



# RELAZIONE SITO BITONTO-MODUGNO

MISURA EFFETTUATA IL 12 GIUGNO 2014

Sabino Maggi, Delia Evelina Bruno

CNR-IRSA, Istituto di Ricerca sulle Acque, Bari

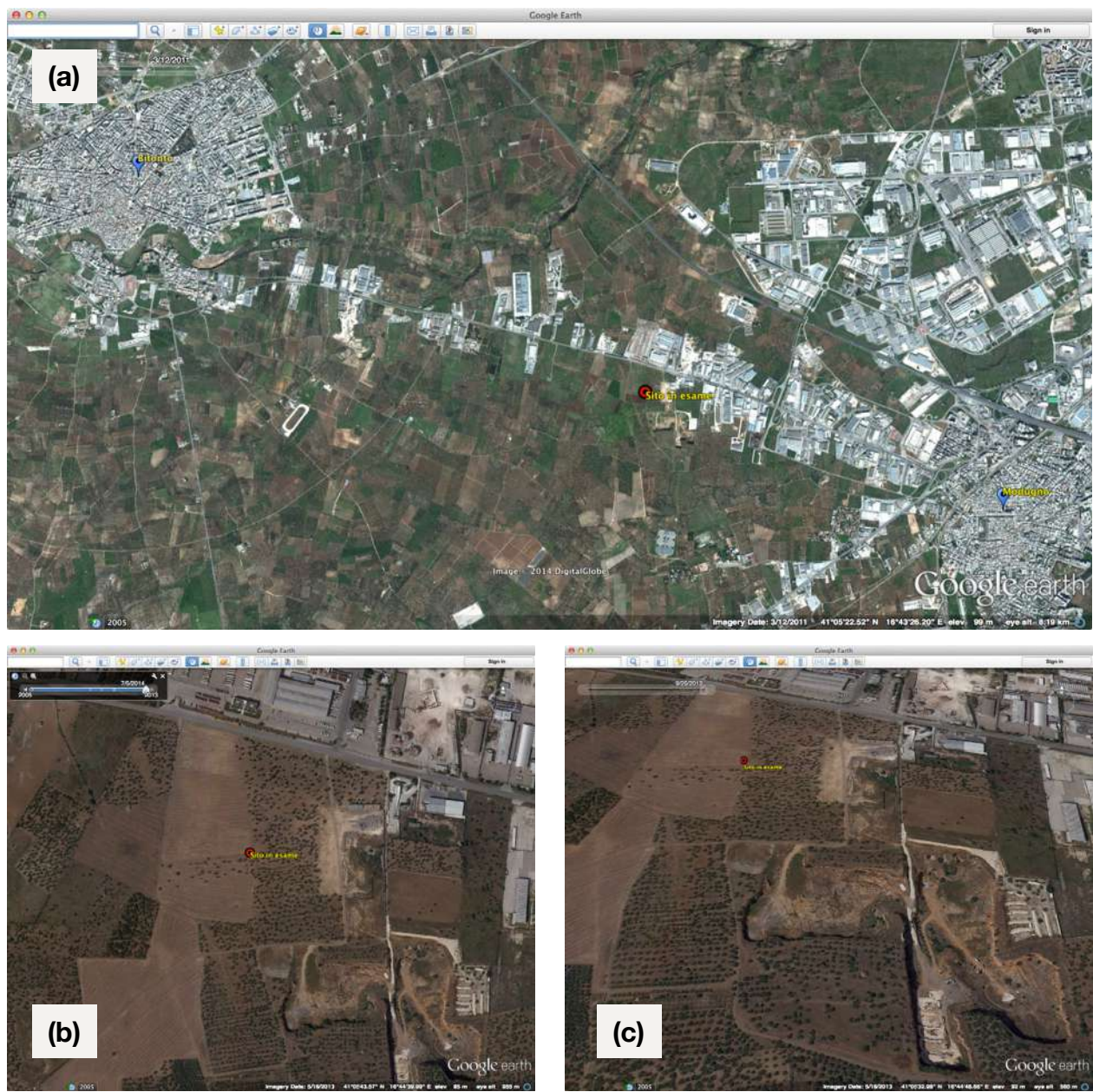
Il sito indagato è stato analizzato mediante un sistema GPR (Ground Penetrating Radar) allo scopo di individuare la presenza di depositi di materiali di caratteristiche fisiche differenti dal resto del sottosuolo, eventualmente associati a depositi sotterranei abusivi di amianto.

## LOCALIZZAZIONE

Il sito indagato si trova nel comune di Modugno, Bari, in corrispondenza delle coordinate geografiche  $41^{\circ}05'34.16''\text{N}$ ,  $16^{\circ}44'39.99''\text{E}$  ad una quota di circa 90 m s.l.m.

Il sito è localizzato in prossimità della Strada Provinciale 231 che collega i comuni di Modugno e Bitonto. La Figura 1 mostra (a) la posizione del sito indagato rispetto ai comuni vicini, (b) un ingrandimento dell'area del sito visto dall'alto e (c) una immagine prospettica dell'area del sito con le due cave in disuso.

Figura 1. Posizione del sito indagato rispetto ai comuni vicini (a), ingrandimenti dell'area del sito (b,c).





## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il sito oggetto di studio ricade nel territorio delle Murge basse, caratterizzato da una struttura “a gradoni” e contraddistinto dalla presenza di rocce appartenenti al Membro di calcari micritici microfossiliferi, calcari dolomitici e calcareniti in sequenze irregolari o cicliche, tipiche di ambiente deposizionale di piattaforma carbonatica interna, appartenenti all’Unità strutturale dell’Avampaese Apulo.

Dal punto di vista tettonico l’area è interessata da una serie di “horst” e “graben”, associati a faglie con una prevalente componente distensiva.

