

Quaderni Norensi



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI

Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano
Piazza Indipendenza 7 - 09124 Cagliari



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA

Dipartimento di Antichità, Filosofia e Storia
Via Balbi 4 - 16126 Genova



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Dipartimento di Beni Culturali e Ambientali
Via Festa del Perdono 7 - 20122 Milano



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento dei Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica
Piazza Capitaniato 7 - 35139 Padova



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

Dipartimento di Scienze dei Beni Culturali
Largo dell'Università s.n.c. - 01100 Viterbo

Comitato Scientifico

Giorgio Bejor (Università degli Studi di Milano)
Sandro Filippo Bondi (Università degli Studi della Tuscia, Viterbo)
Jacopo Bonetto (Università degli Studi di Padova)
Maurizia Canepa (Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano)
Stefano Finocchi (Università degli Studi della Tuscia, Viterbo)
Andrea Raffaele Ghiotto (Università degli Studi di Padova)
Bianca Maria Giannattasio (Università degli Studi di Genova)
Marco Minoja (Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano)
Elena Romoli (Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano)

Comitato di Redazione

Luisa Albanese (Università degli Studi di Genova)
Elisa Panero (Università degli Studi di Milano)
Stefano Finocchi (Università degli Studi della Tuscia, Viterbo)
Arturo Zara (Università degli Studi di Padova)

Coordinamento di Redazione

Arturo Zara (Università degli Studi di Padova)

Rivista con comitato di *referee*
Journal with international referee system

In copertina: Nora, veduta aerea della penisola da est (cortesia dell'Archivio fotografico Consorzio Agenzia Turistica Costiera Sulcitana-STL Karalis, foto Ales&Ales).

ISSN 2280-983X

ISBN 978-88-902721-9-6

Periodico in fase di registrazione presso il Tribunale di Padova.

© Padova 2012, Padova University Press
Università degli Studi di Padova
via 8 febbraio 1848, 2 - 35122 Padova
tel. 049 8273748, fax 049 8273095
e-mail: padovauniversitypress@unipd.it
www.padovauniversitypress.it

Le foto di reperti di proprietà dello Stato sono pubblicate su concessione del Ministero per i Beni e le Attività culturali, Soprintendenza per i Beni Archeologici per le province di Cagliari e Oristano.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata in tutto o in parte la riproduzione dei testi e delle illustrazioni.

Volume stampato presso la tipografia Italgraf - Noventa Padovana

Quaderni Norensi

4



Indice

Quaderni Norensi 4. Editoriale Jacopo Bonetto, Marco Minoja, Bianca Maria Giannattasio, Giorgio Bejor, Sandro Filippo Bondi	p.	1
 <i>AREE C1-PT. Il quartiere occidentale</i> Università degli Studi di Genova	»	3
 Le Piccole Terme Bianca Maria Giannattasio, Luisa Albanese, Stefano Cespa, Diego Carbone, Dario La Russa, Silvia Mevio, Anna Parodi, Cristina Porro	»	
 <i>Campagna di scavo 2009: l'Area C1 e le Piccole Terme</i> L. Albanese	»	5
 <i>Campagna di scavo 2010: le Piccole Terme</i> B.M. Giannattasio, C. Porro	»	19
 <i>Campagna di scavo 2011: le Piccole Terme. Maggio-giugno 2011</i> C. Porro, S. Cespa, S. Mevio	»	41
 <i>Campagna di scavo 2011: le Piccole Terme. Settembre 2011</i> D. La Russa, D. Carbone	»	55
 <i>Osservazioni preliminari sulle Piccole Terme</i> B.M. Giannattasio	»	69
 <i>Alcune considerazioni sulle lucerne delle Piccole Terme (scavi 2009-2011)</i> A. Parodi	»	77

AREA E. Il quartiere centrale
Università degli Studi di Milano

p. 89

Le Terme Centrali

Elisa Panero, Ilaria Frontori, Cristina Iacovino, Pietro Mecozzi

Le Terme Centrali. Indagini negli ambienti Td e Te » 91
E. Panero

Le Terme Centrali. Indagine negli ambienti At e Cf » 105
I. Frontori

Le Terme Centrali. Il sistema di smaltimento delle acque » 115
C. Iacovino, P. Mecozzi

