

**ARCIDIOCESI DI POTENZA
MURO LUCANO - MARSICO NUOVO**



***Indagine geofisica a mezzo GPR su alcune pavimentazioni
della chiesa della SS Trinità a Potenza***

Agosto 2016

Geol. Dr. Domenico Marchese

Sommario

SCOPO DELL'INDAGINE	2
BREVI CENNI SULLA METODOLOGIA GPR	2
DESCRIZIONE GENERALE DEL VOLUME SOTTOSTANTE LA PAVIMENTAZIONE IN FUNZIONE DEI RADARGRAMMI OTTENUTI	3
Sezioni di scansione: Pavimentazione navata principale (600MHz).....	5
Sezioni di scansione: Altare e Abside (600 MHz).....	10
Sequenza scansioni TR	10
Sequenza scansioni LT	11
CONSIDERAZIONI FINALI.....	13

Allegato A

Allegato B

SCOPO DELL'INDAGINE

L'indagine a mezzo georadar è stata commissionata per individuare possibili strutture di collegamento trasversale all'asse maggiore della Chiesa della S.S. Trinità. Programmati inizialmente alcune linee di scansioni anche all'interno delle cappelle votive, si è preferito spostare il campo di indagine sul volume sottostante la pavimentazione della Chiesa. A tal uopo sono state realizzate un numero di 22 scansioni concordi con la direzione dell'asse maggiore della Chiesa.

Tanto perché le scansioni della pavimentazione all'interno delle cappelle votive, dato il loro esiguo sviluppo in lunghezza, non hanno fornito una chiara visione del mezzo sottostante. Successivamente è stata disegnata una griglia di scansione anche sulla zona dell'altare.

L'equidistanza tra ciascuna linea di scansione è di circa 0.35m. Questo è un valore medio assunto anche in funzione delle superfici da investigare e che tiene in considerazione la copertura del mezzo sottostante oggetto di indagine (il cono di irraggiamento dell'onda elettromagnetica ha, teoricamente, una forma tronco-conica di dimensione variabile anche in funzione della costante dielettrica del mezzo sottostante attraversato).

BREVI CENNI SULLA METODOLOGIA GPR

Il GPR (Ground Penetrating Radar) o Georadar è uno strumento elettromagnetico ecografico di prospezione geofisica utilizzato per numerose applicazioni: in geologia, nell'ingegneria civile (per valutare lo stato di conservazione di edifici, pavimentazioni stradali, localizzare armature metalliche, individuare impianti sotterranei), in campo ambientale (rilievi idrogeologici, mappatura di aree contaminate), nella ricerca archeologica, per applicazioni legate alla security e alle indagini forensi.

La fase di acquisizione dei dati è completamente non distruttiva: le antenne, infatti, vengono trascinate sull'area da indagare e il mezzo indagato non subisce alcuna alterazione.

Il sistema è costituito da: antenna, control unit, trigger odometrico e computer. L'antenna, composta da un trasmettitore (TX) e da un ricevitore (RX), irradia nel terreno onde elettromagnetiche generate dalla control unit dietro sollecitazione del trigger odometrico collegato ad una ruota; le onde si propagano, così, nel mezzo investigato (Fig.

1). Le variazioni delle proprietà dielettriche originano la riflessione di parte del segnale registrato in superficie dal ricevitore (Fig. 2)

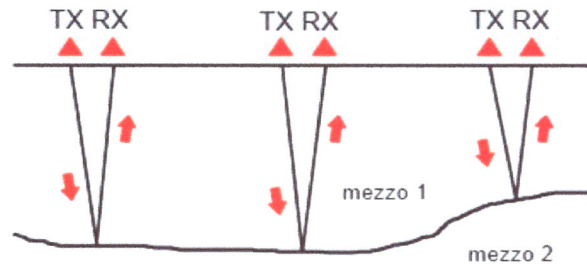
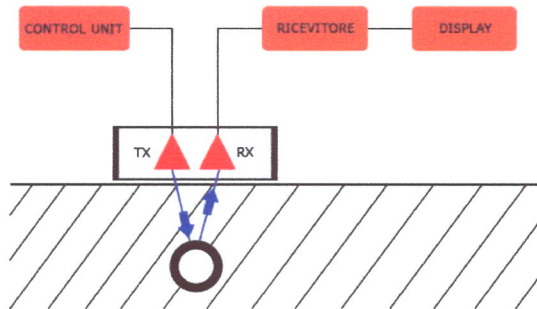


Fig. 1: schema sintetico di un sistema GPR Fig. 2: sintesi del principio di funzionamento di un GPR

DESCRIZIONE GENERALE DEL VOLUME SOTTOSTANTE LA PAVIMENTAZIONE IN FUNZIONE DEI RADARGRAMMI OTTENUTI

In tutti i radargrammi elaborati e riportati in questo report tecnico si nota che il mezzo sottostante la pavimentazione è generalmente conduttivo e, dunque, con una resa non eccezionale per quanto concerne la propagazione delle onde elettromagnetiche. In tali casi, infatti, parte dell'energia trasmessa dall'antenna in superficie è assorbita dal mezzo, riducendo la risoluzione e la capacità rivelatrice di oggetti e/o strutture presenti nello stesso mezzo attraversato.

In altre parole, si riduce la quantità di onde elettromagnetiche che possono essere riflesse in superficie da eventuali ostacoli. La presenza di ampie superfici di umidità ben visibili sulla pavimentazione testimonia le caratteristiche umide e conduttive del mezzo ad essa sottostante.

Nel caso dei radargrammi rilevati nella chiesa della S.S. Trinità la base di terreno con carattere indisturbato non è di facile determinazione poiché a causa delle caratteristiche del terreno menzionate prima, il segnale in profondità, oltre a decadere naturalmente secondo una legge fisica, è attenuato dall'umidità che ne favorisce il deterioramento. Innalzare il guadagno del segnale significa innalzare il livello di rumore senza peraltro ottenere un aumento della risoluzione. Per questo motivo la strategia di elaborazione dati ha preferito la risoluzione all'esasperazione del guadagno di segnale prendendo in considerazione una profondità di elaborazione considerata "utile" oltre la quale ogni

guadagno di segnale avrebbe prodotto solo un eccessivo rumore a scapito della risoluzione.

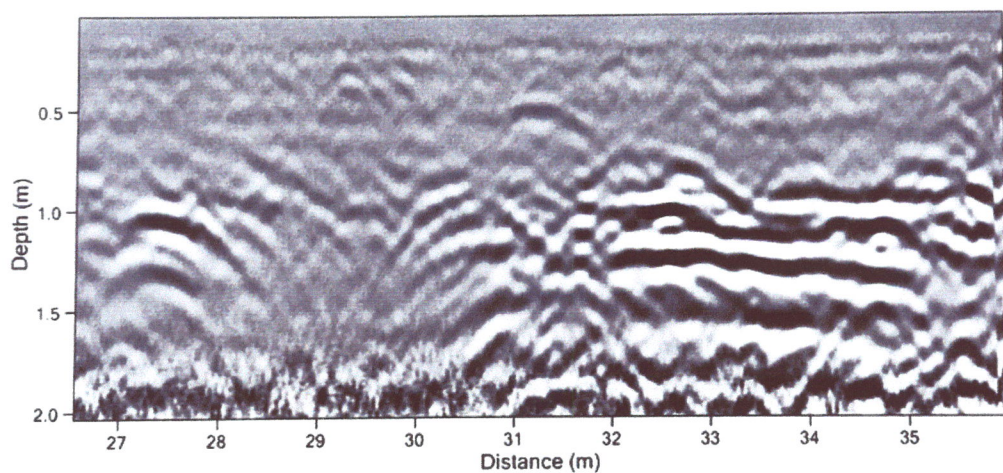
Non mancano, comunque, aree a minore conduttività del mezzo attraversato e che hanno mostrato alcune strutture generalmente piane e compatibili con piani di calpestio o livelli di materiale maggiormente consolidato.

Generalmente, fino alla profondità di circa 1.5/2.0m (profondità che in questo caso viene considerata “utile”) il materiale sembra essere abbastanza omogeneo e senza che si producano importanti riflessioni riconducibili a cavità, anche colmate (alla scala di rilevamento e fino alla profondità investigata non si rilevano pareti e/o volte).

Tuttavia, lì dove possibile, si può tracciare in profondità un orizzonte avente uno spessore di circa 1.0/1.5 m (linea rossa e linea verde: la prima indica il tetto mentre la verde indica la base dello spessore) indicante il confine tra il terreno in posto e quello sottostante la pavimentazione.

Per semplicità di esposizione, e per sintetizzare la mole di dati elaborati, si è preferito disegnare una planimetria riassuntiva delle occorrenze più importanti rilevate nel volume sottostante la pavimentazione investigata (allegato A), cioè quelle che differiscono con maggiore evidenza dal normale andamento del mezzo investigato.

Prima di commentare alcuni dei radargrammi più caratteristici del rilievo effettuato nella chiesa della S.S. Trinità si prenda come esempio un radargramma¹ tipo di una scansione effettuata in una antica Basilica (Ashkelon, Israele).



¹ Interpreting Ground-Penetrating Radar for Archaeology – Aut. Lawrence B. Conyers – Left Coast Press Inc. 2012

In questo radargramma di esempio sono visibili due distinte zone: una a destra con riflessioni piane ed una a sinistra con riflessioni meno accentuate o, talvolta, assenti del tutto. Le riflessioni parallele nella parte destra rappresentano orizzonti di materiale più compatto (possibili piani di calpestio di materiale diverso dalla matrice in cui è inglobato) o semplicemente materiale stratificato e maggiormente consolidato che, a causa della differenza delle proprietà dielettriche con quello circostante, offre un buon contrasto di velocità. La parte sinistra, invece, una zona riempita da sabbia omogenea o, in generale da materiale omogeneo che non offre un grande contrasto di velocità di propagazione delle onde. Tale aspetto è anche caratteristico di materiale omogeneo e/o umido.

Il radargramma mostrato precedentemente mostra caratteristiche del tutto simili a quelli ottenuti dall'elaborazione dei dati ricavati dalla Chiesa della S.S. Trinità.

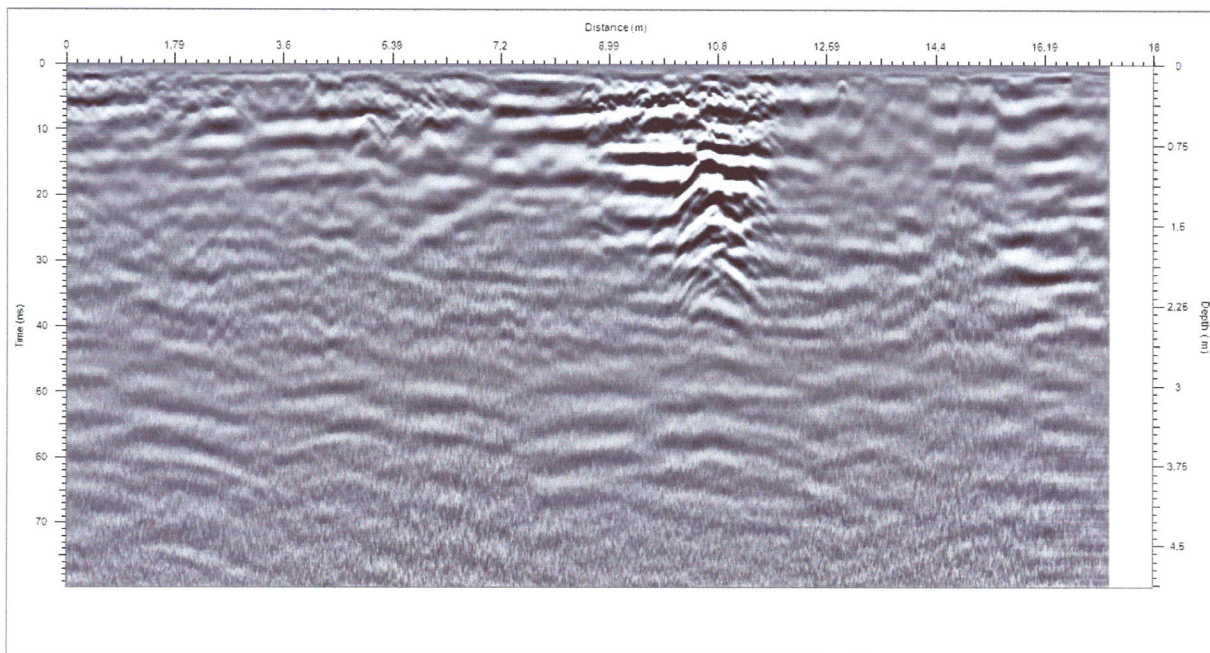
Sezioni di scansione: Pavimentazione navata principale (600MHz)

La sezione della traccia R1 (v. allegato A per la sua collocazione) raffigura una sezione perpendicolare alla pavimentazione ed è collocato a circa 0.3 m dalla parete laterale. Per la visione del radargramma si consideri il lato sinistro ad Est e quello destro ad Ovest. Le aree violacee sono state utilizzate per evidenziare le maggiori occorrenze rilevate al di sotto della linea di scansione e indicate con lettere dell'alfabeto.

La sezione della traccia R1 è, insieme a pochi altri, il più interessante della serie di transetti di scansione effettuati sulla pavimentazione principale della Chiesa, Si nota, difatti, una importante serie di riflessioni collocate a circa 11.0m di distanza dall'inizio della scansione. Tale serie di riflessioni, con buona probabilità, una vecchia muratura attestata alla profondità di circa 0.75m dal piano di calpestio e visibile fino a circa 2.0m dal piano di calpestio.

