

INDAGINI GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DI STRUTTURE ARCHEOLOGICHE PRESSO LA VILLA DEL CASALE DI PIAZZA ARMERINA (EN)

IL DIRETTORE

DOTT.SSA COSTANZA MILIANI

IL RESPONSABILE SCIENTIFICO

DR GIOVANNI LEUCCI

LUGLIO 2022



PREMESSA

Con riferimento al progetto ArchLABS con responsabile la Prof.ssa Isabella Baldini (call E-RIHS di accesso a MOLAB del 02/12/2021 chiusa il 28/02/2022 e con notifica per l'accesso alla user del 06/06/2022) si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'indagine geofisica.

Le indagini sono state realizzate mediante metodologie non distruttive con apparecchiature in dotazione al Laboratorio di Geofisica Applicata ai Beni Archeologici e Monumentali della sede ISPC - CNR di Lecce.

Allo scopo di individuare strutture di interesse archeologico eventualmente presenti all'interno dell'area indagata, sono state impiegate le metodologie di indagine geofisica denominate georadar e magnetometrica, quest'ultima in configurazione gradiometrica. È stato inoltre utilizzata una stazione GPS (differenziale) per la georeferenziazione dei risultati.

Sono stati impiegati il GPR Impulsato Hi Mod (IDS) dotato di antenne da 200MHz e 600MHz ed il gradiometro magnetico GRAD601.

Le indagini geofisiche sono state effettuate in data 19/07/2022, sotto il coordinamento del Dott. Giovanni Leucci. Le indagini sul campo sono state realizzate dal Dr Giovanni Leucci, dalla Dott.ssa Lara De Giorgi, dal Dott. Ivan ferrari, dal Dott. Francesco Giuri e dalla Dott.ssa Chiara Torre. Le elaborazioni dei dati geofisici sono a cura del Dott. Giovanni Leucci con la collaborazione della Dott.ssa Lara De Giorgi e le restituzioni cartografiche sono a cura dei Dott. Francesco Giuri e Dott. Ivan Ferrari. L'interpretazione dei dati è stata effettuata integrando le differenti competenze, sia geofisiche (Dott. Giovanni Leucci, Dott.ssa Lara De Giorgi) che archeologiche (Dott. Francesco Giuri e Dott. Ivan Ferrari).



1. PROSPEZIONI GEORADAR

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato il georadar impulsato RIS HI Mod dell'IDS, in dotazione al Laboratorio di Geofisica per l'Archeologia ed i Beni Monumentali dell'ISPC-CNR di Lecce. Esso è equipaggiato con un antenna "dual band" a frequenze centrali nominali di 200 MHz e 600 MHz. Per la elaborazione dei dati è stato utilizzato il software GPRSLICE.

La fase di elaborazione ed interpretazione dati è principalmente basata sull'individuazione di riflettori, sul calcolo della loro posizione in profondità e delle loro dimensioni. Essa è generalmente preceduta da un processing durante il quale una serie di filtri, applicata ai dati, consente il miglioramento del rapporto segnale/rumore. Successivamente, tenendo in considerazione gli scopi dell'indagine, ogni profilo viene trattato in modo da mettere in maggior risalto le informazioni richieste.

In caso quindi di indagini finalizzate all'individuazione di target di piccole dimensioni, i dati verranno filtrati in modo da rimuovere le riflessioni a profondità costante evidenziando principalmente le variazioni laterali del segnale. Una volta ottenuta la sezione radar relativa ad ogni profilo, viene effettuata la sua conversione dalla scala verticale dei tempi alla scala delle profondità. Quest'ultima fase richiede la stima della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche che può essere effettuata utilizzando il metodo delle riflessioni da punto sorgente. Questo è un metodo veloce per la stima della velocità e si basa sul fenomeno che un piccolo oggetto riflette le onde radar in quasi tutte le direzioni. La riflessione avrà forma di iperbole. La forma dell'iperbole è governata dalla velocità dell'onda elettromagnetica nel terreno e dalla geometria dell'oggetto sepolto. L'inclinazione dei suoi asintoti è una funzione solo della velocità media. Il tempo di viaggio al suo vertice è funzione sia della profondità dell'oggetto che della velocità dell'onda nel terreno.

