

IMAGING 3D DI DATI MAGNETICI AD ALTA RISOLUZIONE IN ARCHEOLOGIA: IL SITO DI TELL BARRI (SIRIA)

G. Florio¹, F. Cella², L. Speranza³, R. Castaldo⁴, R. Pierobon Benoit⁵, R. Palermo⁶

¹ University of Naples, Dip. di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Napoli, Italy

² University of Calabria, Dip. Di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra, Rende (CS), Italy

³ Edison, Milano, Italy

⁴ CNR, IREA, Napoli, Italy

⁵ University of Naples, Dip. di Discipline Storiche 'E. Lepore', Napoli, Italy

⁶ University of Groningen, Institute of Archaeology, Groningen, Olanda

Introduzione. Si presentano i risultati di una campagna di prospezione magnetometrica condotta a Tell Barri, sito archeologico nella Siria di Nord-Est in due periodi distinti (Aprile 2008 e Settembre 2010). Il Tell (in arabo “collina”) si eleva 32 metri circa rispetto alla pianura circostante e si estende, considerata anche la sua città bassa, per un'area complessiva di 37 ha (Fig. 1). Le sue dimensioni e l'abbondanza di reperti antichi rinvenuti nel corso degli scavi (1980-2010) fanno di questo sito una preziosa area di studio per la storia della regione dalla fine del quarto millennio a.C. sino al medio evo islamico.

Il rilevamento magnetico è una delle tecniche geofisiche più efficaci e frequentemente utilizzate per le indagini in siti archeologici (Fedi *et al.*, 2017). E' infatti abitualmente impiegato per individuare fondazioni sepolte in pietra, pareti, forni, camini e camere funerarie in ragione del contrasto di suscettività magnetica spesso esistente tra il terreno di copertura/riempimento e i materiali costituenti la maggior parte delle strutture archeologiche sepolte. La configurazione gradiometrica dei sensori consente inoltre misure in modalità del tutto indipendente dalle fluttuazioni temporali del campo magnetico terrestre. La limitazione più importante (ridotta risoluzione in profondità, dovuta al decadimento del gradiente verticale del campo magnetico con la quarta potenza in funzione della distanza) ha il vantaggio di attenuare maggiormente il contributo delle sorgenti più profonde, spesso fonte di disturbo. Svariate tecniche di esaltazione del segnale misurato (“enhancing”) e di “edge detecting” consentono inoltre una interpretazione speditiva finalizzata all'elaborazione di mappe in grado spesso di delineare i contorni planimetrici delle strutture di interesse archeologico (Jeng *et al.*, 2003)

Analisi ed interpretazione dei dati. Lo studio geofisico è consistito in un survey magnetico condotto in un area di circa 2 ettari nella “città bassa”, ai piedi del versante meridionale del

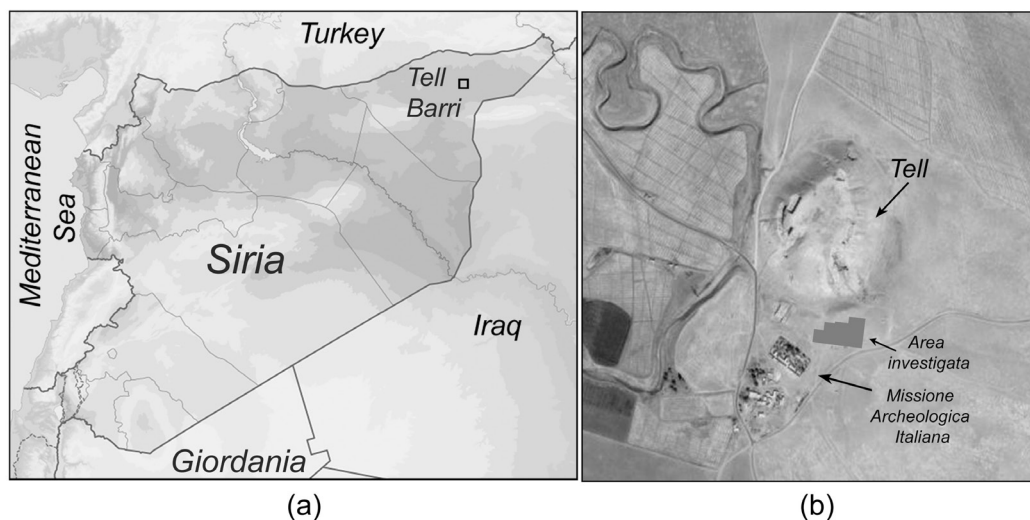


Fig. 1 - a) Ubicazione geografica della regione in cui è ubicato il sito di Tell Barri (riquadro piccolo); b) Ingrandimento da foto aerea del sito di Tell Barri.

