

GEOFISICA
MISURE S.n.c.

PROSPEZIONI E MONITORAGGI GEOFISICI SU TERRENI E MANUFATTI
87075 Trebisacce (CS); Viale della Libertà, 132;
tel./fax 0981 57110-489444 E-mail: info@geofisicamisure.it
Par. IVA 02253910786; N. REA 0153033



SNAM RETE GAS

Comuni di Fabriano e Matelica

RAZIONALIZZAZIONE RETE DI FABRIANO

NR/20110

INDAGINI GEOFISICHE CON METODO GEORADAR E MAGNETICO
IN AREE A RISCHIO ARCHEOLOGICO

COMMITTENTE: Techfem SpA

I tecnici responsabili

Dr. Giuseppe Mainieri Dr. Giuseppe Ferraro



SOMMARIO

PREMESSA	2
DESCRIZIONE DEL METODO MAGNETICO.....	3
DESCRIZIONE DEL METODO GEORADAR.....	6
AREA 1 – MATELICA C.da Crocifisso	9
AREA 2 – FABRIANO Loc. Argignano	20



PREMESSA

Su incarico affidatoci dalla *Techfem SpA* sono state condotte delle indagini geofisiche, con metodo magnetometrico (gradiometrico) ed elettromagnetico impulsivo (georadar o Ground Penetrating Radar - GPR), finalizzate all'individuazione di eventuali elementi sepolti di interesse archeologico nell'ambito dei lavori da eseguirsi per la “*Razionalizzazione Rete di Fabriano*” (valutazione del rischio di interferenza).

In particolare, a seguito di una prima analisi del rischio, sono state identificate tre settori potenzialmente interessati da elementi sepolti di interesse archeologico. Due di questi ricadono nel territorio di Matelica (MC), a sud-ovest dell'abitato, in località Crocifisso (Settore 1 e Settore 2) una delle quali con coltivazioni in atto, quindi non investigata con le indagini previste. L'altra area (Settore 3) rientra nel territorio comunale di Fabriano (AN), in prossimità del cimitero della frazione di Argignano.

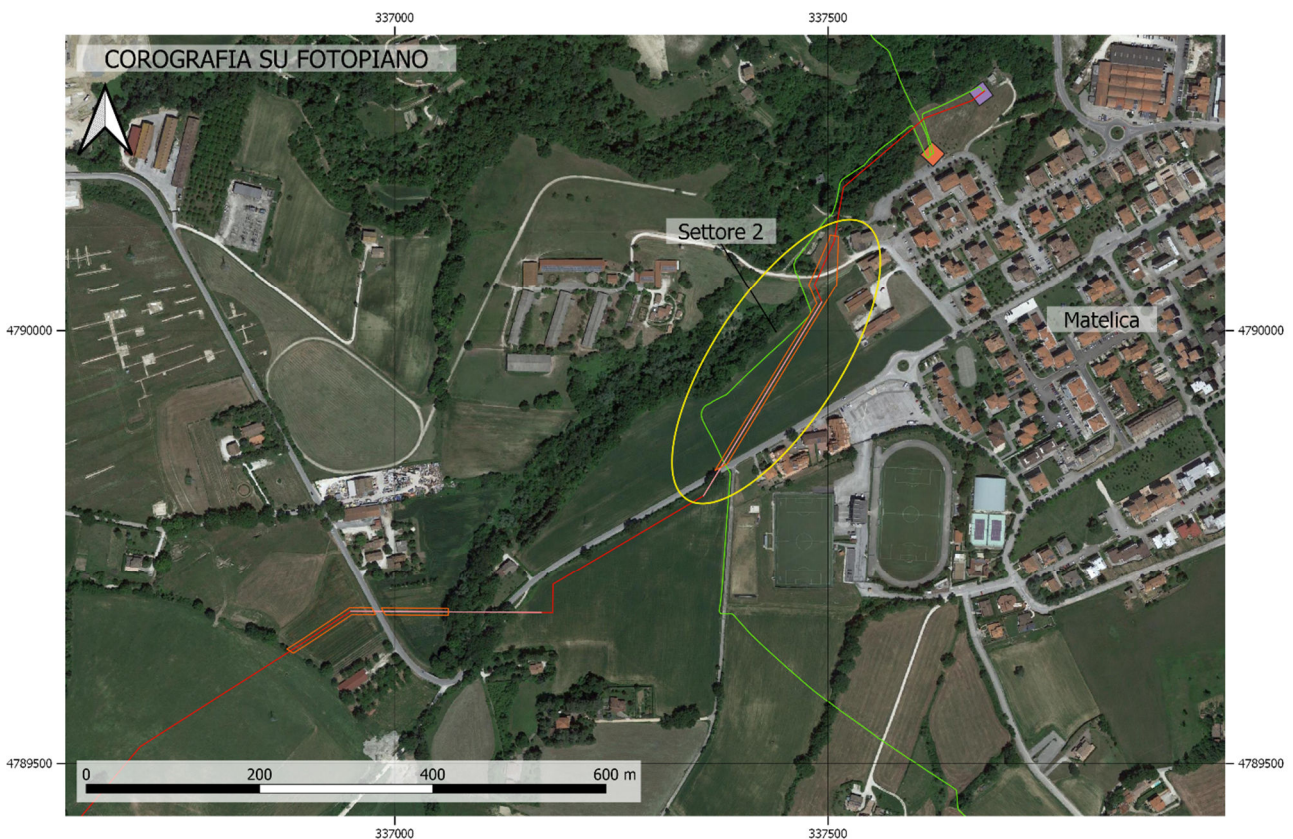


Fig 1) Ubicazione su fotopiano dell'area investigata in territorio di Matelica (MC)

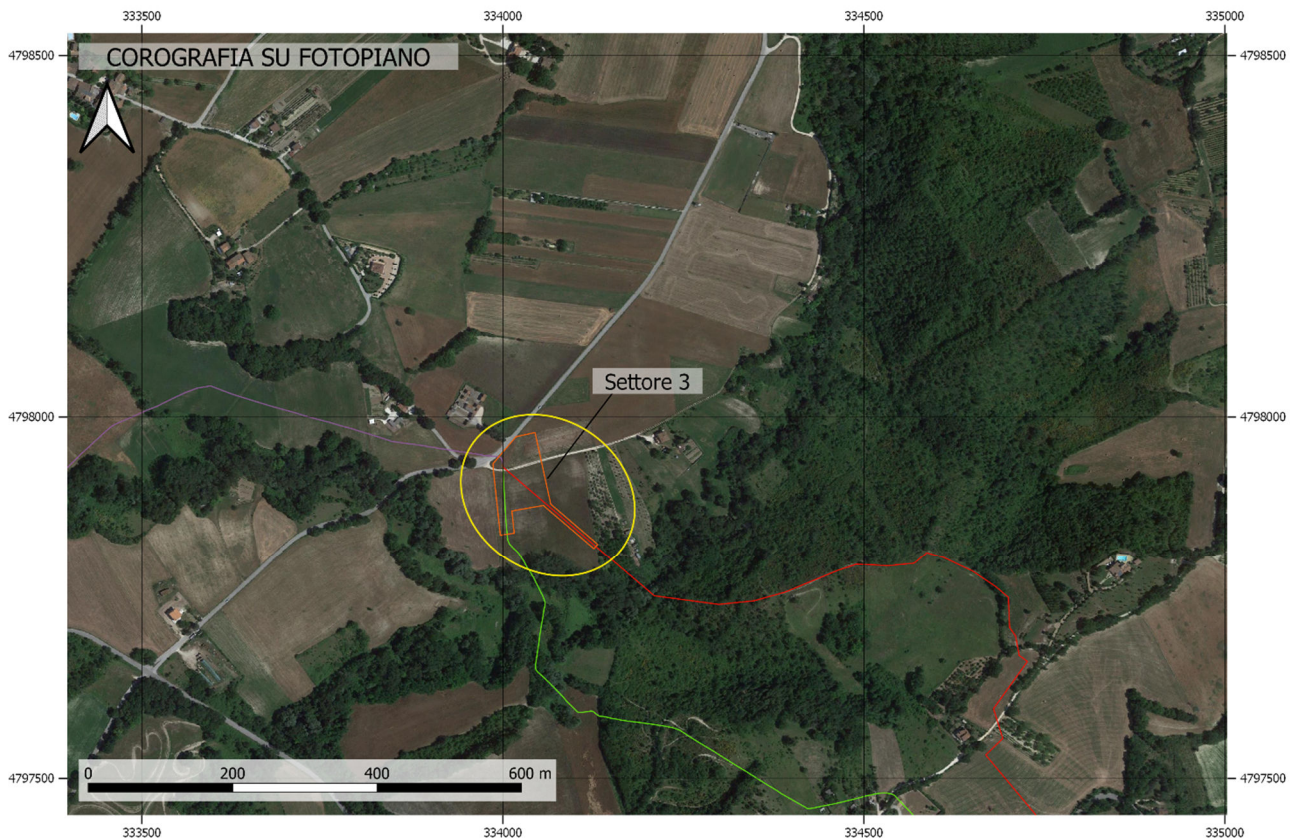


Fig 2) Ubicazione su fotopiano dell'area investigata in territorio di Fabriano (AN)

DESCRIZIONE DEL METODO MAGNETICO

La scelta di questo metodo scaturisce dalla presenza di una litologia dei terreni caratterizzata da termini relativamente omogenei, costituiti prevalentemente da sedimenti alluvionali eterometrici, che hanno una risposta magnetica omogenea e stabile. Inoltre, il “bersaglio” più atteso, è costituito spesso da elementi in laterizio (strutture murarie, elementi di sepolture) e dispersione più o meno fitta di materiale ceramico. Elementi caratterizzati da una magnetizzazione residua importante, che sommandosi al campo magnetico terrestre naturale (CMT), determinano la nascita di anomalie ben percepibili.

