

# Relazione sito Altamura

40°47'36.1"N 16°34'29.9"E

14 Maggio 2014



**D. E. Bruno, S. Maggi, C. Massarelli, V. F. Uricchio**  
**CNR-IRSA, Istituto di Ricerca sulle Acque, Bari**

## Riassunto

Il sito in esame è stato analizzato mediante un sistema GPR (Ground Penetrating Radar) allo scopo di individuare la presenza di depositi di materiali di caratteristiche fisiche differenti dal resto del sottosuolo, potenzialmente associati a depositi di rifiuti.

## Indice

---

<b>1</b>	<b>Inquadramento geologico ed idrogeologico</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Evoluzione morfologica del sito e cambiamenti territoriali</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Metodo di Change-Detection e DEM</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Aspetto attuale del sito</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Caratterizzazione del sito mediante misure GPR</b>	<b>22</b>
5.1	Scansioni GPR di calibrazione . . . . .	23
5.2	Scansioni GPR nel sito in esame . . . . .	24
5.3	Simulazioni numeriche . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>33</b>

# 1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il sito in esame si trova nei dintorni delle coordinate geografiche 40°47'36.1"N 16°34'29.9"E e corrisponde alle particelle 123-124-185 del Foglio catastale N. 223 e alla particella 59 del Foglio catastale N. 224. L'area suddetta rientra nel Comune di Altamura (BA) ed è localizzata ad una quota di circa 395 m s.l.m. sulle Murge Pugliesi.

Tale settore, che rappresenta un "alto strutturale" tra il Graben dell'Ofanto e la Soglia Messapica, è comunemente suddiviso in due grandi aree che hanno subito un'evoluzione plio-pleistocenica molto diversa: Murge alte e Murge basse.

Tutta l'area è caratterizzata da un reticolo idrografico con corsi d'acqua effimeri che hanno inciso valli chiamate comunemente "lame", quasi sempre prive di acqua, tranne in occasione di eventi pluviometrici intensi.

Il sito oggetto di studio ricade nel Bacino del F. Bradano e le litologie affioranti sono depositi lacustri e fluviolacustri del Pliocene e del Pleistocene (Figura 1).

Nel dettaglio, dalla carta geologica dell'Ispra<sup>1</sup>, si ricava che la sequenza deposizionale Pleistocenica, dal basso verso l'alto con contatti stratigrafici orizzontali, è la seguente: Calcareniti di Monte Castiglione, Argille Calcigne e Conglomerato di Irsina.

Dalle osservazioni in situ all'interno dei due canali esistenti nell'area, è stato rilevato lo strato superiore della sequenza stratigrafica corrispondente alla chiusura regressiva prevalentemente a puddinghe poligeniche, ferruginose, generalmente cementate e con intercalazioni sabbiose i cui ciottoli, ben arrotondati, presentano dimensioni variabili. Tale deposito può arrivare ad avere una potenza massima di 50 metri (Figura 2).

Le litologie presenti sono caratterizzate da una permeabilità per porosità che varia da "mediamente permeabile" a "molto permeabile", in funzione della variabilità verticale o orizzontale, delle caratteristiche granulometriche, dello stato di addensamento e/o cementazione dei depositi, e dallo stato di fratturazione, quando le sabbie ed i conglomerati sono cementati. Gli acquiferi allocati nei depositi conglomeratico-sabbiosi pleistocenici ospitano falde che alimentano sorgenti con portate anche superiori ad 1 l/s.

---

<sup>1</sup>[http://193.206.192.231/carta\\_geologica\\_italia/tavoletta.php?foglio=189](http://193.206.192.231/carta_geologica_italia/tavoletta.php?foglio=189)

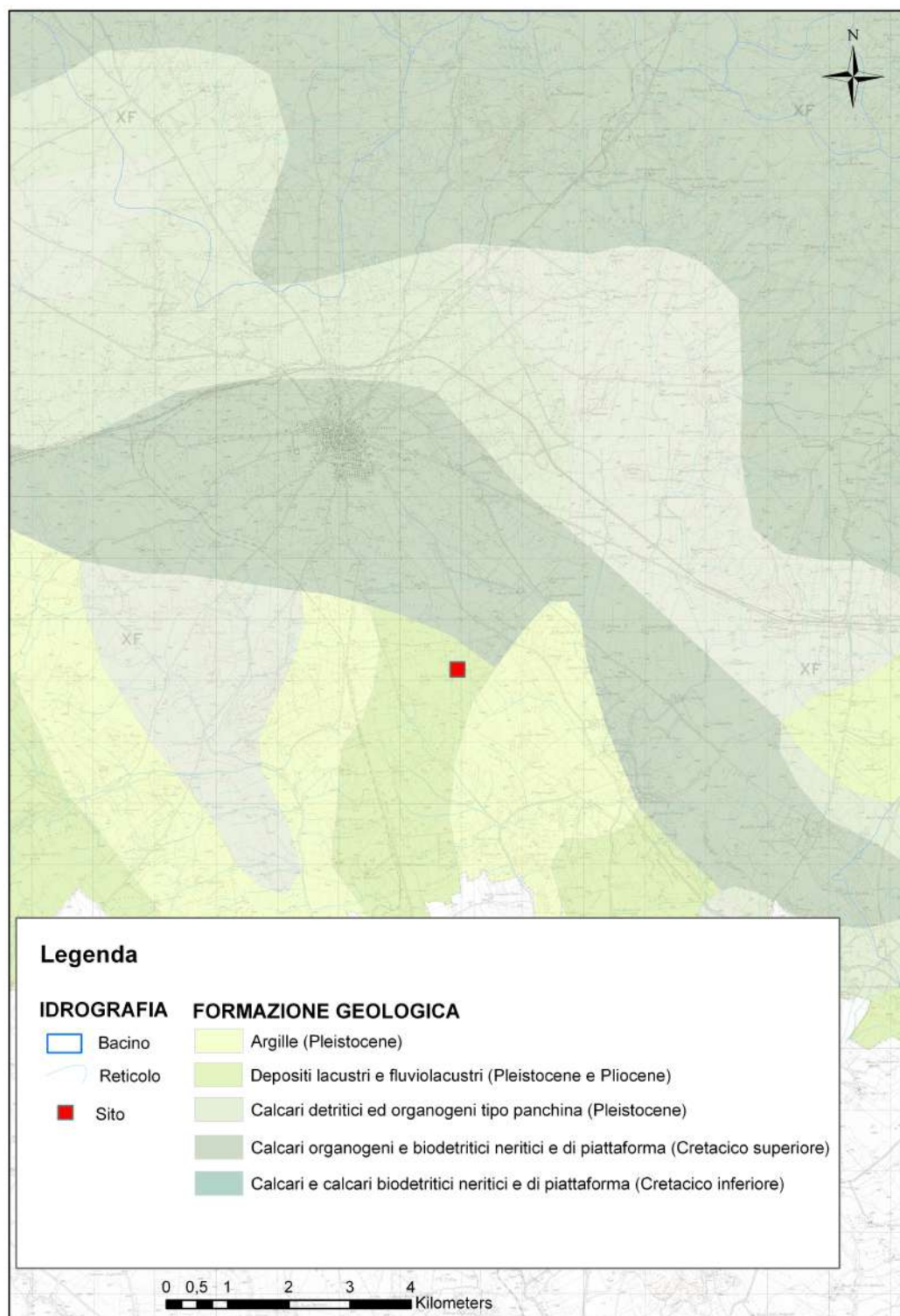


Figura 1: Inquadramento geologico dell'area.





Figura 2: Affioramenti litologici nel sito d'indagine.

## 2 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL SITO E CAMBIAMENTI TERRITORIALI

---

Dal confronto tra la carta topografica e le ortofoto disponibili si può ricostruire la relativa evoluzione del sito. Osservando la carta topografica degli anni '60 (Figura 3), emerge che l'area ricadeva in un settore dalla morfologia abbastanza omogenea e con un uso del suolo caratterizzato da uliveti. Immediatamente all'esterno del settore circoscritto, si nota anche l'esistenza di un pozzo, localizzato lungo la strada con direzione NO-SE che conduce all'area di studio.

Il raffronto tra la carta topografica e l'ortofoto del 1997 (Figura 4) mostra come negli ultimi 30 anni il sito sia stato completamente modificato. Nell'area evidenziata dagli ovali tratteggiati è presente un sentiero che si dirama dalla strada principale, intercettando il confine Sud del perimetro selezionato nella Figura e bordando un canale che in precedenza non esisteva. Inoltre a Nord dell'area stessa è stata realizzata una cava.

Nella Figura, il rettangolo rosso mette in evidenza un'area ben definita che presenta un cambiamento evidente dell'uso del suolo. Quest'area corrisponde alla regione interessata da un aumento del livello altimetrico, che verrà discusso nel capitolo seguente.

Nel 2006 la situazione è ancora cambiata: è scomparsa la strada, il canale è stato interrotto creandone due più piccoli e il terreno è stato rivegetato (Figura 5).

In seguito, confrontando le ortofoto del 2006 (Figura 5) e del 2011 (Figura 6), gli unici cambiamenti che emergono sono relativi a due piccole aree "nude" con erosione, che compaiono nell'immagine più recente.

La Figura 7 è relativa allo stesso anno 2011 della Figura 6, ma è stata scattata durante una diversa stagione dell'anno. L'ottima risoluzione mette in risalto i segni di obliterazione del terreno, in precedenza coltivato.

Nel 2013 il terreno è stato completamente rimodellato e i segni di obliterazione delle coltivazioni presenti nel 2011 sono del tutto scomparsi (Figura 8).

Sulla scorta di tali dati, i passaggi più importanti nella "storia morfologica" del sito sono sintetizzabili come segue:

- Tra gli anni '60 ed il 1997: è stata creata una cava, una strada ed un canale con tratti di comunicazione verso la cava stessa.
- Tra il 1997 ed il 2006: è scomparsa la strada ed è stata realizzata una riduzione del canale in due rami.
- Tra il 2011 e il 2013: sui terreni coltivati erano presenti alcune obliterazioni di dubbia natura, che sono successivamente scomparse.