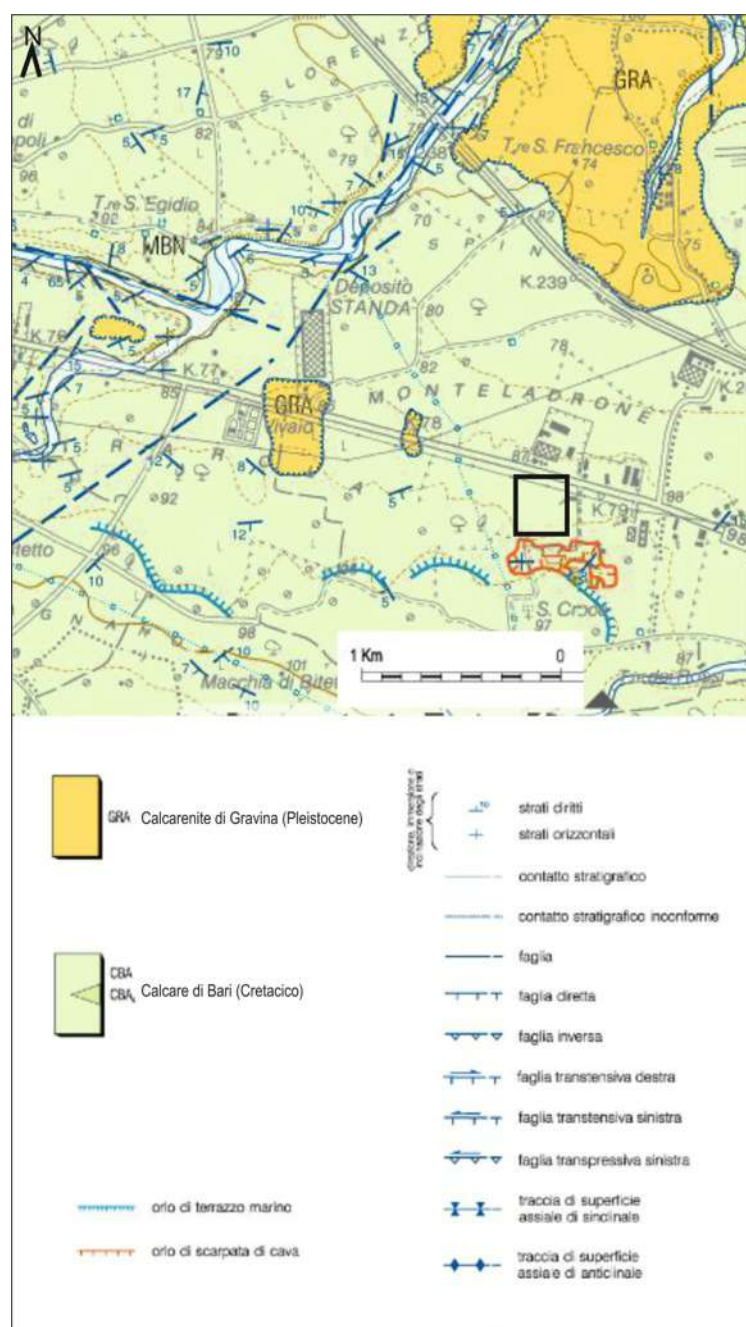
Grazie alla presenza della cava situata in prossimità del sito, è possibile dare indicazioni sulle

litologie che caratterizzano l’area indagata (nel riquadro, uno stralcio della Carta Geologica 1:50.000 dell’ISPRA).

Le rocce presenti rientrano nella formazione attribuita al “Calcare di Bari” del Cretaceo, generalmente biancastro e fossilifero con potenze che variano da alcune centinaia di metri a oltre 2000 metri e con un andamento della stratificazione, a scala regionale, tipico di una monoclinale.

A scala locale, questa formazione presenta, invece, un notevole stato di alterazione e piani di fessurazione da suborizzontali a subverticali. Le principali fratture beanti che si osservano, verticali e colmate frequentemente da materiale derivante da alterazione, tendono a chiudersi verso il basso. Spesso si rinvengono, a vari livelli, sacche di calcare farinoso, colmate anche da terra rossa o da calcite di ricristallizzazione. Queste discontinuità fisiche, con larghezza variabile e compresa tra pochi cm a qualche metro, suddividono la roccia in grossi blocchi con dimensioni variabili (Figura 2).

Nel complesso, l’ammasso roccioso si presenta molto anisotropo, caratterizzato da una coltre tipica di



carsificazione.

Nelle vicinanze del sito, sono stati riscontrati anche orli di terrazzo marino, testimonianza dell'ingressione marina pliocenica che ha determinato la formazione di depositi prevalentemente calcarenitici.

Figura 2. Immagini della struttura delle pareti della cava (posta a sud del sito indagato) che consentono di osservare l'assetto stratigrafico delle rocce.



## ANALISI ORTOFOTOGRAFICA DEL SITO

Dal confronto delle foto satellitari disponibili si può ricostruire l'evoluzione morfologica del sito negli ultimi anni (Figura 3).

Nel luglio del 2005 (a) l'area del sito appare completamente coperta di cumuli di materiale biancastro, difficilmente identificabile tramite le fotografie disponibili. La forma dei singoli elementi accumulati appare però piuttosto regolare e più o meno sferica, difficilmente associabile a semplice materiale da costruzione dismesso.

Nel luglio del 2009 (b) la maggior parte dei cumuli appaiono rimossi, pur se rimangono tracce della loro presenza nell'area interessata, dovute alla persistenza di un sottile strato di cumuli o alla perdita di materiali di scarto, in forma solida o liquida.

A maggio del 2010 (c) le tracce suddette permangono sostanzialmente inalterate ma meno di un anno dopo, nel marzo del 2011 (d), le tracce appaiono quasi totalmente scomparse, mentre si nota la presenza di una vegetazione rada che un mese dopo, nell'aprile del 2011 (e), copre completamente la superficie del sito.

L'ultima foto disponibile risale al maggio del 2013 (f) e mostra un terreno del tutto privo di vegetazione su cui sono stati effettuati interventi recenti, data la presenza di numerosi tracce parallele probabilmente ascrivibili ad aratura, essendo distribuite regolarmente su tutta la superficie del sito.

