

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

Giugno 2023



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 eseguita a Giugno 2023 ad integrazione delle indagini geofisiche eseguite il 19/07/2022.

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 ed elettromagnetometrica. 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 e l'elettromagnetometro CMD – Mini Explorer sonda a tre profondità.

Le indagini geofisiche sono state effettuate in data 16/06/2023, 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 Dora Francesca Barbolla. Le elaborazioni dei dati geofisici sono a cura del Dott. Giovanni Leucci e della Dott.ssa Lara De Giorgi con la collaborazione della Dott.ssa Dora Francesca Barbolla 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

La strumentazione georadar (GPR) utilizzata è un impulsato Sir 4000 (GSSI), in dotazione al Laboratorio di Geofisica per l'Archeologia ed i Beni Monumentali dell'IBAM-CNR di Lecce. Il georadar è una tecnica di indagine indiretta e non invasiva che consente l'individuazione di anomalie elettromagnetiche sepolte a diversa profondità. Il sistema impulsato utilizzato per queste indagini è equipaggiato con un antenna del tipo “*dual band*” a frequenze centrali nominali 300 MHz e 800 MHz.

E' 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 una di filtraggio durante il quale una serie di filtri applicato 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 uno dei metodi sopra elencati. Nel caso in studio è stato utilizzato il metodo denominato “riflessione da un punto sorgente”.

L'elaborazione dei dati GPR è stata molto complessa ed i passi del “processing” sono di seguito elencati:

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) (Fig. 1).

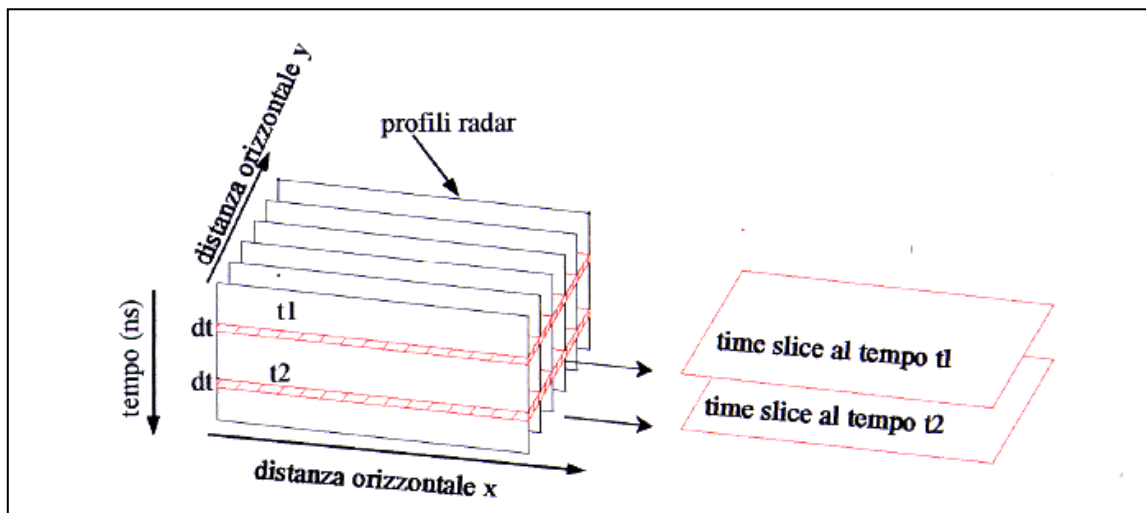


Figura 1: schema di costruzione delle time slices; l'ampiezza visualizzata nelle time slices rappresenta la media dei quadrati delle ampiezze degli eventi riflessi nella finestra temporale dt

Come è noto, l'ampiezza degli eventi riflessi è direttamente correlabile con il contrasto tra le caratteristiche elettriche 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.

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 1.5 cm (automaticamente dettato dall'odometro di cui è dotato il sistema), mentre il passo interlinea è stato scelto dell'ordine di 0.25 m.

1.1 Risultati delle prospezioni georadar

Le misure georadar sono state eseguite nell'area denominata "Area 4" (Fig. 2).

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, sia pure parziale, 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 1,50 m per l'antenna da 800MHz e di circa 3,30 m per quella da 200MHz.