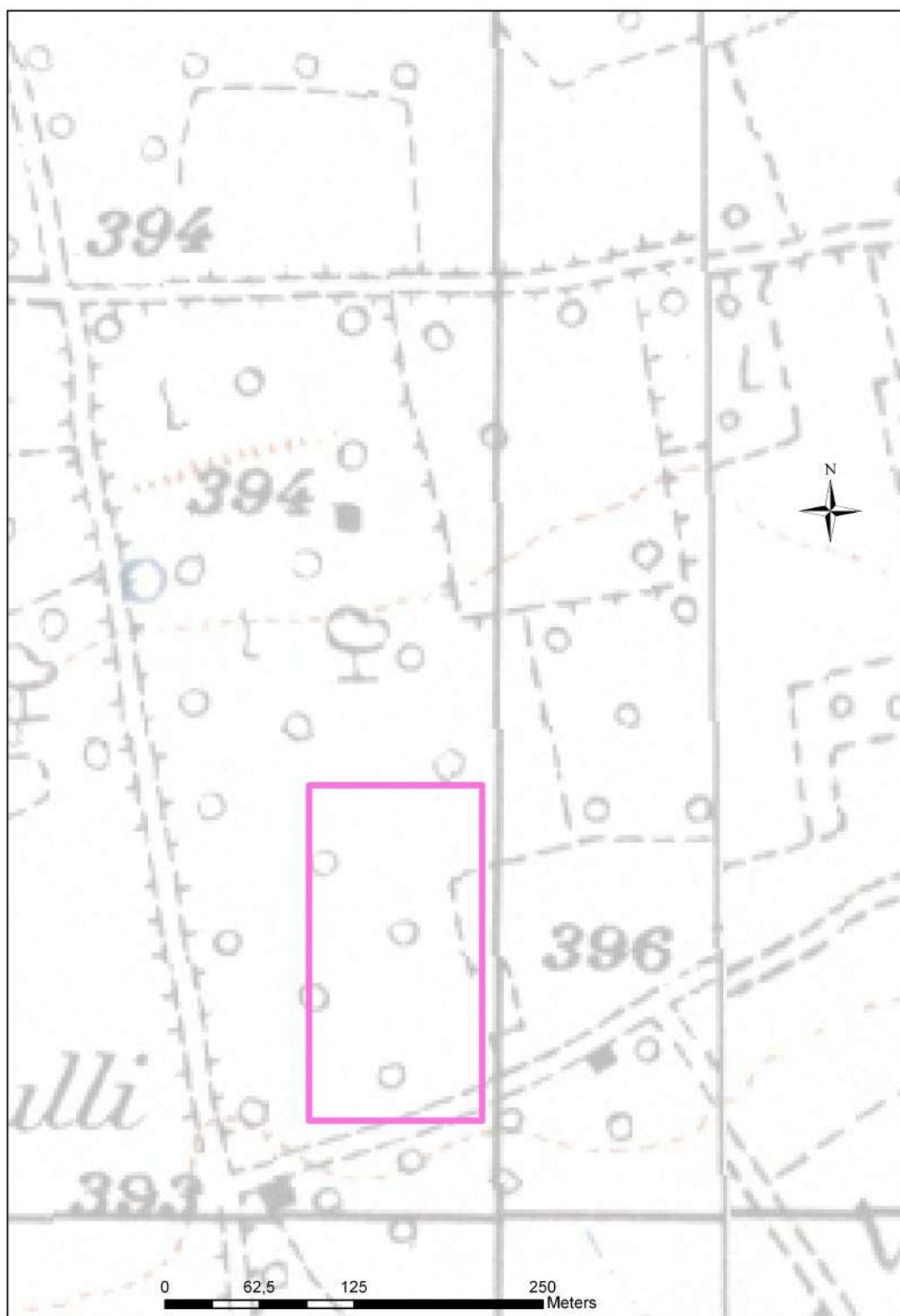


Figura 3: Localizzazione del sito sull'elaborato topografico.

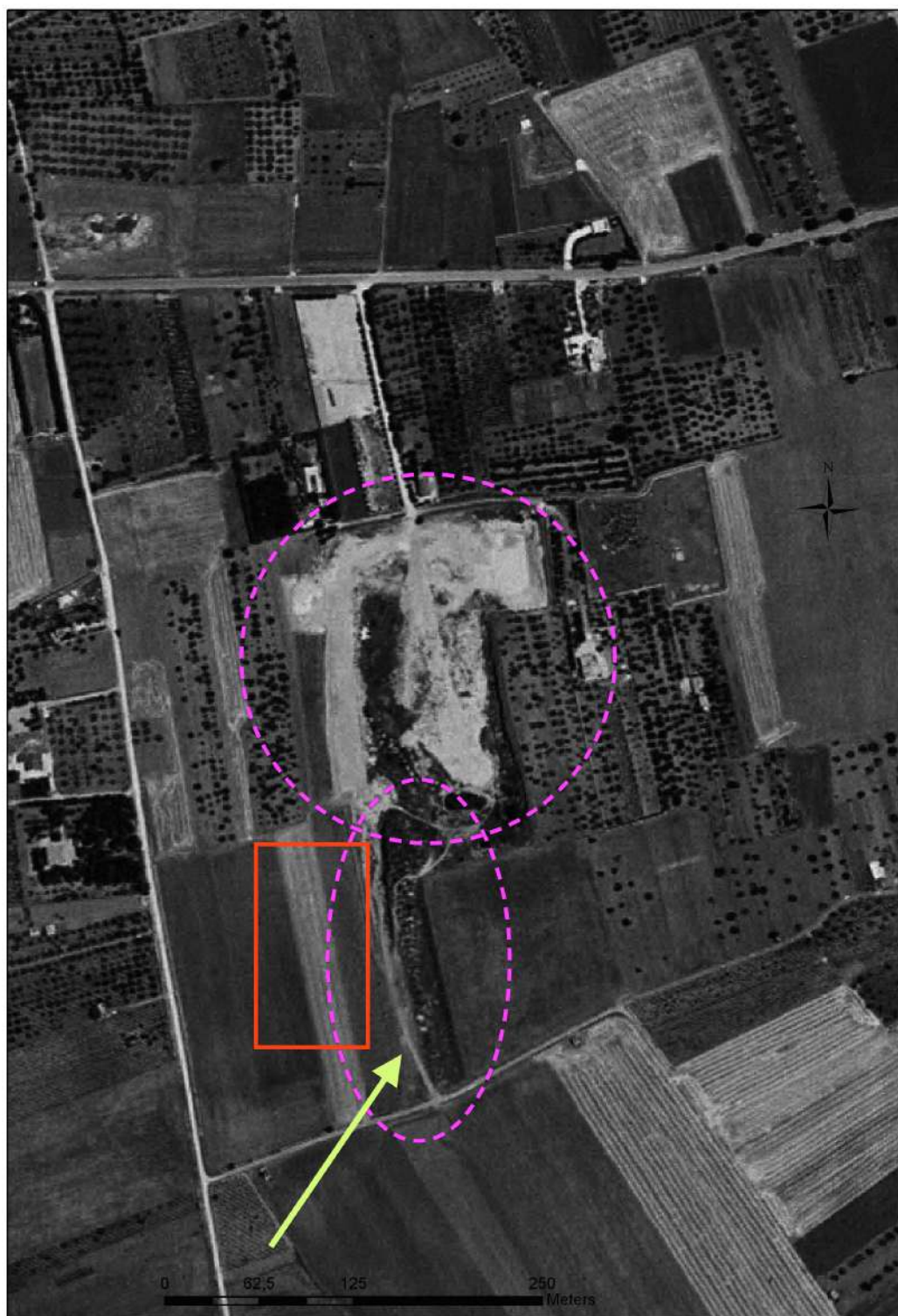


Figura 4: Ortofoto del 1997. sono indicati, La freccia e gli ovali indicano rispettivamente la strada e la cava dismessa. Il rettangolo rosso mette in evidenza un'area interessata da un cambiamento dell'uso del suolo.





Figura 5: Ortofoto del 2006. La freccia indica l'area in cui si osserva l'interruzione del canale.

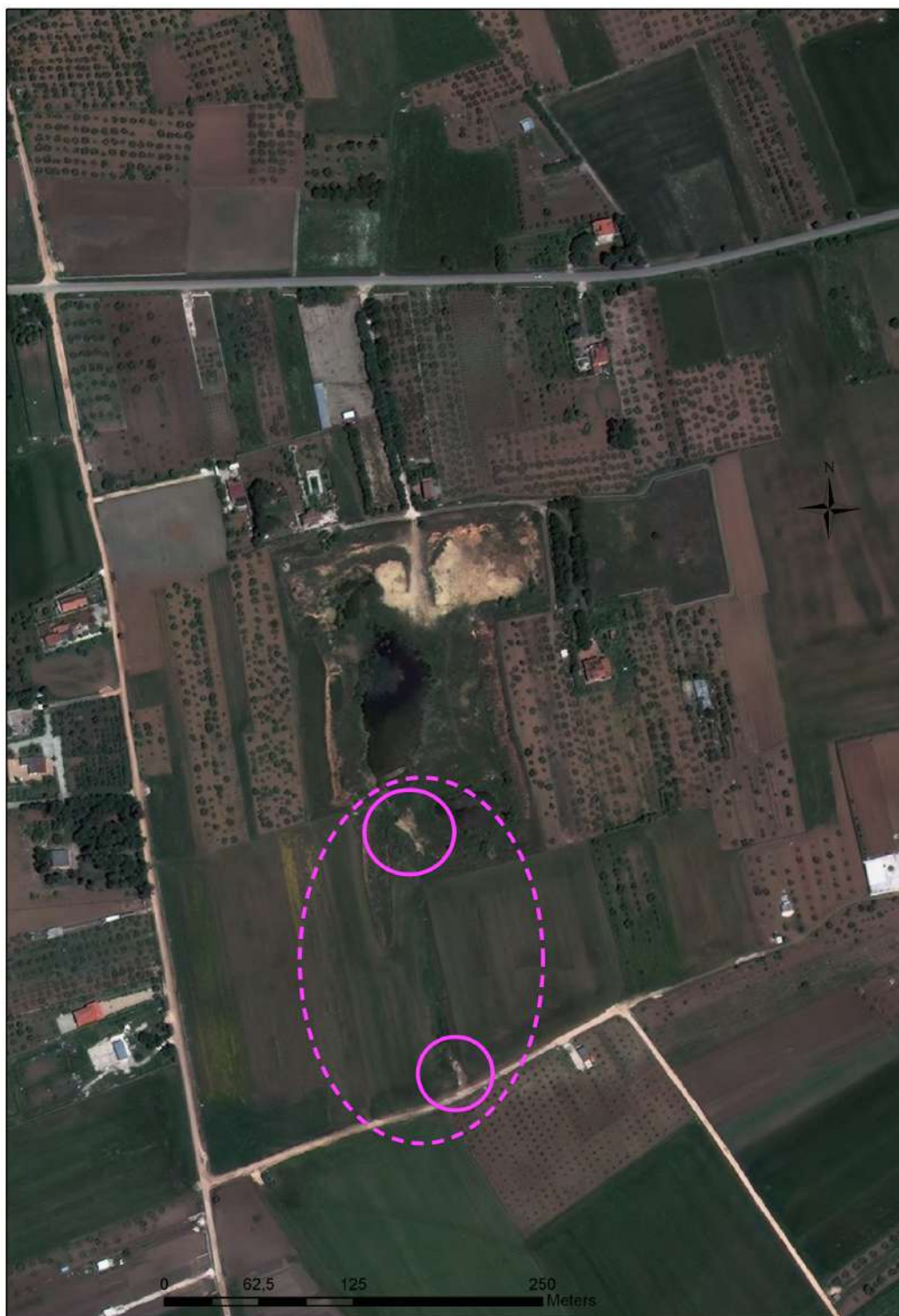


Figura 6: Ortofoto del 2011. I cerchi evidenziano la presenza di aree “nude” con erosione.