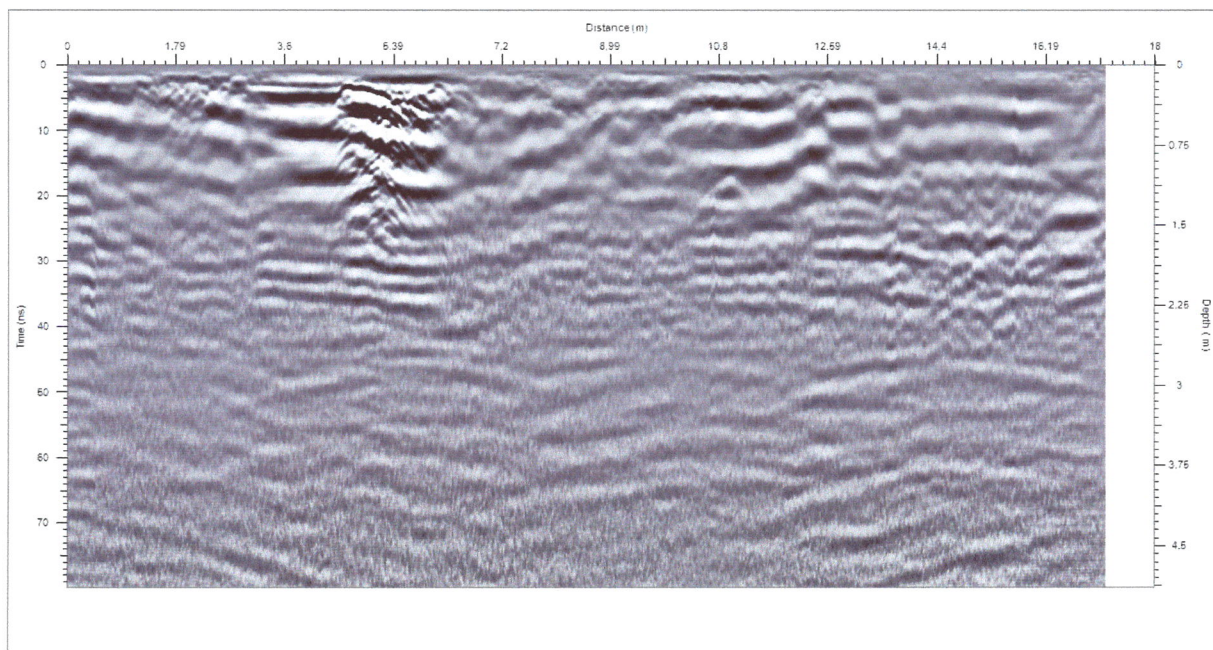
Si nota, inoltre, un orizzonte sub-parallelo alla sinistra compatibile con una zona di maggiore di compattazione del materiale: tale è la riflessione generata dal brusco cambio di velocità della onde elettromagnetiche.

Questo tipo di struttura, anche se con evidenze variabili, si osserva in altre sezioni come le R19, R20, R21 e R22.

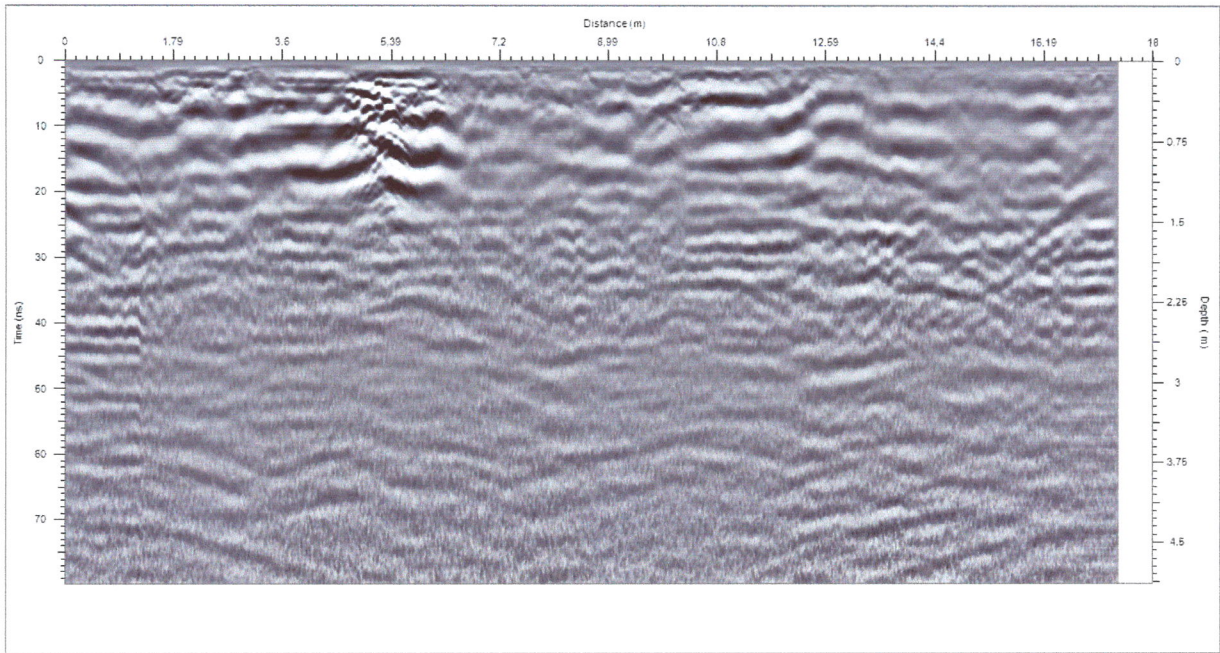


R1

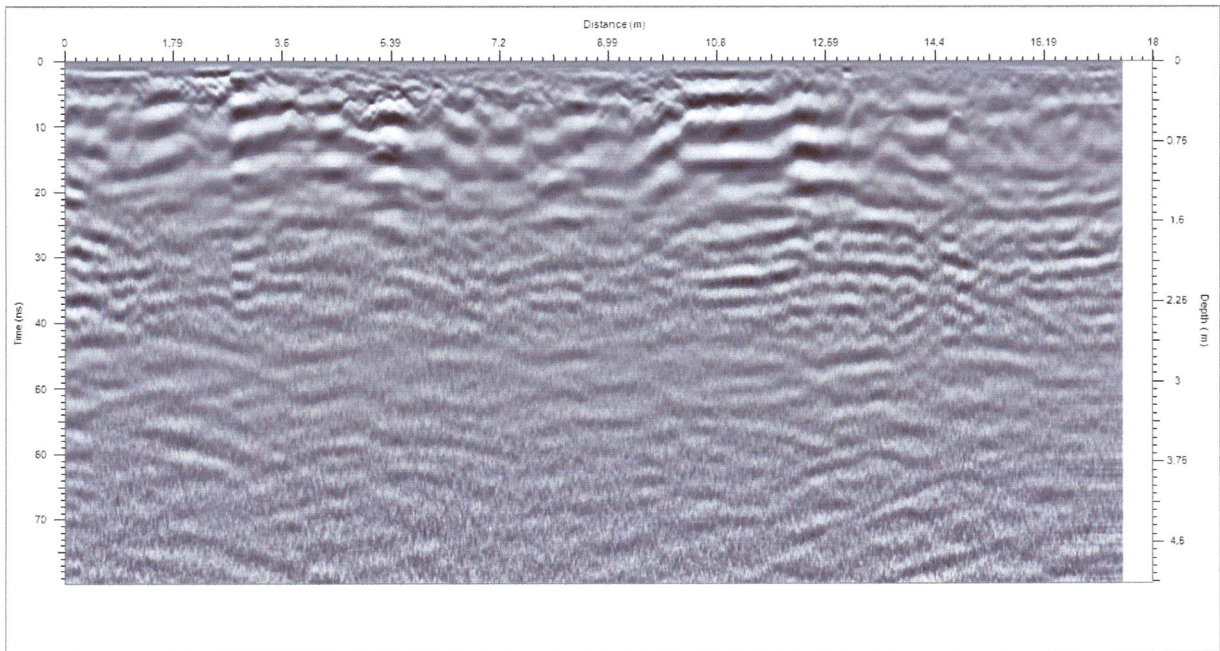
In queste ultime, in particolare, si notano, anche se debolmente, corrispondenze tra le riflessioni osservate nella sezione R1 ma in posizione diametralmente opposta, oltre a riflessioni del tutto simili riscontrabili solo nelle sezioni R19, R20 e R21 ma solo a sinistra della sezioni stesse.



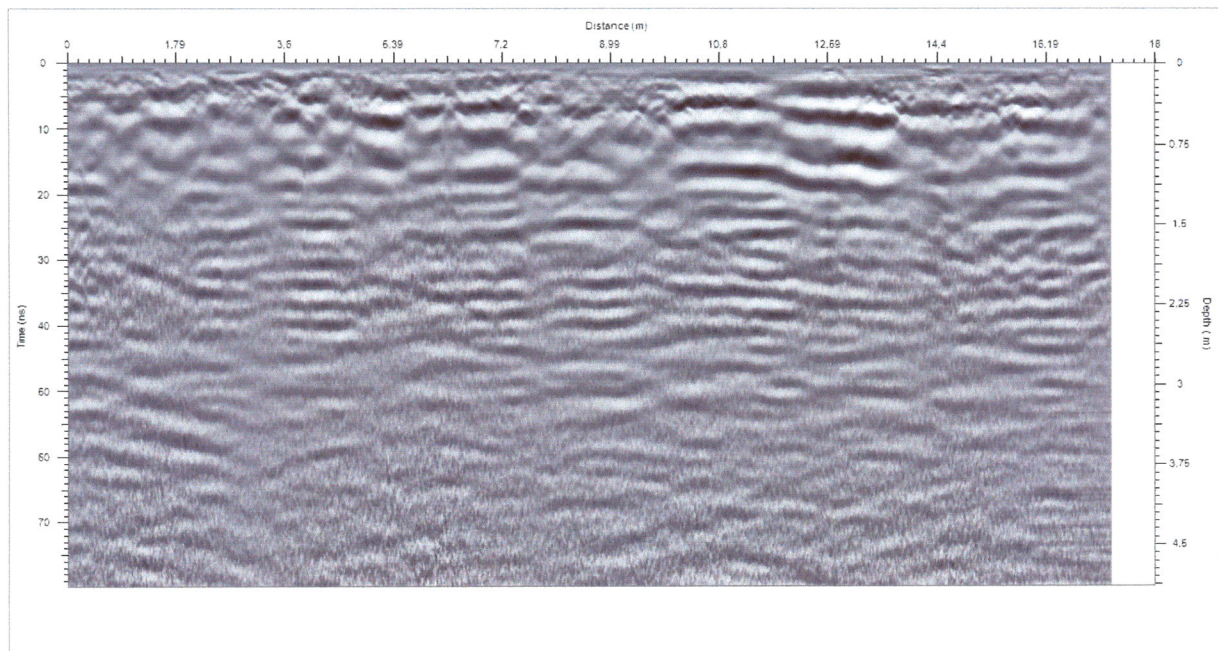
R19



R20



R21



R22

Tali occorrenze inducono a pensare alla possibile presenza dei resti di una muratura la cui ipotetica traccia è stata disegnata sulla planimetria dell'Allegato A. Ovviamente si tratta solo di ipotesi avvalorate dal fatto che tali anomalie di segnale sono le uniche vere anomalie degne di nota riscontrate durante tutto il rilievo.

Nella sezione R19 poi, si nota che sotto l'ipotetica struttura muraria, ad una profondità di circa 2.0m, e per circa 0.25m di spessore, si rileva la presenza di riflessioni orizzontali quasi a definire la continuità indisturbata dell'ipotetica struttura. La profondità di 2.0m è, infatti, la massima profondità utile di investigazione; oltre tale valore il segnale si degrada e prevale il rumore di non facile eliminazione.

La presenza di strutture di collegamento trasversali alla pianta della Chiesa, ossia tra i vari pilastri, vero scopo del lavoro d'indagine, non si evidenzia se non in qualche sporadico tratto di alcune sezioni. In questo caso però, data l'incertezza del segnale e la profondità collocata oltre a quella utile, si preferisce non azzardare alcuna ipotesi circa la loro esistenza. Tra l'altro l'analisi dei dati provenienti dalla frequenza 200MHz, non trattata nel presente elaborato ed effettuata comunque per controllo, non ha messo in evidenza la presenza delle strutture ricercate.

Interessante è, inoltre, notare come in alcune zone della pavimentazione, lì dove sono collocati piccoli cubetti di marmo, e contrariamente a quanto accade nell'area sottostante i grossi lastroni di marmo, vi è maggior assorbimento di segnale. Questo è,

probabilmente, da addebitare ad un maggior transito e/o stazionamento di umidità attraverso il materiale interposto tra i blocchetti.

Altra caratteristica non meno importante delle possibile tracce di muratura, sono i due fasce di materiale fortemente consolidato o di recente manifattura, a volte con forte evidenza e a volte meno, trasversalmente all'asse maggiore della Chiesa e indicati con la perimetrazione gialla nell'allegato A.

In definitiva, alla profondità di 2.0m dal piano di calpestio, profondità utile di investigazione con l'antenna di frequenza 600MHz utilizzata, e configurata anche in funzione delle caratteristiche ipotizzate del mezzo da investigare, non sono state rilevate cavità o tracce di cavità colmate.

Il volume sottostante la pavimentazione della navata principale della Chiesa appare costituito da materiale consolidato e stratificato per uno spessore di circa 1.0/2.0m al massimo, e con una disomogenea distribuzione dell'umidità al suo interno.

L'allegato A sintetizza la disposizione planimetrica delle principali occorrenze rilevate dalle sezioni. Le aree in rosso indicano il posizionamento, senza indicazione dello spessore e la profondità di rilevamento rilevabile, quest'ultimo, attraverso la scala delle profondità indicata nelle sezioni delle 22 tracce, della estensione dei possibili resti delle murature rilevate. Contigua alle aree rosse vi sono, dove evidenti, aree verdi che indicano la presenza di elementi raccordati alle strutture indicate in rosso, di aspetto orizzontale e ben stratificato. Le riflessioni, in questo caso sono particolarmente intense e nette.

In planimetria è stato disegnato, in puntinato rosso, una ipotetica traccia muraria che collega, idealmente, le due occorrenza che solo agli estremi della Chiesa appaiono forti e ben delineate. Al centro della pavimentazione, invece, non si riesce a definire la presenza di questa struttura se non con un mero sforzo di fantasia, ammesso che si accetti

Sezioni di scansione: Altare e Abside (600 MHz)

Una seconda serie di scansioni sono state effettuate anche nell'area del coro e, parzialmente, nella zona dell'abside (l'allegato B ne illustra la disposizione).

Le prime scansioni, denominate sequenza TR nell'allegato B, sono state effettuate in numero di 7 e con direzione perpendicolari all'asse maggiore della chiesa. L'altra serie di scansioni, invece, denominate serie LTn sono state effettuate in direzione concorde all'asse maggiore della chiesa in numero di 14. Data la conformazione architettonica dell'ambiente di scansione, le linee di scansione LT1 e LT14 sono state sviluppate con lunghezza superiore alle altre fino ad interessare parte della zona di abside.

Sequenza scansioni TR

Come in altre scansioni che hanno interessato, in particolare, la pavimentazione della navata principale, il mezzo indagato si presenta con caratteristiche molto simili di conduttività. Orizzonti di materiale con diversi gradi di consolidazione si osservano al di sotto della superficie indagata senza apprezzabili discontinuità e, con una certa chiarezza, fino ad una profondità di circa 1.0m dal piano di calpestio. Lì dove il segnale non viene restituito con intensità vuol dire, in linee generali, che la conduttività del materiale è maggiore rispetto quella del materiale circostante. Ammessa l'uniformità di composizione del materiale sottostante almeno fino a 1.5/2.0m dal piano di calpestio (non vi sono motivi che possano far pensare al contrario), si può ipotizzare che la differenza di conduttività sia dovuta all'esistenza di variazioni locali del contenuto di umidità.