La fascia di abitato prospiciente la cala meridionale

Silvia Mevio

La fontana circolare nel settore D » 125

AREA P. Il quartiere orientale
Università degli Studi di Padova

» 131

L'Area P. Il cd. Tempio romano e l'area ad est del foro

Jacopo Bonetto

» 133

Il foro romano

Simone Berto, Ludovica Savio

Il saggio PG. Campagna di scavo 2009 » 137

Il Tempio romano

Jacopo Bonetto, Andrea Raffaele Ghiotto, Anna Bertelli, Simone Berto, Stefano Cespa, Giovanna Falezza, Rosa Di Maio, Mauro La Manna, Carosena Meola, Ester Piegari, Ludovica Savio, Andrea Stella, Matteo Tabaglio, Arturo Zara

Il saggio PR2. Campagna di scavo 2011 » 145
A.R. Ghiotto, A. Zara

Il saggio PR3. Campagne di scavo 2009-2010 » 155
J. Bonetto, G. Falezza, A.R. Ghiotto, L. Savio, M. Tabaglio, A. Zara

Il saggio PR5. Campagne di scavo 2010-2011 » 185
L. Savio, M. Tabaglio, A. Zara

Il saggio PS1. Campagne di scavo 2010-2011 » 201
J. Bonetto, S. Berto, S. Cespa

Il saggio PS2. Campagne di scavo 2010-2011 » 221
J. Bonetto, A. Bertelli

<i>Il saggio PS3. Campagna di scavo 2010</i> A.R. Ghiotto	p.	229
<i>Le monete</i> A. Stella	»	239
<i>Indagine integrata con termografia all'infrarosso e georadar per la valutazione dello stato di conservazione del teatro e del Tempio romano</i> R. Di Maio, C. Meola, M. La Manna, E. Piegari	»	249
L'area ad est del foro Rosa Di Maio, Mauro La Manna, Ester Piegari		
<i>Esplorazione geofisica ad alta risoluzione per il riconoscimento di strutture archeologiche sepolte nell'area ad est del foro romano</i>	»	255
AREE F-T. Il Coltellazzo e il colle di Tanit Università degli Studi della Tuscia, Viterbo		
L'Università della Tuscia a Nora (2007-2011). Nuovi dati e sintesi dei risultati Sandro Filippo Bondi	»	265
L'area sacra del Coltellazzo Valentina Melchiorri		
<i>L'area sacra del Coltellazzo (area F). Rapporto preliminare delle campagne 2010-2011. Attività archeologiche e di tutela</i>	»	273
L'“Alto luogo di Tanit” Stefano Finocchi, Fabio Dessena, Livia Tirabassi		
<i>Il Colle e l'“Alto luogo di Tanit”: campagne 2007-2011. Lo scavo del versante settentrionale: le evidenze strutturali preromane</i>	»	299
Lo spazio marino		
Nora e il mare. Il Progetto Noramar. Attività 2011 Jacopo Bonetto, Giovanna Falezza, Anna Bertelli, Desiree Ebner	»	327
Il suburbio		
L'intervento archeologico presso l'area dell'Anfiteatro Danila Artizzu	»	341
<i>Indirizzi degli Autori</i>	»	355

Esplorazione geofisica ad alta risoluzione per il riconoscimento di strutture archeologiche sepolte nell'area ad est del foro romano

