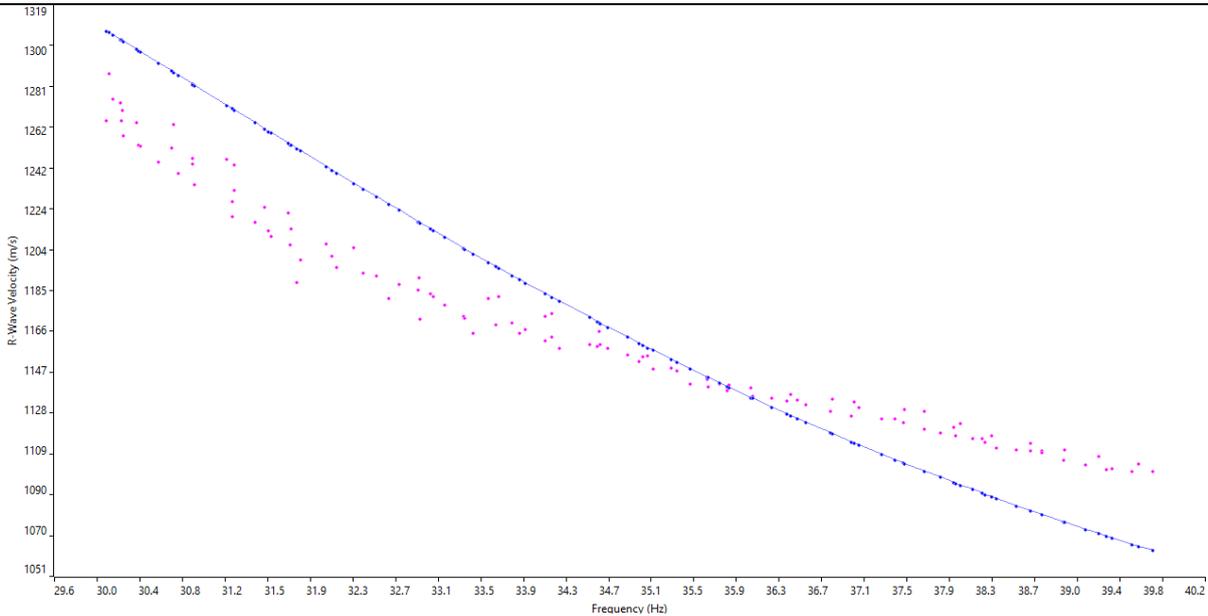


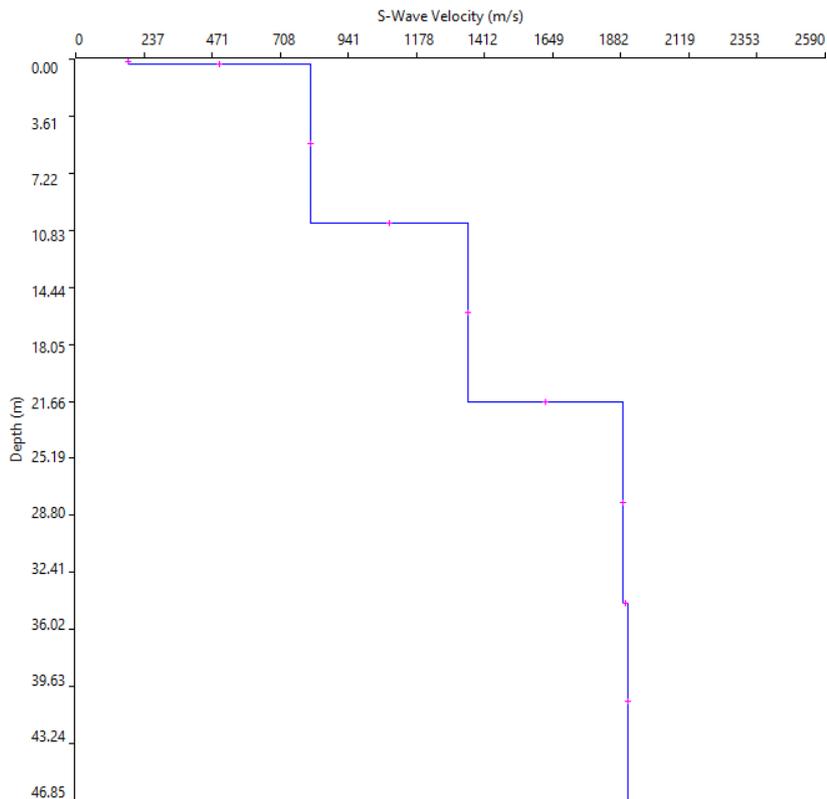
GRAFICO P-F CON L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DELLA CURVA DI DISPERSIONE – MASW. 02



CURVA DI DISPERSIONE – MASW 02



PROFILO VS – MASW 02



	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	<input type="checkbox"/> 1.02	0.00	<input type="checkbox"/> 200
Layer 2	<input type="checkbox"/> 5.10	1.02	<input type="checkbox"/> 802
Layer 3	<input type="checkbox"/> 10.23	6.12	<input type="checkbox"/> 1400
Layer 4	<input type="checkbox"/> 17.80	16.35	<input type="checkbox"/> 2347
Layer 5	<input type="checkbox"/> INF	34.15	<input type="checkbox"/> 2363



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B



Azienda certificata



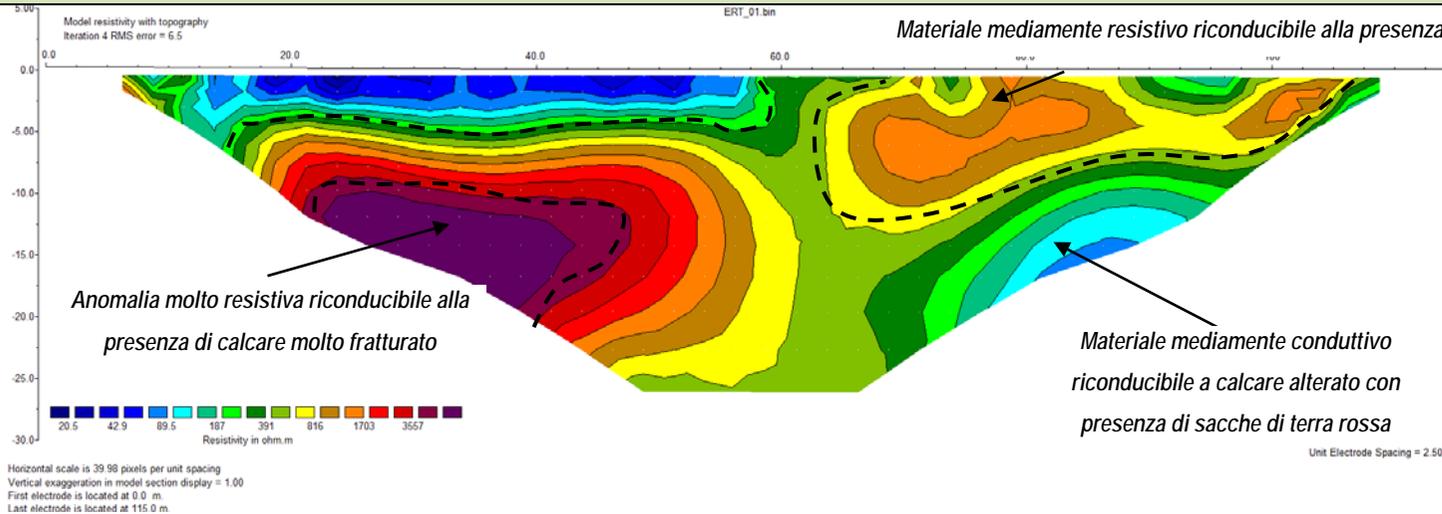
ALLEGATO 03 – INDAGINE GEOELETRICA

-
- ELABORATI INDAGINI GEOELETRICA
 - PSEUDOSEZIONI E INTERPRETAZIONI
-

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – E.R.T.01 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE

ELABORAZIONE RES2DIN
DIPOLO-DIPOLO

E1
SW



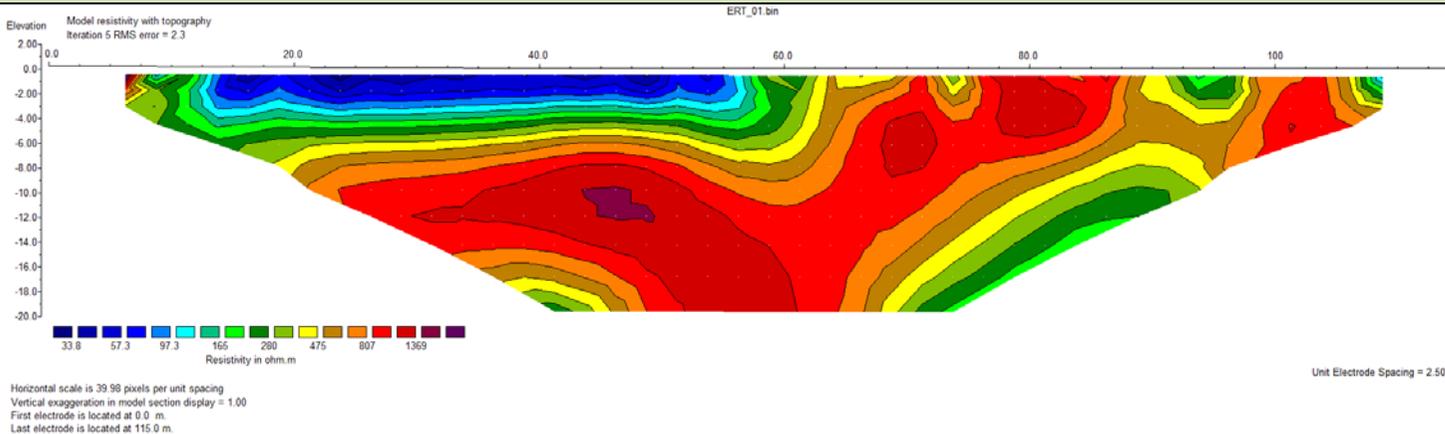
E24
NE

NB. I commenti interpretativi sono stati riportati unicamente nella pseudosezione ottenuta mediante l'utilizzo della configurazione dipolo-dipolo assiale. La distribuzione delle variazioni di resistività apparente nelle 2 elaborazioni ha un andamento analogo mentre sono diverse le profondità di investigazione.

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – E.R.T.01 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE

ELABORAZIONE TOMOLAB
WENNER

E1
SW

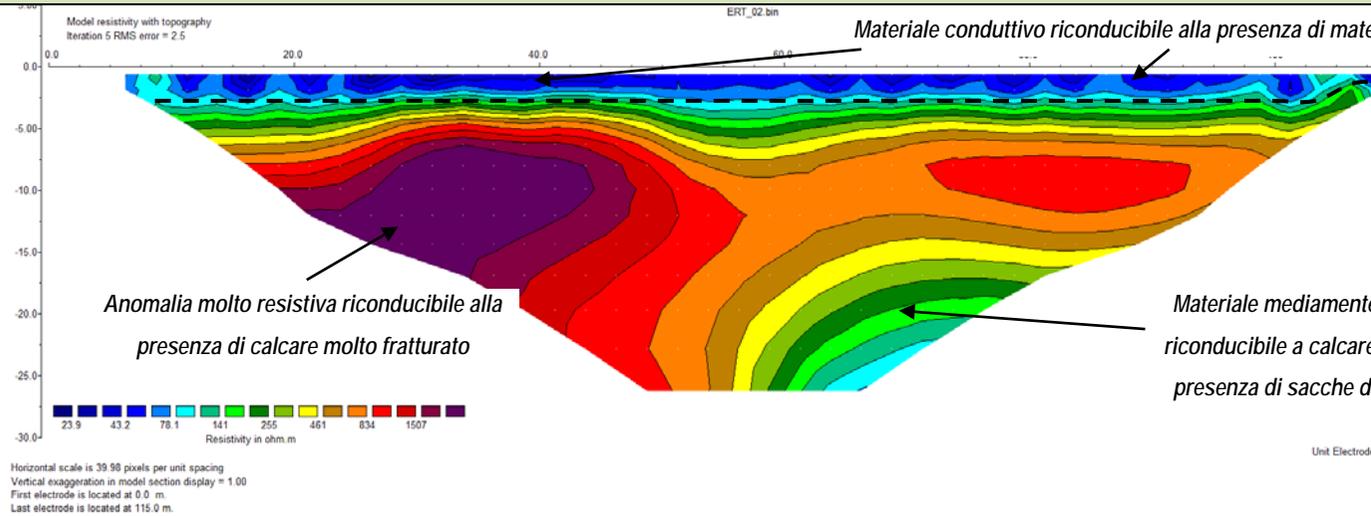


E24
NE

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – E.R.T.02 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE

ELABORAZIONE RES2DIN
DIPOLO-DIPOLO

E1
SSE



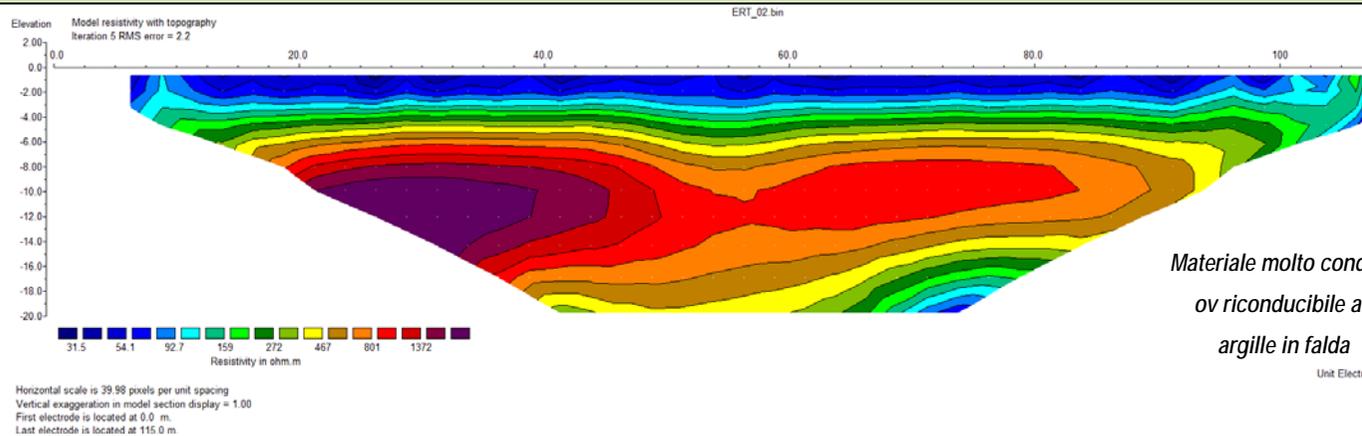
E24
NNW

NB. I commenti interpretativi sono stati riportati unicamente nella pseudosezione ottenuta mediante l'utilizzo della configurazione dipolo-dipolo assiale. La distribuzione delle variazioni di resistività apparente nelle 2 elaborazioni ha un andamento analogo mentre sono diverse le profondità di investigazione.