Tuttavia sembra che sul lato sud delle scansioni (v. Allegato B e scansioni da RT1 a RT14), a circa 7.0m dallo start, collocato presso la parete Nord del coro, le riflessioni orizzontali siano più definite e continue. Solo verso 9.50m fino alla fine, cioè verso la parete sud del coro, nelle scansioni che vanno dalla RT4 alla RT7, si nota una perdita della discontinuità delle riflessioni orizzontali citate in precedenza quasi a testimoniare un "rimaneggiamento" del mezzo nel mezzo sottostante la pavimentazione del coro.

Si tenga inoltre presente che le sezioni delle scansioni (radargrammi) non terminano a contatto con le pareti, e questo accade per le caratteristiche di forma di una qualsiasi antenna che abbia una frequenza di 200/600 MHz. C'è, quindi, un limite fisico/costruttivo che limita, a queste frequenze, un contatto tra linee di scansione condotte sul piano e superfici verticali collocate perpendicolarmente a fine scansione.

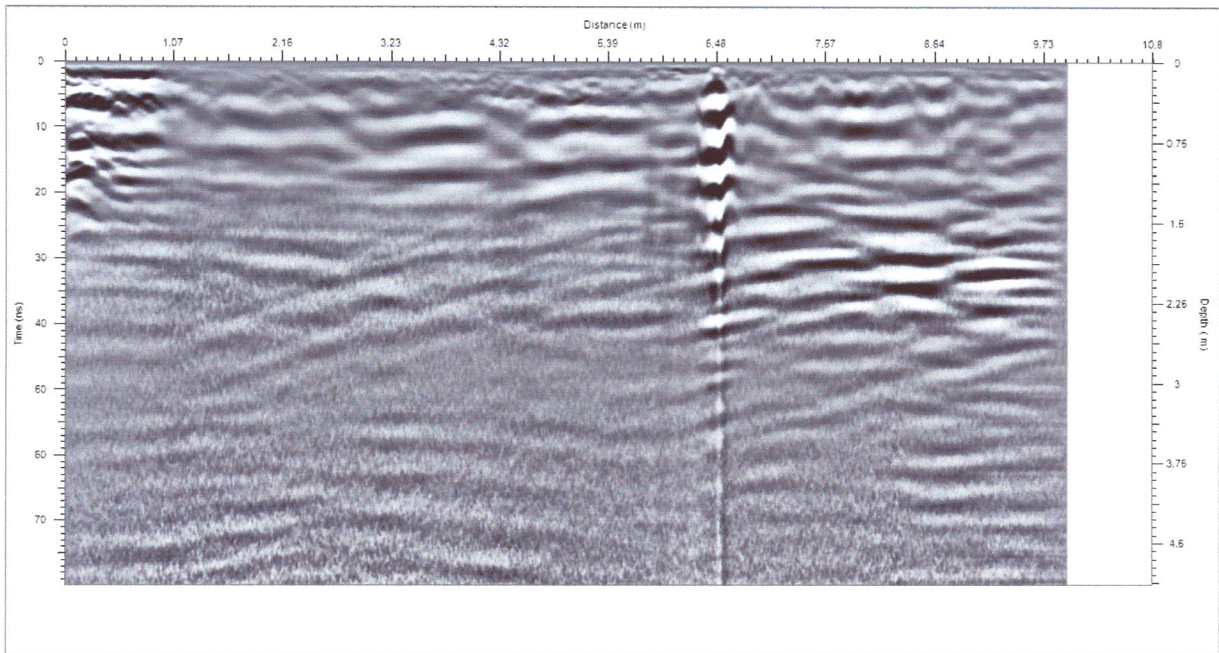
Sequenza scansioni LT

Le scansioni della serie LTn sono state effettuate sulla pavimentazione del coro in numero di 14, in direzione concorde all'asse maggiore della chiesa.

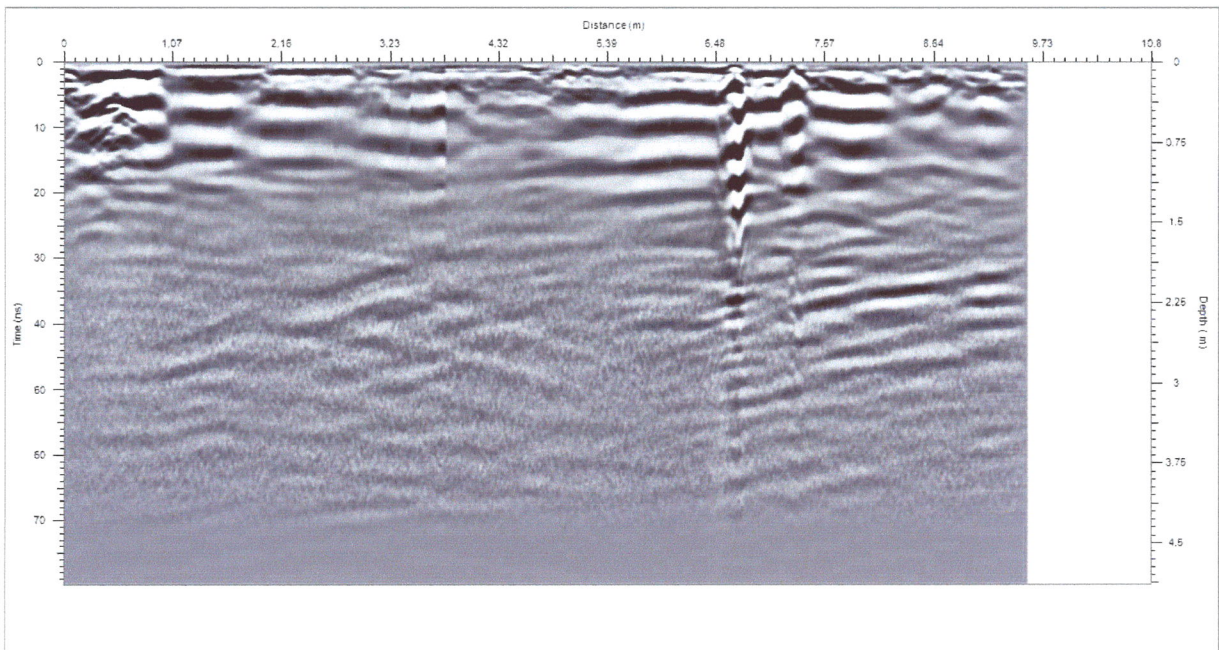
Delle 14 scansioni (in Allegato B la planimetria dei tracciati) non appare nulla di differente rispetto ai contenuti delle scansioni RT alle quali sono in gran parte sovrapposte anche se in direzione perpendicolare.

Vale la pena, però, evidenziare le sezioni di scansione LT1 e LT14; queste tracce, infatti, hanno potuto estendersi fino all'area dell'abside altrimenti non raggiungibile per la presenza dell'altare maggiore. Pur volendo approfondire le scansioni dell'area dell'abside, sono stati riscontrati spazi ridotti per l'operatività del Georadar a causa di impedimenti fisici.

Come detto poc'anzi, occorre evidenziare nei radargrammi LT1 e LT2 due occorrenze ad una profondità di circa 2.0m dal piano di calpestio e collocate nella parte sottostante l'area dell'abside. Si tratta, in particolare di orizzonti ad alta riflettività, sub orizzontali, e che compaiono in entrambe le sezioni. Pur correlando le occorrenze rilevate, non è possibile affermare con sicurezza che esse compaiano alla stessa profondità nello spazio non indagato. Se così fosse si potrebbe ipotizzare una base orizzontale ben consolidata compatibile con un piano di calpestio, piastra di fondazione di collegamento tra i pilastri collocati nel deambulatorio o un orizzonte di terreno che rappresenta il confine con il terreno di appoggio e terreno "in posto". A circa 6.50m dallo start si notano in entrambe le sezioni due potenti riflessioni tipiche di oggetti metallici collocati in superficie. Tali riflessioni sono, infatti, dovute alla presenza di cavi elettrici sulla pavimentazione. Il fatto che il segnale venga riflesso sino ad una certa profondità per poi attenuarsi è dovuto ad una ridondanza, o frequenza multipla, dell'onda elettromagnetica che ha colpito l'oggetto metallico.



LT1



LT14

CONSIDERAZIONI FINALI

L'intera pavimentazione della navata principale, il coro e, parzialmente, l'abside, sono stati interessati da una campagna di indagine geofisica utilizzando un Geradar: le indagini geofisiche sono una tipologia di indagine indiretta e non distruttiva.

Sono state prodotte 43 sezioni, o radargrammi, di altrettante tracce di scansione riportate nelle planimetrie allegate.

Per l'indagine è stato utilizzato un Georadar della "IDS-INGEGNERIA DEI SISTEMI", modello RIS MF Hi-Mod dotato di antenna a doppia frequenza 200/600MHz. L'antenna è stata opportunamente configurata per consentire una profondità di ispezione di circa 3.0m in profondità dal piano di calpestio, fissando una finestra d'ascolto (Time Window) per entrambe le antenne utilizzate in funzione della costante dielettrica del mezzo, ipotizzata essere conforme ad un terreno di tipo sabbioso e mediamente umido.

Le frequenze restituite nelle sezioni sono il prodotto della frequenza 600MHz; la frequenza 200MHz è stata utilizzata per controllare, talvolta, alcune possibili occorrenze collocate a maggiore profondità (frequenze basse vuol significare minore risoluzione verticale e maggiore profondità di indagine e, al contrario, una frequenza maggiore).

I dati acquisiti sono stati processati con il software GPR-soft della Geoscanner per la sola elaborazione dei radargrammi.

E' necessario considerare che durante la fase di elaborazione dei dati è emerso che la profondità utile di indagine è stata di poco più di 2.0m di profondità. Ciò perché il guadagno applicato al segnale oltre questa profondità ha prodotto una quantità di rumore tale da coprire eventuali occorrenza. Si è preferito, quindi, non oltrepassare questa profondità preferendo la chiarezza di segnale all'incertezza della sua interpretazione.

In tutte le sezioni analizzate non sono state rilevate strutture di collegamento tra i pilastri della navata centrale, scopo ultimo dell'indagine, e fino alla profondità utile di indagine.

Il mezzo indagato ha offerto una chiara definizione di orizzonti sub orizzontali fino ad una profondità di circa 1.5/2.0m di profondità evidenziando talvolta interruzioni dovute a probabili sacche di materiale più umido che hanno assorbito parte del segnale elettromagnetico emesso dall'antenna trasmittente.

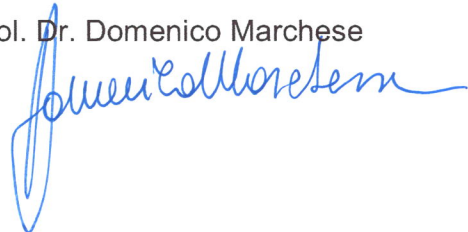
Fanno eccezioni tre strutture evidenziate nelle sezioni radar R1, R19 fino alla R22 compatibili con resti di una struttura muraria. Non si evidenzia presenza di cavità o nicchie almeno fino alla profondità utile di indagine.

Ben poco, inoltre, appare evidente dalle altre scansioni effettuate nel coro. Queste sono state effettuate in senso longitudinale e trasversale e solo due hanno interessato parte dell'abside.

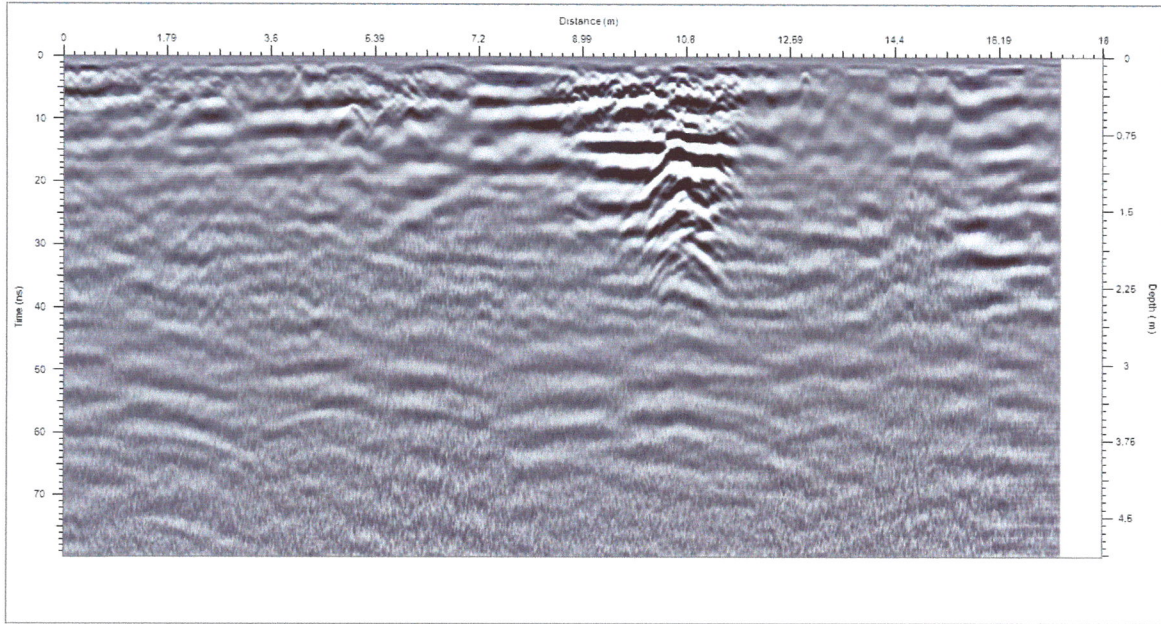
In definitiva, il mezzo indagato ha ben risposto alla trasmissione delle onde elettromagnetiche nei primi 1.5/2.0m di profondità fornendo, spesso, la visione di orizzonti, di materiale con diverso tenore di consolidazione, talvolta discontinui e interrotti fisicamente da piccole sacche di materiale con diverso contenuto di umidità. Se ulteriori strutture sono presenti al di sotto della profondità utile di indagini, esse sono mascherate dalla debolezza del segnale che subisce, istantaneamente, un degrado e una conseguente forte attenuazione. Aumentare in fase di post-processing il guadagno del segnale indurrebbe il rumore a coprire l'effettiva presenza di riflessioni peggiorandone irrimediabilmente la qualità.

