



APPLICAZIONI GEOFISICHE PER L'ARCHEOLOGIA : CASI DI STUDIO

Dr. Geol. Luca Maria Puzzilli

ISPRA – Dipartimento Difesa Suolo
Servizio Geofisica



Indice

1. Applicazioni geofisiche per l'archeologia: un po' di storia
2. Quali indagini per quali risultati
3. Esempi di modellazione geofisica
4. Importanza della integrazione tra diverse metodologie
5. Esempi di applicazioni multimetodo



Applicazioni geofisiche per l'archeologia: un po' di storia

A partire dagli anni '40 del XX sec. in Europa, soprattutto in Inghilterra e poi anche in Francia, Germania ed Italia, vengono impiegate per la prima volta delle tecniche di indagine geofisica su siti archeologici.

Anni '40 R. Atkinson presso Dorchester e J. Martin e A. Clark nello Wiltshire, utilizzano il metodo della resistività.

Anni '50 R. Linington apre la Sezione Prospezioni Archeologiche della Fondazione Lerici del Politecnico di Milano.

1958 Schollar - elaborazione dei dati di resistività con metodi di filtraggio

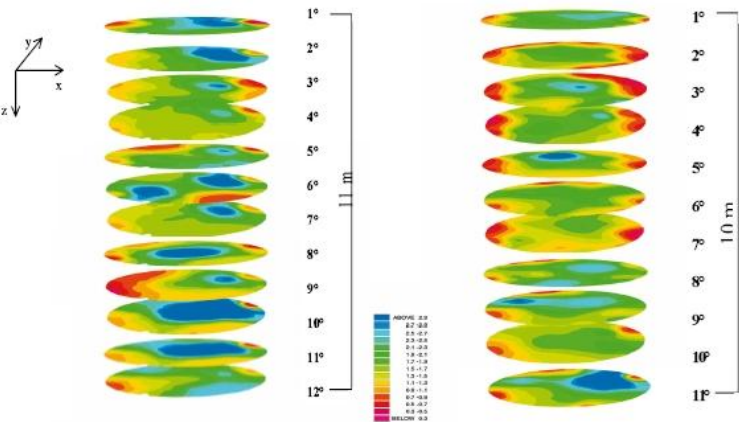


Applicazioni geofisiche per l'archeologia: un po' di storia

Alla fine degli anni '50 iniziano anche le prime conferenze internazionali e numerosi congressi e workshop vengono tenuti in Inghilterra, Francia e Italia sulla spinta di importanti associazioni (British Geological Survey in Inghilterra, GMPCA in Francia, CNR in Italia)

- 1964 Oxford Laboratory – nasce la rivista “Archaeometry”.
M. Aitken e E. Hall sperimentano l'utilizzo di un prototipo di magnetometro a protoni
- 1966 Fondazione Lerici – nasce la rivista “Prospezioni archeologiche”
In Francia il laboratorio di A. Hesse e A. Tabbagh del Centre de Recherches Géophysiques pubblica uno dei primi libri di geofisica per l'archeologia.
- 1976 Archaeological Investigations at Chaco Canyon Using a Subsurface Radar, in *Remote Sensing Experiments in Cultural Resource Studies: Non-Destructive Methods of Archaeological Exploration, Survey, and Analysis. Reports of the Chaco Center. National Park Service and University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico* 1:81- 101.

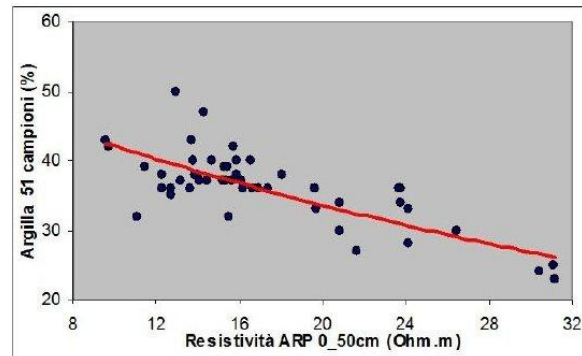
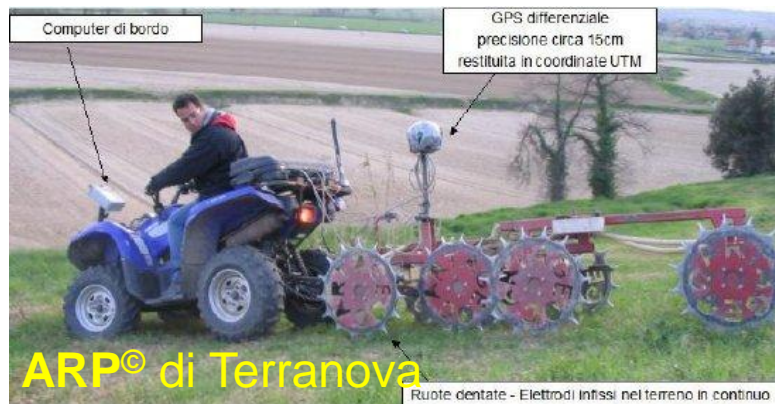
Applicazioni geofisiche per l'archeologia: un po' di storia



Oggi le applicazioni geofisiche consentono di ottenere informazioni di estremo dettaglio su aree di alcuni ettari o su superfici di piccole dimensioni .

INDAGINE SISMICA SU UNA COLONNA DELLA BASILICA DI MASSENZIO A ROMA

Da "Indagini geofisiche integrate per la caratterizzazione di un sito archeologico e tomografica sismica per lo studio di strutture monumentali " E. Cardarelli *Atti del Convegno "Geofisica per l'Archeologia -Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma*



ARP© di Terranova

INDAGINE GEOELETRICA CON DISPOSITIVO ARP E CONFRONTO CON MISURE IN LABORATORIO *immagini da*

<http://agronotizie.imagelinenetwork.com/agrotecnologie/la-viticoltura-di-qualita-ha-un-nuovo-strumento-per-la-conoscenza-del-sottosuolo-05244.cfm>



Applicazioni geofisiche per l'archeologia: un po' di storia

La ricerca sui siti di prestigiose associazioni consente di apprezzare il notevole numero di comunicazioni scientifiche sull'argomento della geofisica applicata alla Archeologia (es. siti della S.E.G. e dell'E.G.U.)

Society of Exploration Geophysicists
The international society of applied geophysics

Current Volume
2010

- View Volume Table of Contents
- Search this Volume

All Online Volumes
1988 - 2010

- Available Volume List
- Search all Volumes
- 20 Most Downloaded

New features
SEG Digital Library relaunches with new features (read more...)

The Environmental and Engineering Geophysical Society (EEGS) convenes the annual Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP). The Symposium has been held every year since 1988 at a variety of locations across the United States. SAGEEP is internationally recognized as the leading conference focused on the practical application of near-surface geophysics. It occurs annually over a 5-day period, typically drawing 300 to 500 attendees from the academic, government, industry, and service sectors. Each SAGEEP includes approximately 150 oral and poster presentations, educational workshops, vendor presentations, and a commercial exhibition. EEGS publishes the Proceedings of SAGEEP, comprised of technical papers presented at the Symposium. There are more than 2,000 papers in the SAGEEP collection, covering a wide range of near-surface geophysical applications. Individual papers are typically three to ten pages long and have been lightly reviewed by the symposium organizers before publication.

European Geosciences Union
Dedicated to the pursuit of excellence in the geosciences and the planetary and space sciences for the benefit of humanity.

EGU General Assembly 2011
Vienna | Austria | 3-8 April 2011

President: Tuia Pulkkinen **Vice-President:** Donald Bruce Dingwell

EGU General Assembly 2011 at a Glance

Location: Vienna, Austria
Date: 3-8 April 2011
[\[Read more \]](#)

Tohoku (Sendai) Earthquake and Tsunami

Weblinks relevant to the Tohoku (Sendai) Earthquake and Tsunami are available at the EGU General Assembly 2011 blog.
[\[Read more \]](#)

New staff member at the EGU Office in Munich

Jennifer Holden has recently started work at the EGU Office in Munich as the EGU's first Science Communications Postdoctoral Fellow. She recently completed her PhD at King's College in London on Environmental Hazards (heavy-metal contamination). Her responsibilities at the EGU Office include outreach to young scientists and co-ordinating the Union's social media activities. Jennifer is the main author of the official [EGU General Assembly Blog](#) and twitter feed [@egu2011](#).



Quali indagini per quali risultati

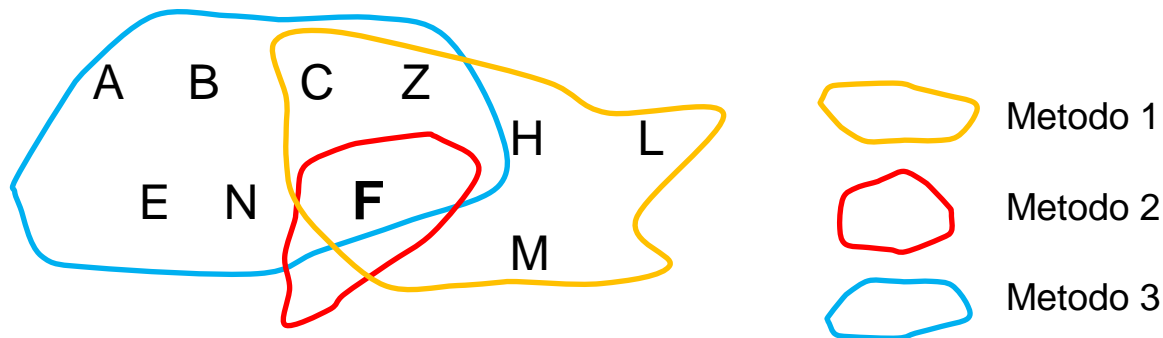
In ambito archeologico, più precisamente nell’ambito dello studio e identificazione delle preesistenze sepolte, molti metodi di indagine risultano idonei e addirittura raccomandati spesso in parallelo, per ottenere informazioni complementari che aumentino la possibilità di rilevare il target dell’indagine.