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)" – E.R.T.02 - PSEUDOSEZIONE E MODELLIZZAZIONE

ELABORAZIONE TOMOLAB
WENNER

E1
SSE



E24
NNW



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B

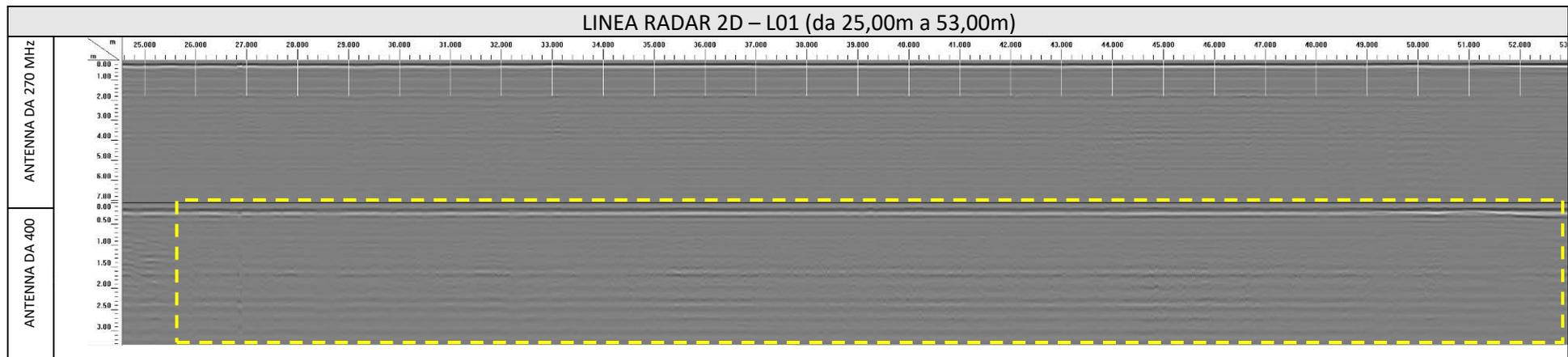
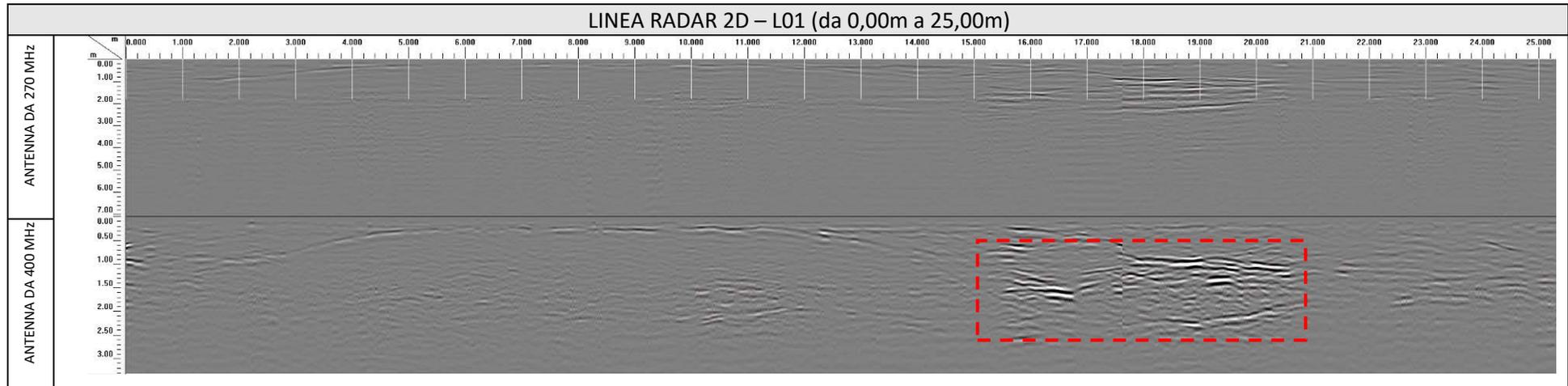


Azienda certificata



ALLEGATO 04A – INDAGINE GEORADAR DI SUPERFICIE

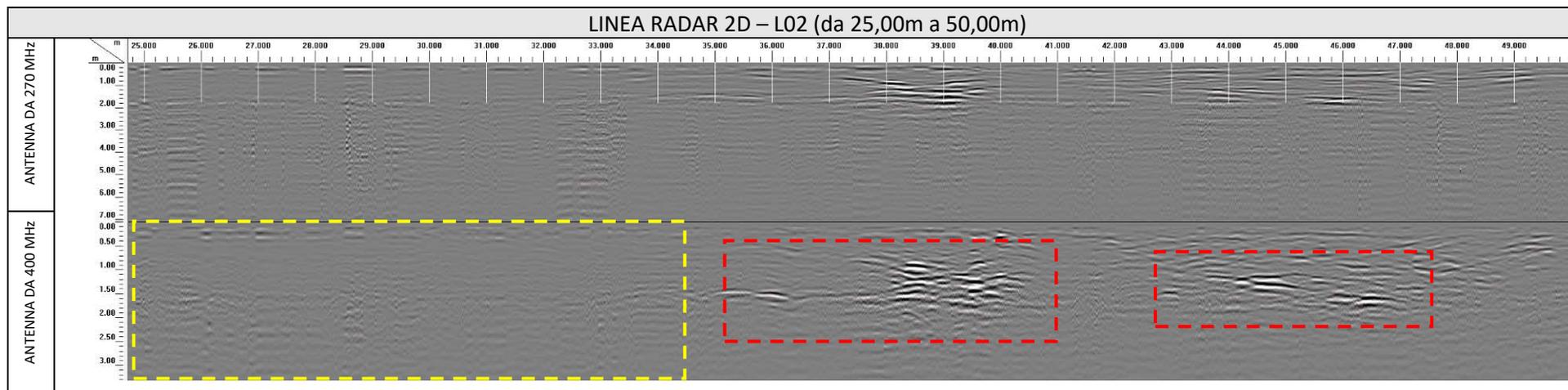
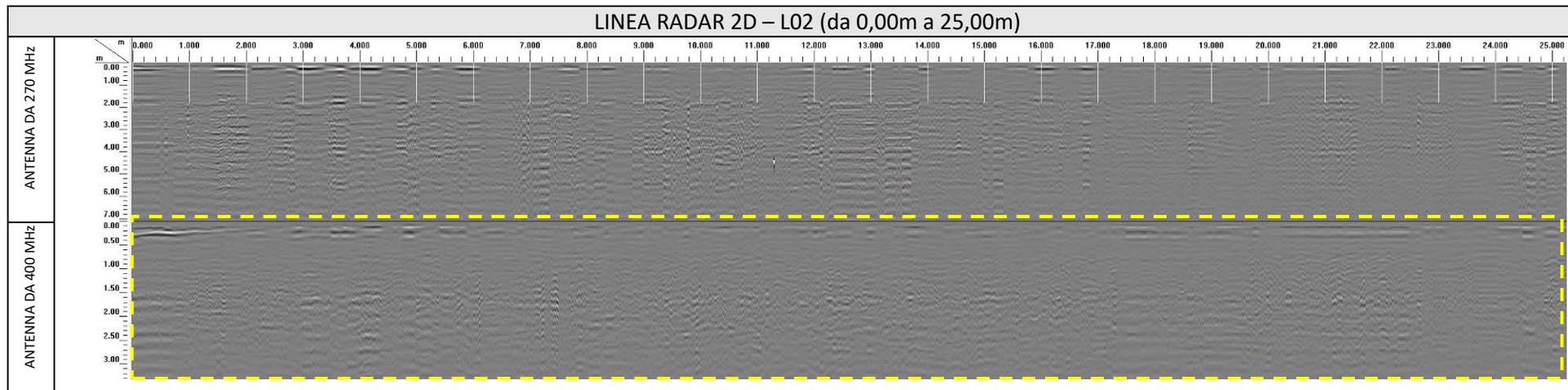
- RADARGRAMMI 2D
 - Antenna 400 MHz
 - Antenna 270 MHz



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



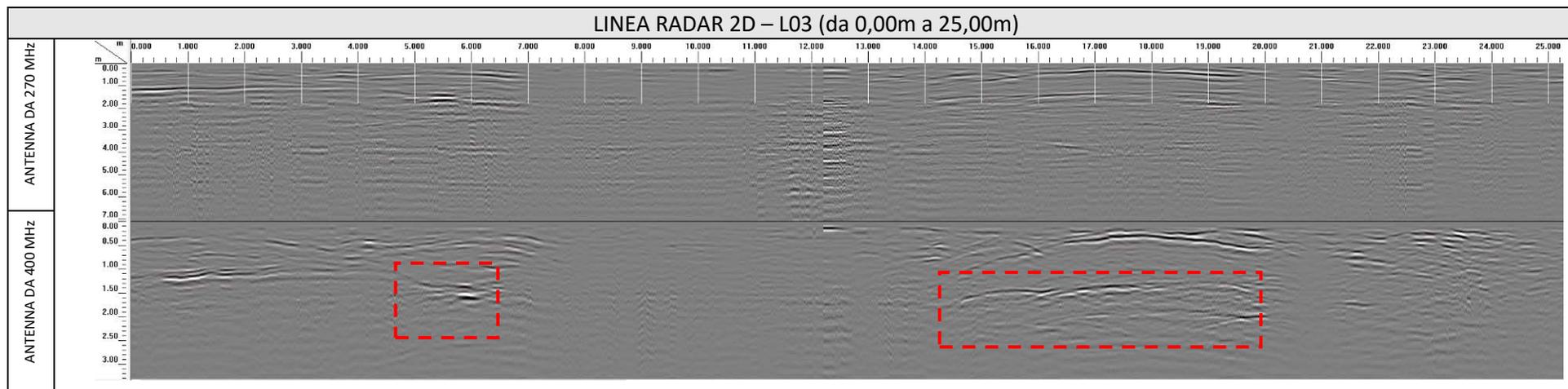
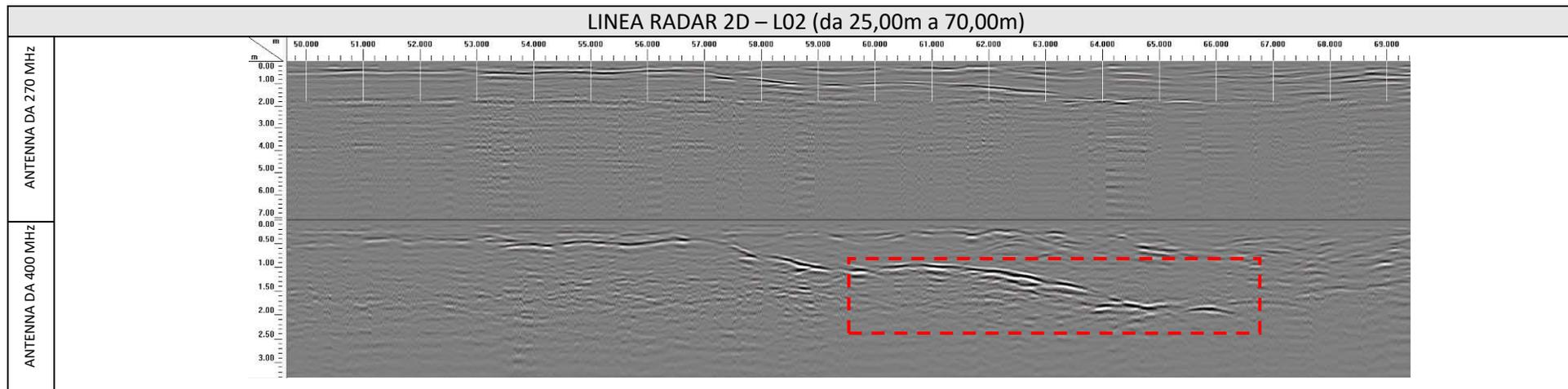
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



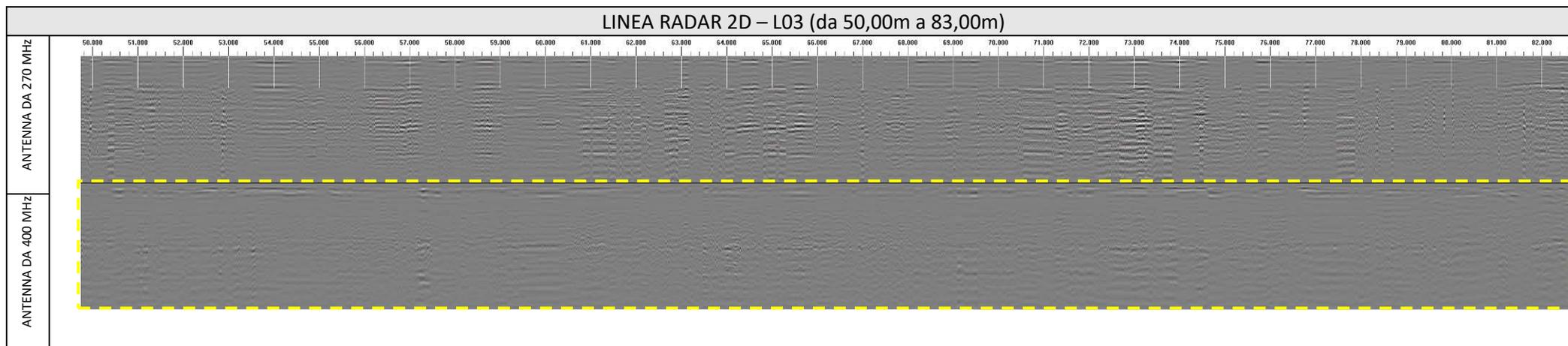
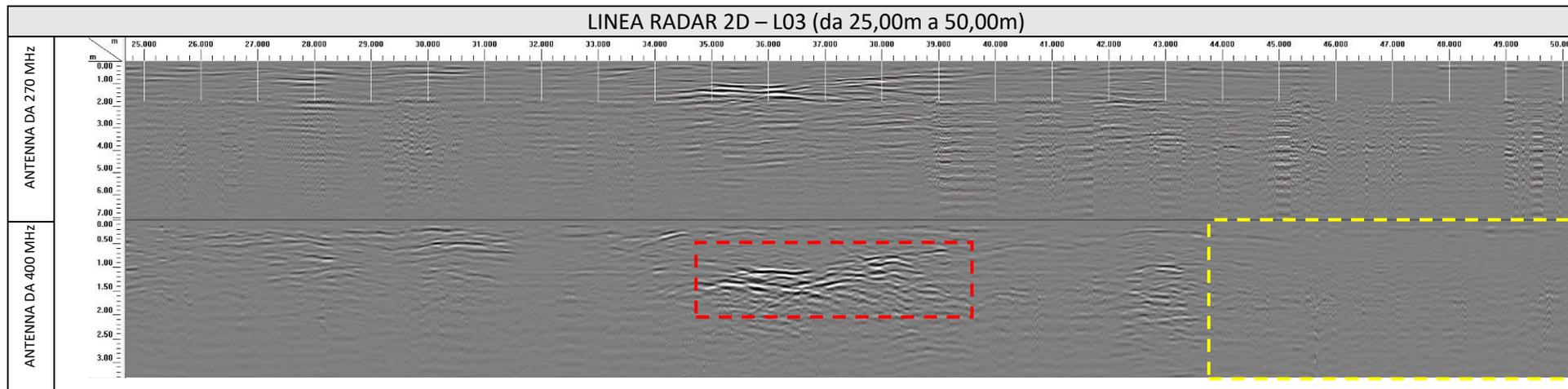
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



