

INDAGINE GEORADAR
MURATURA ADIACENTE PARETE ROCCIOSA
CASTEL RONCOLO - BOLZANO

Prova n. 960/AA

27 aprile 2011

Committente: **XXXXXXX**

Relatore: **Dott. Riccardo Collorafi**



Castel Roncolo

Rif. 11/10/AA

Bolzano, 6 giugno 2011

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INDAGINI CON GEORADAR.....	4
2.1	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE	4
2.1.1	<i>Metodologia.....</i>	4
2.1.2	<i>Strumentazione</i>	6
2.2	MODALITÀ DI ESECUZIONE.....	6
2.3	ANALISI DEI DATI	8
2.4	RISULTATI DELL'INDAGINE.....	8
2.4.1	<i>Risultati dell'indagine con antenna da 600 MHz.....</i>	8
2.4.2	<i>Risultati dell'indagine con antenna da 400 MHz.....</i>	15
2.5	CONCLUSIONI	16

1 PREMESSA

La società *4 EMME Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove di carico e prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dal **Comune di Bolzano** di eseguire un'indagine georadar su una porzione di parete verticale del **Castel Roncolo** ubicato in via S. Antonio 15 nel comune di Bolzano.

L'indagine è stata eseguita il giorno 27 aprile 2011.

All'esecuzione delle prove hanno assistito:

geom. XXXXXX	XXXXXXXX
geol. XXXXXX	XXXXXXXXXX

e per la *4 EMME Service S.p.A.*
dott. Riccardo Collorafi
ing. Roberto Bruson

Lo scopo dell'indagine era verificare la presenza di eventuali cavità occultate dalla muratura. A tal fine si sono eseguite indagini sulla superficie verticale in una porzione di parete del castello.



Porzione di muratura indagata

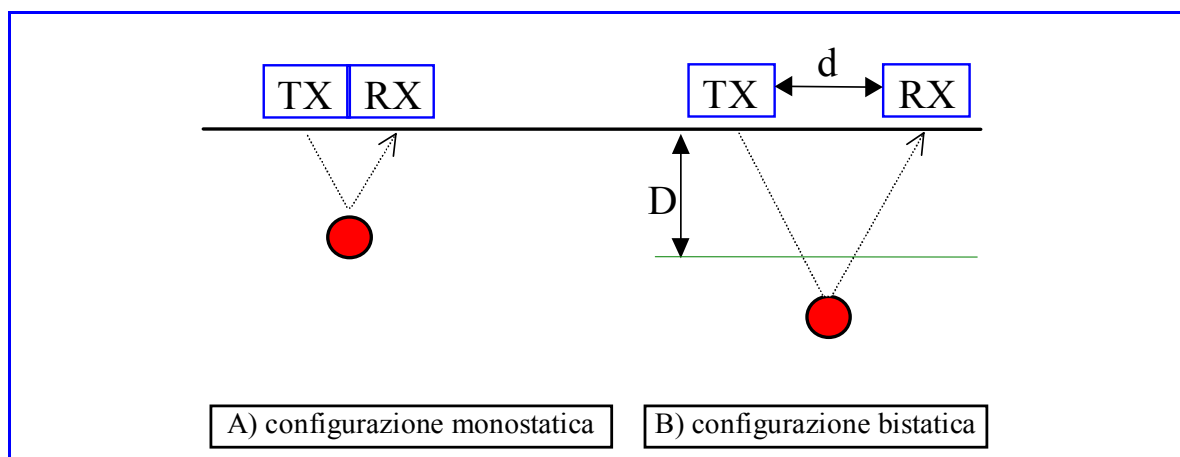
2 INDAGINI CON GEORADAR

2.1 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE

2.1.1 Metodologia

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle 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 il grado di compattazione, la posizione e le caratteristiche di eventuali manufatti sepolti, la presenza di zone umide o di zone non cementate.

Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali riflessi vengono captati in superficie tramite un'antenna ricevente; quest'ultima può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica) o separata da questa di una certa distanza (configurazione bistatica).



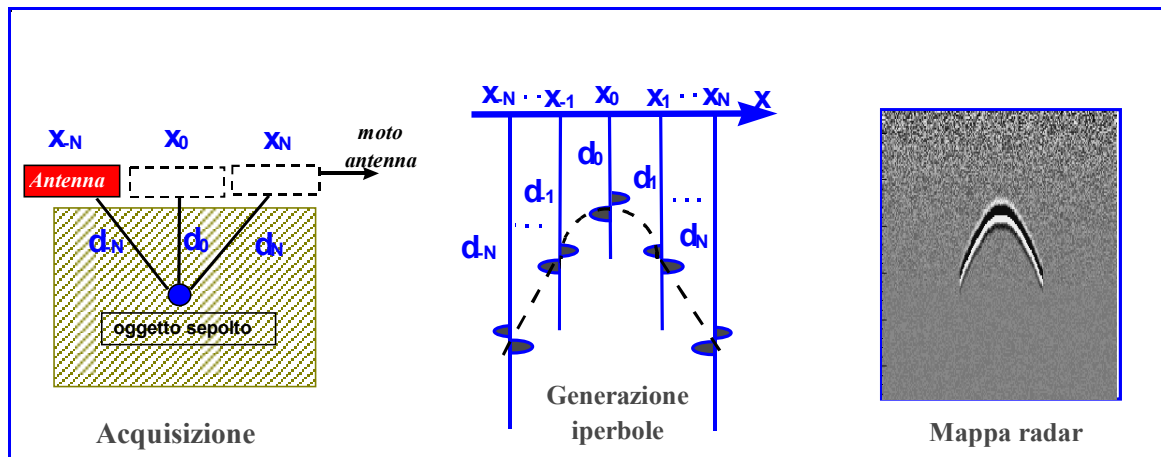
Configurazione delle antenne

La scelta della configurazione, fondata sugli scopi della ricerca, è basata sulla profondità massima dell'indagine e sul livello di dettaglio richiesto. Questi a loro volta contribuiscono alla scelta della frequenza dell'antenna; ad 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 è operata da una o più antenne che vengono fatte scorrere sul materiale 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 al di sotto delle superfici rilevate generano nelle immagini radar ("o

radargrammi”) con caratteristiche forme iperboliche, come illustrato nell’immagine successiva.



Generazione di una mappa radar

I profili, generalmente acquisiti lungo reticoli con direzioni ortogonali a distanze variabili, consentono la ricostruzione dell’andamento dei livelli dotati di differenti caratteristiche elettromagnetiche tramite sezioni verticali radar-stratigrafiche.

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_r)
- conduttività (σ)

Da questi valori è possibile risalire al comportamento del mezzo nei confronti della propagazione delle onde elettromagnetiche.

Un trasmettitore (TX) genera un segnale di tipo impulsivo con una determinata frequenza di ripetizione. La successione di questi impulsi genera un segnale di durata dell’ordine dei nanosecondi che viene irradiato nel mezzo da un’antenna a banda larga.

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.

2.1.2 Strumentazione

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sistema radar RISK20 della "IDS - Ingegneria dei Sistemi S.p.A.", costituito da:

- computer laptop Panasonic Toughbook CF 18;
- unità di controllo antenne DAD K1 a 1 canale, montata su zaino;
- antenna di frequenza adeguata all'indagine;
- ruota metrica montata sull'antenna;
- cavo multipolare;
- batteria montata su zaino.