Il metodo magnetico si basa sulla misura delle variazioni localizzate del Campo Magnetico Terrestre (CMT) o del suo gradiente, provocate dalla presenza di oggetti sepolti che interferiscono con il campo naturale in quanto possiedono proprietà magnetiche differenti rispetto al terreno che li ingloba. Le variazioni, o anomalie magnetiche, che vengono rilevate, riflettono la differenza esistente tra la

suscettività magnetica (proprietà caratteristica degli elementi) delle diverse formazioni/strutture archeologiche presenti e la suscettività media del terreno che le contiene. Le anomalie osservabili, dovute a resti archeologici, sono in genere di due tipi:

- dovute a variazioni della suscettività magnetica delle strutture interrato rispetto al terreno che le contiene, tipiche quando minerali ricchi di ferro sono abbondanti nel suolo inglobante (magnetite e maghemite). L'anomalia dovuta ad un muro in elementi lapidei calcarei, ad esempio, è negativa in quanto il suolo ha una maggiore suscettività magnetica degli elementi lapidei che costituiscono la struttura; lo stesso accade in corrispondenza di cavità, quale una tomba ecc.
- anomalie magnetiche positive molto intense sono quelle provocate da oggetti in argilla cotta (quali mattoni o materiale ceramico) inglobate in un terreno omogeneo, quale quello in oggetto nella zona di interesse. In questo caso la presenza di un qualsiasi elemento in materiale in argilla cotta, data la sua forte magnetizzazione termorimamente acquisita nella cottura, verrebbe rilevata come anomalia magnetica ad andamento geometricamente regolare qualora associabile ad una struttura, mentre accumuli ceramici producono anomalie di distribuzione irregolare.

Comunque la mappatura bidimensionale e il filtraggio spaziale dei dati magnetici risulta di fondamentale importanza per l'interpretazione dei dati acquisiti.

Caratteristiche delle attrezzature. Le misure magnetiche sono state realizzate con un magnetometro in configurazione gradiometrica, costituito da due sensori identici tra loro spazati verticalmente di 1.0 m. Si tratta di un magnetometro a pompaggio ottico ai vapori di Cesio di produzione *Geometrics*, modello *G-858*, avente le seguenti caratteristiche:

- *Operative principle: self-oscillating split-beam Cesium Vapore;*
- *Operating range: 18.000 to 94.000 nT*
- *Sensitivity: 0.05 nT at 0.1 cycle rate, 0.02 at 0.5 cycle rate.*
- *Temperature drift: 0.05 nT per °C.*
- *Cycle rate: Variable from 0.1 sec to 1 hr in 0.1 sec steps;*
- *Operating Temperature: -15 °C to 50 °C.*



Fig 3) Magnetometro gradiometro Geometrics G858.

Metodo di acquisizione. Per l'acquisizione dei dati magnetici, in entrambi i siti investigati, sono state realizzate linee di rilievo tra loro equidistanti 1.0 m, con misure realizzate in *continuo*, con un campionamento di 5 misure al secondo, pari a circa una misura ogni 0.20 m di percorso. Ai dati magnetici acquisiti è stata associata la posizione (WGS84-UTM-N32) tramite l'uso di un GPS Rtk, con precisione centimetrica.

Ai dati acquisiti è stato applicato il solo filtro "*Destripe*" finalizzato dalla correzione della differenza in somma/differenza delle linee parallele di acquisizione, eseguite in direzione alternata.

DESCRIZIONE DEL METODO GEORADAR

Il metodo georadar (GPR) si basa sulla proprietà dei terreni di trasmettere onde elettromagnetiche ad alta frequenza e misura il tempo di andata e ritorno di tali onde quando esse vengono riflesse da una superficie di discontinuità elettromagnetica o diffratte da oggetti di piccole dimensioni. Lo strumento invia, mediante un'antenna, un impulso multifrequenza nel suolo da indagare. Quando le onde elettromagnetiche incontrano sul loro cammino una discontinuità fisica che comporti una diversa velocità di propagazione, parte dell'energia incidente viene riflessa (o diffratta se di piccole dimensioni) e ritorna all'antenna, generando un impulso di forma simile a quello trasmesso, anche se distorto in frequenza e fase. La banda di frequenze utilizzate può variare tra 20 e oltre 3000 Mhz; la scelta entro tale intervallo di possibilità dipende dal dettaglio che si vuole ottenere e dalla profondità da indagare, perchè la frequenza è direttamente proporzionale al potere risolutivo ed inversamente proporzionale alla profondità di indagine. Il risultato finale di una scansione radar è costituito da una serie di segnali nel dominio del tempo, che definiscono la successione degli orizzonti attraversati e la loro posizione verticale, dipendente dalle velocità di propagazione delle onde nei materiali attraversati. In generale, escludendo la permittività magnetica in quanto poco variabile, la propagazione degli impulsi elettromagnetici nel sottosuolo, in termini di velocità e assorbimento, dipendono dalla costante dielettrica relativa e dalla conducibilità elettrica; il crescere di quest'ultima, in particolare, è causa dell'assorbimento del segnale che viene rapidamente dissipato in calore, con conseguente diminuzione della profondità di investigazione. I terreni naturali sono caratterizzati da una forte variabilità di questi parametri, come si può desumere dai valori, sia pure indicativi, nella tabella allegata.

Materiale	ϵ	V(m/ns)	σ (mS/m)
Aria	1	0.3	0
Acqua pura	80	0.033	0.01
Acqua di falda	80	0.033	0.5
Acqua di mare	80	0.01	3×10^4
Sabbia asciutta	3-5	0.15	0.01
Sabbia satura	20-30	0.06	0.1-1
Calcari	4-8	0.12	0.5-2
Argilliti	5-15	0.09	1-100
Silts	5-30	0.07	1-100
Argille	5-40	0.06	1-1000

Graniti	4-6	0.13	0.01-1
Evaporiti	5-6	0.13	0.01-1
Ghiaccio	3-4	0.16	0.01

Tabella dei valori della costante dielettrica relativa (ϵ) e della conducibilità elettrica (σ)

Le aree di rilievo ricadono in aree fluviali terrazzate, interessate in prevalenza dalla presenza di termini alluvionali molto eterometrici. Il contesto litostratigrafico, quindi, è caratterizzato da orizzonti di suolo limoso-sabbioso, a tratti argilloso, incoerenti o a debole coesione, giacenti su un substrato ghiaioso-sabbioso a granulometria molto variabile. Considerate le finalità dell'indagine ed il contesto litologico in cui si è operato, si utilizza un'antenna centrata sulla frequenza di 450 Mhz, in maniera da avere un discreto grado risolutivo e mantenere una profondità di investigazione teorica, viste le litologie presenti, di circa 2.5-3.0 metri.

<i>Frequenza centrale (MHz)</i>	<i>Profondità investigate (m)</i>	<i>Risoluzione (m)</i>
450	2.5-3.0	0.10 – 0.15

Nelle acquisizioni è stato utilizzato un Georadar di nuova generazione (alta velocità di campionamento e risoluzione – *Real Time Sampling Technology*) di fabbricazione *Mala Geoscience*, modello *Ground Explorer (HDR)*, avente le seguenti caratteristiche:

- *Tecnologia: MALA Semi-real-time;*
- *Velocità di scansione: fino a 160 MHz;*
- *SNR: >101 dB.*
- *Finestra di acquisizione: 300 nanosecondi.*
- *Output Data Format: >16-bit*
- *Numeri campioni per scan: > 770, time window 300 nsec.*
- *Larghezza di banda: >120%, frazionaria, -10dB;*
- *Posizionamento: mediante encoder e DGPS interno.*

Tale tecnologia consente di ottenere una banda di frequenza più larga rispetto ai sistemi tradizionali e quindi di investigare con elevata risoluzione gli oggetti più superficiali e, al contempo, raggiungere maggiori profondità di investigazione nella parte dello spettro a più bassa frequenza.