Potenza, 31 Agosto 2016

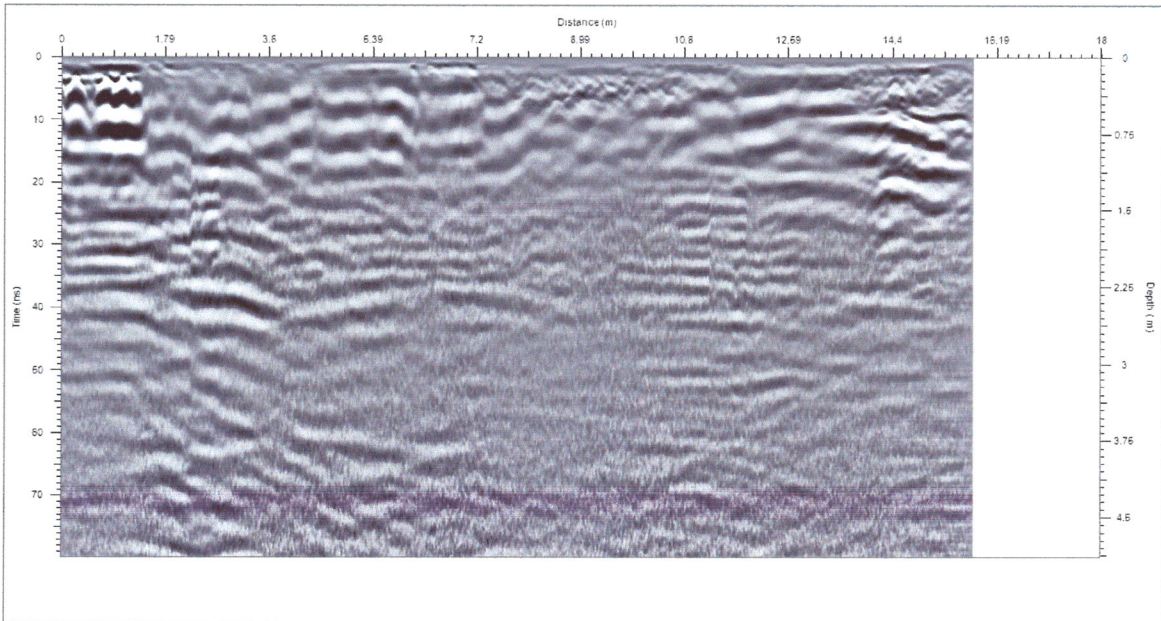
Geol. Dr. Domenico Marchese



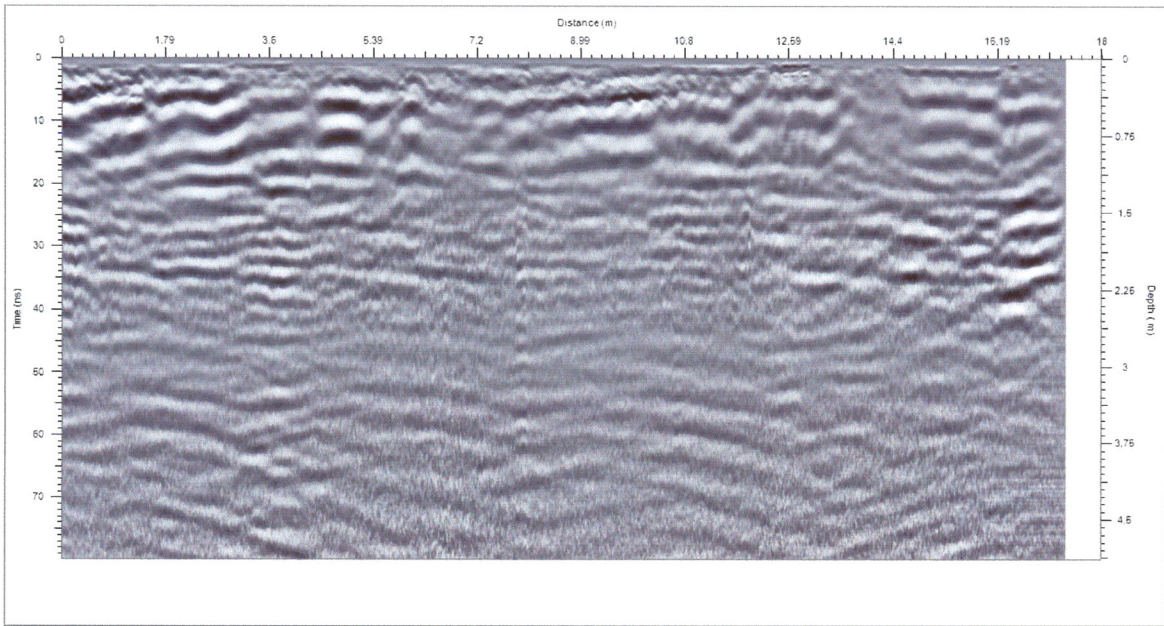
R1



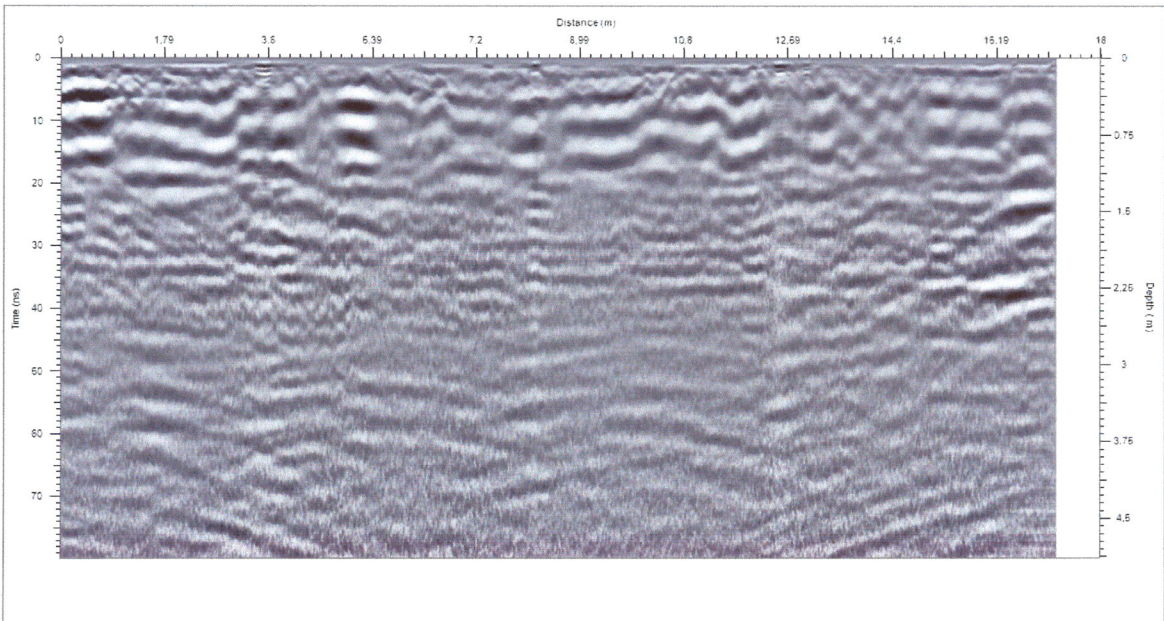
R2



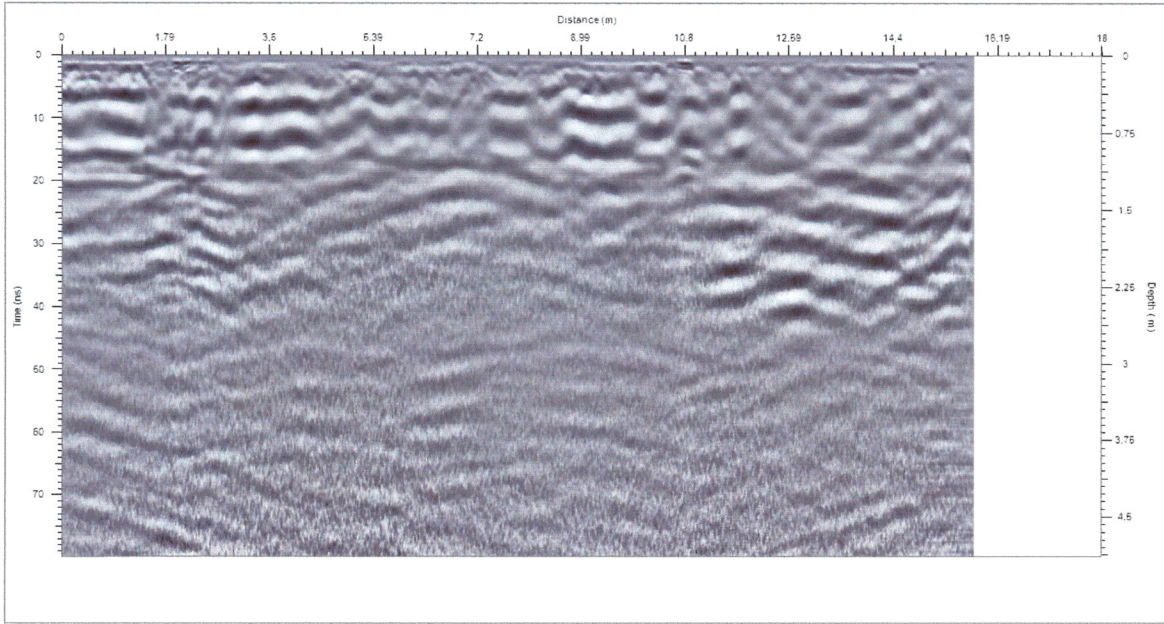
R3



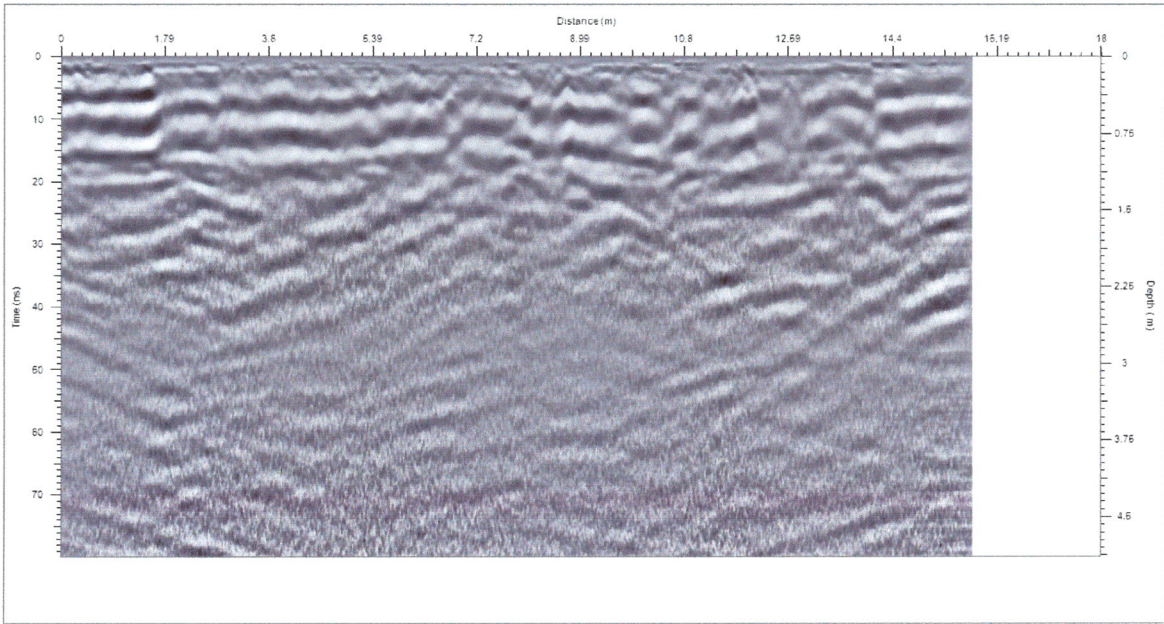
R4



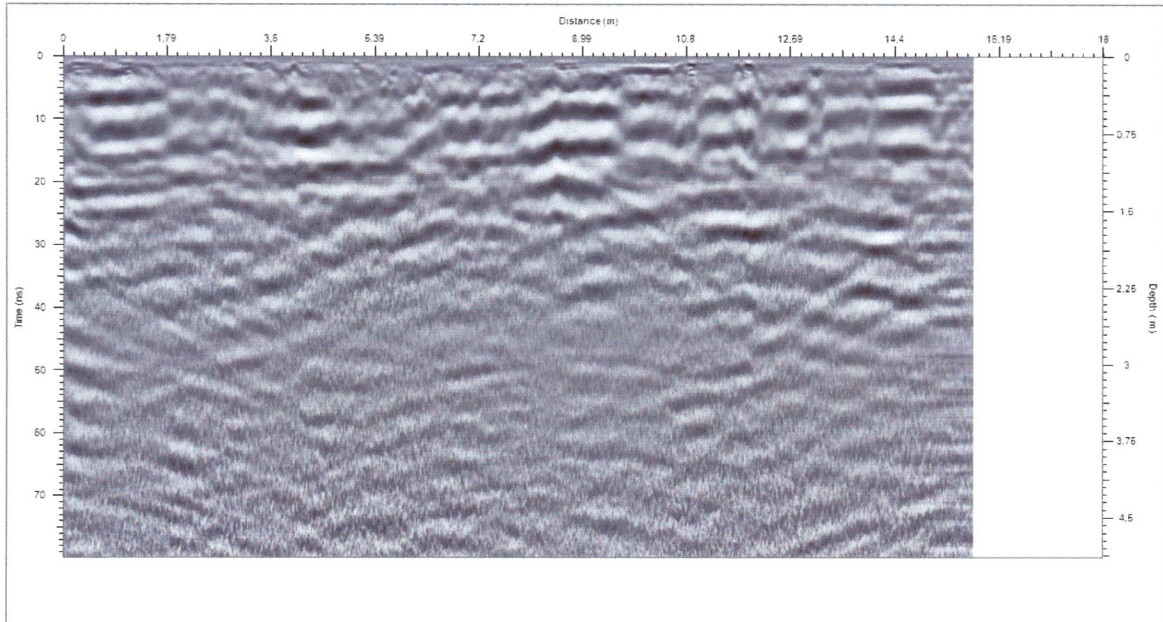