Di seguito sono elencati i passi del "processing" applicato ai dati:

1) rimozione della traccia media: questo tipo di filtro permette la rimozione della banda orizzontale visibile nelle sezioni radar, che può rappresentare riflessioni da oggetti che si mantengono a distanza costante dall'antenna. L'algoritmo, basandosi su un semplice processo aritmetico, che somma tutte le ampiezze delle riflessioni generate allo stesso tempo lungo il profilo e divide per il numero delle tracce sommate, permette di rimuovere la traccia media e di esaltare, così, gli eventi non orizzontali presenti nelle sezioni radar;

2) normalizzazione dell'ampiezza (declipping): per eliminare locali saturazioni nell'ampiezza

delle tracce. Si sceglie un fattore di scala (0.6 nel nostro caso) per il quale saranno moltiplicati tutti i valori dell'ampiezza: una procedura di interpolazione che utilizza un polinomio di terzo ordine permetterà la ricostruzione delle forme d'onda saturate;

3) migrazione: una tecnica che permette di eliminare distorsioni introdotte nei dati registrati. Una sezione GPR non contiene informazioni unidirezionali a causa del lobo conico di radiazione dell'energia per cui alcune riflessioni presenti possono essere generate anche da oggetti posti lateralmente rispetto alla posizione dell'antenna. Questo carattere multidirezionale della registrazione delle riflessioni GPR si manifesta nella generazione di iperboli che possono causare seri problemi nell'interpretazione. La migrazione risolve questo problema di immagine riportando l'energia al suo vero punto di riflessione;

4) filtro passa basso: consente di eliminare la componente di rumore ad alta frequenza (effetto nebbia) presente nelle sezioni radar.

La planimetria dei profili ha consentito di correlare spazialmente, in modo 3D, le anomalie presenti su ciascuna sezione utilizzando l'analisi dell'ampiezza degli eventi riflessi entro assegnati intervalli di tempo (time slices o depth slices) (Fig. 1).

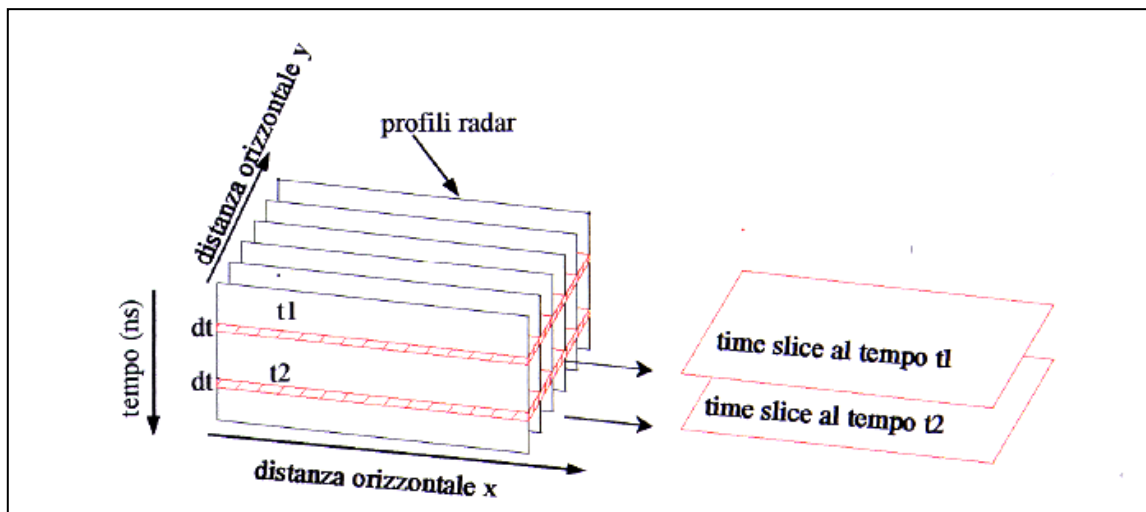


Figura 1: schema di costruzione delle time slices (o depth slices); l'ampiezza visualizzata nelle time slices rappresenta la media dei quadrati delle ampiezze degli eventi riflessi nella finestra temporale dt .



Come è noto, l'ampiezza degli eventi riflessi è direttamente correlabile con il contrasto tra le caratteristiche elettromagnetiche dei mezzi presenti nel sottosuolo, pertanto la visualizzazione tridimensionale, per intervalli di ampiezza, della distribuzione degli eventi riflessi consente la localizzazione spaziale delle strutture che determinano le riflessioni stesse. Ogni time slice corrisponde ad uno strato di terreno la cui profondità ed il cui spessore dipendono, oltre che dai valori assunti per il tempo, dalla velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel sottosuolo. Pertanto la visualizzazione in termini di time slices può essere considerata una sorta di scavo virtuale che consente di evidenziare le strutture presenti a varie profondità.

Il tipo di analisi precedentemente descritto applicato alle aree in studio ha dato risultati soddisfacenti. Il colore blu indica debole ampiezza del segnale riflesso (sottosuolo costituito da materiale sostanzialmente omogeneo); i colori dal celeste al rosso più intenso indicano ampiezze via via crescenti del segnale riflesso e quindi presenza di discontinuità elettromagnetiche significative. Le variazioni di ampiezza (quindi di colore) in una stessa slice sono indice di variazioni orizzontali nelle caratteristiche elettromagnetiche del terreno.