Una ulteriore conferma di quanto detto sopra è data dalle immagini ottenute tramite la funzione Street View di Google Maps (Figura 4).

La prima immagine, scattata nel mese di settembre del 2008 (a), mostra chiaramente la presenza di un cumulo di materiale poco identificabile, esteso su tutta l'area del sito indagato, che nell'immagine scattata alla fine del 2010 (b) appare completamente rimosso, a conferma delle conclusioni tratte dalle immagini satellitari.

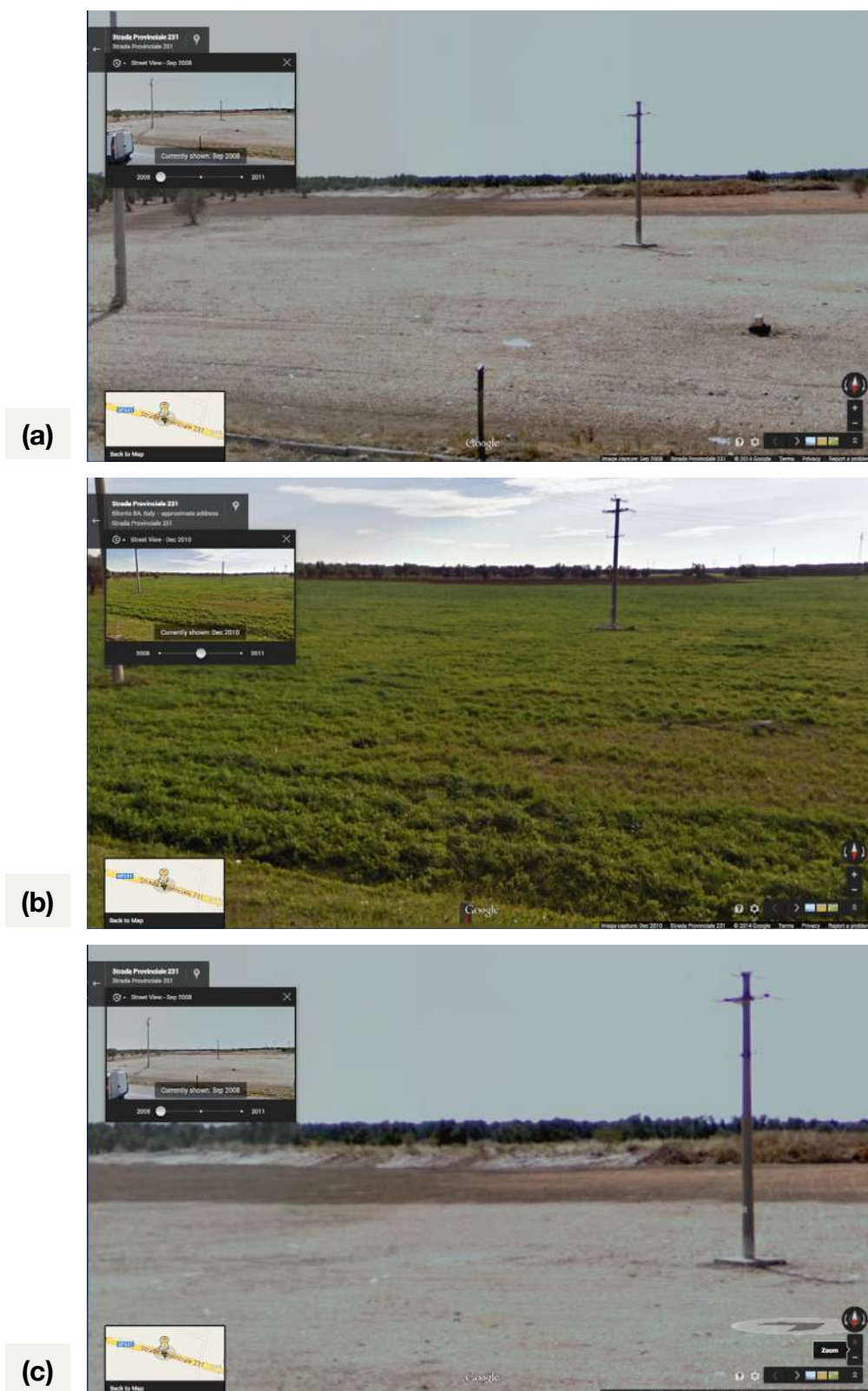
Confrontando le immagini delle Figura 3 e 4, si può concludere che la rimozione completa del materiale accumulato sia avvenuta fra l'estate e l'autunno del 2010.



Figura 3. Evoluzione morfologica del sito dal 2005 ad oggi.



Figura 4. Confronto fra l'aspetto del sito nel 2008 (a) e nel 2010 (b). Le immagini sono state ottenute tramite la funzione Street View di Google Maps. L'immagine (c) mostra un Ingrandimento della foto scattata nel 2008.





## CARATTERIZZAZIONE 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. Obiettivo dell'indagine è stato quello di cercare di individuare la presenza di depositi di materiale di caratteristiche fisiche differenti dal resto del sottosuolo, eventualmente associati a depositi abusivi di amianto.

Sono state eseguite 20 linee di scansione GPR parallele, approssimativamente in direzione Nord-Sud, che hanno interessato un'area corrispondente a circa 1/3 dell'estensione totale del sito. Le tracce delle scansioni realizzate sono mostrate in Figura 5.

Per maggiore chiarezza le foto più piccole della Figura 5 mostrano le stesse tracce sovrapposte alle foto satellitari del 2005 (sopra) e del 2009 (sotto).

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 0.3 metri verso il basso rispetto all'origine dell'asse verticale e le tracce GPR permettono di analizzare il sottosuolo fino a circa 3.5 metri al di sotto della superficie.

La Figura 6 mostra alcuni esempi tipici di tracce di scansione GPR. Per maggiore chiarezza le tracce di scansione riportate qui sotto sono mostrate ingrandite anche nella pagina seguente, suddivise in due parti consecutive (Figura 7).

