



REGIONE BASILICATA



COMUNE DI MONTEMILONE



PROVINCIA DI POTENZA



Progetto per la realizzazione di un impianto agrovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica e delle relative opere ed infrastrutture connesse, della potenza elettrica di 19,98 MW, sito nel Comune di Montemilone (PZ) in località "Masseria Sterpara sottana"

PROGETTO DEFINITIVO

Proponente:
INE MONTEMILONE S.r.l.
del gruppo



ILOS New Energy Italy
Piazza Di Sant'Anastasia n. 7
00186 - Roma (RM)

Redattori:
Dott. Geologo Baldassarre Franco La Tessa
studi e indagini geologiche, geotecniche e sismiche

Dott.ssa Archeologa Paola Guacci
studi e indagini archeologiche

Coordinatore generale e progettazione:



M2 ENERGIA S.r.l.
Via C. D'Ambrosio n. 6
71016 - San Severo (FG)

Spazio riservato agli uffici:

PD	Nome elaborato:				Codice elaborato
	Relazione Tecnica Archeologica				A.4.7
	Redatto il: 10/01/2023	Verificato il:	Approvato il:	Scala: -	Protocollo:
Rev. 01 del:	Rev. 02 del:	Rev. 03 del:	N. commessa:	Formato di stampa: A4	
					Nome file pdf: PZ0Mo01_A4_7_Relazione_Tecnica_arche

Indice generale

Premessa.....	3
1. Prospezione geofisica FDEM: background teorico.....	6
2. Prospezioni con elettromagnetometro in sito.....	8
3. Il metodo GPR.....	8
4. Strumentazione G.P.R.	10
5. Acquisizione dati in campagna.....	11
6. Elaborazione dei dati.....	12
7. Analisi dei risultati FDEM	14
8. Analisi dei risultati Georadar.....	19

Premessa

La presente relazione propone gli esiti delle indagini archeologiche preventive espletate in alcune aree destinate alla realizzazione di un impianto agrovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica e delle relative opere ed infrastrutture connesse, della potenza elettrica di 19,97736 MW, sito nel Comune di Montemilone (PZ) in località “Masseria Sterpara Sottana”.

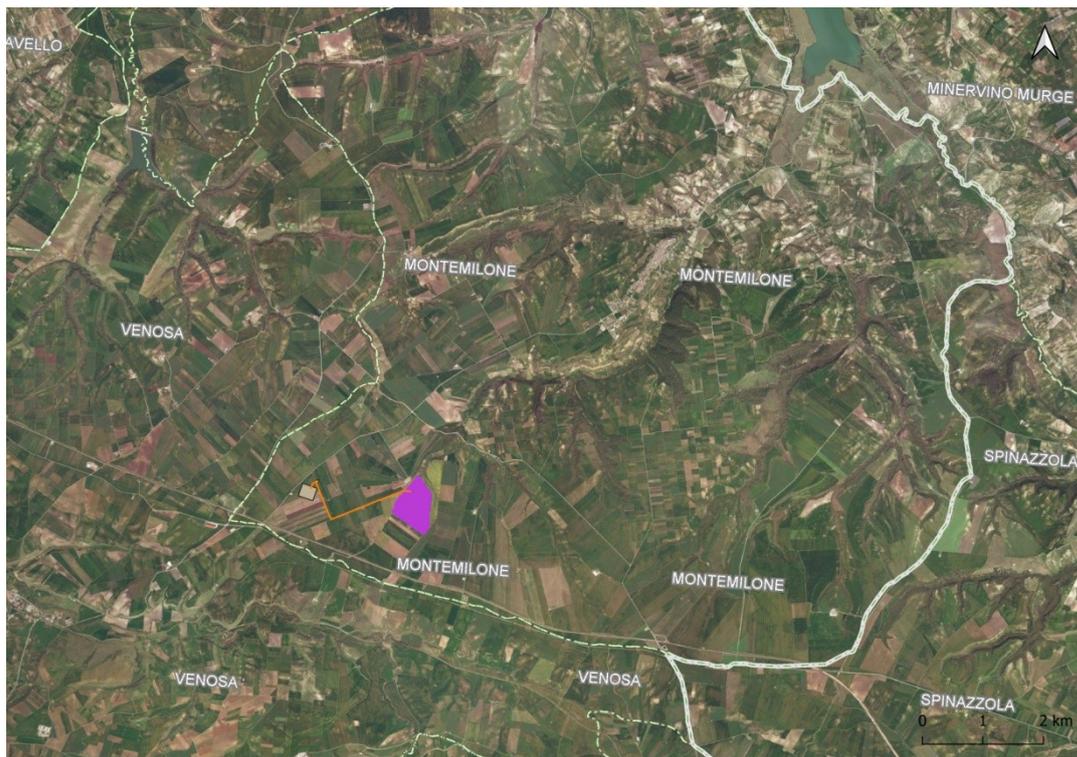


Figura 1 - Inquadramento delle opere in progetto.

Le indagini preventive sono state eseguite in ottemperanza a quanto richiesto dalla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio della Basilicata tramite nota MIC_SS-PNRR_26/07/2022_0001868-P del 26/07/2022 relativa alla necessità di effettuare indagini preventive nell'area di impianto.

Si precisa che la richiesta di integrazione è pervenuta dopo la disamina, da parte degli Enti di tutela competenti, della Valutazione Preventiva dell'Interesse Archeologico (VPIA), da cui era emerso:

- 1 - un grado di rischio archeologico alto per il lotto di impianto FV in progetto (UR 1), interessato dall'ubicazione di un sito noto da bibliografia (insediamento rustico di età romana);
- 2 - un grado di rischio archeologico basso per il tratto di cavidotto e infrastrutture connesse.

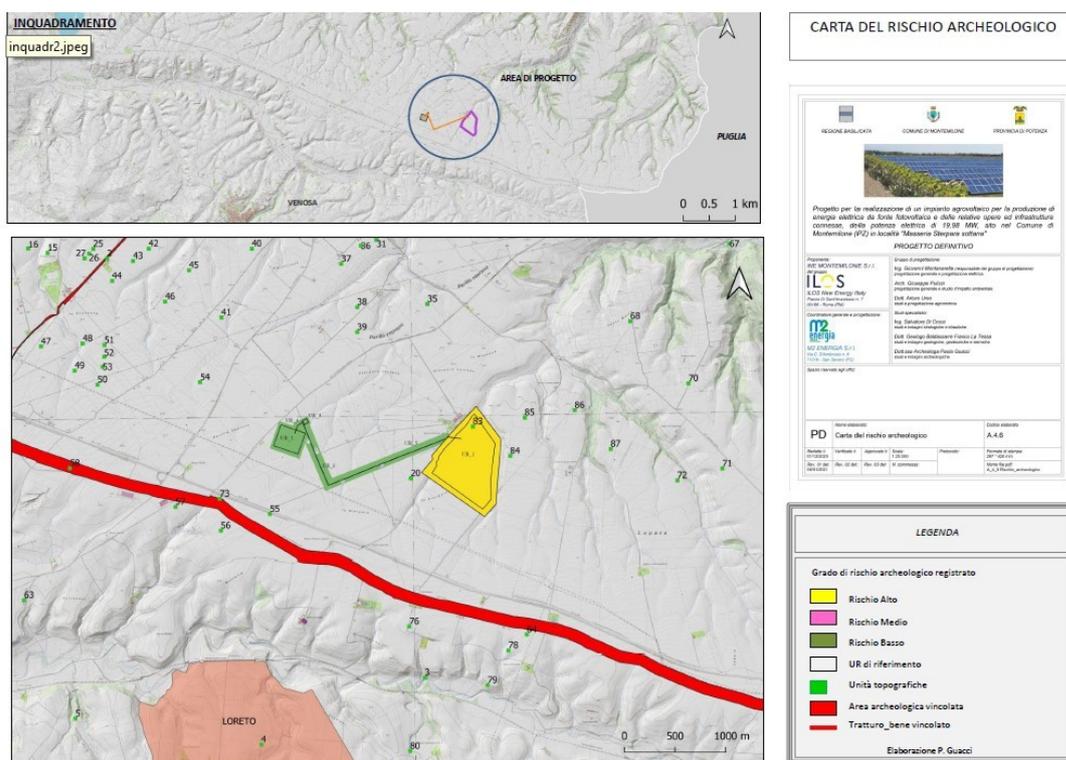


Figura 2 - Carta del rischio archeologico elaborata in sede di VPIA.