Il laptop consente tutte le operazioni di calibrazione del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali tempo di registrazione, guadagno e 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 viene inviato alla sezione trasmittente e 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 di indagine. La frequenza di trasmissione viene determinata dalle caratteristiche costruttive dell'antenna stessa e può variare da 14 MHz a oltre 2,5 GHz. La scelta della frequenza è basata sugli scopi di utilizzo dell'apparecchiatura, ad una bassa frequenza corrisponde infatti una 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.

2.2 MODALITÀ DI ESECUZIONE

L'obiettivo dell'indagine è l'individuazione all'interno della parete della presenza di eventuali cavità. A tal fine si è condotta l'indagine dall'esterno avvalendosi dell'ausilio di personale specializzato per lavorazioni in quota per il passaggio delle antenne sulla superficie di indagine. L'unità radar e l'operatore si sono posizionati in prossimità della finestrella prospiciente la zona di prova all'interno dell'edificio, essendo l'unità collegate alle antenne con un cavo di lunghezza adeguata.



Postazione di acquisizione

Le scansioni sono state eseguite sia in senso verticale, sia in senso orizzontale disegnando una griglia avente il passo di 1 m.

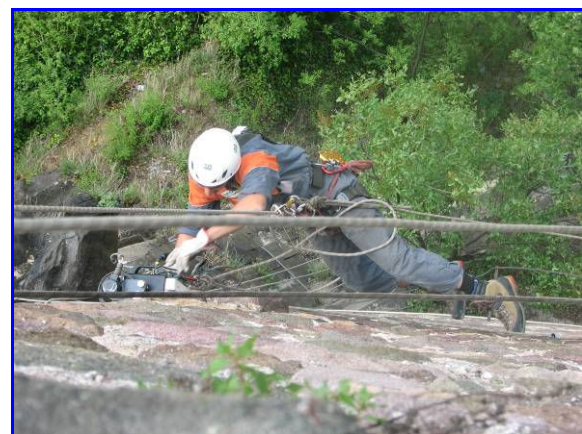
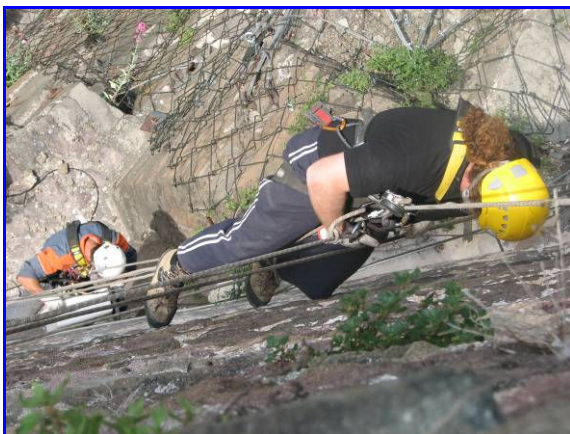
Si è utilizzata dapprima un'antenna da 600 MHz, ritenendo che avesse le caratteristiche ideali per effettuare l'indagine, in quanto buon compromesso tra la risoluzione e la profondità di investigazione. Successivamente si sono eseguite 2 scansioni, L1 ed L2, con antenna da 400 MHz per verificare quanto evidenziato dall'antenna da 600 MHz con differenti parametri.

La velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche utilizzata è stata di **10 cm/ns**. La risoluzione verticale dell'indagine può essere stimata in circa 15 cm per l'antenna da 600 MHz e 25 cm per l'antenna da 400 MHz.

La risoluzione orizzontale è centimetrica anche se ostacoli e asperità possono generare sobbalzi che possono essere origine di imprecisioni. La parete è stata indagata eseguendo scansioni **L** (verticali) e **T** perpendicolari a queste ultime (solamente con antenna da 600 MHz).



Attrezzatura georadar ed antenna da 600 MHz



Scansioni verticali ed orizzontali

2.3 ANALISI DEI DATI

Durante la fase di acquisizione in campagna, vengono applicati dei filtri che consentono una corretta visualizzazione del segnale allo scopo di valutarne immediatamente la bontà. I segnali vengono però salvati privi di qualsiasi filtraggio, per preservare quanto più possibile dettagli spesso non visibili in prima analisi. I parametri ottimali di analisi e visualizzazione vengono definiti nella fase di rielaborazione del segnale.

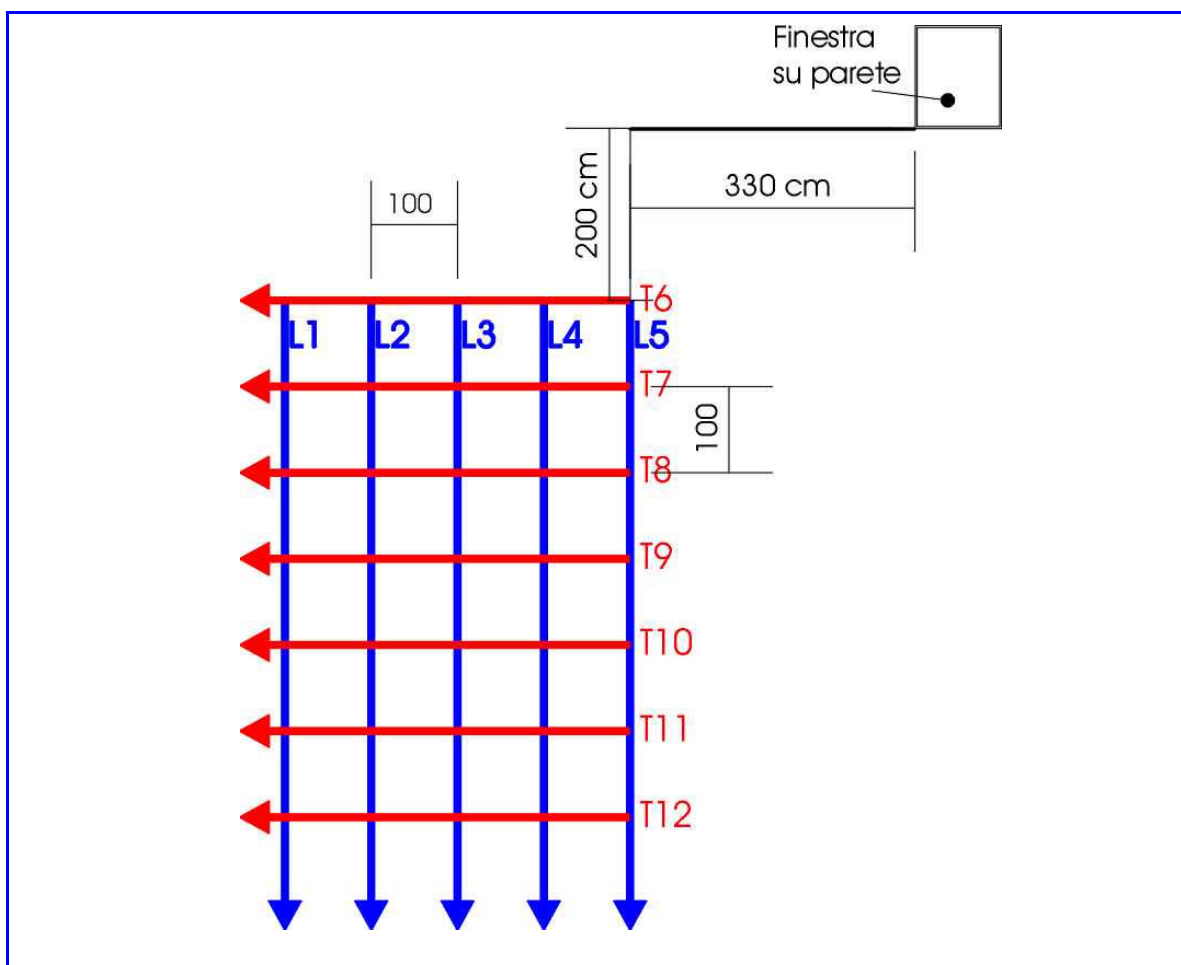
La fase preliminare di elaborazione ha richiesto di determinare le componenti in frequenza proprie del segnale e quelle dovute al rumore, al fine di eliminare dai dati le informazioni non utili. Al segnale è stato inoltre applicato un guadagno per aumentare l'intensità alle profondità di interesse.

