

RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO E CARTOGRAFIA IN CAMPO ARCHEOLOGICO: CASI APPLICATIVI NEL SITO DI UŞAKLI HÖYÜK (TURCHIA)

di Vincenzo Regine, Riccardo Salvini, Emanuele Tufarolo



Ad oggi la fotogrammetria digitale rappresenta un valido strumento di rilievo e modellazione 3D e, contestualmente a strumenti di analisi territoriale (GIS), si applica a molteplici settori scientifici, ivi compreso l'ambito archeologico. Il presente lavoro si propone di descrivere l'utilizzo di tecniche di fotogrammetria digitale e GIS, applicato allo studio del sito archeologico di Uşaklı Höyük, probabilmente la città ittita di Zippalanda (Anatolia Centrale, Turchia). Il sito rappresenta un'interessante miniera di informazioni storiche e archeologiche nel panorama degli studi del Vicino Oriente Antico a motivo della sua storia millenaria che va dall'Età del Bronzo Antico al Medioevo e al periodo Ottomano, e caratterizzata da una più intensa occupazione nel corso dei periodi ittita e frigio (II-I mill. a.C.) e romano-bizantino (I sec. a.C. - XII sec. d.C.). L'estensione e la complessità archeologica dell'höyük ben si prestano a questo tipo di indagini, tese alla ricostruzione dell'antico assetto insediativo mediante rilievi 3D e analisi geospaziali¹.

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito della Missione Italo-Turca in Anatolia Centrale² condotta dalle Università di Firenze, Pisa, Yozgat Bozok e Siena di cui fa parte il Centro di Geotecnologie (CGT) di San Giovanni Valdarno³. Dal 2008 a oggi, la Missione compie studi interdisciplinari in ambito archeologico, storico e geoambientale, finalizzati alla ricostruzione del tessuto storico e insediativo del sito di Uşaklı Höyük in rapporto con l'ambiente⁴.

Grazie all'acquisizione e all'elaborazione dei dati attraverso software e algoritmi *Structure for Motion* (Spetsakis & Aloimonos, 1991) e *Multi-view stereo* (Gallup *et al.* 2007; Goesele *et al.* 2007; Jancosek *et al.* 2009), è stato possibile ricavare prodotti fotogrammetrici e supporti cartografici ad alta risoluzione utili all'interpretazione e all'approfondimento delle informazioni archeologiche ricavate dalle indagini di scavo: modelli digitali di elevazione (DEM), modelli 3D texturizzati, una planimetria del tempio ittita (Ed. II) in scala 1:200 e un'ortofotocarta dell'höyük in scala 1:500. Le informazioni necessarie per la comprensione del contesto storico e archeologico del sito sono state desunte dalla letteratura scientifica ad oggi nota sull'argomento (Mazzoni & Pecchioli Daddi 2015; Mazzoni *et al.* 2017, 2019).

AREA DI INTERESSE

Il sito di Uşaklı Höyük è situato nel cuore dell'Altopiano Anatolico Centrale, nella provincia di Yozgat, ad un'altitudine di oltre 1000 m s.l.m. Dal punto di vista geomorfologico si tratta di un *höyük* troncoconico alto circa 30 m che si estende su una superficie di 2 ha ed è circondato a nord, ovest ed est da una terrazza di 10 ha ca. (Fig. 1). L'Egri Öz Dere, il principale sistema idrografico della regione, ha contribuito favorevolmente alla nascita di varie comunità insediative le cui tracce archeologiche si iscrivono nell'ampio arco cronologico posto tra le fasi di primo insediamento dell'area (IV-III mill. a.C.) e l'Età Tardo Antica e Ottomana.

Tra le attività dell'*Uşaklı Höyük Archaeological Project (UHAP)*⁵, le operazioni di scavo si sono concentrate nei settori centrali e settentrionali della terrazza Est (Area A, B e C in Fig.2) e nel settore meridionale dell'*höyük*, lungo le sue pendici (Area D). Le aree A e B sono note rispettivamente per un ipotetico edificio templare di epoca tardo-ittita (Ed. II) e un edificio di epoca tardo-antica (Ed. I). Nei settori C e D, lungo le pendici orientali e meridionali dell'*höyük*, sono stati rinvenuti i resti imponenti di un sofisticato sistema di difesa dell'Età del Ferro. Nel settore D, al di sotto dei livelli di occupazione del Ferro, si rilevano le fasi del Tardo Bronzo di un grande edificio pubblico (Ed. III), probabile struttura palatina.

STRUMENTI E METODOLOGIE DI LAVORO

Acquisizione dati

Durante la missione del 2018 sono stati realizzati due rilievi aerofotogrammetrici con un drone (*DJI Inspire 1*) munito di sensore GPS/INS e una fotocamera *DJI FC550*, con lunghezza focale pari a 15 mm, e dimensioni del sensore 4608 X 3456 pixel. Un primo volo è stato eseguito sull'areale dell'*höyük* acquisendo 6 fotogrammi ad un'altezza media di volo di 450 m e una risoluzione a terra di 10,5 cm/pix. Per l'occasione non sono state predisposte mire topografiche e non sono stati misurati punti di controllo (*Ground Control Points, CCPs*) sul terreno. Il secondo volo è stato eseguito allo scopo di rilevare l'area della terrazza orientale (0.0183 km²) su cui sorge l'Ed. II, il cosiddetto tempio ittita. È stato predisposto un piano di volo con strisciate longitudinali (mediamente 70% *overlap Rl*; 60% *sidelap Rt*) acquisendo 189 fotogrammi ad una quota media di 35,4 m e una risoluzione a terra di 8,35 mm/pix (Fig. 3). In prossimità e all'interno dell'Ed. II sono state uniformemente materializzate mire topografiche misurate mediante ricevitori GNSS geodetici a doppia frequenza Leica GS15 in modalità NRTK (1 minuto di acquisizione) creando una base di riferimento virtuale sul GCP n.1. I *reference points* sono stati stabiliti in base al servizio TUSAGA-Aktif (*Turkish CORS Network*) nel sistema di riferimento ITRF96, UTM 36 Nord (Yldirim *et al.* 2011).

Elaborazione dati

Per le fasi di elaborazione dei dati sono stati impiegati due diversi software di fotogrammetria digitale.

Per la creazione dei prodotti utili nella realizzazione dell'ortofotocarta dell'*höyük* è stata utilizzata la *suite* di *Hexagon Geospatial ERDAS IMAGINE Photogrammetry 2018* versione 16.5; per il rilievo aerofotogrammetrico dell'Edificio II - a motivo del numero considerevole di fotogrammi da processare - si è preferito l'uso di algoritmi *Structure from Motion* e *Multi-view stereo* implementati in *Agisoft Metashape Professional* versione 1.5.0.