Per poter operare la scelta dei metodi geofisici da utilizzare, tutte le informazioni a disposizione di tipo archeologico, geologico e geofisico devono essere attentamente esaminate in fase di progettazione geofisica preliminare.

Preesistenza	Metodo Geoelettrico	Metodo Magnetometrico	Metodo Georadar	Metodo Elettromagnetico
Aree abitate, forni, fornaci, focolari, recinti protostorici, fosse e fossati, fondazioni in mattoni.	Idoneo in parallelo con altre tecniche	Idoneo e raccomandato	Idoneo in parallelo con altre tecniche	Utilizzabile in parallelo con altre tecniche
Fondazioni in ciottoli, grandi fossati, fondazioni in mattoni, pavimenti, canalette in pietra, cavità, strutture in legno	Idoneo e raccomandato	Utilizzabile	Idoneo in parallelo con altre tecniche	Utilizzabile in parallelo con altre tecniche
Residui bellici	Utilizzabile	Idoneo	Idoneo e raccomandato	Idoneo
.....
.....

Quali indagini per quali risultati

L'applicazione di più metodi consente di aggirare il noto problema della *non univocità* della modellazione geofisica (allo stesso set di misure corrispondono più modelli plausibili) aumentando notevolmente la possibilità di rilevare l'obiettivo.



Quali indagini per quali risultati

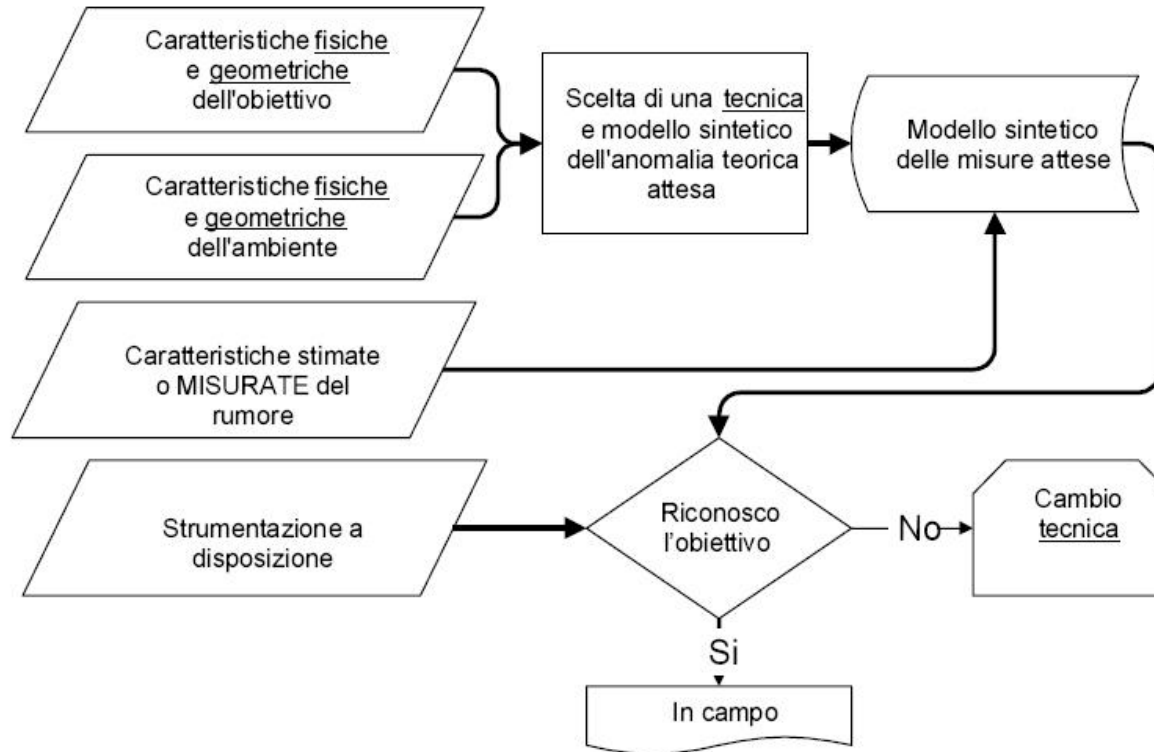


Immagine da "Alcuni criteri per la progettazione di rilievi geofisici per l'Archeologia" L.Sambuelli et al. Atti del Convegno "Geofisica per l'Archeologia - Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma

In assenza di alternative, il tecnico geofisico farà riferimento a valori di "letteratura" per una modellazione geofisica speditiva che sarà del tutto preliminare.

Quali indagini per quali risultati

Densità kg/mc (Gravimetria)

Materiale	Densità [kg/m ³]
Aria	~1.3
Calcere	1930 - 2900
Arenaria	1610 - 2760
Sedimenti non consolidati	1700 - 2300
Ardesia	2700 - 2900
Granito	2500 - 2810
Basalto	2700 - 3300
Gneiss	2590 - 3000

Resistività Ohm *m (Goelettrica)

Materiale	Resistività elettrica [m]
Acqua di falda	1 → 100
Acqua di mare	0.2
Lignite	9 → 200
Argilla cotta	30
Argille	1 → 100
Ghiaie	100 → 1500
Terreni Quaternari sabbiosi	50 → 100
Terreni sabbiosi drenati	80 → 1000
Sabbie argillose/Argille sabbiose	30 → 220
Sabbie con ghiaie	30 → 220
Conglomerati	2*10 ³ → 10 ⁴
Tufo	2*10 ³ → 10 ⁵
Calcere	50 → 10 ⁷
Arenaria	1 → 7*10 ⁸
Granito	300 → 10 ⁶
Marna	3 → 70
Marmo	10 ² → 10 ⁸
Basalto	10 → 10 ⁷
Dolomite	3.5*10 ² → 5*10 ³

Suscettività magnetica (Magnetometria)

Materiale	Suscettività magnetica [x 10 ³ SI]
Quarzo	-0.01
Calcite	-0.001 → - 0.01
Magnetite	1200 → 19200
Calcere	0 → 3
Arenaria	0 → 20
Argillite	0.01 → 15
Scisti	0.3 → 3
Gneiss	0.1 → 25
Granito	0 → 50
Basalto	0.2 → 175

Permittività (Radar)

Materiale	ϵ_r
Aria	1
Acqua di falda	81
Acqua di mare	81
Sabbie	4 → 25
Limi	10
Argille	3 → 16
Suoli agricoli	13 → 16
Quarzo	4.3
Calcere	7 → 9
Arenaria	6
Argillite	7
Granito	5 → 8
Basalto	8
Dolomite	6.8 → 8

Tabelle estratte da "Alcuni criteri per la progettazione di rilievi geofisici per l'Archeologia" L.Sambuelli et al. Atti del Convegno "Geofisica per l'Archeologia -Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma.

Quali indagini per quali risultati

Metodo	Parametro	Frequenza di utilizzo
Elettrico	Resistività	Elevata
Magnetico	Suscettività	Elevata
Radar	Permittività	Elevata
Elettromagnetico	Resistività	Media
Gravimetrico	Densità	Medio-bassa
Sismico	Velocità delle onde P, S, attenuazione...	Molto bassa
...

Qualsiasi quadro sinottico come quello riportato qui sopra, che illustra frequenza di utilizzo dei principali metodi è destinato (fortunatamente!) ad essere aggiornato sulla base di esperienze via via più recenti....



Quali indagini per quali risultati

Il risultato dell'indagine geofisica è costituito da **una modellazione** del sistema suolo- sottosuolo per la singola proprietà fisica misurata.

I software di elaborazione ci consentono di **modellare** (1D-2D-3D) il semispazio investigato (sottosuolo) in riferimento alla variazione spaziale e/o spazio-temporale (4D) dei valori del parametro misurato.



Quali indagini per quali risultati

Cosa possono fare i software per la elaborazione dati

Propongono al geofisico una soluzione unica basata sulle determinate ipotesi di variazione del parametro modellato

Cosa non possono fare i software per la elaborazione dati

Comprendere fino a che punto si possono variare i parametri di ingresso mantenendo la rigorosità della elaborazione