R5



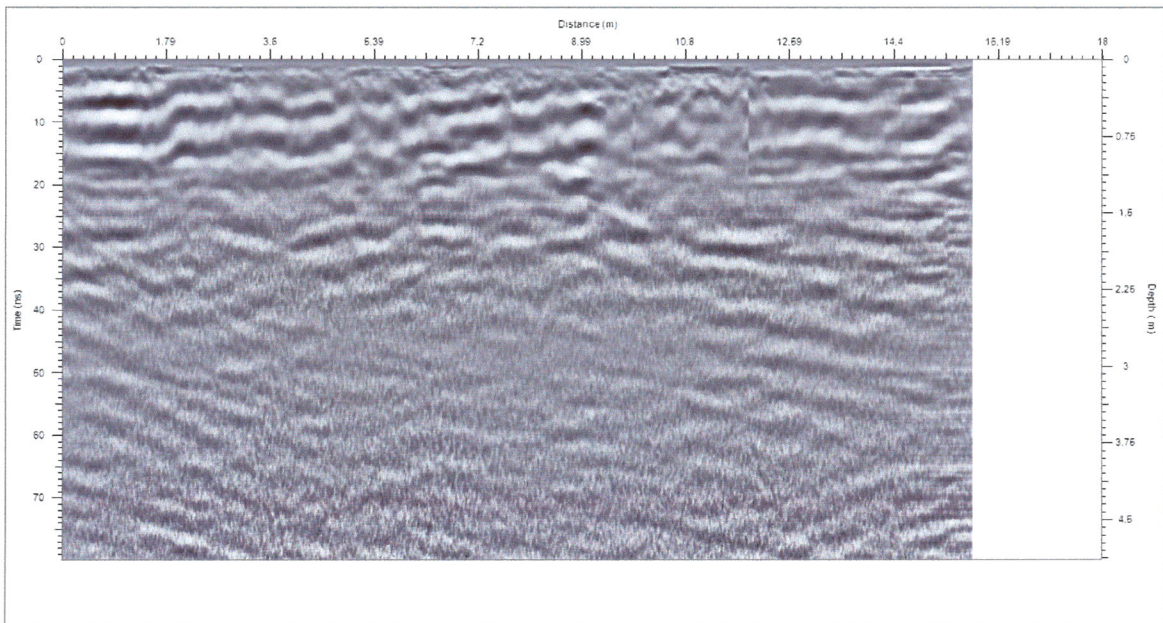
R6



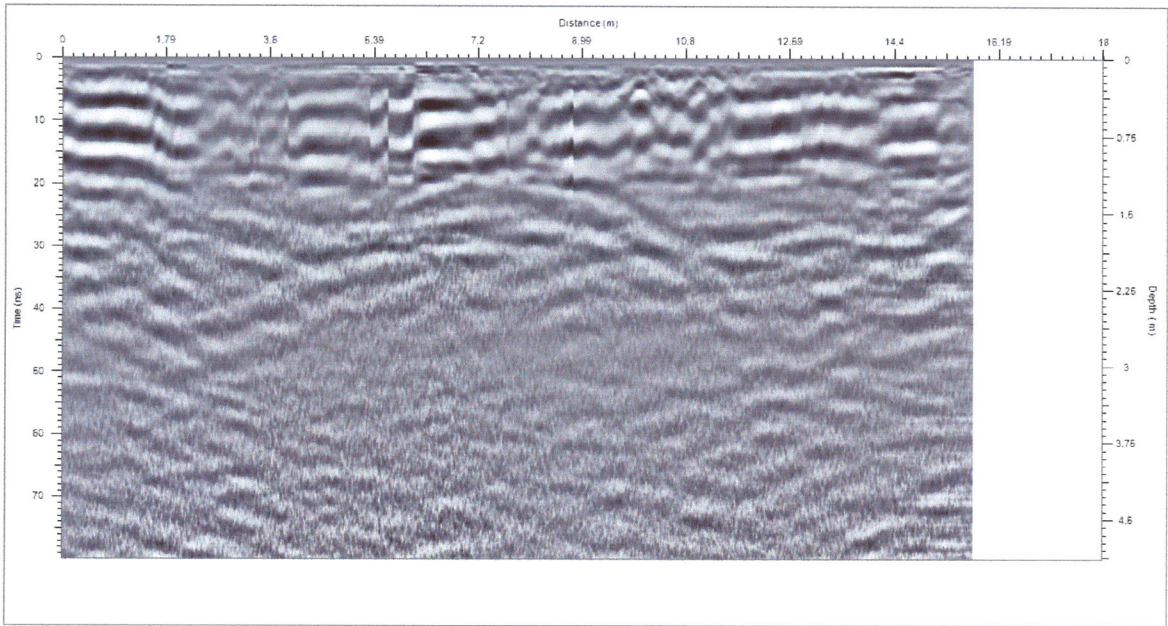
R7



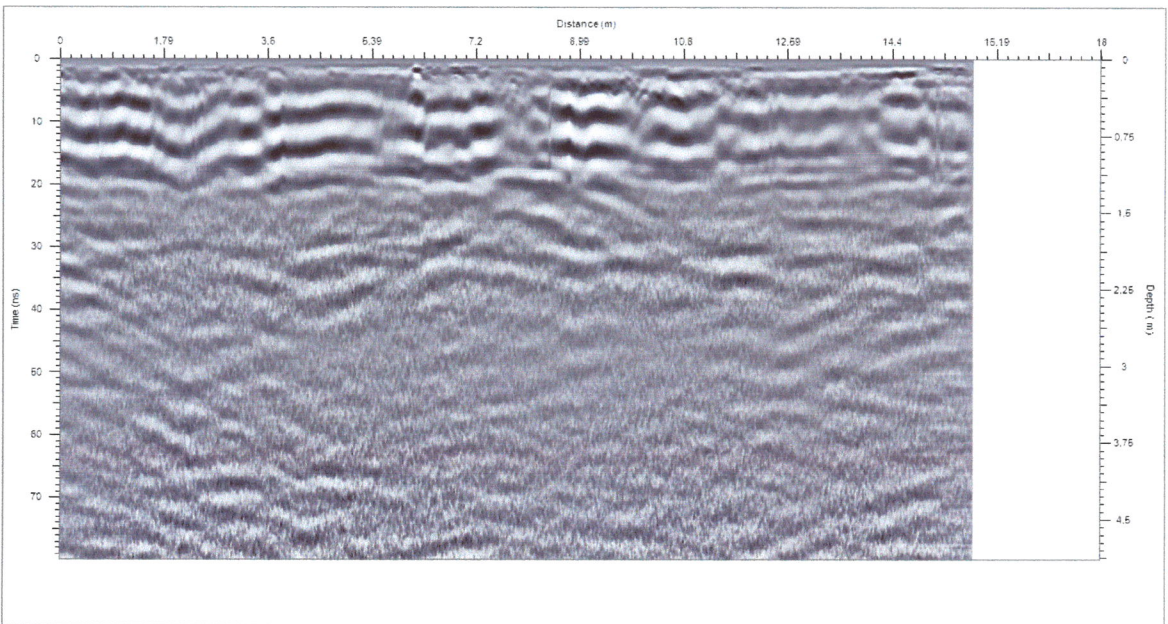
R8



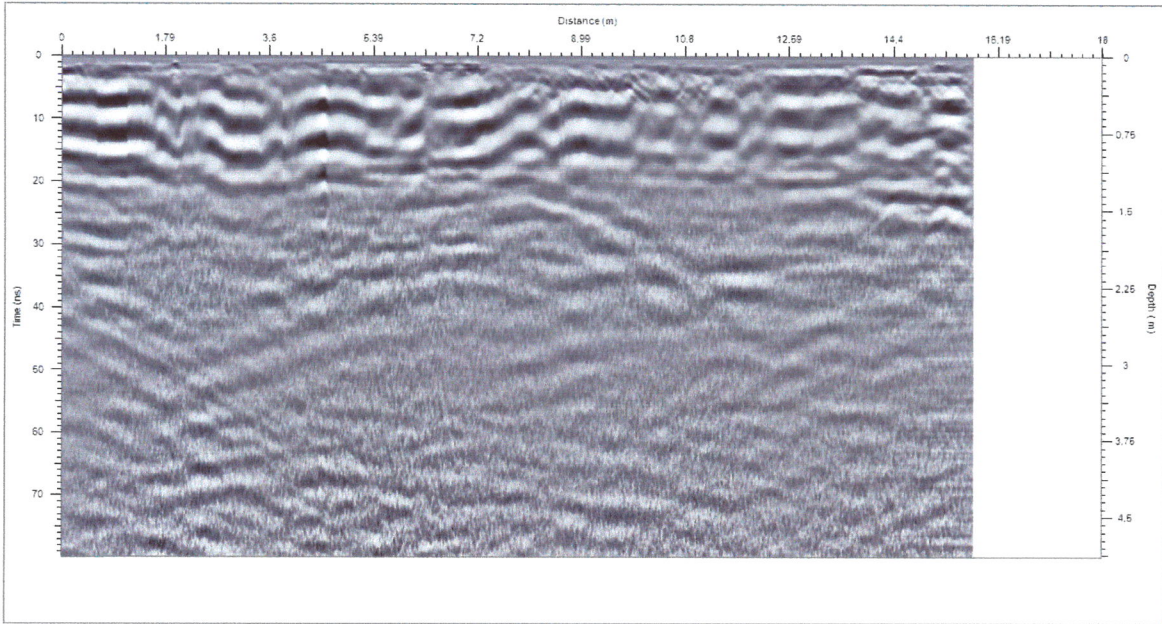
R9



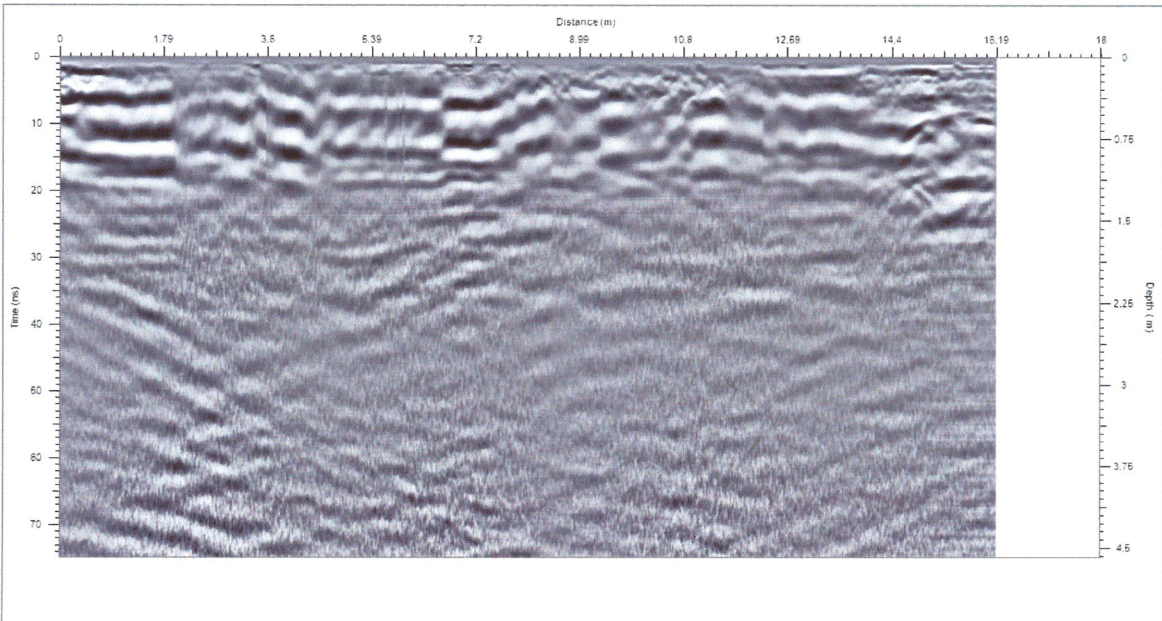
R10



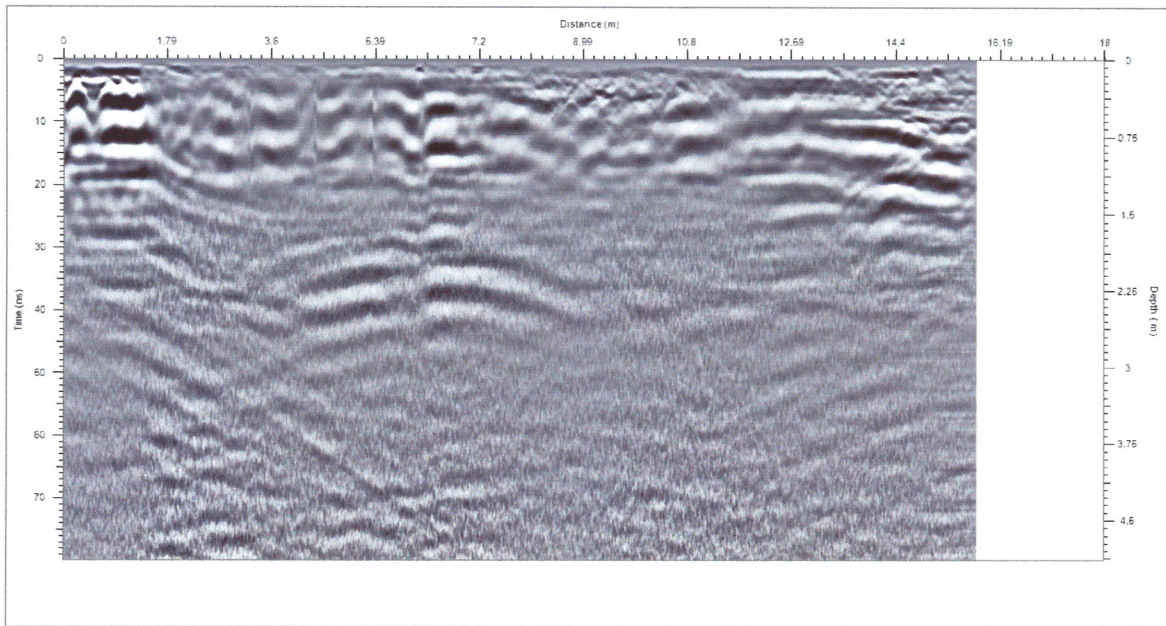
R11