L'interpretazione dei segnali ha dovuto tener conto delle riflessioni generate da disturbi generati dai sobbalzi che l'antenna subiva in corrispondenza delle irregolarità della muratura e da ostacoli incontrati.

2.4 RISULTATI DELL'INDAGINE

2.4.1 Antenna da 600 MHz

Di seguito sono visibili i tracciati dell'antenna da 600 MHz sulla parete del castello.



Schema parete castello con percorsi antenna da 600 MHz

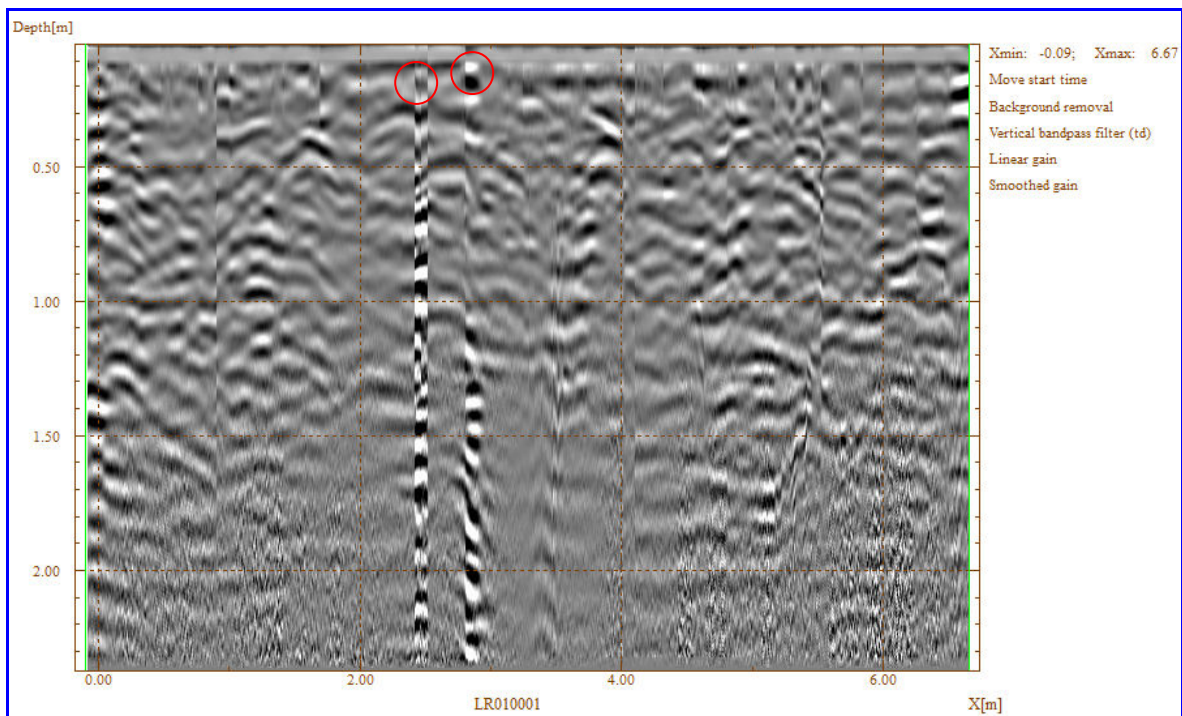


Fig. 1: Radargramma scansione L1

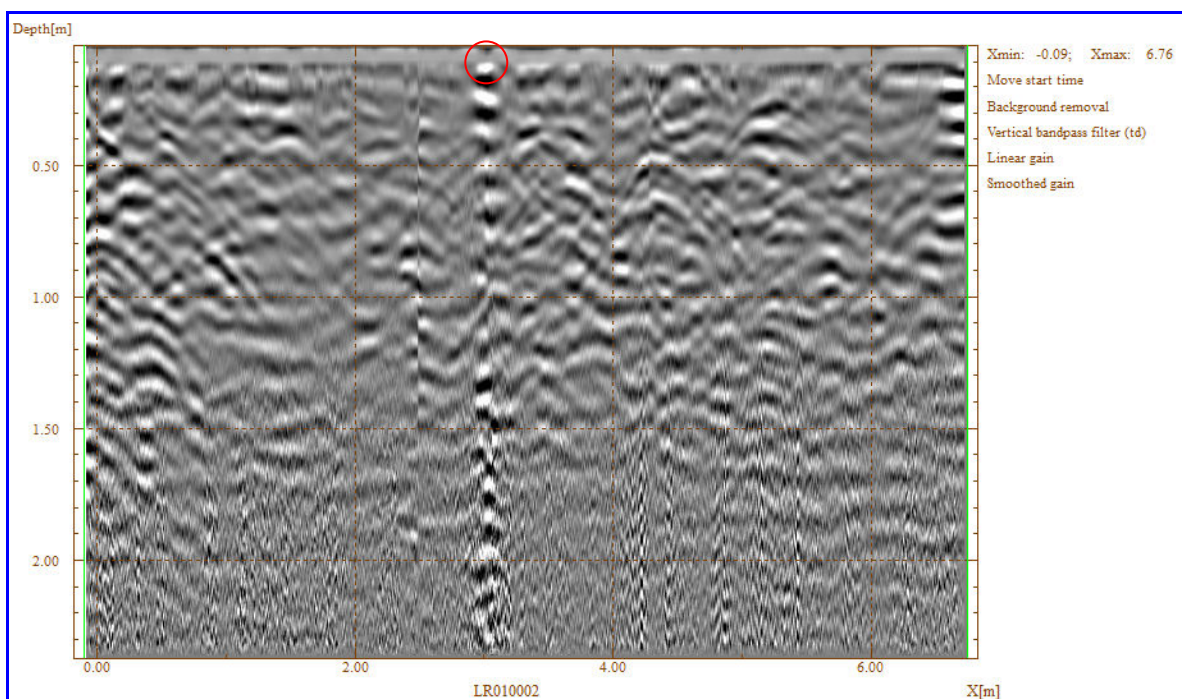


Fig. 2: Radargramma L2

I radar grammi e L1 e L2 evidenziano due disturbi superficiali (circoli in rosso) che si ritrovano anche nelle altre scansioni verticali.

