

NASSER ABU ZEID<sup>1</sup>, MARIJA OBRADOVIĆ<sup>2</sup>, SAMUEL BIGNARDI<sup>1,4</sup>, MARCELLO BOLOGNESI<sup>3</sup>, ALESSIO FURINI<sup>3</sup>, PAOLO RUSSO<sup>3</sup>, GIOVANNI SANTARATO<sup>1</sup> & MARCO PERESANI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra

<sup>2</sup>Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Studi Umanistici, Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche

<sup>3</sup>Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria

<sup>4</sup>Georgia Institute of Technology, School of Electrical and Computer Engineering

## **In fondo a un archivio paleolitico. Risultati di una prospezione geofisica integrata con rilievo topografico 3D a Grotta di Fumane.**

### *Deep into a Paleolithic archive. Results from an integrated 3D geophysical and topographic survey at Fumane Cave.*

L'applicazione di tecniche geofisiche per l'esplorazione delle grotte paleolitiche è una pratica ancora rara, principalmente per le difficoltà riconducibili alla natura sedimentaria di questi contesti e alla quasi totale assenza di resti architettonici o comunque di manufatti facilmente rilevabili con metodi geofisici (Piro *et al.*, 2000; Quarto *et al.*, 2007). Queste condizioni caratterizzano anche i depositi del Pleistocene superiore della grotta paleolitica di Fumane, in passato largamente investigati sia nella dimensione areale sia verticale (Bartolomei *et al.*, 1992). Proprio grazie a queste indagini preliminari, si è ritenuto possibile intraprendere una campagna di prospezione geofisica, preceduta da un rilevamento topografico con laser scanner e fotogrammetria, finalizzato alla costruzione di un modello digitale tridimensionale (Fig. 1). L'esplorazione del sottosuolo è stata condotta mediante Tomografia della Resistività Elettrica (ERT) e sismica passiva a stazione singola (HVSr) per comprendere la variazione spaziale dei corpi sedimentari e delle loro geometrie (Abu-Zeid *et al.*, 2017; Bignardi *et al.*, 2016). Quest'ultima tecnica è stata inoltre utilizzata anche per rilevare la possibile presenza di paleosuperfici, inferite sulla base di bruschi aumenti dell'impedenza acustica. I modelli tridimensionali ERT ottenuti hanno fornito immagini suggestive grazie alle quali è stata ricostruita la geometria dei depositi nei primi 2-2,5 metri, mentre i modelli di resistività Polo-Polo hanno permesso di mappare la topografia del substrato roccioso (Fig. 2), rilevata anche dall'analisi spettrale dei microtremori a circa 5 metri di profondità dalla superficie di calpestio

The application of geophysical techniques is still seldom incorporated into the investigation of Paleolithic cave deposits, mostly because of their sedimentary nature and the almost complete absence of architectural remains that - in other contexts - are easily detected by geophysical methods (Piro *et al.*, 2000; Quarto *et al.*, 2007). These peculiar conditions are typical of Upper Pleistocene deposits like the Paleolithic cave of Fumane (Italy), extensively explored in past years (Bartolomei *et al.*, 1992). After a three dimensional digital model was built by using laser scanning and photogrammetry (Fig. 1) we performed an Electrical Resistivity Tomography (ERT) and single station passive seismic measurements (HVSr) in order to gain a better insight into the spatial variability and texture of the sediments and their estimated thickness (Abu-Zeid *et al.*, 2017; Bignardi *et al.*, 2016). Moreover, due to the high sensitivity of the latter technique to the presence of interfaces with sharp increase in acoustic/elastic impedance, the presence of embedded paleo-surfaces was investigated as well. The 3D ERT models provided suggestive images which allowed the geometry of fine-grained deposits to be mapped in the first 2-2.5 meters while the Pole-Pole resistivity models showed the topography of the buried bedrock (Fig. 2). Concerning this latter application, the spectral analysis of microtremor data collected by a single station seismograph (HVSr) provided an estimate of the depth of the bedrock which, in accordance to ERT results was determined to be located at roughly 5 m below the present ground level. Furthermore the HVSr method produced

(settembre 2013). Nello stesso tempo, è stata segnalata la presenza di un livello ad elevata  $V_s$  a circa 1 metro di profondità, correlato ad una paraconcordanza osservata sulla sezione principale dei depositi della cavità atriale. I risultati contribuiscono alla comprensione dei processi deposizionali di questo importante sito archeologico e a programmare future indagini a lungo termine, anche in relazione alla fruizione culturale.

**Parole chiave:** Tomografia della Resistività Elettrica, HVSR, Modellazione digitale 3D, Geomatica, Grotta.

a shear wave velocity model which highlighted the presence of a high  $V_s$  layer at a depth of about 1 m. This horizon, as confirmed by visual inspection of the exposed side cut portion of the deposit, was recognized in close relation to the presence of a discontinuity in sedimentary grain size and cementation level. The obtained results obtained represent a valuable contribution to the reconstruction of the depositional processes responsible for the formation of this important archaeological site and provided new insights for planning long-term future field-investigations and cultural fruition of this archaeological site.