Le indagini preventive qui presentate, in accordo con l'Ente di tutela previo sopralluogo congiunto avvenuto in data 21/12/2022, hanno previsto l'esecuzione di prospezioni geofisiche su tutta l'area di impianto. In particolare, le attività hanno riguardato:

- 1 – indagini con elettromagnetometro EMP-400 della GSSI (USA) a induzione su tutta l'area di impianto;

2 - indagini GPR (Ground Penetrating Radar) con strumentazione georadar nel settore settentrionale della particella di impianto laddove si rileva un sito di epoca romana noto da bibliografia di settore (maglia m 1x1).

3 - indagini GPR (Ground Penetrating Radar) con strumentazione georadar in n. 5 aree (Grigliati nn. 1-5) che hanno restituito anomalie dalle precedenti prospezioni (fino a m 35 di spaziatura).

La superficie su cui si ubica l'insediamento romano noto da bibliografia aveva restituito, in sede di VPIA, materiale archeologico affiorante, in particolare materiale struttivo (tegole) e ceramica acroma. L'affioramento di materiale archeologico si presentava sporadico, localizzato in alcuni punti e non delimitabile con più precisione: i frammenti ceramici, dilavati e rilevati in esigue quantità, potevano essere ricondotti all'età romana solo in maniera del tutto generica.



Figura 3 - Area su cui si rileva materiale antico.



Figura 4 - Tipologia del materiale ceramico.



Figura 5 - Punti su cui si rileva la presenza di materiale antico.

A Montemilone (PZ) in località La Sterpara, zona NE, su un'area di circa 30 ettari, sono state eseguite prospezioni elettromagnetiche FDEM (Frequency Domain Electromagnetic) e georadar mirate alla ricerca di anomalie del sottosuolo in zona di target archeologico. Le attività svoltesi nel mese di Dicembre 2022 hanno previsto l'uso del metodo Georadar ad impulsi ed elettromagnetometro.



Figura 6: ubicazione dell'area di indagine racchiusa dal poligono rosso.

Normativa di riferimento

- ASG (San Giovanni Valdarno) Linee guida per indagini geofisiche
- UNI/PdR 26.1:2017 Prassi di riferimento su Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale - Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo (norme UNI)
- ASTM 2002 e s.m. American Society for Testing Materials “Standard D6432-99 Standard Guide for Using the surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation”;
- CEI 306 – 8/2004 “Impiego del radar per introspezione del suolo per prospezioni preliminari ad opere di posa di servizi ed infrastrutture sotterranee”;
- RINA RC/C18 Metodologia di II Livello GPR; dal cert. 14VE00597PO4 in conformità alle norme UNI EN ISO 9712.
- ASTM D 5777 - 95 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation
- ASTM D6432-99
- ASTM D 4748-87 American Society for Testing and Materials

- UNI/PdR 26.1:2017 Prassi di riferimento: Tecnologia di realizzazione delle infrastrutture interrate a basso impatto ambientale - Sistemi per la localizzazione e mappatura delle infrastrutture nel sottosuolo

1. Prospezione geofisica FDEM: background teorico

Al fine di verificare la presenza di target archeologici sepolti nei primi 3 m di profondità si è utilizzato un elettromagnetometro EMP-400 della GSSI (USA). Lo strumento, ultima evoluzione di una famiglia di elettromagnetometri ad induzione operanti nel dominio delle frequenze, è caratterizzato dalla capacità di misurare contemporaneamente più frequenze fino ad un massimo di 3 durante un singolo rilievo. La fascia di frequenze selezionabili, da scegliere in funzione della risposta del sito da indagare, varia nell'intervallo 1-16 kHz. La relazione che c'è tra l'ampiezza del campo secondario rispetto al primario è legata alla suscettività magnetica del suolo (componente in fase) mentre lo sfasamento tra i due campi è legato, per questa fascia di frequenze, alla conducibilità elettrica del sottosuolo. Fissato quindi un set di frequenze, lo strumento attraverso la misura, permette il calcolo della conducibilità elettrica espressa in mS/m e della suscettività magnetica espressa in unità ppm (parti per milione). L'acquisizione delle misure avviene in superficie, camminando lungo profili per quanto possibile paralleli tra loro. Il posizionamento di ogni singola misura è garantito da una unità GPS (Global Positioning System) integrata nel Palmare Recon, in modo da associare un valore di coordinate spaziali ad ogni misura effettuata. Il sistema di riferimento utilizzato è l'ellissoide globale WGS84, cartografato mediante proiezione chilometrica UTM zona 33N. Considerando la risoluzione spaziale che caratterizza la tecnica elettromagnetica ad induzione, l'utilizzo di un GPS in modalità differenziale EGNOS garantisce una adeguata precisione dell'ubicazione della misura sul campo.

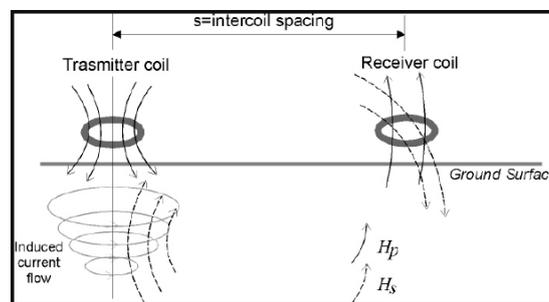


Figura 7: principio di funzionamento di un elettromagnetometro

Il metodo consiste nel far passare una corrente alternata in una bobina trasmittente dando origine ad un campo magnetico (campo EM primario) variabile nel tempo; il flusso di tale campo genera in tutti i materiali conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce) delle correnti indotte (*correnti di Foucault*) che a loro volta danno luogo ad un campo EM secondario. Quest'ultimo insieme al primario si propaga direttamente attraverso l'aria generando una corrente alternata in una bobina ricevente. Il campo magnetico totale che possiamo misurare in un punto qualsiasi dell'area in studio può essere considerato come la somma dei campi primario e secondario.

La risposta EM che si ottiene dipende dalla frequenza di oscillazione del campo primario, dalla conducibilità apparente del terreno e dall'accoppiamento geometrico tra il trasmettitore ed il

ricevitore. In particolare si può affermare che il segnale di ritorno aumenta di intensità quando interessa porzioni di terreno a maggiore conducibilità e che la profondità d'indagine diminuisce all'aumentare della frequenza del campo primario. L'elettromagnetometro restituisce un valore reale di conducibilità solo nel caso in cui il terreno attraversato sia costituito da materiale omogeneo. Se invece il sottosuolo è stratificato e ciascuno strato ha un proprio differente valore di conducibilità, lo strumento legge un valore mediato. In generale tutti i parametri ottenuti sono definiti "apparenti" in quanto risultanti dalla media delle proprietà dei materiali che costituiscono l'intero spessore di terreno investigato. Tuttavia ciò che interessa in questo tipo di ricerche non è il valore assoluto della conducibilità elettrica del terreno bensì conoscere come questa cambia in senso orizzontale nel sottosuolo: le variazioni laterali di conducibilità possono essere rilevate operando l'acquisizione dei dati in modo continuo. Nella valutazione dei risultati si deve tener conto del fatto che il valore della conducibilità elettrica rilevato da un elettromagnetometro è un parametro composito.

Technical specifications

System specifications

Coil Spacing	4 ft (1.21 m)
Operational Bandwidth	1 kHz to 16 kHz
Memory	248.5 MB 180,000 continuous data points 360,000 discrete data points
Power	Re-chargeable Lithium Ion battery or 4 (four) AA batteries
Data Transfer	by Microsoft ActiveSync or Device Manager via USB cable
Display	2.2 x 2.9 in (5.58 x 7.36 cm) color screen
Records up to 3 frequencies simultaneously	Measurement values: In-phase: PPM Quadrature: PPM Conductivity: mS/m

Mechanical

Dimensions	57.5 (l) x 9.5 (w) x 4.9 (h) in (1.46 m x 24 cm x 12.4 cm)
Weight	9.9 lbs (4.5 kg)
Environmental	Water resistant

Figura 8: specifiche tecniche dell'elettromagnetometro FDEM.