Esempi di modellazione geofisica

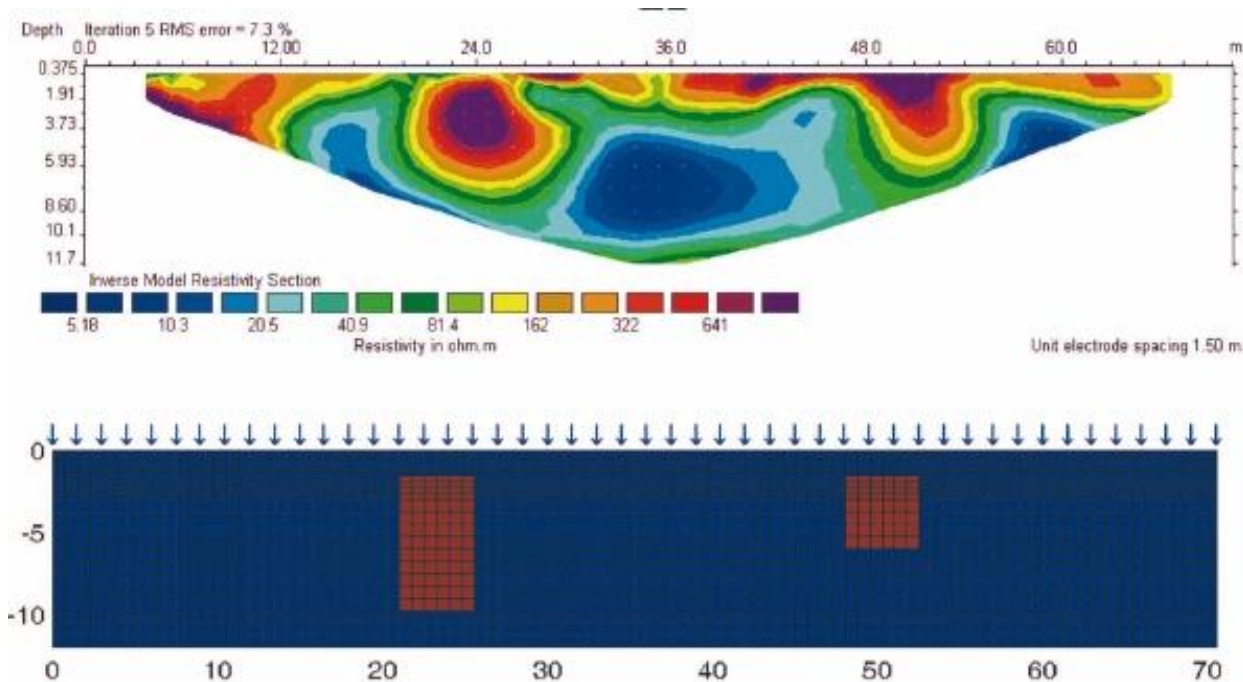
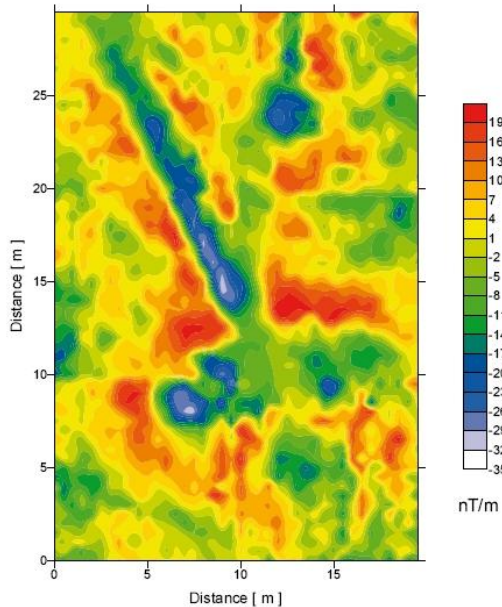


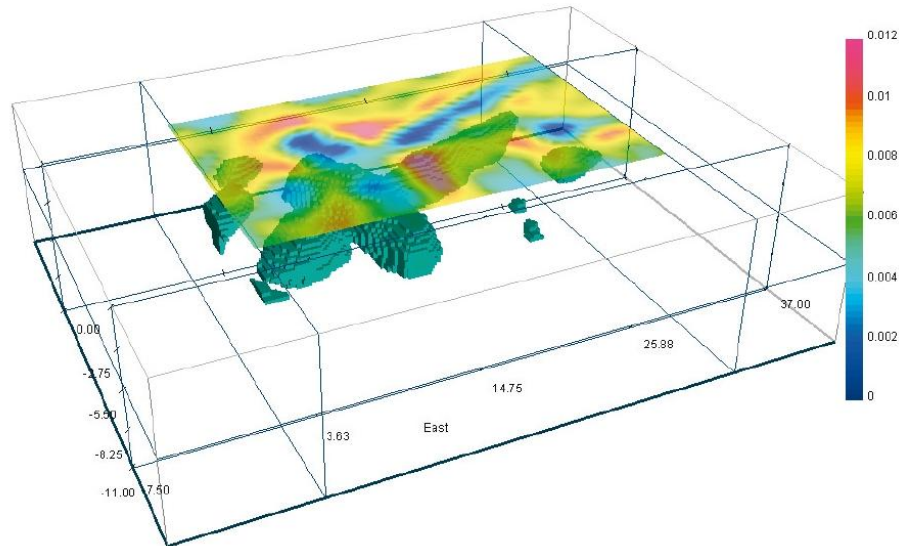
Immagine tratta da "Indagini geofisiche integrate per la caratterizzazione di un sito archeologico e tomografica sismica per lo studio di strutture monumentali" E. Cardarelli Atti del Convegno "Geofisica per l'Archeologia - Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma

A parità di altre condizioni i metodi geofisici applicati all'archeologia basano il loro successo sulla esistenza di contrasti tra le proprietà fisiche delle preesistenze archeologiche sepolte e quelle del mezzo che le "contiene".

Esempi di modellazione geofisica



Mappa di gradiente magnetico misurato su una griglia di 0,5 m x 0,5 m



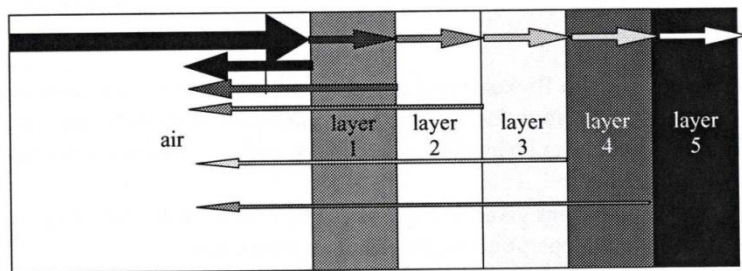
Immagini tratte da "Alcuni criteri per la progettazione di rilievi geofisici per l'Archeologia" L.Sambuelli et al. Atti del Convegno "Geofisica per l'Archeologia - Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma.

A parità di altre condizioni i metodi geofisici applicati all'archeologia basano il loro successo sulla presenza di contrasti tra le proprietà fisiche delle preesistenze archeologiche sepolte e quelle del mezzo che le "contiene".

Esempi di modellazione geofisica

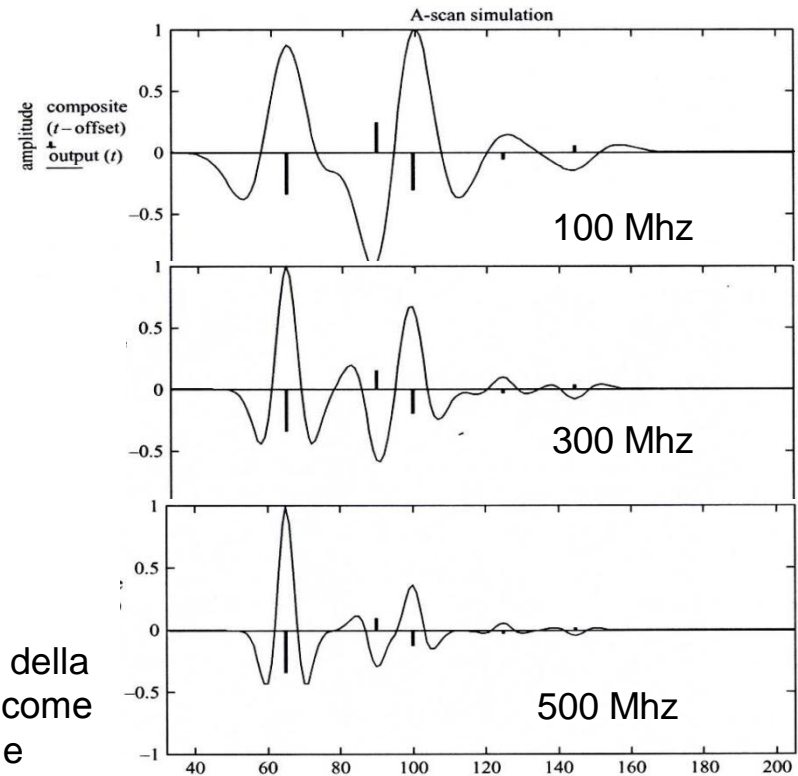
Table 3.1 Layer characteristics for transmission line model

Layer	Range, m	ϵ_r	Loss tangent	Material
0	0	1	0	air
1	0.3	6	0.31	lossy layer
2	0.6	1	0	air void
3	0.85	9	0.01	sub-base
4	1	16	0.1	wet base
5	infinite	25	0.1	wet bedrock



La modellazione aiuta e indirizza verso la scelta definitiva della frequenza centrale dell'antenna da utilizzare per il rilievo, come compromesso tra risoluzione e profondità di investigazione

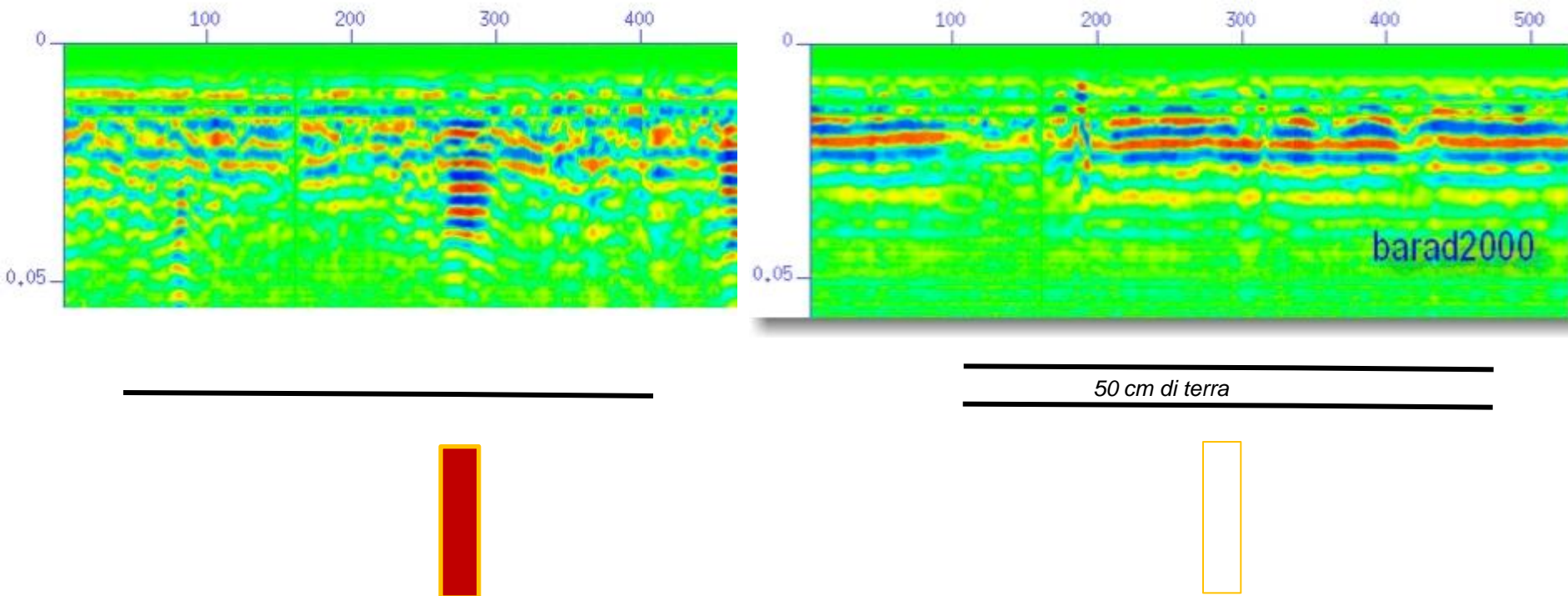
Immagini da "Ground Penetrating Radar"-2° Edition- D.J. Daniels - The Institution of Engineering and Technology IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series Series.



