

Utilizzo di una stereocoppia GeoEye-1 per la realizzazione della cartografia geologica e topografica del sito archeologico di Kuşaklı Höyük (Yozgat-Turchia)

Riccardo Salvini (*), Maria Cristina Salvi (*), Alice Cartocci (*), Eleonora Magnani(*), Stefania Mazzoni (**)

(*), Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra e Centro di Geotecnologie, Via Vetri Vecchi 34
52027 San Giovanni Valdarno, Arezzo. Tel 055 9119441, Fax 055 9119439, salvinir@unisi.it

(**) Università di Firenze, Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Piazza Brunelleschi, 3-4
50121 Firenze. Tel. 055 2757841, Fax 055 2757872, stefania.mazzoni@unifi.it

Riassunto

L'Anatolia centrale rappresenta un giacimento che ancora offre grandi possibilità di scoperta per l'ittitologia in particolare, ma per la ricerca archeologica in generale con siti, quali quello di Kuşaklı Höyük attestati ma ancora da scavare. L'utilizzo di nuove tecnologie quali la fotogrammetria satellitare di elevata risoluzione ha permesso di apportare un contributo notevole allo studio della ricostruzione geomorfologica e storico-archeologica dell'area. Grazie all'utilizzo di immagini stereoscopiche GeoEye-1 e a due campagne di rilevamento dati GPS e geologici è stato possibile ottenere carte topografico-archeologiche e geologico-geomorfologiche del sito in scala 1:10.000. Inoltre è stato prodotto il Modello Digitale di Elevazione (DEM) di elevato dettaglio dalla cui analisi sono in corso le ricostruzioni degli antichi paesaggi e dei possibili percorsi di viabilità in un'area appartenente al nucleo centrale dell'impero ittita. Tecniche di Remote Sensing sono invece state applicate all'immagine GeoEye-1 ortocorretta per l'analisi, mediante tecniche automatiche e di fotointerpretazione, di possibili antiche strutture sepolte. La vestizione grafica e l'allestimento per la stampa della cartografia sono stati effettuati secondo normative nazionali standard e in accordo con le più recenti regole cartografiche di rappresentazione e generalizzazione. La mappa costituisce un utile strumento per la salvaguardia dei diversi siti di importanza archeologica presenti in un'area vasta circa 100 Km².

Abstract

Central Anatolia represents a big resource for archaeology from III millennium till Chalcolithic period, with particular importance for Hittite's history. Some archaeological sites, as Kuşaklı Höyük, well known from sources, are not yet excavated. To reach the aim of a geomorphologic and historical-archaeological reconstruction of the area, advanced technologies such as the satellite photogrammetry have been utilized. The use of GeoEye-1 stereoscopic images and two GPS and archaeological surveys allowed the creation of the new topographical-archaeological and geologic-geomorphologic maps of the area at a scale of 1:10,000. A detailed Digital Elevation Model (DEM) has been created, allowing ancient landscape reconstruction and ancient paths networks analyses in a very important area of Hittites empire. Remote sensing techniques have been applied to the orthorectified GeoEye-1 image for the individualization of buried remains through automatic and photointerpretation techniques. The cartographic preparation and the setting for printing have been carried out in accordance with standard national rules and recent international guidelines for representation and generalization. This map will constitute an useful tool for the preservation of several archaeological sites spread over a 100 km² area.

Introduzione

Situata circa 270 km a est di Ankara, nel massiccio centrale anatolico, Kuşaklı Höyük (Fig. 1), data la sua posizione strategica, l'entità dei materiali ritrovati in fase di survey, il valore storico ad essi attribuito e la varietà delle situazioni archeologiche presenti nelle sue diverse fasi, costituisce un complesso di grande valore scientifico (Mazzoni et al., 2010).