Tell. Lo scopo della campagna di investigazione era quello di fornire l'evidenza di strutture di interesse archeologico nelle immediate vicinanze di una zona già interessata da scavi precedenti. La superficie sub-pianeggiante investigata è di complessivi 26000 m², collocata a quote comprese tra 340 e 350 m s.l.m. e risulta dalla fusione di maglie rettangolari di differente area (50x50 m, 40x50 m, 25x50 m, 12.5x50 m). Le misurazioni sono state effettuate mediante magnetometro ai vapori alcalini (GEM GSMP40G) in configurazione gradiometrica, rivelatosi in grado di garantire una stabilità ed una precisione ben maggiore rispetto ad un precedente strumento (Gem GSM-19GF) utilizzato nel corso di test preliminari. Data la frequenza di campionamento adottata (5 misure/sec), il passo di campionamento è risultato di circa 0.1 m lungo profili equidistanti tra loro 0.5 m tra loro.

Sin dai primi test preliminari è apparsa chiara la problematicità del sito dal punto di vista della qualità del dato, caratterizzata da misure strumentali con elevato rapporto S/N. Ciò non era dovuto solo alla sostanziale debolezza delle anomalie misurate, dovuta agli scarsi contrasti di suscettività tra i manufatti sepolti ed il mezzo circostante ma anche a terreni disseminati di numerosissimi frammenti di mattoni cotti, roccia basaltica e metallo, costituenti nel loro insieme una cospicua sorgente di noise. Una sessione di test, condotti modificando la geometria del sistema a doppio sensore, ha indotto ad abbandonare la tradizionale configurazione gradiometrica (distanza sensori: 1 m; altezza media da suolo: 1 m) e ad optare per una configurazione apparentemente poco ortodossa (distanza tra sensori: 0.25 m; altezza media dal suolo: 1.32 m) che ha tuttavia fornito risultati nettamente migliori, attenuando l'ampiezza dei segnali generati dai soli corpi piccoli, altamente magnetizzati e posti in prossimità della superficie.

I dati acquisiti sono stati sottoposti alla consueta fase di pre-processing per la rimozione del noise e per esaltare le componenti del segnale presumibilmente associate alle sorgenti di interesse archeologico: a) "despiking" (eliminazione delle misure con valori così estremi da comprimere la scala di misurazione, a discapito della leggibilità delle mappe); b) AGC per prevenire l'oscuramento delle anomalie di maggiore interesse, ma spesso di ampiezza limitata, da parte di anomalie con ampiezze superiori anche di alcuni ordini di grandezza; c) correzione dell' "heading error" mediante equalizzazione del valor medio del campo misurato tra profili pari e dispari; d) correzione del cosiddetto "zig-zag error" mediante metodo statistico basato su cross-correlazione dei dati lungo profili adiacenti (Ciminale and Loddo, 2001); e) soppressione del residuo rumore ad alta frequenza ancora presente nel segnale mediante filtraggio direzionale basato su trasformata discreta di wavelet (DWT; Fedi and Florio, 2003). Infine, le anomalie del campo magnetico sono state ridotte al polo per una più precisa localizzazione dei corpi sorgente.

La mappa risultante del gradiente verticale del campo magnetico (Fig. 2) mostra diverse anomalie il cui andamento evidenzia geometrie che si articolano con una regolarità che difficilmente si concilia con l'ipotesi di un'origine naturale mentre, al contrario, sembra compatibile con strutture di origine antropica.

La fase successiva, finalizzata ad una caratterizzazione delle sorgenti sepolte più promettenti e significative dal punto di vista archeologico, è stata affrontata mediante un approccio multi-scala mediante impiego del metodo DEXP (Depth from Extreme Points, Fedi, 2007). DEXP è basato sull'analisi simultanea del campo continuato a varie quote rispetto al livello di misura, accoppiata con la differenziazione dei dati. Essa consente un buon livello di risoluzione anche in presenza di noise elevato. DEXP è una quantità correlata alla distribuzione della sorgente e pertanto agisce come tecnica di imaging 3D (Fedi e Pilkington, 2012) in grado di fornire utili informazioni su posizione e profondità dei corpi sorgente nonché sulla loro morfologia mediante la stima dell'indice strutturale. Pertanto la tecnica si presta ad una efficace ricostruzione tridimensionale di strutture sepolte di significato archeologico.