A parità di altre condizioni i metodi geofisici applicati all'archeologia basano il loro successo sulla esistenza di contrasti tra le proprietà fisiche delle preesistenze archeologiche sepolte e quelle del mezzo che le "contiene".

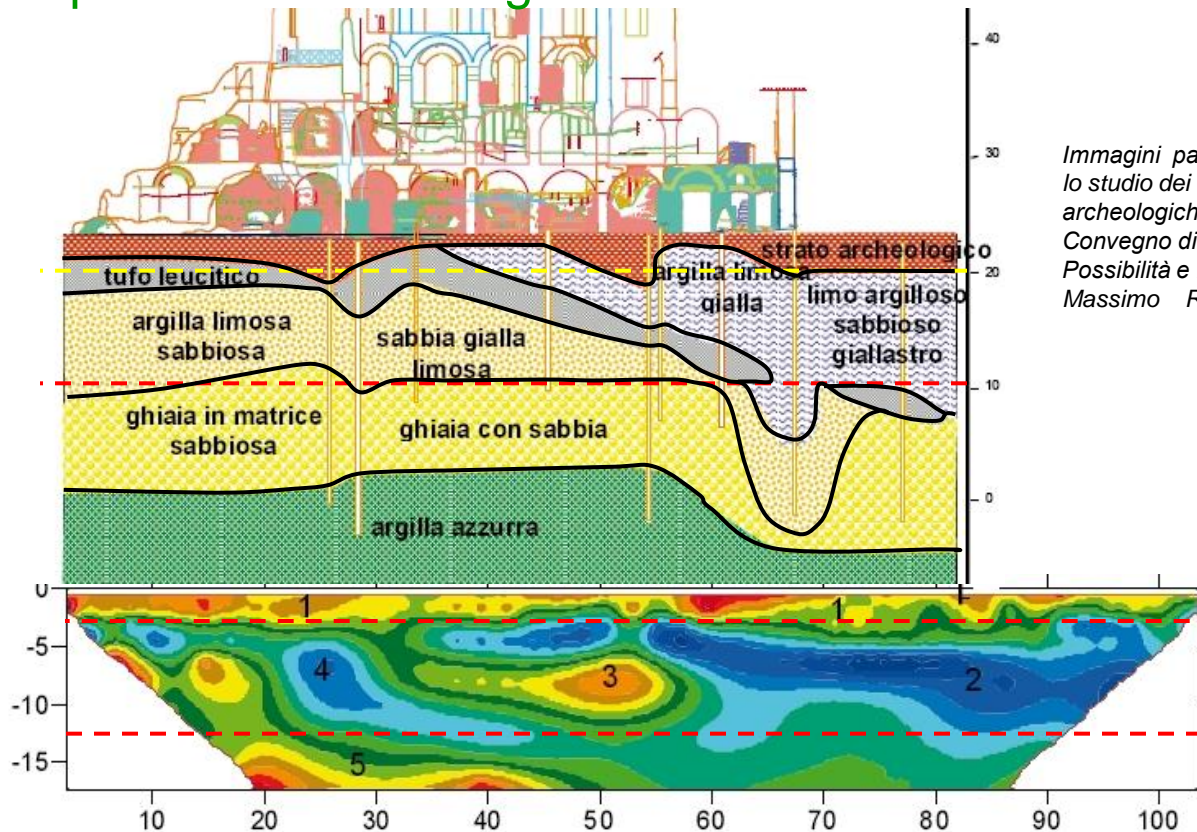
Importanza della integrazione tra diverse metodologie

Imagini tratte da <http://www.lucabaradello.it/AGassorbimento.html>



Al variare delle condizioni “geologiche” la tecnica può divenire meno efficace !

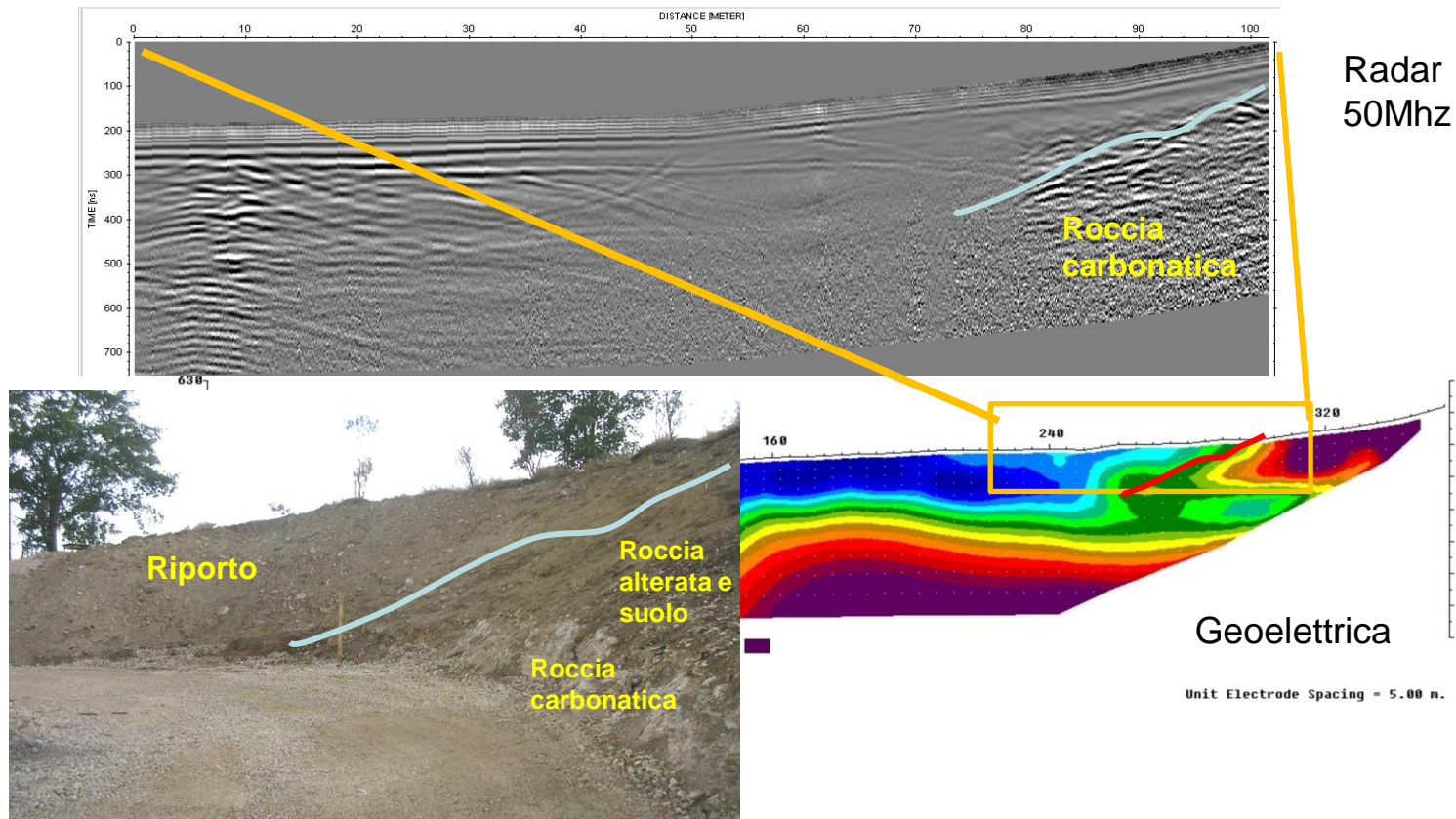
Importanza della integrazione tra diverse metodologie



Immagini parz. mod. da "Indagini geofisiche per lo studio dei terreni delle fondazioni di strutture archeologiche" L.Orlando, M. Bernabini Atti del Convegno di Geofisica per l'Archeologia - Possibilità e Limiti" 10 dicembre 2008 Palazzo Massimo Roma

Alcuni contesti geologici fanno sì che la tecnica sia localmente meno efficace nella definizione del target. Nel caso illustrato in figura (Roma-Palatino) la metodologia Geoelettica è stata accoppiata con successo ad altra tecnica, Georadar, complementare e idonea, per la definizione di aree di interesse archeologico.