Rosa Di Maio*, Mauro La Manna*, Ester Piegari*

1. Introduzione

La conoscenza degli assetti geologico-strutturali dell'area in cui sorge un insediamento antropico rappresenta un supporto necessario per l'interpretazione dei saggi archeologici e per la ricostruzione del paleoambiente. In tale ambito, l'esplorazione geofisica rappresenta uno strumento che si affianca alla ricerca archeologica, soprattutto laddove sono carenti le possibilità di investigazioni dirette di campo. Le indagini geofisiche, infatti, sono in grado di fornire ricostruzioni fisiche e geometriche dettagliate degli assetti geologici superficiali e di sedime dei terreni di pertinenza ivi comprese pre-esistenze antropiche di interesse archeologico¹. In particolare, nel sito di Nora (Cagliari) è stata condotta un'esplorazione geofisica multi-metodologica in alcuni punti "critici" per l'assetto geologico della piccola penisola su cui sorge la città antica e per le dinamiche insediative in essa sviluppate nel tempo. Specificamente, le indagini hanno interessato le zone morfologicamente depresse che uniscono i rilievi vulcanici del Coltellazzo e del colle di Tanit (**fig. 1**), che sembrano aver conosciuto la più remota e intensa frequentazione, protrattasi dall'età fenicia (VII sec. a.C.) fino alla tarda antichità (VI sec. d.C.). L'obiettivo è stato quello di definire, secondo tecniche di risoluzione tomografica a grande dettaglio, la geo-

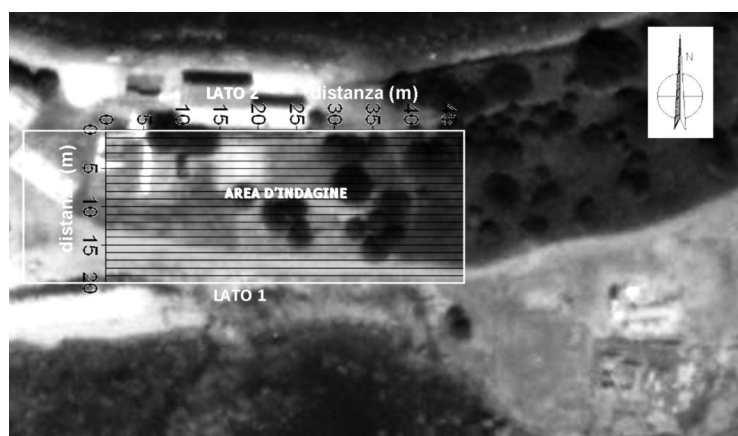


Figura 1 – Foto area dell'area d'indagine. Le linee nere continue indicano i profili lungo cui sono state effettuate le misure magnetiche ed elettromagnetiche, mentre il rettangolo bianco individua il settore in cui sono stati realizzati i profili di tomografia di resistività.

metria e la natura fisica delle geostrutture che caratterizzano l'area selezionata, e di circoscrivere, mediante il riconoscimento delle variazioni spaziali dei parametri fisici osservate all'interno delle formazioni di sedime, le aree in cui è più alta la probabilità di rinvenimento di materiale sepolto di natura antropica.

Di seguito si riportano, a titolo esemplificativo, alcuni dei principali risultati emersi per l'area sottoposta ad indagine (**fig. 1**).

* Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italy.

¹ LINFORD 2006; DI MAIO - FEDI - LA MANNA - GRIMALDI - PAPPALARDO 2010.

2. Esplorazione geofisica multi-metodologica

Lo studio geofisico nel sito archeologico di Nora è stato condotto mediante un approccio multi-metodologico che si ispira ad una logica di oggettiva complementarietà dell'informazione e di rapida convergenza verso la qualità globale dell'immagine del "non visibile"². L'esplorazione, in particolare, è consistita nell'applicazione ed integrazione dei seguenti metodi d'indagine: magnetico, elettromagnetico e geoelettrico in corrente continua. I rilievi sono stati condotti sulla superficie del terreno con tecniche di acquisizione dati ad altissima risoluzione e hanno consentito una ricostruzione del sottosuolo indagato, comprese le eventuali strutture archeologiche sepolte, in termini dei parametri *resistività elettrica* e *suscettività magnetica*. Nella ricerca archeologica, l'individuazione di alti valori di resistività (ovvero bassi valori di *conducibilità*) è indizio della presenza di una struttura resistiva al passaggio di corrente elettrica (e.g., cavità, muro di pietra o fondazione), inserita in un contesto generalmente più conduttivo in virtù della circolazione di fluidi in terreni generalmente sedimentari. La presenza di anomalie magnetiche, invece, è la conseguenza del contrasto tra le proprietà magnetiche delle strutture antropiche e quelle del terreno circostante, e generalmente tali anomalie rivelano l'allineamento delle strutture stesse. Pertanto, la loro specifica distribuzione areale è indice della geometria delle sorgenti che le ha generate.