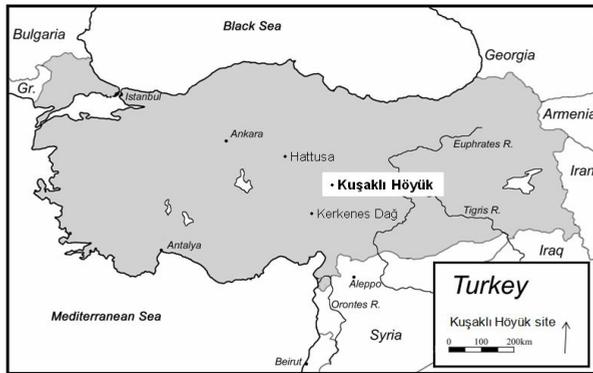


Figura 1 – Localizzazione dell'area di studio.

Hushakli Höyük è un Tell (Fig. 2 - tipica collinetta artificiale che caratterizza i siti archeologici del Vicino Oriente Antico, risultato dell'accumulo e della seguente erosione di materiali depositati dall'occupazione umana) dalla tipica forma troncoconica, con una altezza di circa 30 m, nel quale non sono state ancora avviate procedure di scavo archeologico. Durante la prima survey effettuata nel 1993-1994 (Summers, 1995) e nel corso delle tre missioni di Survey realizzate dal 2008 al 2010 dal Dipartimento di Scienze dell'Antichità "G. Pasquali" dell'Università degli Studi di Firenze, sono stati rinvenuti sul Tell reperti databili ad un arco cronologico che va dal II millennio a.C. al I millennio d.C. con un momento di maggior fioritura nel periodo Ittita (Mazzoni et al. 2010). La collinetta artificiale, analogamente ad altri siti vicino orientali anatolici, è costituita dai sedimenti delle frequentazioni antropiche di circa 3500 anni di insediamento. Sulla base della posizione geografica e della distanza del Tell rispetto alla capitale ittita Hattusa ed al sito culturale di Kerkenes Dağ, è stata proposta una possibile identificazione del sito con l'antica Zippalanda (Gurney, 1995), luogo di culto anticamente caratterizzato per la presenza di strutture templari.

La zona di interesse è situata nell'Anatolia Centrale, un vasto altopiano collocato ad un'altitudine di oltre 1000 m, risultante dalla collisione tra l'Eurasia e la placca Arabo-Africana, che cominciò più di 100 milioni di anni fa con la chiusura dell'antico oceano tetidico. La collisione creò catene montuose e vallate e allo stesso tempo produsse attività vulcanica e intrusioni di rocce granitiche. I movimenti delle placche produssero numerose faglie che delimitarono aree di grandi dimensioni. L'Anatolia Centrale si trova lungo il sistema Alpino-Himalayano. Ad est e sud-est di Ankara si estende il Complesso Cristallino dell'Anatolia Centrale (Central Anatolian Crystalline Complex) o CACC (Erler e Göncüoğlu, 1996), un assemblaggio di rocce magmatiche, metamorfiche e ofioliti altamente fratturate dalla continua deformazione dal Cretaceo Superiore (Dirik e Göncüoğlu, 1996). I sistemi di faglie e giunti, con direzione NE-SO e NO-SE, caratterizzano l'intera regione. Lungo il margine settentrionale del complesso, il batolite di Yozgat, composto prevalentemente da rocce granitiche, è quello che con la sub-unità nord-est denominata "Granitoidi di Kerkenes" copre la parte meridionale dell'area di studio. I granitoidi sono a loro volta sormontati dalle vulcaniti, dal materiale clastico e dai carbonati eocenici. Più a Nord, le rocce clastiche del Neogene sono le più recenti coperture della regione, maggiormente rappresentate da arenarie, marne, conglomerati e breccie. Le quote più alte dell'area sono a Nord-Ovest di Islegen (circa 1300 m), mentre il più basso punto misurato è a Nord-Ovest di Babali (1146m). Il sito di Uşaklı Höyük si trova all'interno delle

rocce eoceniche ai margini dei depositi fluviali di un piccolo bacino di drenaggio di in uno dei principali fiumi che scorre in direzione ONO-ESE. Obiettivo del seguente lavoro e' la produzione di cartografia geologico-geomorfologica e topografica, comprensiva di DEM, in scala 1:10.000 che, integrata con i risultati della survey e delle indagini geofisiche effettuate sulle pendici del Tell, risulta essenziale per un sito ancora da scavare ai fini dell'analisi degli antichi paesaggi e dei possibili percorsi di viabilità e dell'interpretazione di antiche strutture sepolte (Piccarreta e Cerando, 2000; Campana e Forte, 2001).