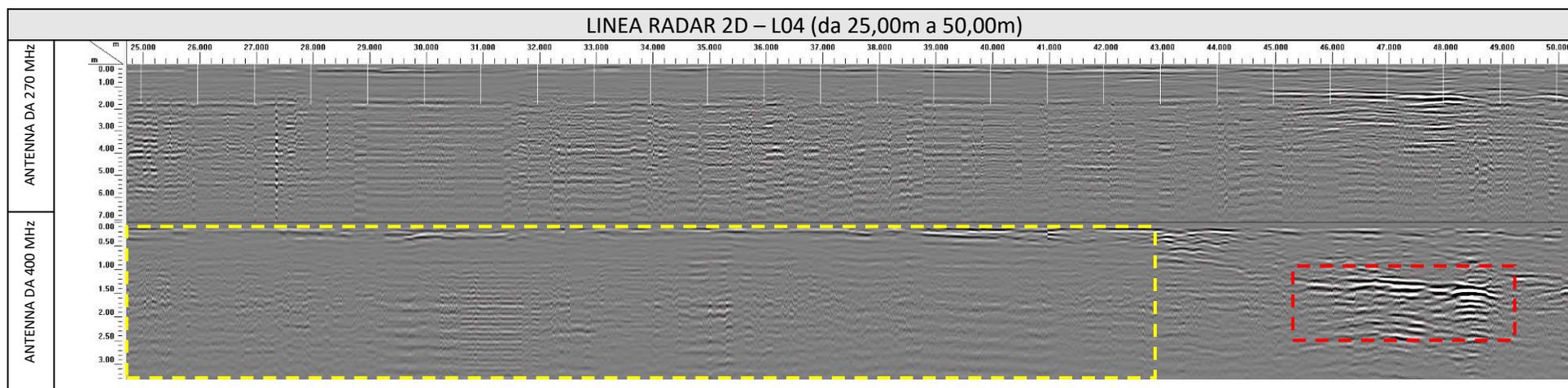
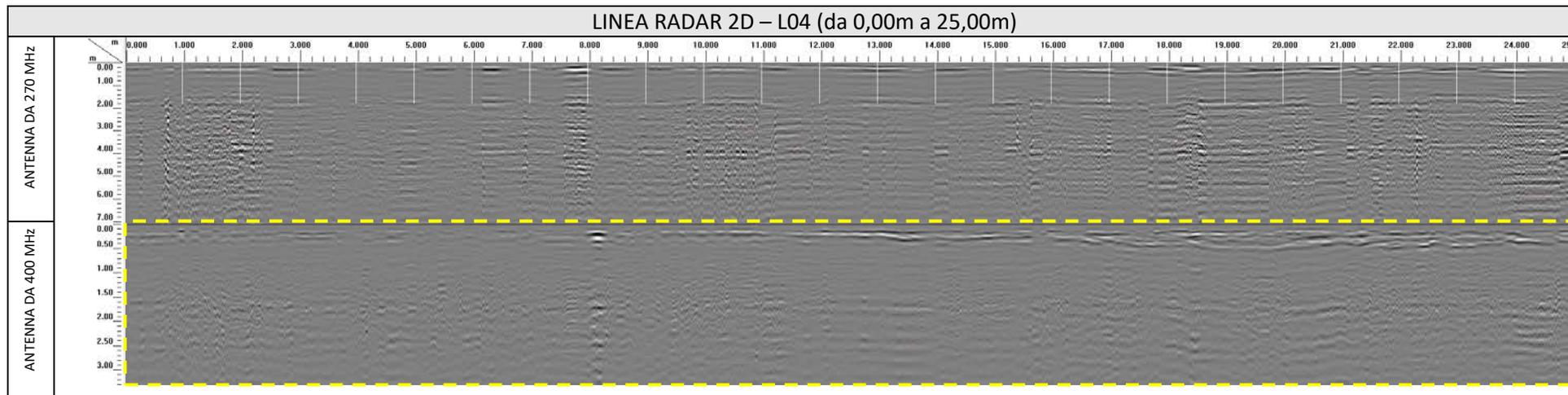
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



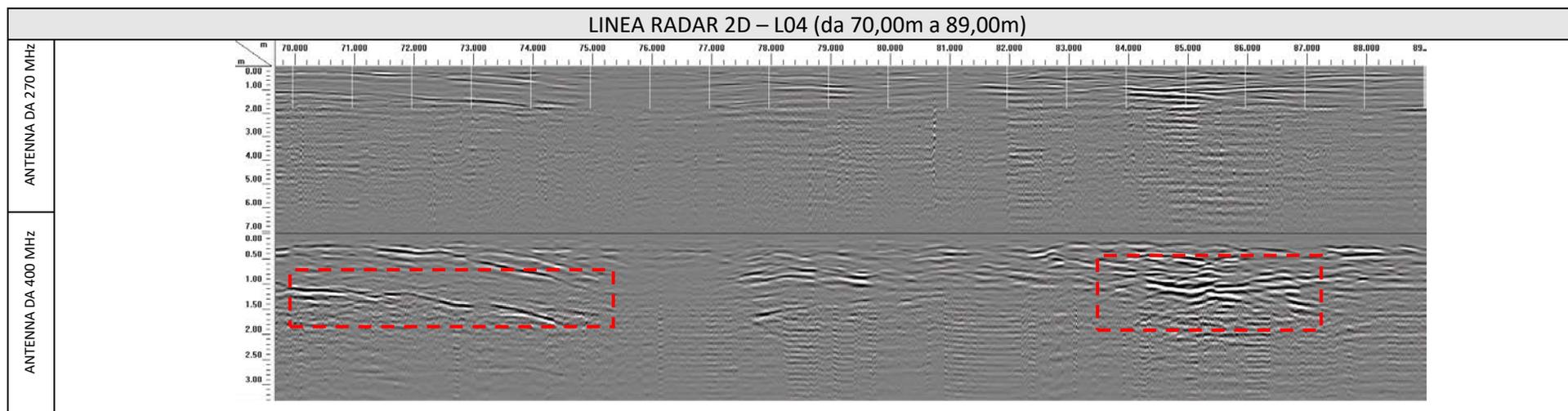
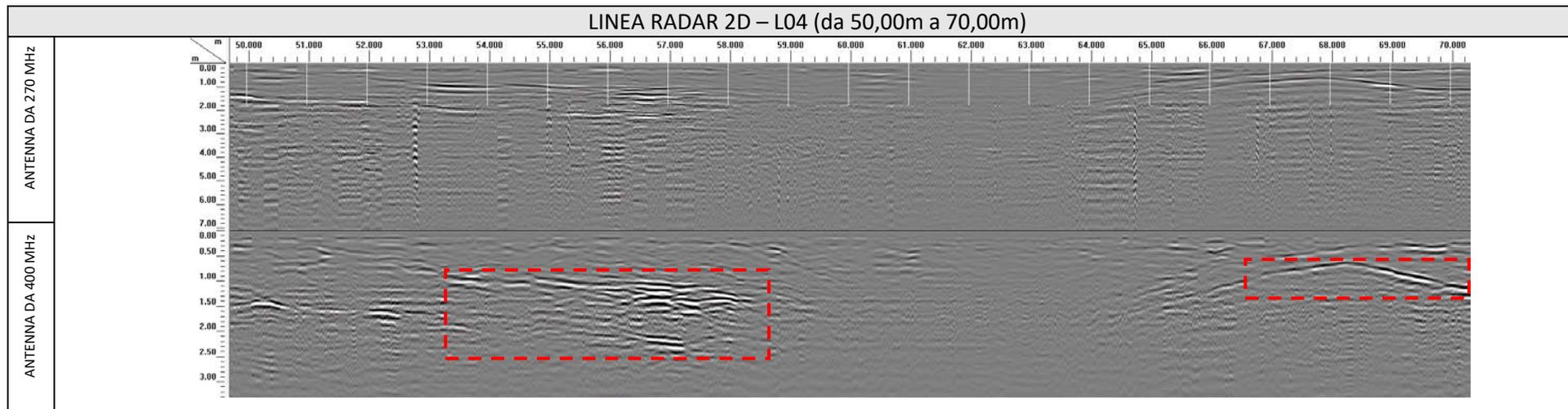
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



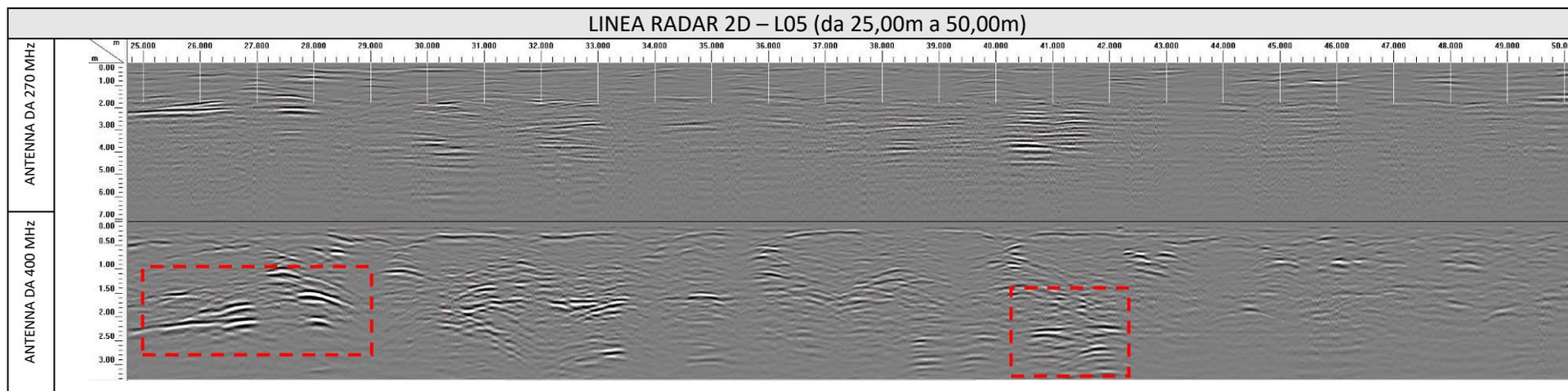
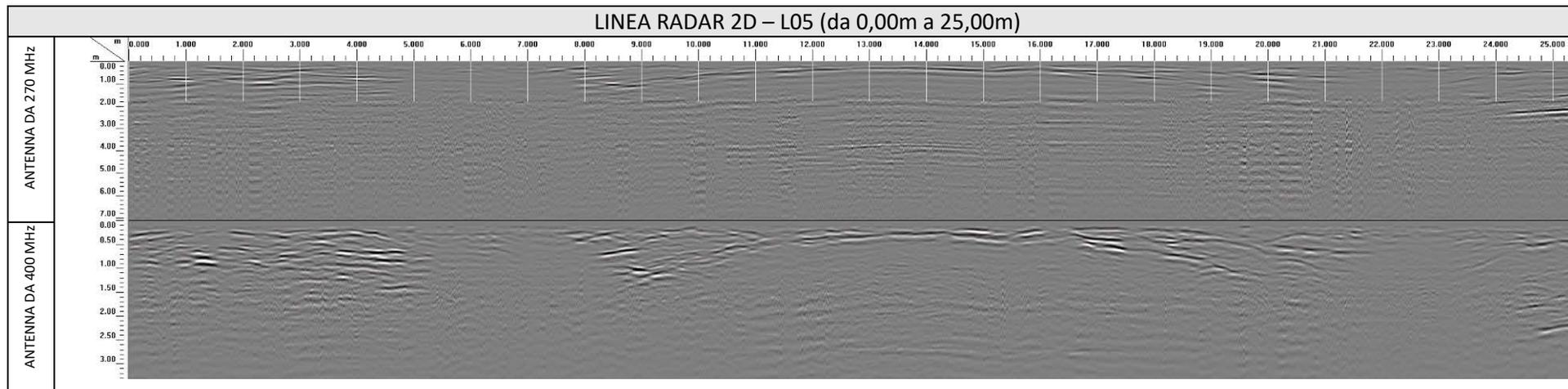
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



