

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 Bondì (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

Indagine integrata con termografia all'infrarosso e georadar per la valutazione dello stato di conservazione del teatro e del Tempio romano

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

1. Introduzione

La validità di un'indagine congiunta di termografia all'infrarosso (IRT) e georadar (GPR) per la valutazione dello stato di conservazione di strutture architettoniche è stata ampiamente dimostrata da numerosi studi condotti sia su provini di laboratorio sia su complessi murari o affreschi di elevato interesse storico-culturale¹. In particolare, il rilievo IRT, caratterizzato da rapidità e semplicità di esecuzione delle misure, fornisce un'immagine 2D della temperatura superficiale dell'area investigata da cui è possibile evincere una immediata distribuzione delle anomalie con particolare riferimento a quelle sub-superficiali. Il rilievo GPR completa le informazioni fornite dall'indagine IRT mediante una descrizione 3D delle sorgenti di anomalia, in termini di caratterizzazione fisico/strutturale e di profondità. Nello specifico, la tecnica GPR consente di evidenziare anomalie correlate a sorgenti profonde non individuabili con l'indagine IRT.

In questo lavoro le due metodologie sono state integrate per il controllo di strutture architettoniche nel sito Archeologico di Nora (Cagliari); in particolare, le indagini IRT e GPR sono state eseguite nelle aree del Teatro romano e del Tempio che è situato ad ovest del foro romano. In questa breve nota sono mostrati, a titolo esemplificativo, alcuni dei risultati ottenuti.

2. La termografia all'infrarosso

La Termografia all'Infrarosso (IRT) consente di ottenere una mappa di temperatura sulla superficie dell'oggetto inquadrato a distanza e senza contatto. Ovviamente, tale indagine risulta particolarmente vantaggiosa nello studio di opere d'arte; infatti, utilizzando la tecnica di indagine più adatta (impulsiva, o lockin)², è possibile:

- caratterizzare un'opera d'arte di vario tipo (statue, mosaici, affreschi, dipinti, ecc.) sia dal punto di vista del suo stato di conservazione (presenza di fessurazioni, distacchi, infiltrazioni di acqua, muffe, ossido, corrosione, ecc.) sia dal punto di vista delle proprietà chimico-fisiche dei materiali che la compongono (porosità, densità, diffusività termica);

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

**Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italy.

¹ MASINI - SOLDVIERI 2011; CARLOMAGNO - DI MAIO - FEDI - MEOLA 2011.

² CARLOMAGNO - MEOLA 2001; IDEM 2002.

- distinguere con buona precisione gli strati di materiale più recente da quello originale e quindi individuare eventuali interventi di consolidamento di intonaco o di restauro pittorico che si sono succeduti nel tempo.

Nel sito Archeologico di Nora, i controlli sono stati effettuati utilizzando la termocamera portatile P640 (Flir *systems*) e la tecnica impulsiva sfruttando l'esposizione al sole come stimolazione termica.

3. Il georadar

La metodologia georadar (o Ground Penetrating Radar, GPR) si basa sull'emissione e propagazione di impulsi elettromagnetici ad alta frequenza, i quali vengono diffusi e riflessi dalle discontinuità fisiche (contenuto d'acqua, porosità, ecc.) e/o strutturali (strati superficiali, cavità, ecc.) presenti all'interno del mezzo indagato. I dati sono generalmente rappresentati in termini di *time-slices* (o *depth-slices*), ovvero sezioni parallele alla superficie di indagine corrispondenti a tempi (o profondità) crescenti, ottenute da un'analisi simultanea di tutti i dati acquisiti. Tale rappresentazione fornisce con un'elevata definizione l'ubicazione e le dimensioni delle anomalie sepolte ascrivibili a contrasti nei parametri fisici e/o strutturali del mezzo indagato.

Nell'ultimo decennio la tecnica GPR, originariamente indirizzata ad applicazioni in campo geologico-strutturale, ingegneristico ed archeologico, è applicata con successo al controllo non distruttivo di strutture architettoniche di interesse ingegneristico e/o dei Beni Culturali³. In quest'ultimo settore, gli studi sono essenzialmente rivolti alla identificazione e caratterizzazione di differenti materiali da costruzione; individuazione di vuoti, fratture e/o zone disgregate; *mapping* del contenuto d'acqua.

Le indagini GPR a Nora sono state eseguite con strumentazione SIR-3000 (GSSI *systems*) munita di antenna con frequenza centrale di 1000 MHz, che ha consentito di esplorare l'intero spessore delle strutture sottoposte a indagine con una risoluzione orizzontale sufficientemente elevata. I dati sono stati acquisiti lungo profili orizzontali distanti 10 cm l'uno dall'altro compatibilmente con la forma e le dimensioni delle mura.

