



ESTUDIO ARQUEOMAGNÉTICO PRELIMINAR DE DOS EPISODIOS DE COMBUSTIÓN DE LA EDAD DEL BRONCE DE LA CUEVA DE EL MIRADOR (BURGOS, ESPAÑA).

Á. Herrejón^{1*}, Á. Carrancho², J. J. Villalain¹, J. M. Vergès³

¹ Departamento de Física, EPS, Universidad de Burgos, 09006 Burgos, España

² Departamento de Ciencias Históricas y Geografía, Universidad de Burgos, 09001, Burgos, España

³ IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, C/Marcel·lí Domingo s/n, Campus Sescelades (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

* e-mail: angelaherregonlagunilla@gmail.com

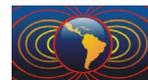
ABSTRACT

Recent excavations at El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain) exposed various combustion episodes of the Bronze Age, yielding a good opportunity to carry out an archaeomagnetic study. These episodes contain a white and/or grey ash facies overlain a dark carbonaceous facies. These contexts are known in the archaeological literature as “fumiers” and under certain conditions, are good recorders of the geomagnetic field direction. The goal here is to evaluate preliminarily the suitability of two combustion episodes in order to be dated by archaeomagnetism. The main magnetic carrier is pseudo-single domain (PSD) magnetite, more concentrated in the ashes facies than in comparison with the carbonaceous ones. Q_n ratio values oscillate between 1 and 10 indicating that the NRM mechanism is most probably of thermal origin. 29 samples from the event Ci2 and 23 samples from the event Ci3 were demagnetized by alternating fields. After removing a secondary component of low coercivity ($< 10-15$ mT), the characteristic component (ChRM) was defined univectorially until 100 mT, of normal polarity and high intensity. Several samples, associated to zones possibly bioturbated, were excluded because of anomalous directions, unstable behaviour and Q_n ratio values < 1 . Mean directions obtained are Declination: 19.0° , Inclination: 65.0° , k : 37.8 and α_{95} : 5.7° for the event Ci2 and Declination: 29.3° , Inclination: 62.2° , k : 61.8 y α_{95} : 5.3° for the event Ci3. Thermal demagnetization of the NRM is currently being undertaken to improve the mean directions and carry out the archaeomagnetic dating.

Keywords: Archaeomagnetism, Secular Variation, Fumier, Bronze Age, Thermoremanence.

RESUMEN

Recientes excavaciones en la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos, España), han dejado al descubierto varios episodios de combustión de la Edad del Bronce, ofreciendo una buena oportunidad para abordar un estudio arqueomagnético. Estos episodios se componen de una facies de cenizas blancas y/o grises sobre una facies carbonosa oscura. Estos contextos se conocen en la literatura arqueológica como “fumiers” y bajo determinadas condiciones, son buenos registros direccionales del campo geomagnético. El objetivo es evaluar preliminarmente la idoneidad de dos episodios de combustión para datarlos mediante arqueomagnetismo. El mineral portador de la remanencia es magnetita pseudo-monodominio (PSD) con una mayor concentración mineral en las facies de ceniza frente a las carbonosas. Los valores del Q_n ratio oscilan entre 1 y 10, indicando que el mecanismo de magnetización es muy probablemente de origen térmico. Se desmagnetizaron por campos alternos 29 muestras del evento Ci2 y 23 del evento Ci3. Tras eliminar una componente secundaria de baja coercitividad ($< 10-15$ mT), la componente característica (ChRM) se define univectorialmente hasta 100 mT, de polaridad normal y alta intensidad. Varias muestras asociadas con zonas posiblemente bioturbadas, fueron excluidas por mostrar direcciones anómalas, comportamiento inestable y



valores del Q_n ratio < 1 . La dirección media obtenida en el evento Ci2 es Declinación: 19.0° , Inclinación: 65.0° , k : 37.8 y α_{95} : 5.7° y para el evento Ci3 es Declinación: 29.3° , Inclinación: 62.2° , k : 61.8 y α_{95} : 5.3° . Actualmente se está realizando desmagnetización térmica para refinar las direcciones medias y abordar su datación.