L'area 4 ha dimensioni di 30mx20m. In essa sono stati acquisiti profili paralleli ad un passo di 0.25m. La planimetria dei profili ha consentito l'analisi attraverso le depth slices (Fig. 3 e 4). Già tra 0.8 e 1.4 metri di profondità si distinguono chiaramente alcune anomalie principali (linee nere tratteggiate in Fig. 3), riferibili, a probabili strutture murarie. A profondità più alte (2.0-3.3m) si individuano altre anomalie (linee nere tratteggiate in Fig. 4) riferibili, a probabili strutture murarie. La visualizzazione 3D tramite le isosuperfici di ampiezza (Fig. 5) individua meglio (in modo 3D) le probabili strutture di interesse archeologico,



2. PROSPEZIONE ELETTROMAGNETICA

L' elettromagnetismo è una tecnica di indagine che si basa sulla misura dei campi magnetici prodotti dalle correnti elettriche indotte nel terreno indagato, attraverso un altro sistema di campi elettromagnetici generati artificialmente in superficie. Il sistema che non necessita di contatti con il terreno, è in grado di misurare con elevata rapidità la conducibilità elettrica dei terreni, (direttamente proporzionale alla corrente indotta) permettendo un' esplorazione veloce e dettagliata di vaste aree del territorio.

La bobina trasmittente induce degli anelli circolari di corrente nel terreno (loops). L'intensità di questi loops di corrente è direttamente proporzionale alla conducibilità del terreno attraversato. Ciascuno di questi loops secondari di corrente genera a sua volta un campo magnetico secondario proporzionale al valore della corrente relativa a quel loop. Una parte del campo magnetico generato da ciascun loop secondario è intercettata dalla bobina ricevente sotto forma di un segnale di uscita in tensione. La strumentazione utilizzata è calibrata per leggere un valore reale di conducibilità nel caso in cui il terreno attraversato sia costituito da materiale omogeneo. Nel caso in cui il sottosuolo sia stratificato, con ciascun strato un proprio differente valore di conducibilità, lo strumento leggerà un valore intermedio. L'unità di misura della conducibilità leggibile direttamente sullo strumento è il millimhos/metro. Per ottenere un valore di resistività direttamente in ohm per metro la misura letta sullo strumento deve dividere il valore mille. L'elettromagnetometro misura due componenti del campo magnetico indotto. La prima è la componente in quadratura di fase, influenzata principalmente dalla conducibilità del suolo. La seconda è la componente in fase, significativamente più sensibile alla presenza di oggetti con un certo grado di magnetizzazione.

2.1 Risultati prospezioni elettromagnetiche

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

I dati sono stati raccolti come di prassi lungo linee parallele fra loro, equi distanziate. Il passo interlinea è stato scelto dell'ordine di 0.5 m. Per la elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Res3Dinv per i dati di resistività elettrica e una particolare applicazione all'interno del software GIS per i dati di suscettività magnetica.



2.1.1 AREA 1

L'area 1 ha dimensioni di 45mx11m. Il modello di distribuzione del parametro fisico resistività elettrica è mostrato in Fig. 6. Dal modello di distribuzione della resistività elettrica risulta evidente la presenza di una grande anomalia (indicata con A tra due linee nere tratteggiate) associabile ad una probabile strada. Tale anomalia risulta a profondità compresa tra 1.18 m e 1.70 m.

Dal modello di distribuzione della suscettività magnetica (Fig. 7) risultano evidenti, oltre alla probabile strada (A), altre anomalie a profondità compresa tra 1.18 m e 1.70 m (B linee nere tratteggiate) attribuibili a probabili strutture di interesse archeologico.

2.1.2 AREA 2

L'area 2 ha dimensioni di 35mx35m. Il modello di distribuzione del parametro fisico resistività elettrica è mostrato in Fig. 8. Si evince la presenza di diverse anomalie a profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m (linee nere tratteggiate) associabili ad probabili strutture di interesse archeologico.

Dal modello di distribuzione della suscettività magnetica (Fig. 9) risultano evidenti anomalie (linee nere tratteggiate) attribuibili a probabili strutture di interesse archeologico.