I dati sono stati raccolti come di prassi lungo linee parallele fra loro, equi distanziate. Il passo di misura è stato dell'ordine di 0,2 cm (automaticamente dettato dall'odometro di cui è dotato il sistema), mentre il passo interlinea è stato scelto dell'ordine di 0,5 m.

Questo tipo di acquisizione ha consentito di ricostruire in modo 3D le strutture presenti nel sottosuolo anche attraverso la realizzazione delle isosuperfici di ampiezza. In questo caso le "anomalie" sono state visualizzate in modo 3D ed inserite in uno scavo virtuale che consente di evidenziarne la loro distribuzione spaziale.

1.1 RISULTATI

Le misure georadar sono state eseguite nelle aree denominate rispettivamente 1, 2 e 3 (Fig. 2).



Fig. 2 - Ubicazione delle aree indagate.

Tutti i profili sono stati acquisiti con 512 campioni/traccia; gli altri parametri di acquisizione sono stati ottimizzati in loco e tenuti costanti per tutti i profili di ciascun rilievo.

Per tentare di eliminare una componente di rumore dovuta alla irregolarità del terreno e consentire la interpretazione dei dati stessi, è stata realizzata un'elaborazione i cui passi sono sopra elencati.

Le caratteristiche elettromagnetiche dei materiali presenti nel sottosuolo hanno influenzato la profondità di indagine che è risultata essere di circa 2,50 m per l'antenna da 600MHz e di circa 4,90 m per quella da 200MHz.

1.1.1 AREA 1

L'area 1 ha dimensioni di 18 m x 40 m. In essa sono stati acquisiti profili paralleli ad un passo

di 0,5 m. La planimetria dei profili ha consentito l'analisi attraverso le depth slices (Fig. 3).

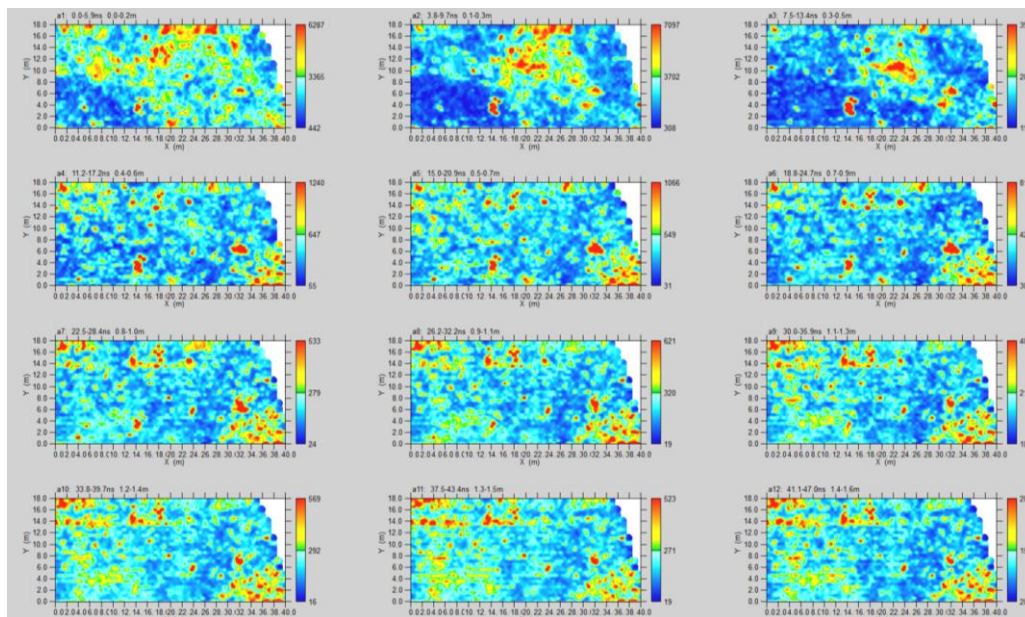
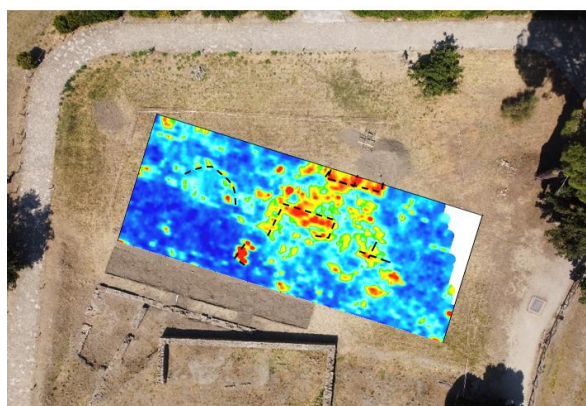
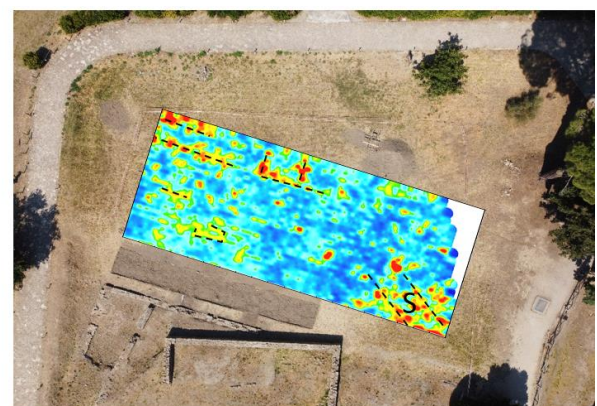