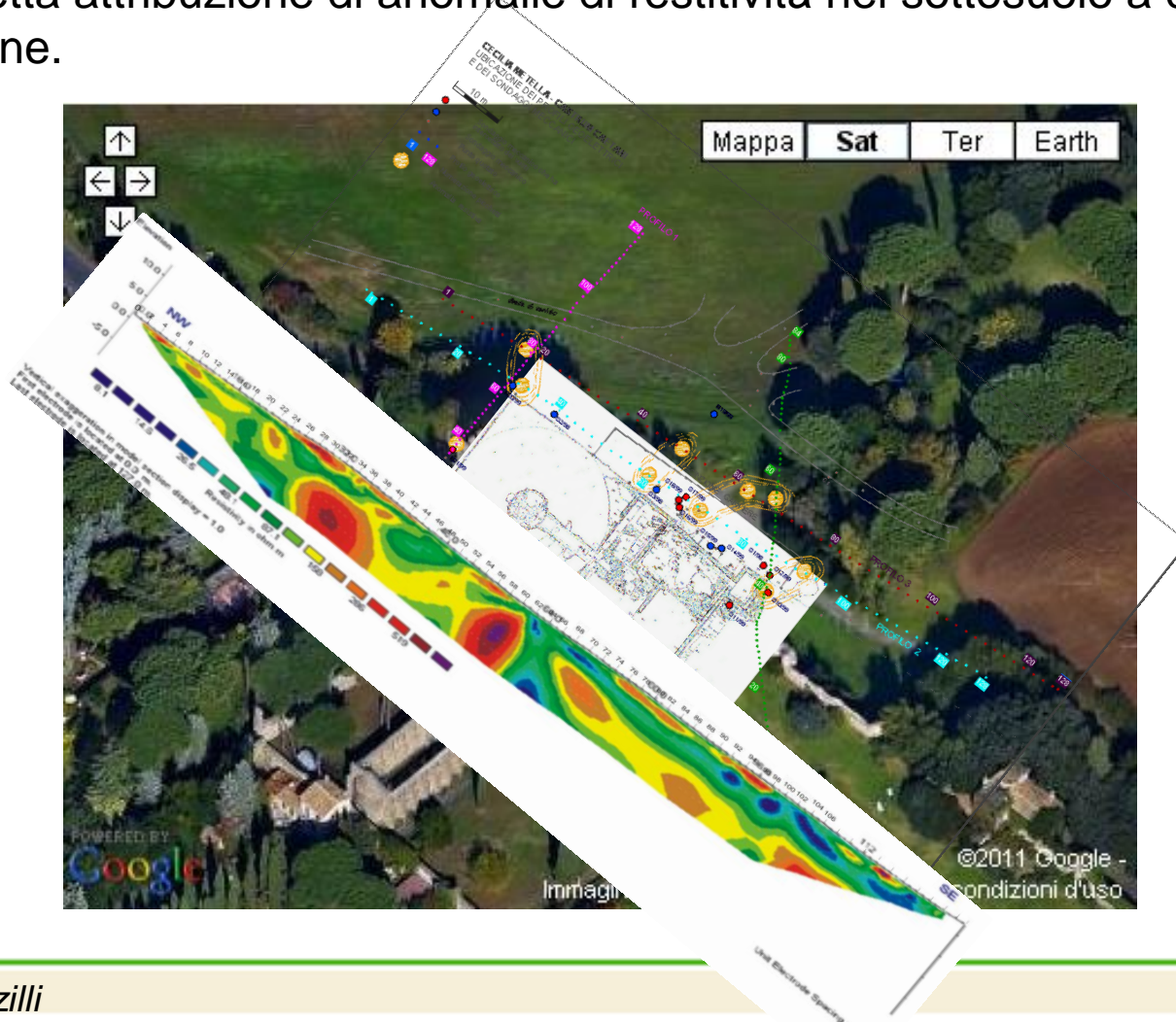
Importanza della integrazione tra diverse metodologie



Alcuni contesti geologici fanno sì che la tecnica sia localmente meno efficace nella definizione del target. Nel caso illustrato in figura (Abruzzo) la metodologia Geoelettrica è stata accoppiata con successo ad altra tecnica, Georadar, complementare e idonea, per la definizione del modello geologico preliminare.

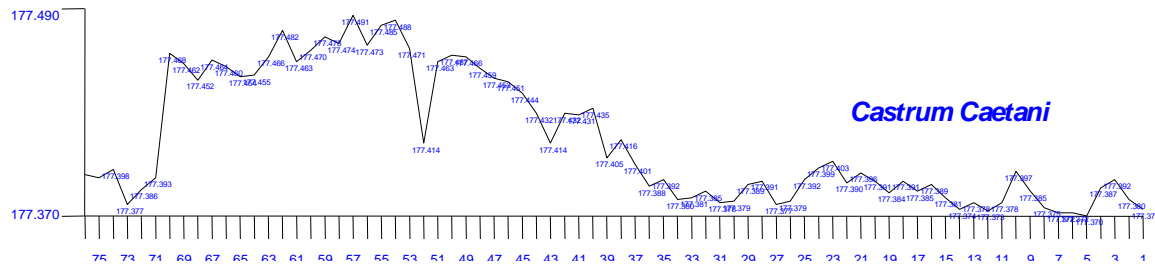
Esempi di applicazioni multimetodo

L'esempio che segue mostra l'uso di metodologia geoelettrica e microgravimetrica per la corretta attribuzione di anomalie di resistività nel sottosuolo a cavità o strutture di fondazione.

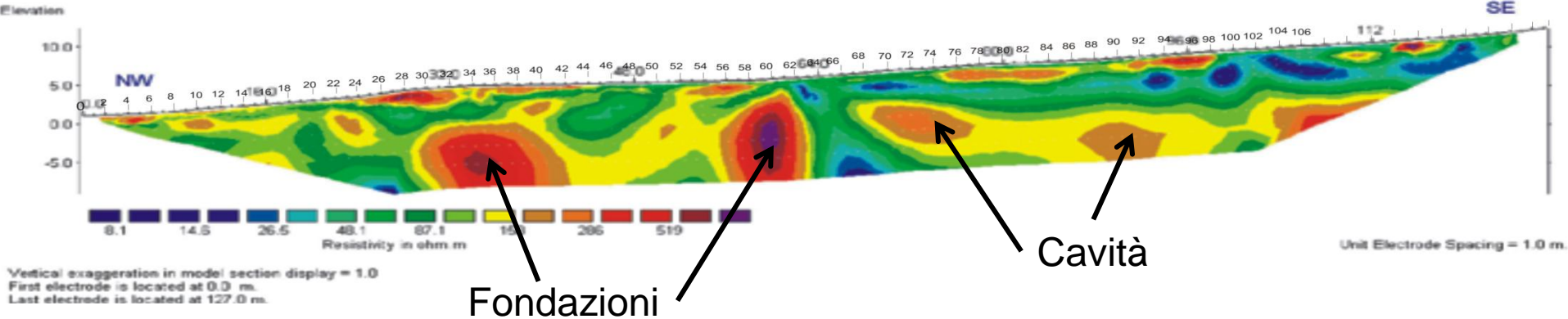


Esempi di applicazioni multimetodo

Microgravimetria

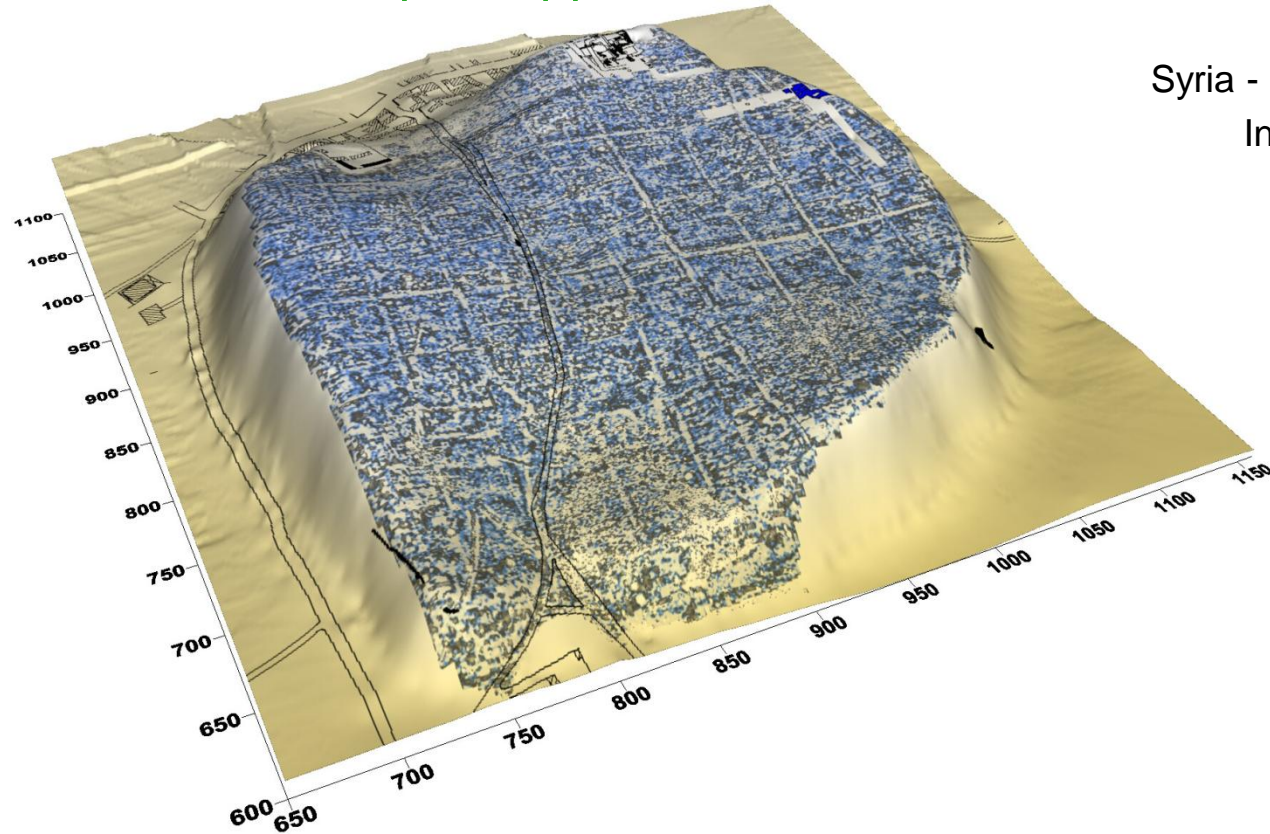


Geoelettrica



Da "Metodologie indirette per la conoscenza della struttura del sottosuolo: applicazione all'area del Mausoleo di Cecilia Metella" C.Cesi, V.Eulilli, F.Ferri in "LA GEOLOGIA DI ROMA DAL CENTRO STORICO ALLA PERIFERIA" Memorie descrittive della Carta Geologica D'Italia Vo. LXXX 2008