2.1.3 AREA 3

L'area 2 ha dimensioni di 22mx10m. Il modello di distribuzione del parametro fisico resistività elettrica è mostrato in Fig. 10. Si mette in evidenza la presenza di diverse anomalie a profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m (linee nere tratteggiate) associabili ad probabili strutture di interesse archeologico. Anche in questo caso si evince la presenza di un'anomalia (A tra due linee nere tratteggiate) probabilmente associata alla strada.

Dal modello di distribuzione della suscettività magnetica (Fig. 11) risultano evidenti, oltre all'anomalia A, altre anomalie (linee nere tratteggiate) attribuibili a probabili strutture di interesse archeologico.

In Fig 12 sono riportati i risultati delle prospezioni geofisiche sovrapposti alla foto aerea.

In essa risultano evidenti (linee nere tratteggiate) una serie di anomalie attribuibili a probabili strutture murarie. Viene evidenziata anche la probabile strada.



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 3.3 m) e coperti da materiali poco coerenti (terra e pietre). Si evidenzia anche la probabile presenza di una strada.



FIGURE



Fig. 2: Aree indagate con la geofisica

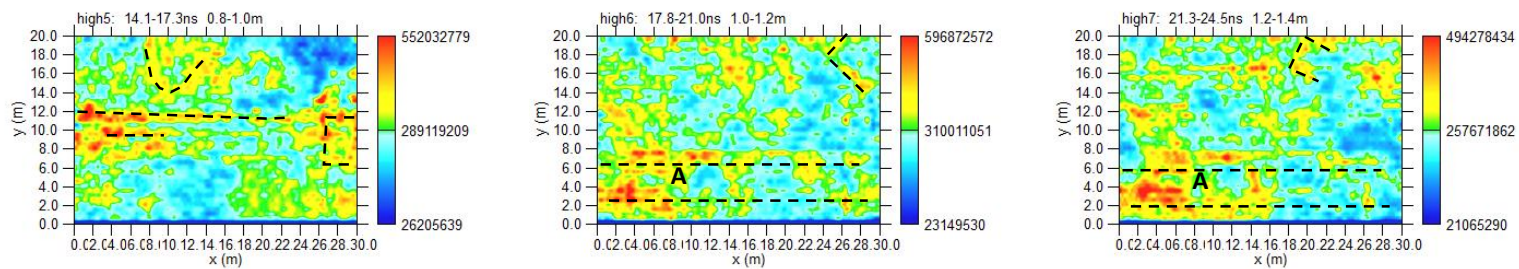


Fig. 3: Area 4: depth slices antenna da 800MHz:

Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie; A indica la probabile presenza di una strada