I prodotti fotogrammetrici e i dati di scavo sono stati successivamente gestiti, analizzati e organizzati in ambiente



Fig. 2 - Aree di scavo A, B, C, D.

GIS mediante il software QGIS 2019 versione 3.6.2. Per la digitalizzazione delle evidenze archeologiche lineari, puntuali e poligonali visibili sulle ortofoto, è stato impiegato il software di disegno Autodesk AutoCAD 2019.

Aerofotogrammetria estesa dell'area dell'*höyük*

Le 6 immagini digitali acquisite con drone sull'area dell'*höyük* di Uşaklı sono state processate con *ERDAS IMAGINE Photogrammetry* creando un *block file*. Si è proceduto, di conseguenza, al calcolo dell'Orientamento Interno (O.I.), mediante la definizione del modello della camera fotografica, e dell'Orientamento Esterno (O.E.) con le coordinate e gli angoli dei centri di presa di ciascuna immagine. Poiché in occasione del volo con drone non sono stati materializzati sul terreno punti d'appoggio, i GCPs necessari per l'orientamento assoluto dei fotogrammi sono stati determinati sulla base dei rilievi topografici delle aree archeologiche esistenti con tecniche integrate di fotogrammetria indiretta. In particolare, sono stati stabiliti undici punti di appoggio facendo riferimento ai limiti delle aree e/o dei

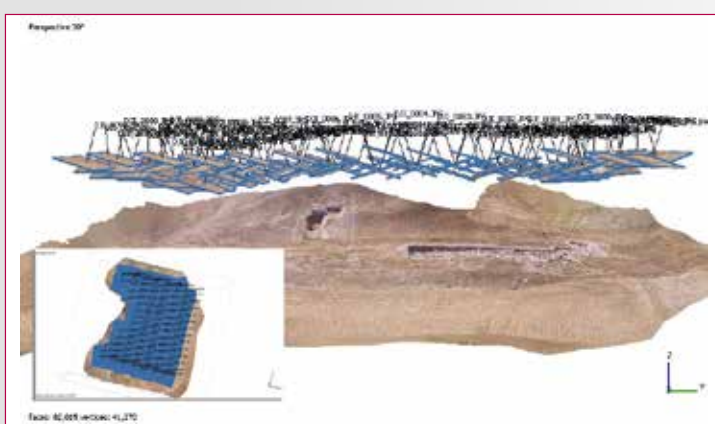


Fig. 3 - Schema grafico del piano di volo su Ed. II (Agisoft Metashape).

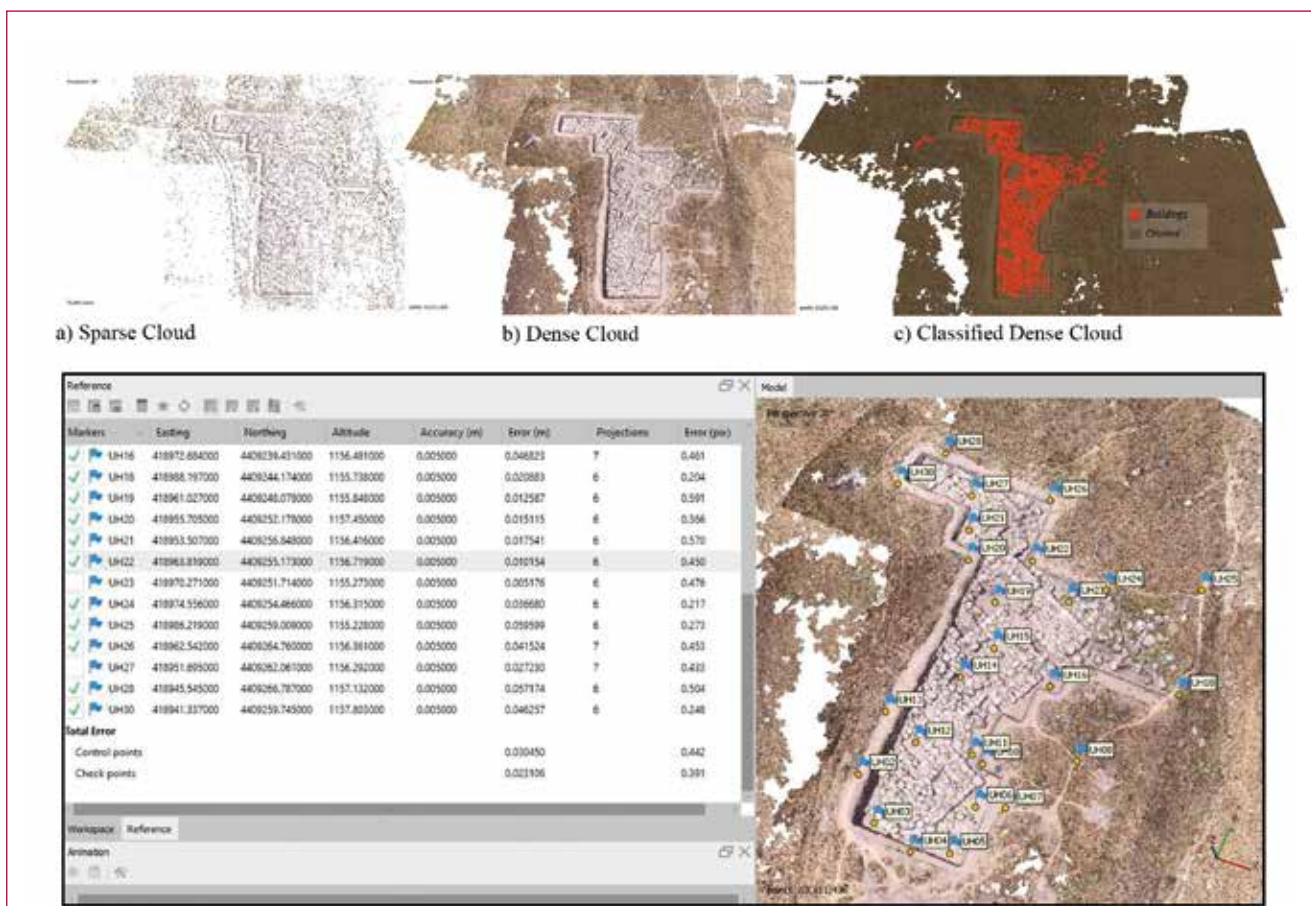


Fig. 4 - Area A, Ed. II: a-c) Nuvole di punti; d) Orientamento assoluto (Agisoft Metashape).