Il processo d'elaborazione ha avuto come risultato la ricostruzione di modelli bi-dimensionali, che hanno consentito d'individuare le anomalie associabili ad interfacce di contatto tra terreni con caratteri elettromagnetici differenti e, soprattutto, ad intercettare oggetti sepolti, definendone la profondità e la forma indicativa. Al fine di poter migliorare il segnale acquisito, i radargrammi sono stati processati secondo la seguente sequenza:

- *Gain*
- *Correzione T0*
- *Background Removal;*
- *Analisi di velocità;*
- *Migrazione.*

In particolare la *correzione T0* ha permesso d'individuare con esattezza l'inizio della penetrazione nel terreno del segnale radar, *l'analisi di velocità* ha consentito di definire la velocità di propagazione delle onde radar nel terreno al fine di calcolare con esattezza la profondità delle riflessioni/diffrazioni, mentre con la *migrazione* si sono eliminate le iperboli di riflessione, riducendo le anomalie lineari trasversali alle direzioni di scansione, ad elementi puntuali e avvicinando le “forme” di riflessione radar alle geometrie reali degli elementi riflettenti.

Considerate le finalità dell'indagine, l'attenzione è stata posta alle anomalie dovute ad elementi localizzati e caratterizzate da sviluppi geometrici compatibili con elementi antropici, quali muri, strade e sepolture. A tale scopo sono stati esaminati sia i radargrammi bidimensionali risultati dall'elaborazione, cercando su di essi le iperboli di diffrazione. I dati elettromagnetici sono stati quindi accorpati in un volume tridimensionale corrispondente a quello investigato nelle linee, tra loro parallele e distanziate di 0.5 m e 1.0 m, a coprire la superficie di terreno prevista nel piano delle indagini. La rappresentazione 3D è stata prodotta sulla mappa mediante vari piani orizzontali (slices) posti alle profondità più significative, in funzione della posizione delle anomalie individuate.



Fig 4) Esecuzione delle indagini georadar nell'area di Matelica

AREA 1 – MATELICA C.da Crocifisso

Il sito di indagine è localizzato appena a sud-ovest dell'abitato di Matelica (MC), su di un'ampia superficie terrazzata. Dei due settori di indagine previsti è stato investigato solo il secondo (più a nord-est) in Loc. Crocifisso, essendo in atto, nel *settore I*, una coltivazione di girasoli.

L'area di indagine è allungata in direzione SW-NE, delimitata verso nord-est da una scarpata in destra idrografica al Vallone Esino e a Nord da una incisione torrentizia, sempre tributaria di destra del Vallone Esino. L'ampia superficie pianeggiante costituisce la sommità di un terrazzo fluviale risultante dalla deposizione, con successiva re-incisione, dei corsi d'acqua che solcano la piana nell'area di interesse. I depositi alluvionali sono costituiti principalmente da ghiaie ad elementi calcarei e marnosi, originatesi dall'erosione delle dorsali più interne, formate dalle successioni mesozoiche, in gran parte costituite da calcari più o meno pelitici in facies di bacino, e dalle successive formazioni arenaceo-pelitiche mioceniche (di fase sinorogenica), che costituiscono anche il substrato locale (Arenarie di Matelica).



Fig. 5) Scarpata a NE dell'area di indagine. Si osserva un esiguo orizzonte di suolo di colore bruno, poggiante sulle alluvioni ghiaioso-sabbioso terrazzate.

Dal punto di vista archeologico, l'area di località Crocifisso di Matelica, è nota per il rinvenimento di sepolture (necropoli), peraltro non oggetto di scavi sistematici, attive dalla fine dell'età del ferro con sepolture semplici, "a fossa"; successivamente, a partire dal VII sec a.C., si osserva una monumentalizzazione delle sepolture, con realizzazione di tumuli e circoli funerari. Il bersaglio della ricerca quindi, rimane la percezione delle anomalie prodotte eventualmente dalla realizzazione degli elementi accessori alle sepolture, quali i piccoli fossati dei circoli, il materiale ceramico concentrato, identificabili soprattutto nell'indagine magnetometrica. Mentre la presenza di elementi strutturali e di rinterri delle fosse rimarrebbero in teoria identificabili anche nel metodo georadar, per quanto il contrasto elettromagnetico rimarrebbe sempre, considerate le litologie, molto contenute, con la produzione di anomalie di minima ampiezza.

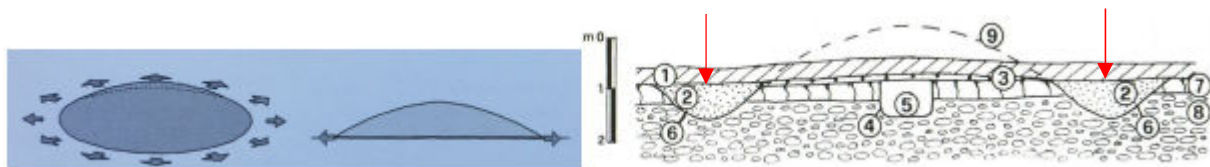


Fig. 6) Schema in pianta e sezione di una sepoltura a tumulo nell'area di Matelica, loc. Crocifisso (da Cilla 2003). Rimane come elemento anomalo più evidente la zona delle canalette (piccoli fossati 2-6) intorno alla sepoltura.

Elementi certamente più rilevabili potrebbero essere quelli relativi a resti di strutture sepolte, quali resti di edifici abitativi o di culto, sia con muri in pietrame che in laterizi. Altri elementi strutturali segnalati, presenti certamente più a ovest, a monte della SP 71, sono tratti di acquedotti di età romana e successivi, di età medioevale, tra loro paralleli (appena a monte del settore 1).

Risultati delle indagini. Gran parte delle aree interessate dalle **misure magnetiche** comprendono, o sono prossime, ad elementi ferromagnetici superficiali (pali di elettrodotti, tiranti e recinzioni) e interrati (metanodotto esistente), che hanno fortemente inficiato la qualità dei dati magnetici, fino a oltre 10 m dagli stessi e per lunghi tratti della fascia di investigazione. Infatti, la prossimità di masse ferromagnetiche di tal genere, causa l'alterazione del CMT in maniera molto forte, tale da coprire ampiamente le anomalie del gradiente magnetico prodotte dagli elementi della ricerca (dell'ordine di qualche nT/m). Nelle aree più distanti dagli elementi ferromagnetici di disturbo, i dati restano comunque interpretabili. Oltre a piccole anomalie dipolari, riferibili a piccoli elementi ferromagnetici,

si osserva un allineamento di anomalie (M2) che potrebbe essere legato a dispersione di materiale in laterizio o ceramico o un elemento strutturale. Appena a NE, si rileva un lieve aumento (fino a 2.5 nT/m) del gradiente magnetico (M1), che potrebbe essere dovuto alle stesse cause.

Nel settore più nord-orientale, oltre la stradina sterrata, nel terrazzo delimitato dalla scarpata naturale, si rileva la presenza, oltre alle intense perturbazioni causate da oggetti metallici ingombranti presenti sul lato orientale (baracca, automobile e recinzione sul lato nord), di anomalie con carattere dipolare, dovute a piccoli elementi ferrosi presenti nel lotto e anomalie puntuali, leggermente positive, a geometria sparsa (M3), che fanno supporre la presenza di materiale ceramico.



Fig. 7) Esecuzione delle misure magnetiche. Evidenti i pali metallici del metanodotto e di due cavidotti presenti lungo la fascia di indagine.

Le **indagini georadar**, realizzate in gran parte con interasse tra le scansioni di 0.50 m, sono state modellate preliminarmente nei singoli radargrammi (2D), quindi questi sono stati accorpati geometricamente per l'elaborazione di modelli tridimensionali. La rappresentazione su mappa è stata eseguita mediante piani (slices) della risposta elettromagnetica a tre profondità, quali quelle più significative per i risultati ottenuti, posti a 0.30m, 0.50m e 0.70-0.80m dal piano di campagna.

Importanti assorbimenti del segnale sono stati riscontrati nella porzione sud-occidentale dell'area investigata, causata dalla presenza di un discreto spessore di suolo conduttivo, probabilmente contenente frazioni argillose; tra l'altro in questo tratto sono presenti frequenti e profonde fessurazioni, che hanno causato evidenti anomalie superficiali.