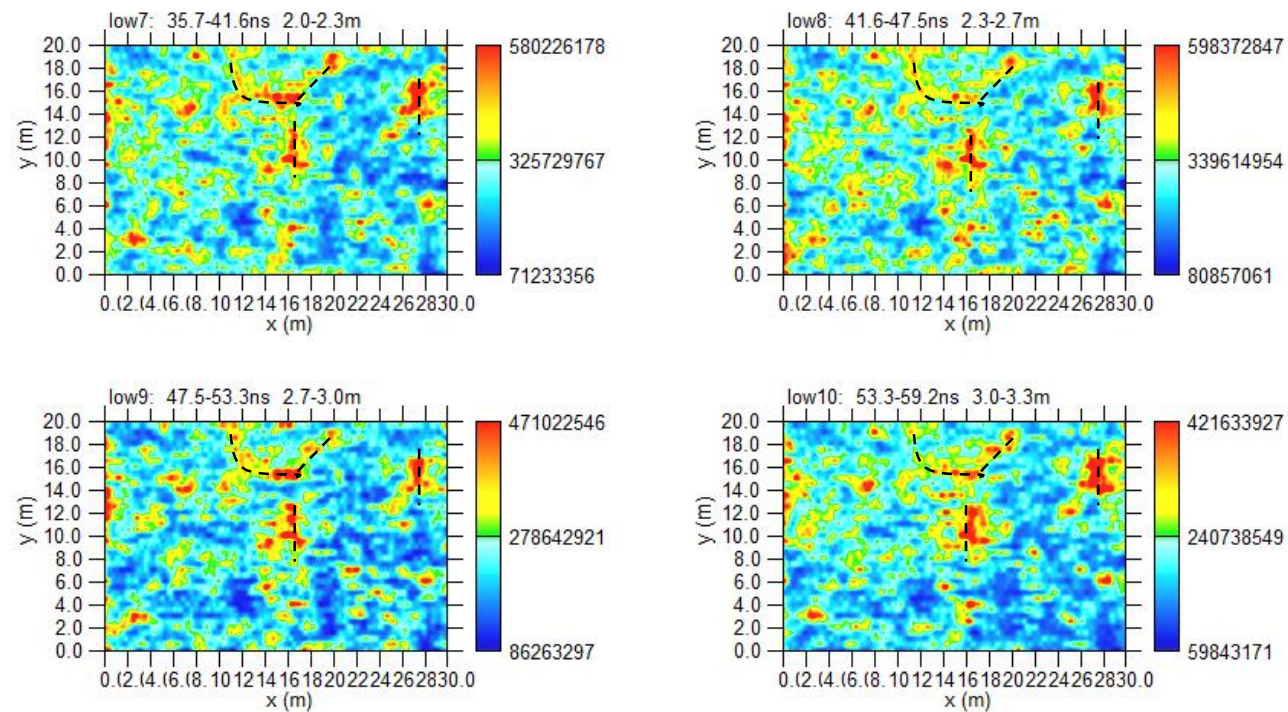


Fig. 4: Area 4: depth slices antenna da 300MHz:

Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie;