Figura 2 – Il sito di Kuşaklı Höyük, sulla destra in evidenza il tell.

Descrizione del lavoro

Il presente lavoro, svolto a partire dall'Agosto 2009, ha riguardato la raccolta di dati geologici e topografici necessari all'orientamento esterno di una stereocoppia satellitare GeoEye-1 di tipo *PanSharpened* con lo scopo di studiare il sito in relazione al sistema geomorfologico dell'area. In particolare sono stati misurati mediante tecnica GPS differenziale circa 130 GCP in un'area di 100 Km² in modalità RTK con riferimento a otto postazioni fisse appositamente materializzate all'interno dell'area di concessione archeologica. Una nona base di riferimento è stata realizzata all'interno della missione archeologica di Kerkenes Kazi Evi presso Sahnuratli. Le basi sono state ciclicamente misurate in modalità statica per un minimo di 6 ore e successivamente post-processate rispetto a punti trigonometrici di coordinate note appartenenti alla rete GPS della missione archeologica di Kerkenes e acquistati presso l'Harita Genel Komutanligi – Jeodezi Dairesi Baskanligi (Mapping Agency) di Ankara. Quest'ultimi però hanno mostrato un errore elevato a causa di probabili manomissioni dovute alla posizione degli stessi in aree coinvolte da intensa attività agricola. Sono stati pertanto utilizzati nel fasi di *post-processing* solo i punti noti del sito archeologico di Kerkenes (Atalan-Çayirezmez et al., 2008).

I punti necessari all'orientamento sono stati individuati in modo da essere uniformemente distribuiti nell'area di interesse e collocati in zone ben riconoscibili sulle immagini (spigoli di tetti, fonti di abbeveraggio, ecc.). La strumentazione utilizzata per il rilievo DGPS è consistita in un ricevitore *LeicaTM SR530*, due ricevitori *LeicaTM 1200*.

Oltre ai punti di interesse topografico, sono stati rilevati anche quelli che fornissero informazioni di carattere archeologico e geologico, per un totale di oltre trecento misurazioni; i dati sono stati proiettati nel sistema di riferimento UTM-WGS84 zona 36N.

L'orientamento esterno delle scene satellitari è stato effettuato mediante il software *Leica GeoSystems Erdas Imagine 2010*. Oltre ai GCP sono stati utilizzati punti di legame al fine di migliorare la qualità dell'orientamento relativo e favorire la successiva visione stereoscopica. L'orientamento è stato effettuato mediante *Rational Function Refinement* (Fraser *et al.*, 2006; Jacobsen, 2002) con correzione polinomiale di primo ordine. Considerata la risoluzione spaziale delle immagini GeoEye-1 (0,51 metri), l' RMSE ottenuto dalla triangolazione, pari a 0.4 pixel, e' stato giudicato positivamente. La triangolazione aerea ha permesso di rendere le immagini georiferite, osservabili in stereoscopia e di passare alla fase di restituzione necessaria alla creazione della carta topografica e geologica. Grazie agli algoritmi di autocorrelazione tra *pixel*, è stato inoltre creato il DEM preliminare della zona; la regolarità morfologica dell'altopiano e l'assenza di vegetazione arborea e di centri abitati di grande estensioni hanno consentito di produrre un DEM di buona qualità che successivamente è stato comunque editato in stereoscopia e collaudato. Per le operazioni di restituzione satellitare è stato utilizzato il Modulo StereoAnalyst in modalità di visualizzazione passiva, organizzando i dati secondo le regole dei DB topografici. Il geodatabase è stato strutturato in accordo con la normativa tecnica elaborata dal Gruppo di Lavoro Nazionale "DB Topografici d'interesse generale", operante nel contesto dell'Intesa Stato Regioni ed Enti Locali (IntesaGIS) secondo gli standard elaborati dall'ISO/TC 211. La creazione del geodatabase, la vestizione grafica e l'allestimento per la stampa della carta topografica e della relativa ortofotocarta, ottenuta utilizzando l'ortoimmagine prodotta (Fig. 3), sono stati effettuati con il software ESRITM ArcGIS.