Risultati. Il metodo DEXP è stato impiegato per interpretare alcune delle più significative anomalie riconosciute mediante analisi qualitativa della carta del gradiente verticale. Tra esse

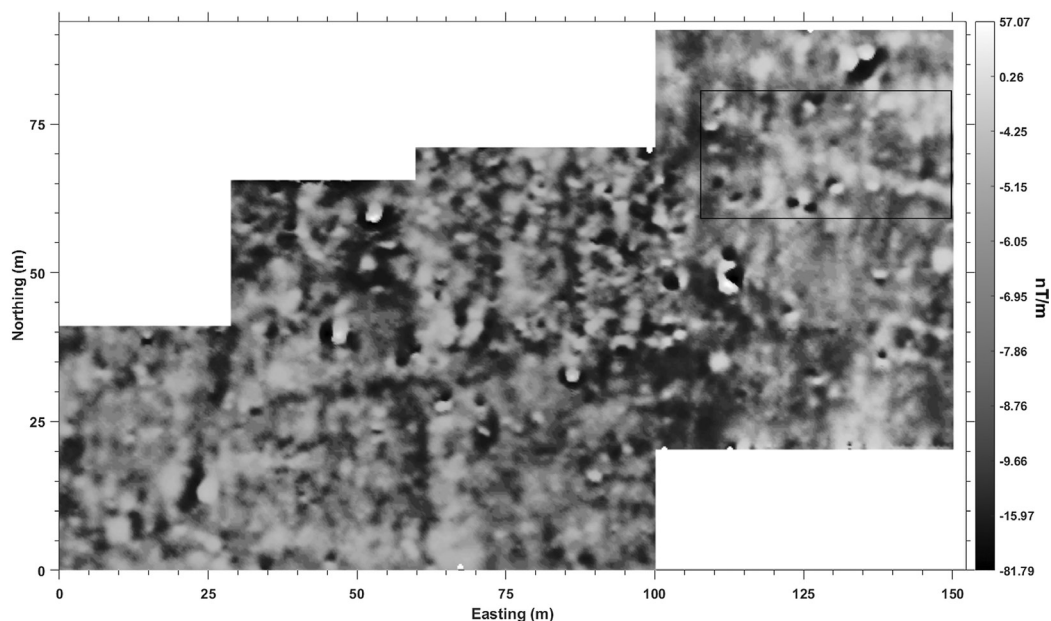


Fig. 2 - Mappa del gradiente verticale delle anomalie del campo magnetico. Riquadro in alto a destra: particolare dell'anomalia interpretata come da Fig. 3.

assume particolare rilievo un trend anomalo del gradiente verticale caratterizzato da una marcato andamento lineare uni-direzionale con andamento WNW-ESE presso il margine orientale dell'area investigata. Tenendo conto che l'indice strutturale calcolato mediante DEXP per il corpo sorgente esaminato è caratteristico di sorgenti lineari orizzontali, l'ipotesi interpretativa

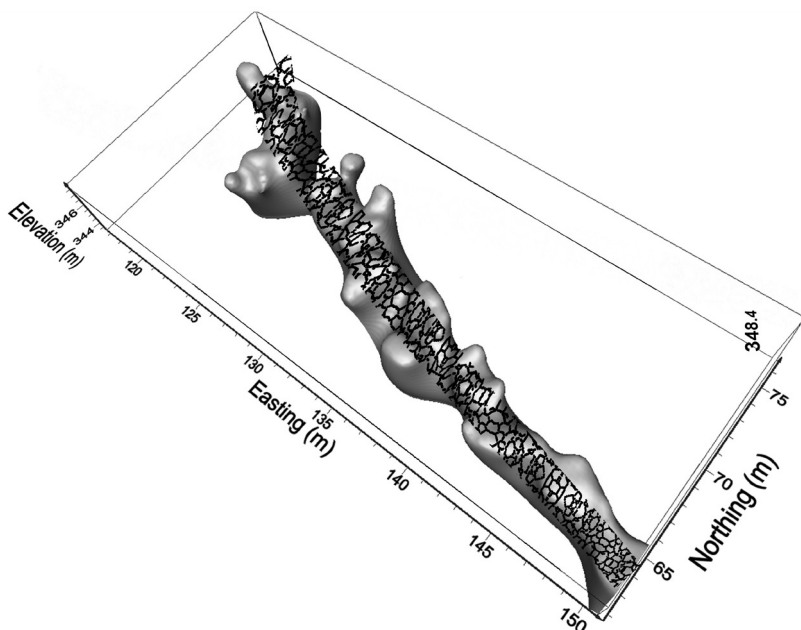


Fig. 3 - Modello 3D ottenuto impiegando DEXP nel riquadro in alto a destra di fig. 2 e ricostruzione ipotetica del sentiero lastricato.