Il *survey* geofisico a Nora è stato realizzato applicando dapprima i metodi magnetico ed elettromagnetico, al fine di ottenere, in tempi relativamente brevi, una visione di insieme delle aree anomale; successivamente, nei settori risultati particolarmente significativi ai fini archeologici, è stata eseguita un'indagine geoelettrica di dettaglio mediante rilievi tomografici 2D.

3. Rilievo magnetico

Il metodo magnetico consiste nel misurare i valori di intensità del campo magnetico terrestre e nel valutare le variazioni di tale campo (anomalie) indotte dalla presenza di formazioni naturali e/o antropiche sepolte negli strati di terreno più superficiali. Per le ricerche di tipo archeologico, le misure vengono generalmente effettuate utilizzando un dispositivo gradiometrico³. In tale configurazione si misurano contemporaneamente le intensità del campo geomagnetico a due diverse altezze dal piano campagna (p.c.) mediante due sensori disposti verticalmente lungo un'asta portante; la differenza fra i due valori (*gradiente verticale*) è indipendente quindi da corpi perturbanti relativamente lontani, estranei all'area da investigare. Per di più i due sensori, essendo posti a distanza ravvicinata, risentono in minima parte di disturbi esterni, quali quelli derivanti da linee elettriche.

Il rilievo magnetico a Nora è stato eseguito utilizzando un gradiometro ai vapori di potassio (GSMP40 *system*) lungo profili paralleli con orientazione O-E equidistanti 1 m e di lunghezza pari a 46 m (**fig. 1**).

4. Rilievo elettromagnetico nel dominio della frequenza

Il metodo elettromagnetico nel dominio della frequenza (FDEM) si basa sull'immissione nel sottosuolo di un campo elettromagnetico a bassa frequenza (dell'ordine della decina di kHz) (*campo primario*) e sulla registrazione delle variazioni che tale campo subisce in seguito alle interazioni con le strutture sepolte sia di origine geologica sia di natura antropica (*campo secondario*). Attraverso opportune relazioni matematiche che legano il campo immesso e quello registrato alle caratteristiche fisiche dei corpi attraversati, è possibile fornire una descrizione dei volumi di terreno investigati in termini delle variazioni di conducibilità elettrica e suscettività magnetica.

² PATELLA - PIRO - VERSINO - CAMMARANO - DI MAIO - MAURIELLO 2000.

³ ABDALLATIF - SUH - OH - HYUN 2007.

Il rilievo FDEM a Nora, realizzato lungo gli stessi profili oggetto dell'indagine magnetica utilizzando l'elettromagnetometro EM31 (*GEONICS system*), ha consentito l'esplorazione fino ad una profondità di circa 3 m dal p.c.

5. Rilievo geoelettrico in corrente continua

Il metodo geoelettrico consiste nella determinazione di un *set* di valori di resistività apparente attraverso misure congiunte di intensità di corrente continua, inviata nel sottosuolo tramite due elettrodi posti sulla sua superficie, e di tensione ai capi di una seconda coppia di elettrodi, anch'essi in contatto diretto con il suolo. In particolare, la tecnica della tomografia 2D lungo profili è in grado di fornire un'immagine di estremo dettaglio dell'andamento areale della resistività elettrica lungo i piani delle sezioni verticali passanti per i profili di misura, consentendo così di evidenziare i contrasti di resistività nell'ambito dei volumi investigati. Attraverso appropriati procedimenti interpretativi è possibile, poi, ricavare dal *set* di dati sperimentali la resistività reale e la geometria di ogni materiale costituente.