Esso infatti rappresenta l'effetto combinato di numerosi fattori. L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende da dimensione, forma, profondità dal p.c. nonché dalla frequenza del campo primario generato. La conducibilità elettrica dei suoli e delle rocce dipende inoltre dalla porosità, dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di materiale organico o di metalli etc. La presenza rilevante di minerali molto conduttivi e la dispersione di elementi metallici in concentrazioni consistenti nel sottosuolo condizionano fortemente la conducibilità elettrica.

2. Prospezioni con elettromagnetometro in sito

Nel sito d'indagine, preliminarmente si è esplorato il sottosuolo con una prospezione random in *real-time* in modo da ottenere una buona definizione del background, cui riferire le anomalie ed avere al contempo un'idea di massima circa la loro localizzazione areale. In seguito è stata realizzata una prospezione sistematica effettuata rilevando dei profili disposti parallelamente fra loro preimpostati all'interno di una griglia in modo da coprire tutta l'area richiesta. La scansione è stata effettuata in modalità avanti-indietro con i dipoli sia orizzontali che verticali con trasmittente e ricevente a dipoli paralleli e configurazione broad-side, alta stabilità nelle misurazioni, non essendo affetto dal drift della temperatura e cercando di mantenere costante la velocità di avanzamento. La prospezione su griglia presenta le seguenti peculiarità:

- una copertura areale completa su di una porzione di territorio relativamente piccola
- la distanza ridotta tra i profili consente di ottenere una forte correlazione laterale tra i dati, ottimizzando e rendendo più realistici i risultati del processo di kriging¹
- le dimensioni ridotte dell'area investigata permettono di incrementare notevolmente la precisione nel posizionamento, minimizzando l'errore del GPS
- può essere facilmente mantenuto costante l'orientamento dei dipoli minimizzando eventuali effetti di deriva elettromagnetica che possono scaturire dall'ambiente circostante
- la possibilità di verificare la reale consistenza delle anomalie rilevate ripetendo l'acquisizione dei dati più volte lungo le stesse direzioni
- l'uso di una griglia quadrangolare minimizza la presenza sulle mappe di conducibilità e di suscettività magnetica di interpolazioni virtuali ai bordi.

3. Il metodo GPR

Il GPR (Ground Penetrating Radar o Ground Probing Radar) è un metodo d'indagine geofisica, non distruttivo, utilizzato per ottenere informazioni ad alta risoluzione delle caratteristiche del sottosuolo. Tra le sue varie applicazioni troviamo i rilievi per la localizzazione di mine, di infrastrutture sotterranee e sotto-servizi (condotte, tubature, etc.), per la definizione della tavola d'acqua ed applicazioni in campo geologico strutturale e stratigrafico. 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 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.

Gli strumenti attualmente prodotti operano nel dominio del tempo e sono del tipo ad impulsi (monostatici e bistatici a bassa potenza di trasmissione) con antenne UWB, ad impulsi con

¹ Metodo di regressione usato nell'ambito dell'analisi spaziale (geostatistica) che permette di interpolare una grandezza nello spazio.

hyperstacking (somma di tracce dell'ordine di migliaia al secondo per migliorare la penetrazione e risoluzione in profondità), Monopulse ad alta potenza di trasmissione ed a penetrazione profonda, a noise modulato (basati su algoritmi Music (multiple signal classification); nel dominio della frequenza e sono a modulazione di frequenza continua (FSCW) o a step (FMCW).

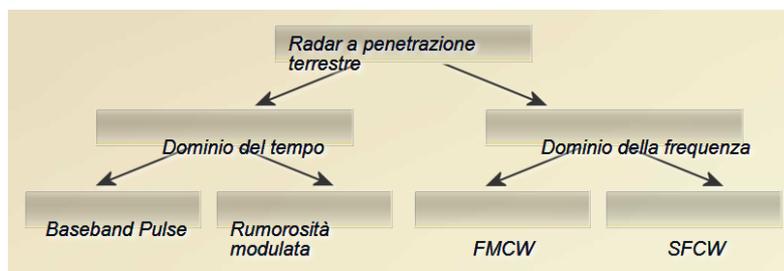


Figura 9: suddivisione degli strumenti georadar sulla base del dominio di lavoro

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). La scelta della configurazione, fondata sugli scopi della ricerca, è basata sulla profondità massima di indagine e sul livello di dettaglio richiesto. Questi a loro volta contribuiscono alla scelta della frequenza dell'antenna; 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.

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 una unità di controllo che genera anche gli impulsi necessari al funzionamento delle antenne. Eventuali oggetti presenti al di sotto delle superfici rilevate generano delle immagini radar ("radargrammi").

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 che assorbono diversamente le onde elettromagnetiche. 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 larga banda. 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.

4. Strumentazione G.P.R.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sistema radar Zond12-e della "Radsys company", costituito da:

- computer laptop Getac;
- unità di controllo antenne pluricanale (time range: 1-2000 nsec 1 nsec step; transmit rate 115 khz; scan rate 360 scan/sec; campioni per scan 1024 a 16 bit; input power 10,5 ÷ 13 Volt DC 0,4 A);
- GPS connesso al laptop;
- Antenne in configurazione bistatica (separate quella trasmittente e ricevente): 900 Mhz:
- Antenna type: shielded, surface-coupled
- Transmitter output: 400 Volts
- Receiver gain: 10 dB
- Receiver sensitivity: 120 mcV
- Resolution: 1 cm in dipendenza della permittività dielettrica e dell'attenuazione del mezzo
- Power: 12 Volts, 0.35 Amp. by cable from central unit
- Offset Tx-Rx: 35 cm

1000 Mhz:

- Antenna type: shielded, surface-coupled
- Transmitter output: 400 Volts
- Receiver gain: 10 dB
- Receiver sensitivity: 120 mcV
- Resolution: 3 cm in dipendenza della permittività dielettrica e dell'attenuazione del mezzo
- Power: 12 Volts, 0.35 Amp. by cable from central unit
- Offset Tx-Rx: 25 cm
- configurazione bistatica a copertura singlefold e multifold;
- 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 ed elabora il segnale ricevuto dalla sezione ricevente dell'antenna. All'unità centrale sono collegate, tramite un cavo multipolare, le antenne che hanno 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.

5. *Acquisizione dati in campagna*

Laddove sono emerse anomalie nelle mappe di componente in fase, conducibilità elettrica e suscettività magnetica, sono state eseguite 5 griglie di acquisizione in modalità densa (fino a 35 cm di spaziatura). Le griglie sono così caratterizzate:

ID griglia	nome	tipo	Latitudin e origine	Longitudi ne origine	Misure lati (in m)	Acquisizione con spaziatura densa	Note
1	G1	rettangolare	40.9985	15.9233	32x15	si	Zona con ghiaia sciolta superficiale

2	G2	rettangolare	40.9976	15.9239	32x15	si	Zona con ghiaia sciolta superficiale
3	G3	rettangolare	40.9968	15.9250	32x15	si	Zona con ghiaia sciolta superficiale
4	G4	rettangolare	40.9944	15.9200	10x33	si	Zona con ghiaia sciolta superficiale
5	G5	rettangolare	40.9958	15.9211	10x33	si	Zona con ghiaia sciolta superficiale

La prima fase ha richiesto la delimitazione di ciascuna griglia di acquisizione (con punto origine ed assi X, Y) entro cui effettuare le strisciate GPR tramite coni visivi, paline e bindelle metriche.

La procedura ha richiesto strisciate parallele e perpendicolari (2 B-scan) su ciascuna area quadrata utilizzando antenne di frequenza opportuna. La spaziatura usata tra le scansioni è stata di 35 cm. Preliminarmente all'indagine è stata controllata la qualità e continuità degli eventi riflessi in modo da poter discriminare le riflessioni dovute ad anomalie locali dal "rumore di fondo" causato essenzialmente da variazioni geolitologiche del sottosuolo. Successivamente è stato verificato lo stato di penetrazione ed assorbimento del segnale su un punto al fine di definire le antenne da utilizzare e settarne i parametri.