singoli saggi di scavo, elementi del paesaggio sia antropici (incroci stradali, casolari) sia naturali (affioramenti di rocce, delimitazione di campi, vegetazione, ecc.). Avviando la procedura di O.E. assoluto, i GCPs sono stati posizionati in ciascuna immagine e distinti in 7 *Control Points* e 4 *Check Points* nel sistema di riferimento scelto. Per irrobustire il blocco fotogrammetrico sono stati calcolati automaticamente 25 punti di legame (*Tie Points*) consentendo di effettuare la triangolazione aerea (TA) a stelle proiettive (*i.e. bundle adjustment*), e di ottenere un RMSE (*Root Mean Square Error*) di 0,4 pix ed un'accuratezza di 0,1 m sul terreno. Tali risultati sono stati valutati positivamente in considerazione di una scala media dei fotogrammi $\approx 1:30'000$. Ultimata la TA, si è proceduto alla creazione di una nuvola di punti tramite il modulo Eate (*Enhanced Automatic Terrain Extraction*). Da essa, dopo opportuna verifica e *editing*, è stato prodotto il DEM (*Digital Elevation Model*). Successivamente attraverso una procedura di selezione delle classi "Buildings" e "Ground" è stato generato il DTM (*Digital Terrain Model*): in questo modo è stato possibile isolare gli elementi antropici (*Buildings*) e vegetazionali da quelli a terra (*Ground*) e ottenere importanti informazioni di natura geomorfologica. Per completare il processo fotogrammetrico, è stato generato l'ortofotomosaico utile nella fase di fotointerpretazione archeologica e analisi geospaziale in ambiente GIS.

Rilievo aerofotogrammetrico del tempio ittita (Ed. II)

L'elaborazione fotogrammetrica dell'Ed. II in Agisoft Metashape ha richiesto la selezione di 112 fotogrammi al fine di ottenere una copertura ottimale della zona del tempio e un buon *overlap*.

I fotogrammi sono stati preliminarmente sottoposti al controllo qualitativo della nitidezza e contrasto e, successivamente, allineati per la generazione della *Sparse Cloud* (Fig. 4 a). Per l'allineamento delle immagini si è scelto un livello di accuratezza alto (*High*) ed è stata impostata l'opzione *Reference preselection*, considerando le coordinate X, Y e Z contenute nei *metadata* dei fotogrammi (EXIF) nel sistema di riferimento geografico WGS84 (EPSG: 4326). Tale procedura ha consentito di ottenere l'orientamento relativo del blocco fotogrammetrico (oltre a una prima approssimazione dell'orientamento assoluto). L'orientamento assoluto è stato ricavato mediante il posizionamento di 22 GCPs e 4 *Check Points* uniformemente distribuiti sulla superficie della scena e dalla cui ottimizzazione si è ottenuto un RMSE di 0,5 pix corrispondente a un'accuratezza di 2 cm al suolo. Tale risultato è stato giudicato positivamente in base a una scala media dei fotogrammi di 1:2'500 e un GSD (*Ground Sampling Distance*) di 8.53 mm/pix (Fig. 4 d). La nuvola di punti densa (*Dense Cloud*) è stata realizzata impostando un livello qualitativo alto (*High*) e un *Depth filtering* di tipo *Aggressive* al fine di eliminare tutti i punti erroneamente individuati dal software (*outliers*). Prima di procedere alla generazione del modello tridimensionale texturizzato e del DEM, la nuvola è stata ulteriormente pulita dai punti sparsi non considerati dal filtro *Aggressive* e sottoposta ad una classificazione in base a elementi fisici (suolo e vegetazione) e antropici (evidenze archeologiche) (Fig. 4 b-c).

Il modello tridimensionale è stato generato in formato *Mesh* con una struttura fatta di 82'015 poligoni, 41'270 vertici e una risoluzione della *texture* di 2'048 x 4 (Fig. 5 a-b). Il DEM (Fig. 5c) è stato calcolato sulla base della *Dense Cloud*

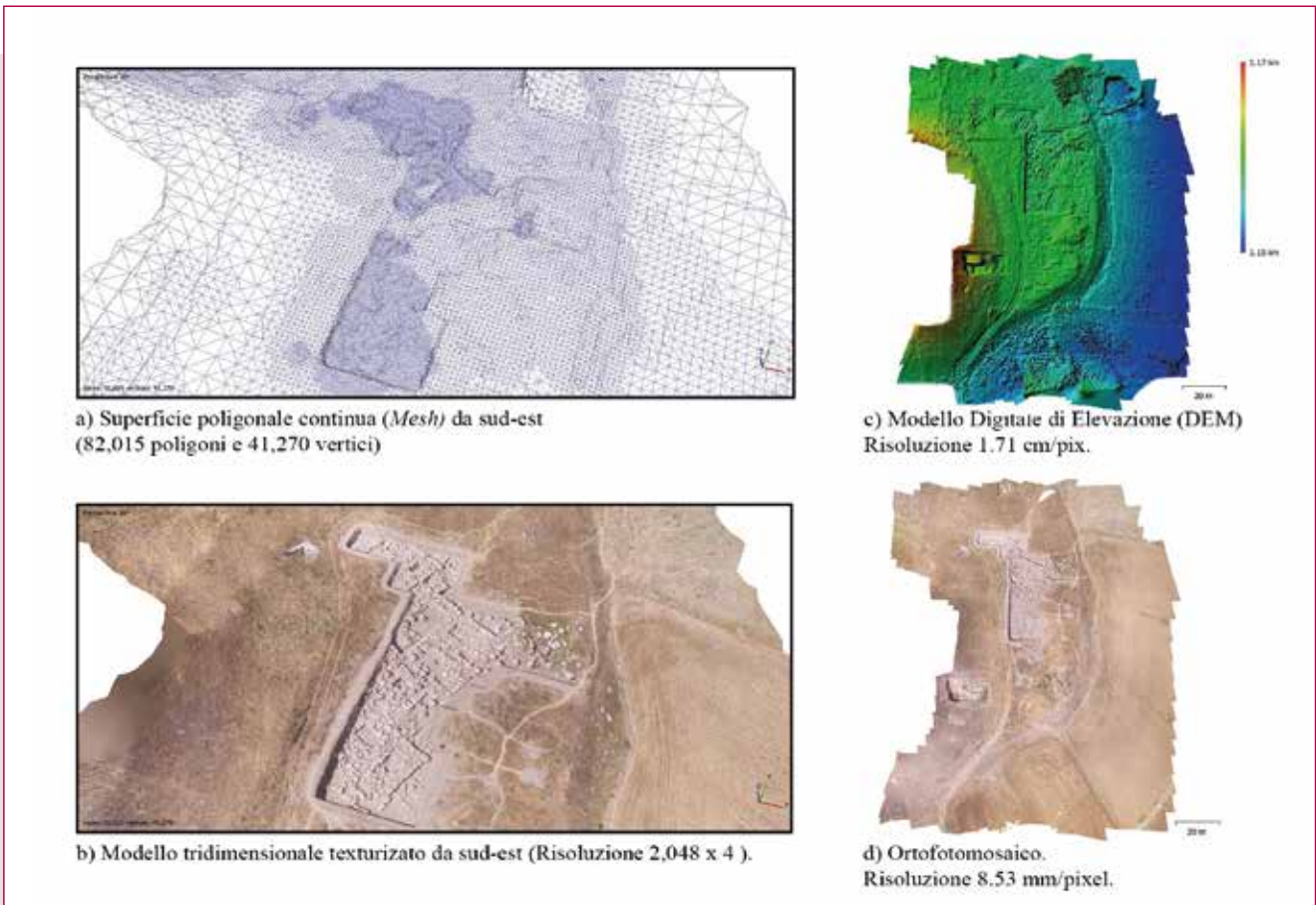


Fig. 5 - Area A, Ed. II: a) Mesh; b) Modello 3D texturizzato; c) DEM; d) Ortofotomosaico (Agisoft Metashape).