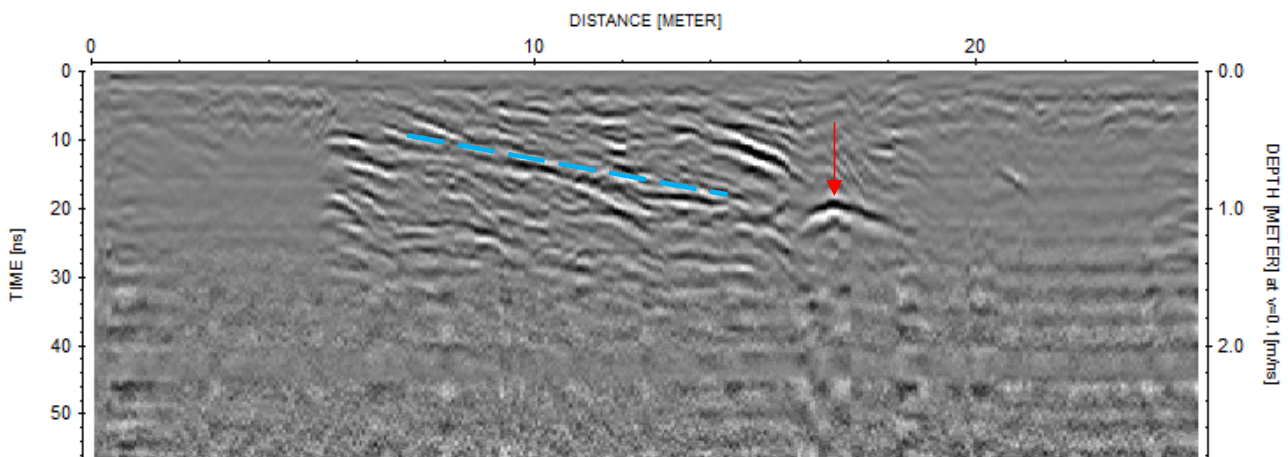


Fig. 8) Fessurazione del suolo nell'area sud-occidentale della fascia di indagine

Sul Piano di risposta radar a 0.30 m di profondità, si osservano anomalie sparse, non significative, tranne che in alcuni allineamenti. Uno di essi (R1) si sviluppa in direzione nord-sud e sembra continuare anche più in profondità (vedi piano a 0.50 m di profondità). Altri due allineamenti di anomalie tra loro parallele distanziate di 2.8 m circa, indicate in mappa come “*Anomalie allineate*”, sono esigua dimensione e intensità, ma con uno sviluppo lineare ben definito, potrebbero essere i limiti laterali di una strada. Con la stessa direzione, sul limite settentrionale della fascia investigata, si osservano anomalie più intense (anomalia R2), a tratti allineate (strutture?) e in altri casi più caotiche (possibili crolli). La risposta elettromagnetica in questa zona è caratterizzata da assorbimenti del segnale meno importanti, per cui si raggiunge una maggiore profondità di investigazione e l'aumento di intensità può essere ricondotto anche a questo motivo. Nel Piano di Risposta Radar a 0.50 m permane l'intensa anomalia R2, che ruota leggermente in direzione in senso antiorario. Altro allineamento anomalo si rileva nel lotto di terreno a nord della stradina sterrata (anomalia R4); in questo settore sono presenti altre anomalie, con andamento discontinuo e di dubbia interpretazione,

probabilmente dovute a variazioni naturali all'interno del terreno del substrato ghiaioso-sabbioso con ciottoli. Nel Piano di Risposta Radar a 0.7-0.8 m di profondità, sempre a nord della strada sterrata si osserva una intensa anomalia (R3), leggermente arcuata, sull'angolo sud-orientale di questo settore, l'intensità e le caratteristiche farebbero supporre trattarsi di un sottoservizio. L'anomalia R2 rimane ancora presente.

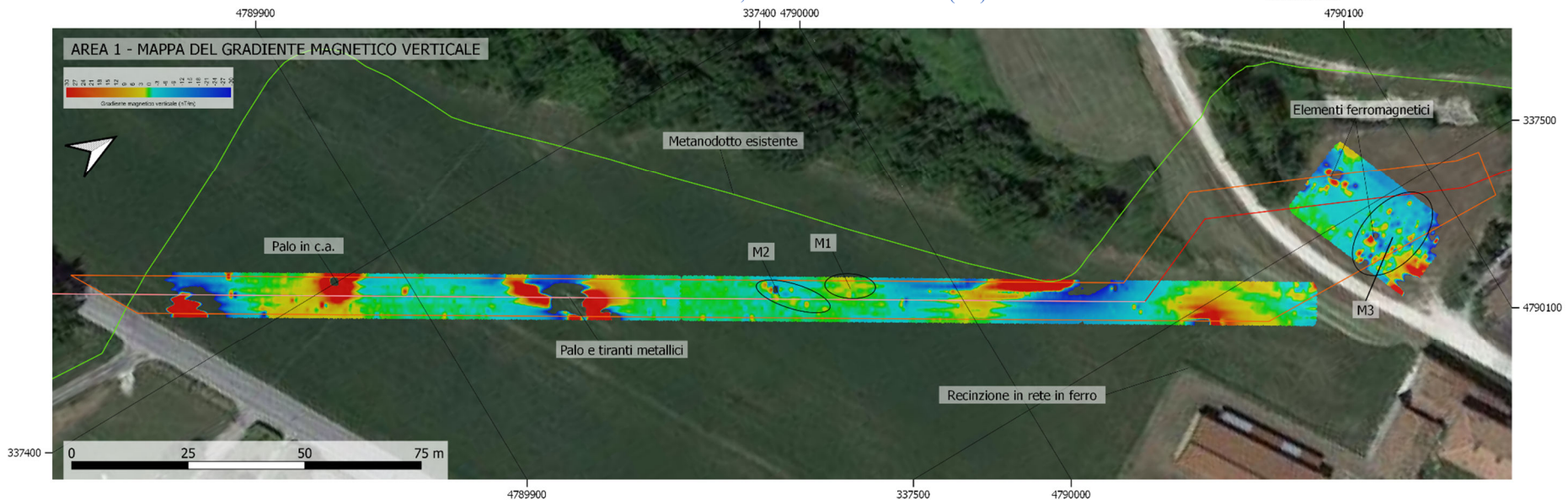
Particolarmente complessa la risposta elettromagnetica nel tratto compreso tra i due vertici del metanodotto in progetto, appena a sud della strada sterrata, in cui sono state realizzate le sole misure georadar, essendo prevedibile il disturbo sulle misure magnetiche a causa della prossimità della tubazione del metanodotto esistente. Vi si osserva una fascia caratterizzata da forti riflessioni del segnale radar, che farebbero pensare a un rinterro, con spessore crescente verso SE fino a circa un metro. Su tale limite meridionale si rileva la presenza di anomalie a profondità comprese tra 0.8m e 1.0m, allineate in direzione NE-SW, che potrebbero essere dovute ad un sottoservizio o una struttura sepolta.