In virtù del panorama piuttosto complesso di anomalie elettriche e magnetiche emerso dai rilievi magnetico ed elettromagnetico eseguiti nell'area di indagine, le tomografie di resistività sono state realizzate lungo una fitta rete di profili equidistanti 1 m con passo di campionamento spaziale pari a 0.75 m. Per motivi logistici (presenza di ostacoli, asfalto, etc.), la lunghezza dei 20 profili tomografici, che hanno interessato l'area indicata con un rettangolo bianco in **fig. 1**, è variata da un valore minimo di 35.25 m a un valore massimo di 58.50 m; è opportuno sottolineare che l'estremo finale di tutti i profili coincide con quello dei profili magnetici ed elettromagnetici. I dati di resistività, acquisiti con il georesistivimetro SYSCAL PRO (*IRIS system*), sono stati successivamente sottoposti ad una procedura di inversione 3D in virtù dell'elevata risoluzione fornita dalla tecnica di acquisizione dati adottata⁴.

6. Discussione dei risultati

La **fig. 2a** mostra la mappa delle anomalie del gradiente magnetico osservate nell'area di indagine (**fig. 1**). I lineamenti evidenziati nella mappa potrebbero essere riconducibili a materiali molto magnetizzati caratterizzati da una notevole suscettività magnetica. L'area di sedime, dal punto di vista geologico-stratigrafico, è caratterizzata, nei primi metri di profondità dal p.c., da depositi detritici di tipo eolico e colluviale, frammisti a materiali di riporto derivanti dalle diverse fasi costruttive che hanno interessato nel corso degli anni la penisola Norene. Tali depositi superficiali poggiano su conglomerati di spiaggia fossiliferi e su di un substrato andesitico. Talvolta, nella parte superficiale del pianoro si rinvenivano anche elasti o pietrame di chiara origine vulcanica (andesitico) fortemente suscettivo dal punto di vista magnetico. Da ciò si deduce che alcuni di questi allineamenti di anomalie dipolari possono essere correlati ad effetti stratigrafici locali e/o alla presenza di strutture archeologiche sepolte. Come sarà mostrato in seguito, dal confronto di queste anomalie con quelle emerse dal rilievo tomografico di resistività sarà possibile evidenziare le anomalie ascrivibili a strutture antropiche.

Le **figg. 2b-c** mostrano le mappe dei contrasti, rispettivamente, di conducibilità elettrica e di suscettività magnetica ottenute dall'analisi dei dati FDEM che, si ricorda, descrivono le caratteristiche elettriche e magnetiche del sottosuolo indagato fino a una profondità di circa 3 m dal p.c. In entrambe le mappe si evidenzia un insieme piuttosto articolato di anomalie ad alta e bassa conducibilità elettrica e suscettività magnetica. In particolare, per i primi 10 m lungo l'asse *y* si evidenziano

⁴ LOKE - BARKER 1996.