Fig. 3 – Area 1: depth slices 0.0-1.6 m di profondità.

Già a pochi metri di profondità (0,3 – 0,5 m) si distinguono chiaramente alcune anomalie principali (linee nere tratteggiate in Fig. 4), riferibili, a probabili strutture murarie. Mentre sempre in Fig. 4, a profondità comprese tra 0.9 e 1.2m) con S viene indicata la probabile presenza di una strada. Sempre a profondità comprese tra 0.9 e 1.2m si evidenzia la probabile presenza di altre strutture murarie (linee nere tratteggiate).



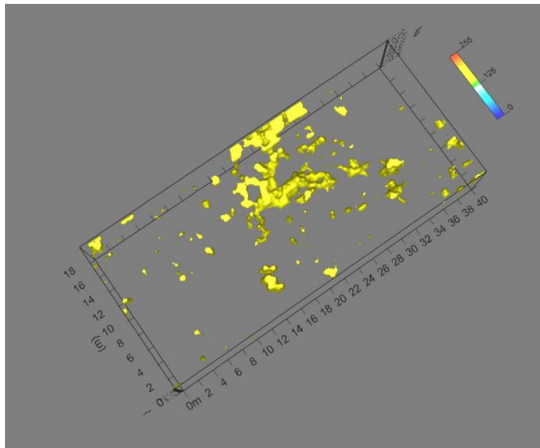
0.3-0.5m



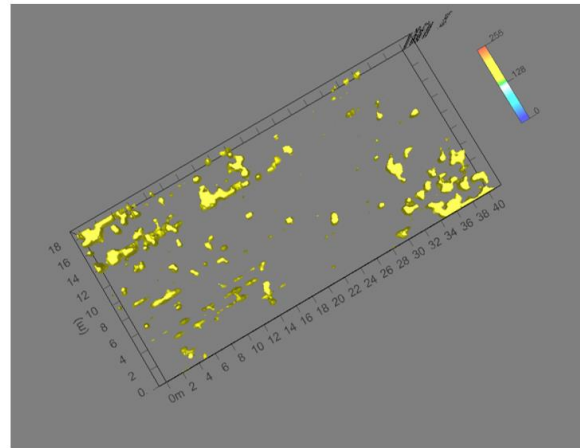
0.9-1.2m

Fig. 4 – Area 1: depth slices sovrapposte alla foto da drone (antenna da 600MHz): le linee nere tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico. S indica la probabile presenza di una strada.

La visualizzazione 3D tramite le isosuperfici di ampiezza (Fig. 5) individua meglio (in modo 3D) le probabili strutture di interesse archeologico, mentre lo scavo virtuale (Fig. 6) le posiziona spazialmente all'interno dell'area indagata.



0.3-0.5m



0.9-1.2m

Fig. 5 – Area 1: isosuperfici di ampiezza



0.3-0.5m



0.9-1.2m

Fig. 6 – Area 1: scavo virtuale con isosuperfici di ampiezza (antenna da 600MHz): le linee nere e bianche tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico.

1.1.2 AREA 2

L'area 2 ha dimensioni di 30 m x 30 m. In essa sono stati acquisiti profili paralleli ad un passo di 0,5 m. Anche in questo caso la planimetria dei profili ha consentito l'analisi attraverso le depth slices (Fig. 7).