L'interpretazione dei dati, mediante un'accurata analisi delle variazioni di fase e di intensità dei segnali riflessi, ha lo scopo di evidenziare la presenza di anomalie locali sulle sezioni radar e di fornire una possibile attribuzione della causa che ha prodotto tale evento. L'obiettivo dell'indagine era la ricognizione di anomalie del sottosuolo.

La taratura e la determinazione delle velocità e permittività degli strati sono state condotte con il metodo di acquisizione CDP (Common Depth Point) su 1 punto per ogni grigliato. Conoscendo questi due parametri si è potuto così calcolare lo spessore degli strati superficiali attraversati dall'onda elettromagnetica e la velocità di propagazione della stessa. I profili sono stati acquisiti in modalità single-fold.

6. Elaborazione dei dati

Durante la fase di acquisizione in campagna, si è preferito applicare ai dati i soli filtri necessari alla rimozione dei disturbi principali (irradiazione di cavi elettrici), preferendo rimandare alla successiva fase di elaborazione in ufficio la determinazione dei parametri ottimali. La fase pre-processing 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.



Figura 11: posizione ed orientazione su foto satellitare dei grigliati.

Flussi di elaborazione

I profili radar sono stati elaborati con i software Seismic Unix, Matlab e Prism25; quelli a copertura singola sono stati sottoposti al seguente processing:

Allineamento delle tracce (acquisite secondo il metodo avanti-indietro)

Interpolazione generale e ricampionamento

Rimozione componente DC e dewow

Correzione dello Zero Drift	Conversione in profondità
Analisi wavelet	Analisi dell'ampiezza istantanea, fase e frequenza istantanea
Correzione delle Statiche	Applicazione di involucri e della trasformata di Hilbert
Analisi dello Spettro d'ampiezza	Analisi 3D e preparazione dei file per l'estrazione di time slice
Applicazione di filtri Ormsby (Filtro Passband) e Notch	Generazione delle time slice d'ampiezza mediata.
Gain esponenziale ed a funzione complessa con 8 limiti	
Correzione move-out	
Migrazione	

7. Analisi dei risultati FDEM

Sono state utilizzate 3 frequenze di acquisizione: 16 kHz e 14 kHz e 11 kHz. Per ciascuna di esse sono state ottenute 3 mappe, quella della conducibilità elettrica, quella della componente in fase e della suscettività magnetica e dal momento che abbiamo utilizzato 3 diverse frequenze di energizzazione del terreno sono state ottenute 9 mappe per il sito. La rappresentazione planimetrica dei risultati è una mappa ad isovalori che può essere visualizzata con delle isolinee oppure con delle scale di colore dove ogni colore (o tonalità) esprime un ben preciso range di valori (vedi figure successive).

Con il termine “anomalia” si identifica dunque, in un determinato contesto di indagine, il segnale (espresso in termini di conducibilità elettrica o di suscettività magnetica) prodotto dalla presenza di un corpo. L'individuazione di questo segnale “anomalo” su di una mappa ad isovalori presuppone che si conosca il valore di fondo caratteristico del terreno, misurato laddove questo sia privo di qualunque tipo di struttura antropica. Dal momento che l'anomalia è un oggetto di concezione relativistica che presuppone la conoscenza di un valore numerico di fondo al quale possa essere riferita, si può affermare in linea teorica che incrementando l'estensione dell'area investigata il valore medio del parametro di interesse (conducibilità elettrica o suscettività magnetica) misurato in quest'area si avvicinerà sempre più al valore di fondo. La conducibilità elettrica del terreno è la sua attitudine a lasciarsi attraversare da una certa quantità di corrente per unità di volume e la componente in fase è la quantità relativa del campo magnetico primario ed è strettamente legata alla suscettività magnetica dei materiali. Essa serve a discernere i materiali di origine artificiale da quelli legati alla geologia nelle mappe di conducibilità elettrica. Infatti le anomalie della componente in fase (analizzate di concerto con quelle della conducibilità e suscettività magnetica) sono legate alla presenza di laterizi, ceramiche, terreni magnetizzati, oggetti metallici, accumuli di minerali metallici che con l'ausilio del georadar possono essere circoscritte nella geometria e profondità.

Prospezioni elettromagnetiche FDEM (frequency domain electromagnetic)
Montemilone (PZ) Area NE - Dicembre 2022

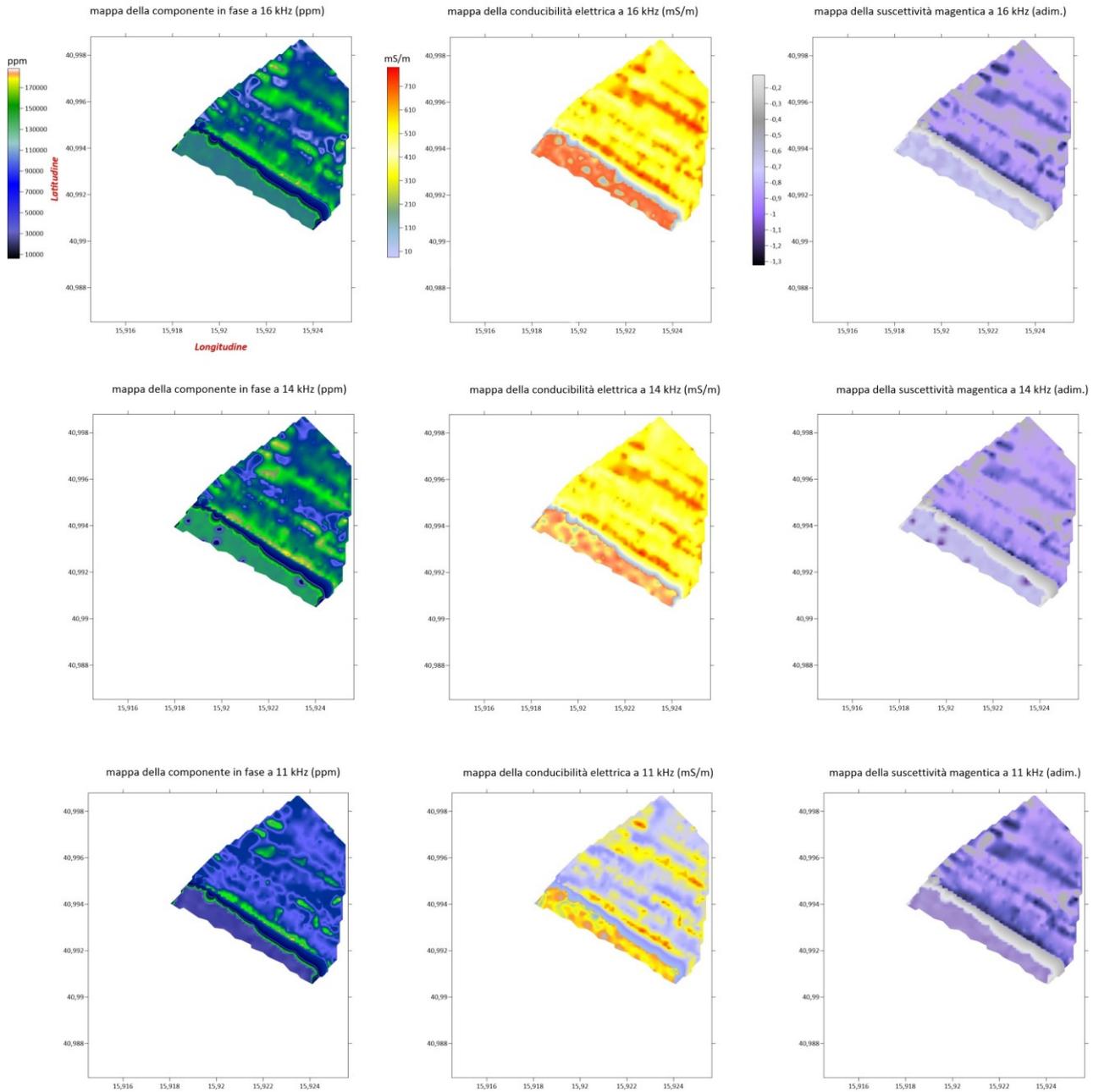


Figura 12: mappe della componente in fase, della conducibilità elettrica e della suscettività magnetica del sito di Montemilone, area NE, per le frequenze di 16, 14 e 11 kHz; per una profondità stimata fino a 3 m dal p.c.