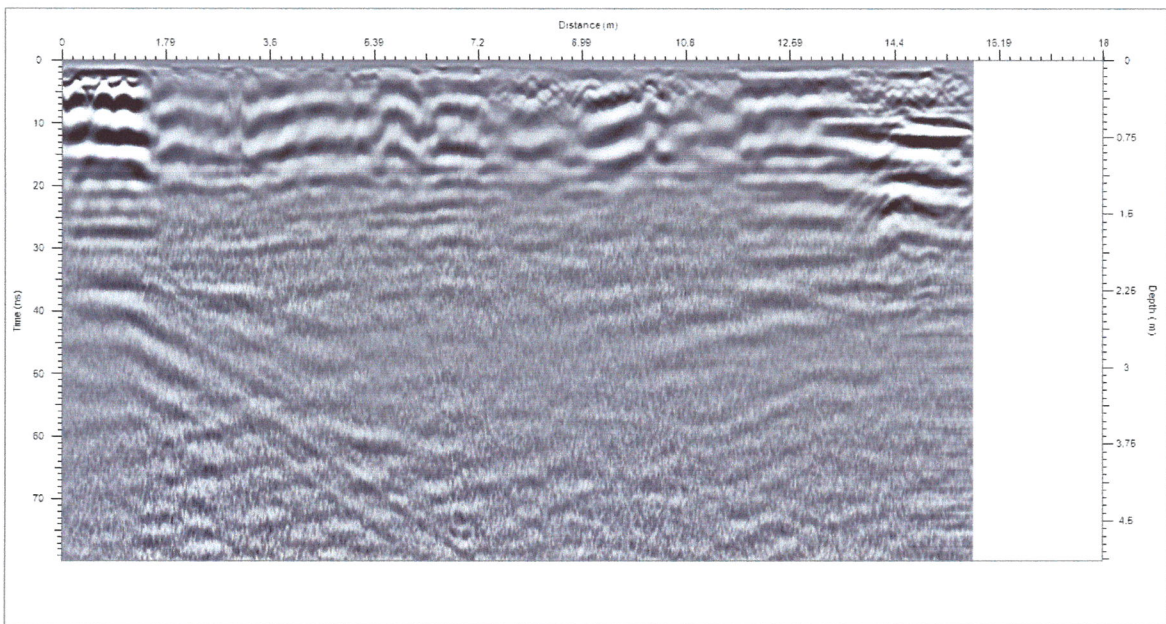
R12



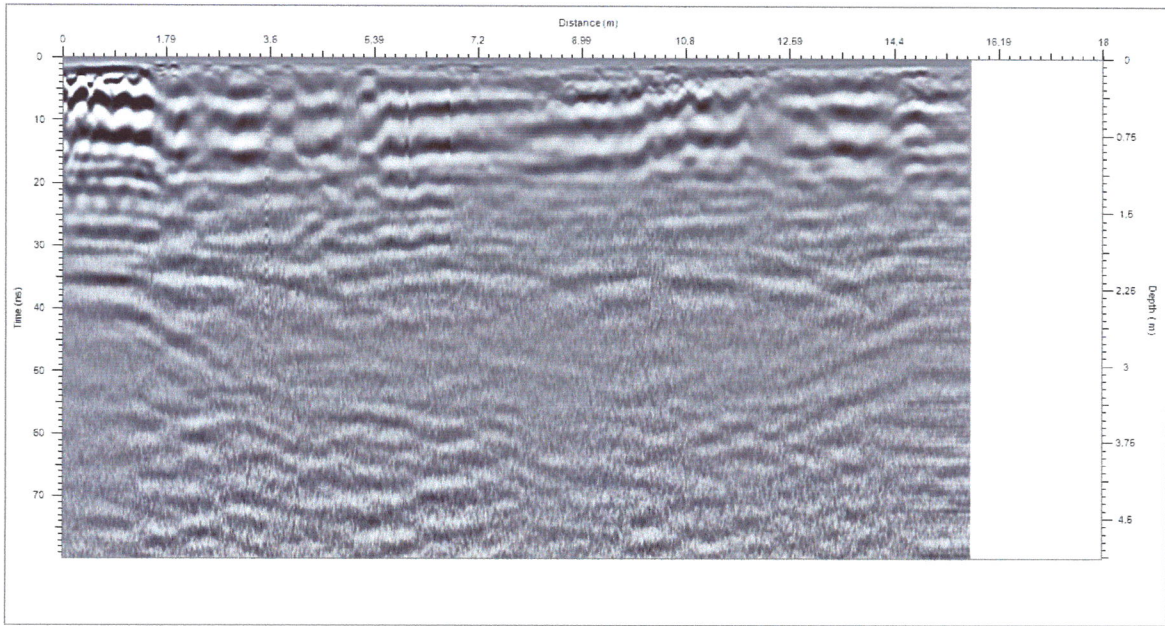
R13



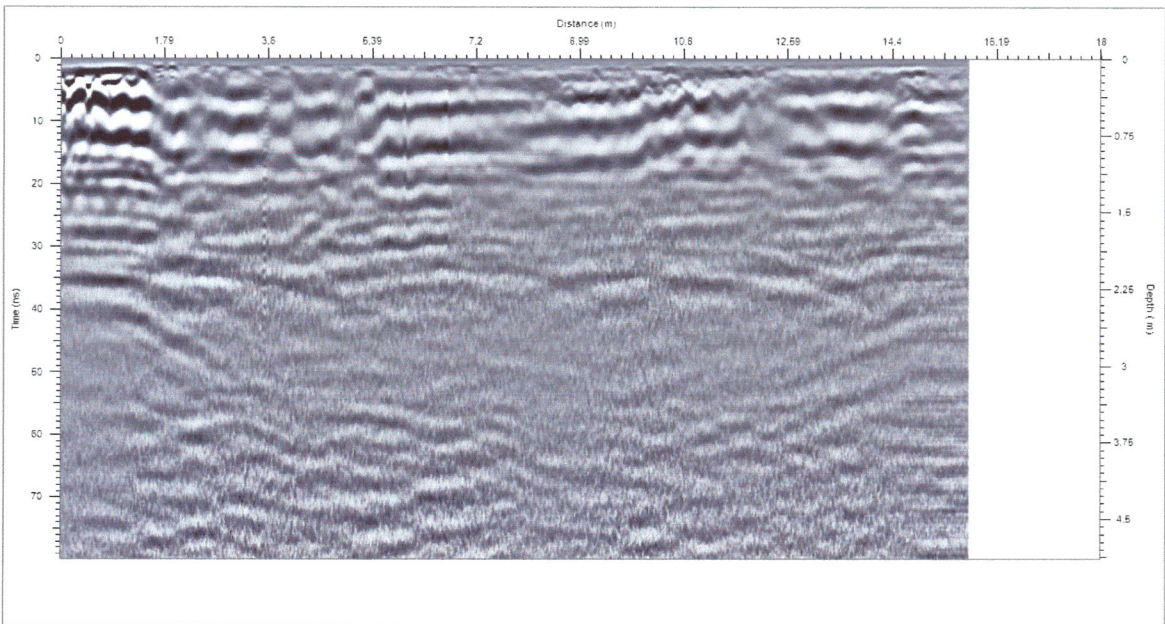
R14



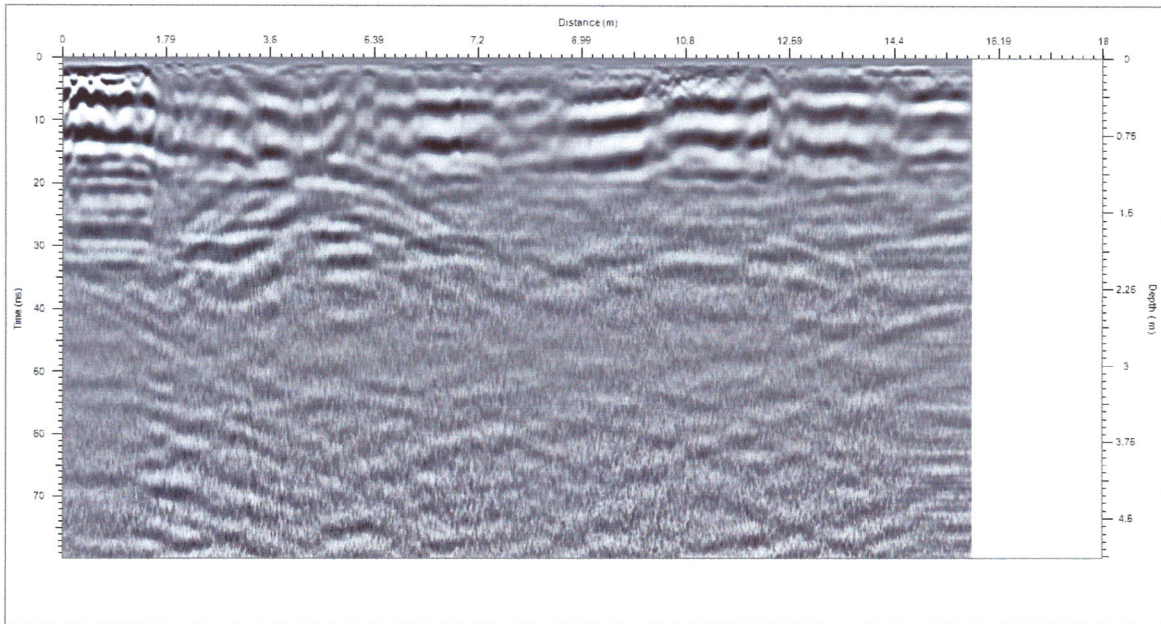
R15



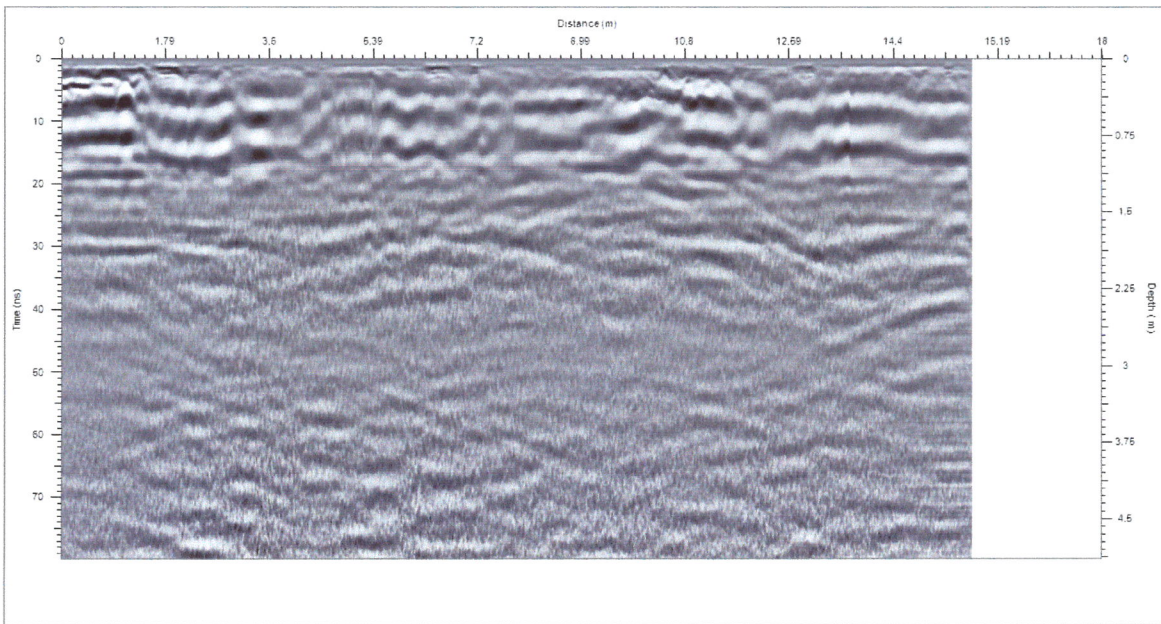
R16



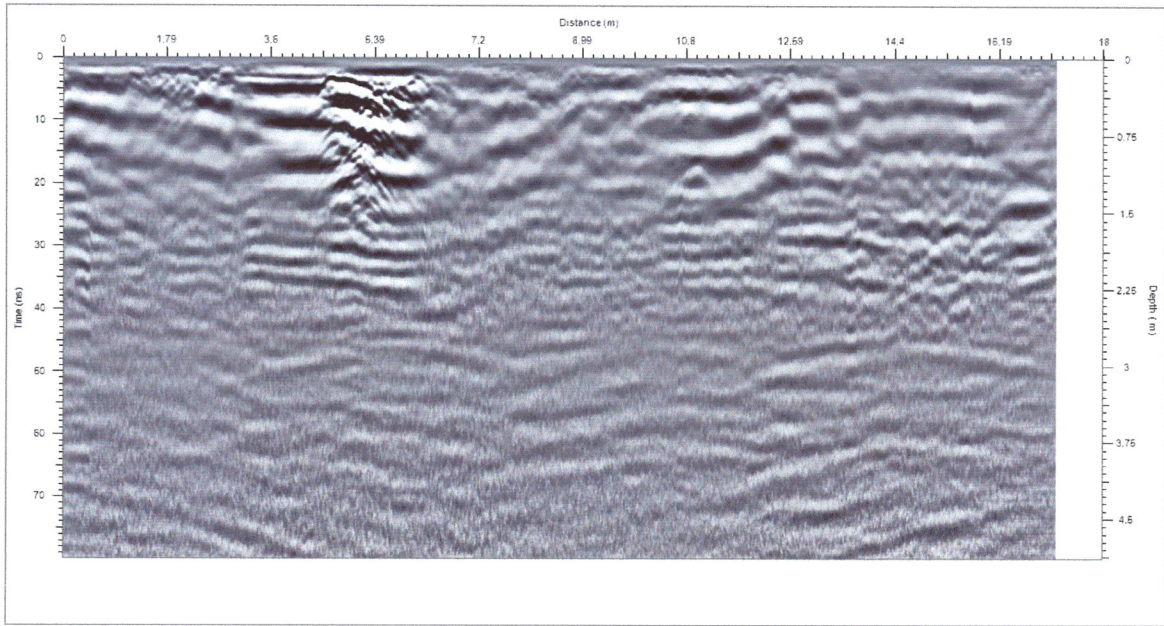
R17



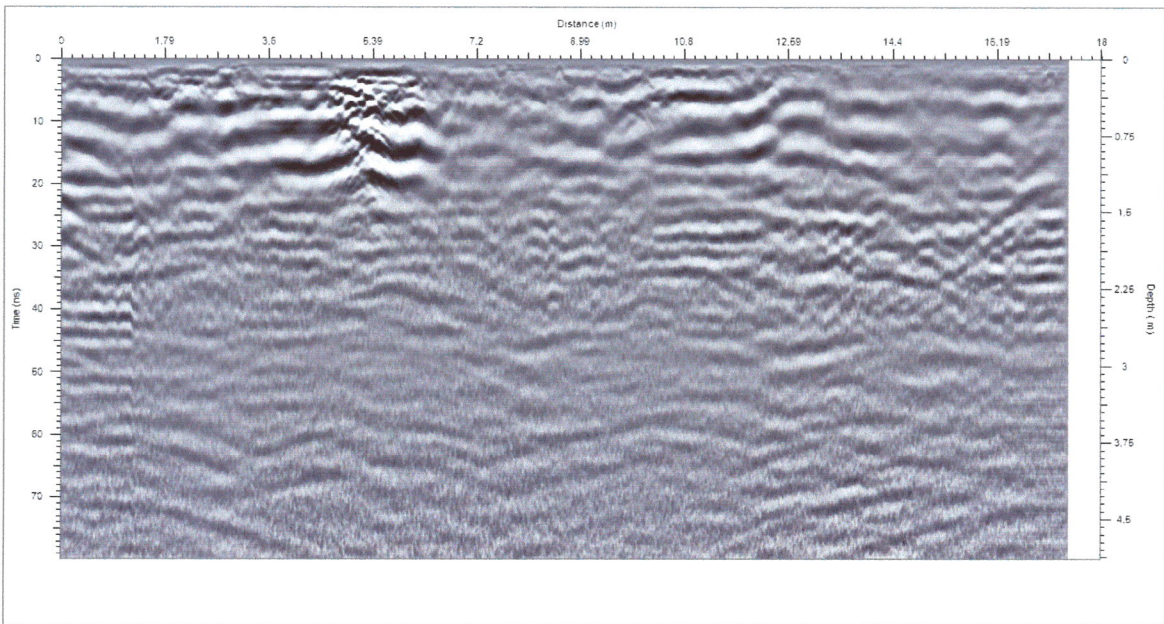
R18