Esempi di applicazioni multimetodo

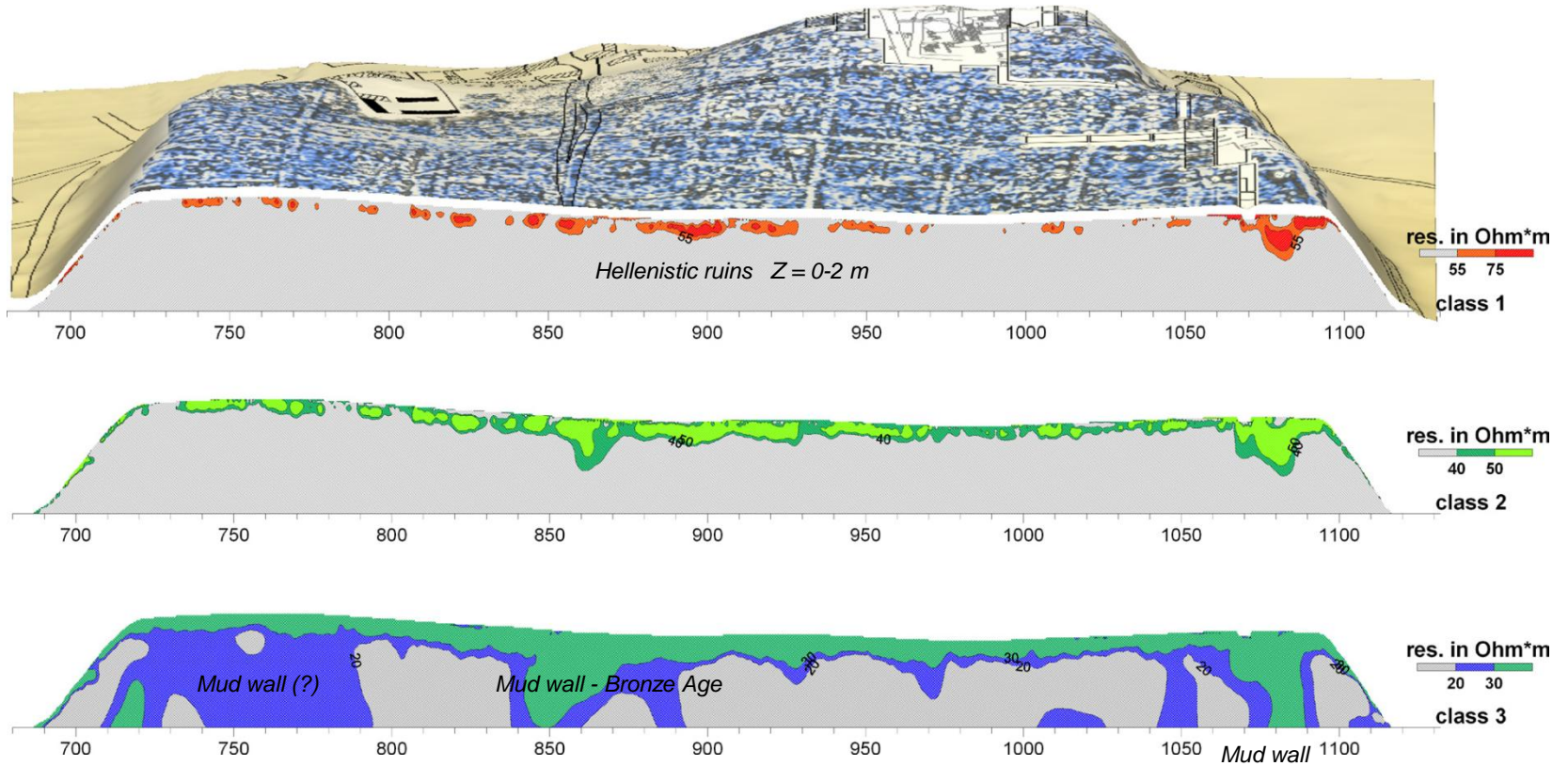


Syria - sito di Jenderes
Indagini
GPR
MAG
ERT

L'indagine geofisica presso Jenderes è basata su un approccio multimetodo, utilizzando GPR, Magnetometria e metodi geoelettrici. I risultati del rilievo geomagnetico e GPR mostrano però solo scarsissime indicazioni sulle strutture dell'età del Bronzo, distinguibili dalle strutture elleniche per via del differente orientamento di quelle sepolte a profondità maggiori.

Immagini da Burkart Ullrich – Thomas Günther – Carsten Rücker Electrical Resistivity Tomography Methods for Archaeological Prospection Geophysical Prospecting http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/proplylaeumdok/volltexte/2010/488/pdf/02_05_ullrich_et_al_resistivity.pdf

Esempi di applicazioni multimetodo



Attribuzione delle classi di anomalia a strutture archeologiche di diverse età

Immagine da Burkart Ullrich – Thomas Günther – Carsten Rücker Electrical Resistivity Tomography Methods for Archaeological Prospection *Geophysical Prospecting*
http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2010/488/pdf/02_05_ullrich_et_al_resistivity.pdf



Esempi di applicazioni multimetodo

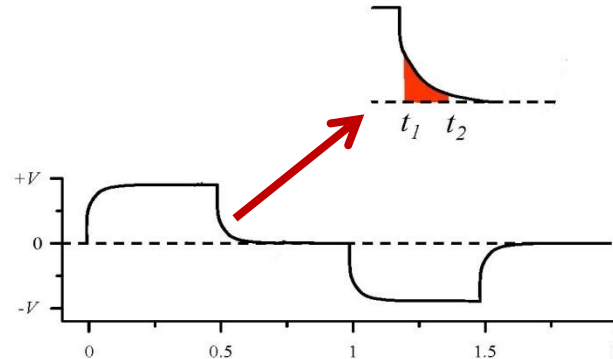
Analizziamo ora il caso di una indagine realizzata in Marocco su un area dove era attesa la presenza di resti di scorie da fornaci che andavano distinti dagli altri elementi di interesse archeologico (pareti, fondazioni ecc) e dal substrato naturale.

Resistività non distintiva

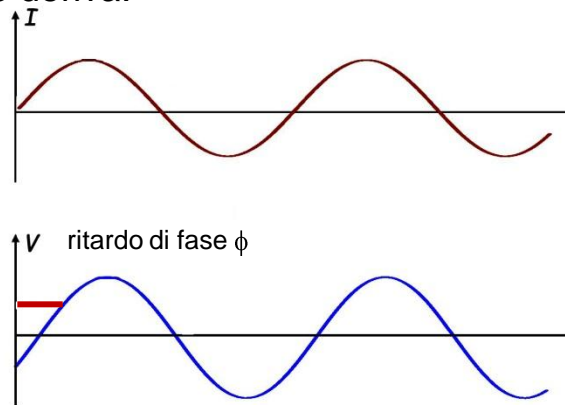
Tuttavia, la combinazione di metallo e fluido dei pori con elevato contenuto elettrolitico provoca una specifica polarizzazione all'interno dello "strato" di scorie quando viene attraversato da una corrente elettrica. Con la registrazione della polarizzazione indotta (PI) diviene possibile una separazione dei depositi di scorie dagli altri "target".