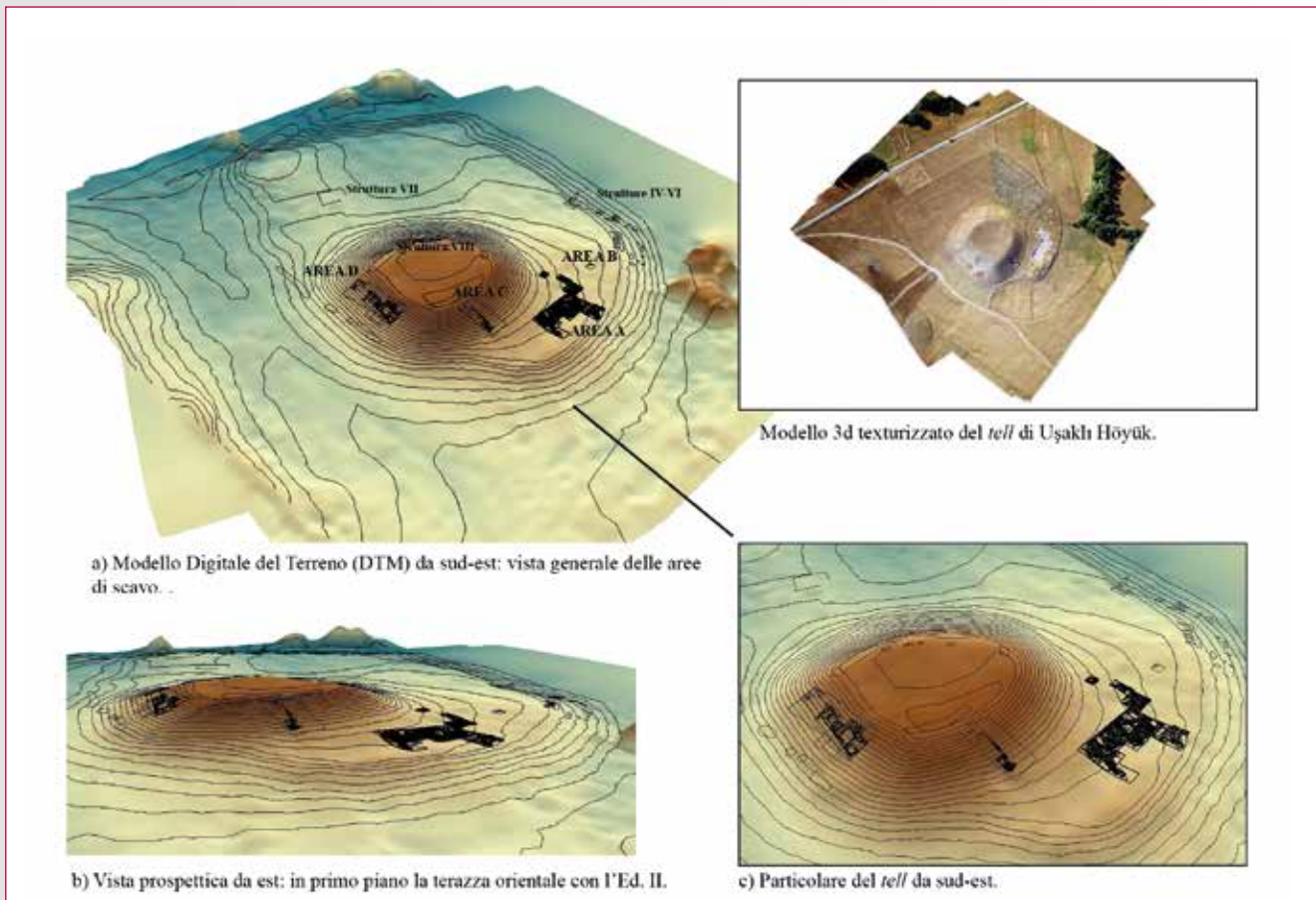


Fig. 6 - DTM dell'area geografica di Uşaklı Höyük e digitalizzazione degli elementi fisici e antropici (da ESRI ArcScene)