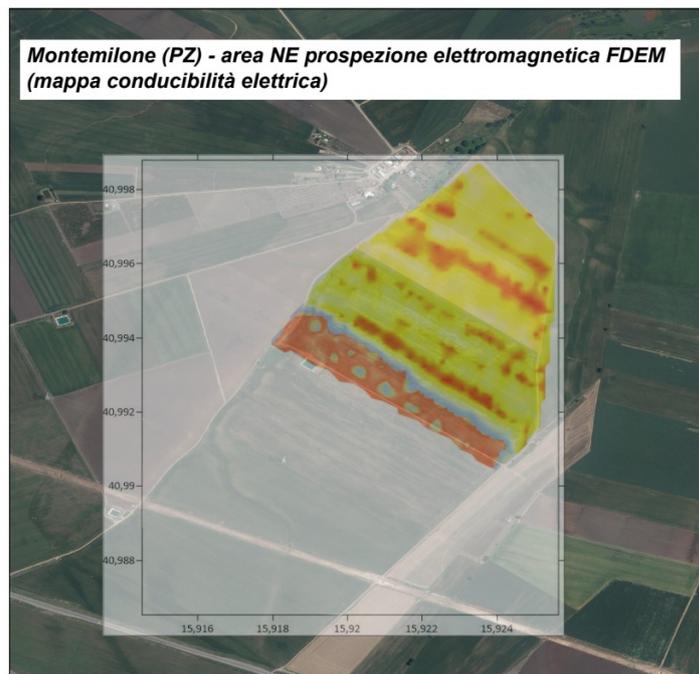
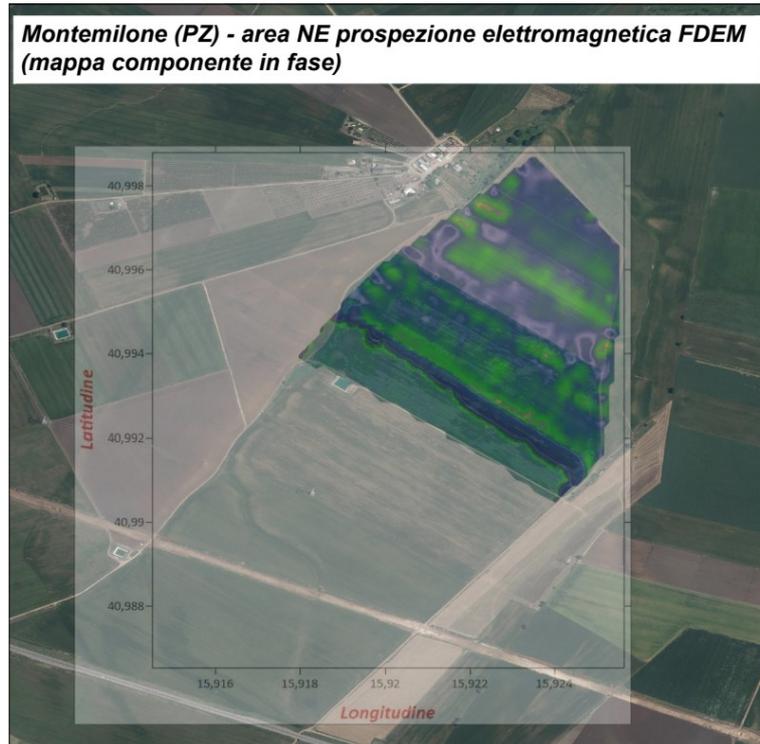


Figura 13: sovrapposizione su ortofoto delle mappe di componente in fase (in alto) e conducibilità elettrica (in basso) a 16 kHz.

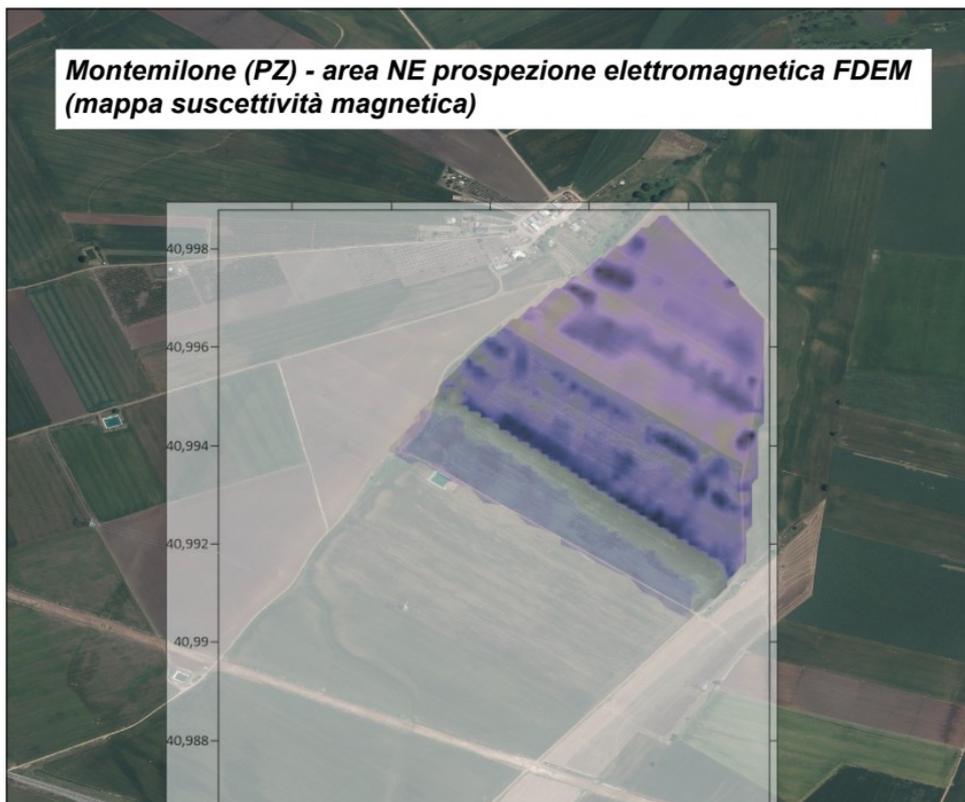
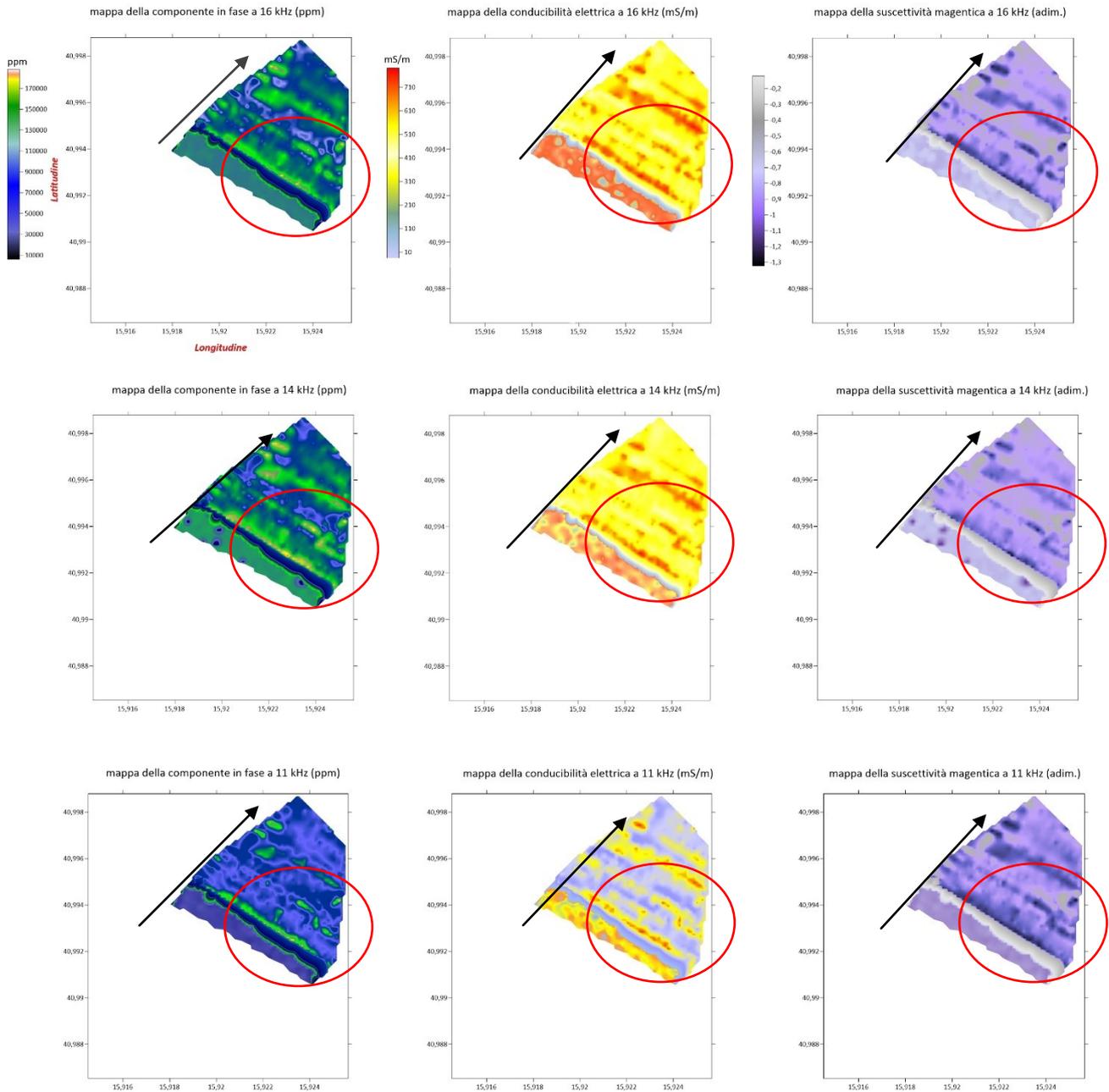