Esempi di applicazioni multimetodo

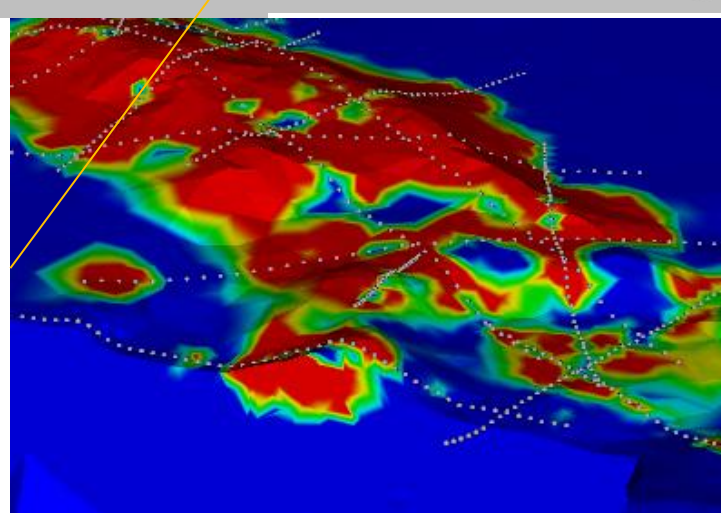
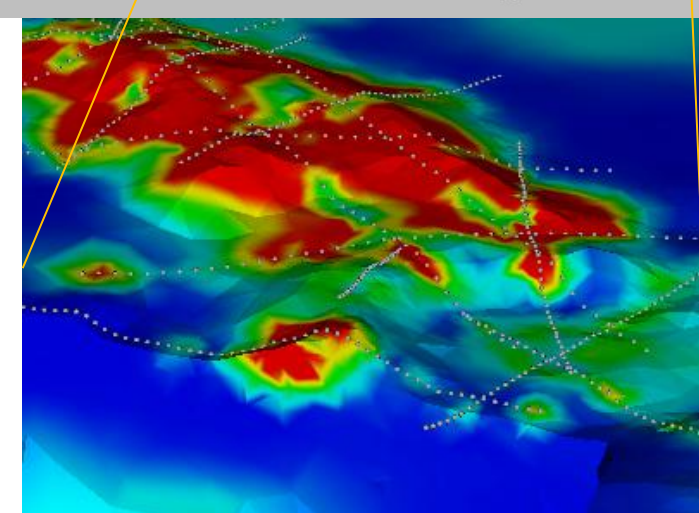
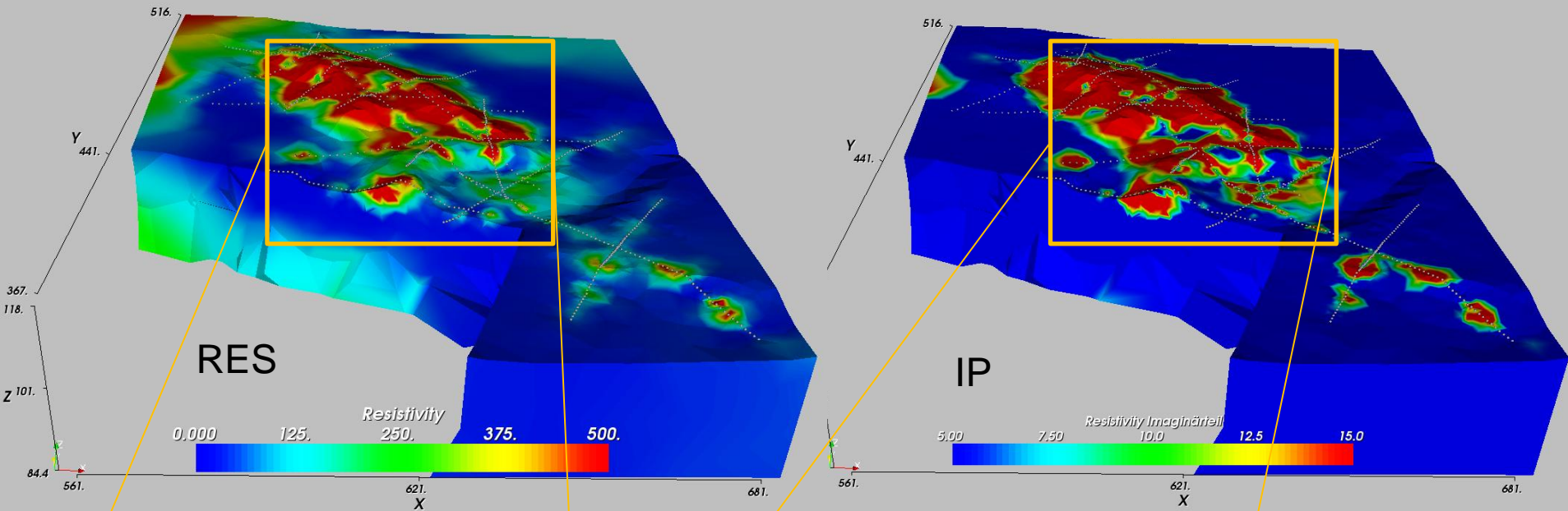
Nelle misure di resistività in corrente continua, la differenza di potenziale dovrebbe scendere a zero al cessare dell'iniezione di corrente. Nella pratica il voltaggio scende a zero secondo una "curva" per via del processo di accumulo e rilascio di cariche nel sistema.



La IP può essere misurata registrando i valori di potenziale al tempo t_1, t_2, \dots, t_n , ma può anche essere misurata nel *dominio della frequenza*, in base alla variazione di ampiezza ed al ritardo di fase tra corrente iniettata e il potenziale che ne deriva.



$$\rho = V/I \text{ e fase } \phi$$



Total of 14 geoelectrical profiles, covering an area of 150 x 120 m
Electrode distance of 1 m.
Dipole-dipole and Half-Wenner array
18,000 single IP datasets

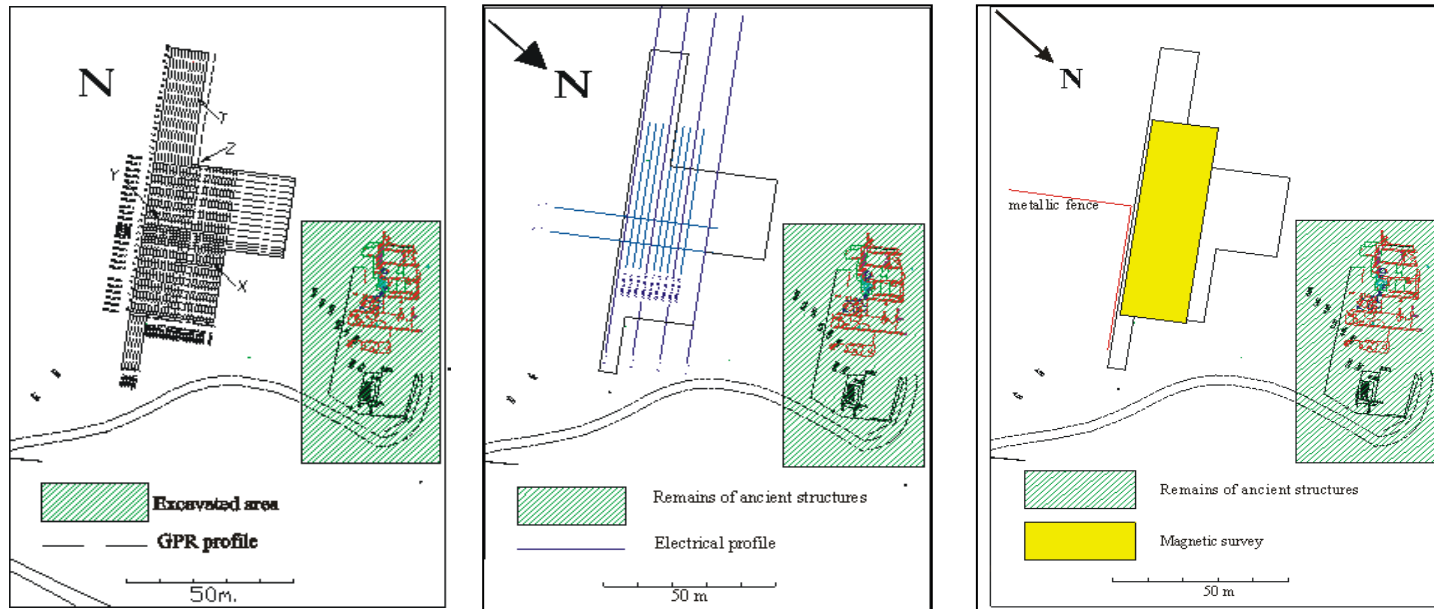
3D complex resistivity model
computed from more than 35,000 cells
Typical resistivity values
50 Ω m for the natural soil
200–500 Ω m and above for the slags

IP effects provided an even better contrast between the slag and soil

Immagini parz. mod. da Burkart Ullrich – Thomas Günther – Carsten Rücker Electrical Resistivity Tomography Methods for Archaeological Geophysical Prospecting http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/propylaeumdok/volltexte/2010/488/pdf/02_05_ullrich_et_al_resistivity.pdf

Esempi di applicazioni multimetodo

ARDEA (Roma)

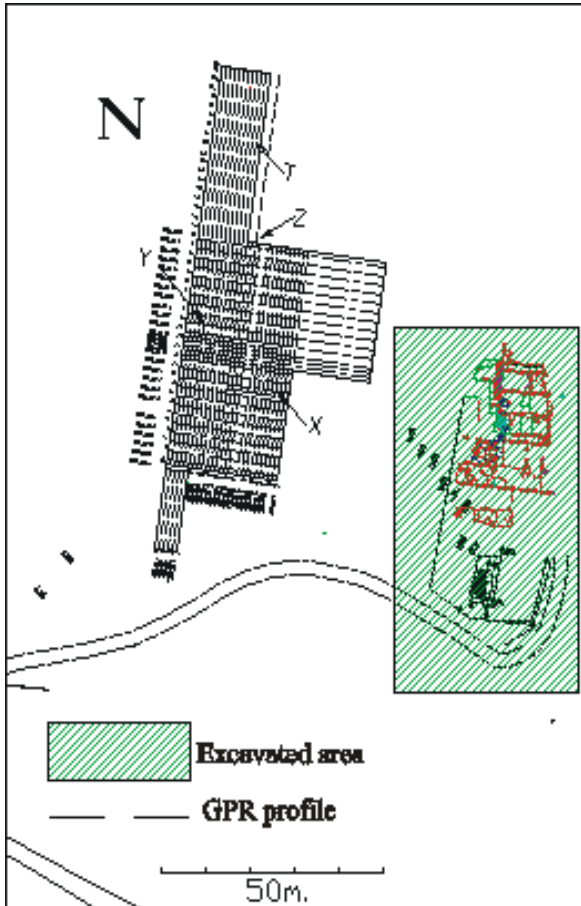


Nell'esempio che segue, ben 3 differenti metodologie d'indagine convergono con successo verso la definizione di aree di probabile interesse archeologico.

Da "INTEGRATED GEOPHYSICAL SURVEYS IN AN ARCHAEOLOGICAL SITE IN THE ARDEA MUNICIPALITY (ROME)

L. BONCI, S. CALCATERRA, V. EULILLI e P. GAMBINO Near Surface Palermo 4-7 settembre 2005

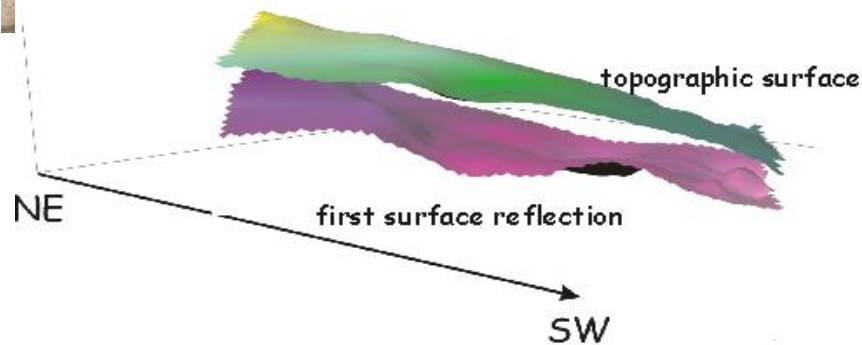
Esempi di applicazioni multimetodo



61 profili radar
Profili longitudinali equispaziati di 2 m
Profili trasversali equispaziati di 1 m,
Antenne schermate con frequenza centrale di 250 MHz.