La struttura del sottosuolo appare in generale omogenea, ed è caratterizzata da un primo sottile strato di terreno spesso poche decine di centimetri, con al di sotto un ulteriore strato di roccia poco resistiva dal punto di vista elettrico. A circa 1.5 metri al di sotto della superficie si

Figura 5. Linee di scansione effettuate tramite Ground Penetrating Radar (GPR) sul sito in esame.





nota una transizione netta ad uno strato di roccia di caratteristiche elettriche piuttosto differenti. Nel complesso la struttura dell'area appare comunque relativamente regolare.

Si notano però un po' ovunque regioni di segnale GPR molto più intenso e a forma di cuspidi, localizzate fino a 1.5 metri sotto la superficie, tipiche della presenza di cavità spesso vuote di forma più o meno regolare. Segnali analoghi, pur se di aspetto decisamente più regolare, sono ad esempio visibili in presenza di tubazioni per il trasporto dell'acqua o di fognature. Tali segnali però sono probabilmente originati dalla presenza delle cavità fratturate sotterranee a cui si è fatto cenno nella sezione dedicata all'inquadramento geologico (Figura 2).

Isolando le regioni a risposta elettrica più intensa si ottengono le immagini tridimensionali di Figura 8, che mostrano l'intera area scansionata a varie profondità al di sotto della superficie. Le regioni con la risposta elettrica più intensa sono evidenziate in bianco (intensità intermedia) e rosso (intensità alta), tutto il resto del segnale è di colore blu. La Figura mostra chiaramente come tali regioni siano parallele fra loro, omogenee e tutte localizzate in uno strato ben definito al di sotto della superficie, esattamente come le fratture di Figura 2.

Figura 6. Esempi di tracce di scansione GPR nel sito in esame.

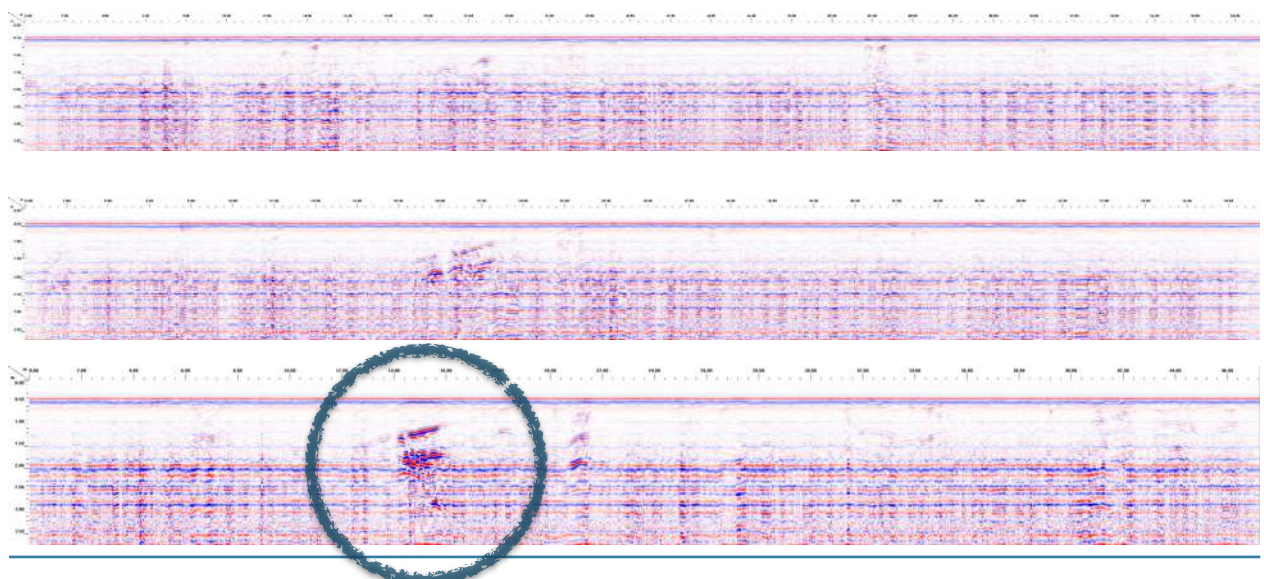


Figura 7. Esempi di tracce di scansione GPR nel sito in esame. Visualizzazione ingrandita.