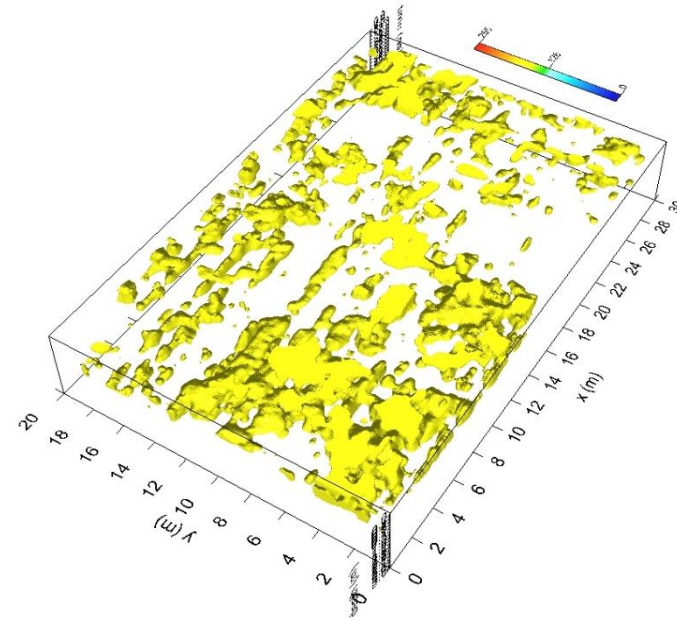


Fig. 5: Area 4: isosuperfici di ampiezza dell'onda elettromagnetica

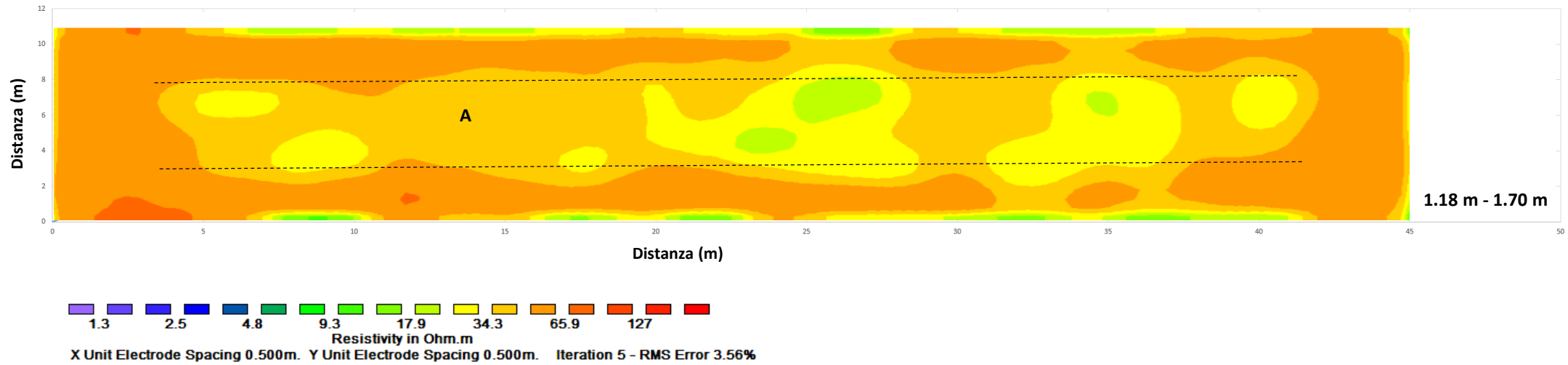


Fig. 6: Area 1: distribuzione della resistività elettrica alla profondità compresa tra 1.18 m e 1.70 m:
 A indica la presenza di una probabile strada

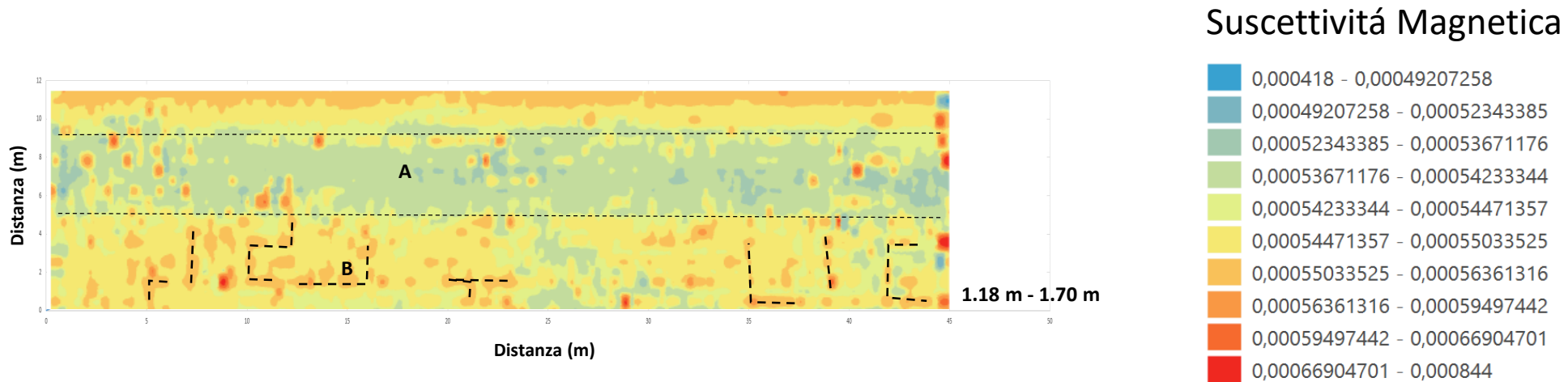


Fig. 7: Area 1: distribuzione della suscettività magnetica alla profondità compresa tra 1.18 m e 1.70 m: A indica la presenza di una probabile strada; B (linee nere tratteggiate): probabili strutture