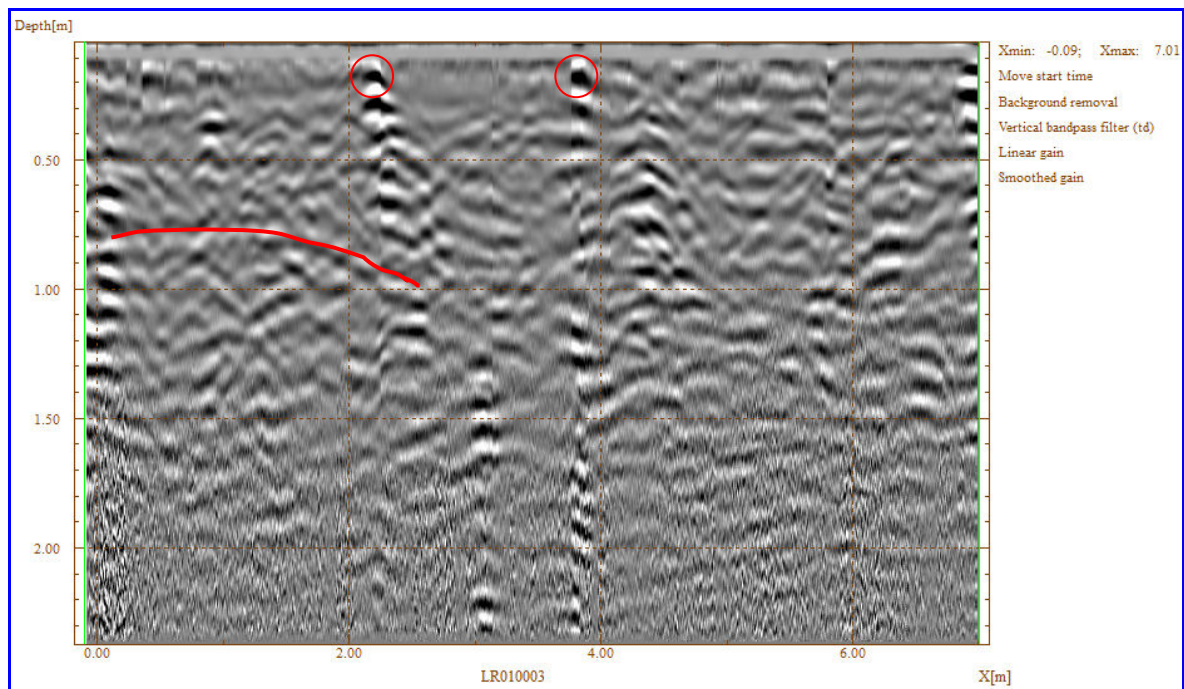


Fig. 3: Radargramma L3

La linea in rosso evidenzia una possibile superficie sub orizzontale a 80 - 90 cm di profondità

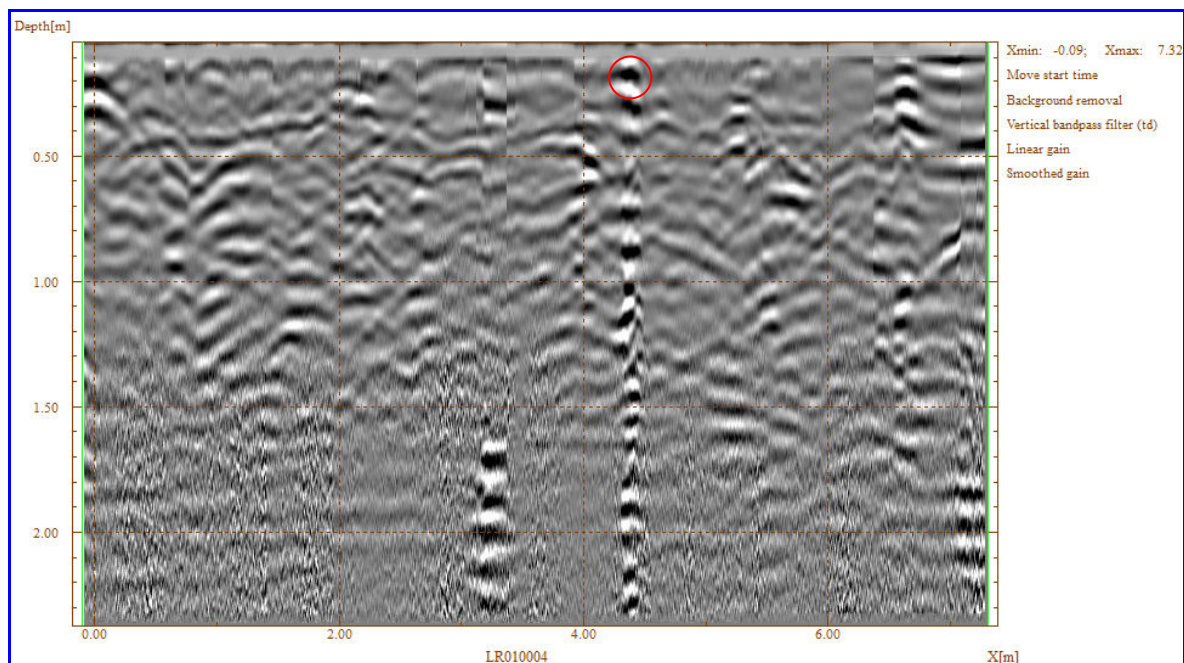


Fig. 4: Radargramma L4

Il radargramma di fig. 5 riporta la scansione L5; nell'ovale si evidenzia un'anomalia puntiforme subsuperficiale ($\cong 30$ cm di profondità).

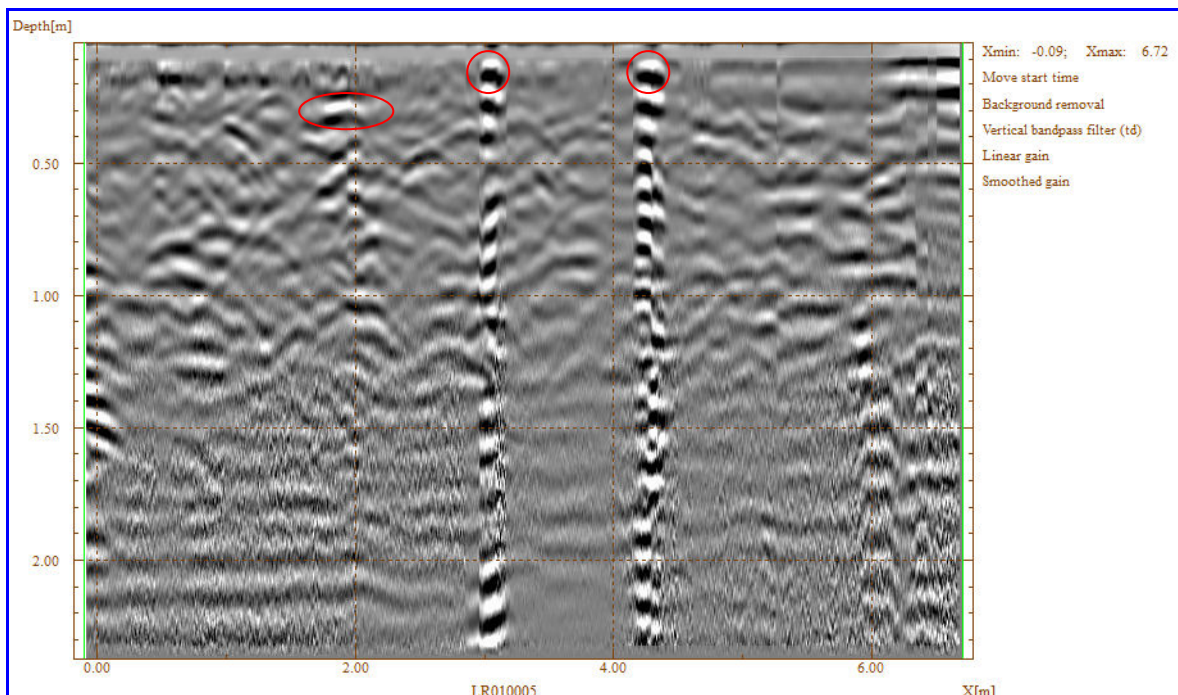


Fig. 5: Radargramma L5

Le scansioni riportate non hanno evidenziato nessuna anomalia del segnale riconducibile a una cavità. La capacità di penetrazione del segnale si spinge fino a circa 1,5 m di profondità.