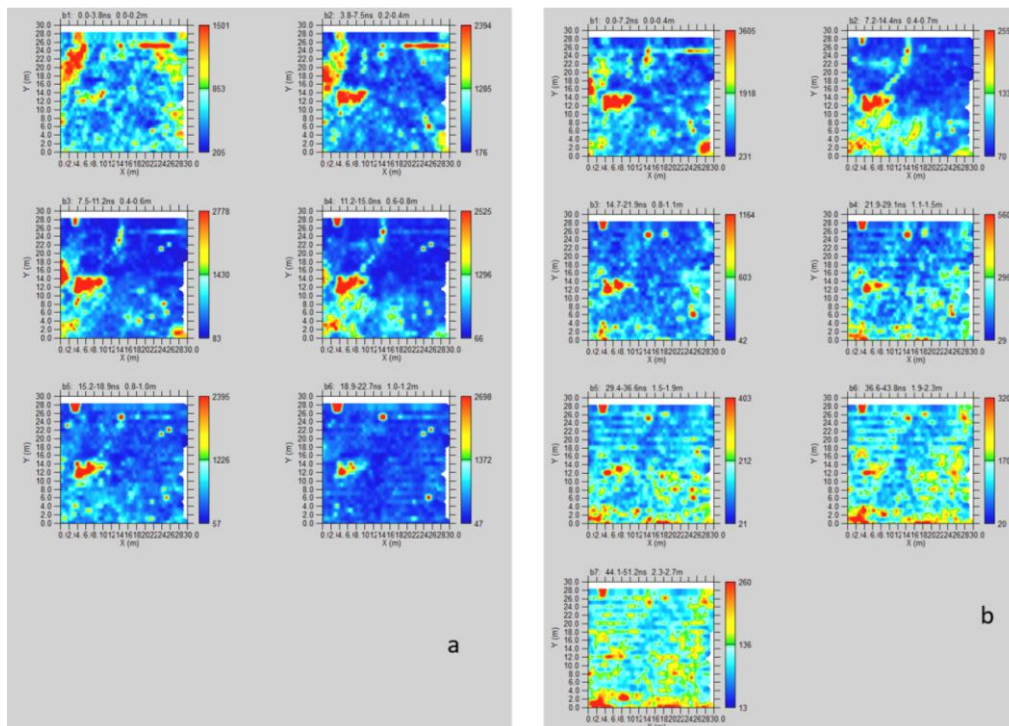


Fig. 7 – Area 2: depth slices: a) antenna da 600MHz 0,0-1,2 m di profondità; b) antenna da 200MHz 0,0-2,7m di profondità.

Alla profondità compresa tra 0,6 m e 0,8 m si distinguono chiaramente alcune anomalie principali (linee nere tratteggiate in Fig. 8), riferibili, a probabili strutture murarie. Mentre sempre in Fig. 8 a profondità maggiori (1,1-1,5 m e 2,3-2,7 m) le strutture murarie si intensificano.

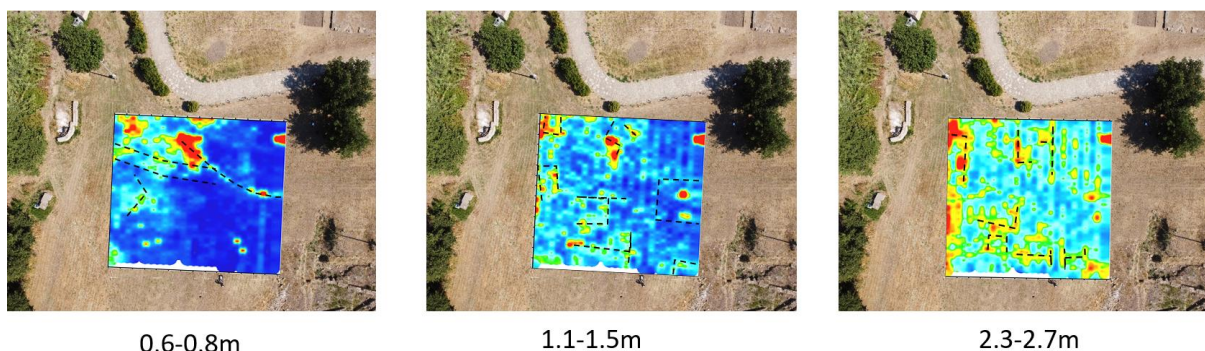
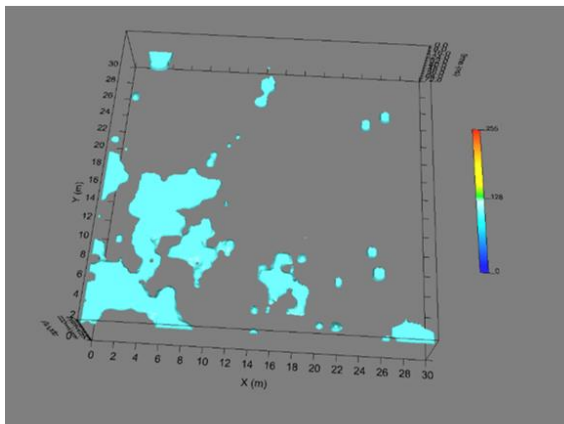


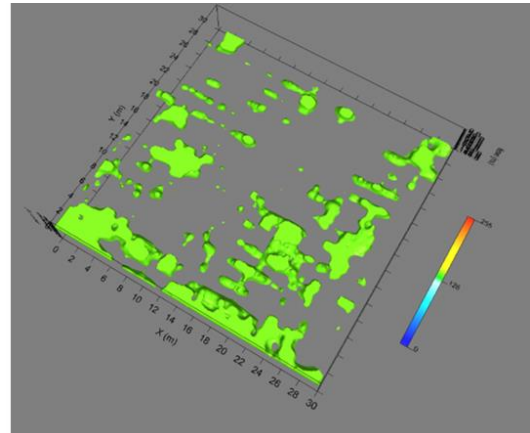
Fig. 8 – Area 2: depth slices sovrapposte alla foto da drone (antenna da 600MHz): le linee nere tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico.