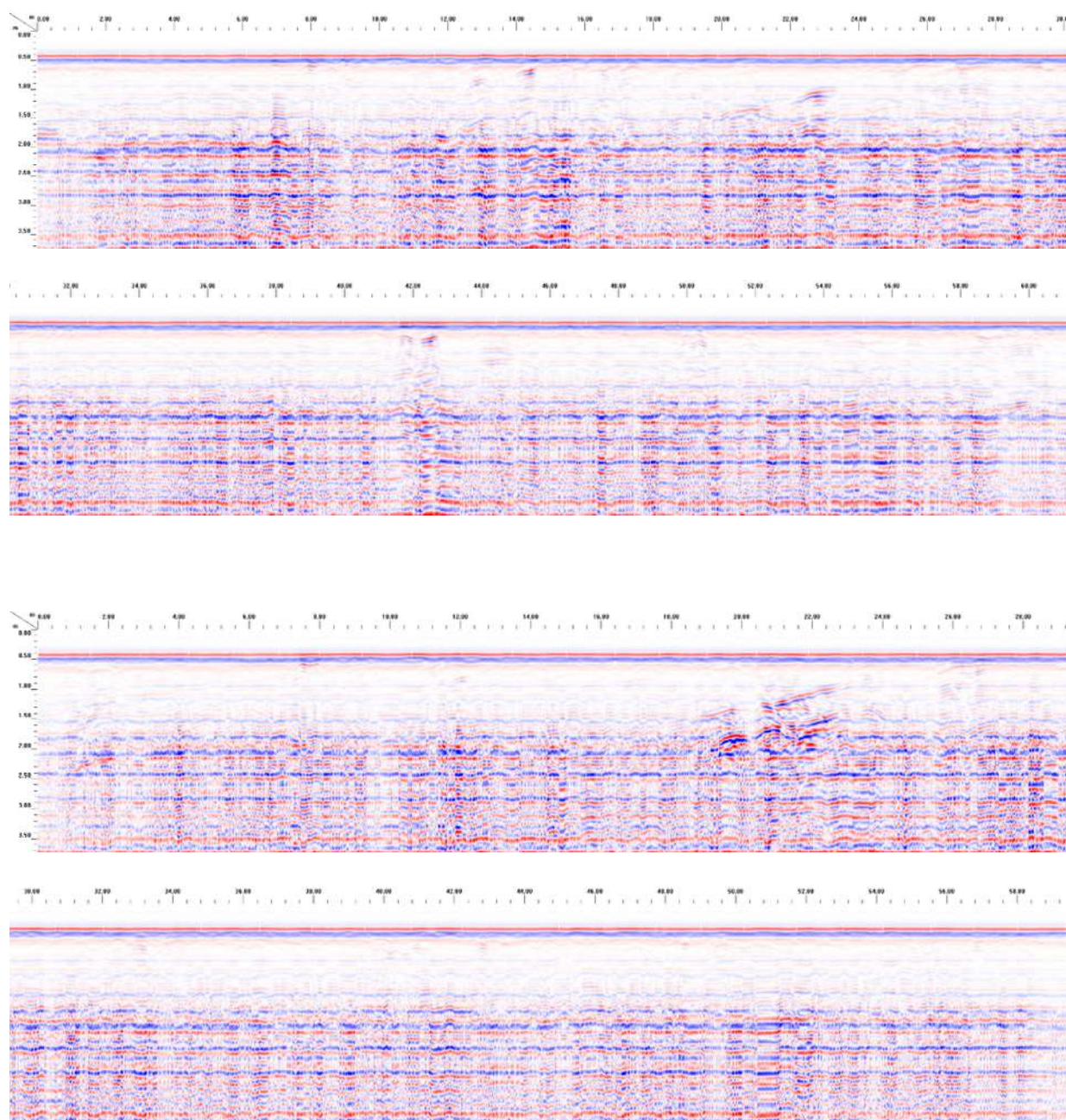




Figura 7. (continua)

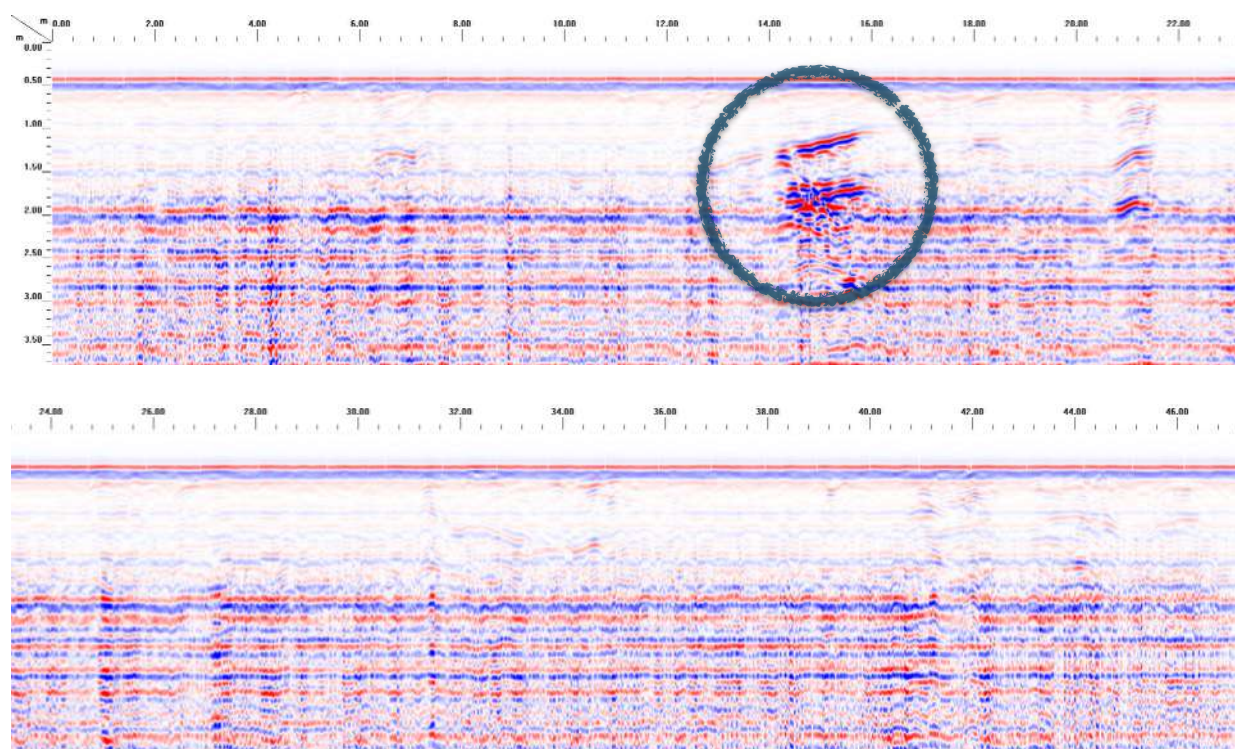
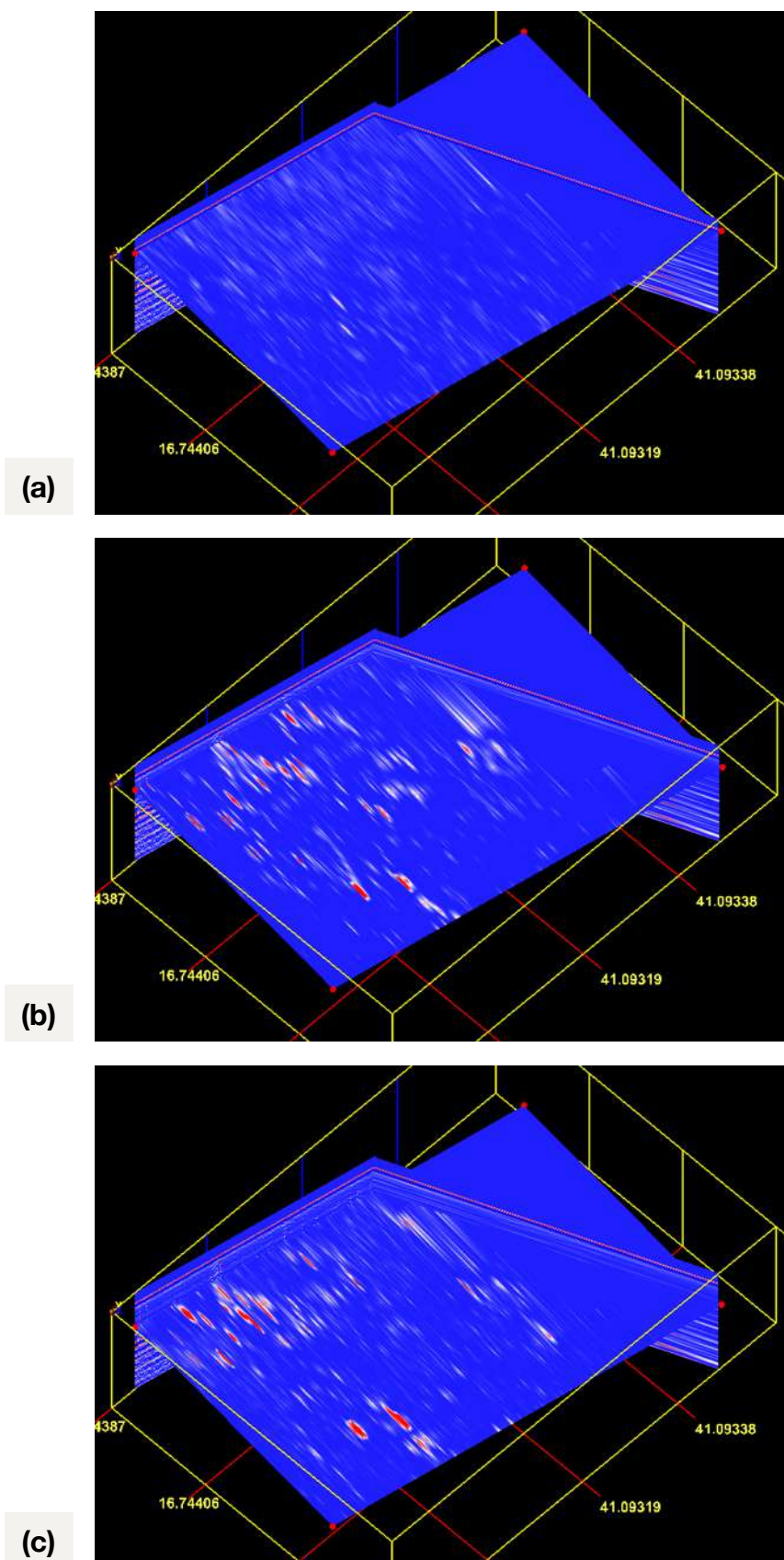