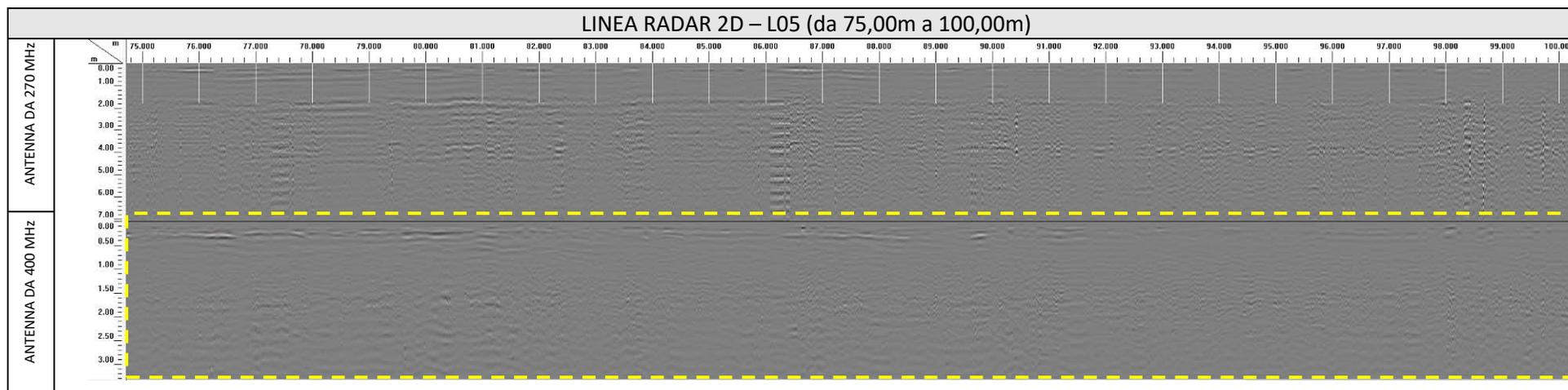
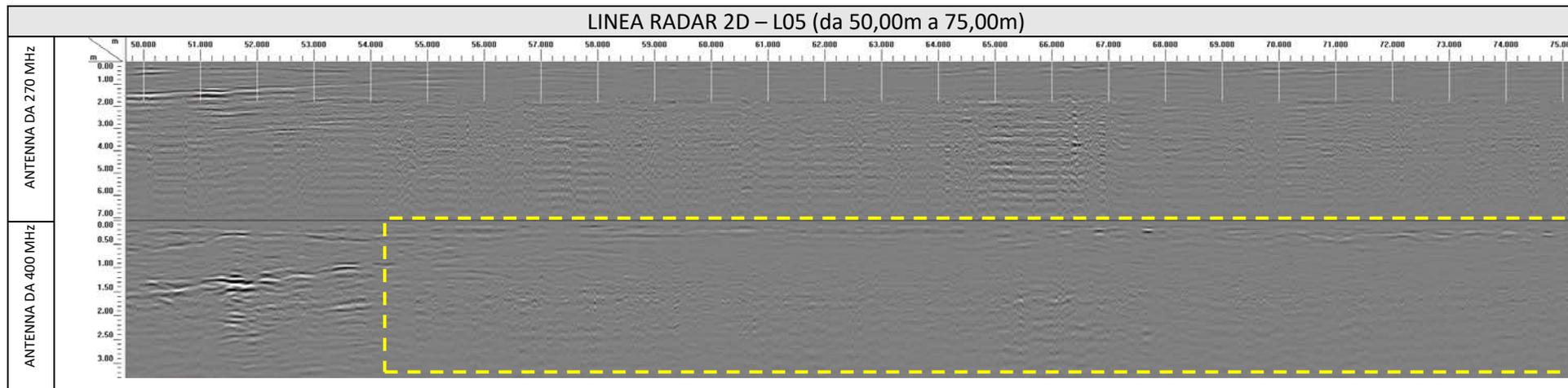
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



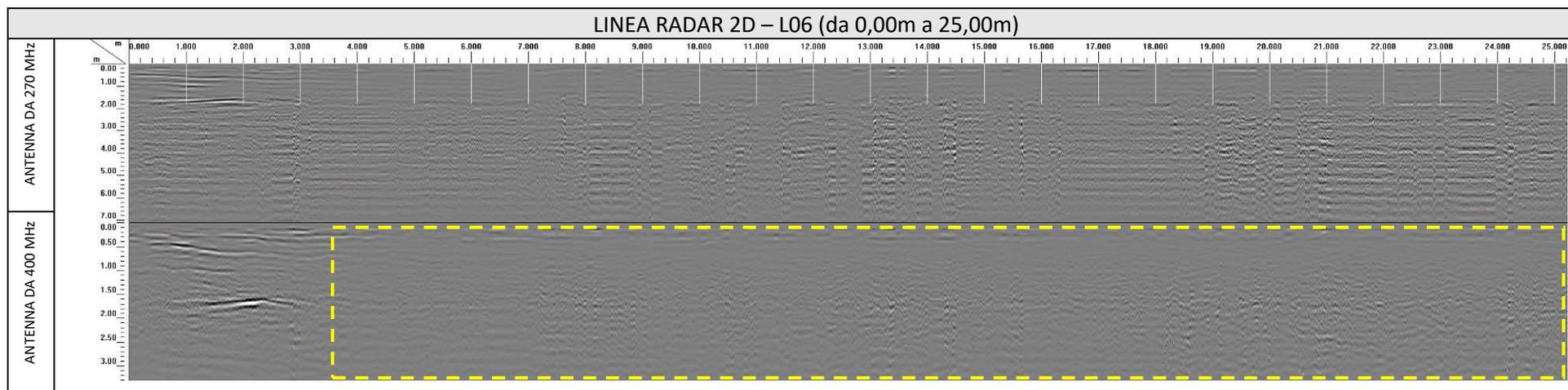
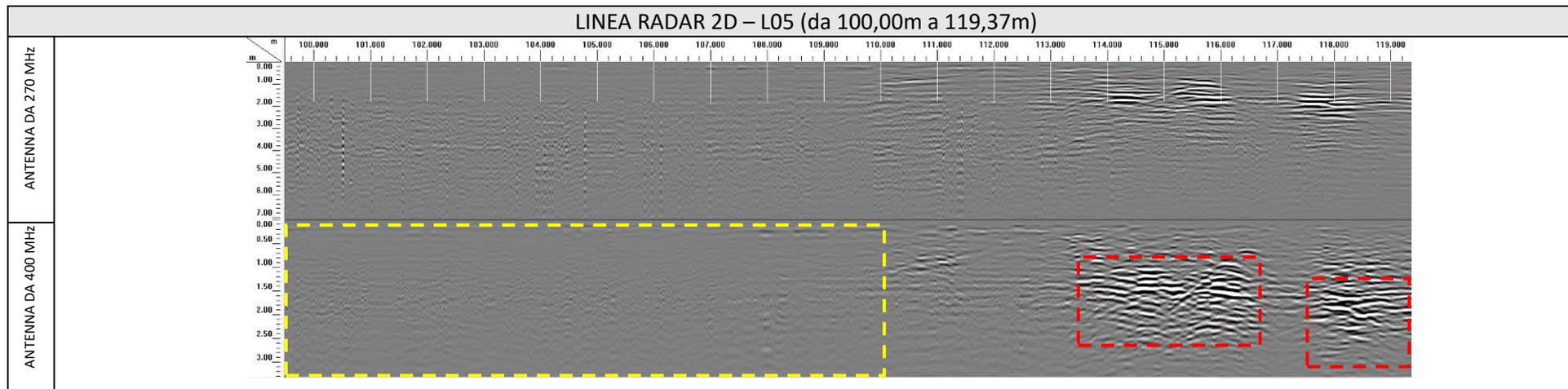
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



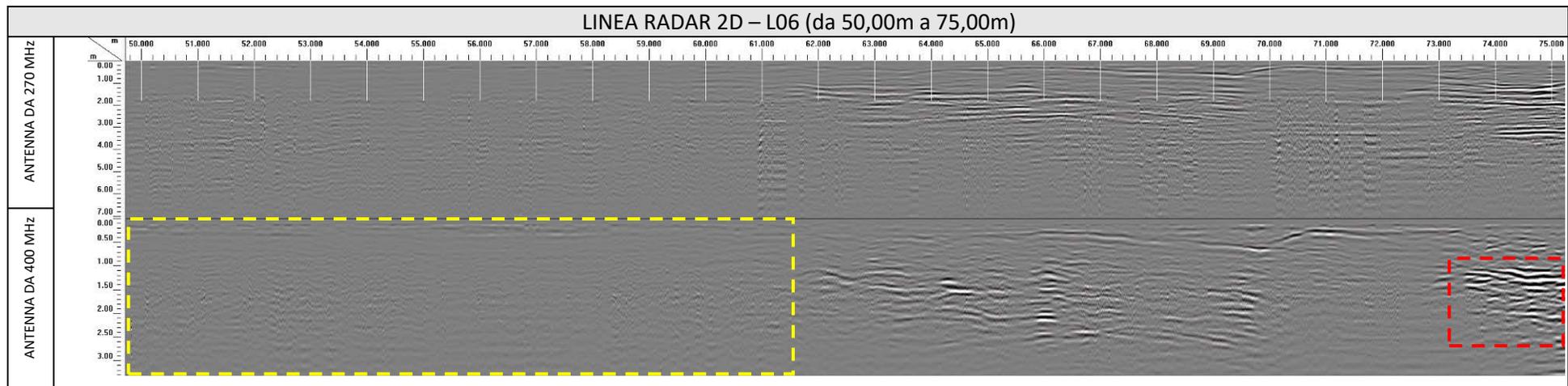
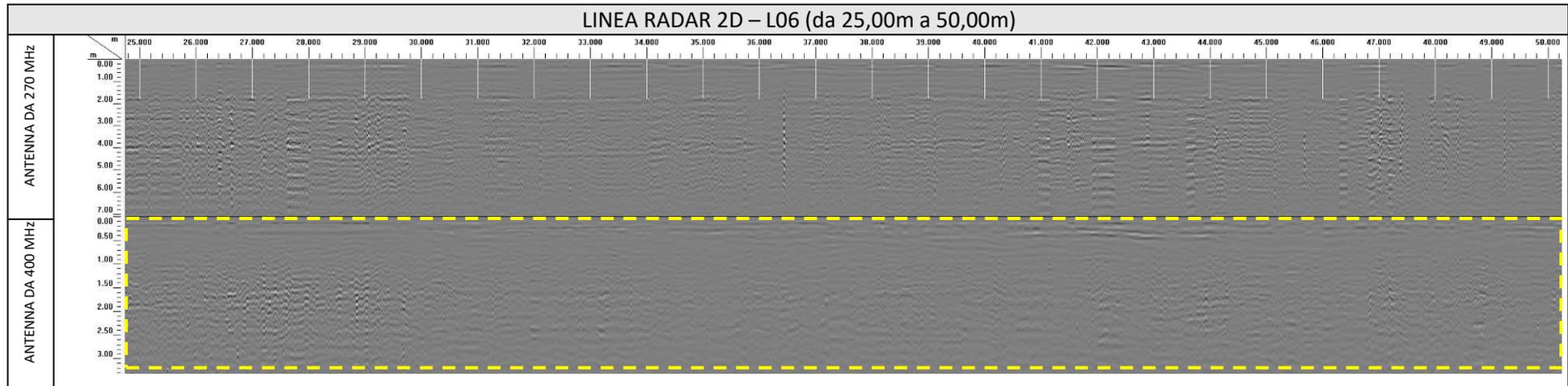
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



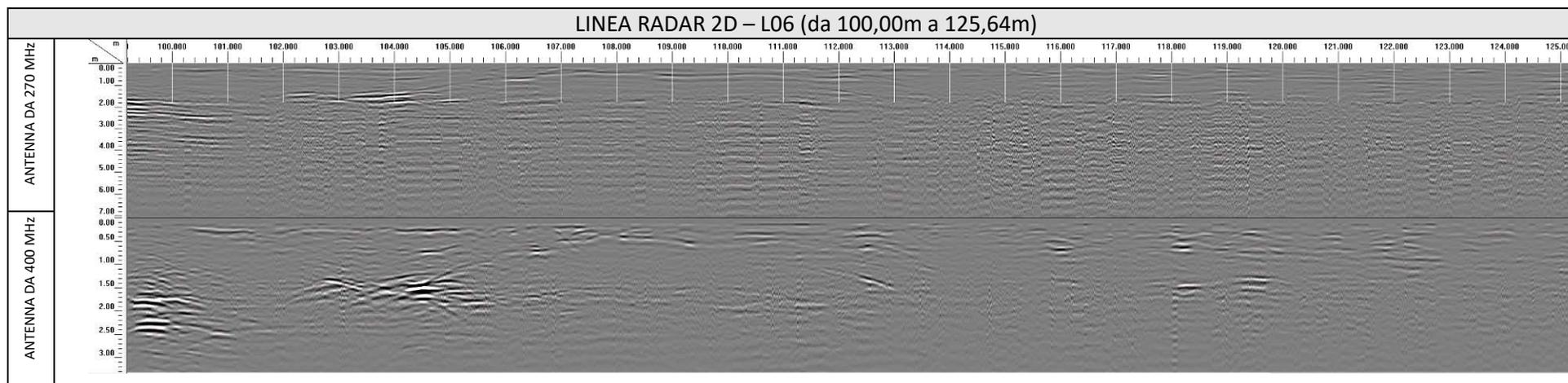
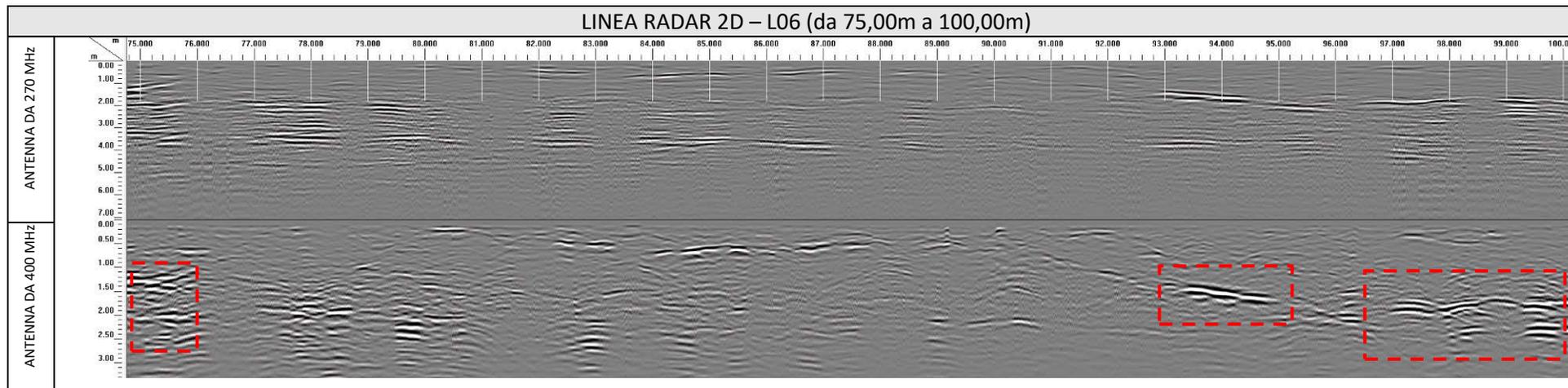
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