La visualizzazione 3D tramite le isosuperfici di ampiezza (Fig. 9) individua meglio (in modo 3D) le probabili strutture di interesse archeologico, mentre lo scavo virtuale (Fig. 10) le

posiziona spazialmente all'interno dell'area indagata.

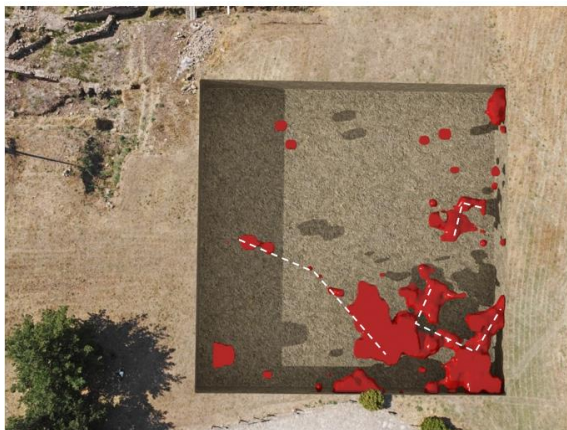


0.6-0.8m



2.3-2.7m

Fig. 9 – Area 2: isosuperfici di ampiezza



0.6-0.8m



2.3-2.7m

Fig. 10 – Area 2: scavo virtuale con isosuperfici di ampiezza (antenna da 600MHz): le linee nere e bianche tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico.

1.1.3 AREA 3

L'area 3 ha dimensioni di 2 m x 65 m. In essa sono stati acquisiti profili paralleli ad un passo di 0,5 m. Anche in questo caso l'analisi dei dati attraverso le depth slices (Fig. 11) ha dato ottimi risultati.

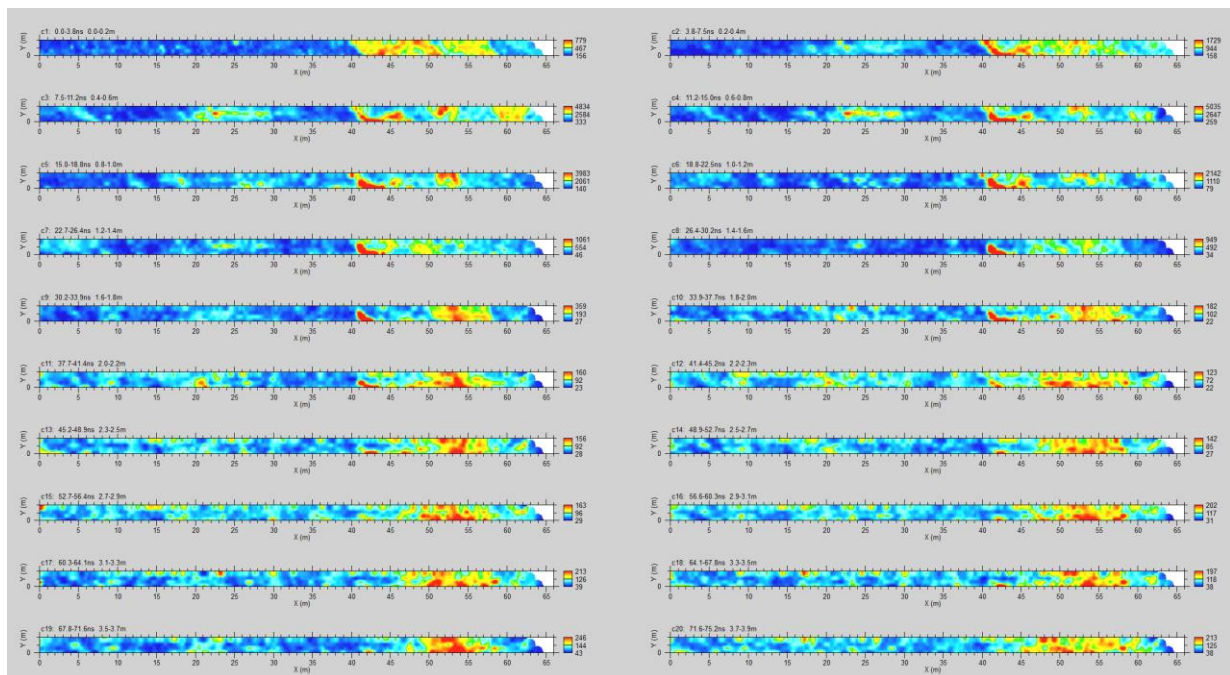


Fig. 11 – Area 3: depth slices 0,0-3,9 m di profondità.