Nelle figure 6 - 12 si riportano le scansioni orizzontali T.

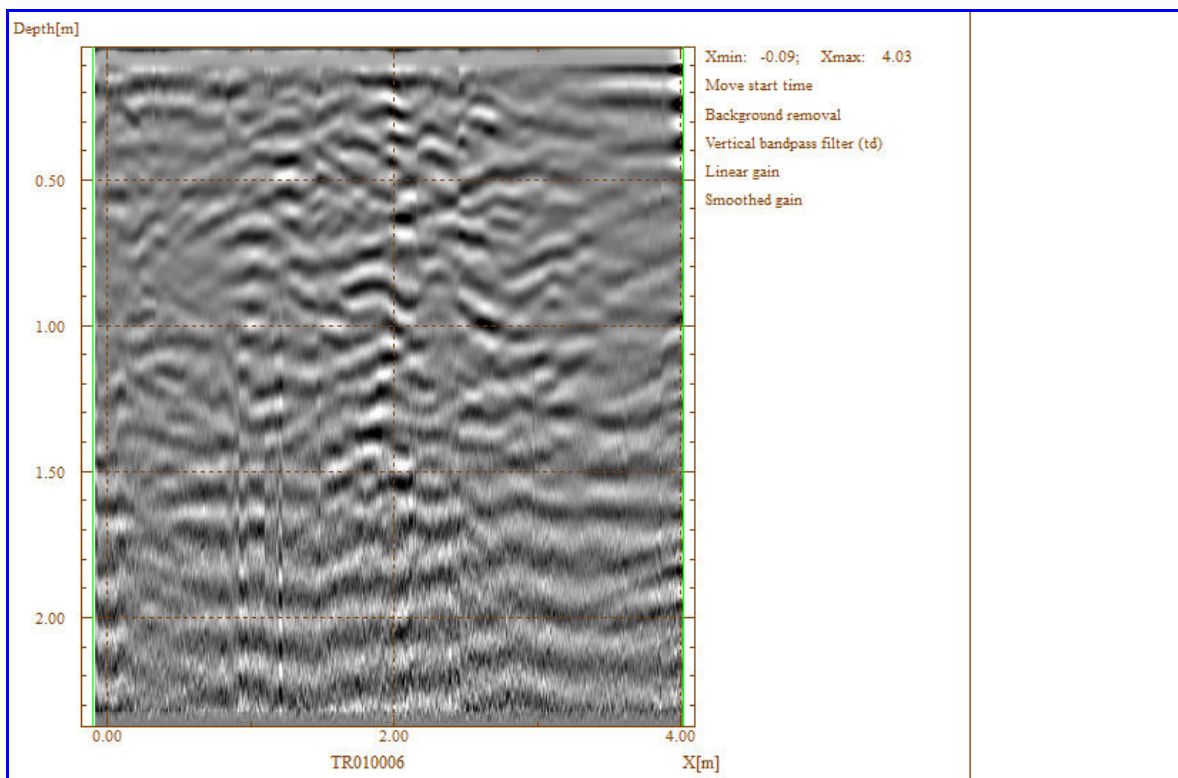


Fig. 6: Radargramma T6

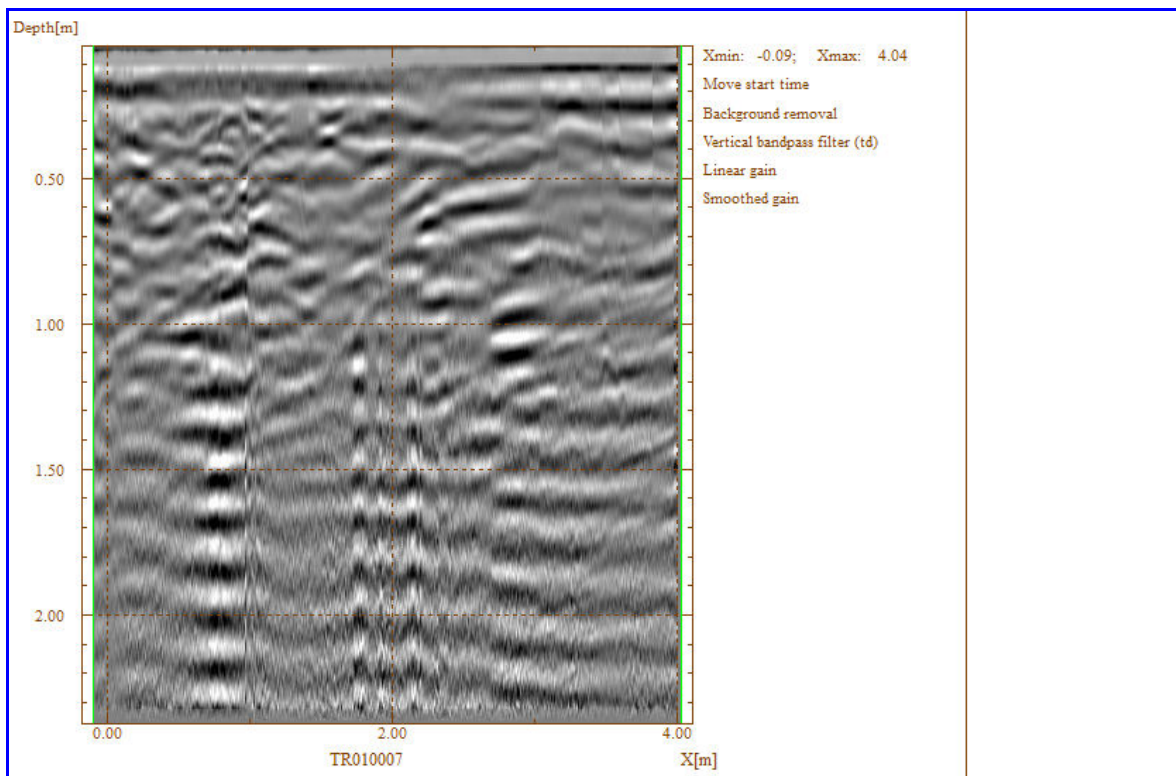


Fig. 7: Radargramma T7

I radargrammi di fig. 6 e 7 non evidenziano nessun segnale particolare, mentre nel T8 si nota un'anomalia localizzata a $\cong 30$ cm di profondità..