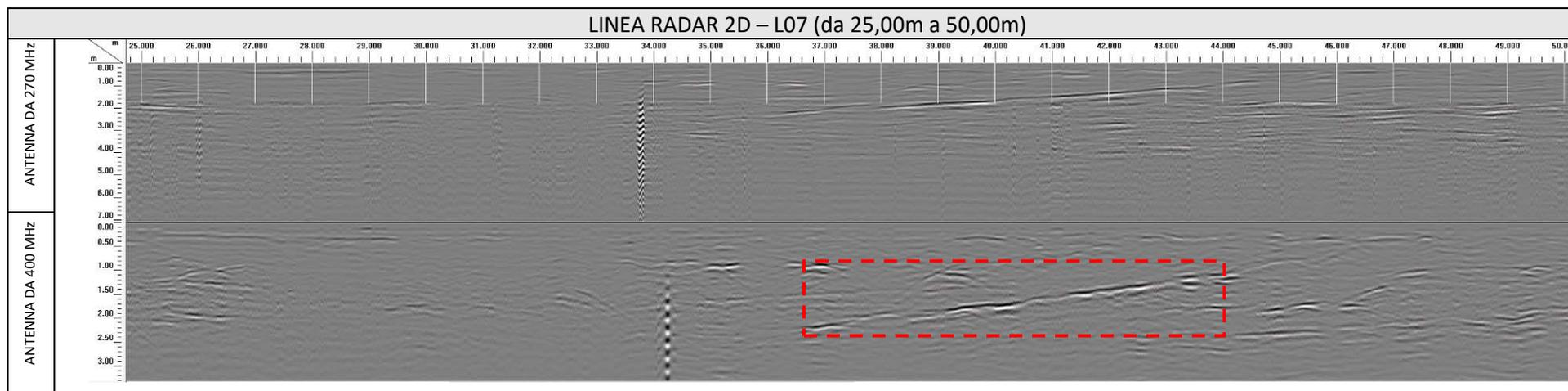
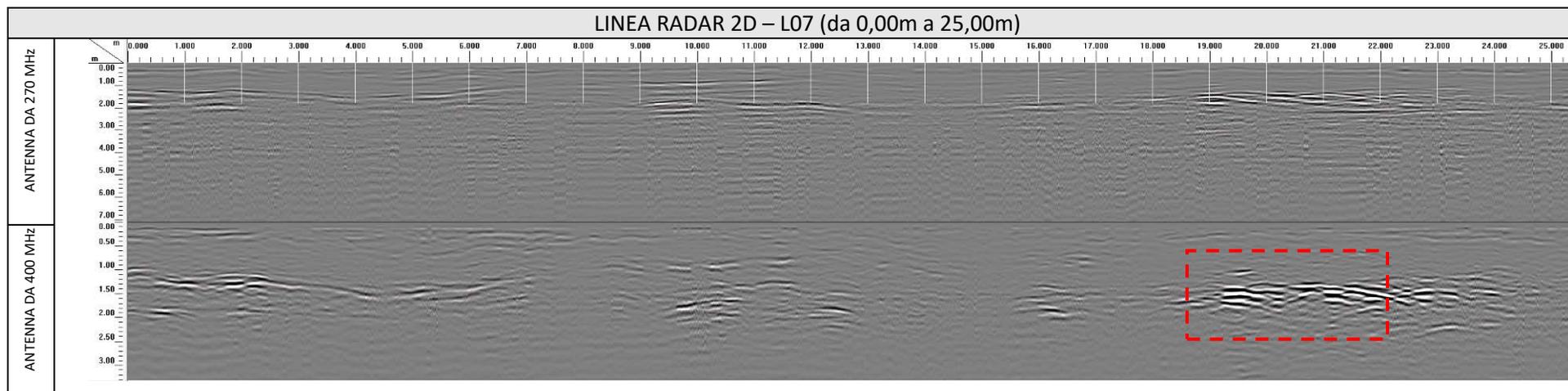
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



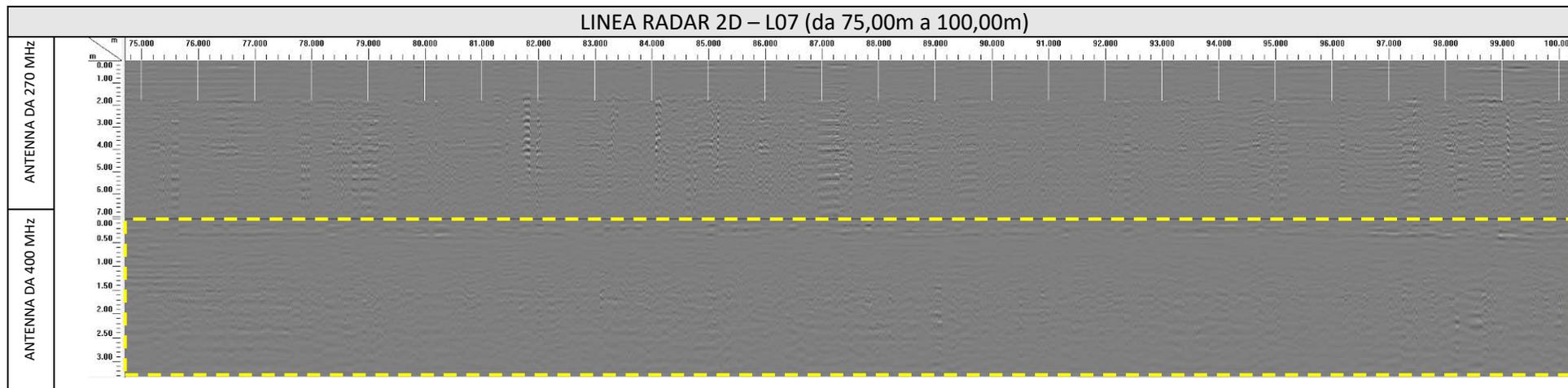
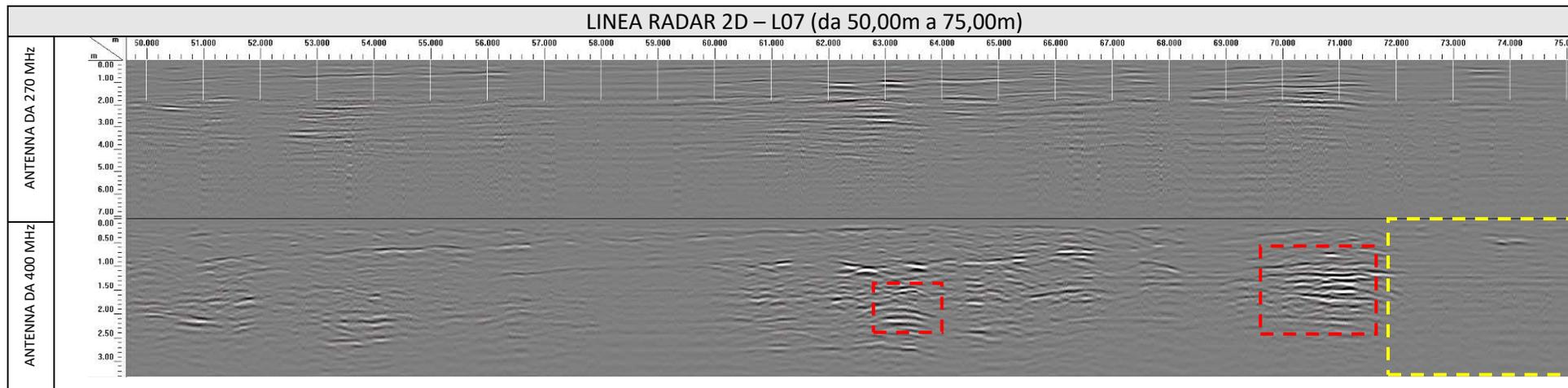
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



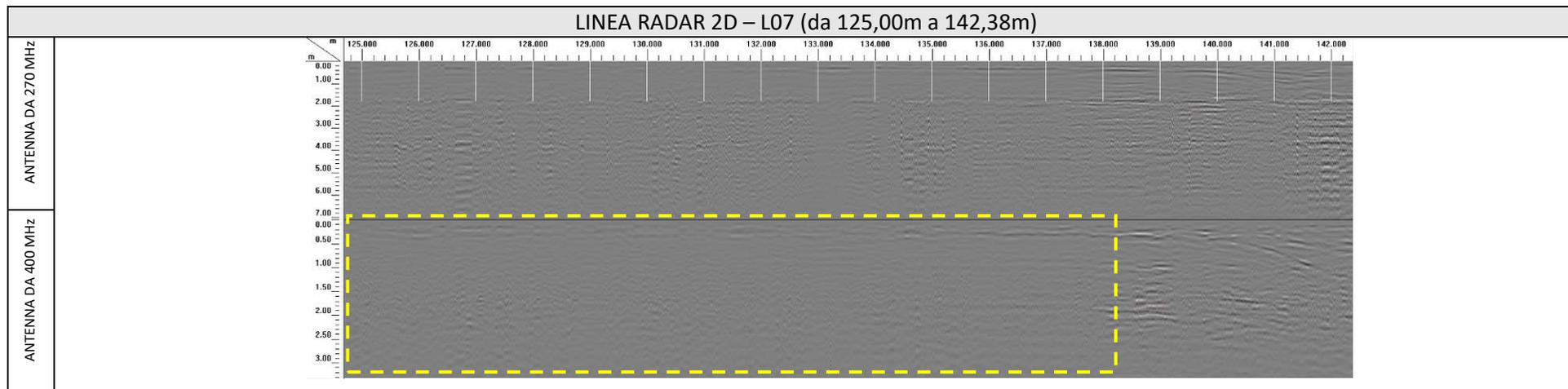
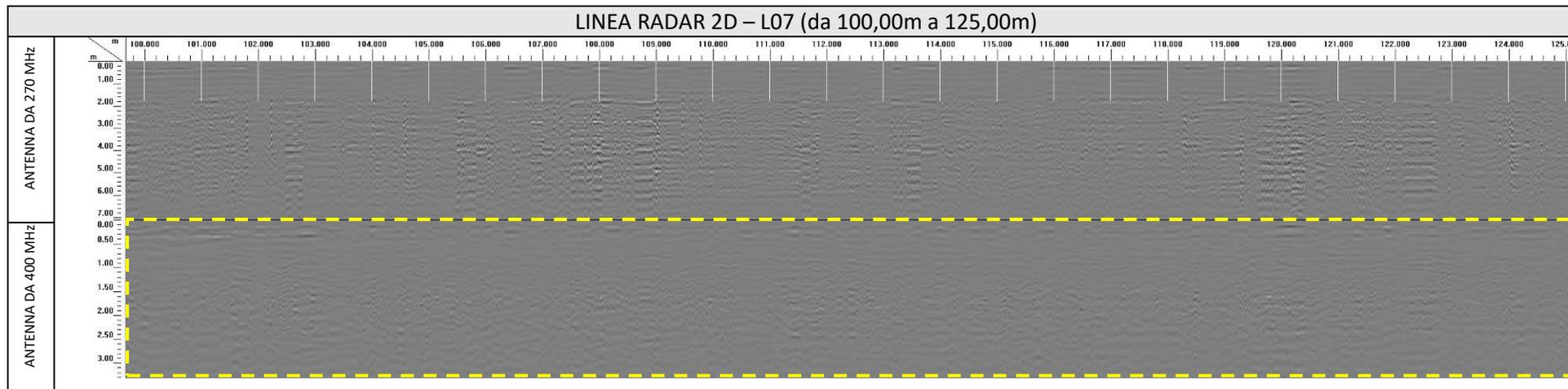
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



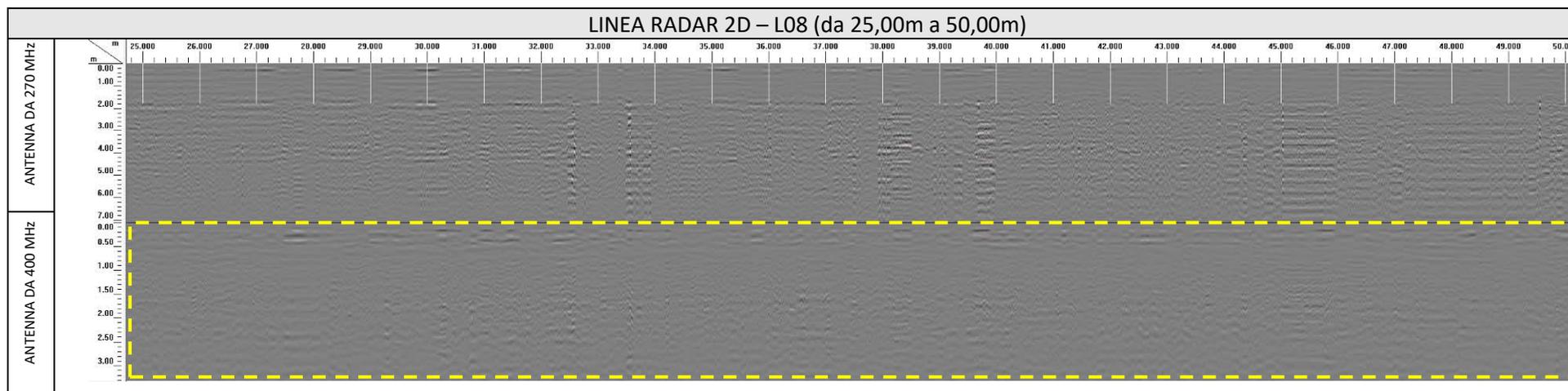
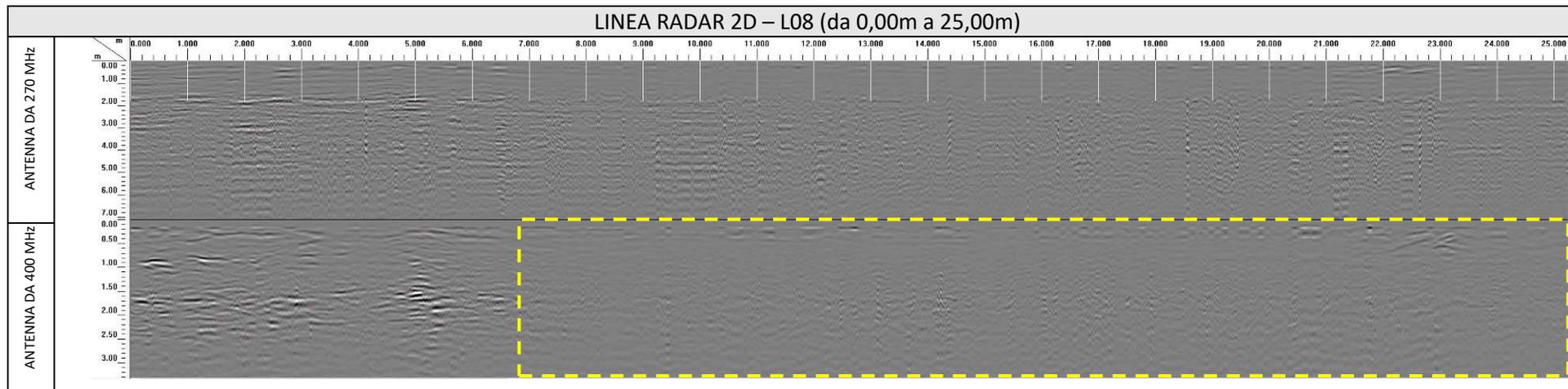
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