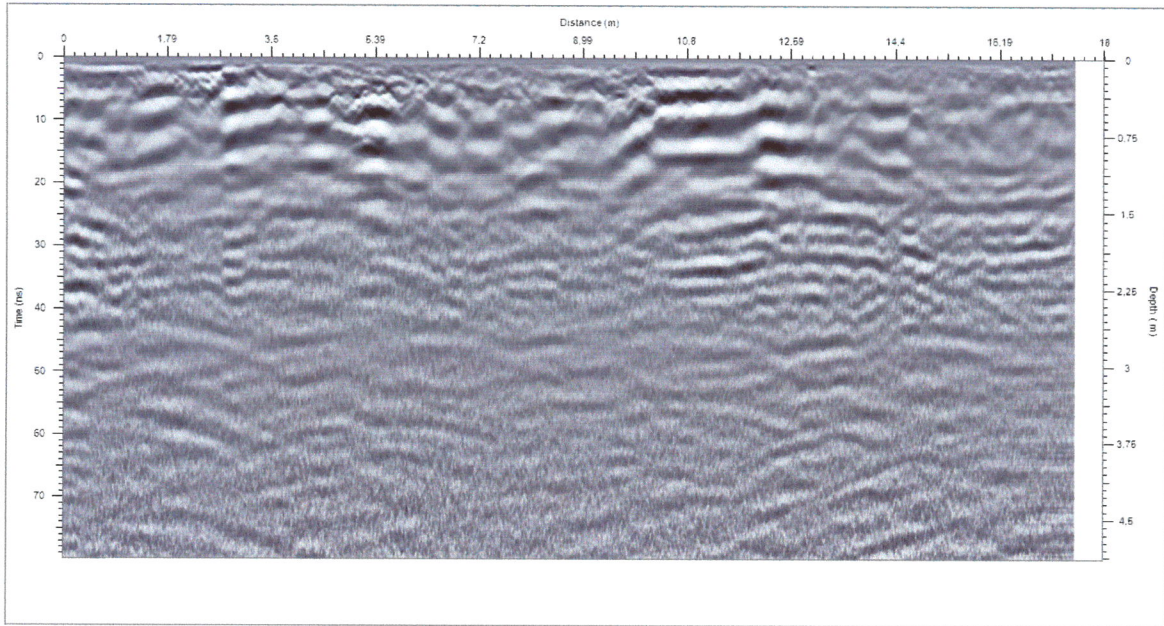
R19



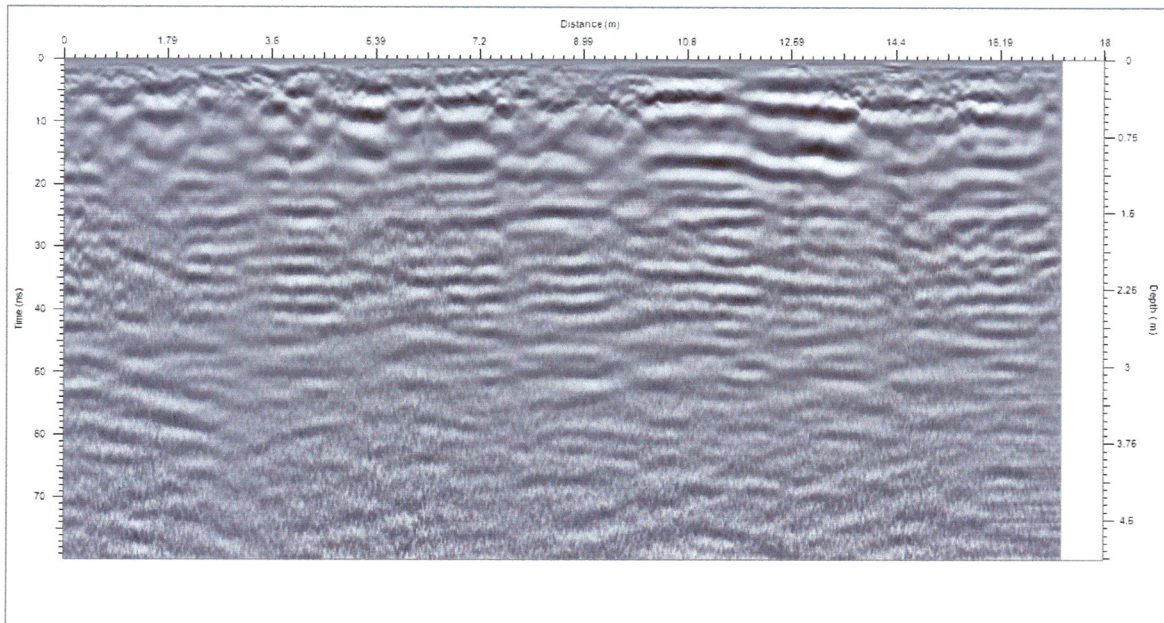
R20



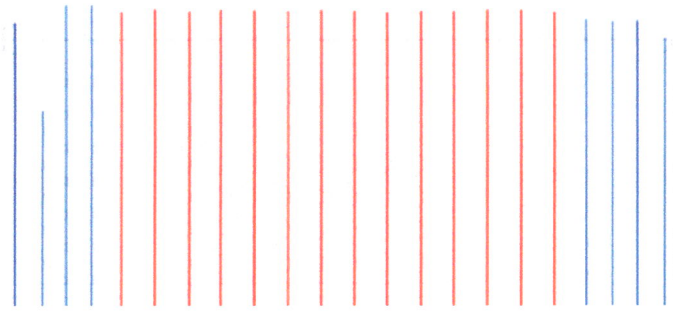
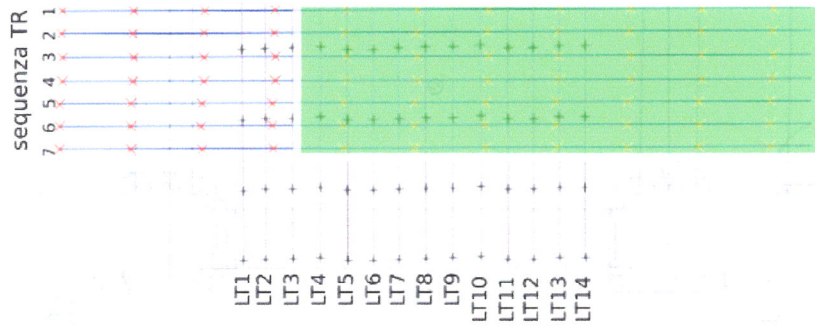
R21



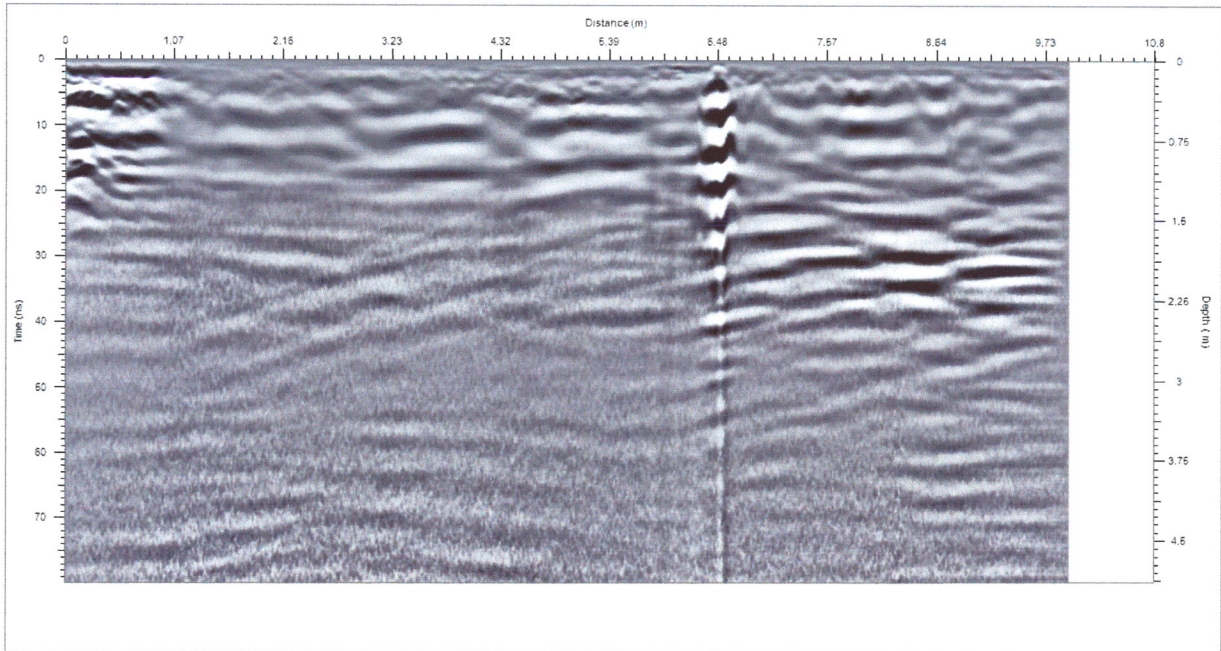
R22



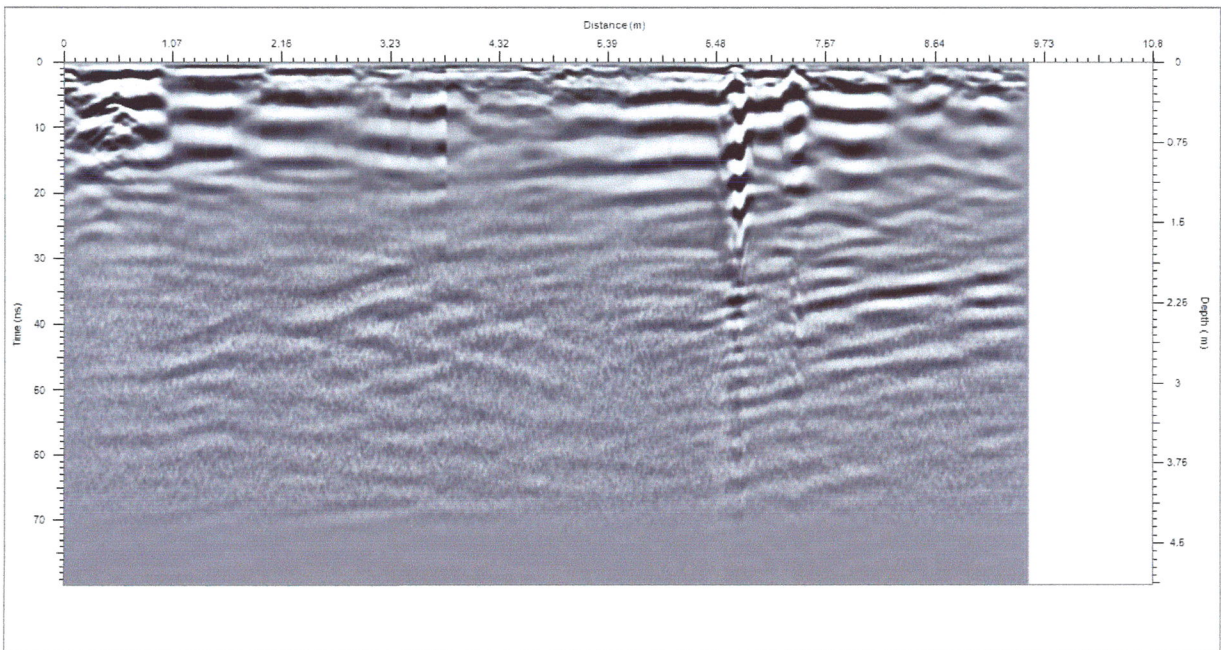
ALLEGATO B



SEQUENZA LT (solo LT1 e LT14)