Figura 14: sovrapposizione su foto satellitare della mappa della suscettività magnetica a 16 kHz

**Prospezioni elettromagnetiche FDEM (frequency domain electromagnetic)
Montemilone (PZ) Area NE - Dicembre 2022**



- Anomalie mappa FDEM-

Nel sito sono state individuate alcune anomalie: con la freccia nera (da sudovest verso nordest) abbiamo tutta una fascia, sull'intera larghezza del poligono) dove cambiano nettamente le caratteristiche dei terreni. Ciò è evidenziato dai valori della componente in fase che dapprima si innalzano poi si abbassano di un ordine di grandezza, quelli della suscettività magnetica arrivano, su un'intera fascia, a valori minimi, mentre la conducibilità elettrica varia con lo stesso schema della componente in fase.

Queste variazioni unidirezionali sono legate alle caratteristiche dei terreni, soprattutto quelli del primo metro e mezzo che hanno assunto in relazione alle pratiche agricole, alle colture, alle concimazioni. Ad esempio nella fascia con valori minimi di suscettività magnetica siamo nella coltivazione attiva di finocchi, mentre in quella successiva ed adiacente verso nordest siamo nella fascia già seminata e concimata.

Anche la conducibilità elettrica presenta una variabilità diffusa soprattutto in senso nordest-sudovest. Ciò è dovuto alle caratteristiche intrinseche del suolo e della ghiaia sottostante. La suscettività magnetica presenta invece un andamento privo di anomalie ma solo una leggera deriva dei valori verso nordest. Invece la componente in fase non presenta anomalie su questa area.

8. Analisi dei risultati Georadar

Usando le osservazioni geologico-stratigrafiche, i test diretti di risposta dei terreni i dati dei CDP è stato possibile definire il **range di ricerca del target archeologico** lungo la *time window* del radargramma. Ogni singolo radargramma è delimitato spazialmente da un asse x (distanze) ed un asse y (tempo doppio di propagazione delle onde elettromagnetiche).

L'obiettivo è quello d'identificare la dimensione, profondità e collocazione delle anomalie sepolte attraverso sia la correlazione di riflessioni importanti nei profili bidimensionali sia l'analisi dell'ampiezza. Con quest'ultima si creano *slice-map* ovvero mappe dell'onda riflessa di diversa ampiezza nella griglia. Il risultato è una serie di mappe che coprono uno "spessore" temporale (in questi casi ad es. 0-12 nsec equivale ad uno spessore di 45 cm circa) che illustrano la collocazione tridimensionale delle anomalie.

L'interpretazione dei dati GPR consiste nella visualizzazione di ogni profilo e poi nella collocazione su mappa delle riflessioni importanti e di altre anomalie. Le differenze di ampiezza sono analizzate in termini di "*time slice*" che evidenziano solo cambi all'interno di profondità specifiche nel terreno. Ogni *time slice* è comparabile con una fetta di terreno, solo che qui i livelli sono un insieme di ampiezze dell'onda riflessa che prendono il posto dei sedimenti.

Le *slices* di ampiezza sono costruite in intervalli di tempo (in nsec) ed ognuna di esse rappresenta uno spessore approssimato del materiale sepolto. I cambi d'ampiezza visibili in una serie di *time slices* nel terreno sono analoghi allo studio dei cambi geologici nello strato ad uguale profondità. Dunque i profili radar raccolti lungo linee parallele dentro una griglia sono sezionate ad un particolare intervallo di tempo *dt*. Le ampiezze relative delle onde radar riflesse registrate tra quei tempi (la *slice*) sono poi ***mediate*** ed interpolate prima di essere mappate. Le anomalie risultanti, visibili in una *slice map*, rappresentano perciò la distribuzione spaziale delle ampiezze della riflessione a profondità specifiche all'interno della griglia.

Le *time slice standard* devono essere considerate solo approssimate *depth slice*! Infatti gli intervalli di profondità sono stimati.

Le mappe *slice gpr* sono state georiferite e posizionate su mappa in formato GIS.

Le mappe opportunamente rettificate secondo la deformazione locale sono state riposizionate e sovrapposte tra loro. I software utilizzati sono: Ermapper, Autodesk Map 3D, oziExplorer, Surfer.

L'obiettivo era quello di identificare possibili target archeologici nel sottosuolo. Le interpretazioni sono frutto di processing ed analisi a livelli diversi (analisi degli spettri, delle fasi, dei coefficienti di attenuazione/assorbimento, migrazione, involuppi dell'onda, analisi delle velocità EM), che si applicano in un ambiente multisoftware, anche con tecniche di comparazione e matematiche. Infatti la deduzione, l'evidenziazione e l'interpretazione delle anomalie (dalle cavità, ai sottoservizi, ai caratteri di porosità, contenuto d'acqua e fratturazione) non è fatta solo sull'immagine (qualitativa), ma soprattutto sugli attributi dei segnali (polarità, fase, frequenza istantanea, ampiezza, ampiezza istantanea, coefficienti di riflessione, focusing, scattering, clutter) e sull'applicazione degli algoritmi di elaborazione come filtraggi, migrazioni, dewow, backscattering, trasformata Radon, analisi di velocità. Dunque, la forma delle anomalie nei radargrammi non è collegata automaticamente a quella reale.

La precisione nel posizionamento delle linee dipende da quella del rilievo utilizzato, dalle condizioni del terreno, dalla discriminazione dei segnali in fase di elaborazione. Tuttavia, l'errore nel posizionamento spaziale può essere contenuto entro il 5%. Nell'indagine effettuata i principali parametri tenuti in considerazione sono la massima profondità d'investigazione ed il potere risolutivo.

Poiché la frequenza degli impulsi elettromagnetici influisce sia sul potere risolutivo sia sulla profondità di investigazione sono state scelte due antenne: 900 e 1000 Mhz, ottimo compromesso per questo sito e per le condizioni del sottosuolo relative al giorno d'indagine tra profondità di penetrazione del segnale e potere risolutivo.