Alla profondità compresa tra 0,4 m e 0,6 m si distinguono chiaramente alcune anomalie principali (linee nere tratteggiate in Fig. 12), riferibili, a probabili strutture murarie. Mentre sempre in Fig. 12 a profondità maggiori (1.8-2.0m) le strutture murarie si intensificano.



0.4-0.6m



1.8-2.0m

Fig. 12 – Area 3: depth slices sovrapposte alla foto da drone: le linee nere tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico.

La visualizzazione 3D tramite le isosuperfici di ampiezza (Fig. 13) individua meglio (in modo 3D) le probabili strutture di interesse archeologico, mentre lo scavo virtuale (Fig. 14) le posiziona spazialmente all'interno dell'area indagata.

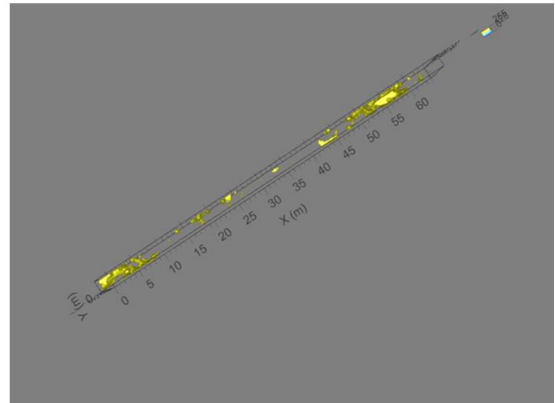
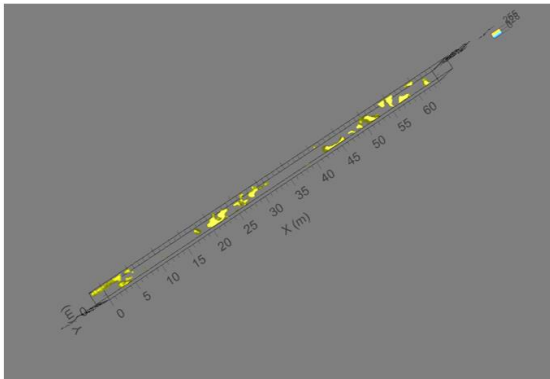
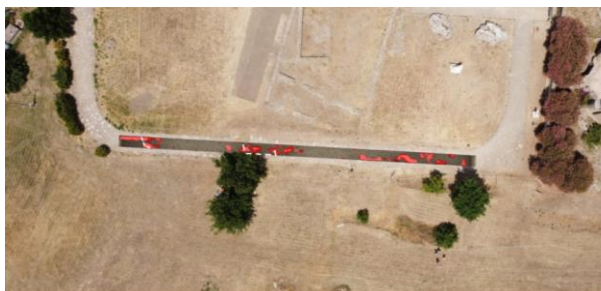
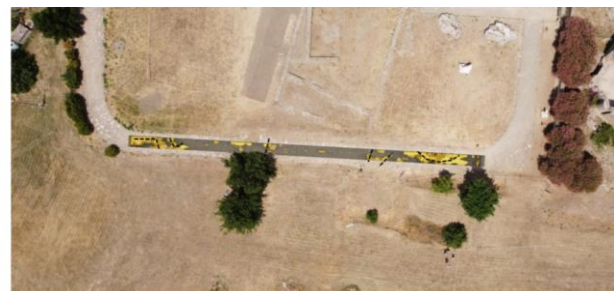


Fig. 13 – Area 3: isosuperfici di ampiezza.



0.4-0.6m



1.4-1.6m

Fig. 14 – Area 3: scavo virtuale con isosuprfici di ampiezza: le linee nere e bianche tratteggiate indicano strutture di probabile interesse archeologico.

2. PROSPEZIONE MAGNETICA

Lo scopo di un rilievo di tipo magnetico è quello di investigare la struttura del sottosuolo sulla base delle anomalie del campo magnetico terrestre prodotte dalle differenti proprietà magnetiche dei materiali presenti nel sottosuolo. Il campo magnetico che si può misurare sulla superficie terrestre varia in modo sensibile in funzione dello spazio e del tempo.