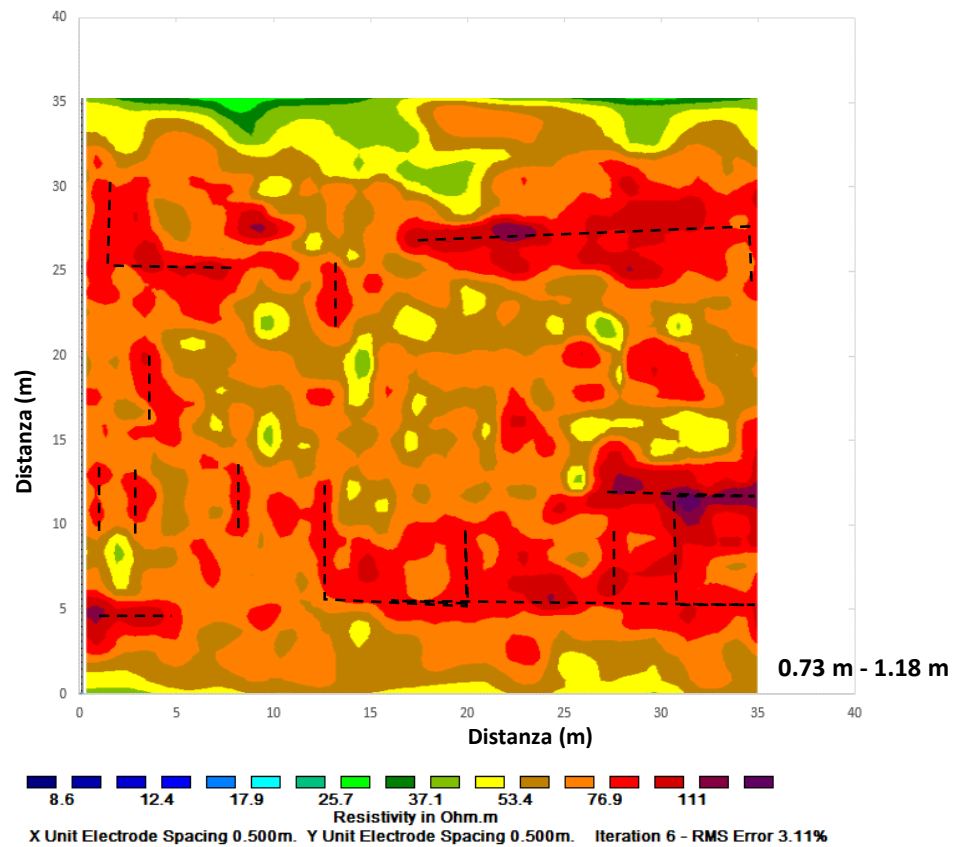


Fig. 8: Area 2: distribuzione della resistività elettrica alla profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m: Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie

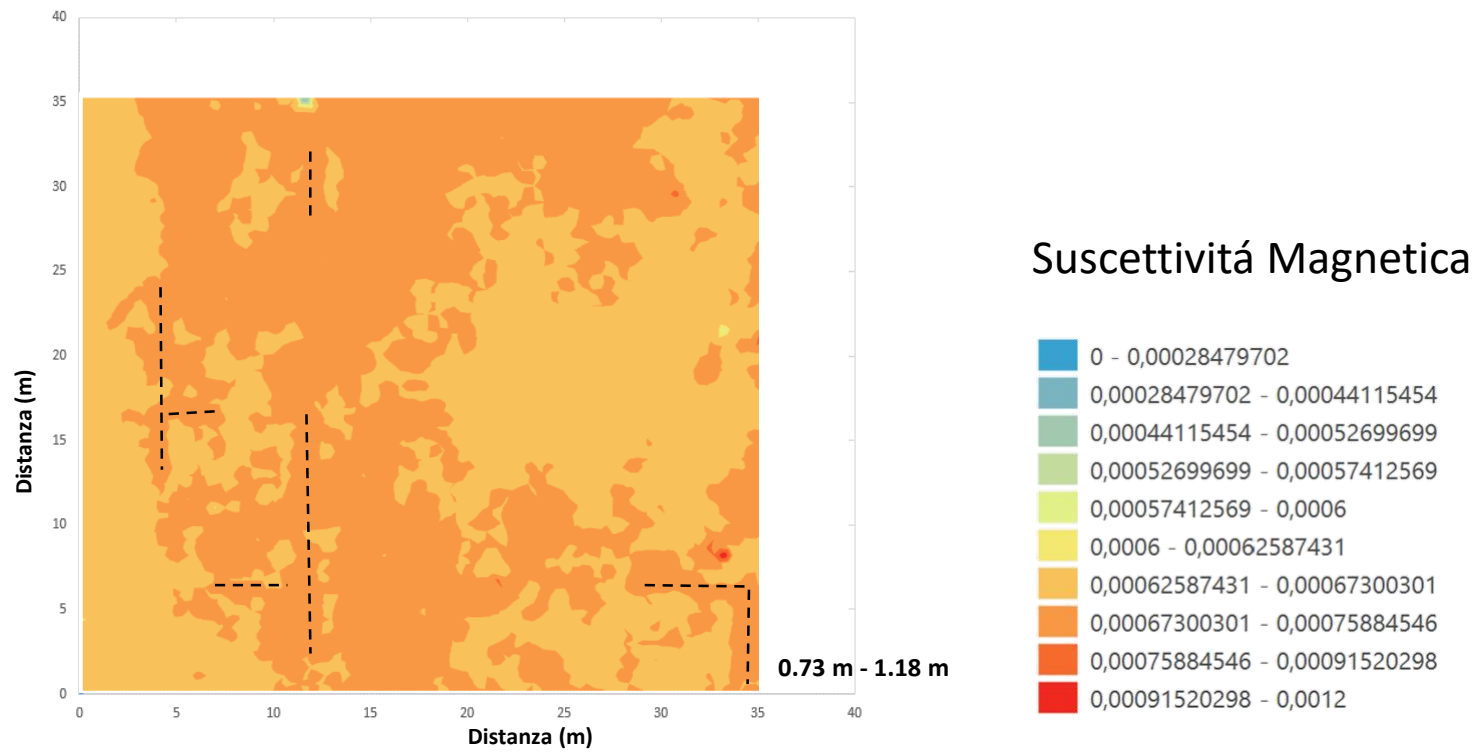


Fig. 9: Area 2: distribuzione della suscettività magnetica alla profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m: Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie

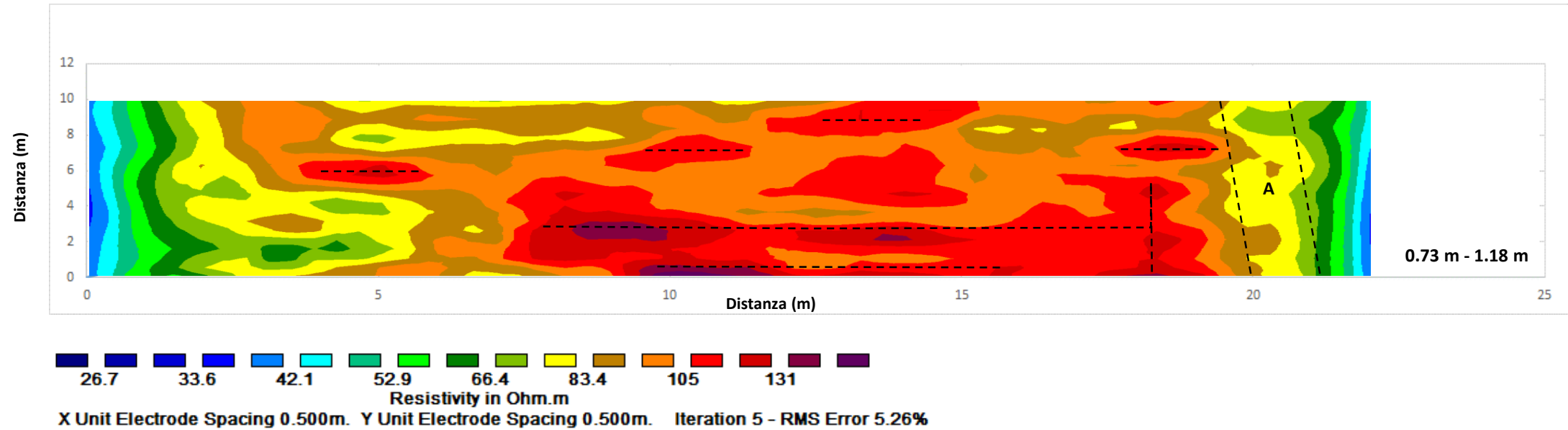
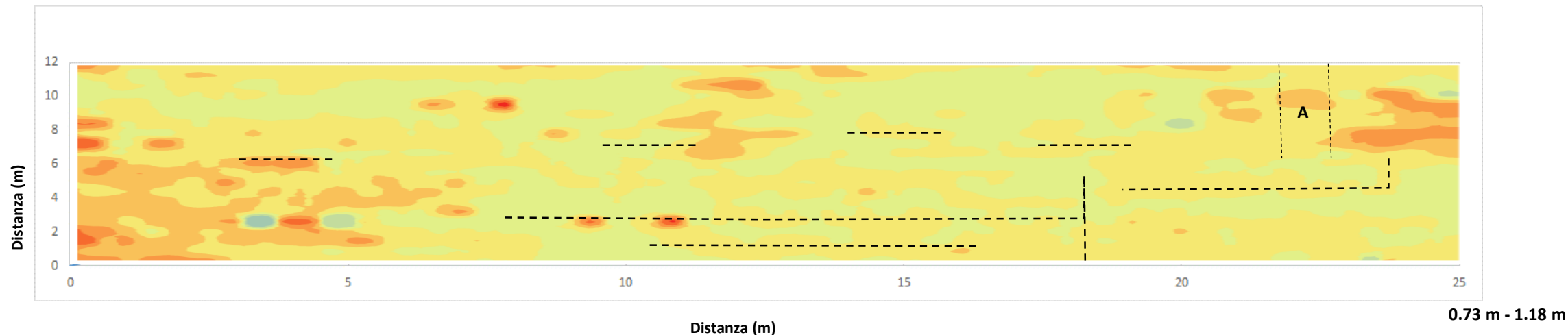