più plausibile era quella di una pavimentazione in laterizi (strada?) o, in alternativa, della base di un muro perimetrale, in entrambi i casi costituiti presumibilmente da materiale con suscettività magnetica maggiore rispetto ai terreni di copertura (Fig. 3). Questo caso di indagine è stato selezionato per una verifica dell'affidabilità interpretativa del metodo usato mediante saggio di scavo su una piccola area quadrata di 5 metri di lato, successivamente ampliata. Essa ha portato alla luce i resti di due edifici in mattoni crudi, separati da un camminamento approssimativamente rettilineo - e fortemente disturbato da fosse posteriori - composto da numerosi frammenti di laterizi. È significativo che non solo orientazione ed ubicazione planimetrica della struttura risultino puntualmente previste dal metodo DEXP ma che quest'ultimo abbia anche consentito, con analoga precisione, di collocarla alla giusta profondità, approssimativamente tra 0.5 e 1.3 m rispetto al piano campagna.

Sulla scorta di queste evidenze incoraggianti si è ripetuta con successo la procedura per altri trends di anomalie del gradiente verticale riconosciuti in altri settori dell'area investigata, col proposito di utilizzare i risultati per indirizzare scavi mirati in una successiva campagna archeologica. Purtroppo, a partire dall'anno successivo (2011) a quello della seconda campagna di prospezione geofisica, la regione in cui è ubicata Tell Barri è stata direttamente coinvolta nelle sanguinose vicende belliche che hanno recentemente travolto la Siria, vanificando ogni progetto di ripresa degli scavi in questo importante sito archeologico.

Il ricorso alle metodologie utilizzate per la modellazione 3D di alcune strutture di interesse archeologico nell'area in esame, si è in ogni caso dimostrato estremamente efficace, anche sulla scorta dei lusinghieri risultati ottenuti in recenti esperienze (Cella & Fedi, 2015) e conferma pertanto come un approccio inizialmente messo a punto per indagini di tipo geologico possa fornire preziose informazioni anche nella ricerca archeologica, ottimizzandone il rapporto costi/benefici.

Bibliografia

- Cella F., Paoletti V., Florio G. and Fedi M.; 2015: *Characterizing elements of urban planning in Magna Graecia using geophysical techniques: the case of Tirenà (Southern Italy)*. *Archaeol. Prospect.*, 22 (3), 207–219.
- Cella F. and Fedi M.; 2015: *High-Resolution Geophysical 3D Imaging for Archaeology by Magnetic and EM data: The Case of the Iron Age Settlement of Torre Galli, Southern Italy*. *Survey in Geophysics*, 36, 831–850, DOI 10.1007/s10712-015-9341-3.
- Ciminale M. and Loddo M.; 2001: *Aspects of magnetic data processing*. *Archaeol. Prospect.*, 8, 239–246.
- Fedi M. and Florio G. ; 2003: *Decorrugation and removal of directional trends of magnetic fields by the wavelet transform: application to archeological areas*. *Geophysical Prospecting*, 51, 2003, 261–272.
- Fedi M.; 2007: *DEXP: a fast method to determine the depth and the structural index of potential fields sources*. *Geophysics*, 72, 1, 11–111.
- Fedi M. and Pilkington M.; 2012: *Understanding imaging methods for potential field data*. *Geophysics*, 77(1), G13–G24.
- Fedi M., Cella F., Florio G., La Manna M. and Paoletti V., 2017: *Geomagnetometry for Archaeology*. From: “*Sensing the Past From artifact to historical site*” (Masini N. and Soldovieri F. ed.), Vol.16 (*Geotechnologies and the Environment*), Chapter 10, 203–230.
- Jeng Y., Lee Y.L., Chen C.Y. and Lin M.J.; 2003: *Integrated signal enhancements in magnetic investigation in archaeology*. *J. Appl. Geophys.*, 53, 31–48.