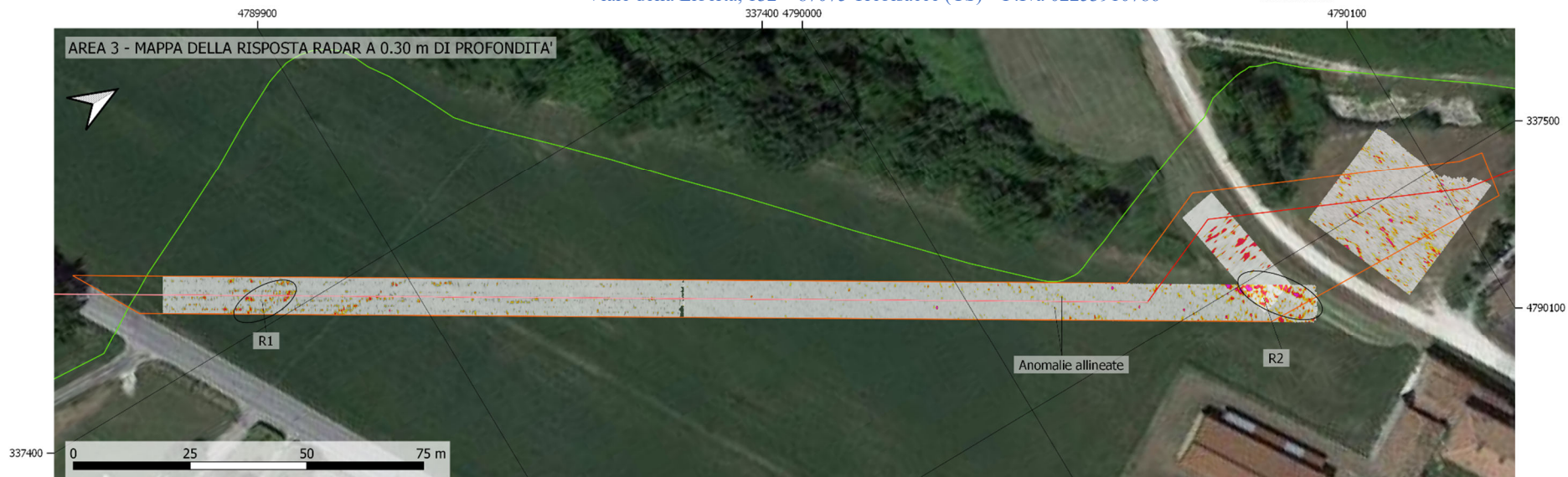


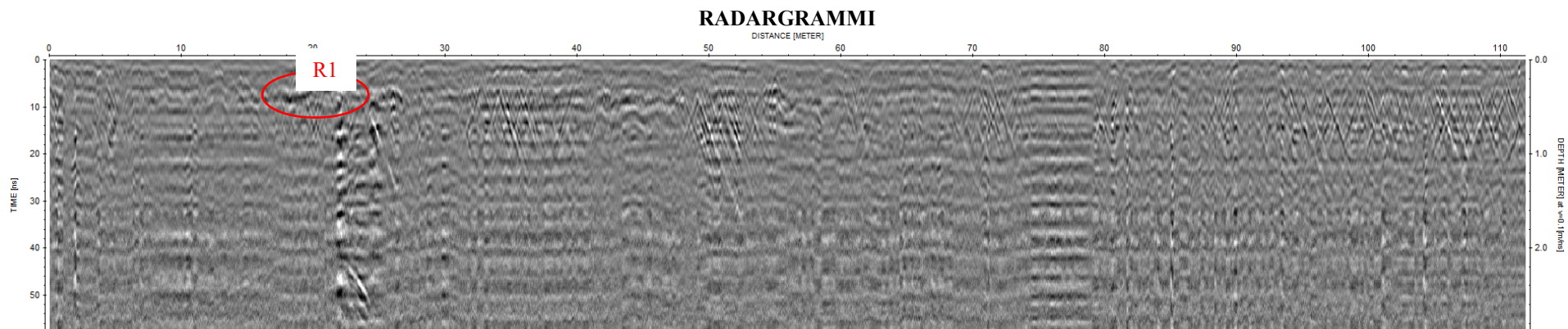
Radargramma linea L 40. La freccia in rosso indica l'anomalia da struttura lineare inclinata rispetto alla direzione di scansione. La linea in blu indica un contatto tra terreni differenti, forse un rinterro.



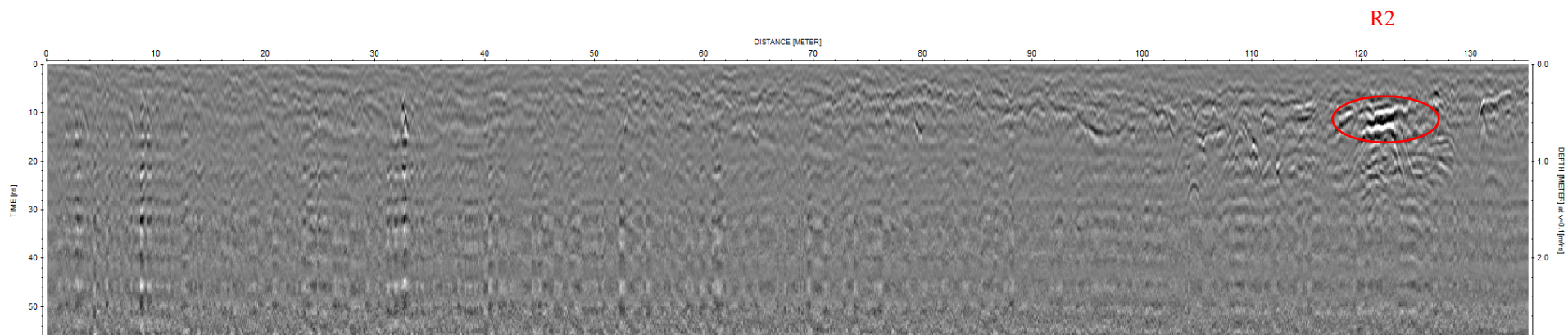
Fig 9) Area 1. Esecuzione delle misure georadar.



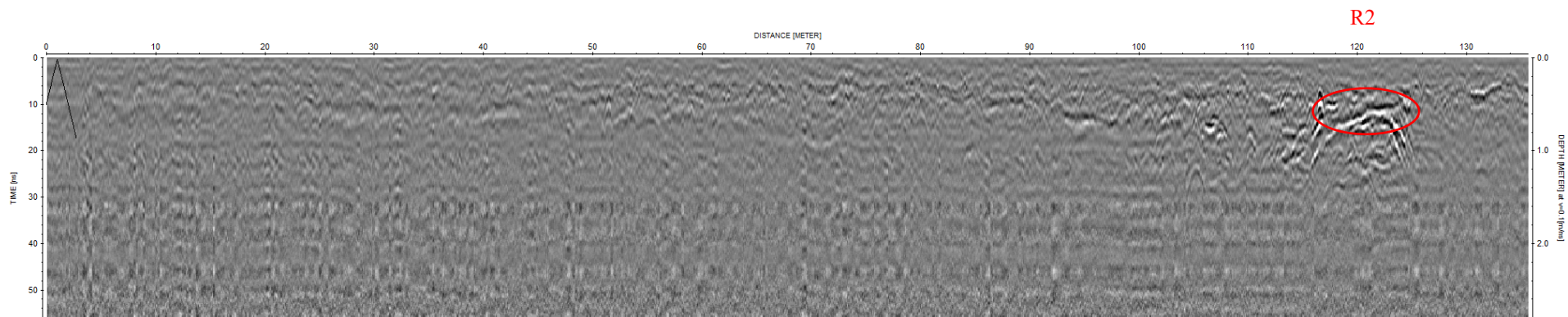




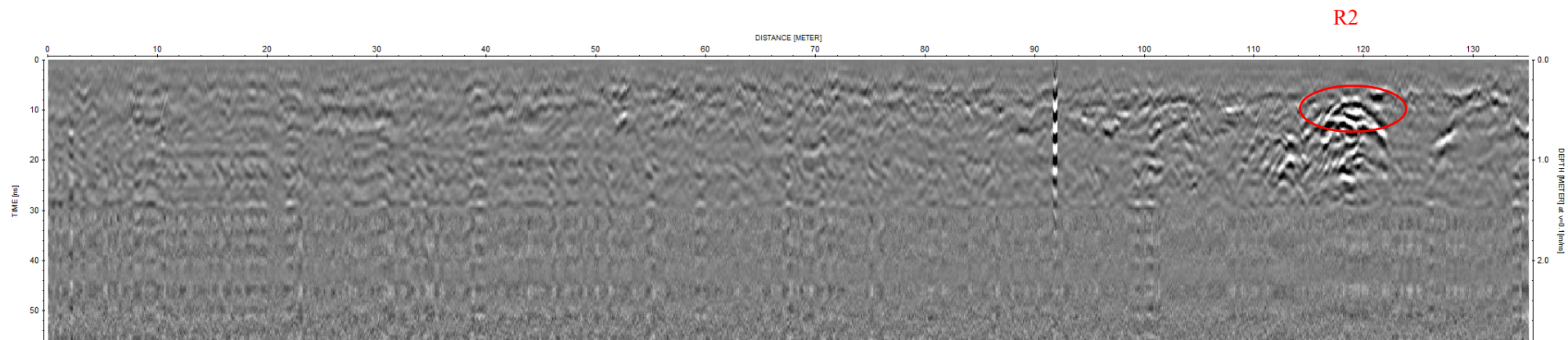
Radargramma L07. E' indicata la debole anomalia superficiale R1.