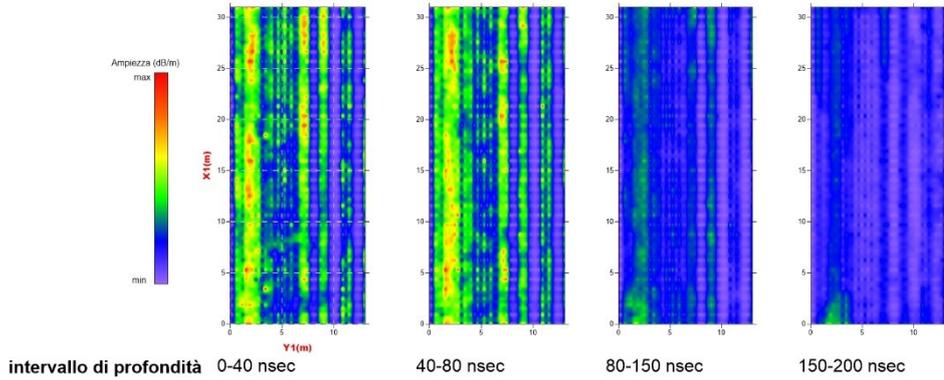
Nelle figure seguenti sono riportati l'ubicazione delle slice, l'ensamble delle slice per ogni grigliato, i particolari delle ubicazioni, le foto.

Note sulle letture delle Time slice mediate:

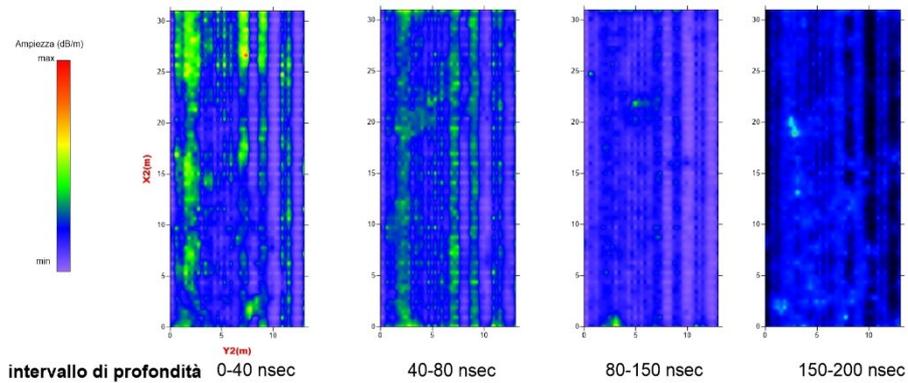
Le slice sono state costruite tutte con la stessa scala di colori che va dal blu scuro al rosso-magenta. Il primo rappresenta i segnali a debolissima ampiezza il secondo quelli ad elevata ampiezza. Ad esempio i terreni in posto ghiaiosi hanno un'ampiezza elevata rispetto ai valori di fondo del terreno sciolto.

Qui in tutti i grigliati si nota che a partire da una media di 90 cm (sterza slice in ordine di profondità) prevale il colore rosso su tutto il grigliato. Ciò sta ad indicare che il segnale prevalente è quello ad alta riflettività della ghiaia rispetto al terreno sciolto. La profondità di rinvenimento delle anomalie ha un range di errore di ± 10 cm.

MonteMilone
 Indagine georadar Dicembre 2022
 - Time slice ampiezza mediata grigliato X1Y1



MonteMilone
 Indagine georadar Dicembre 2022
 - Time slice ampiezza mediata grigliato X2Y2



MonteMilone
 Indagine georadar Dicembre 2022
 - Time slice ampiezza mediata grigliato X3Y3

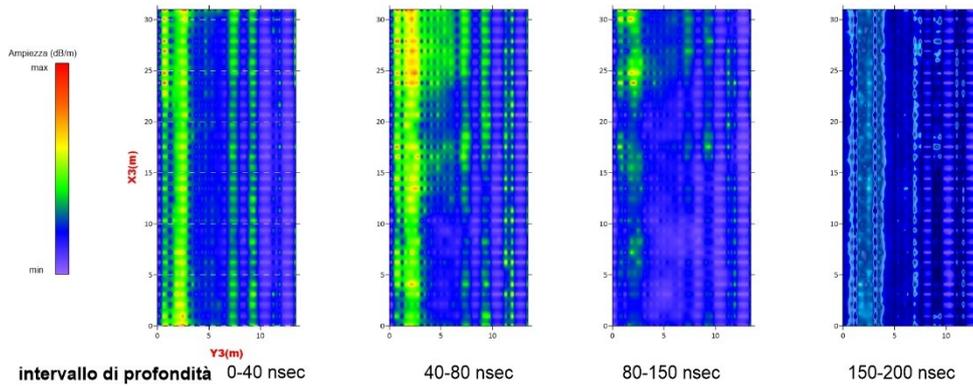


Figura10: time slice d'ampiezza mediata del grigliato georadar X1Y1-X2Y2-X3Y3

MonteMilone
Indagine Georadar Dicembre 2022
- Time slice ampiezza mediata grigliato X4Y4 -

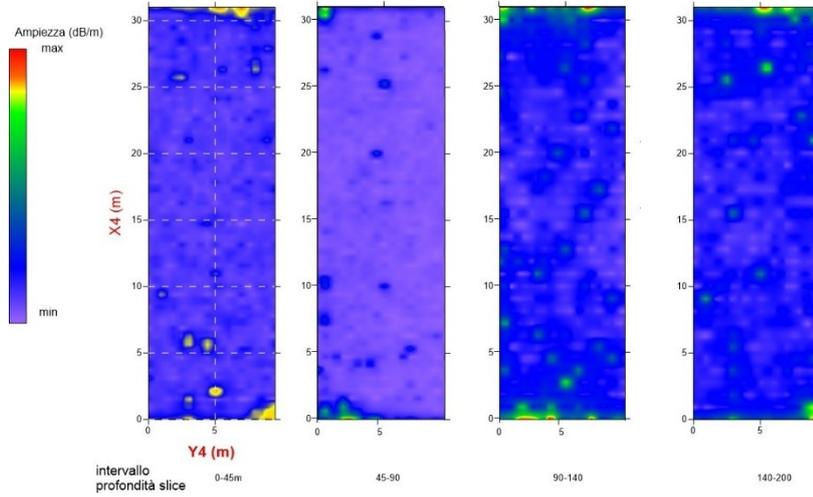


Figura 11: time slice d'ampiezza mediata del grigliato georadar X4Y4

MonteMilone
Indagine Georadar Dicembre 2022
- Time slice ampiezza mediata grigliato X5Y5

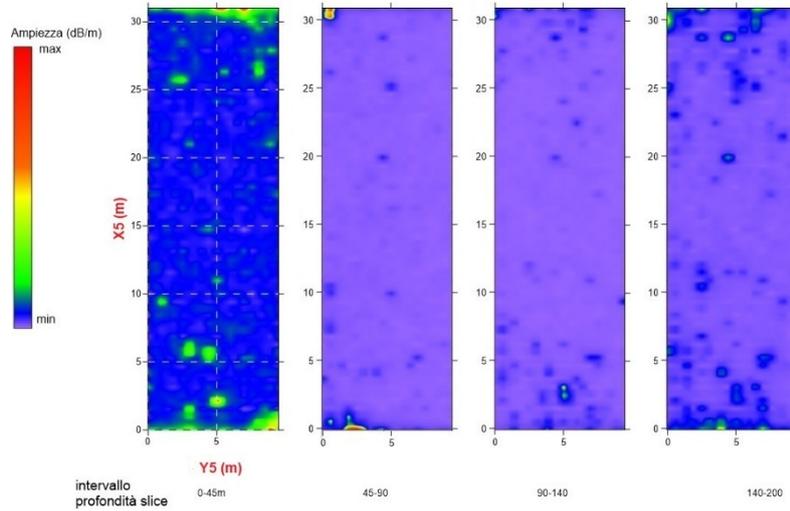


Figura 152: time slice d'ampiezza mediata del grigliato georadar X5Y5

-

Anomalie time-slice d'ampiezza mediata gpr-

I grigliati con georadar sono stati ubicati sulle fasce di anomalia delle mappe FDEM, ed in particolare sulla zona a nord della vasca di accumulo delle acque per l'irrigazione. Le time slice d'ampiezza mediata non presentano anomalie legate a strutture in zona di target archeologico. Le poche anomalie evidenti sono spot di ampiezza legate tutte ai sedimenti ghiaiosi presenti nel sottosuolo.