Palabras Clave: Arqueomagnetismo, Variación Secular, Fumier, Edad del Bronce, Termoremanencia,

1. Introducción y objetivos

Los estudios arqueomagnéticos en Europa han experimentado un notable desarrollo en los últimos años con la elaboración de curvas regionales de Variación Secular que abarcan los últimos 2-3 milenios (*e.g.*: Gallet *et al.*, 2002; Gómez-Paccard *et al.*, 2006; Schnepf y Lanos, 2005; Tema *et al.*, 2006). Estas curvas están compuestas por numerosos datos direccionales obtenidos fundamentalmente de materiales arqueológicos quemados *in situ*, portadores de termoremanencias e independientemente bien datados. Aplicar la datación arqueomagnética en contextos arqueológicos quemados ya es posible en materiales comprendidos en estas cronologías. No obstante, un objetivo fundamental en los próximos años es extender temporalmente los registros de Variación Secular a cronologías más antiguas mediante el estudio de nuevos materiales como potenciales registros de las variaciones del campo magnético terrestre (CMT) en el pasado.

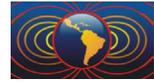
Recientemente se ha demostrado el potencial de los sedimentos antrópicos quemados en cueva o “fumiers” para obtener determinaciones direccionales del CMT y se ha elaborado la primera curva europea direccional de VS que llega hasta el Neolítico y que puede ser utilizada para datar (Carrancho *et al.*, 2013). Recientes excavaciones arqueológicas en la Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos, España) han dejado al descubierto varios episodios de combustión que ofrecen una buena oportunidad para análisis arqueomagnéticos. Se presenta aquí un estudio arqueomagnético y de propiedades magnéticas preliminar con el fin de evaluar la idoneidad de dos episodios de combustión holocenos para la datación arqueomagnética y caracterizar sus propiedades magnéticas.

2. Materiales y métodos

Los materiales estudiados corresponden a facies quemadas (sedimento carbonoso y cenizas) de dos episodios de combustión de la Edad del Bronce de la Cueva de El Mirador (Burgos, España). Estos materiales corresponden a sedimentos antrópicos quemados del tipo “fumier” (Brochier, 1983), que se forman por la quema intensa de excrementos y residuos vegetales generados por la estabulación de ganado doméstico en cuevas-redil. La estratigrafía holocena del yacimiento contiene numerosos episodios de combustión accesibles al muestreo en perfiles estratigráficos verticales mediante catas arqueológicas.

Ambas estructuras de combustión (Ci2 y Ci3 nivel MIR104-) presentan en su base una facies carbonosa (~ 2 cm) de color oscuro y rica en materia orgánica y sobre ella, una facies de cenizas de grosor variable (5 - 20 cm) y con tonalidades que varían desde blanco-grises a pardo-rojizas. El muestreo arqueomagnético se realizó con la ayuda de un émbolo cilíndrico no magnético diseñado específicamente para litologías blandas y que incorpora un dispositivo que permite orientar magnéticamente la muestra con precisión. 29 muestras (Ci2) y 23 muestras (Ci3) se recogieron de ambas facies, fueron insertadas en cápsulas cilíndricas de plástico (3.6 cm^3).

Todos los análisis paleomagnéticos y del magnetismo de las rocas fueron realizados en el laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos. La estabilidad direccional de la magnetización remanente natural (NRM) se ha analizado mediante campos alternos decrecientes (AF) ya que las muestras estaban en cápsulas de plástico. No obstante, en la campaña de 2015 se recogieron muestras para realizar desmagnetización térmica de la NRM. La desmagnetización por AF se realizó en 17-21 pasos hasta un campo de pico de 100 mT con un magnetómetro criogénico 2G (nivel de ruido $5 \times 10^{-12} \text{ Am}^2$). Tras la NRM se midió la susceptibilidad magnética a temperatura ambiente con un Kappabridge KLY-4 (nivel de



ruido 3×10^{-8} S.I.). Adicionalmente, muestra suelta (~ 400 mg) de las facies quemadas de ambos fuegos se sometió a diversos análisis del magnetismo de las rocas con una Balanza de Traslación del campo magnético variable (MM_VFTB) con el fin de identificar el mineral portador de la remanencia, su estado de dominios y estabilidad termomagnética. Éstos comprendieron curvas de adquisición progresiva de la magnetización remanente isoterma (IRM), ciclos de histéresis (± 1 T), curvas de backfield y curvas termomagnéticas (J vs. T°) hasta 700° C en aire.