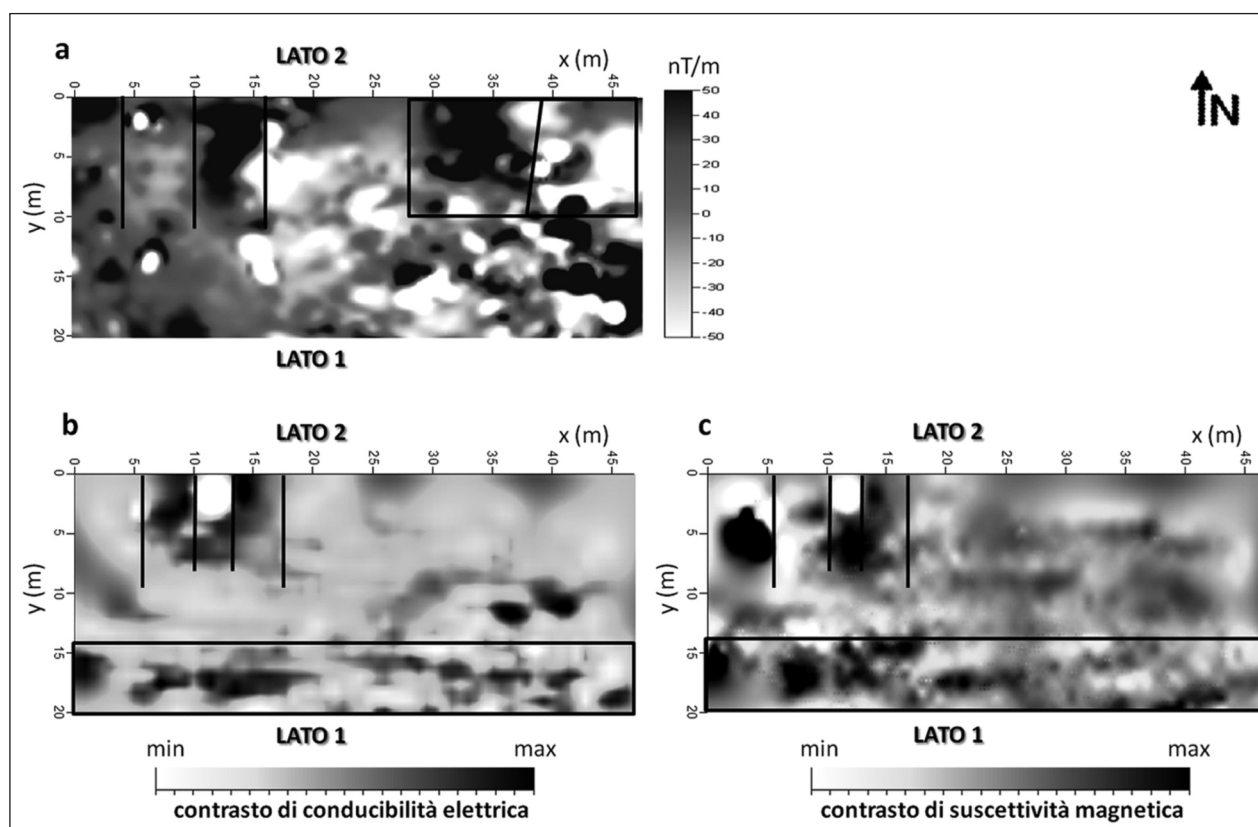


Figura 2 – Risultati dei rilievi magnetico ed elettromagnetico: mappa del gradiente magnetico (a); mappe dei contrasti di conducibilità elettrica (b) e di suscettività magnetica (c).

allineamenti nei contrasti di conducibilità e suscettività magnetica che risultano visibilmente più intensi per i primi 18 m lungo l'asse x (linee nere continue nelle **figg. 2b-c**) e meno intensi nella restante parte orientale dell'area investigata. La differenza nelle intensità dei contrasti potrebbe essere ascrivita alla diversa profondità delle sorgenti di anomalia, come suggeriscono i risultati del rilievo geoelettrico in **fig. 3**, dove gli allineamenti anomali sono visibili fino ad 1.5 m nel settore occidentale e da 1 m fino ad oltre 3.5 m di profondità nel settore orientale. Significativo appare, inoltre, l'allineamento delle anomalie ad alta conducibilità e suscettività magnetica nell'area circoscritta dal rettangolo nero.

La **fig. 3** mostra il risultato dell'inversione 3D dei dati di resistività acquisiti con tecnica tomografica 2D nell'area delimitata da un rettangolo bianco in **fig. 1**. Un generale decremento dei valori di resistività all'aumentare della profondità sembra caratterizzare l'intero volume d'indagine. Anomalie a resistività relativamente elevata e ben circoscritte, infatti, si osservano negli strati più superficiali del sottosuolo indagato, fatta eccezione per l'anomalia resistiva che emerge nel settore orientale e che si osserva fino alla massima profondità di esplorazione. L'allineamento e/o l'andamento piuttosto regolare di queste anomalie (indicate con linee nere continue in **fig. 3**) ben si correla con strutture di origine antropica. In particolare, i lineamenti tracciati nella *slice* più superficiale (0.2 m dal p.c.), oltre a confermare i forti contrasti di conducibilità evidenziati dall'indagine elettromagnetica nello stesso settore (**fig. 2b**), sono in perfetta corrispondenza con alcune strutture antropiche visibili in affioramento. Inoltre, la rappresentazione tomografica di **fig. 3** mostra, nel settore delimitato dal rettangolo nero e fino a una profondità di circa 1 m dal p.c., un allineamento di anomalie a bassa resistività (ovvero alta conducibilità) evidenziato nella mappa elettromagnetica di **fig. 2b**. Il medesimo allineamento si osserva anche nella mappa di **fig. 2c** (rettangolo nero), che in questo caso è contraddistinto da un buon con-