Figura 7: Foto del periodo Marzo-Giugno 2011. Nei cerchi le aree con oblitterazione della coltivazione.



Figura 8: Ortofoto del 2013. Le frecce indicano le aree in cui non si evincono più i segni presenti nella foto precedente.



### 3 METODO DI CHANGE-DETECTION E DEM

---

Una ulteriore analisi è stata effettuata applicando la tecnica di *Change-Detection* (Rilevamento delle variazioni) alle ortofoto dal 2005 al 2011. Tale elaborazione fornisce indicazioni in merito ai cambiamenti territoriali più significativi (Figura 9).

La freccia rossa indica le variazioni più evidenti da considerare, mentre le altre indicazioni di cambiamenti avvenuti nel corso del tempo non sono state approfondite ulteriormente in questa fase. Alla luce di queste elaborazioni si può notare che:

- appare abbastanza manifesta un'alterazione di tutto il territorio compreso tra le due "lame" artificiali;
- l'alterazione è più significativa in prossimità del confine con la cava (freccia rossa).

Si fa presente che non sono state considerate ed ulteriormente approfondite le variazioni avvenute all'interno del sito oggetto di attività estrattiva.

È stata anche realizzata una elaborazione delle immagini finalizzata all'individuazione delle variazioni dei livelli altimetrici del piano campagna attraverso il modello digitale del terreno (Digital Earth Model, DEM).

Il modello digitale del terreno è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un determinato territorio in formato digitale. Le elaborazioni eseguite per questa tipologia di analisi sono basate sul confronto tra modelli digitali di terreno tra gli anni 2000 e 2011.

Per l'analisi sono state elaborate le mappe dell'*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER). Nelle Figure si riporta l'area di studio (Figura 10) e il risultato dell'elaborazione (Figura 11).

Dalle analisi effettuate si può concludere che:

- esistono diverse zone dove le modifiche sono evidenziate dai valori massimi e minimi nella scala di riferimento (differenze di metri);
- la quote al di sotto delle tracce realizzate con il GPR non mostrano variazioni significative in un senso o nell'altro;
- le zone sovrapponibili alla cava indicano una diminuzione del livello del suolo a differenza delle zone riportate ad ovest delle "lame" dove sembra evidente un aumento delle quote.

Si può invece notare che esiste un'area ben definita e parallela alle tracce GPR numero 23 e 24 (indicata in verde intenso in Figura 11) che sembra interessata da un aumento più marcato del livello altimetrico del terreno. Tale area corrisponde alla regione evidenziata dal rettangolo rosso in Figura 4. Poiché le elaborazioni presentate in questa relazione sono state effettuate per forza di cose successivamente alle misure GPR, potrebbe essere interessante effettuare una serie di misure GPR supplementari in quest'area del sito.



Figura 9: Change Detection. Individuazione delle variazioni maggiormente significative (indicate dalla freccia rossa).



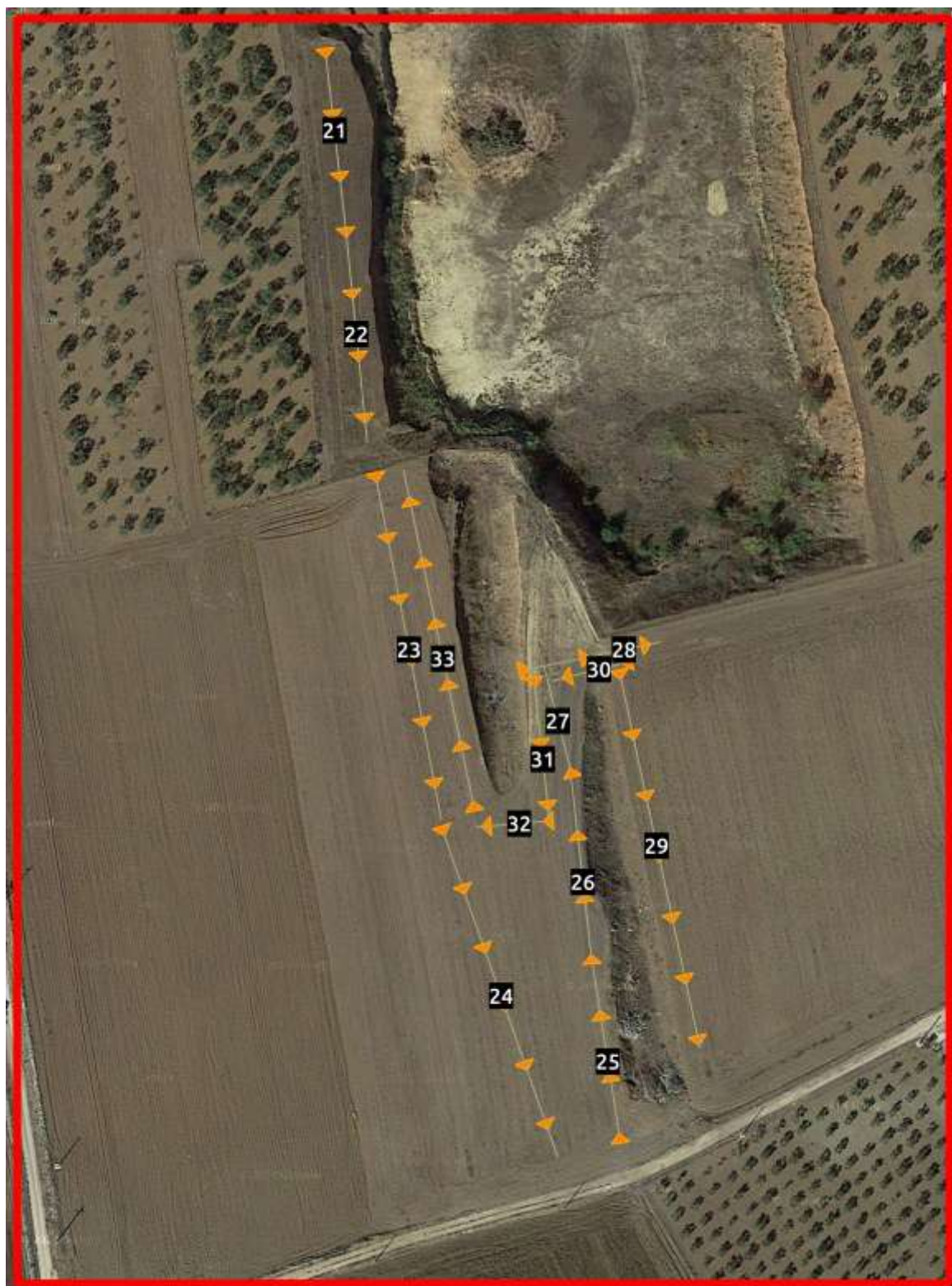


Figura 10: Variazione dei livelli altimetrici del terreno. Area di studio con sovrapposte le tracce delle misure effettuate tramite GPR.

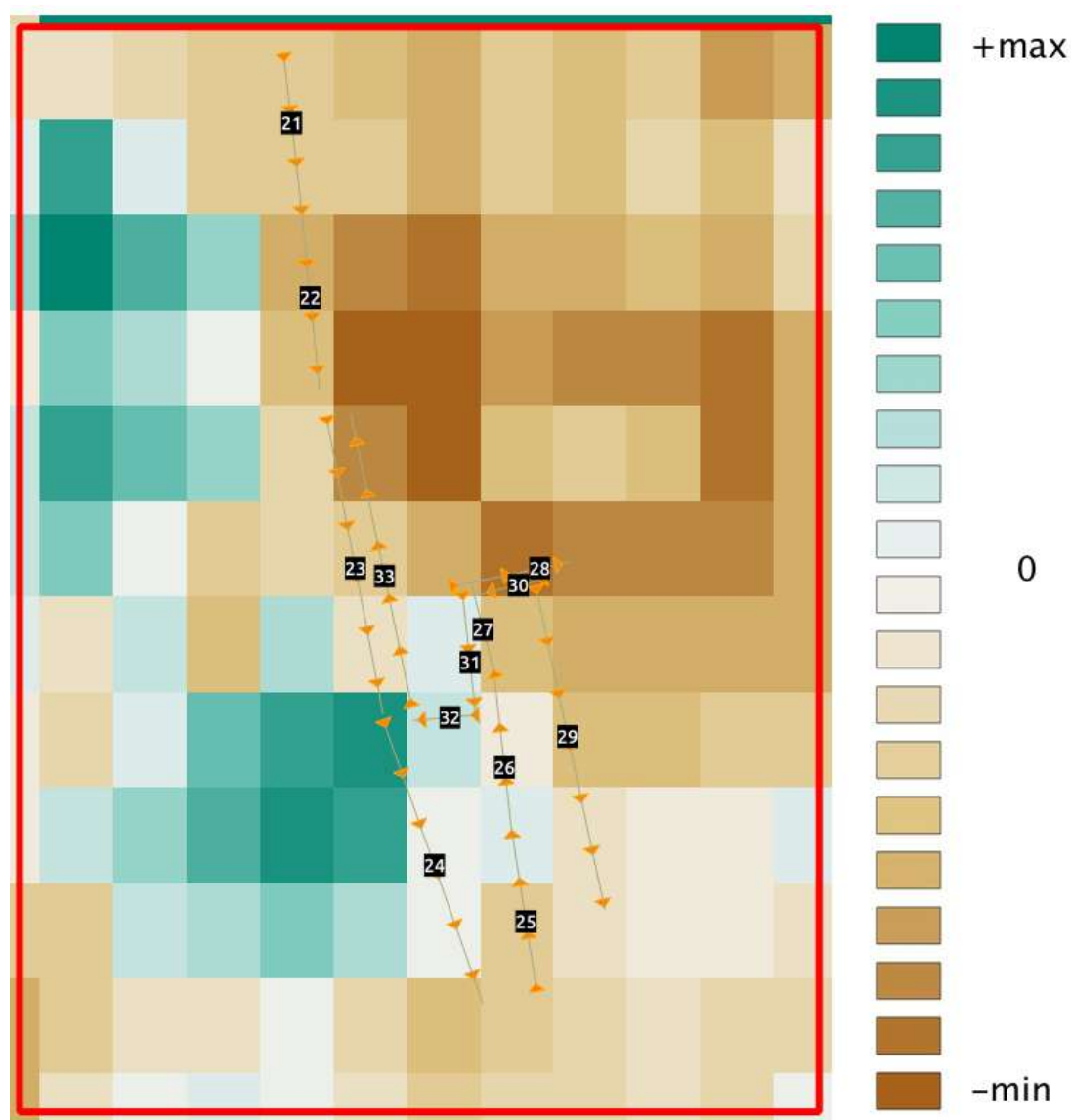


Figura 11: Variazione dei livelli altimetrici del terreno. Risultati dell'elaborazione con sovrapposte le tracce delle misure effettuate tramite GPR. La legenda a colori indica le variazioni (positive o negative) rispetto al livello di riferimento.