3. Resultados – Discusión

Los valores de la NRM en las cenizas de ambos episodios oscilan entre $6.7 \text{ E-}03$ y $6.9 \text{ E-}01$ A/m y en las facies carbonosas entre $1.3 \text{ E-}02$ y $9.6 \text{ E-}02$ A/m. La susceptibilidad magnética varía entre $1.8 \text{ E-}04$ y $2.6 \text{ E-}03$ en las cenizas y entre 2.4 y 5.5 en las muestras carbonosas. En la Fig. 1 se representan los valores del Q_n ratio [NRM/χ^*H], donde χ es la susceptibilidad magnética y H es la intensidad del campo geomagnético local. Este parámetro informa de la eficiencia del mecanismo de magnetización de la NRM basado en la relación entre la magnetización remanente e inducida. Los valores están mayoritariamente comprendidos entre 1 y 10 (Fig. 1), indicando muy probablemente una NRM de origen térmico. El evento Ci2 oscila entre 0.95 y 7.07 con los valores más altos correspondiendo a las cenizas. Del evento Ci3 sólo se analizaron muestras de ceniza distinguiendo cenizas pardas-ocres en la base y ocres en la parte superior del episodio de combustión. Dentro de su variabilidad, no se aprecian diferencias significativas entre el Q_n ratio de ambos tipos de ceniza.

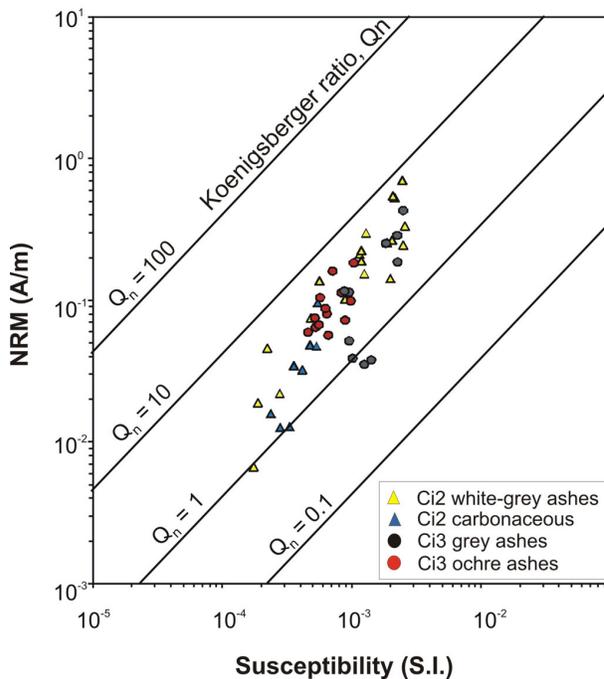


Figura 1. Variación de la intensidad de la NRM frente a la susceptibilidad magnética. Las isolíneas son del mismo valor del ratio de Koenigsberger (Q_n).

La estabilidad direccional de la NRM muestra un comportamiento similar tanto en cenizas como en las facies carbonosas. Tras eliminar una componente secundaria de baja coercitividad ($< 10\text{-}15$ mT) de origen viscoso, la componente característica (ChRM) se define univectorialmente hasta 100 mT. La ChRM muestra sistemáticamente polaridad normal y es de alta intensidad (Fig. 2a-d). 11 especímenes del evento Ci2 y 10 del Ci3 exhibieron direcciones anómalas, estructura multicomponente en los diagramas ortogonales de desmagnetización, solapamiento de componentes o valores del Q_n ratio < 1 . Estas muestras están asociadas a zonas específicas de estos hogares que sufrieron algún tipo de reorganización mecánica del sedimento, muy posiblemente por bioturbación. Las direcciones medias obtenidas en ambos episodios de combustión y su estadística asociada se representan en la Figura 3 y se desglosan en la Tabla 1.