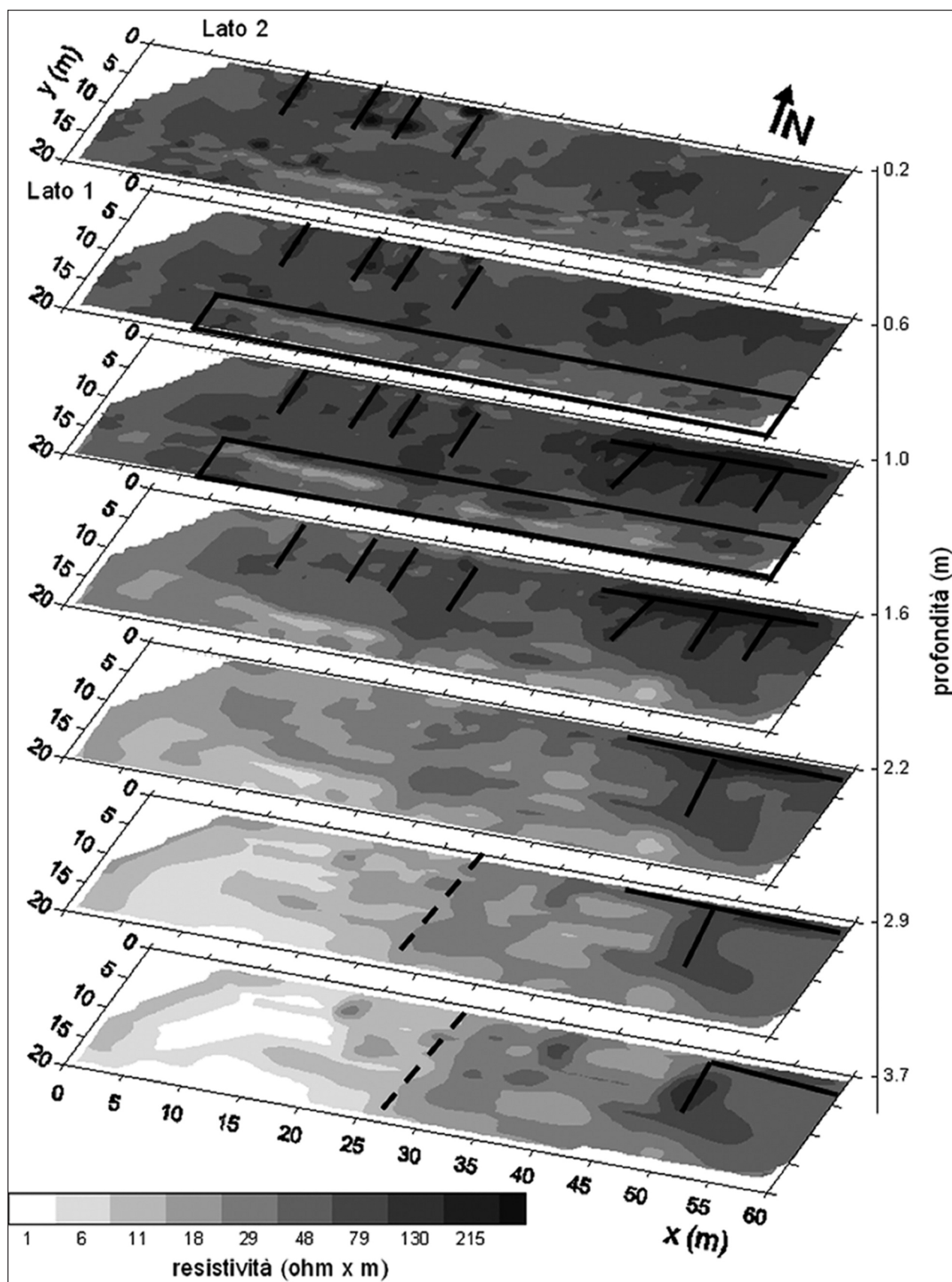


Figura 3 – Mappa 3D di resistività ottenuta dal rilievo tomografico ad alta risoluzione eseguito nell'area indicata da un rettangolo bianco in **fig. 1**.

trasto di suscettività magnetica. La regolarità di queste anomalie e l'ampiezza dei parametri fisici che le caratterizzano, potrebbero essere correlate alla presenza di una struttura antropica sepolta (e.g., antico selciato, strada sterrata con presenza di clasti magnetizzati) permeata da circolazione di fluidi.

Le anomalie di resistività superficiali appena descritte si sovrappongono a un contesto che, per geometria e valori di resistività, è ascrivibile alla sequenza stratigrafica in posto (depositi detritici superficiali sovrastanti conglomerati di spiaggia che poggiano su un substrato di origine vulcanica). Pertanto, la variazione, o più propriamente, la diminuzione dei valori di resistività che si osserva andando in profondità, è una chiara conseguenza di un diverso grado di imbibizione di acqua marina in queste formazioni geologiche. Invero, la netta discontinuità laterale visibile nella *slice* corrispondente a una profondità di 2.9 m dal p.c. (indicata con una linea nera tratteggiata in **fig. 3**), potrebbe essere correlata alla presenza di una struttura antropica che delimitava una vecchia linea di intrusione marina. Infine, l'anomalia resistiva che si osserva nel settore orientale della mappa a partire da una profondità di circa 1 m dal p.c. e fino alla massima profondità d'indagine (delineata da linee nere continue), è in perfetta corrispondenza con gli evidenti contrasti