4. Discussione dei risultati

Di seguito sono riportati alcuni dei risultati più significativi ottenuti durante l'ispezione eseguita nel Teatro e nel Tempio. Con riferimento al Teatro, l'indagine è stata effettuata considerando sia la parte frontale sia il retro (**fig. 1a**); in particolare il retro è stato analizzato a partire dall'arco di sinistra, che è visibile nella **fig. 1a**, e muovendosi in senso orario. I risultati ottenuti dall'ispezione della parete di fondo della seconda bottega (**fig. 1a**) con entrambe le metodologie, IRT e GPR, sono mostrati, rispettivamente, in **fig. 1b** e **fig. 1c**. Con riferimento all'indagine termografica (**fig. 1b**), le zone più scure indicano la presenza di fessurazioni/distacchi o materiali differenti, mentre le zone più chiare sono indice della presenza di materiale poroso (i.e., presenza d'aria). Le zone delimitate da linee nere continue evidenziano il buon accordo con i risultati forniti dal georadar nel settore più superficiale della parete investigata. In particolare, si può notare la corrispondenza tra la zona a temperatura relativamente bassa in **fig. 1b** e la zona in grigio delineata nella prima *depth slice* (0-10 cm) di **fig. 1c**: entrambe indicano fessurazioni. Infatti, la bassa ampiezza delle riflessioni del segnale georadar ben si correla con un cattivo stato di conservazione della malta di legame della struttura muraria. Viceversa, la temperatura relativamente alta che caratterizza il settore della parte più bassa della parete è in accordo con l'elevata ampiezza del segnale GPR che si osserva nello stesso settore e che può essere ascritta a una maggiore compattezza della malta utilizzata per il suo restauro nello strato superficiale. Andando più in profondità (*slice* 30-40 cm di **fig. 1c**), l'indagine GPR evidenzia riflessioni ad ampiezza relativamente alta (settori scuri) correlabili a materiale parzialmente sano o poco degradato. Viceversa,