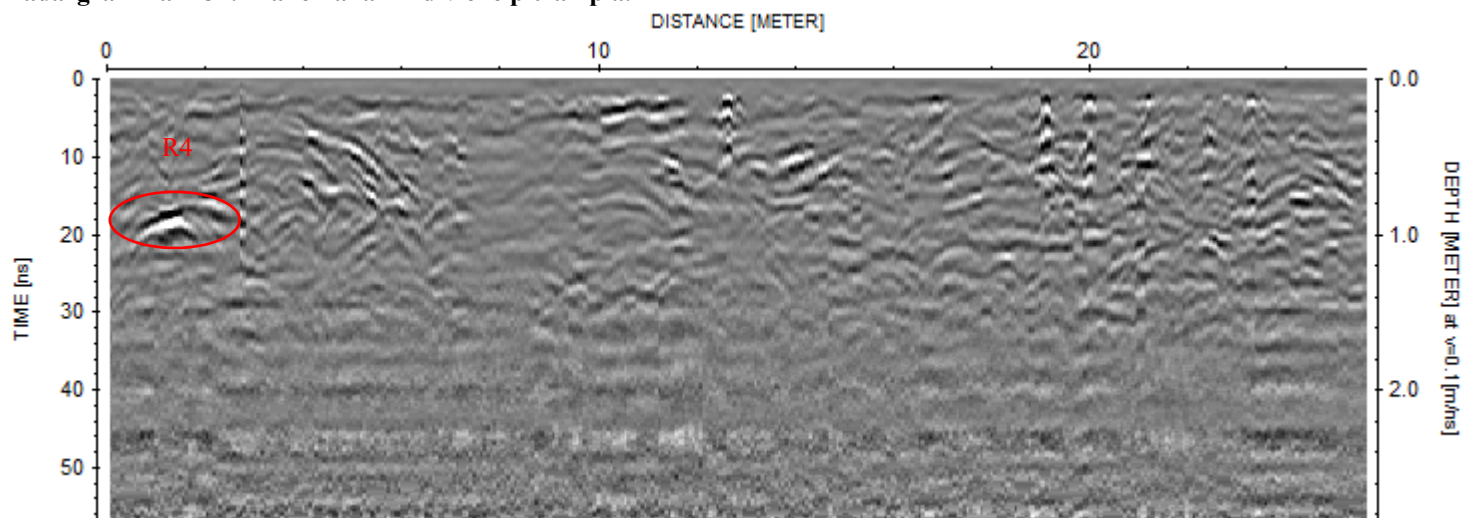
Radargramma L 29. Con indicata l'anomalia R2, a circa 0.5 m di profondità



Radargramma L 30



Radargramma L 32. L'anomalia R2 diviene più ampia.



Radargramma L 32. E' indicata l'anomalia R4, a circa 0.9 m di profondità, probabilmente relativa ad un sottoservizio.

AREA 2 – FABRIANO Loc. Argignano

L'area di indagine ricade appena a SE del cimitero della Loc. di Argignano, nel comune di Fabriano (MC). Anche in questo caso si è in un contesto morfologico caratterizzato da una superficie terrazzata di genesi fluviale (terrazzo fluviale), nella parte più settentrionale pianeggiante, mentre verso sud, a valle di una stradina sterrata, assume una leggera pendenza verso l'alveo del F.sso di Argignano, tributario in destra del T.te Giano, che la delimita a meridione.

L'ampia superficie pianeggiante costituisce la sommità di un terrazzo fluviale risultante dalla deposizione, con successiva re-incisione, da parte del Torrente di Argignano, interessata nella parte in leggera pendenza da processi erosivi areali.

I depositi alluvionali sono costituiti principalmente da sabbie e ghiaie ad elementi calcarei e marnosi, originatesi dall'erosione delle dorsali più interne, formate dalle successioni mesozoiche, in gran parte costituite da calcari più o meno pelitici in facies di bacino, e dalle successive formazioni arenaceo-pelitiche mioceniche (di fase sinorogenica), che costituiscono anche il substrato locale (Formazione dello Shlier), caratterizzata dal prevalere delle facies fini di bacino (marne e marne argillose con intercalazioni calcarenitiche). In superficie è affiorante un suolo costituito da una matrice limoso-argillosa con sabbia, di colore da bruno a bruno scuro, contenente ciottoli molto eterometrici, in genere arrotondati, di calcari marnosi rossastri e grigio-biancastri.



Fig 10) Superficie terrazzata dell'Area di Argignano. Esecuzione delle scansioni con georadar.

Dal punto di vista archeologico nell'area si ipotizza la presenza di una necropoli Picena, per cui il bersaglio della ricerca può essere costituito dalla presenza di canalette o piccoli muri in pietrame a delimitazione di tumuli e/o circoli funerari, quali quelli descritti per l'area di Matelica (Fig. 6), oltre che dalle stesse sepolture. Altro indizio riguarda la presenza di un possibile tratto di strada di età romana, percepibile nelle misure magnetiche sempre se persiste un ispessimento della copertura di riempimento di eventuali canalette laterali o, nelle indagini georadar, in presenza di un lieve contrasto elettromagnetico nel "battuto" pavimentale, che diverrebbe ben più importante nel caso di un lastricato.

Come nella precedente area, anche in questo caso la qualità delle **misure magnetiche** ha subito un degrado in prossimità degli elementi ferromagnetici costituiti dal metanodotto esistente, localizzato nella porzione occidentale dell'area di investigazione, in sovrapposizione al quale le misure non sono state eseguite per l'eccessivo disturbo, e da elementi superficiali, costituiti da segnaletica sulla strada comunale, il palo in c.a. di un elettrodotto presente nella zona centro-orientale dell'area e una recinzione metallica al limite sud-orientale dell'area di indagine.

Le anomalie magnetiche (gradiente magnetico verticale) di un certo interesse (M1 e M2) si localizzano nella superficie terrazzata compresa tra la strada di Argignano e la stradina sterrata privata. L'anomalia M1 è caratterizzata da valori lievemente positivi del gradiente (fino a 3 nT/m) e assume una geometria tendenzialmente circolare con un diametro di circa 20 m, potrebbe essere relativa al solco sepolto della canaletta delimitante un circolo funerario. Appena a SW della prima, si rinviene l'anomalia M2, caratterizzata dalla presenza di due allineamenti con gradiente magnetico verticale positivo (fino a 3.5 nT/m) tra loro distanti circa 5 m, che potrebbe essere dovuta a strutture in laterizio o alle canalette di un tracciato stradale. La lunghezza di entrambi gli allineamenti è di circa 25 m, ma il segnale nella zona occidentale è coperto dalle intense anomalie dovute all'approssimarsi al metanodotto esistente.

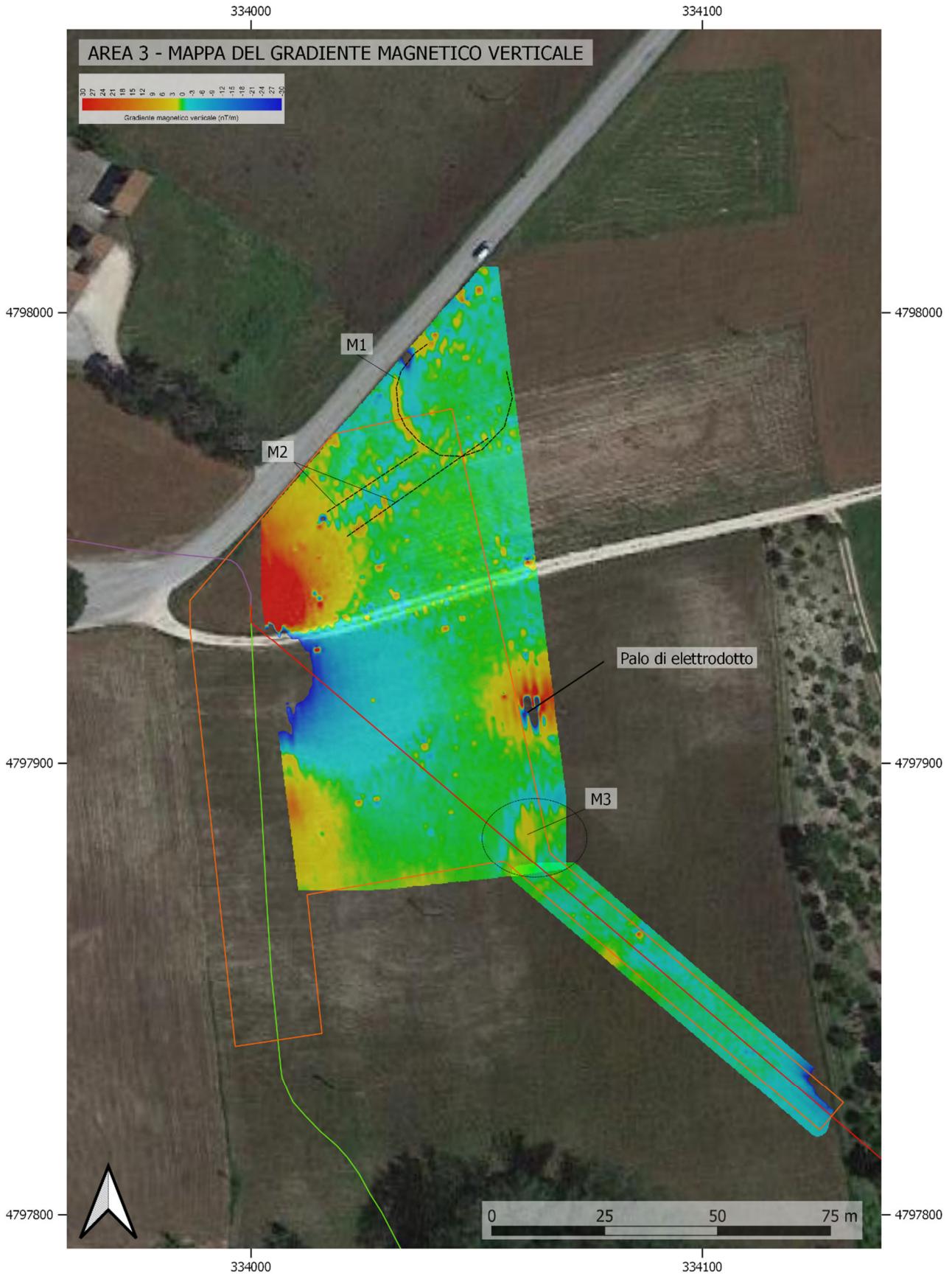
Altre anomalie puntuali, sparse, si rilevano a sud delle anomalie M1 e M2, riferibili a materiale fittile sparso (frammenti di ceramica e laterizio). L'anomalia M3 è caratterizzata da valori lievemente positivi (fino a 2 nT/m) contornata da una fascia di valori negativi (-1.5 nT/m) rimane di incerta attribuzione, forse dovuta a variazioni dello spessore del suolo.