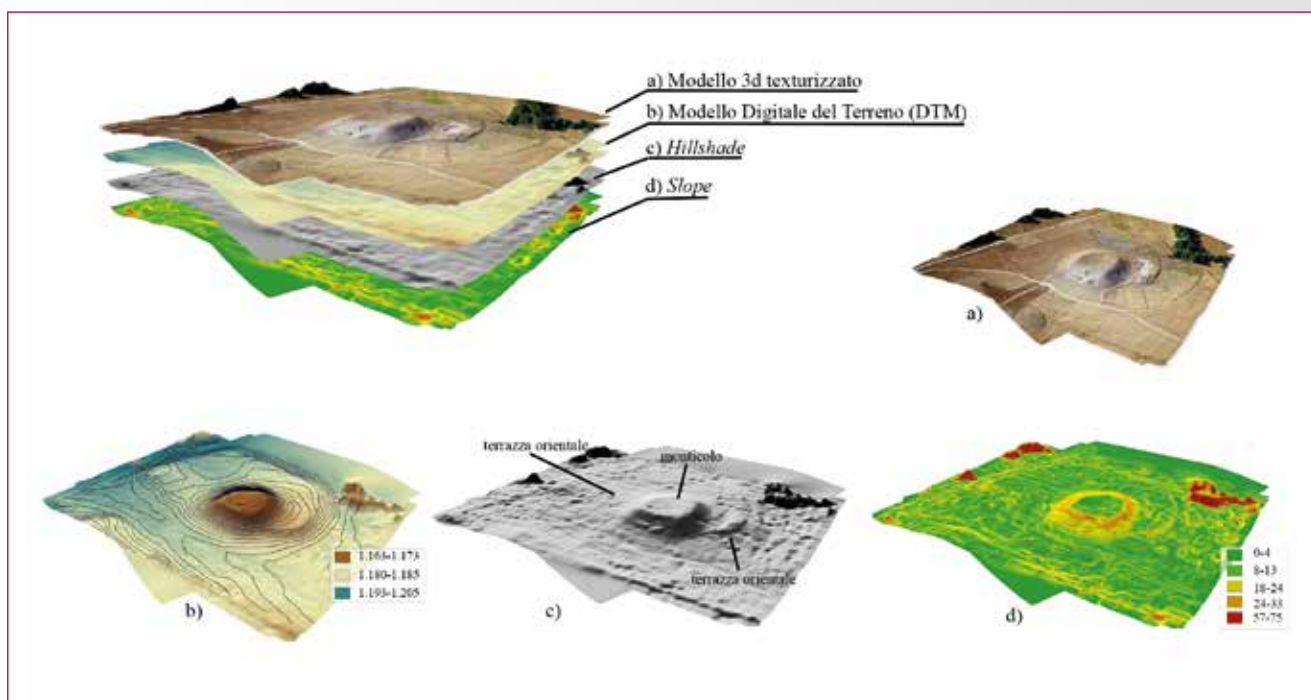


Fig. 7 - Analisi spaziali e geomorfologiche: a) Hillshade; b) Slope; c) Contour (ESRI ArcScene).

nel sistema di riferimento planimetrico del modello fotogrammetrico con una risoluzione di 1.71 cm/pix: l'opzione di interpolazione ha consentito di colmare le eventuali lacune di punti presenti nei dati sorgente (nuvola densa). Successivamente si è avviata la procedura di generazione dell'ortofotomosaico con una risoluzione spaziale di 8,53 mm/pix (Fig. 5d).

I prodotti ottenuti sono stati esportati e caricati in ESRI ArcGISPRO per la visualizzazione del modello tridimensionale del tempo. Infine, per una lettura più immediata delle Unità Stratigrafiche (US) documentate al momento dello scavo, sono stati importati nel programma gli *shapefiles* lineari creati in AutoCad e classificati in base alle rispettive caratteristiche tipologiche.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Ortofotocarta dell'höyük

L'ortofotomosaico dell'höyük è stato impiegato in ambiente GIS come base *raster* dei dati vettoriali relativi a tutte le evidenze archeologiche rinvenute dal 2013 al 2017, così da ottenere un'ortofotocarta comprendente: i) l'Area A pertinente al grande tempio ittita del Tardo Bronzo (Ed. II), ii) l'Area B con strutture di epoca romana (Ed. I), iii) l'Area C inerente ad una porzione del sistema difensivo dell'acropoli nell'Età del Ferro e, iv) l'Area D con i resti del palazzo ittita del Tardo Bronzo (Ed. III). Le strutture archeologiche non ancora scavate, ma note grazie alle indagini geofisiche condotte in precedenti campagne, sono state individuate e tracciate sulla carta mediante *shapefiles* lineari (Ed. IV-VIII) al fine di avere un'idea più precisa del contesto insediativo del sito in un così esteso arco temporale. La Fig. 6a mostra il DTM in vista prospettica da sud-est con evidenziate le aree di scavo.

L'analisi geomorfologica dell'area ha permesso di definire le caratteristiche del territorio in rapporto alle evidenze archeologiche: in particolare, sfruttando le informazioni delle altezze dei singoli punti nel DTM, è stato possibile ottenere l'illuminazione solare relativa (*Hillshade*), le pendenze

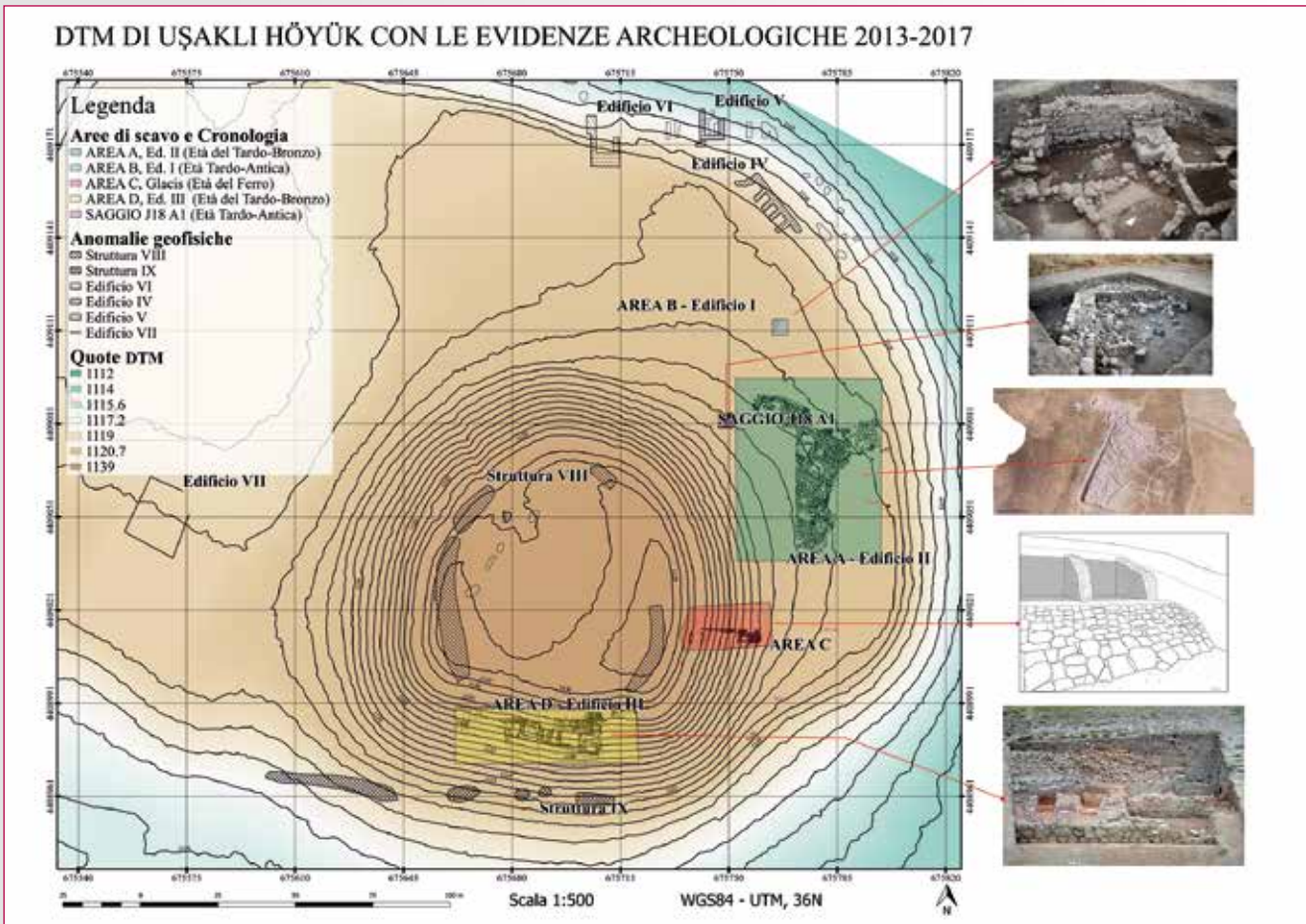
(*Slope*) e le curve di livello (*Contour lines*) del modello. L'*Hillshade* (dato ombreggiato) è stato creato allo scopo di enfatizzare gli elementi del microrilievo della terrazza e dell'höyük (Fig. 7c). Il modello ombreggiato mostra i lineamenti geomorfologici dell'höyük costituito da un monticolo troncoconico (30 m ca.) e da un'ampia terrazza visibile lungo i lati est, nord e ovest. La pendenza delle zone elevate è stata ottenuta mediante il calcolo dello *Slope* (Fig. 7d): è evidente come i pendii tendano ad essere più ripidi in corrispondenza del declivio del monticolo, dove i livelli di accumulo antropici sono più consistenti, e più attenuati in corrispondenza dei limiti della terrazza che digradano dolcemente verso la pianura.