Tabla 1. Direcciones arqueomagnéticas medias y su estadística asociada obtenidos para los dos eventos. N/ N': número de especímenes considerados / número de especímenes muestreados; Dec: Declinación; Inc: Inclinação; k: parámetro de dispersión y α_{95} de acuerdo con Fisher (1953).

	N / N'	Dec (°).	Inc (°).	k	α_{95} (°)
Ci2	18 / 29	19.0	65.0	37.8	5.7
Ci3	13 / 23	29.3	62.2	61.8	5.3

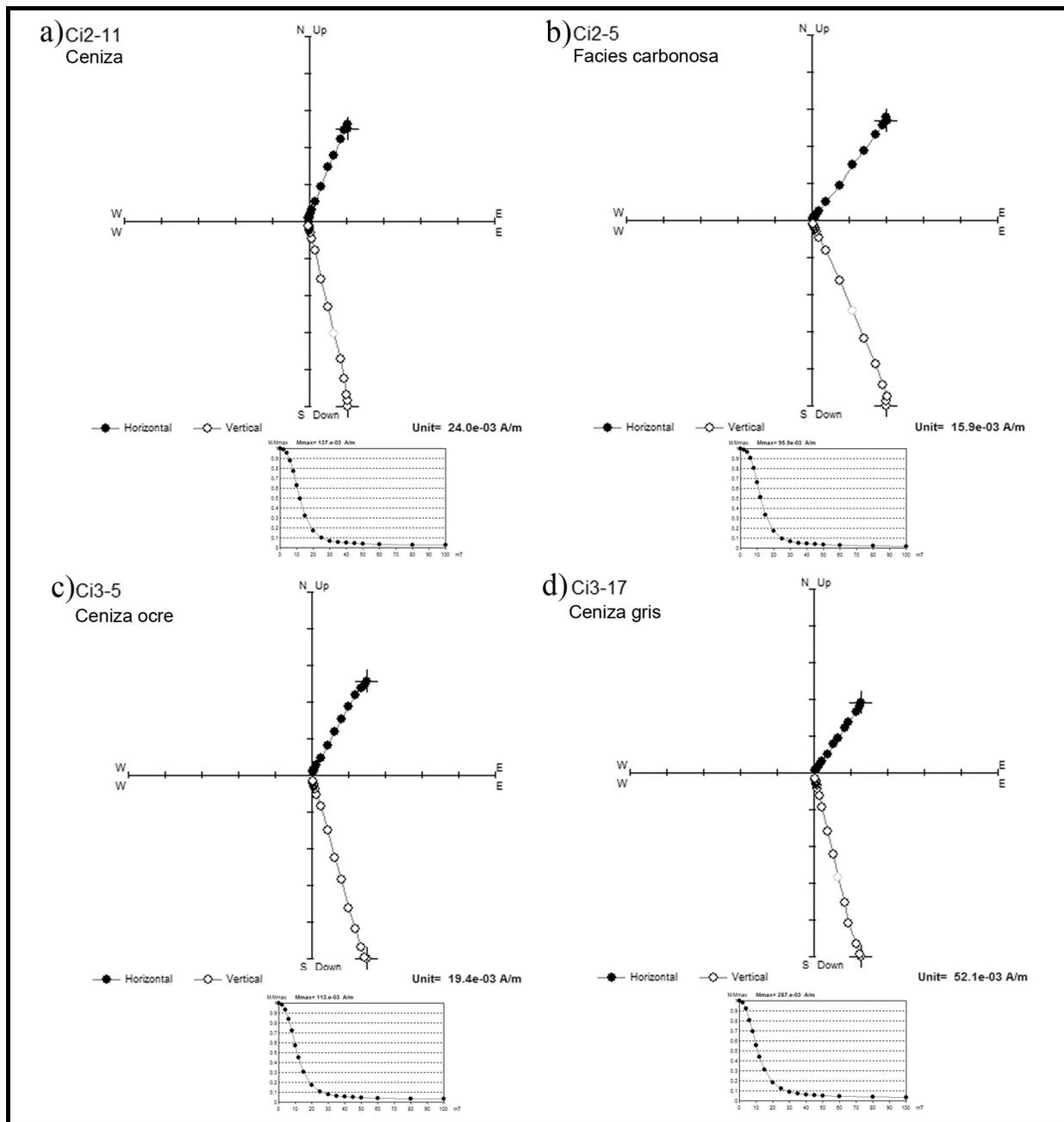
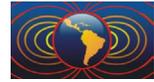