Le variazioni sopra riportate devono comunque essere interpretate tenendo conto della sensibilità dei sensori che, con una risoluzione di 75 metri ed una precisione di 17 metri (livello di confidenza al 95%), non sono in grado di rappresentare la realtà con fedeltà estrema, pur avendo evidenziato i cambiamenti avvenuti all'interno della cava.

## 4 ASPETTO ATTUALE DEL SITO

---

Oggi l'area è completamente dedicata a colture di grano (Figura 12). Nei due canali si rilevano sversamenti di rifiuti di vario genere che affiorano saltuariamente dal sottosuolo (Figura 13-14). La cava è dismessa e, successivamente ad eventi pluviometrici, si presenta come un'area depressa in cui ristagnano acque meteoriche.

Ulteriori considerazioni possono essere fatte dal punto di vista delle fitocenosi, in quanto è evidente la presenza di un denso aggruppamento vegetale caratterizzato dalla dominanza di una grossa carduacea (Figura 15).

Questa è probabilmente riconducibile a *Silybum marianum* (L.)<sup>2</sup> formante un aggruppamento molto fitto ascrivibile al *Chrysantemo-Silybetum mariani* Brullo 1983<sup>3</sup>, caratteristico di depositi di macerie, suoli nitrofili, ambienti ruderali, stazzi. La presenza in un solo lembo di lama di questo aggruppamento fa presupporre un'ecologia del tutto differente in quella zona (Figura 16).

Si fa notare che la zona dove è presente questa carduacea è molto prossima a quella evidenziata nelle elaborazioni delle immagini mediante Change Detection ed indicata con la freccia rossa (Figura 9).

---

<sup>2</sup>Per la conferma si dovrebbe classificare un campione.

<sup>3</sup>S. Brullo, *L. Hordeion leporini in Sicilia*, Arch. Bot. Biogeogr. Ital. vol. 58, pagg. 55 -88, 1982.



Figura 12: Coltivazione del grano.



Figura 13: Rifiuti affiorati lungo le pareti dei canali.





Figura 14: Rifiuti sversati nei canali.



Figura 15: Carduacee nel sito.





Figura 16: Ubicazione delle carduacee.

## 5 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO MEDIANTE MISURE GPR

Il sito in esame è stato studiato mediante un sistema GPR (Ground Penetrating Radar o Georadar) allo scopo di determinare la struttura del sottosuolo fino a circa 3 metri di profondità. L'obiettivo di tale indagine è cercare di individuare la presenza di depositi di materiale di caratteristiche fisiche differenti dal resto del sottosuolo e potenzialmente associati a depositi di rifiuti.

Sono state effettuate un totale di 13 scansioni approssimativamente in direzione Nord-Sud e Est-Ovest (Figura 17). Le scansioni hanno interessato un'area piuttosto vasta, situata principalmente nell'intorno dei due canali, per un totale di circa 700 metri lineari.

Preliminarmente, sono state effettuate due scansioni (indicate in Figura 17 con i numeri 21 e 22) allo scopo di calibrare il sistema di misura.

Data la vastità dell'area interessata non è stato possibile effettuare serie di scansioni parallele fra loro, che consentono una caratterizzazione più precisa della struttura del sottosuolo. Pertanto le scansioni GPR sono state effettuate solo nelle porzioni di territorio ritenute più critiche.

Tutte le misure presentate nel seguito sono originali e non sono affette da correzioni o filtraggi di alcun genere. In assenza di correzioni la superficie del terreno appare traslata di circa 0.4 metri verso il basso rispetto all'origine dell'asse verticale e le scansioni permettono di analizzare uno strato di sottosuolo fino a circa 3.2 metri al di sotto della superficie.

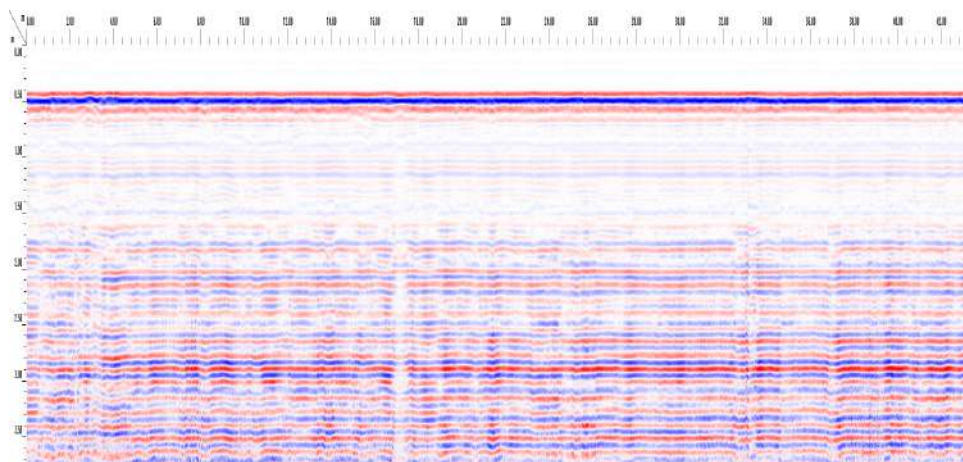


Figura 17: Area di riferimento con le tracce GPR.

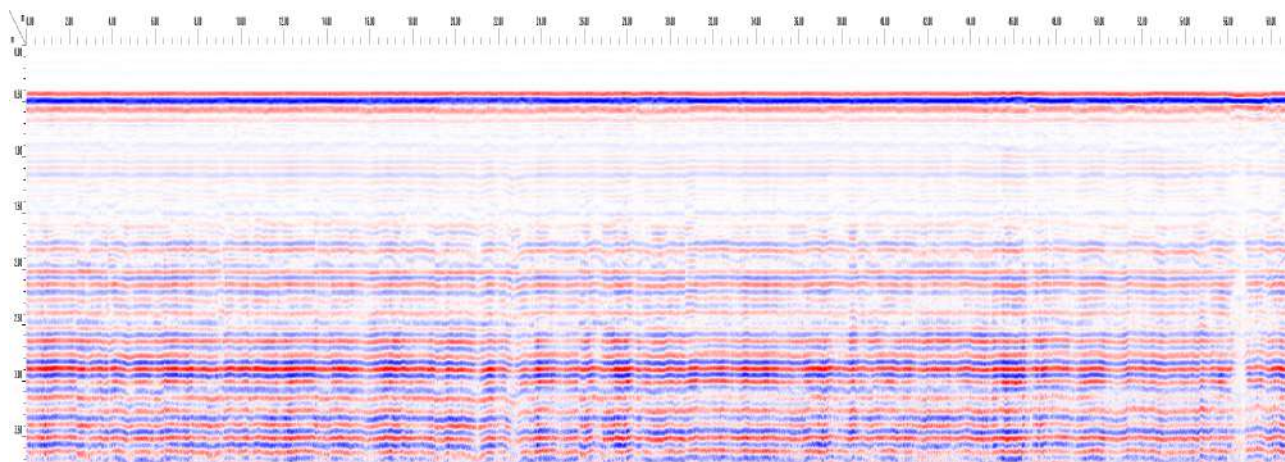
## 5.1 SCANSIONI GPR DI CALIBRAZIONE

Come già accennato, le scansioni indicate in Figura 17 con i numeri 21 e 22 sono state effettuate in un'area coltivata nell'immediata prossimità del sito in esame, allo scopo di calibrare il sistema di misura in una zona presumibilmente non soggetta ad interventi antropici. I risultati di queste scansioni (radargrammi) sono mostrati in Figura 18.

La struttura del sottosuolo in quest'area di calibrazione appare omogenea e caratterizzata da strati sovrapposti di spessore costante. Le interfacce fra i vari strati si trovano a circa 0.3 metri, 1.3 metri, 2.4 metri e 2.7 metri al di sotto della superficie del suolo.



(a)



(b)

Figura 18: Scansioni di calibrazione. Sopra: scansione 21, lunghezza 44 metri. Sotto: scansione 22, lunghezza 59 metri. La dimensione orizzontale delle immagini è proporzionale alla lunghezza reale delle due tracce.



## 5.2 SCANSIONI GPR NEL SITO IN ESAME

La Figura 19 (a)–(k) mostra i risultati delle misure effettuate nel sito in esame, lungo le linee di scansione 23–33. La dimensione orizzontale di ciascun radargramma è proporzionale alla lunghezza reale delle tracce.

Tutte le misure riportate in Figura 19 mostrano, a differenza dell'area di calibrazione, una struttura piuttosto diversa e decisamente meno regolare, caratterizzata da regioni in cui il segnale GPR appare piuttosto attenuato per tutta la profondità in esame, indicando la presenza di una regione a maggiore conduttività elettrica. Anche la struttura orizzontale degli strati appare meno omogenea di quella dell'area di test.

Alcune scansioni presentano inoltre discontinuità ben visibili o un forte aumento del rumore. Tali fenomeni sono visibili in particolare lungo le linee di scansione no. 24, 27, 30 e 32 (rispettivamente le immagini (b), (e), (h) e (j) della Figura 19).