Le **indagini georadar** sono state realizzate con scansioni tra loro equidistanziate di 1.0 m, adottando un'antenna centrata sulla frequenza di 450 Mhz. La rappresentazione della risposta elettromagnetica è stata eseguita su piani a 0.15m, 0.50m e 0.70m di profondità dal piano di campagna.

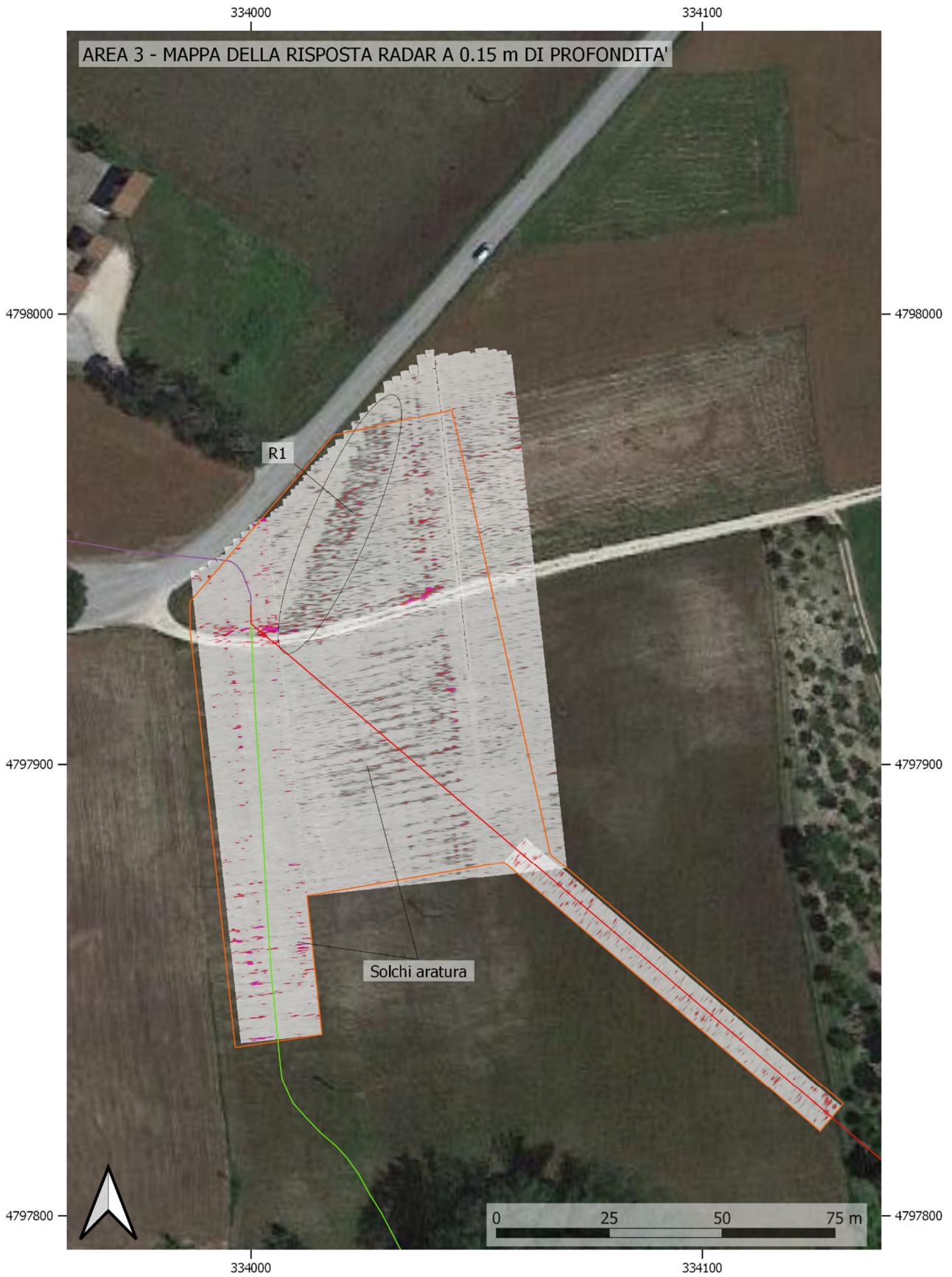
Nel piano di risposta elettromagnetica a 0.15 m di profondità, oltre alle anomalie provocate dai solchi delle arature, si osserva una fascia nel terrazzo settentrionale (R1), inclinata con direzione NNE-SSW, non coincidente con l'anomalia vista nelle misure magnetiche (M2), con un lieve aumento della riflessione del segnale; presumibilmente dovuta alle lavorazioni agricole recenti.

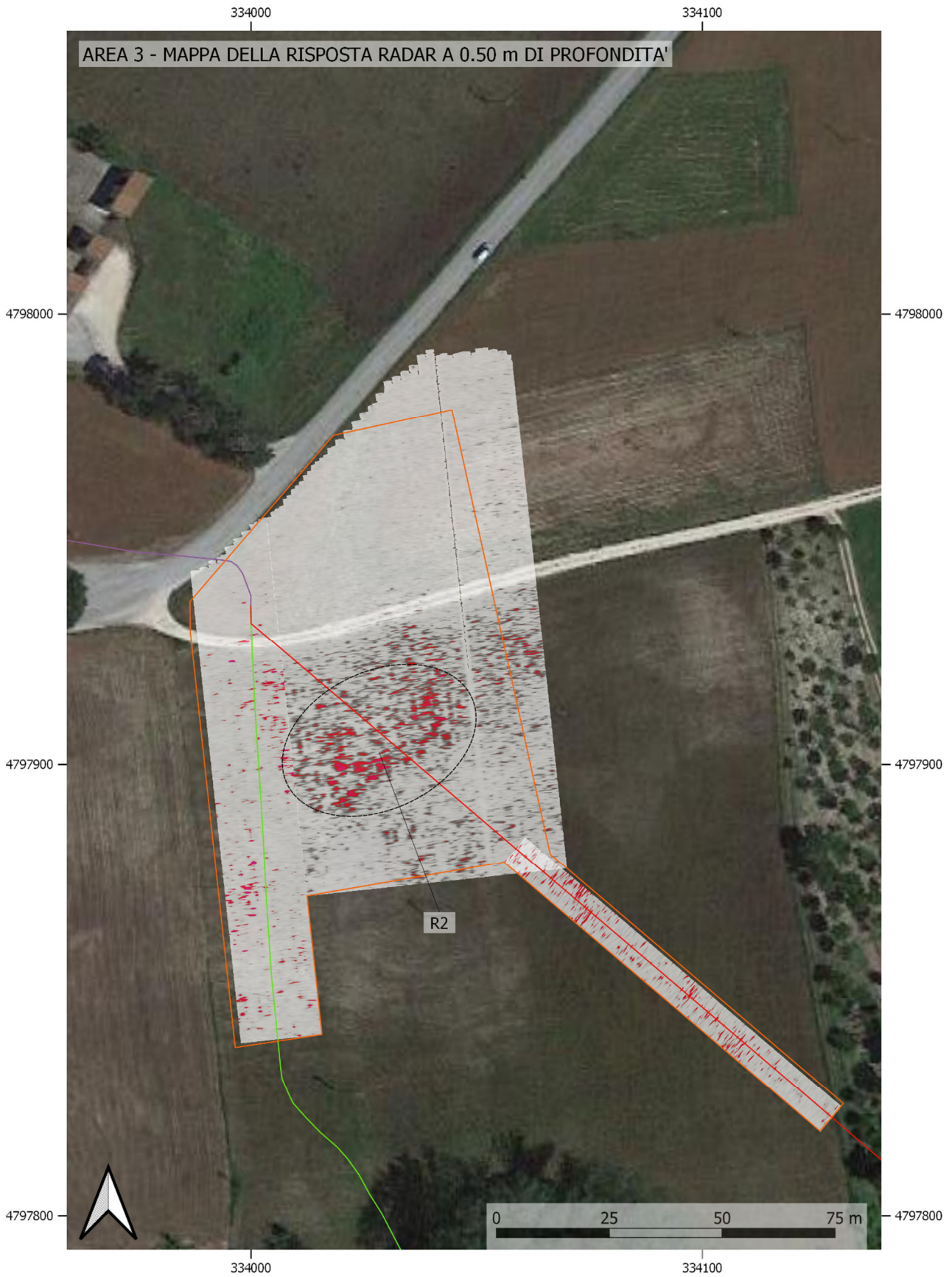
Nel piano a 0.50 m di profondità si osserva una netta variazione del pattern di risposta elettromagnetica tra il terrazzo a nord della strada sterrata, dove il segnale è rapidamente assorbito, con scarsi eventi di riflessione/diffrazione, evidentemente a causa della presenza di un suolo più spesso e di natura più conduttiva (limoso e argilloso), e il versante a sud in cui, nel settore centrale, si osservano intense anomalie (R2), tendenzialmente allineate in direzione NE-SW e NW-SE (parallele alla direzione dell'anomalia magnetica M2).