Figura 2. Ejemplos representativos de diagramas ortogonales de desmagnetización por campos alternos de la NRM de (a-b) dos muestras del evento Ci2 y (c-d) dos muestras del evento Ci3, incluyendo sus respectivas caídas de intensidad. Se indica nombre de la muestra y tipo de facies.



Los sedimentos antrópicos quemados en una cueva, a diferencia de las estructuras de combustión que tradicionalmente se estudian en arqueomagnetismo (hornos, termas, etc.), son materiales no litificados susceptibles de reorganizarse mecánicamente ante cualquier proceso sin/post-deposicional. Fenómenos antrópicos como el trampling (pisoteo) o bioturbación animal son algunos de los procesos post-deposicionales documentados en estos contextos y pueden afectar parcialmente a las facies quemadas de estos episodios de combustión. Muy probablemente las muestras con un comportamiento direccional anómalo o con una dispersión significativa se deban a procesos de este tipo, sin que ello implique que no sea posible obtener una dirección arqueomagnética fiable (Carrancho *et al.*, 2012, 2013). Los estudios arqueomagnéticos en sedimentos antrópicos quemados en cueva son muy prometedores tanto para los geofísicos (reconstruir las variaciones direccionales del CMT) como para los arqueólogos (datación arqueomagnética). Varios autores han iniciado estudios similares en estos contextos demostrando la posibilidad de ampliar los registros arqueomagnéticos a cronologías del Holoceno Medio (Carrancho *et al.*, 2013, Kapper *et al.*, 2014). Actualmente se están desmagnetizando térmicamente muestras adicionales de ambos eventos recogidas en la campaña de excavación 2015. El objetivo es aislar mejor la componente característica para refinar las direcciones medias y realizar la datación arqueomagnética.