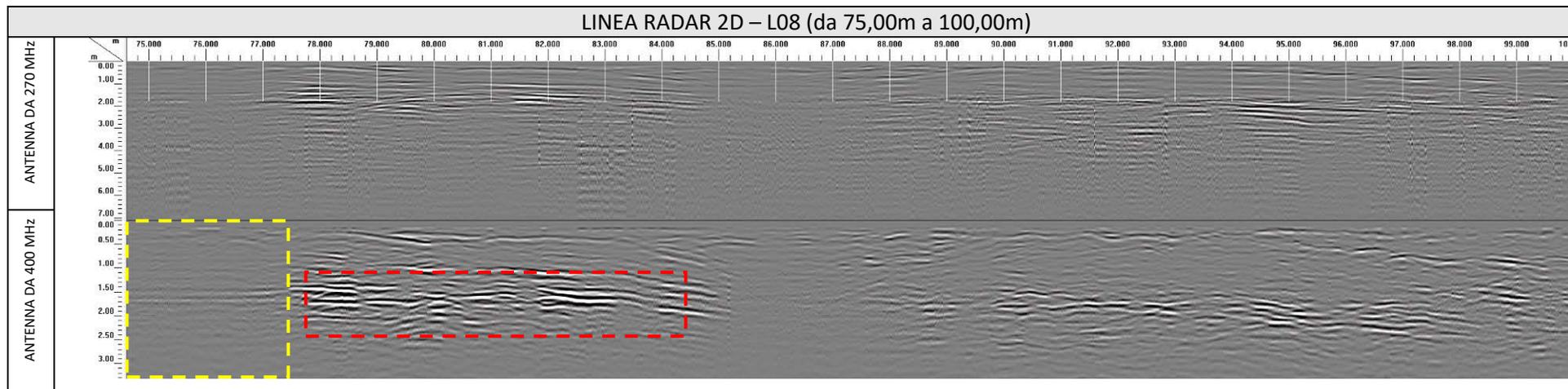
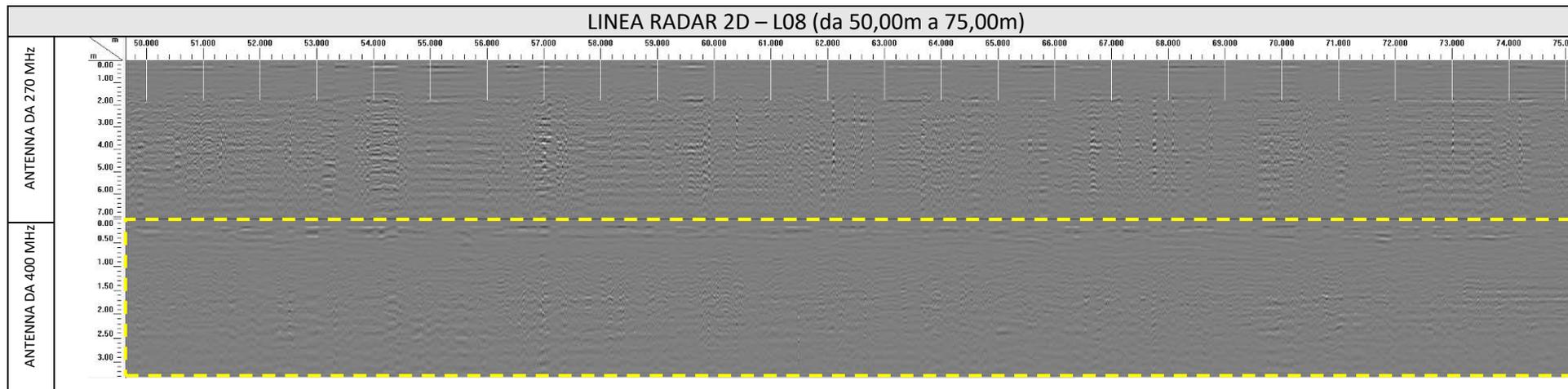
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



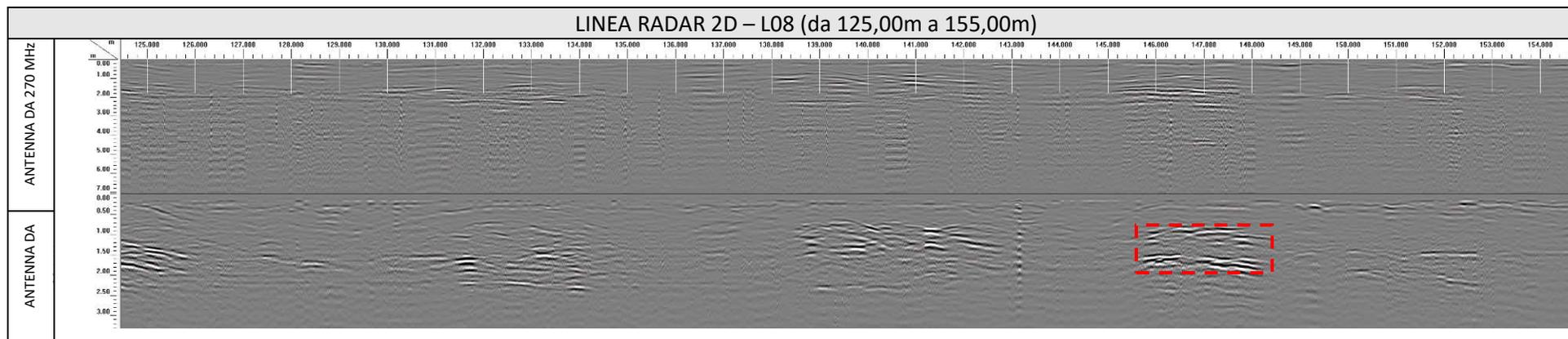
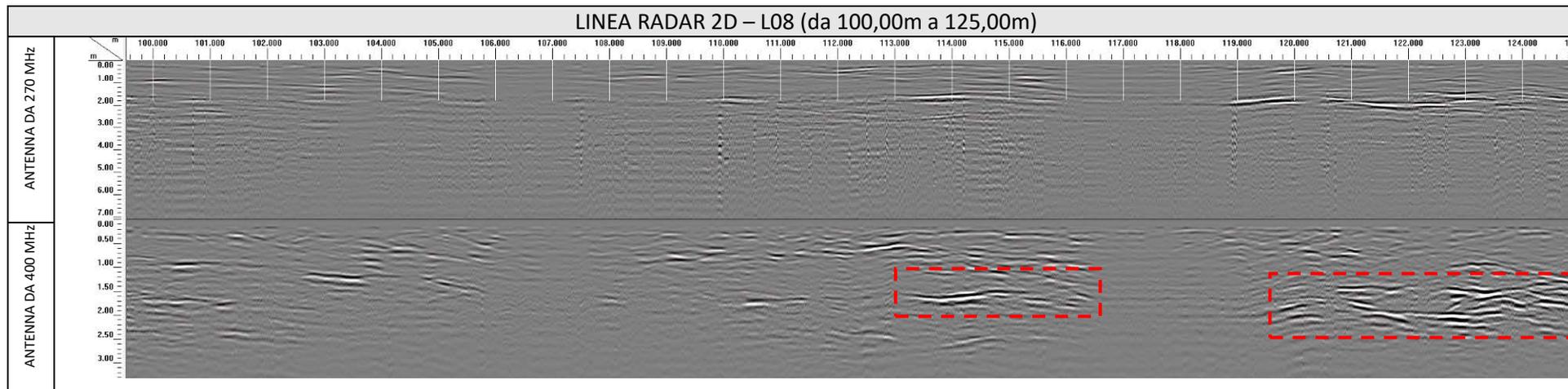
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



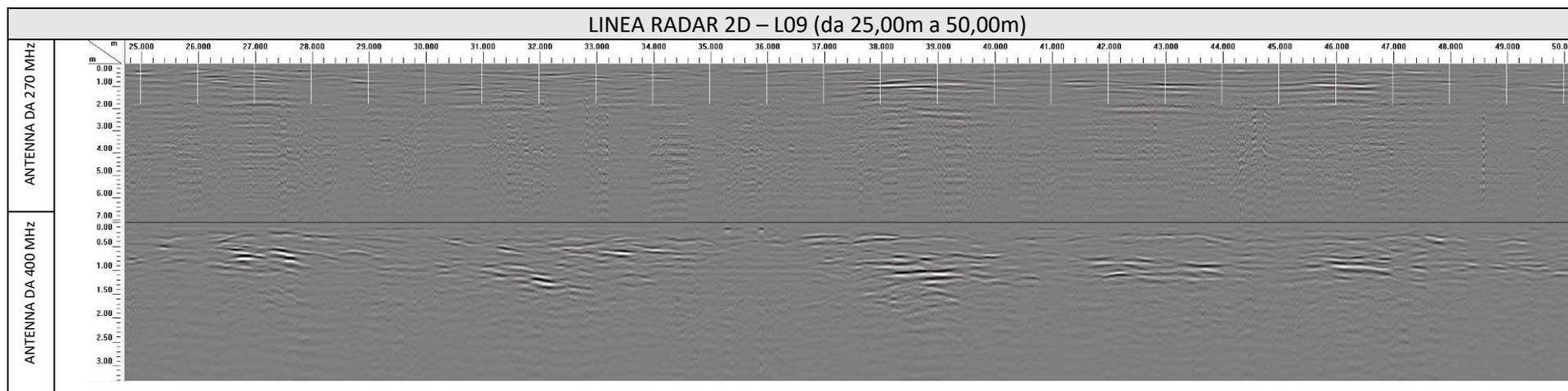
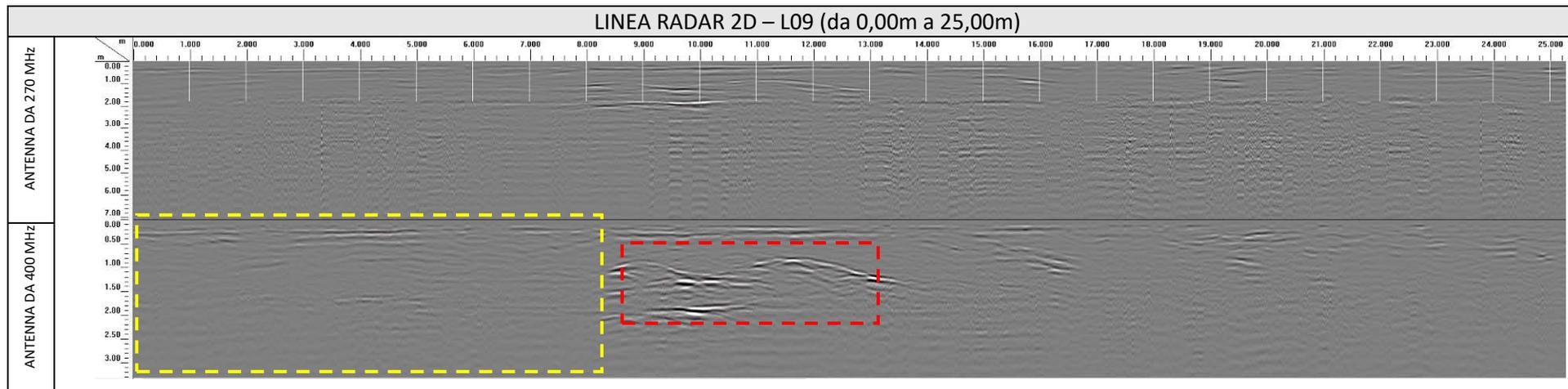
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



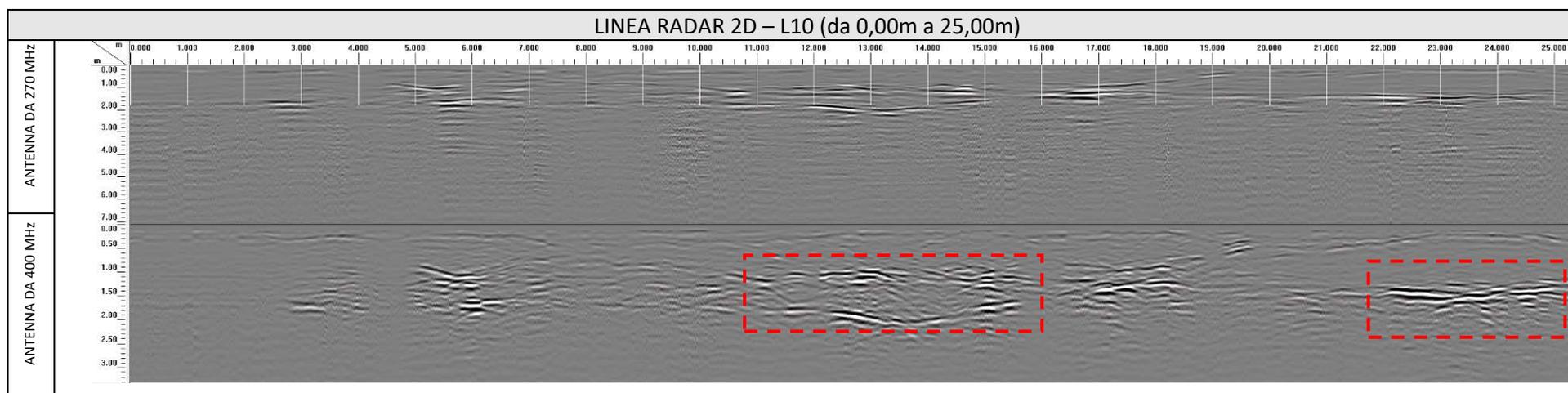
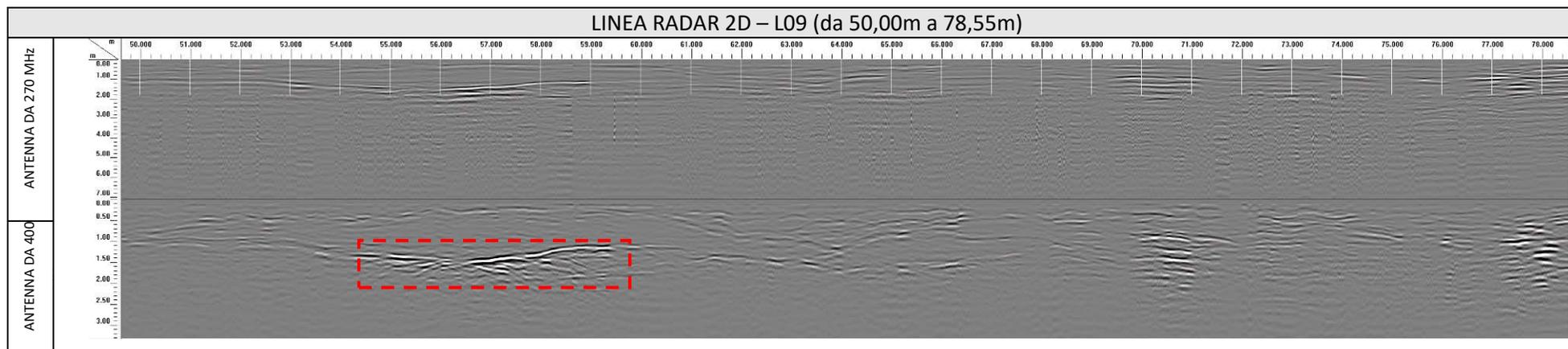
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