Le curve di livello sono state calcolate con un'equidistanza di 1 m a partire dal DTM (*Digital Terrain Model*) dell'höyük (Fig. 7b).

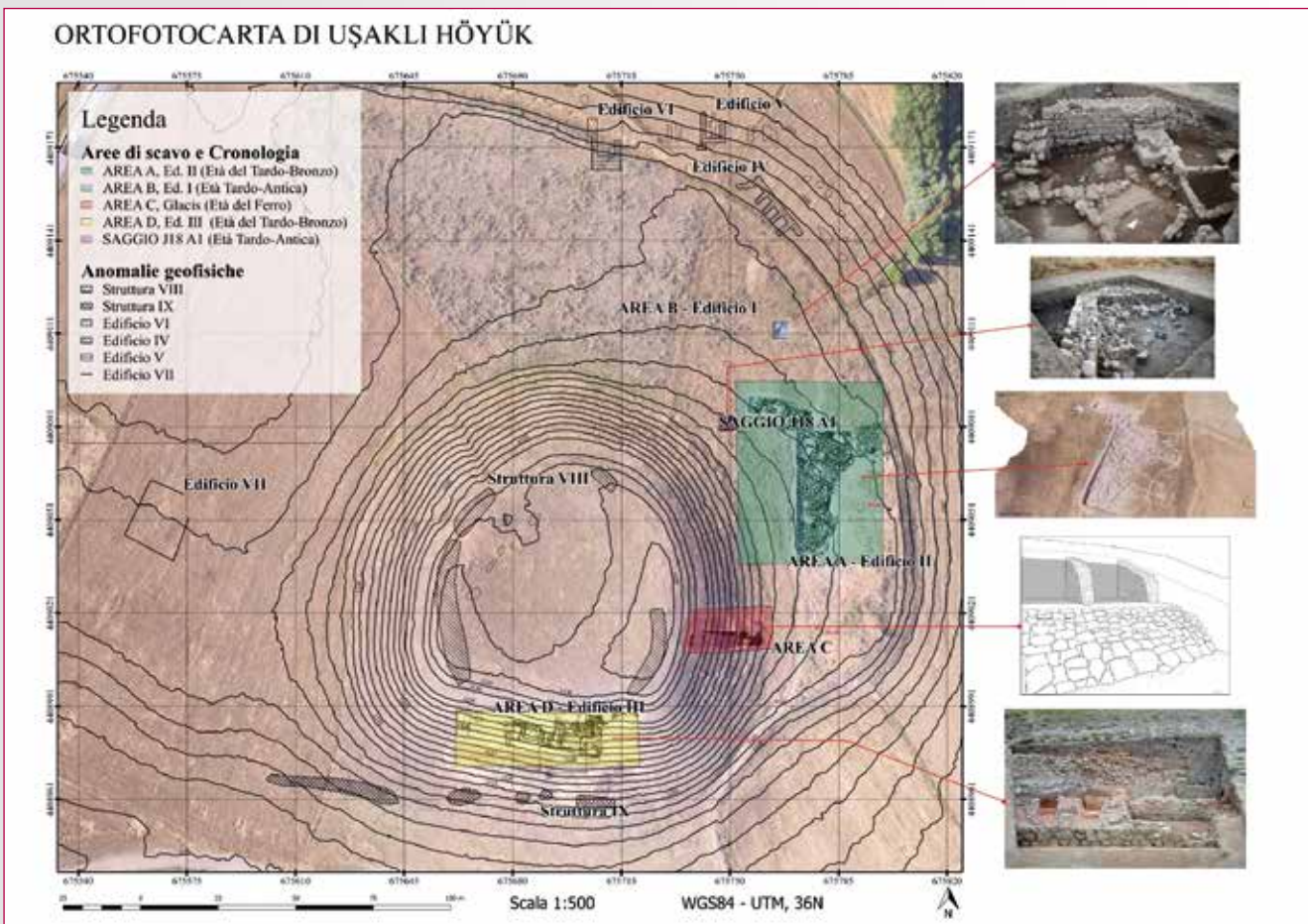
Complessivamente, si può notare un modello insediativo formato da tre settori (Tavv. i-ii). Un primo settore è occupato dalla terrazza orientale (città bassa) sede del tempio ittita (Ed. II) e di alcune strutture di periodo romano che in parte obliterano i resti più antichi (Ed. I). In corrispondenza del pendio nord-orientale della terrazza, si pongono gli Ed. IV e V, rilevati mediante indagine geofisica, che potrebbero aver costituito parte di un sistema di fortificazione con varchi d'accesso e strutture a casematte laterali da datare, sulla base dei reperti recuperati nell'area, tra la Media e la Tarda Età del Bronzo. Un secondo settore è costituito dalle pendici del monticolo con i resti delle fortificazioni dell'Età del Ferro che nel settore meridionale insistono sul palazzo del Tardo Bronzo (Ed. III). Un terzo settore, infine, è collocabile sulla sommità del monticolo (acropoli) con i resti di una struttura semicircolare (Str. VIII) di incerta attribuzione cronologica ma che, in base alla tecnica edilizia, potrebbe rimontare ad Età Tardo-Romana.

Modello tridimensionale e rilievo planimetrico del tempio ittita

Del tempio ittita è stato effettuato un accurato rilievo aerofotogrammetrico che ha permesso di ottenere un modello



Tav. i - DTM dell'höyük con evidenze archeologiche 2013-2017 (QGIS).