Fig. 10: Area 3: distribuzione della resistività elettrica alla profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m:
 Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie; A indica la probabile presenza di una strada



Suscettività Magnetica

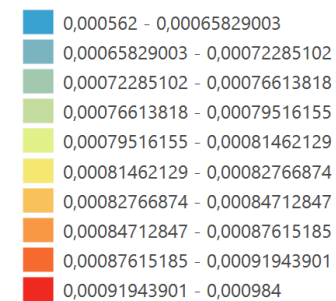


Fig. 11: Area 3: distribuzione della resistività elettrica alla profondità compresa tra 0.73 m e 1.18 m:
Le linee nere tratteggiate rappresentano probabili strutture murarie; A indica la probabile presenza di una strada

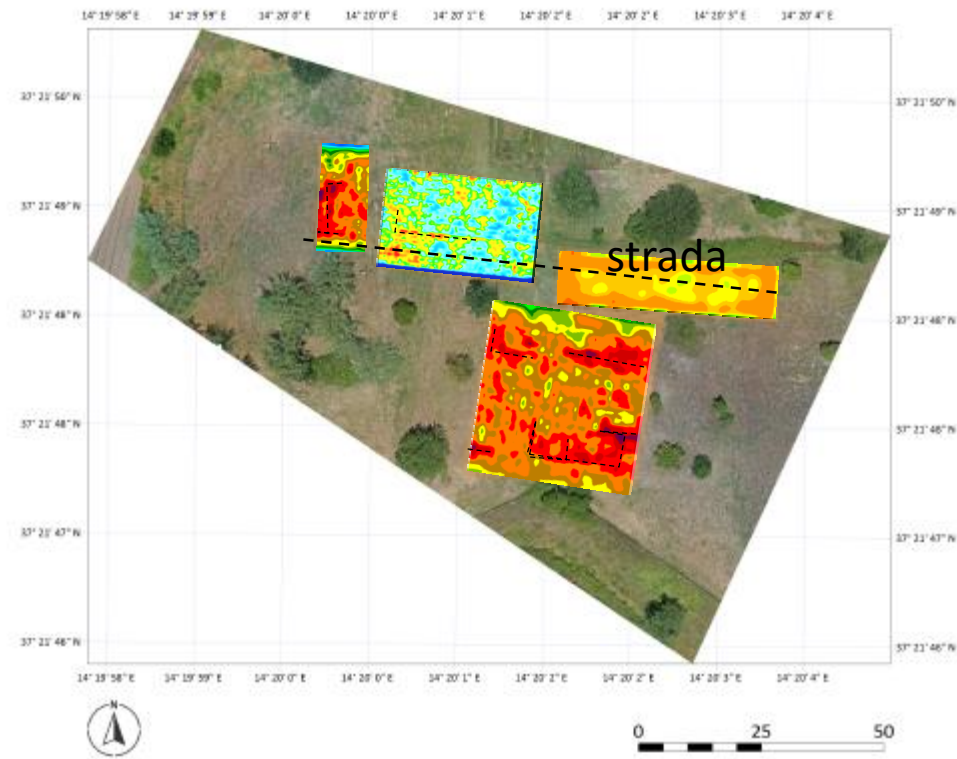


Fig. 12: riepilogo dei risultati