di suscettività magnetica osservati nella mappa del gradiente geomagnetico (rettangolo nero in **fig. 2a**). La forma delle anomalie elettrica e magnetica osservate suggerisce la presenza di un setto murario costituito da materiale di origine vulcanica.

Abbreviazioni bibliografiche

- ABDALLATIF - SUH - OH - HYUN 2007 T. F. ABDALLATIF - M. SUH - J. OH - K. K. HYUN, *Impact of magnetic survey design on the imaging of small archeological objects: Practicability in gradiometer surveying*, in "The Leading Edge", 26 (2007), pp. 571-577.
- DI MAIO - FEDI - LA MANNA
GRIMALDI - PAPPALARDO 2010 R. DI MAIO - M. FEDI - M. LA MANNA - M. GRIMALDI - U. PAPPALARDO, *The contribution of the geophysical prospecting in the reconstruction of the buried ancient environments of the Marcus Fabius Rufus house (Pompeii, Italy)*, in "Archaeological Prospection", 17(4) (2010), pp. 259-269.
- LINFORD 2006 N. LINFORD, *The application of geophysical methods to archaeological prospection*, "Rep. Prog. Phys.", 69 (2006), pp. 2205-2257.
- LOKE - BARKER 1996 M.H. LOKE - R.D. BARKER, *Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion*, in "Geophysical Prospecting", 44 (1996), pp. 499-523.
- PATELLA - PIRO - VERSINO - CAMMARANO
DI MAIO - MAURIELLO 2000 D. PATELLA - S. PIRO - L. VERSINO - F. CAMMARANO - R. DI MAIO - P. MAURIELLO, *The IGAPS Project: Integrated geophysical acquisition and processing system for cultural heritage*, in M. Pasquinucci - F. Trément (a cura di), *Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology*, "The Archaeology of Mediterranean Landscapes Series", 4 (2000), pp. 96-103.