³ GRANDJEAN - GOURRY - BITRI 2000; GROTE - HUBBARD - HARVEY - RUBIN 2005; DI MAIO 2010

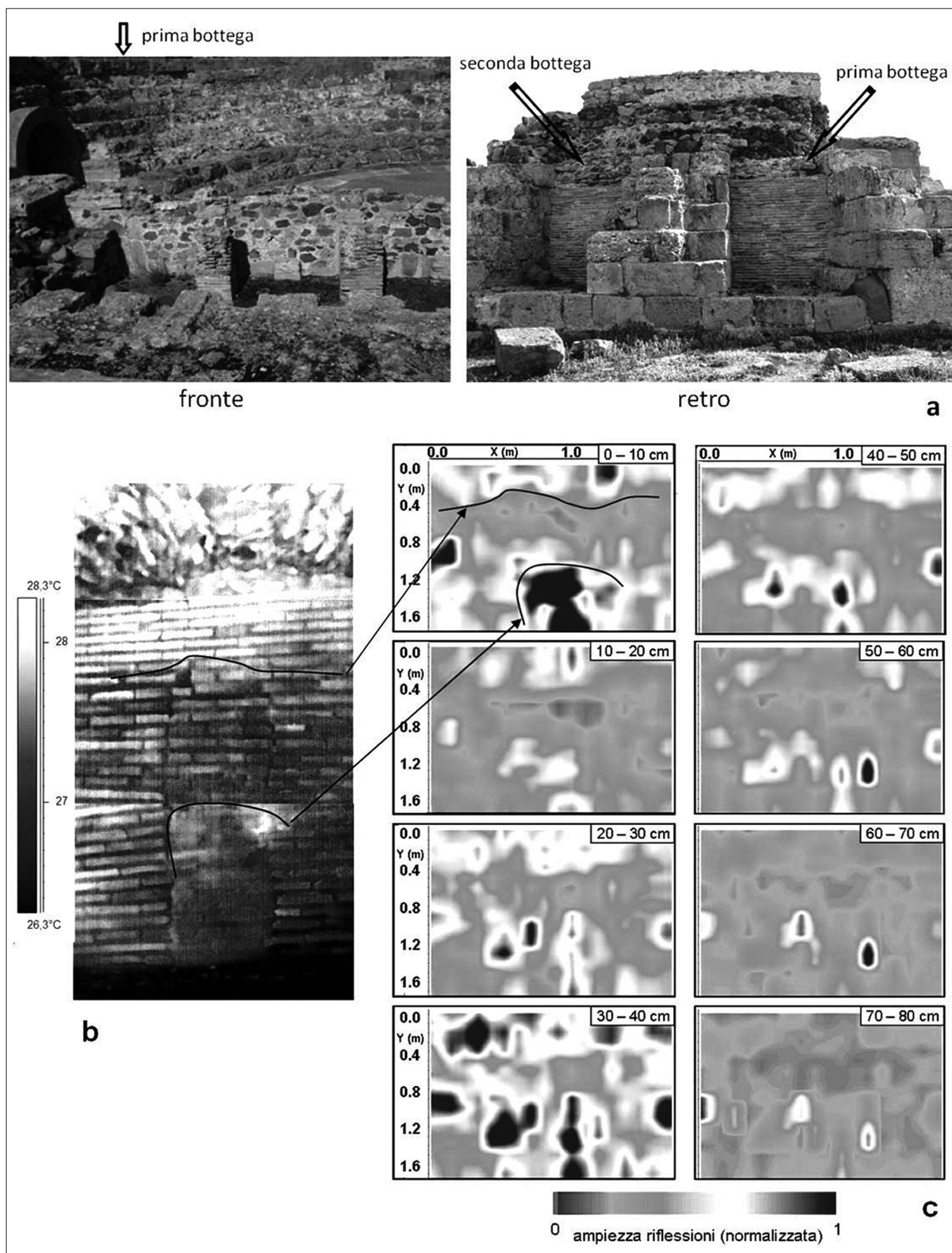


Figura 1 – Alcuni risultati delle indagini nel Teatro. a) Foto dei settori fronte-retro del Teatro; b) tre immagini termiche che ricostruiscono la parete di fondo della seconda bottega; c) *slices* delle anomalie georadar osservate lungo tutto lo spessore (0-80 cm) della parete investigata nell'area coincidente con le ultime due immagini termografiche.

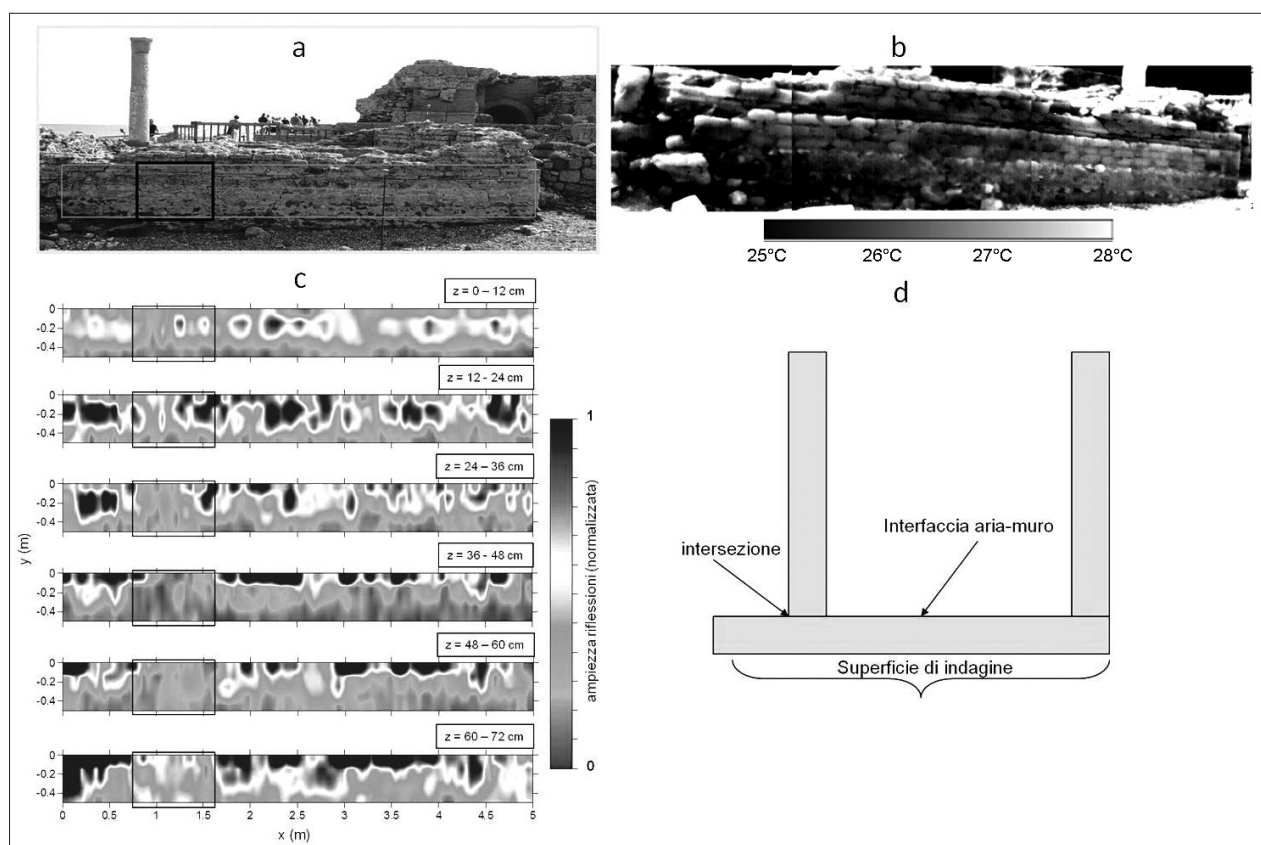


Figura 2 – Alcuni risultati delle indagini nel Tempio. a) Foto del muro di cinta del Tempio; b) immagine termografica; c) *slices* delle anomalie georadar osservate lungo tutto lo spessore (0-72 cm) del muro investigato; d) diagramma schematico dell'area di indagine vista dall'alto.