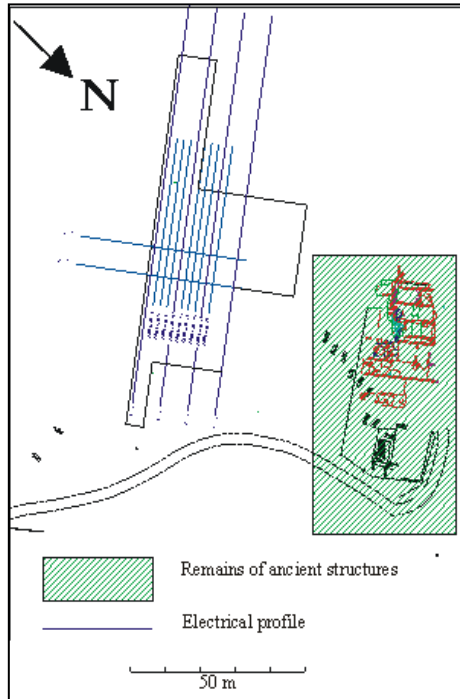


Immagini da "INTEGRATED GEOPHYSICAL SURVEYS IN AN ARCHAEOLOGICAL SITE IN THE ARDEA MUNICIPALITY (ROME) L. BONCI, S. CALCATERRA, V. EULILLI e P. GAMBINO Near Surface Palermo 4-7 settembre 2005



Con metodologia Georadar viene ricostruita una superficie di interesse archeologico e vengono identificate aree di anomalia connesse a probabili preesistenze.

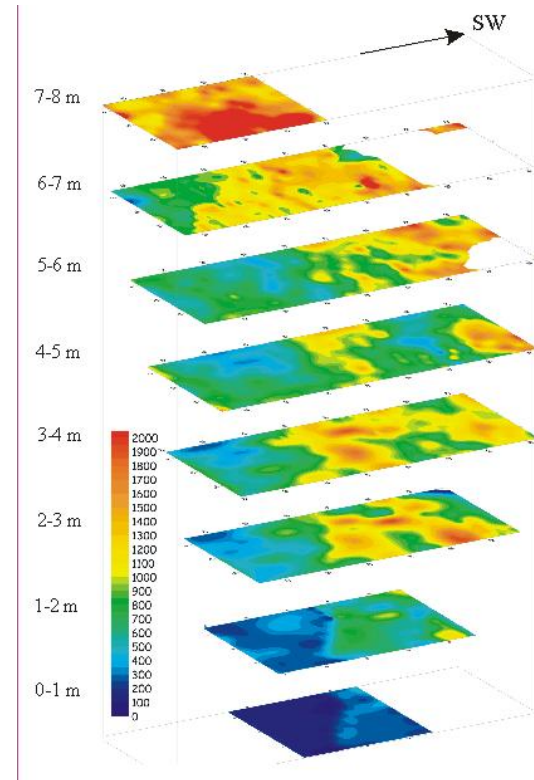
Esempi di applicazioni multimetodo



15 profili di resistività con array Wenner

9 profili equidistanti 2 m a=1 m
4 profili equidistanti 8 m a=2m
2 profili trasversali 8m a=2m

Elaborazioni pseudo 3D - Depth Slice



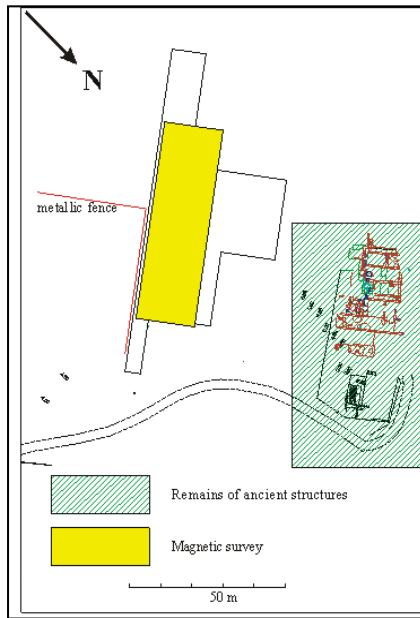
Con metodo Geoelettrico vengono identificate in 3D le aree di anomalia che, per geometria, ubicazione e contrasto di resistività possono essere connesse a preesistenze.

Da "INTEGRATED GEOPHYSICAL SURVEYS IN AN ARCHAEOLOGICAL SITE IN THE ARDEA MUNICIPALITY (ROME)

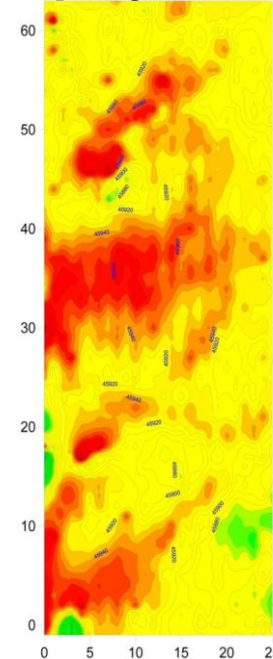
L. BONCI, S. CALCATERRA, V. EULILLI e P. GAMBINO Near Surface Palermo 4-7 settembre 2005

Esempi di applicazioni multimetodo

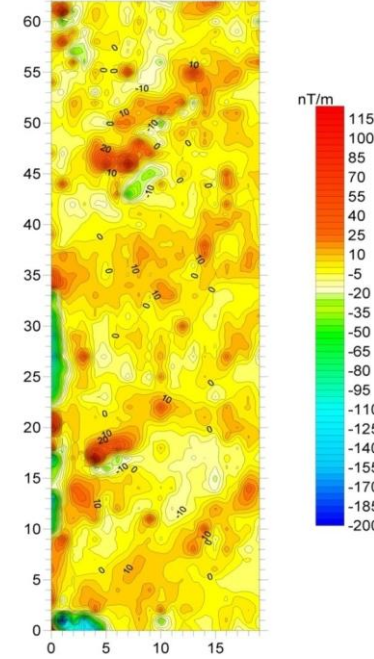
Rilievo magnetometrico griglia 1x1m su un'area di 63 x 25 m



Campo Magnetico totale



Gradiente Verticale



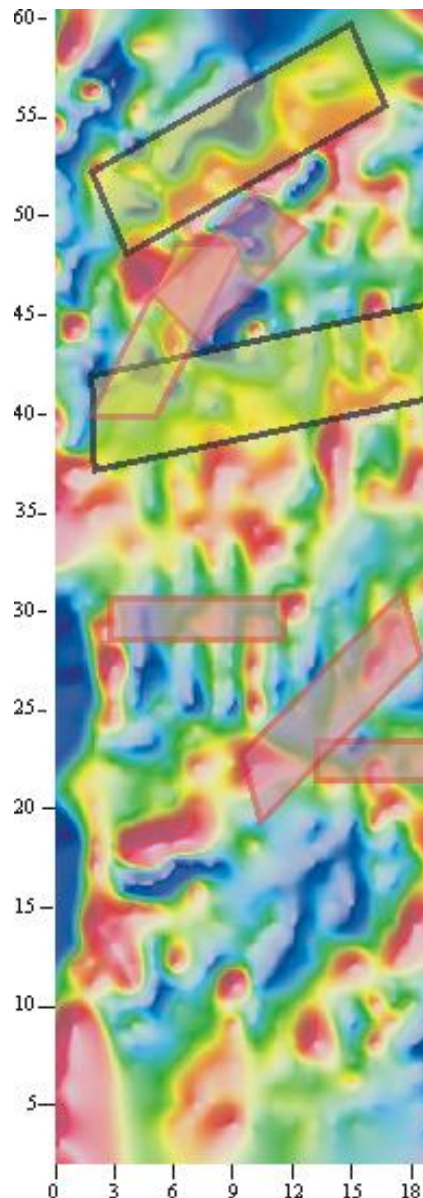
Con metodo Magnetometrico vengono identificate le aree di anomalia di gradiente che, per intensità possono essere connesse a preesistenze archeologiche.

Da "INTEGRATED GEOPHYSICAL SURVEYS IN AN ARCHAEOLOGICAL SITE IN THE ARDEA MUNICIPALITY (ROME)
L. BONCI, S. CALCATERRA, V. EULLILLI e P. GAMBINO Near Surface Palermo 4-7 settembre 2005

Alcuni obiettivi raggiunti per la

- ✓ Individuazione di aree di potenziale interesse archeologico in cui le anomalie del campo magnetico, di resistività e radar forniscono indicazioni concordanti.
- ✓ Ubicazione in profondità delle anomalie in un intervallo di quota compreso tra 2 e 4 m s.l.m. (presumibile presenza di preesistenze in base ai risultati di precedenti scavi effettuati in aree limitrofe)
- ✓ Evidenze della presenza e profondità della falda idrica.
- ✓ Migliore conoscenza dell'assetto geologico dell'area indagata con l'individuazione, sotto un primo strato di terreno di riporto, di due orizzonti sabbiosi caratterizzati da differenti proprietà fisiche.

Da "INTEGRATED GEOPHYSICAL SURVEYS IN AN ARCHAEOLOGICAL SITE IN THE ARDEA MUNICIPALITY (ROME) L. BONCI, S. CALCATERRA, V. EULILLI e P. GAMBINO Near Surface Palermo 4-7 settembre 2005



I risultati delle elaborazioni convergono verso un elaborato finale di sintesi dove vengono ubicate le aree anomale individuate dai diversi metodi possono essere esaminate congiuntamente. In questo caso la mappa di gradiente (metodo MAGNETOMETRICO) a cui vengono sovrapposte le aree a resistività anomala (metodo GEOELETTTRICO- rettangoli in nero) e le aree con anomalia georadar (metodo GEORADAR- rettangoli in rosa)



Grazie per l'attenzione

lucamaria.puzzilli@isprambiente.it