Figura 8. Immagine tridimensionale dell'area scansionata a varie profondità al di sotto della superficie.





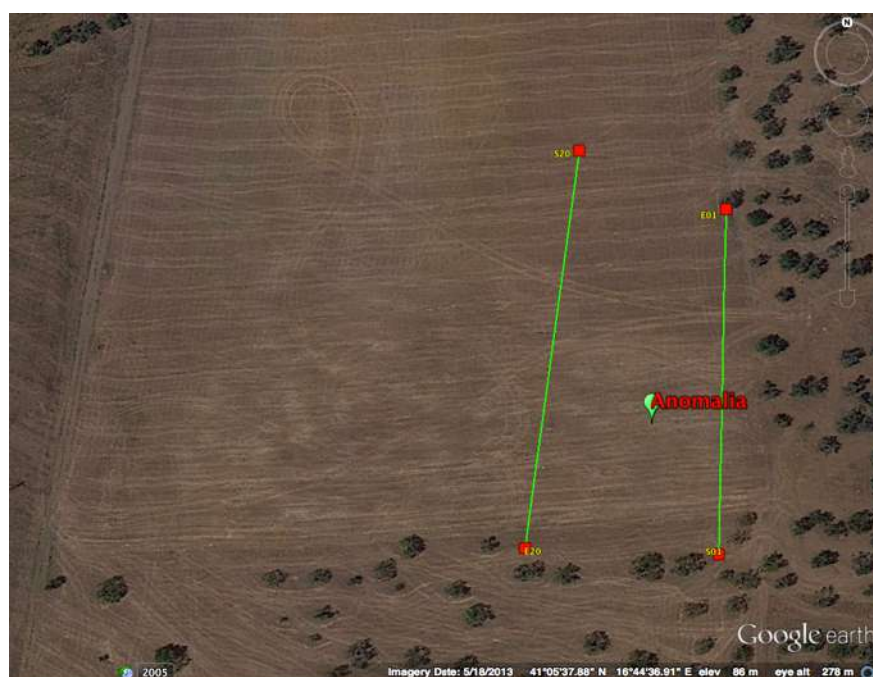
Analizzando i dati non si può comunque evitare di notare la presenza di una zona ben circoscritta e decisamente anomala rispetto a tutto il resto dell'area indagata, nella quale il segnale GPR misurato appare molto più intenso rispetto al resto dell'area sotto esame. I dati anomali sono stati evidenziati in blu nelle Figure 6 e 7.

La regione interessata da questo comportamento anomalo è quasi al centro dell'area misurata, alle coordinate geografiche  $41^{\circ}05'35.14''\text{N}$ ,  $16^{\circ}44'38.84''\text{E}$ .

Fra le possibili ragioni per questo comportamento anomalo si può ipotizzare:

1. la presenza di una cavità sotterranea di dimensioni molto maggiori di quelle normali, formatasi a causa di un crollo improvviso del sottosuolo dovuto a fenomeni di erosione della roccia carbonatica;
2. l'alterazione delle caratteristiche fisiche del sottosuolo a causa dello sversamento e percolazione di liquidi in una zona ben circoscritta, avvenuto probabilmente nel corso degli anni in cui il sito è stato ricoperto dai cumuli di materiale non meglio identificato e di cui si è fatto cenno nella sezione relativa all'analisi ortofotografica del sito.