Anomalie georadar grigliati XY4 e XY5

Qui in tutti i grigliati si nota che a partire da una media di 90 cm (terza slice in ordine di profondità) prevale il colore rosso su tutto il grigliato. Ciò sta ad indicare che il segnale prevalente è quello ad alta riflettività della ghiaia rispetto al terreno sciolto. La profondità di rinvenimento delle anomalie ha un range di errore di ± 10 cm.

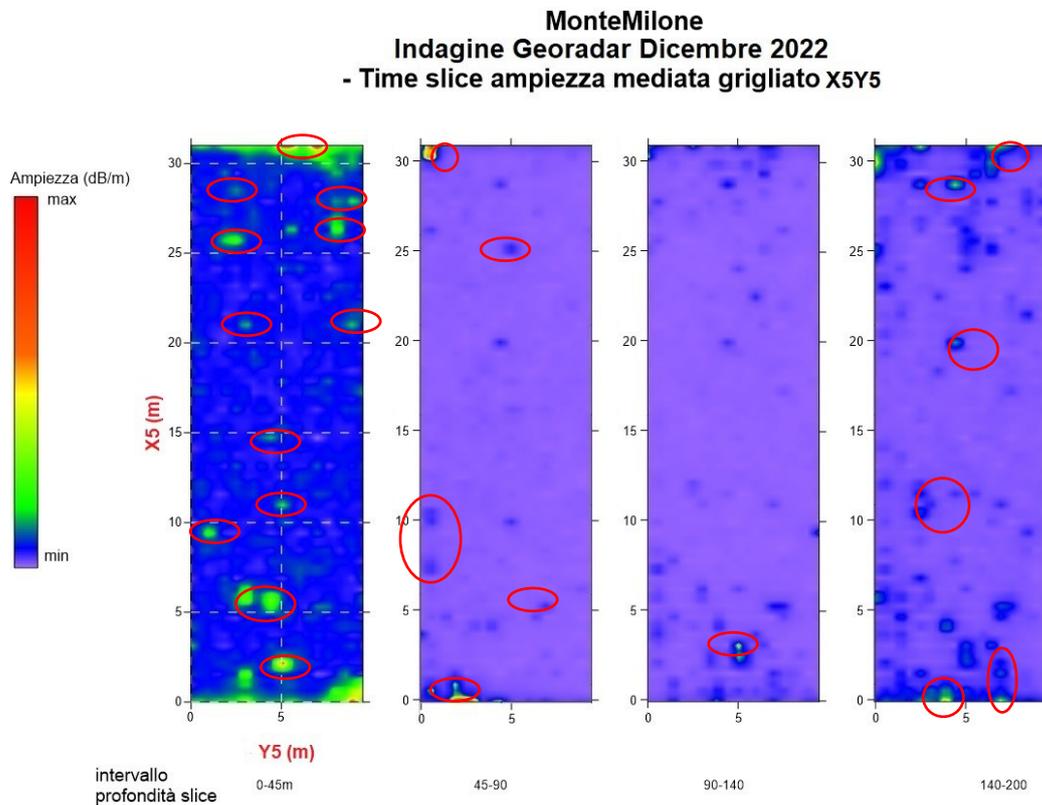


Figura 13: evidenza delle anomalie d'ampiezza a spot.

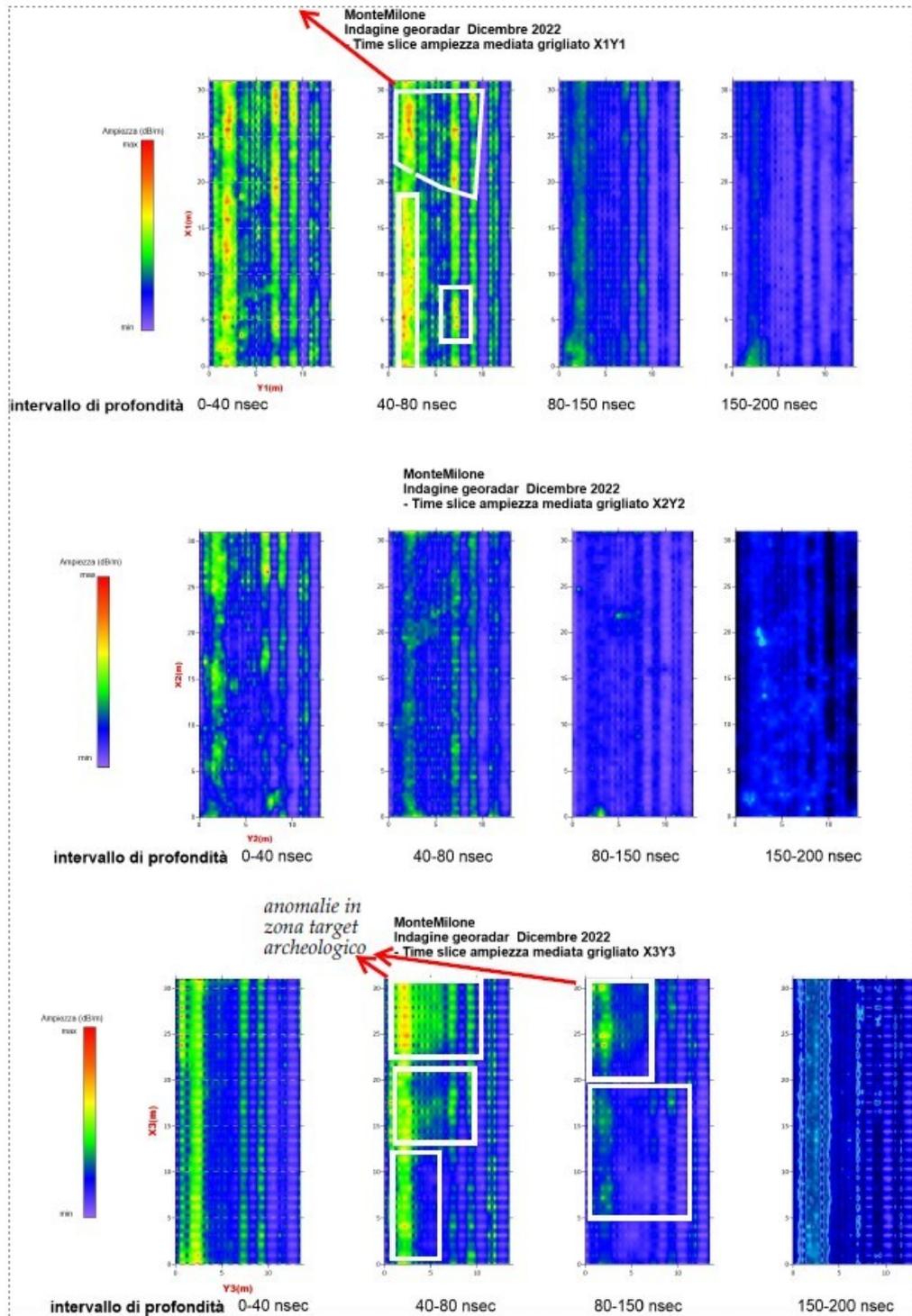


Figura14: grigliati georadar, mappa della componente in fase a 16 kHz ed elementi antropici del sito (tubi SNAM, fondazioni Terna, vasca acque, strada).

Anomalie georadar nuovi grigliati XY1- XY2-XY3

In tutti i grigliati le anomalie rilevate nei primi 40 cm sono legate direttamente alle arature, ai solchi di semina ed al top soil. A partire da 40 cm e fino a circa 80 cm in XY1_int e 150 cm in XY3_int le anomalie segnate (vedi figura successiva) sono legate a contrasti litologici nella matrice di terreno limo-sabbiosa. Questi possono essere legati a target archeologici; peraltro le anomalie rilevate nel grigliato X1Y1 coincidono con l'area su cui si rileva materiale antico. Le gamme di colore dal verde al rosso indicano litologie ad alta ampiezza (esempio qui possono essere sabbie, laterizi etc) mentre le gamme di colore di fondo sul blu sono le matrici dei terreni sciolti limoso-sabbiosi.

*anomalie in
zona target
archeologico*



I Tecnici

Dr. geol. Baldassarre Franco La Tessa

Dr. geol. Donato D'Antonio