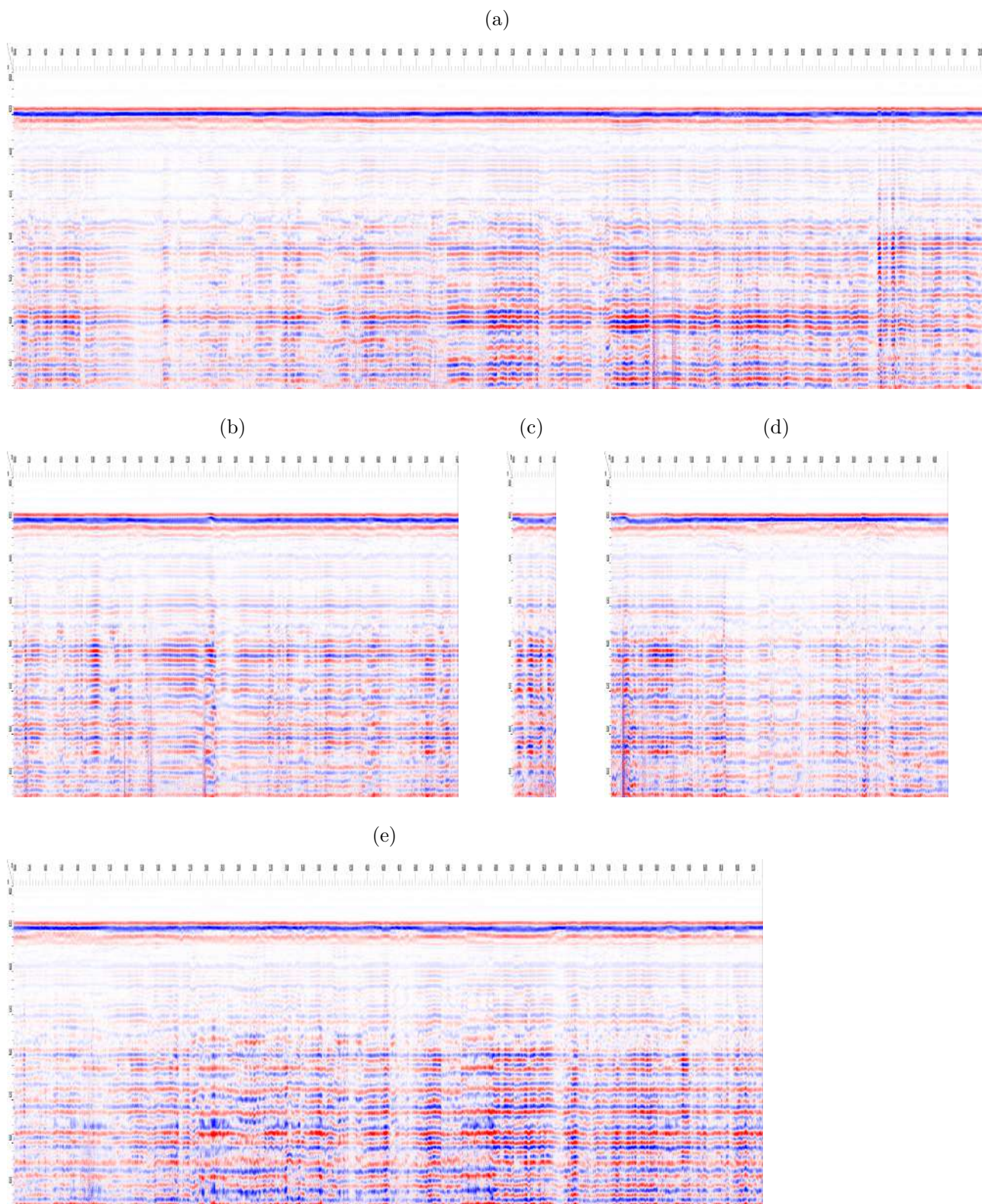
Le irregolarità del segnale misurato non sono presenti in modo localizzato in una posizione ben definita del sottosuolo ma sono distribuite lungo l'intero profilo verticale, ad indicare la presenza di regioni di caratteristiche differenti dal resto del sottosuolo distribuite lungo tutta la profondità accessibile alla misura.

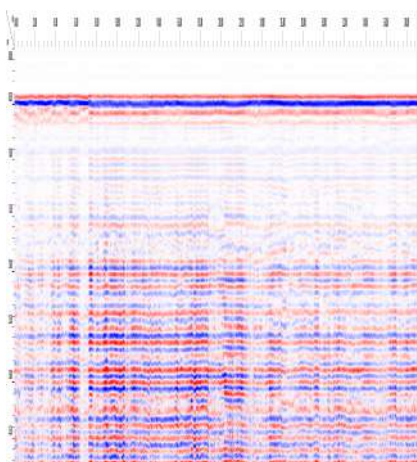
Una visualizzazione complessiva delle misure effettuate è mostrata nell'Allegato 1, che mostra le tracce misurate nell'area in esame associate alle relative scansioni GPR (per apprezzare al meglio quanto mostrato è preferibile che l'Allegato 1 sia stampato in formato “poster” su un foglio di dimensione A0).

Le tracce sono state corrette per tenere conto della direzione di ciascuna misura. Scopo principale di questa visualizzazione è quello di cercare di mostrare al meglio le correlazioni fra le varie misure e le aree più significative in cui potrebbe essere utile indagare più a fondo per cercare la presenza di eventuali depositi di rifiuti. Tali aree sono evidenziate con cerchi di colore rosso.

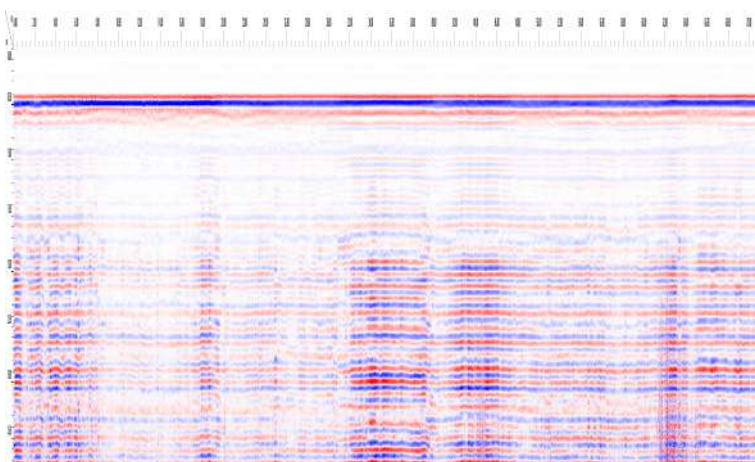


Figura 19: Scansioni GPR effettuate nel sito in esame. La dimensione orizzontale delle immagini è proporzionale alla lunghezza reale delle tracce misurate.

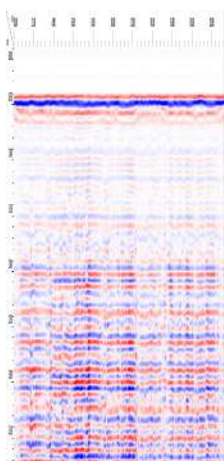




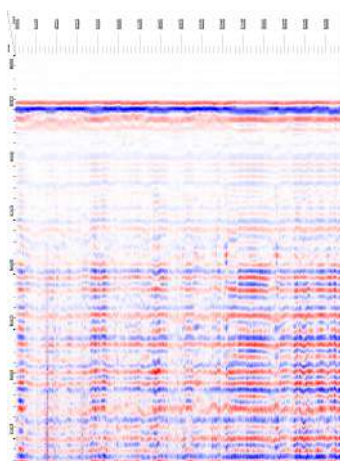
(f)



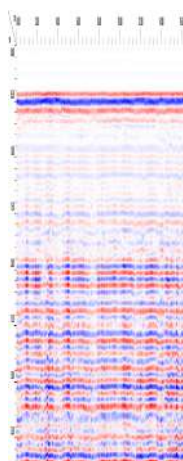
(g)



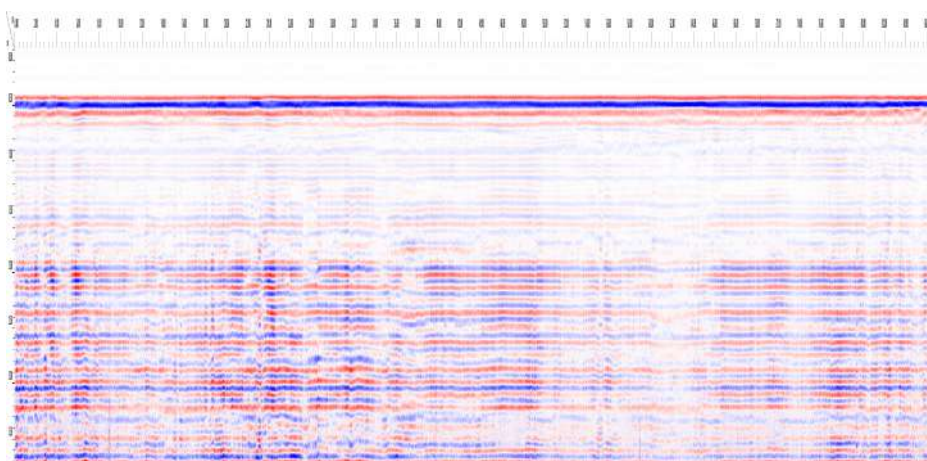
(h)



(i)



(j)



(k)



### 5.3 SIMULAZIONI NUMERICHE

Per supportare e rendere più immediatamente comprensibili le considerazioni riportate sopra, sono state effettuate una serie di elaborazioni numeriche utilizzando un modello di suolo a più strati e simulando la presenza di una struttura sepolta avente una geometria costante e caratteristiche elettriche variabili (Figure 19–21).

La Figura 19 mostra il risultato della simulazione di una misura GPR con un segnale a frequenza  $f = 400$  MHz su un suolo composto da quattro strati sovrapposti di resistività variabile. I parametri elettrici associati a ciascuno strato  $L$  sono, procedendo dall'alto in basso: (L1) spessore  $d = 0.05$  m, costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 25$ , resistività  $\rho = 150$   $\Omega/\text{m}$ , (L2)  $d = 0.35$  m,  $\epsilon_r = 12$ ,  $\rho = 10$   $\Omega/\text{m}$ , (L3)  $d = 0.25$  m,  $\epsilon_r = 15$ ,  $\rho = 20$   $\Omega/\text{m}$ , ed infine (L4)  $d = 0.35$  m,  $\epsilon_r = 19$ ,  $\rho = 50$   $\Omega/\text{m}$ .

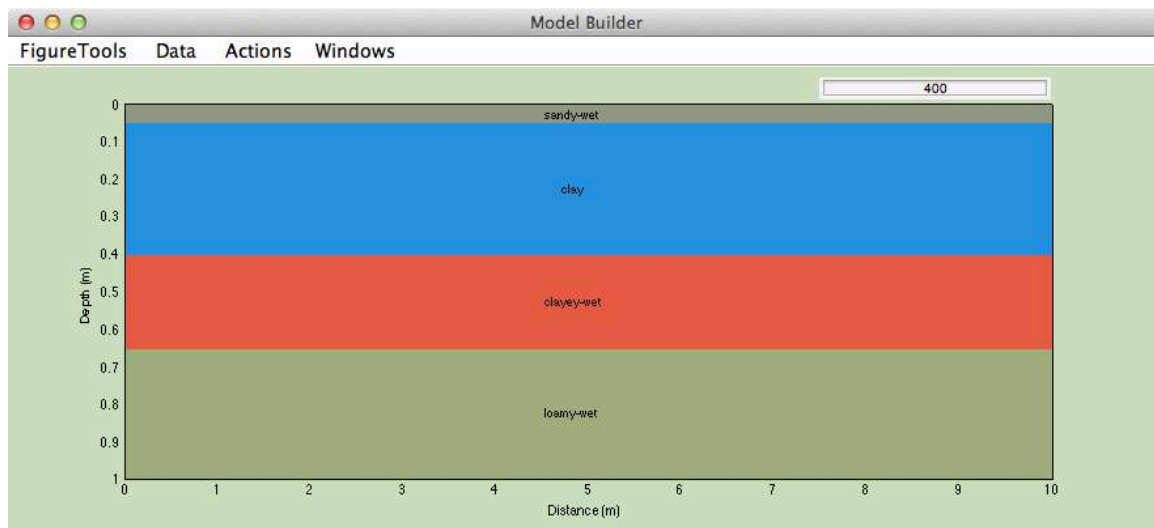
La struttura a strati regolari visibile nelle misure GPR nell'area di calibrazione (Figura 18) è ben riprodotta anche nelle simulazioni numeriche. La differenza principale è legata alla posizione dei massimi/minimi del segnale, che dipende dai valori relativi dei parametri elettrici, ma che in questo contesto è poco significativa.