la forte attenuazione del segnale che si osserva nelle ultime *slices*, correlabili (per profondità) ai gradoni visibili sulla parte frontale del Teatro (**fig. 1a**), sembra indicare una notevole disgregazione dei materiali sulla facciata anteriore del Teatro, che pertanto suggerirebbe un'imponente opera di restauro.

Relativamente al Tempio, nella **fig. 2** sono mostrati alcuni risultati relativi al tratto di muro di cinta che è visibile nella foto di **fig. 2a**. Considerando l'immagine termica (**fig. 2b**) e partendo dalla sinistra, il muro appare prima sgretolato e poi caratterizzato, nella parte centrale, da maggiore scambio termico rispetto alla parte destra, ciò è dovuto in parte alla presenza di fessure locali, ma soprattutto alla presenza del tramezzo sul retro che delimita il box cisterna. I risultati dell'indagine GPR, mostrati in termini di *depth-slices* in **fig. 2c**, confermano i risultati IRT relativamente allo strato più superficiale (prima *slice* in **fig. 2c**) del muro investigato. Infatti, correlando le riflessioni a bassa ampiezza dell'onda elettromagnetica a un cattivo stato di conservazione del muro, si evince che le parti integre (settori scuri) sono sostanzialmente diffuse a profondità superiori ai 10 cm, tranne che nel settore evidenziato dal rettangolo nero, ubicato in corrispondenza dell'intersezione con un altro transetto murario, situato sul lato opposto della facciata sottoposta a indagine (**fig. 2d**). Infatti, alle spalle della superficie investigata, l'interfaccia muro-aria (**fig. 2d**) costituisce una superficie di riflessione molto intensa per le onde elettromagnetiche, e in effetti l'analisi della *slice* più profonda (60-72 cm), coincidente con la facciata opposta a quella indagata, mostra un'ampiezza delle riflessioni molto alta, pressoché diffusa in tutta l'area tranne che nel settore che coincide con la suddetta intersezione. È da evidenziare, inoltre, che il piano di calpestio alla base del muro non coincide con quello all'interno del muro stesso, è presente, infatti, un dislivello di alcune decine di cm. Questo spiega come mai nell'ultima *slice* di **fig. 2c** non si evidenzino riflessioni intense nella parte bassa dell'area indagata.

Abbreviazioni bibliografiche

- CARLOMAGNO - DI MAIO - FEDI
MEOLA 2011 G.M. CARLOMAGNO - R. DI MAIO - M. FEDI - C. MEOLA, *Integration of infrared thermography and high-frequency electromagnetic methods in archaeological surveys*, in "Journal of Geophysics and Engineering", 8, (2011), pp. 93-105.
- CARLOMAGNO - MEOLA 2001 G.M. CARLOMAGNO, C. MEOLA, *Infrared thermography in the restoration of cultural properties*, in "Conference 4360 Thermosense XXIII Proceedings of SPIE", 4360 (2001), pp. 203-216.
- CARLOMAGNO - MEOLA 2002 G.M. CARLOMAGNO, C. MEOLA, *Comparison between thermographic techniques for frescoes NDT*, in "NDT&E International", 35 (2002), pp. 559-565.
- DI MAIO 2010 R. DI MAIO, *Electrical geophysical methods to non-destructive evaluation of architectural structures*, in C. Meola (a cura di), *Recent Advances in non Destructive Inspection*, "Materials Science and Technologies", New York (US) (2010), pp. 191-225.
- GRANDJEAN - GOURRY - BITRI 2000 G. GRANDJEAN, J.C. GOURRY, A. BITRI, *Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site*, in "Journal of Applied Geophysics", 45 (2000), pp. 141-156.
- GROTE - HUBBARD - HARVEY - RUBIN 2005 K. GROTE - S. HUBBARD - J. HARVEY - Y. RUBIN, *Evaluation of infiltration in layered pavements using surface GPR reflection techniques*, in "Journal of Applied Geophysics", 57 (2005), pp. 129-153.
- MASINI - SOLDOVIERI 2011 N. MASINI - F. SOLDOVIERI, *Integrated non-invasive sensing techniques and geophysical methods for the study and conservation of architectural, archaeological and artistic heritage*, in "Journal of Geophysics and Engineering", Special Issue, 8(3) (2011).