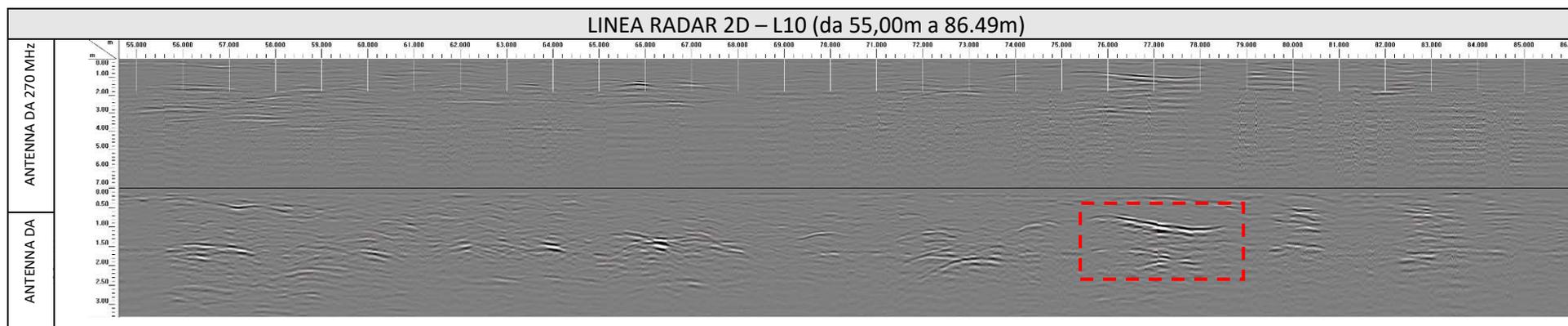
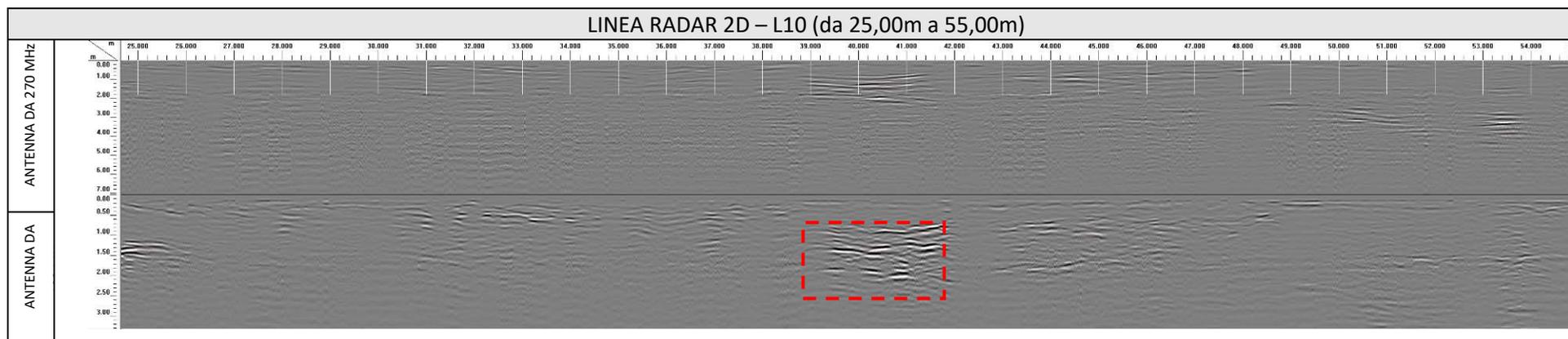
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



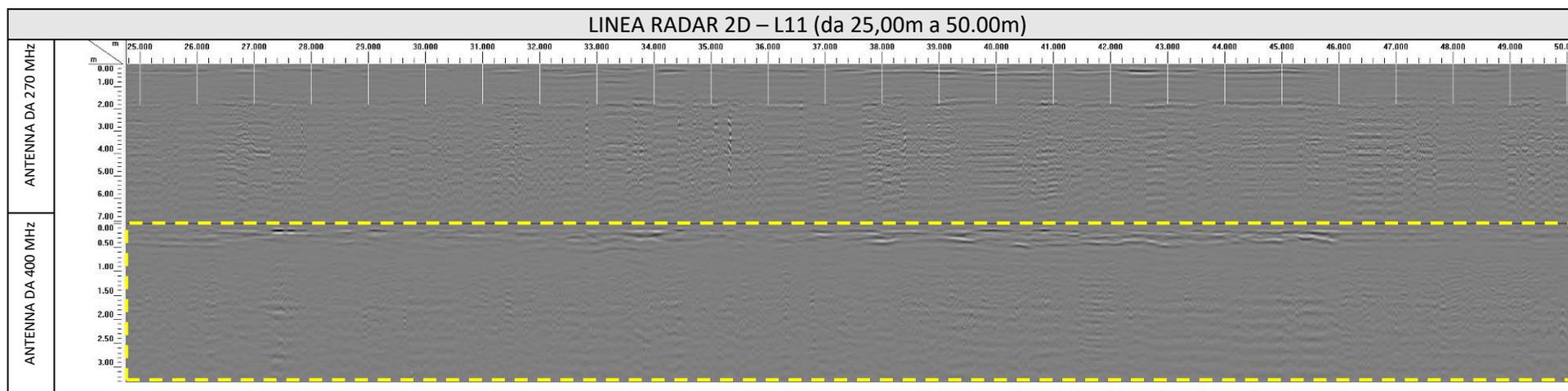
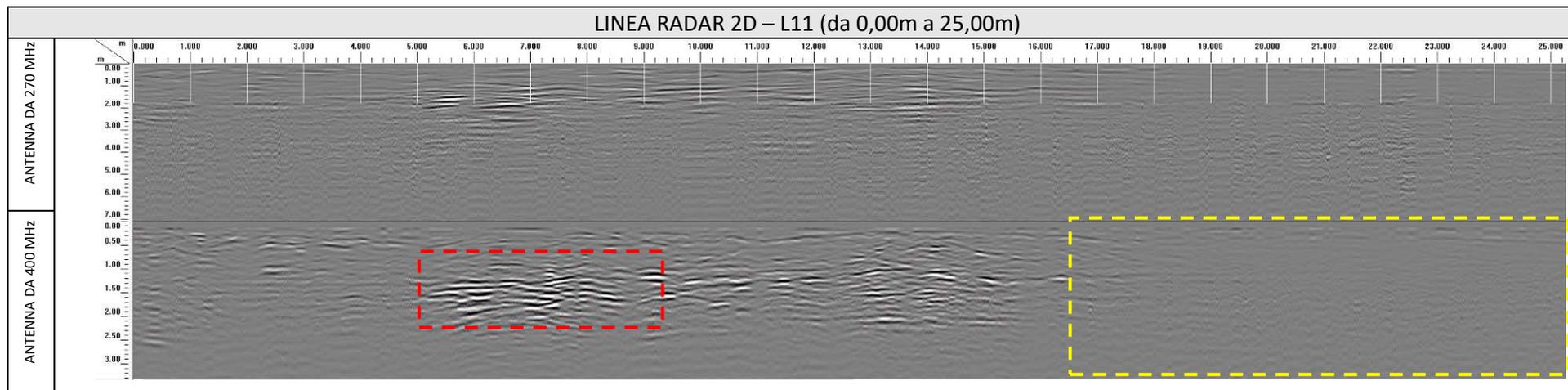
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente da materiale di riporto



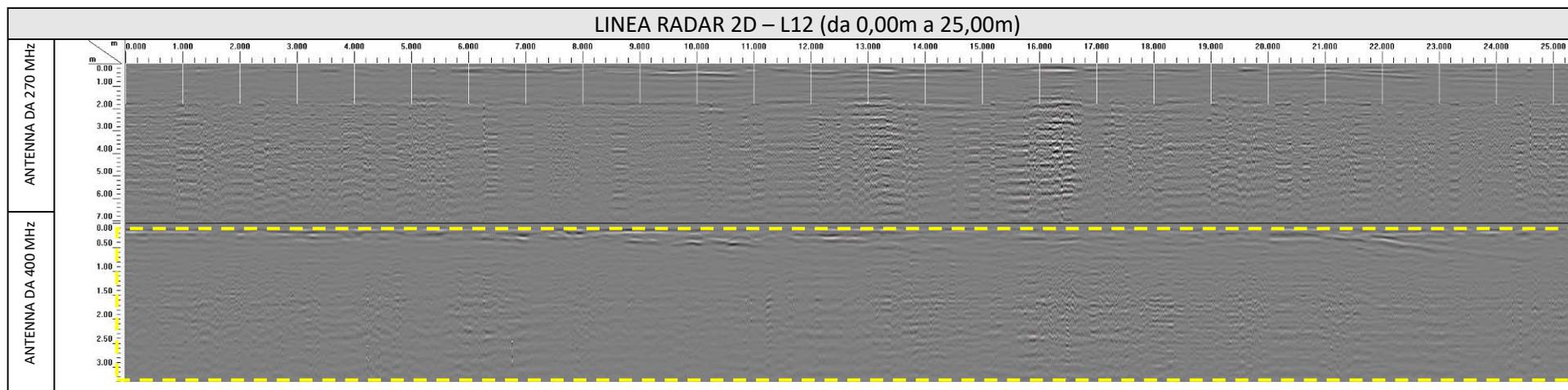
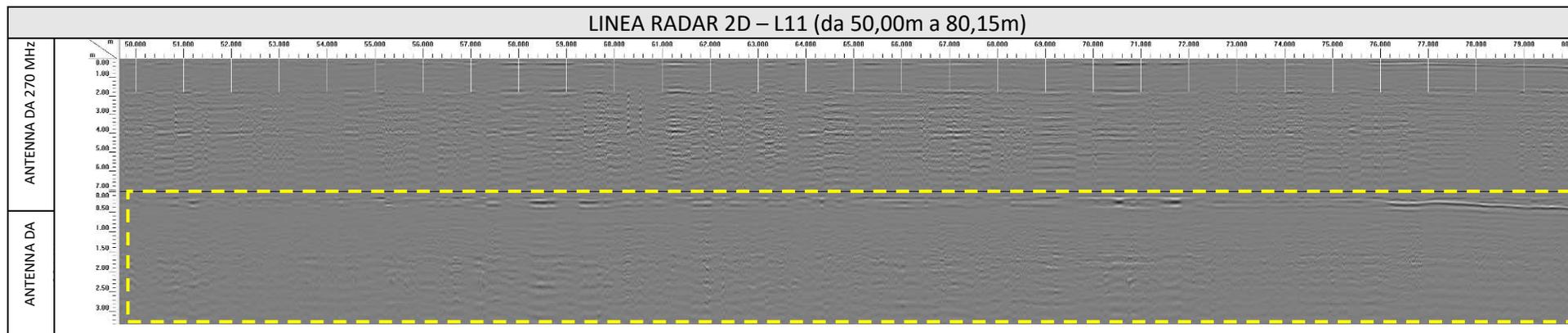
Area caratterizzata dalla presenza di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



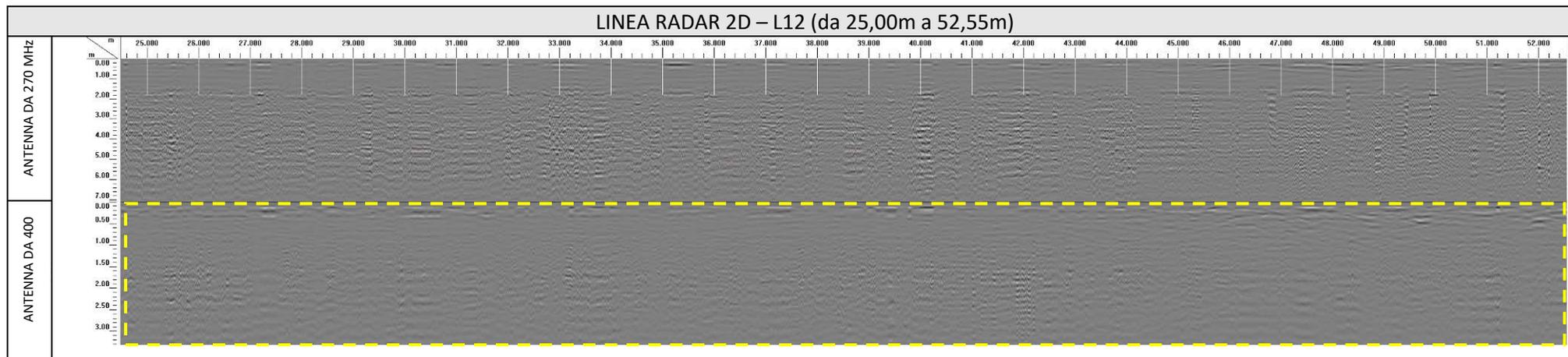
Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B