La Figura 20 (a)–(f) mostra i risultati della simulazione di una misura GPR con un segnale a frequenza  $f = 400$  MHz su un suolo composto dagli stessi quattro strati sovrapposti di Figura 19, contenente una struttura sepolta di forma rettangolare di costante dielettrica  $\epsilon_r = 5$  e resistività crescente nell'intervallo  $\rho = 0.01 \dots 100$   $\Omega/\text{m}$ . Il valore utilizzato per la costante dielettrica  $\epsilon_r$  è caratteristico di una struttura “secca”, a basso contenuto idrico.

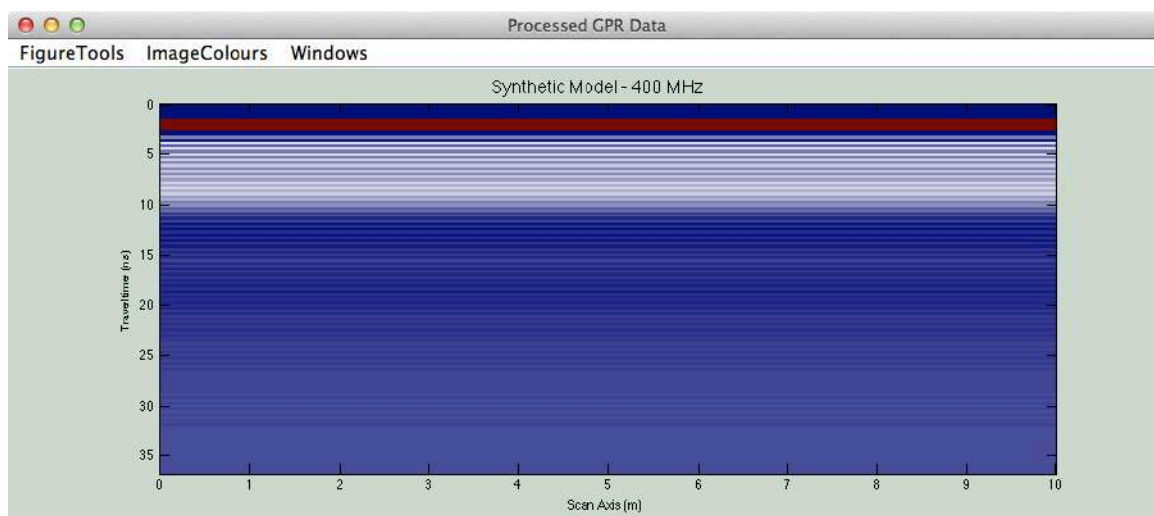
La Figura 21 (a)–(f) mostra invece i risultati della simulazione di una misura GPR con un segnale a frequenza  $f = 400$  MHz su un suolo composto dagli stessi quattro strati sovrapposti di Figura 19, contenente questa volta una struttura sepolta di forma rettangolare di costante dielettrica  $\epsilon_r = 30$  e resistività crescente nell'intervallo  $\rho = 0.01 \dots 100$   $\Omega/\text{m}$ . Tale valore di costante dielettrica  $\epsilon_r$  è caratteristico di strutture relativamente “umide”, ad alto contenuto idrico.

I risultati delle simulazioni mostrano che il caso più vicino a quanto ottenuto sperimentalmente è quello mostrato in Figura 21 (c), corrispondente ad  $\epsilon_r = 30$  e  $\rho = 1$   $\Omega/\text{m}$ . In base a queste simulazioni, si può quindi ipotizzare che le strutture sepolte eventualmente presenti nel sito in esame contengano materiale relativamente ben conduttivo dal punto di vista elettrico mescolato a suolo di tipo sabbioso e piuttosto umido.





(a)



(b)

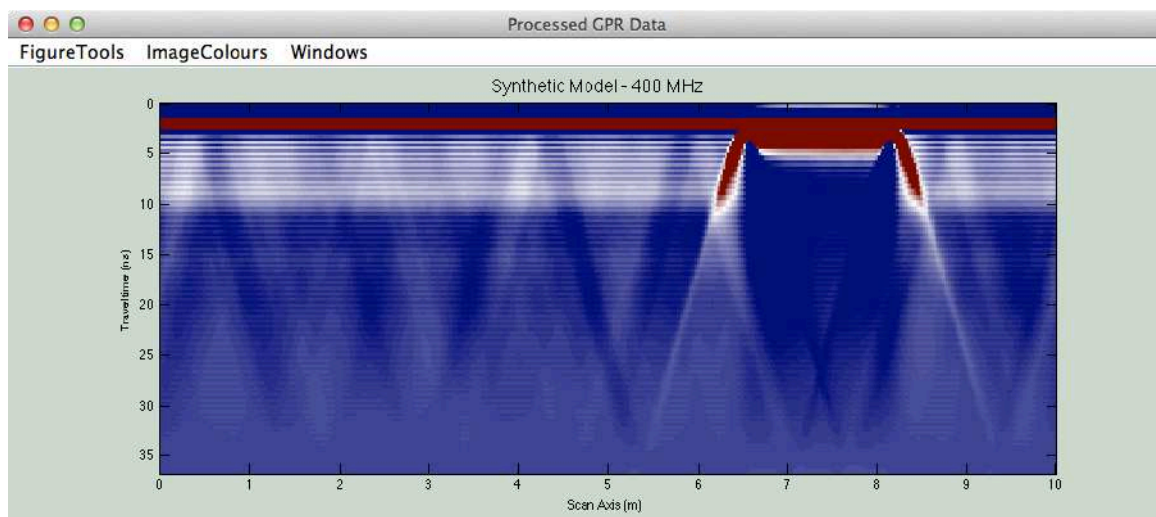
Figura 19: Simulazione di una misura GPR su un suolo composto da quattro strati sovrapposti di resistività decrescente. (a) Struttura del suolo, (b) risultato della simulazione. La frequenza del segnale GPR è  $f = 400$  MHz.

Figura 20: (a) Struttura del suolo, (b)–(f) simulazione di una misura GPR su un suolo composto dagli stessi quattro strati sovrapposti di Figura 19, contenente una struttura rettangolare di costante dielettrica  $\epsilon_r = 5$  e resistività crescente, rispettivamente  $\rho = 0.01, 0.1, 1.0, 10, 100 \Omega/\text{m}$ .

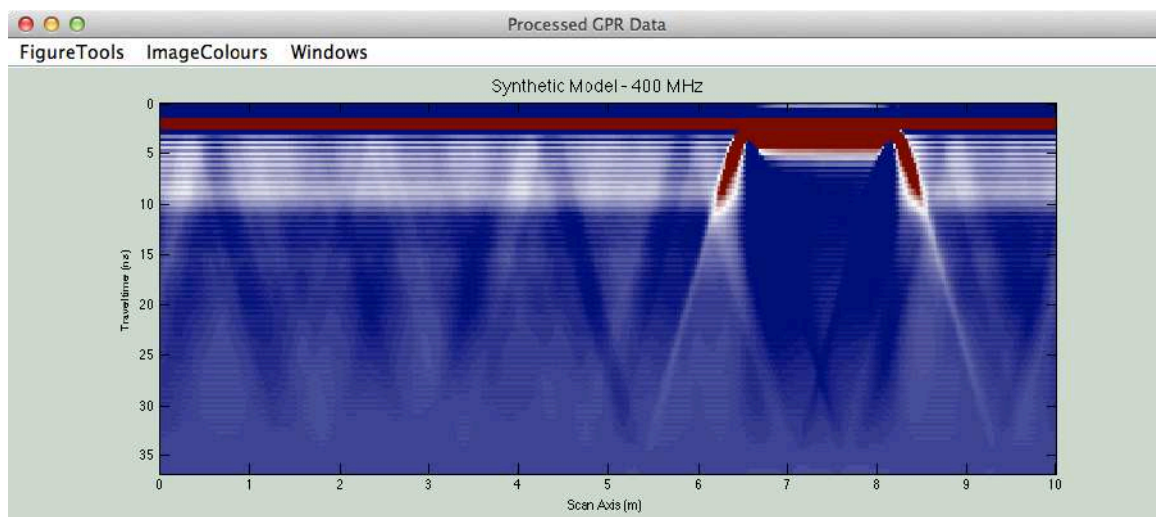
(a)

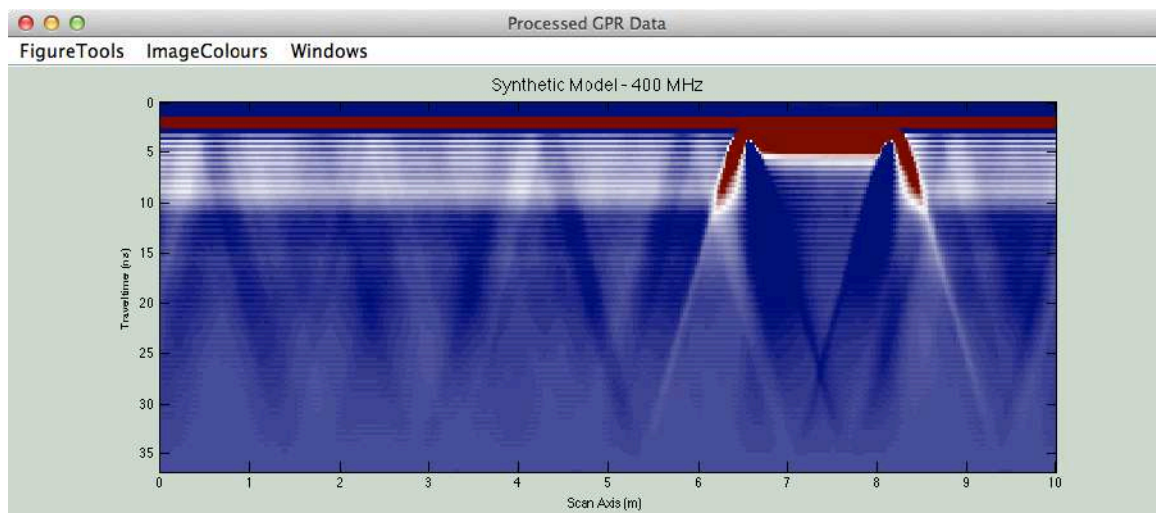


(b)