Figura 8. Posizione della regione anomala del sito sotto indagine. Le linee verdi indicano i limiti della regione indagata tramite il GPR.



## 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 di geometria e caratteristiche elettriche variabili (Figure 9–12).

In tutte le simulazioni è stato usato un segnale a microonda di frequenza  $f = 1200$  MHz, moltiplicata cioè di un fattore 3 rispetto al valore reale, per tenere conto della normalizzazione della profondità massima considerata nel corso delle simulazioni.

La Figura 9 mostra la simulazione di una misura GPR su un suolo omogeneo composto da tre strati sovrapposti di costante dielettrica e resistività variabile. I parametri elettrici associati a ciascuno strato  $L$  sono, procedendo dall'alto in basso: (L1) spessore  $d = 0.04$  m, costante dielettrica relativa  $\epsilon_r = 16$ , resistività  $\rho = 10$   $\Omega/\text{m}$ , (L2)  $d = 0.41$  m,  $\epsilon_r = 12$ ,  $\rho = 1$   $\Omega/\text{m}$ , (L3)  $d = 0.55$  m,  $\epsilon_r = 16$ ,  $\rho = 50\Omega/\text{m}$ .

La struttura generale visibile nelle misure GPR effettuate (Figure 6, 7) è riprodotta piuttosto bene. 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 10 mostra i risultati della simulazione sullo stesso suolo contenente anche una struttura sepolta di forma ellittica. Per semplicità, per i parametri elettrici di tale struttura sono stati scelti valori prossimi a quelli dell'aria,  $\epsilon_r = 1$  e  $\rho = 1000$   $\Omega/\text{m}$ .

Traslando la struttura sepolta verso il basso il segnale GPR simulato tende ad approssimare quello del suolo a strati omogenei di Figura 9. Al contrario, una traslazione della struttura verso la superficie ne amplifica l'effetto di "disturbo" rispetto alla risposta del suolo a strati omogenei. La modifica della geometria della struttura sepolta non porta a variazioni significative e la risposta del segnale GPR tende a riprodurre la forma generale della struttura sepolta. Due esempi di simulazioni con strutture sepolte di geometria irregolare disposte verticalmente e orizzontalmente sono visibili in Figura 11 e 12.



Figura 9. Simulazione di una misura GPR su un suolo omogeneo composto da tre strati sovrapposti di costante dielettrica e resistività variabile. Geometria (sopra), risultato della simulazione (sotto).

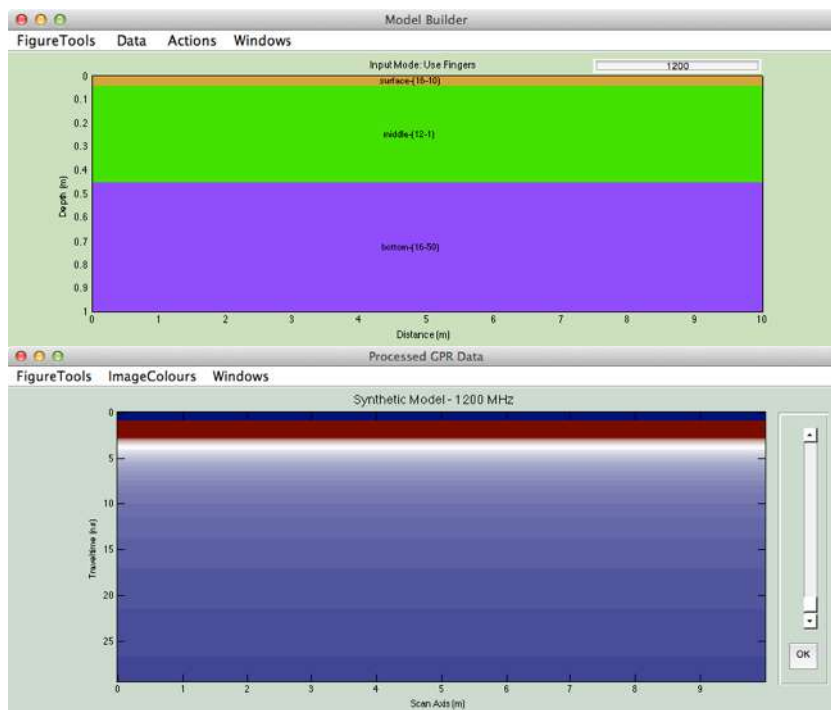


Figura 10. Simulazione di una misura GPR su un suolo omogeneo composto da tre strati sovrapposti di costante dielettrica e resistività variabile, contenente una struttura sepolta di forma ellittica. Geometria (sopra), risultato della simulazione (sotto).