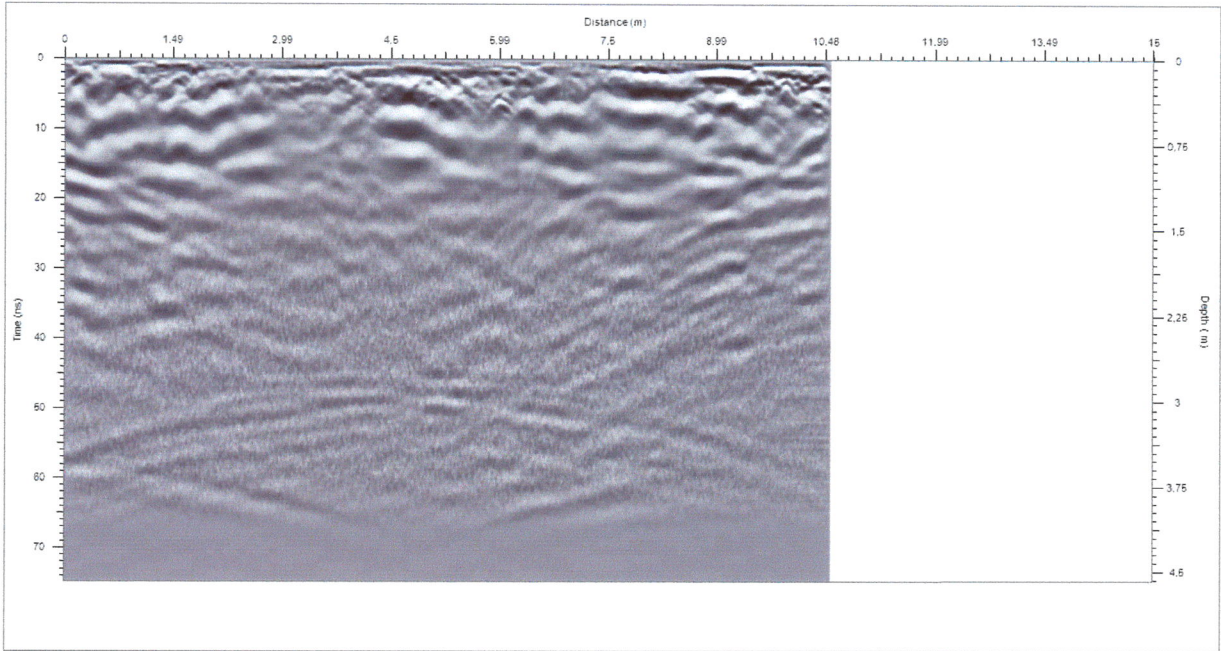


LT1

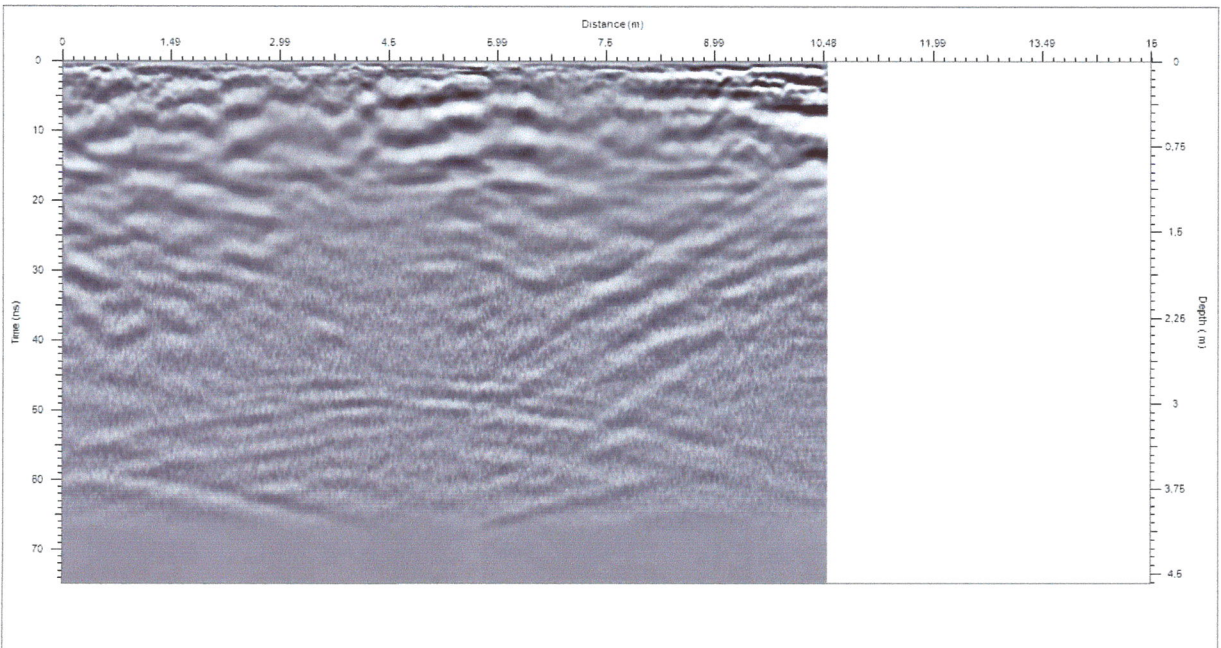


LT14

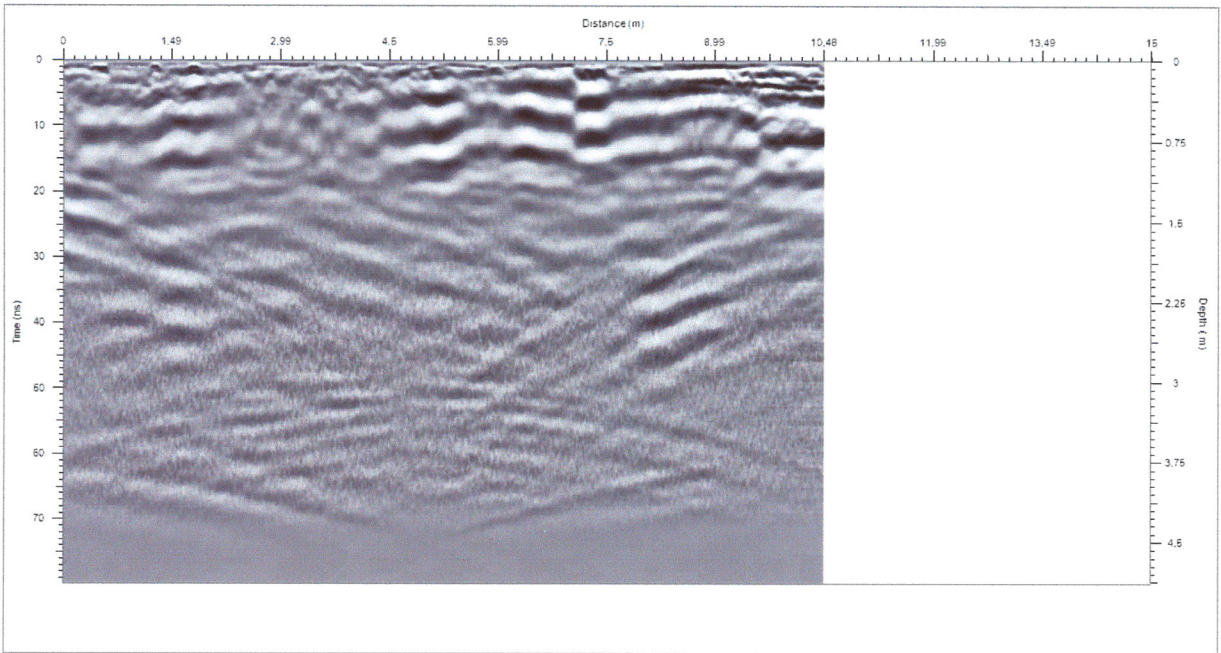
SEQUENZA RT



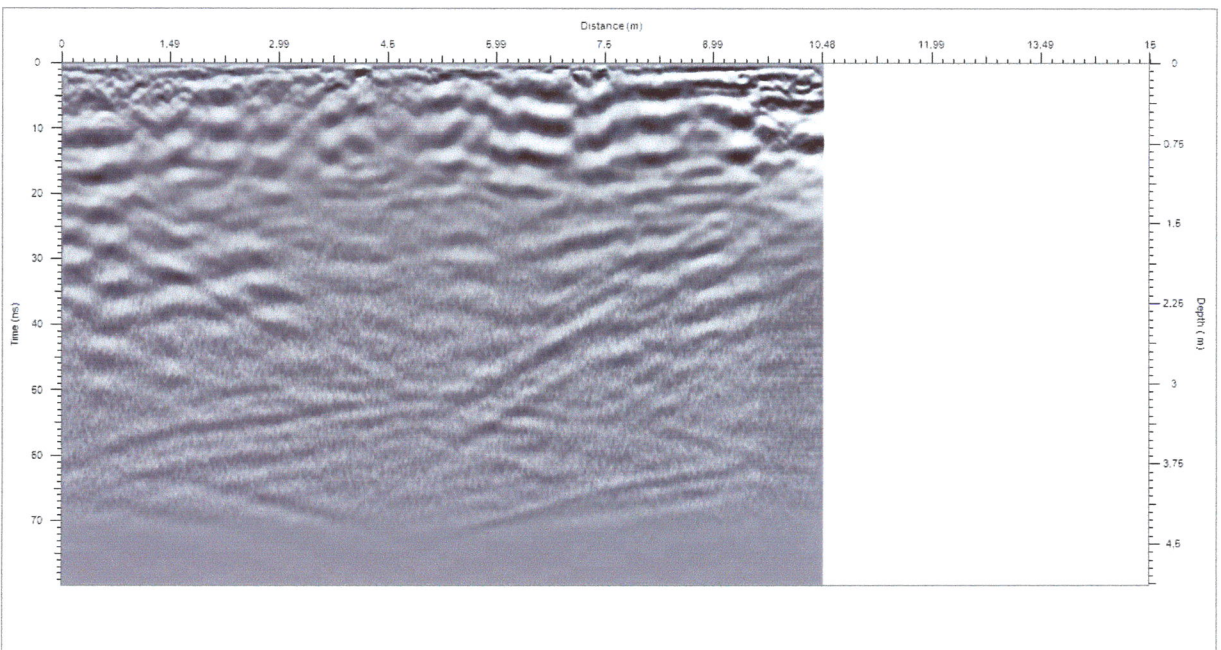
RT1



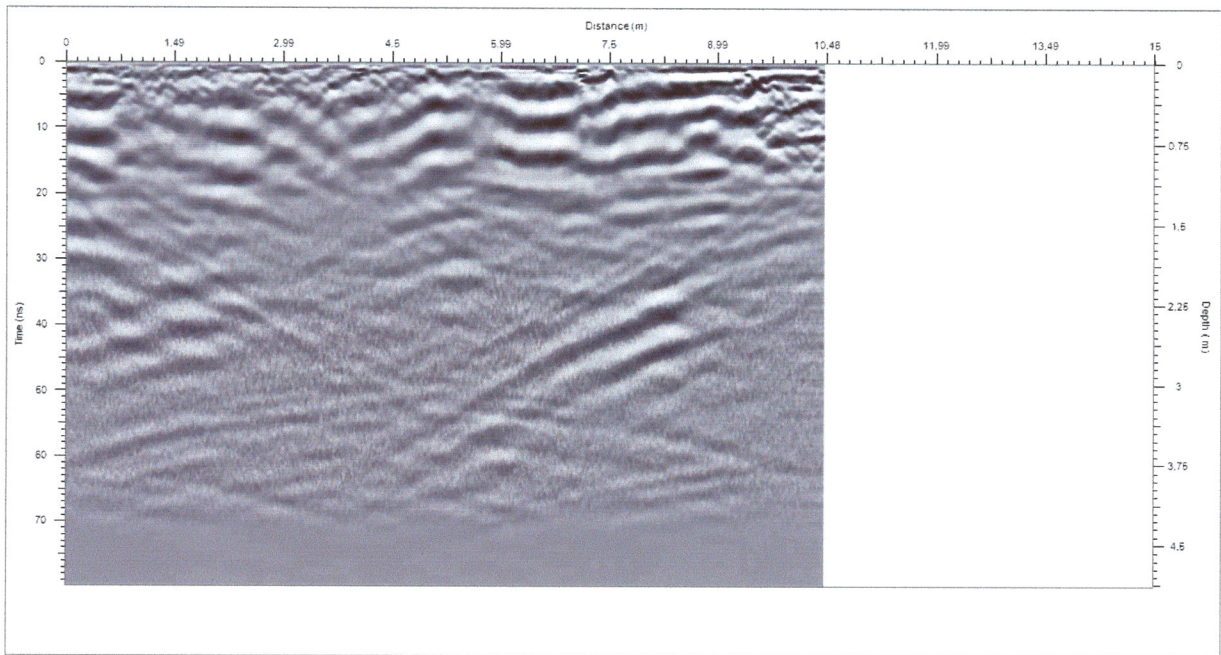
RT2



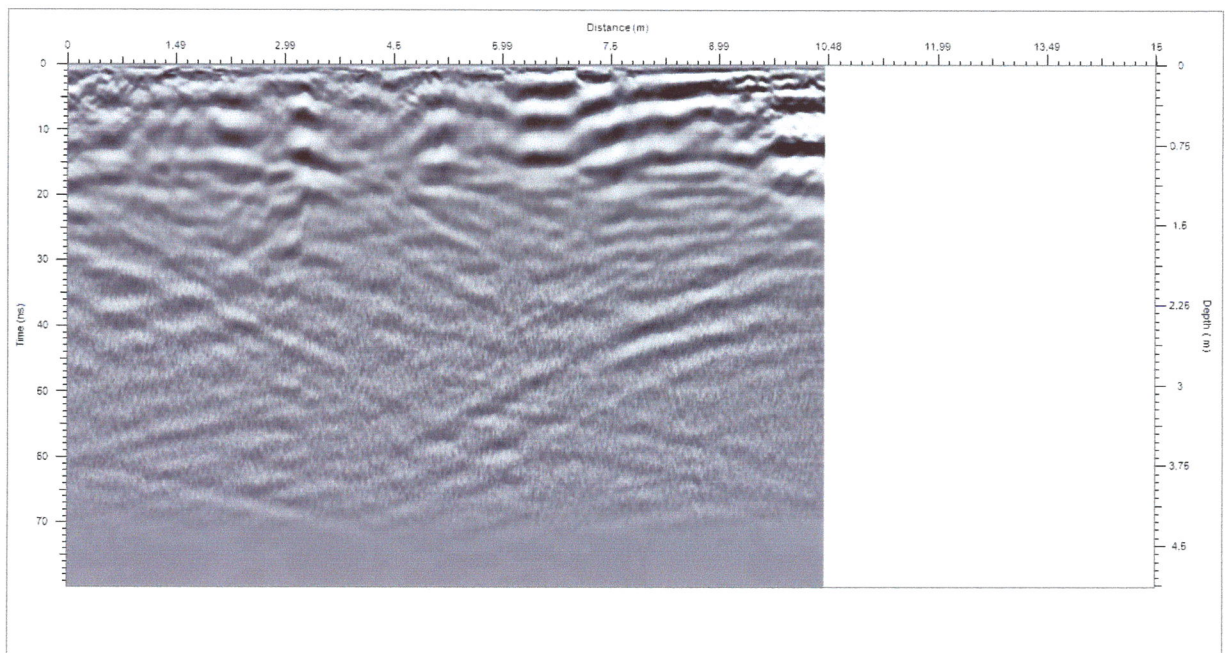
RT3



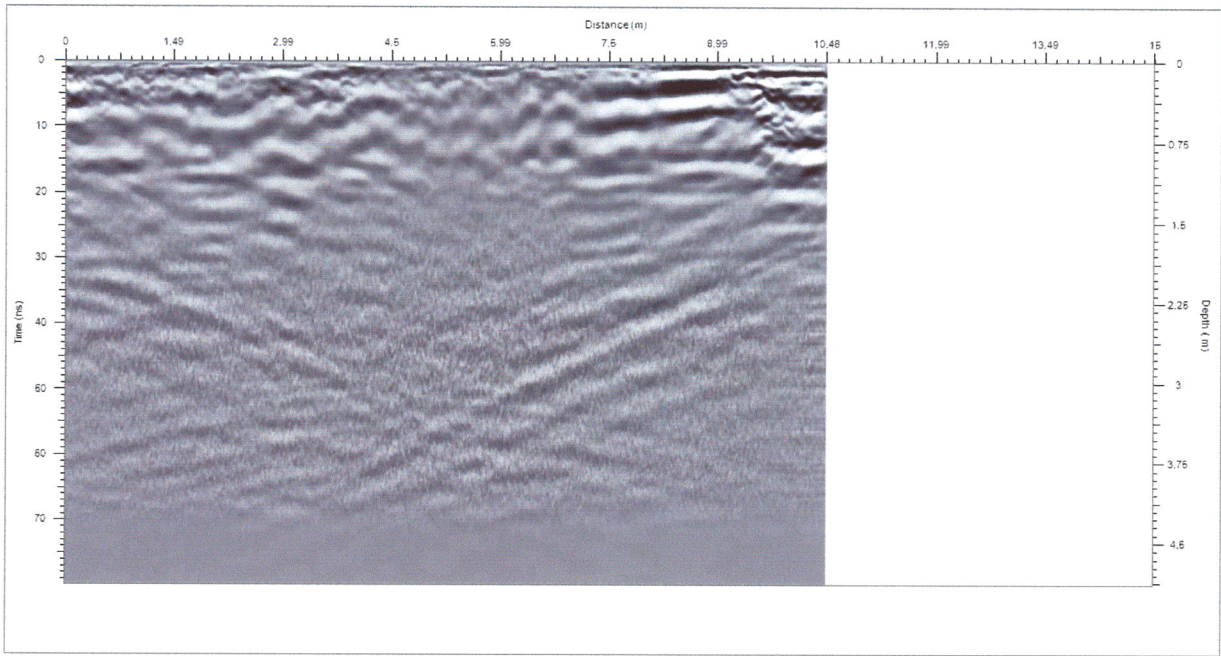
RT4



RT5



RT6



RT7