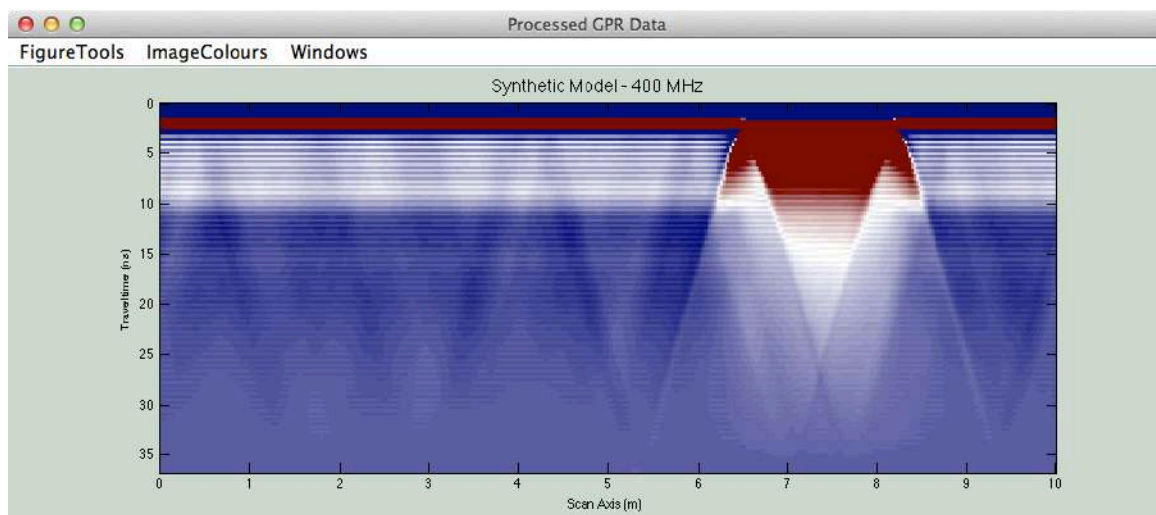


(c)

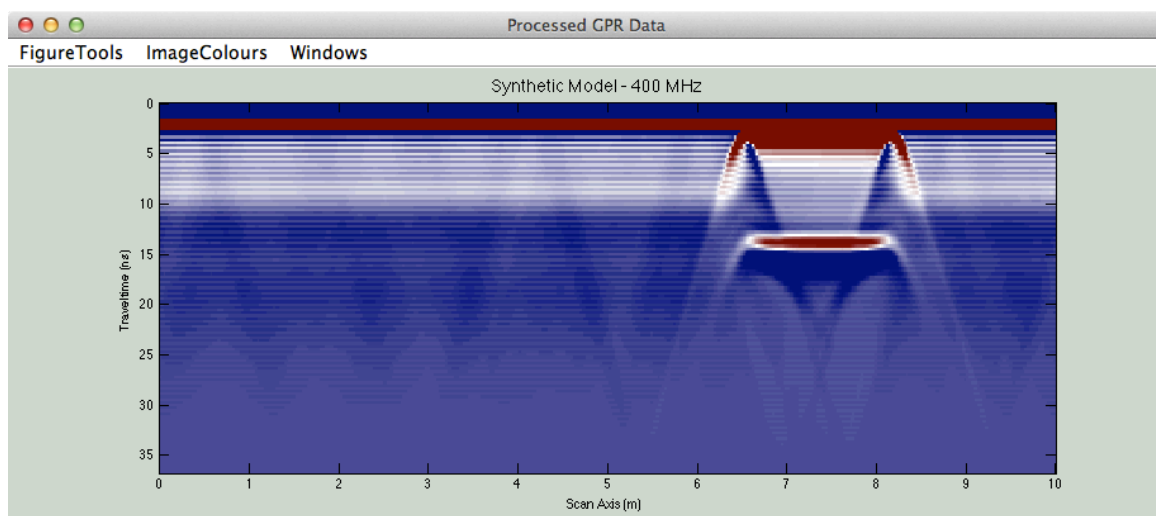




(d)



(e)



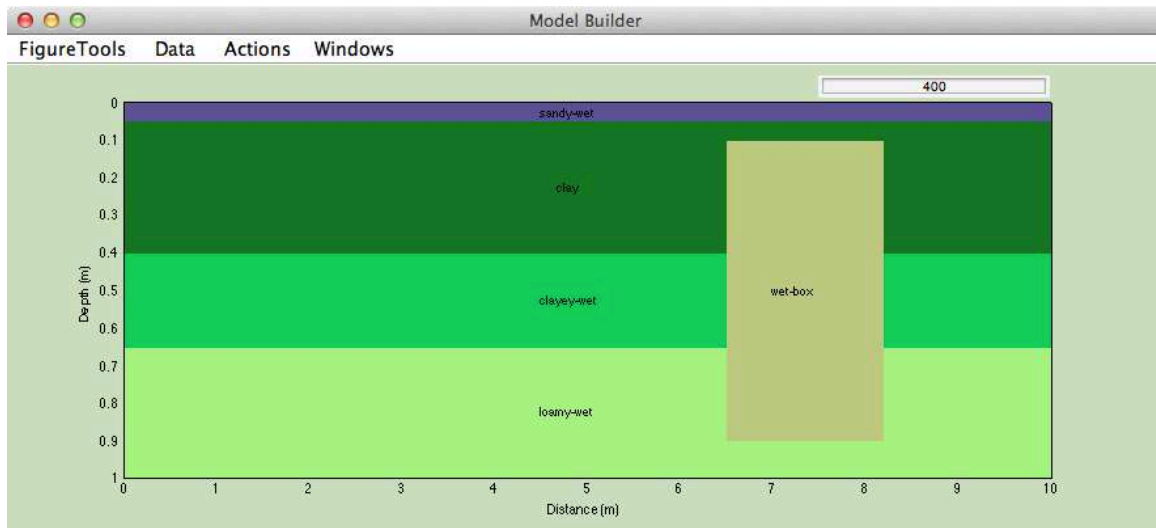
(f)

Figura 20

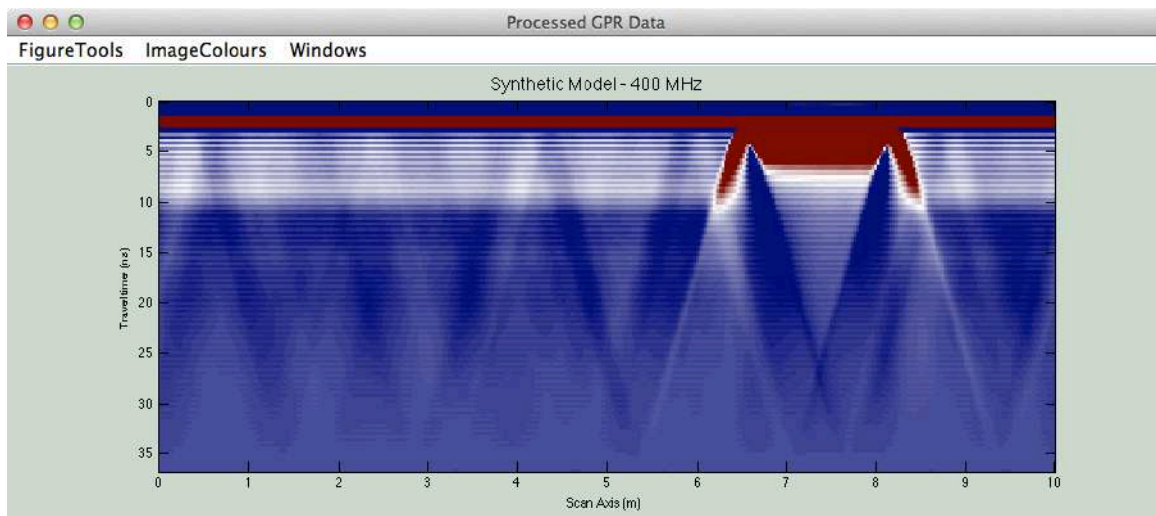


Figura 21: (a) Struttura del suolo, (b)–(f) simulazione di una misura GPR su un suolo composto dagli stessi quattro strati sovrapposti di Figura 19, contenente una struttura rettangolare di costante dielettrica  $\epsilon_r = 30$  e resistività crescente, rispettivamente  $\rho = 0.01, 0.1, 1.0, 10, 100 \Omega/\text{m}$ .

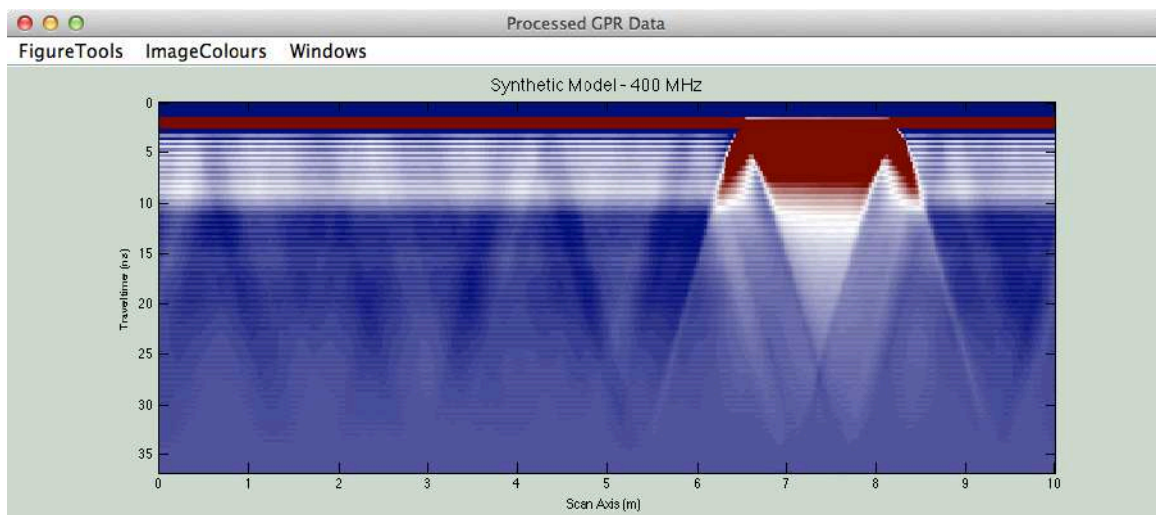
(a)