Azienda certificata



Area caratterizzata probabilmente
da materiale di riporto



Area caratterizzata dalla presenza
di discontinuità in roccia



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B

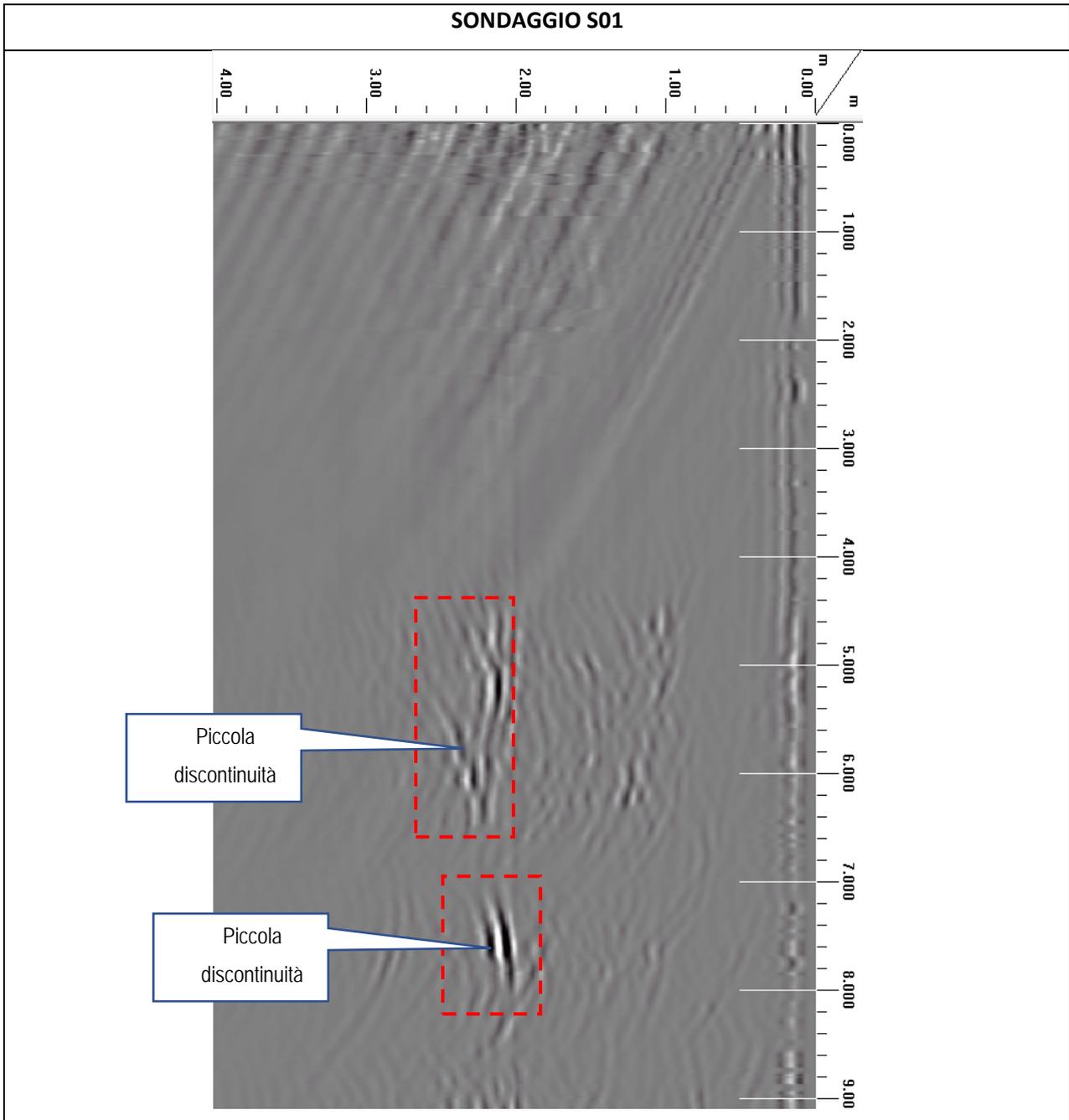


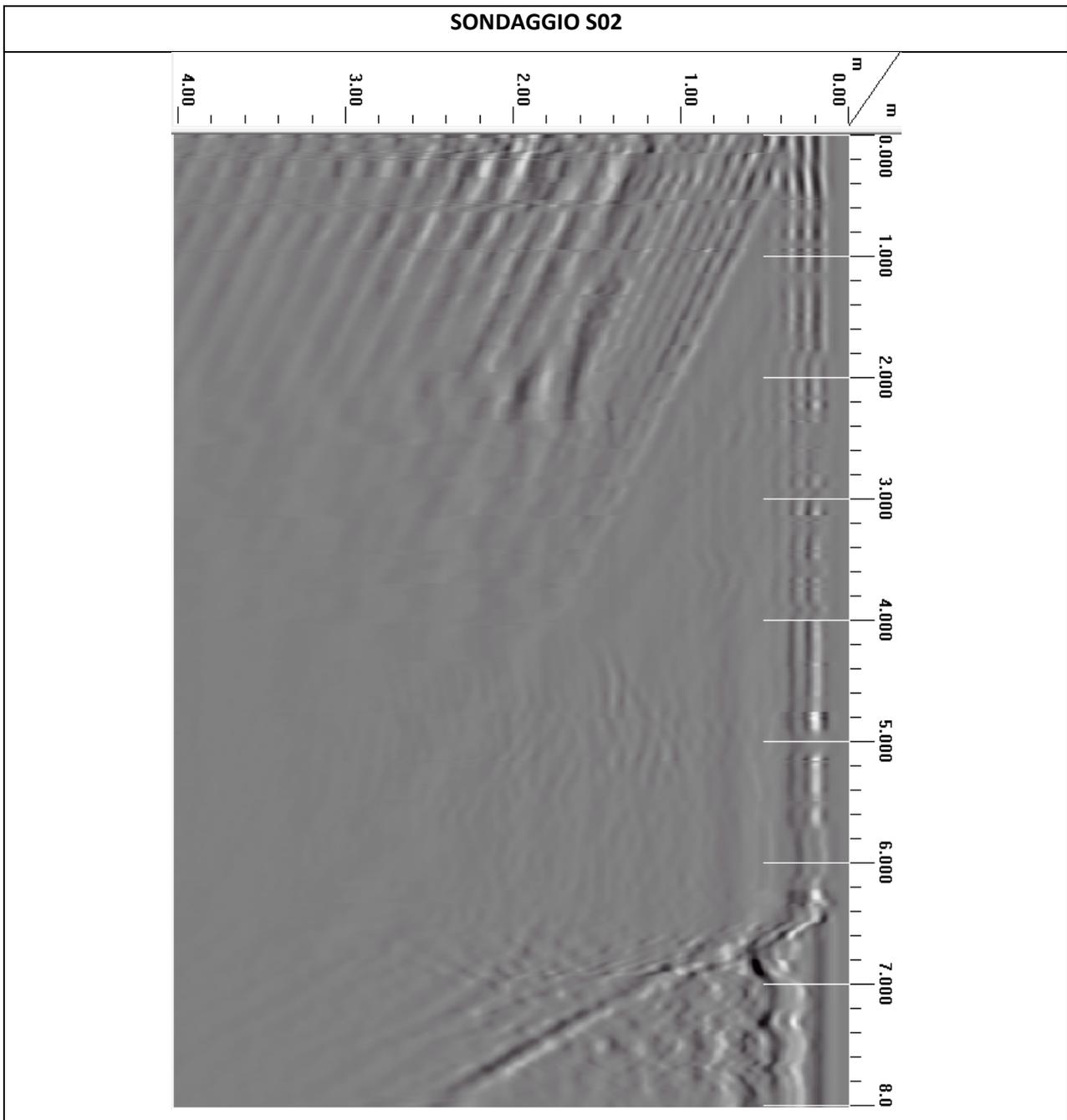
Azienda certificata

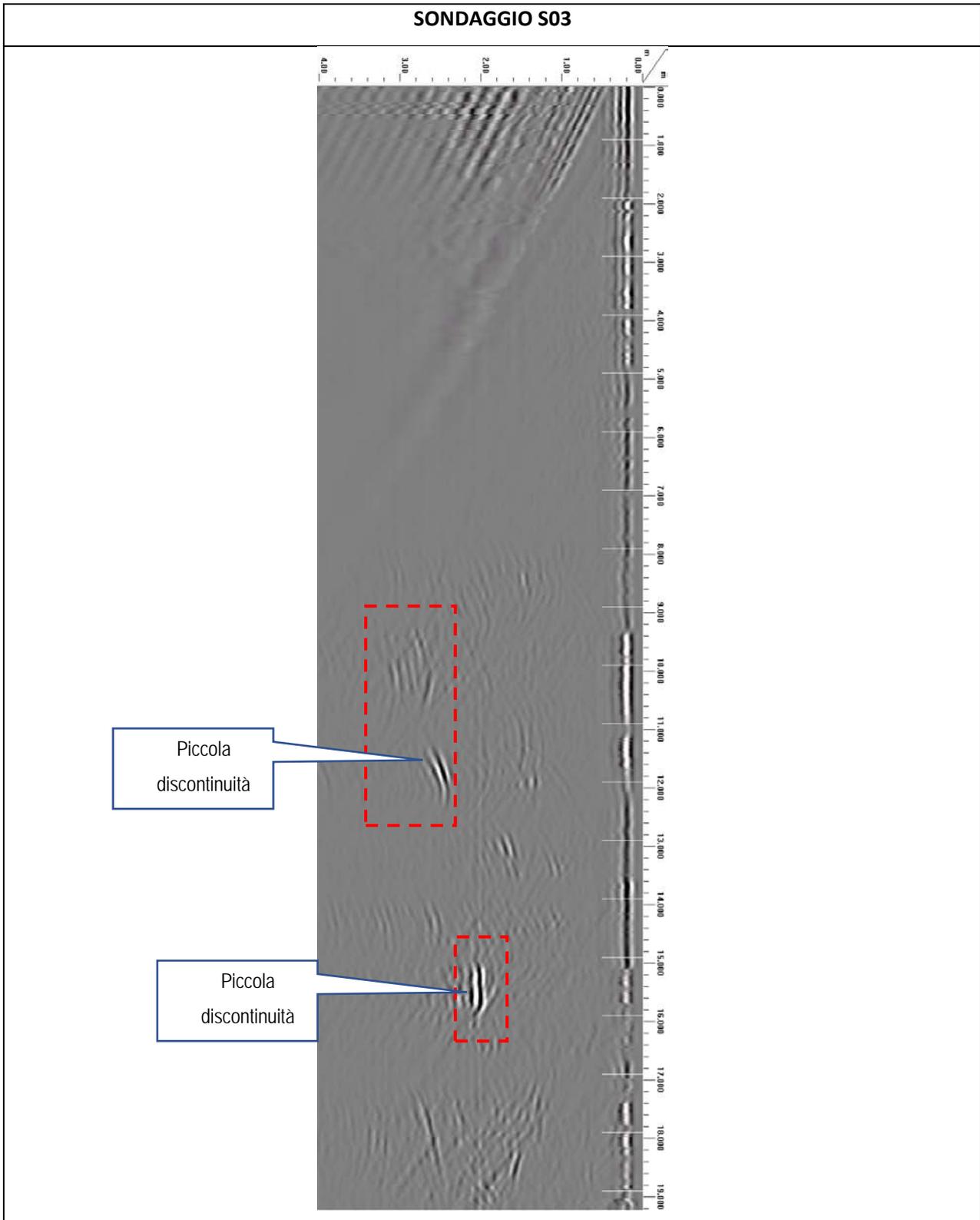


ALLEGATO 04B – INDAGINE GEORADAR IN FORO

- RADARGRAMMI 2D
 - Antenna 500 MHz









Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B



Azienda certificata



ALLEGATO 05 – STRATIGRAFIE

- Stratigrafie sondaggi geognostici eseguiti (Apogeo 2018)



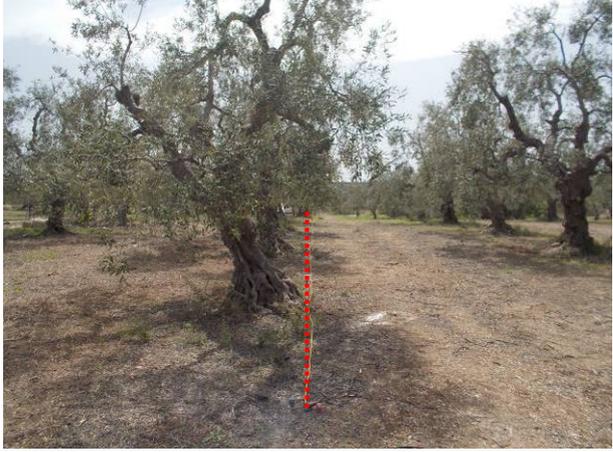
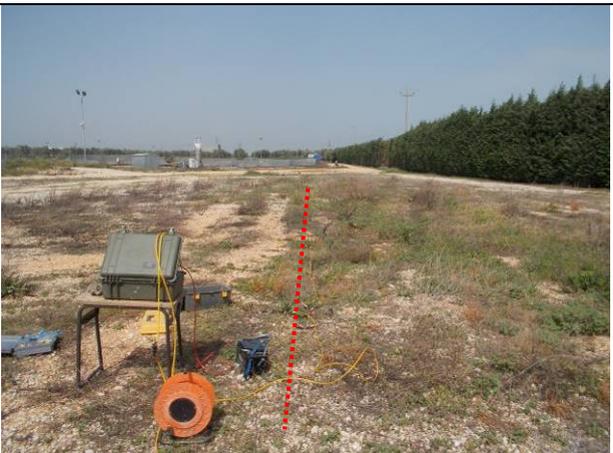
Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. III-B

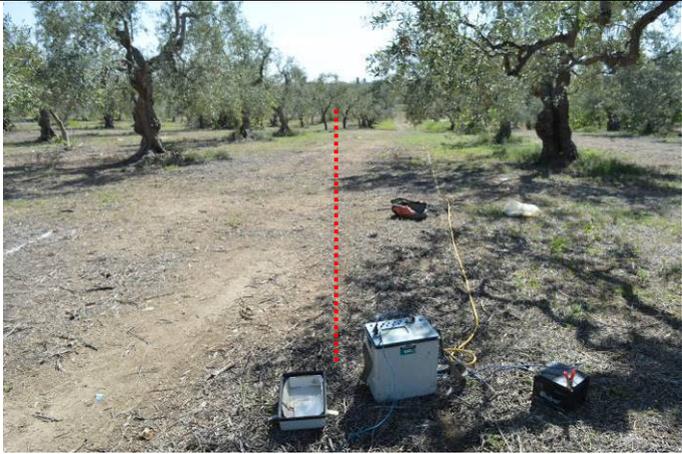


Azienda certificata



ALLEGATO 06 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

INDAGINI SISIMICHE DI SUPERFICIE: BS01 e BS02 in onde P – Re.Mi.01 e Re.Mi02	
Località “Puro Vecchio – Trani (BT)”	
BS01 e MASW.01, con p.to di vista dal geofono G1	BS01 e MASW 01, con p.to di vista dal geofono G24
	
BS01 e MASW 01, particolare della strumentazione	BS02 e MASW.02, con p.to di vista dal geofono G1
	
BS02 e MASW.02, con p.to di vista dal geofono G24	BS02 e MASW 02, particolare della strumentazione
	

INDAGINE GEOELETTRICA DI SUPERFICIE: ERT01	
Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"	
ERT01_elettrodo n.1	ERT01_elettrodo n.24
	

INDAGINE GEOELETTRICA DI SUPERFICIE: ERT02	
Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"	
ERT02_elettrodo n.1	ERT02_elettrodo n.24
	

SONDAGGIO GEOGNOSTICO S01

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"

S01 – UBICAZIONE



SONDAGGIO GEOGNOSTICO S02

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"

S02 – UBICAZIONE



SONDAGGIO GEOGNOSTICO S03

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"

S03 – UBICAZIONE



GEORADAR IN FORO

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"

GPR S01



GPR S02



GPR S03



INDAGINE GEORADAR DI SUPERFCIE

Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"



PROVE DI PERMEABILITÀ	
Località "Puro Vecchio – Trani (BT)"	
SCAVO 1	SCAVO 2
	
SONDAGGIO S02	SONDAGGIO S03
	