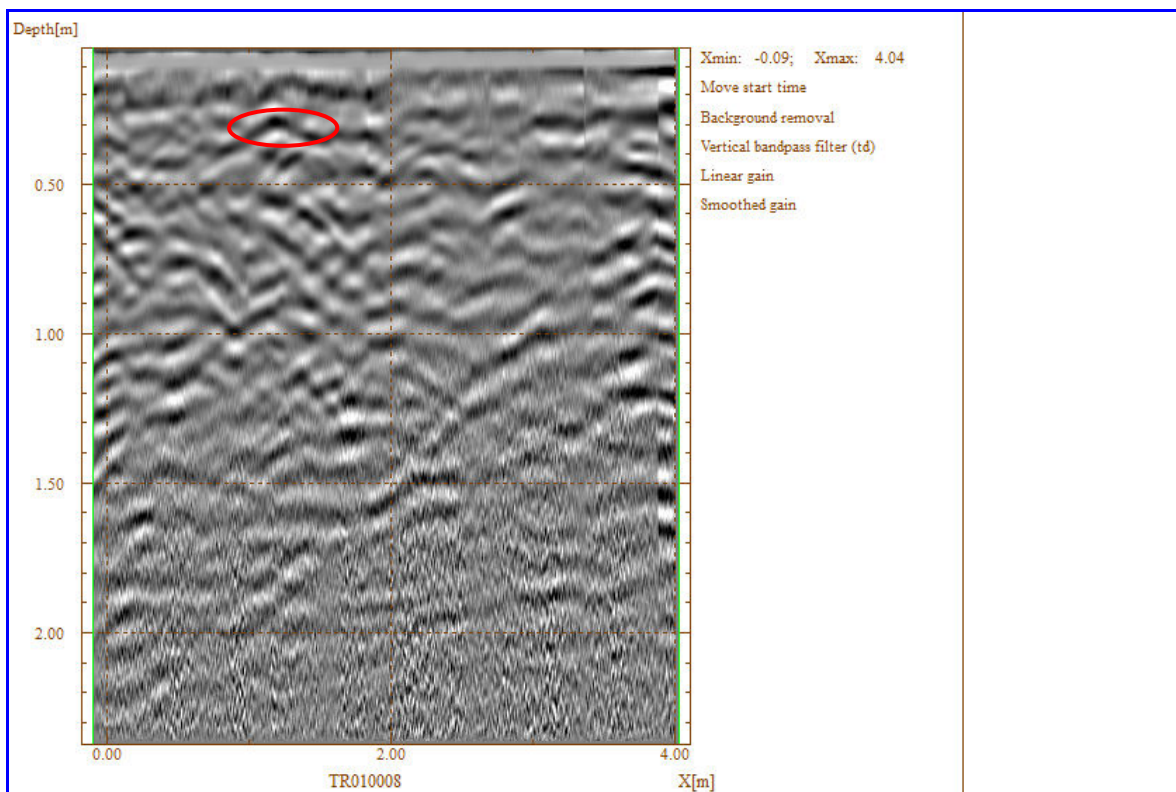


Fig. 8: Radargramma T8

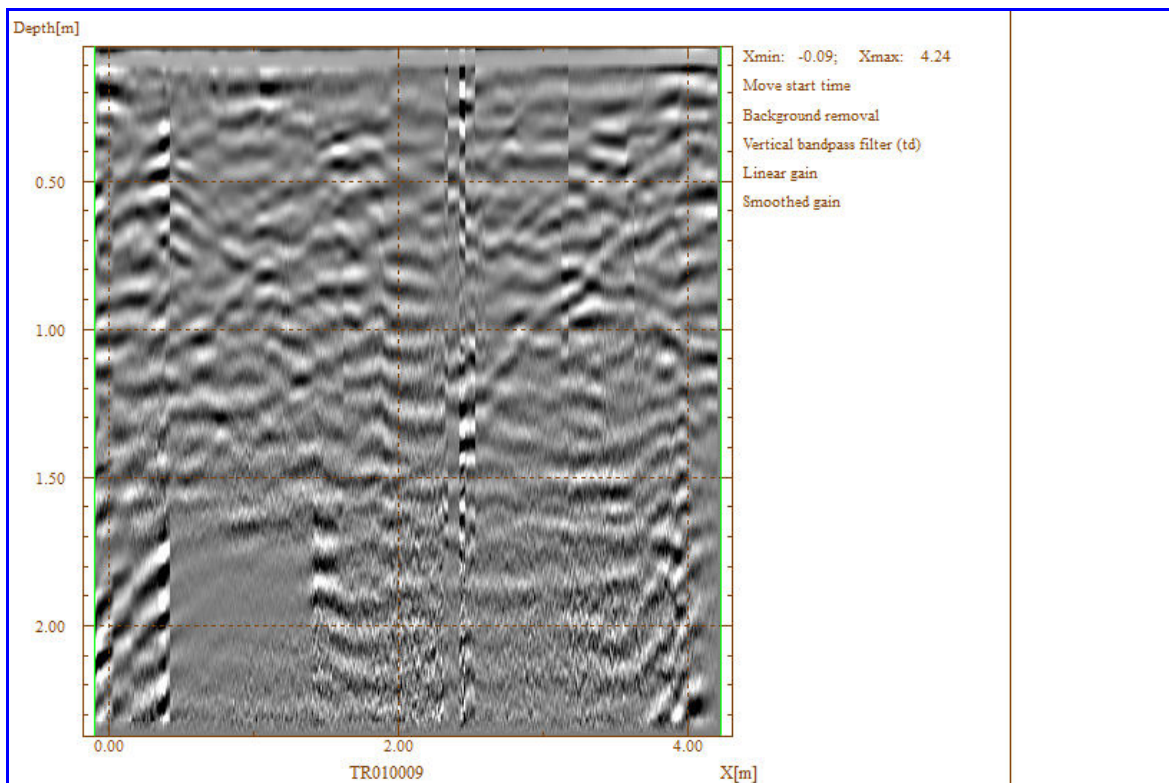


Fig. 9: Radargramma T9

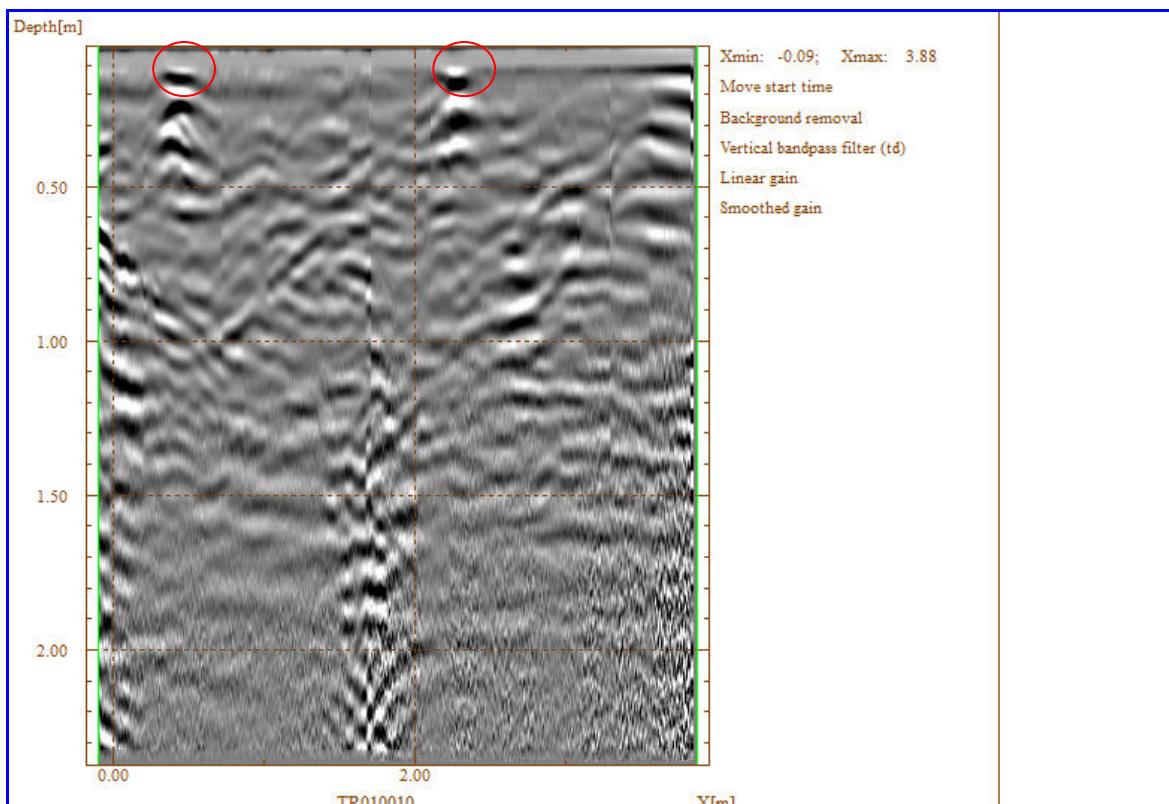


Fig. 10: Radargramma T10

In T10 si notano due anomalie superficiali dovute a ostacoli incontrati dall'antenna.