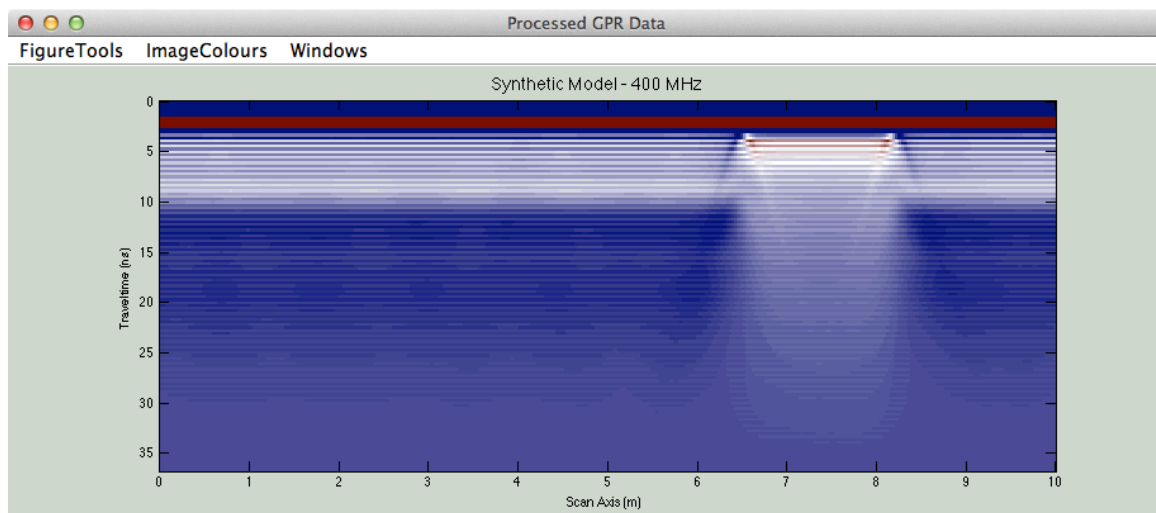


(b)

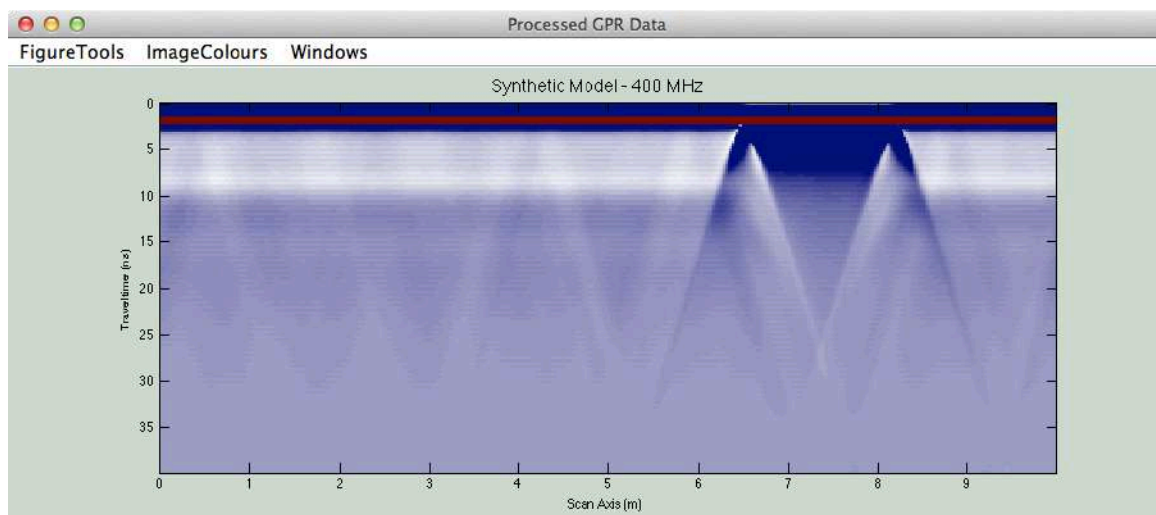


(c)

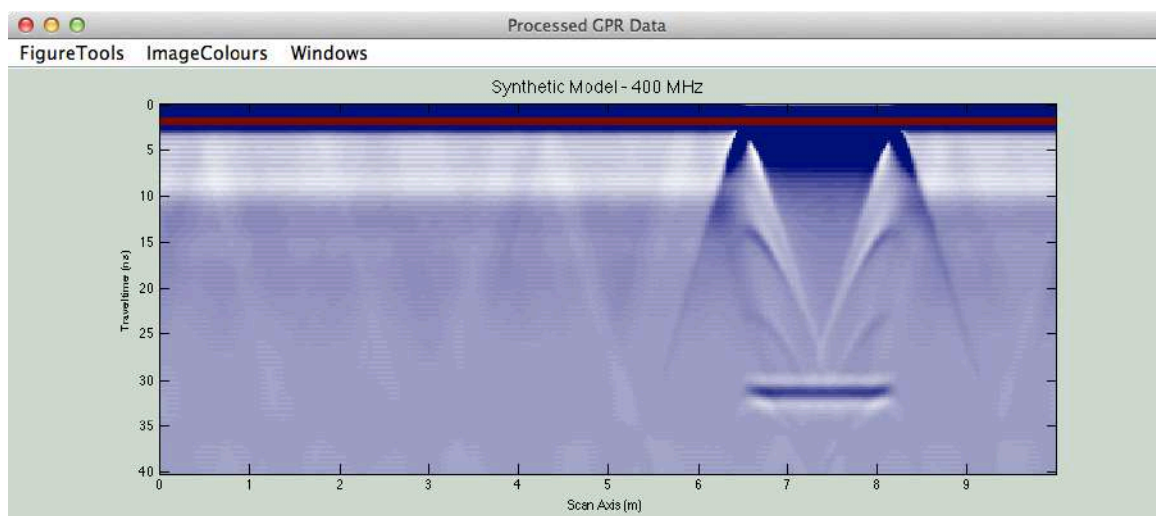




(d)



(e)



(f)

Figura 21

## 6 CONCLUSIONI

---

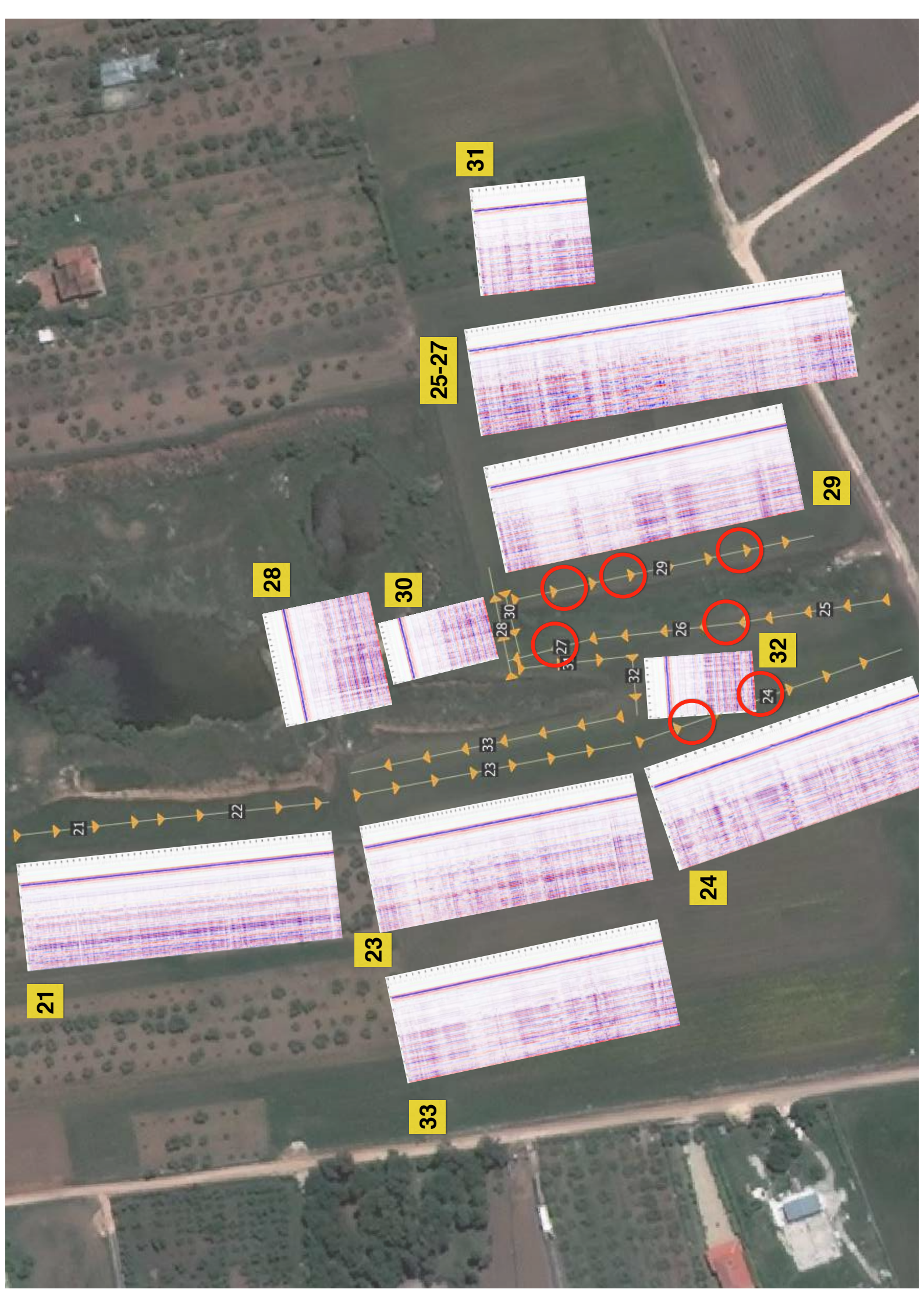
Da quanto riportato appare evidente la possibilità che nell'area in esame siano presenti delle zone di caratteristiche fisiche piuttosto differenti dal resto del sottosuolo, che mostra una risposta al segnale GPR coerente con una stratificazione dei depositi naturali di tipo orizzontale. In queste zone sarebbe opportuno effettuare ulteriori indagini al fine di verificare la presenza di eventuali sversamenti abusivi, probabilmente mescolati a materiale incoerente.

Esiste inoltre un'area ben definita e parallela ad alcune delle tracce misurate interessata da un aumento significativo del livello altimetrico del terreno, nella quale potrebbe essere interessante effettuare un supplemento di misure GPR.



## ALLEGATO 1

---



21

21

22

23

33

24

25-27

28

29

30

31

32

28

30

27

29

26

25

32

33

23

22

21