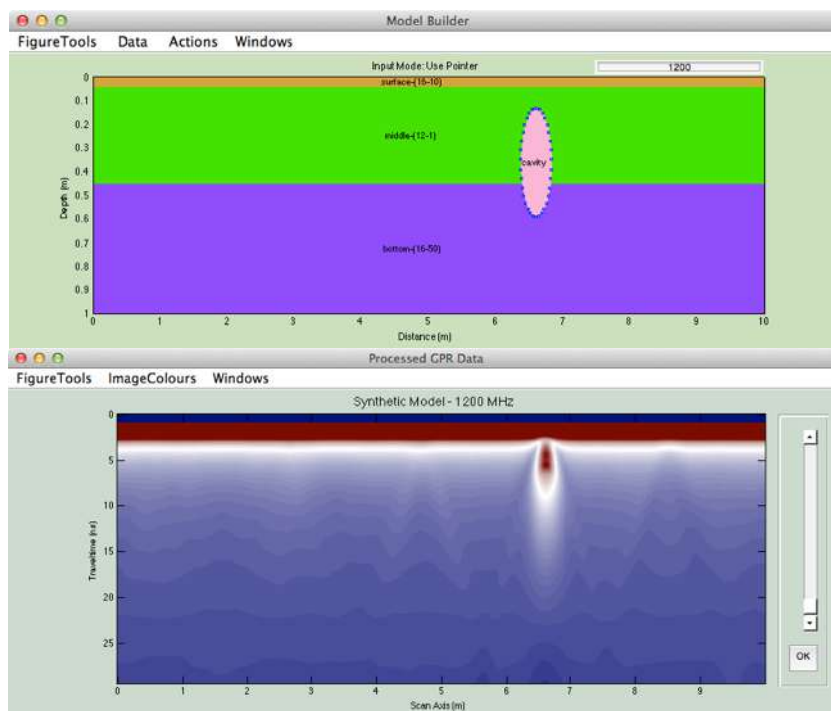


Figura 11. Simulazione di una misura GPR su un suolo omogeneo composto da tre strati sovrapposti di costante dielettrica e resistività variabile, contenente una struttura sepolta di forma irregolare disposta verticalmente. Geometria (sopra), risultato della simulazione (sotto).

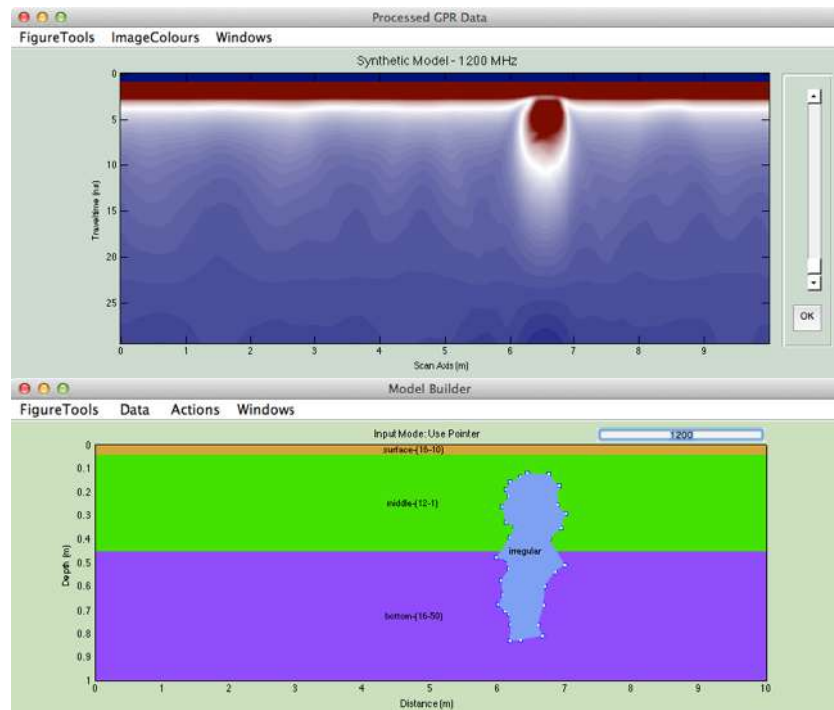
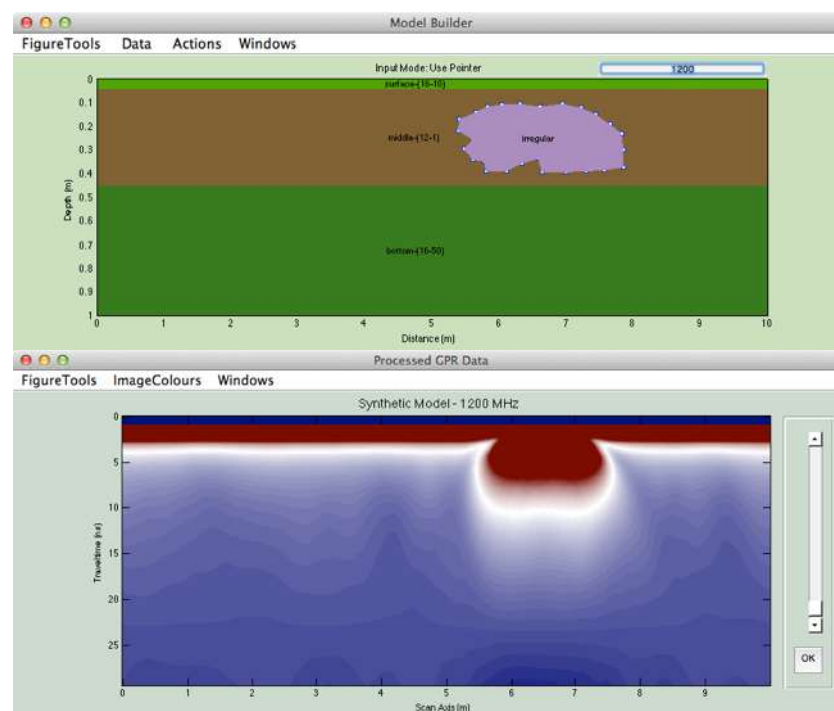


Figura 12. Simulazione di una misura GPR su un suolo omogeneo composto da tre strati sovrapposti di costante dielettrica e resistività variabile, contenente una struttura sepolta di forma irregolare disposta orizzontalmente. Geometria (sopra), risultato della simulazione (sotto).





## CONCLUSIONI

Da quanto riportato in questa relazione appare abbastanza evidente come, nella maggior parte del sito in esame, le anomalie osservate del segnale GPR possano essere attribuite alle caratteristiche fisiche naturali del sottosuolo ed in particolare alla presenza delle irregolarità strutturali osservate lungo le pareti della cava in disuso e presenti di sicuro anche nell'area indagata.

Esiste comunque un'area ben circoscritta nella quale il segnale GPR misurato appare molto più intenso rispetto al resto dell'area sotto esame. Tale comportamento potrebbe essere ricondotto alla presenza di una cavità sotterranea di dimensioni anomale o allo sversamento di materiale allo stato liquido che ha alterato le caratteristiche elettriche del sottosuolo nella zona interessata.