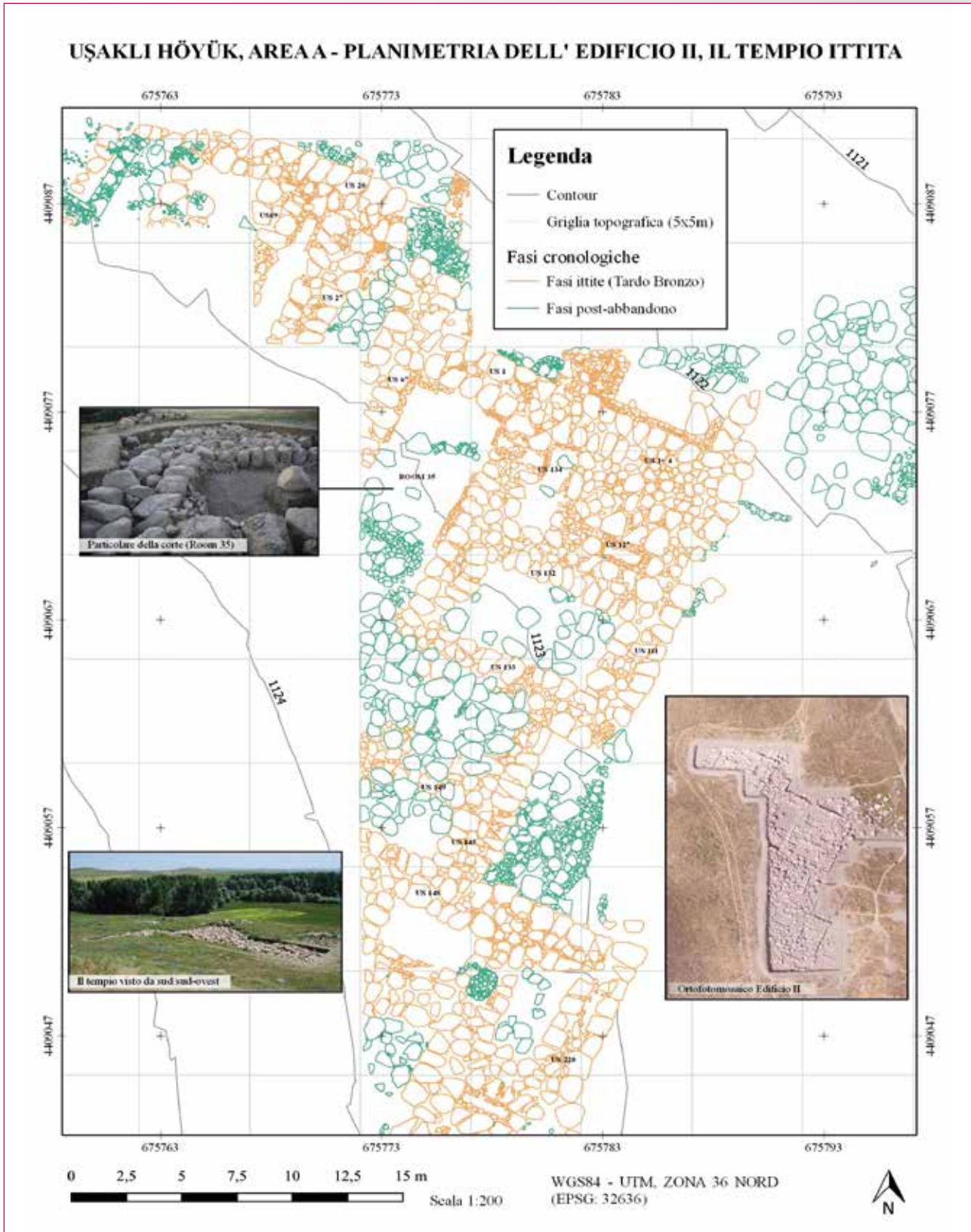


Tav. ii - Ortofotocarta di Uşaklı Höyük (QGIS).

tridimensionale e un rilievo planimetrico di dettaglio (Tav. iii). L'importazione dell'ortofotocarta e dei rispettivi elementi vettoriali in QGIS ha consentito di ottenere il rilievo planimetrico dell'edificio opportunamente editato mediante un layout di stampa con simbologia degli elementi archeologici noti. Dall'osservazione della pianta del tempio sono emerse una serie di informazioni utili per la comprensione delle

tecniche edilizie, la definizione degli spazi e l'interpretazione delle fasi costruttive dell'edificio.

L'edificio occupa un'area della terrazza orientale pari a 2'025 m² con una lunghezza di 45 m per lato e si articola in 16 ambienti racchiusi in poderose mura di massi in granito spesse più di 2 m. Da un punto di vista conservativo, il monumentale edificio consta delle sole fondazioni e parte degli



Tav. iii - Planimetria Area A, Ed. II: fasi cronologiche (QGIS); interpretazione dei resti architettonici basata sulle immagini fotografiche.

alzati murari giacché numerosi blocchi sono stati dilapidati e reimpiegati nella costruzione di edifici più tardi.

Di notevole interesse risulta la tecnica costruttiva impiegata nelle fondazioni ed evidenziata nel rilievo planimetrico: le possenti fondazioni in tecnica megalitica poggiano su sotto-fondazioni più o meno profonde costituite da vari corsi di pietre irregolari di media e piccola grandezza. Tali corsi sono ben visibili nella planimetria dell'edificio in quanto sporgono leggermente rispetto alla zoccolatura del muro sovrastante.

Da un punto di vista planimetrico, è possibile osservare un'articolazione dell'edificio in più unità architettoniche composte da ambienti di piccole e grandi dimensioni a pianta prevalentemente rettangolare. Di seguito si riportano gli elementi planimetrici più significativi: i) gli ambienti paralleli stretti e allungati rinvenuti nell'unità nord-occidentale sono interpretabili come magazzini; ii) nel corpo centrale sono visibili ambienti rettangolari di medie e grandi dimensioni che rappresenterebbero corti a cielo aperto, secondo una tipologia architettonica ben nota in tutte le infrastrutture palatine e templari del Vicino Oriente antico; iii) nell'unità nord-orientale sono stati rinvenuti blocchi quadrati di grandi dimensioni che farebbero pensare all'esistenza di una struttura turrita, un elemento non inverosimile in un edificio monumentale di questo tipo, sebbene le evidenze non consentano per ora una lettura univoca. All'interno dell'edificio sono stati rinvenuti i resti di strutture irregolari più tarde edificate in una fase in cui l'edificio era stato dismesso. Pertanto, sono state definite due fasi cronologiche: una prima fase di epoca ittita della Tarda Età del Bronzo, a cui risale l'edificio templare, e una fase di rioccupazione post-abbandono di Età Tardo-Antica.