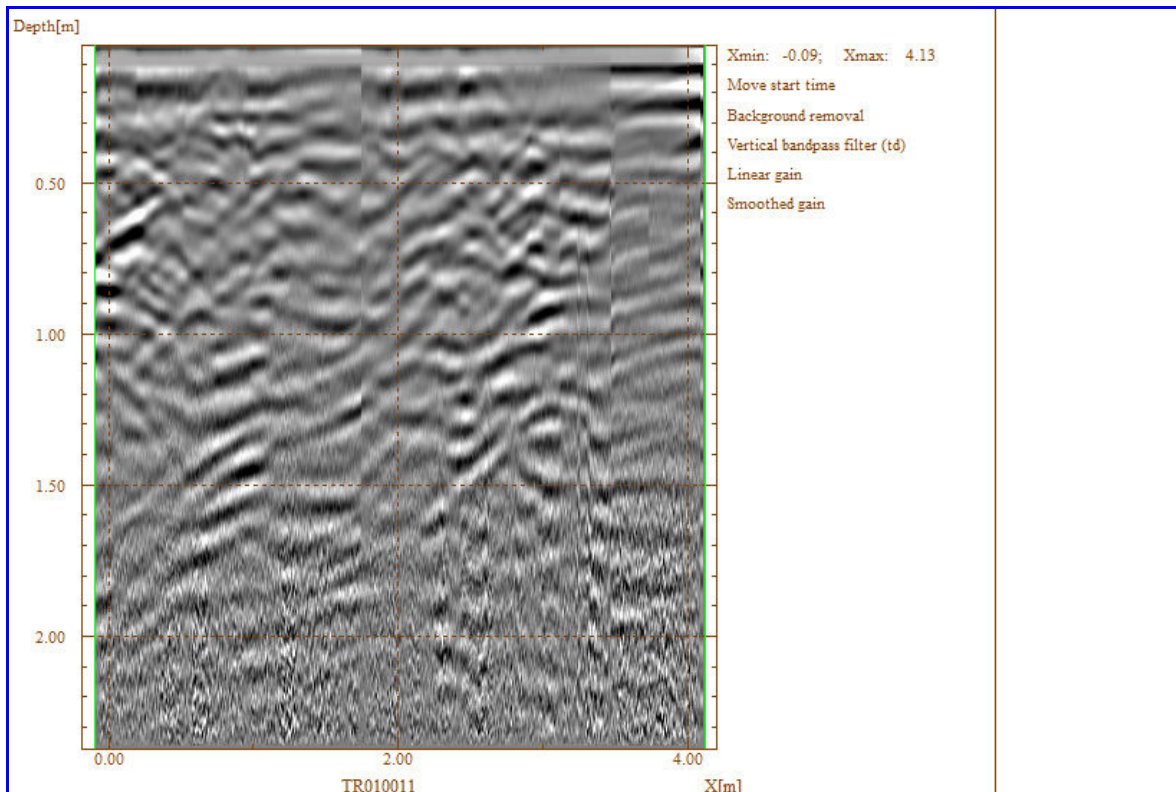


Fig. 11: Radargramma T11

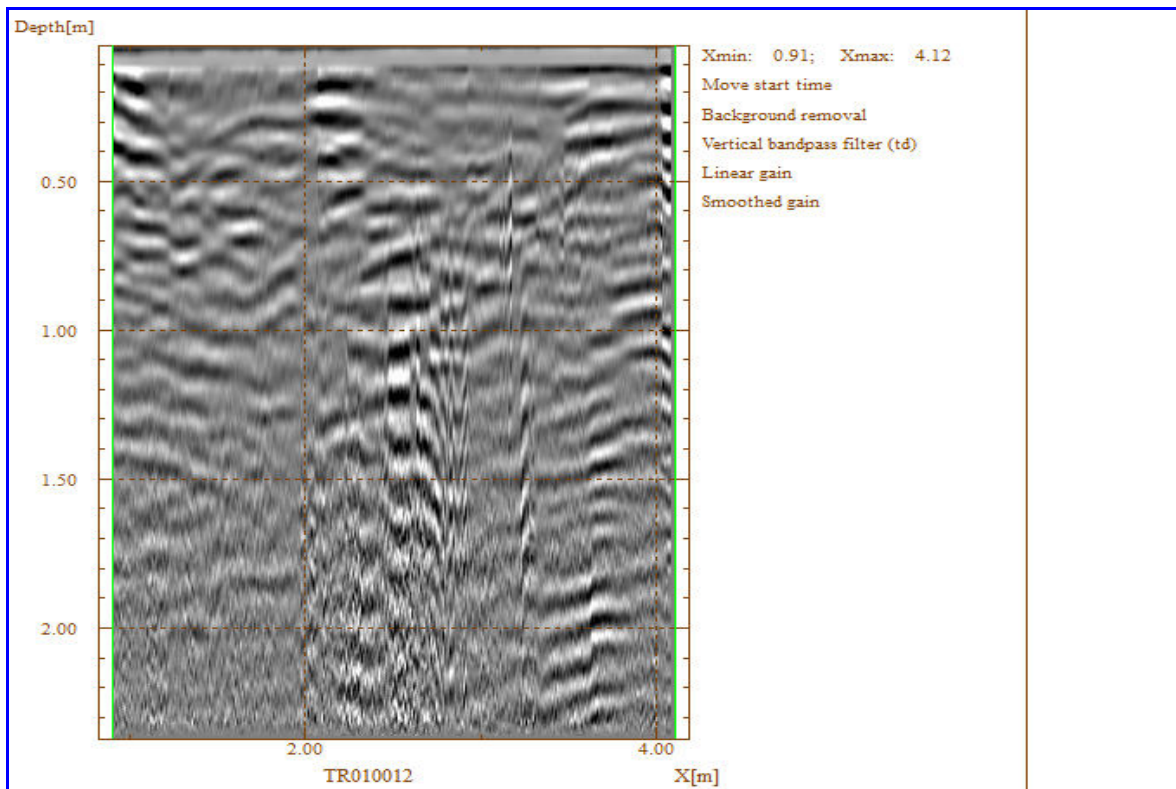


Fig. 12: Radargramma T12

2.4.2 Risultati dell'indagine con antenna da 400 MHz

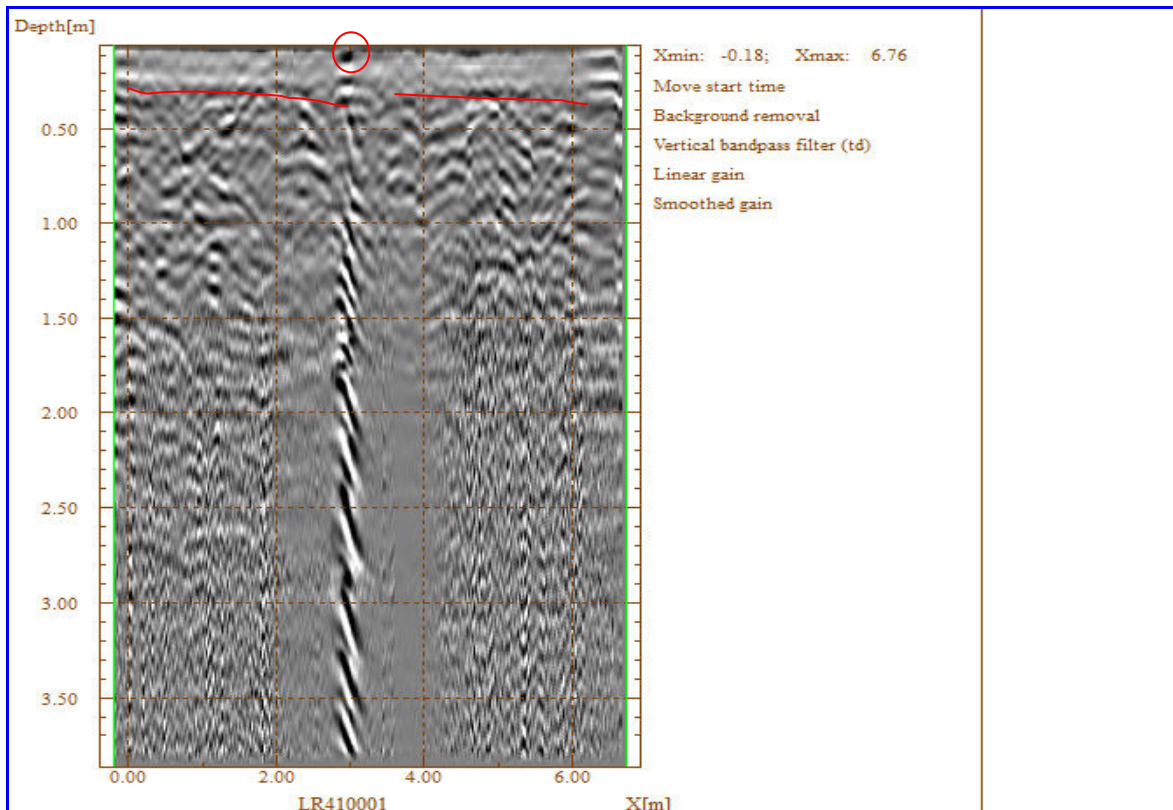


Fig. 13: Radargramma L1 con antenna da 400 MHz

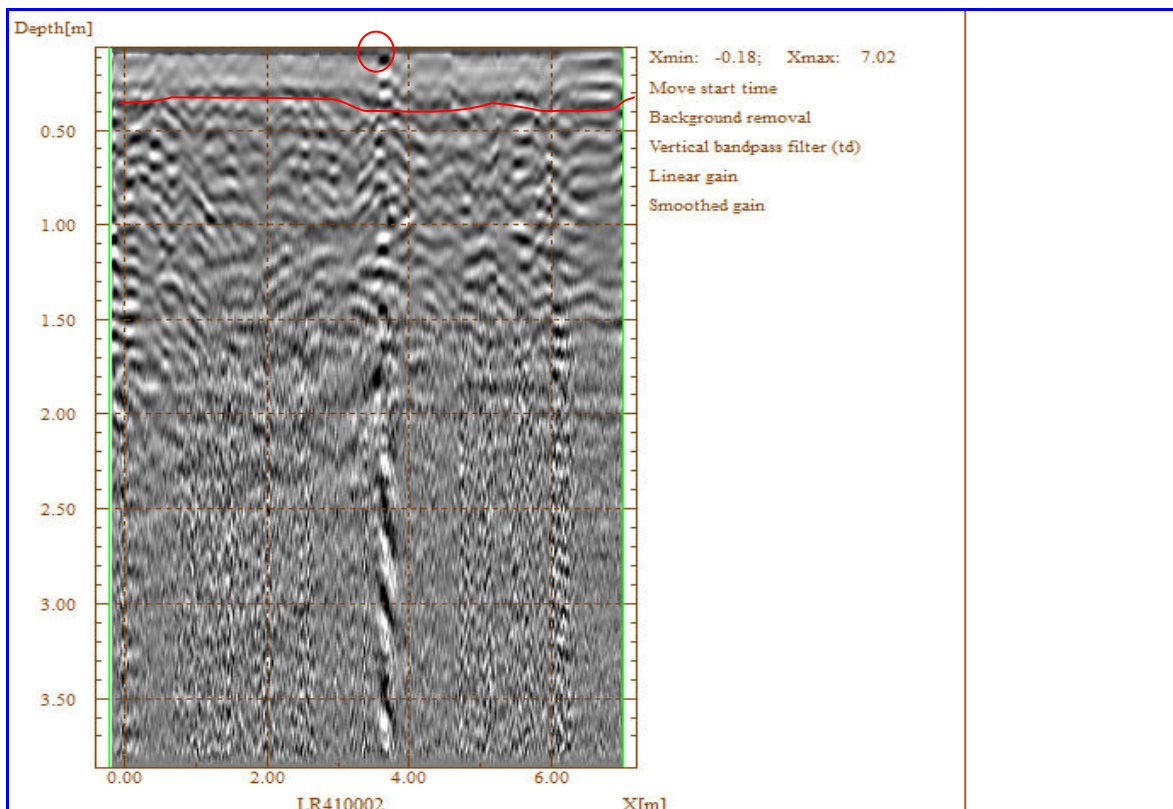


Fig. 14: Radargramma L2 con antenna da 400 MHz

I radargrammi eseguiti con antenna da 400 MHz evidenziano una profondità di indagine che si spinge fino a circa 1,5 - 2 m; è visibile una superficie sub orizzontale di circa 30 – 35 cm di spessore, evidenziata in fig. 13 e 14 con una linea rossa, non visibile con le scansioni effettuate con antenna a frequenza più elevata. Cerchiate in rosso, sono invece le anomalie superficiali dovute all'incontro di ostacoli superficiali.

2.5 CONCLUSIONI

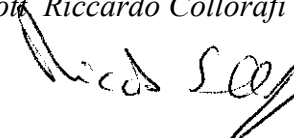
Le indagini hanno evidenziato che sulla superficie indagata non sono presenti segnali direttamente correlabili alla presenza di cavità all'interno della struttura esaminata. Si sono comunque rilevate alcune anomalie puntiformi, non direttamente indicazione di strutture o difettologie tipiche. Vi è anche da sottolineare che la difficoltà di esecuzione dell'indagine con conseguenti sobbalzi delle antenne può aver introdotto localmente dei disturbi.

Bolzano, 6 giugno 2011

4EMME Service S.p.A.

Il Relatore:

dott. Riccardo Collorafi



Relazione revisionata da:

ing. Roberto Bruson