I dati magnetici consentono di misurare valori numerici riferiti ad una precisa coordinata spaziale. Senza tale riferimento, un gruppo di valori non ha alcun significato. Lo strumento viene normalmente spostato lungo linee di misura equidistanti, note come traverse, separate da una distanza fissa, Δy . Il dato viene acquisito sopra tali traverse a specifici intervalli di campionamento, Δx . Questi due valori determinano le dimensione della griglia, la quale va



attentamente scelta in base alla dimensione del target e a seconda della risoluzione richiesta. Un errato passo di campionamento, ad es. troppo grande, comporta un errore noto come aliasing spaziale; le prospezioni affette da questo errore producono ricostruzioni imprecise delle geometrie del target. Le misure possono venire campionate per punti o in continuo lungo i tracciati del percorso. I sensori dello strumento non hanno contatto con terreno ed esiste la possibilità di georeferenziare le misure per mezzo di un GPS. Nel complesso il procedimento di misura risulta essere particolarmente speditivo e semplice e può essere persino eseguito da un singolo operatore. La configurazione gradiometrica consente la misura del valore del gradiente del campo magnetico, dB/dz . Tale configurazione è costituita da due sensori separati da una distanza fissa e piccola rispetto alla distanza delle sorgenti di cui si vuole misurare il gradiente. Per operare in questa configurazione i due sensori devono procedere al campionamento di B simultaneamente. Le misure, campionate contemporaneamente, vengono tra loro sottratte automaticamente per ottenere un unico valore di B , tale valore diviso per la distanza tra i sensori è il gradiente, dB/dz . In primo luogo tale configurazione rimuove automaticamente la componente regionale del campo magnetico, provvedendo una migliore definizione di anomalie superficiali. Le variazioni temporali del campo geomagnetico vengono completamente rimosse poiché esse contribuiscono nella stessa misura su entrambi i sensori, ovvero il loro effetto è identico sulle due misure e quindi viene rimosso con la loro reciproca differenza. Un'anomalia superficiale determina invece un segnale maggiore sul sensore inferiore rispetto a quello superiore. Tuttavia, rispetto alle prospezioni di campo totale, la configurazione gradiometrica richiede più precauzioni da parte dell'operatore:

- Durante il campionamento del gradiente verticale i sensori devono essere mantenuti perfettamente verticali.
- La presenza di materiale ferromagnetico sull'operatore ha una maggiore influenza rispetto alle prospezioni in campo totale e quindi tali materiali devono essere completamente rimossi.

La condizione più importante è predisporre una spaziatura tra i sensori, dz , piccola rispetto alla distanza dalla sorgente dell'anomalia investigata; in questo modo il secondo sensore non percepisce la presenza del dipolo, e la misura è allora la stessa che si otterrebbe in campo totale con correzione differenziale. Altro fattore da tenere in considerazione è la scelta della distanza sensore-superficie, infatti:

- un sensore troppo basso sarebbe influenzato dalle irregolarità della superficie e risulterebbe particolarmente sensibile alla magnetizzazione del suolo superficiale;

- un sensore troppo alto non sarebbe in grado di cogliere le caratteristiche più deboli dell'anomalia.

2.1 Risultati prospezioni magnetiche

2.1.1 AREE 2 E 4

Le aree 2 e 4 sono state indagate con l'utilizzo della magnetometria in configurazione gradiometrica. Esse hanno dimensioni rispettivamente di 30 m x 30 m (area 2) e di 20 m x 20 m (area 4). Il modello di distribuzione del parametro fisico gradiente del campo magnetico è mostrato in Fig. 15.



Fig. 15: aree 2 e 4: Modello di distribuzione del gradiente magnetico.

Dal modello di distribuzione del gradiente magnetico risulta evidente la presenza di diverse anomalie associabili a probabili strutture di interesse archeologico.

2.1.1 AREE 5 E 6

Le aree 5 e 6 hanno dimensioni rispettivamente di 10 m x 40 m (area 5) e di 10 m x 40 m (area 6). I modello di distribuzione del parametro fisico gradiente del campo magnetico sono mostrati in Fig. 16 e 17.



Fig. 16: area 5: Modello di distribuzione del gradiente magnetico.



Fig. 17: area 6: Modello di distribuzione del gradiente magnetico.

Dal modello di distribuzione del gradiente magnetico risulta evidente la presenza di diverse anomalie associabili a probabili strutture di interesse archeologico.

In Fig. 18 sono riportati i risultati delle prospezioni magnetiche sovrapposti alla foto aerea.



Fig. 18: Aree 2, 4, 5 e 6: slices gradiometriche sovrapposte alla foto aerea: le linee rosse tratteggiate rappresentano probabili strutture di interesse archeologico.

In essa risultano evidenti (linee rosse tratteggiate) una serie di anomalie attribuibili a probabili strutture murarie (profondità 1.0-2.0m) di interesse archeologico



3. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In tutte le aree indagate i risultati hanno consentito di individuare anomalie riferibili a strutture antiche (muri, vani) sepolti a diversi metri di profondità (fino a circa 2,7 m) e coperti da materiali poco coerenti (terra e pietre).