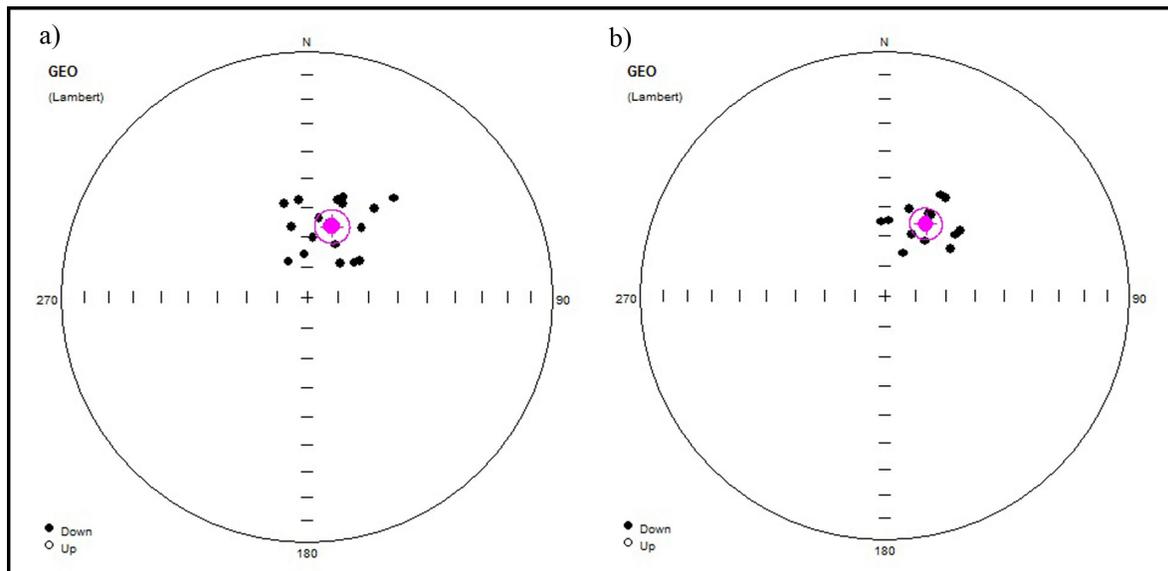


Figura 3. Proyección de igual área con las direcciones características de las muestras consideradas para el cálculo de la dirección media, la dirección arqueomagnética media y elipse de confianza obtenidas para (a) el evento Ci2 y (b) evento Ci3.

4. Conclusiones

Se obtuvieron dos direcciones arqueomagnéticas medias en dos episodios de combustión en la Cueva de El Mirador. El mineral portador de la magnetización remanente es magnetita en estado PSD con una mayor concentración mineral en las facies de ceniza. Varias muestras asociadas con zonas mecánicamente alteradas (bioturbación) de ambos fuegos fueron excluidas para el cálculo de la dirección media por mostrar direcciones anómalas, estructura multicomponente de la NRM o valores del Q_n ratio < 1 . El procesado de muestras adicionales mediante desmagnetización térmica permitirá refinar las direcciones medias obtenidas y abordar la datación arqueomagnética de ambos episodios de combustión.



Agradecimientos

Este trabajo se financió con el proyecto CGL2012-38481 y CGL2012-32149 (*Ministerio de Economía y Competitividad*, España) y el *Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)*.

Referencias

- Brochier, J. E., 1983. Combustion et parage des herbivores domestiques. Le point de vue du sédimentologue. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 80, 5, 143-145.
- Carrancho, Á., Villalaín, J. J., Vergès, J. M., Vallverdú, J., 2012. Assessing postdepositional processes in archaeological cave fires through the analysis of archaeomagnetic vectors. *Quaternary International* 275, 14-22.
- Carrancho, Á., Villalaín, J. J., Pavón-Carrasco, F. J., Osete, M. L., Straus, L. G., Vergès, J. M., Carretero, J. M., Angelucci, D. E., González Morales, M. R., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., Carbonell, E., 2013. First directional European palaeosecular variation curve for the Neolithic based on archaeomagnetic data. *Earth and Planetary Science Letters* 380, 124 – 137.
- Fisher, R. A., 1953. Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. Lond. A* 217, 295–305.
- Gallet, Y., Genevey, A., Le Goff, M., 2002. Three millennia of directional variation of the Earth's magnetic field in western Europe as revealed by archaeological artefacts. *Phys. Earth Planet. Inter.* 131, 81–89.
- Gómez-Paccard, M., Chauvin, A., Lanos, P., McIntosh, G., Osete, M. L., Catanzariti, G., Ruiz-Martínez, V. C., Núñez J. I., 2006. First archaeomagnetic secular variation curve for the Iberian Peninsula: Comparison with other data from Western Europe and with global geomagnetic field models. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 7, Q12001.
- Kapper, K., Anesin, D., Donadini, F., Angelucci, D., Cavulli, F., Pedrotti, A., Hirt, A., 2014. Linking site formation processes to magnetic properties. Rock- and archaeomagnetic analysis of the combustion levels at Riparo Gaban (Italy). *Journal of Archaeological Science*, 41, 836–855.
- Schnepf, E., Lanos, P., 2005. Archaeomagnetic secular variation in Germany during the past 2500 years. *Geophys. J. Int.* 163, 479–490.
- Tema, E., Hedley, I., Lanos, Ph., 2006. Archaeomagnetism in Italy: a compilation of data including new results and a preliminary Italian secular variation curve. *Geophys. J. Int.*, 167, 1160–1171.