**Key-words:** Electrical Resistivity Tomography, HVSR, 3D digital modelling, Geomatics, Cave.

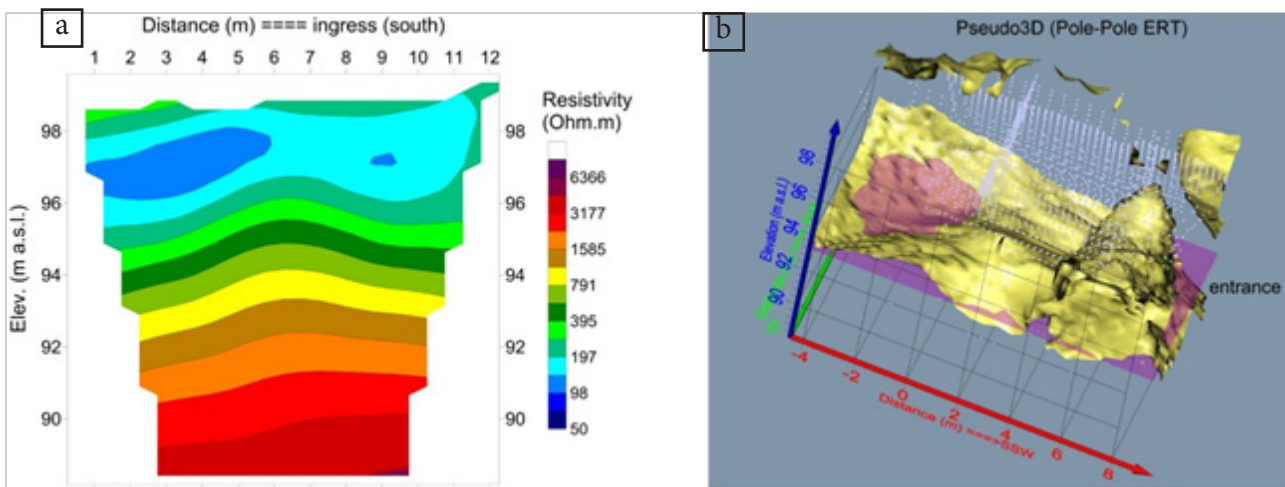
### Riferimenti bibliografici / References

- ABU ZEID N., CORRADINI E., BIGNARDI S., NIZZO V., SANTARATO G. (2017). *The passive seismic technique "HVSR" as a reconnaissance tool for mapping paleo-soils: the case of the Pilastris archaeological site, Northern Italy*. *Archaeological Prospection*, 24(3), 245-258.
- BIGNARDI S., MANTOVANI A., ABU ZEID N. (2016). *OpenHVSR: imaging the subsurface 2D/3D elastic properties multiple HVSR modeling and inversion*, *Computers & Geosciences* 93, 103-113.
- BARTOLOMEI G., BROGLIO A., CASSOLI P., CASTELLETTI L., CREMASCHI M., GIACOBINI G., MALERBA G., MASPERO A., PERESANI M., SARTORELLI A., TAGLIACOZZO A. (1992). *La Grotte-Abri de Fumane. Un site Aurignacien au Sud des Alps*. *Preistoria Alpina* 28, 131-179.
- PIRO S., MAURIELLO P., CAMMARANO F. (2000). *Quantitative Integration of the Geophysical Methods for Archaeological Prospection*. *Archaeological Prospection* 7(4), 203-213.
- QUARTO R., SCHIVONE D., DIAFERIA I. (2007). *Ground penetrating radar survey of a prehistoric site in southern Italy*. *Journal of Archaeological Science* 34, 2071-2080.



**Figura 1.** In alto a sinistra, la posizione della Grotta di Fumane; in basso a sinistra, l'entrata della grotta dove è stata eseguita la prospezione geofisica con esplorazione parziale delle gallerie A, B e C; a destra, una fase della scansione laser.

**Figure 1.** Top left, the location of Fumane Cave in the North of Italy; bottom left, the cave entrance where the ERT survey was carried out and the partially explored tunnels A, B, C; right, an instant of laser scanner data collection.



**Figura 2.** a) Modello 2D di resistività ottenuto dall'inversione dei dati del profilo ERT4 acquisito con configurazione elettrodica Polo-Polo) e b) modello pseudo3D di resistività ottenuto dall'insieme dei modelli di tutti i profili ERT acquisiti con configurazione Polo-Polo; la superficie (in giallo) rappresenta la superficie di iso-resistività di 800 Ohm.m.

**Figure 2.** a) Pole-Pole 2D inversion resistivity model (ERT4) and b) Pole-Pole 3D-pseudo resistivity model showing the iso-resistivity surface of 800 Ohm.m (in yellow). The violet horizontal plane corresponds to elevation level of 93 m a.s.l. (i.e. ~ 5 meters below the 2013 ground level).