Nel piano di risposta a 0.70 m di profondità persistono gli allineamenti visti (R3 e R4), con una intensificazione dell'ampiezza del segnale in corrispondenza dell'anomalia R2; queste anomalie potrebbero essere dovute a strutture murarie sepolte e, nelle zone più caotiche, a crolli. Purtroppo gran parte di queste anomalie sono in zona di interferenza, nelle misure magnetiche, da parte del metanodotto esistente, per cui non è possibile una verifica di tale dato con quello risultante dall'indagine georadar. In alternativa all'ipotesi di origine antropica, queste zone di forte riflessione radar, potrebbero essere dovute a variazioni litologiche all'interno del substrato sabbioso-ghiaioso.

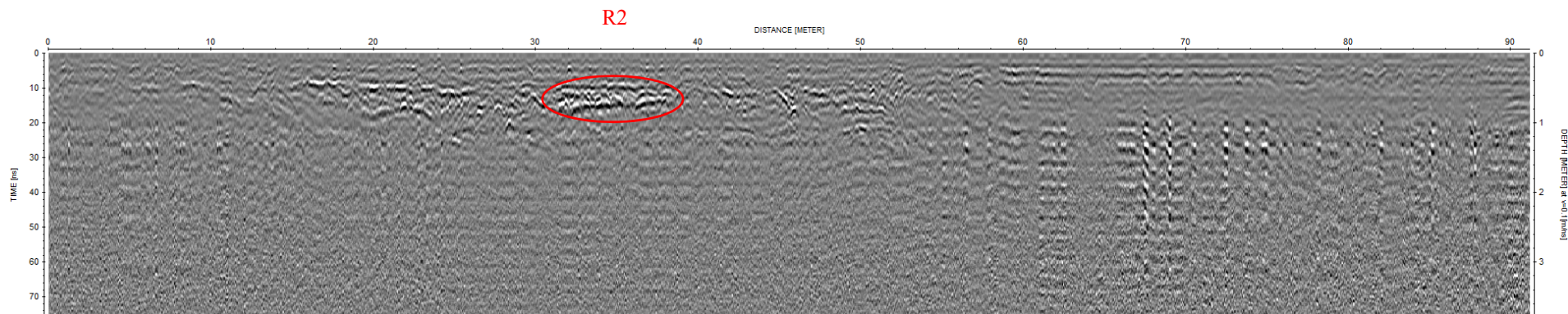




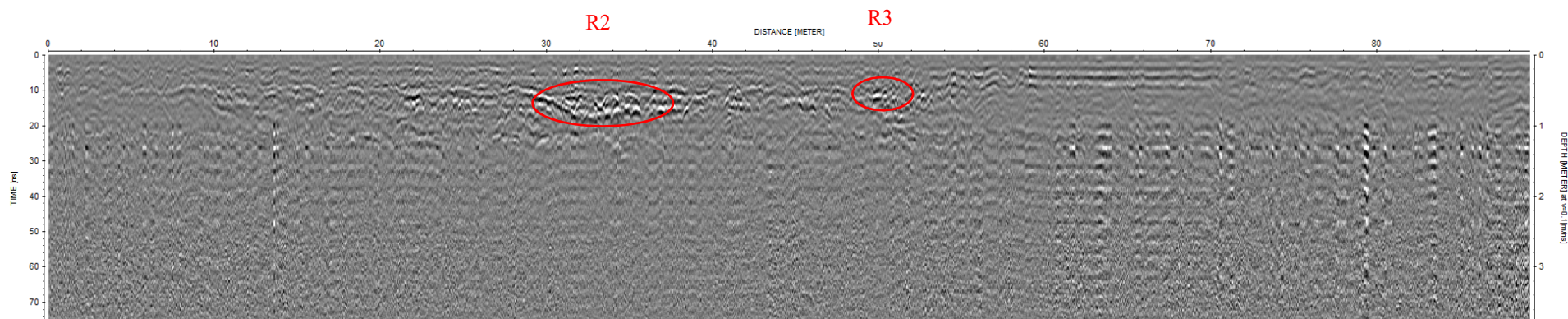




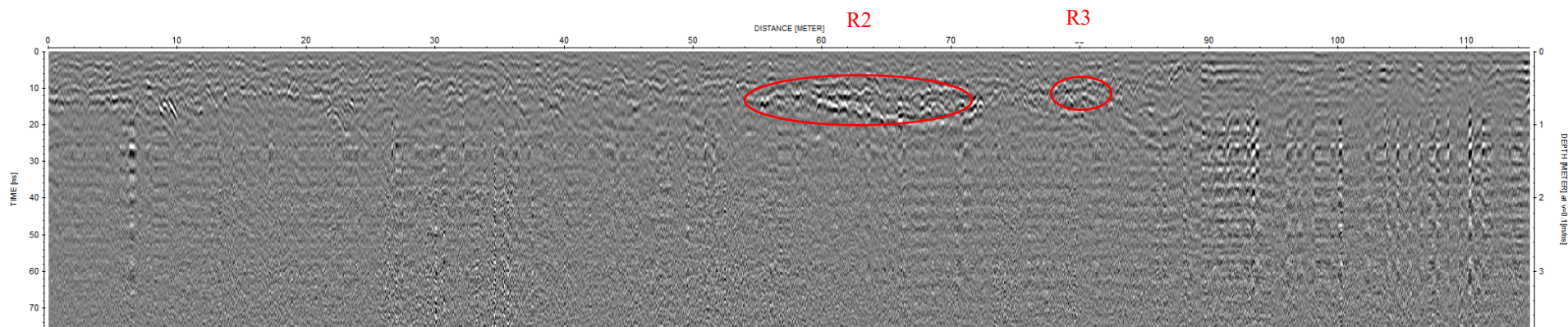




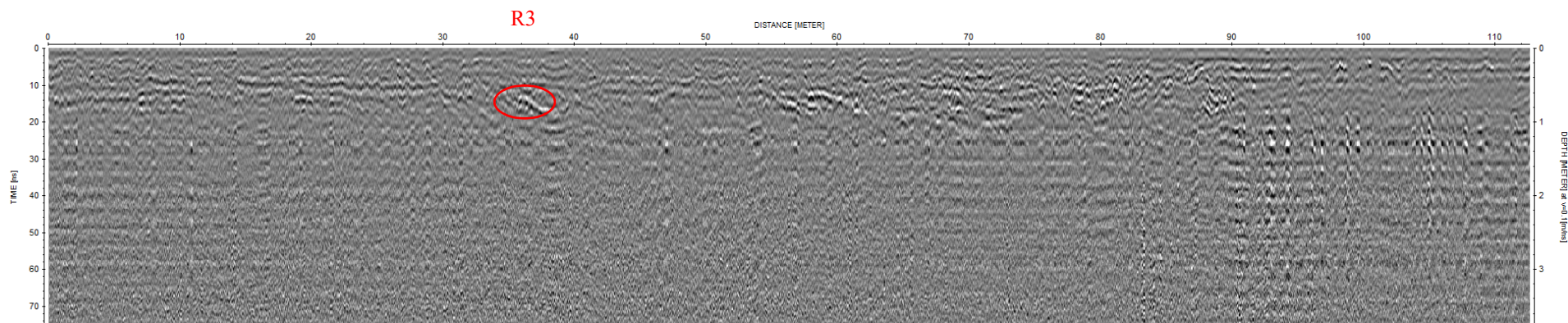
Radargramma L51



Radargramma L53



Radargramma L55



Radargramma L64