CONCLUSIONI

Quanto emerso dal presente lavoro ha consentito di valutare molto positivamente l'impiego della fotogrammetria digitale nel caso di studio trattato. Si è potuto constatare come l'integrazione dei dati topografico-fotogrammetrici di acquisizione, elaborazione e analisi territoriale (GIS) abbia permesso di ottenere i risultati prefissati inerenti al sito archeologico di Uşaklı Höyük. In particolare, di notevole utilità è risultata la generazione dell'ortofoto dell'höyük, dalla quale è derivata un'ortofotocarta in scala 1:500, che ha aiutato a geolocalizzare e visualizzare tutti i dati archeologici vettoriali rilevati dal 2013 ad oggi (Aree A, B, C e D). La risoluzione di 10,5 cm/pix dell'ortofotomosaico e le opportune analisi geomorfologiche effettuate sul DTM hanno permesso di apprezzare in maniera soddisfacente i risultati rendendo palesi forma, dimensione e distribuzione degli edifici, sia lungo le pendici del monticolo dell'höyük (Aree C-D) sia sulla terrazza orientale (Aree A-B). In tal modo, è stato possibile visualizzare, in un unico ambiente di lavoro, i dati relativi ai vari assetti insediativi documentati a Uşaklı Höyük nel lungo arco cronologico, dalle fasi di occupazione ittite e frigie (II-I millennio a.C.) alla Tarda-Antichità.

La necessità di poter disporre di un valido strumento di supporto e conoscenza della totalità dei dati di interesse archeologico ha reso indispensabile la creazione di un *geodatabase* che consentisse di organizzare, analizzare e interpretare i dati di scavo al fine di ottenere importanti informazioni circa la cronologia, la destinazione d'uso degli ambienti e le modalità di esecuzione tecnica delle strutture. Non meno significativa, in tal senso, si è rivelato l'accurato rilievo aerofotogrammetrico effettuato sul monumentale Ed. II, il tempio ittita risalente al Tardo-Bronzo (II mill. a.C.). Grazie all'elevata accuratezza metrica del prodotto finale (2 cm/pix) è stato possibile ricavare importanti informazioni riguardanti la planimetria generale della struttura, l'arti-

colazione e la distribuzione dei singoli ambienti, le misure planimetriche degli spazi e dei resti murari, ecc. Un progetto GIS così concepito, oltre che essere una fonte preziosa di conoscenza e analisi, vuole fungere da opportuno strumento di intervento e pianifica di nuovi scavi archeologici.

BIBLIOGRAFIA

- D'Agostino, A. & Orsi, V. (2015), *The Archaeological Survey: Methods and Materials*, in Mazzoni, S. & Pecchioli Daddi, F. (eds), *The Uşaklı Höyük Survey Project (2008-2012) - A final report*, (Studia Asiana 10): 35-190.
- Gallup, D.; Frahm J.-M.; Mordohai, P.; Yang, Q.; Pollefeys, M. (2007). *Real-Time Plane-Sweeping Stereo with Multiple Sweeping Directions*. In Proceedings of the 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, MN, USA, 17-22 June 2007: 1-8.
- Goesele, M.; Snavely, N.; Curless, B.; Hoppe, H.; Seitz, S.M. (2007). *Multi-view stereo for community photo collections*. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Minneapolis, MN, USA, 17-22 June 2007.
- Jancosek, M.; Shekhovtsov, A.; Pajdla, T. (2009). *Scalable multiview stereo*. In Proceedings of the IEEE Workshop on 3D Digital Imaging and Modeling, Kyoto, Japan, 27 September 2009: 8.
- Mazzoni, S. & Pecchioli Daddi, F. (2015), *The Uşaklı Höyük Survey Project (2008-2012) - A final report*, (Studia Asiana 10).
- Mazzoni, S. (2015), *Uşaklı Höyük and its Hinterland the 2008-2012 Survey*, in Mazzoni, S. & Pecchioli Daddi, F. (eds), *The Uşaklı Höyük Survey Project (2008-2012) - A final report*, (Studia Asiana 10): 1-12.
- Mazzoni, S. D'Agostino, A.; Orsi, V. (2017), *New Results from the Excavations Seasons 2016 at Uşaklı Höyük (Yozgat)*, «Kazi Sonuçları Toplantısı» 3. Cilt, 39: 69-82.
- Mazzoni, S.; D'Agostino, A.; Orsi, V. (2019), *Exploring a site in the North Central Anatolian Plateau: Archaeological Research at Uşaklı Höyük (2013-2015)*, «Asia Anterior Antica - Journal of Ancient Near Eastern Cultures», 1 (1): 57-142.
- Spetsakis, M.; Aloimonos, J.Y. (1991), *A multi-frame approach to visual motion perception*. Int. J. Comput. Vis. 1991, 6, 245-255.
- Summers, G.D., M.E.F.; Ahmet, K. (1995), *The Regional Survey at Kerkenes Dağ: an Interim Report on the Seasons of 1993 and 1994*, «Anatolian Studies», 45: 43-68.
- Yıldırım, O.; Salgın, O.; Bakıcı, S. (2011), *The Turkish CORS Network (TUSAGA-Aktif)*, TS03G - GNSS CORS Networks Case Studies (Flash): 1-17.

NOTE

- 1 Le immagini e le planimetrie presenti nel seguente articolo sono parte dell'archivio dell'Uşaklı Höyük Archaeological Project (UHAP).
- 2 <http://usaklihoeyuk.org/>
- 3 <http://www.geotecnologie.unisi.it/>
- 4 Le prime ricerche recenti a Uşaklı Höyük sono state condotte nell'ambito del *Kerkenes Project* di G.D. e M.E.F. Summers e K. Ahmet (1995) tra il 1993 e il 1994 (<https://sciences.ucf.edu/>).
- 5 Le attività sul sito di Uşaklı Höyük hanno riguardato approfondite prospezioni archeologiche, 2008-2012 (D'Agostino & Orsi 2015), geofisiche, 2008-2011 (Mazzoni 2015) e scavi, 2013 ad oggi (Mazzoni et al. 2019) al fine di documentare l'assetto storico e insediativo dell'höyük.

ABSTRACT

This paper examines the use of digital photogrammetry and terrain data management within GIS applied to Archaeology, i.e. the study and reconstruction of the settlement layout of Uşaklı Höyük (Central Anatolia, Turkey) during the Hittite period, through 3D surveys and geo-spatial analyses.

Thanks to the data acquisition and processing using algorithms software, i.e. Structure for Motion and Multi-view stereo, it was possible to create high-resolution photogrammetric products and cartographic maps valuable for interpreting and further examining archaeological evidence collected during excavations. These products include: i) Digital Elevation Models (DEM), ii) 3D textured models, iii) aerial photogrammetric survey of the Hittite temple (Building II) at a scale of 1:200 and, iv) the orthophoto map of the höyük at a scale of 1:500.

PAROLE CHIAVE

FOTOGRAMMETRIA DA DRONE; MODELLAZIONE 3D; GIS; CARTOGRAFIA ARCHEOLOGICA

AUTORE

DOTT. VINCENZO REGINE

VINCENZOREGINE1990@GMAIL.COM

CENTRO DI GEOTECNOLOGIE (CGT), AREZZO