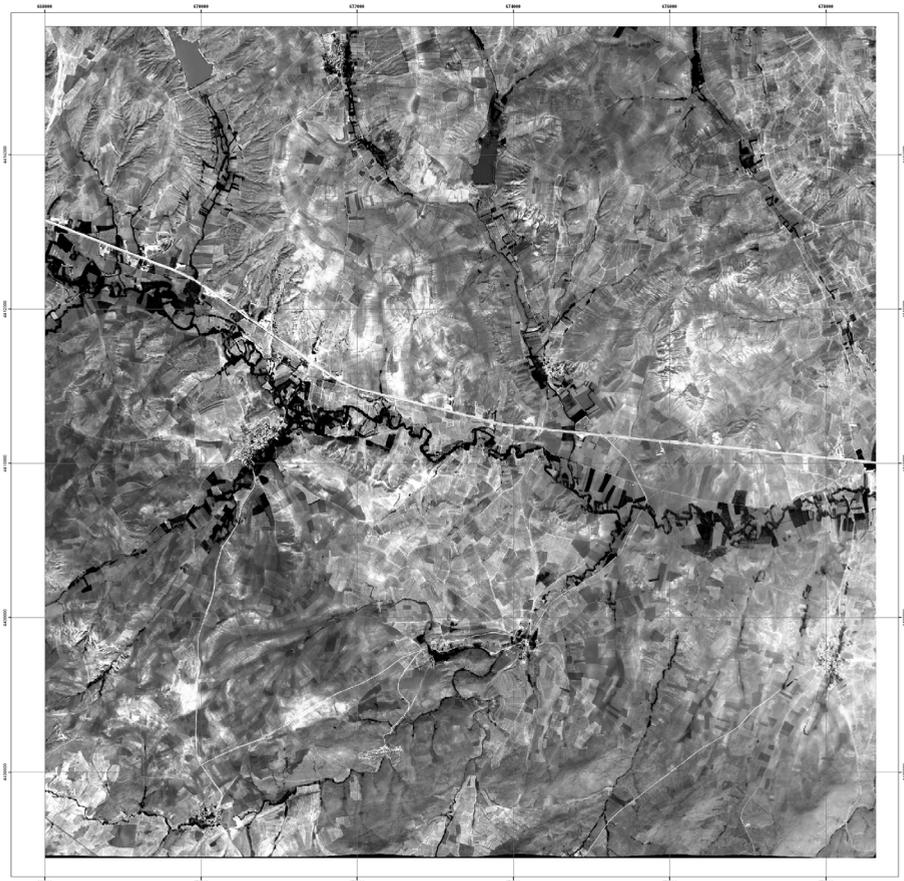


Figura 3 – Ortoimmagine dell'area archeologica di Kuşaklı Höyük.

Per l'attribuzione del simbolismo agli elementi topografici contenuti nelle carte e delle relative dimensioni (taglia, spessore, spaziatura, ecc.), si è fatto riferimento alle Normative della Regione Toscana (2007) riguardanti i contenuti grafici ed i codici per la produzione di cartografia numerica a scala 1:5.000 / 1:10.000, livello 3 Versione 3.5; si è inoltre tenuto conto dei limiti di rappresentazione e delle regole cartografiche di rappresentazione e generalizzazione di Slocum et al. (2005) e della *Swiss Society of Cartography* (2005). Per l'attribuzione dei colori agli elementi topografici si è fatto riferimento ai cromatismi pantone utilizzati per la cartografia nazionale.

Terminata la stereorestituzione, i dati di elevazione e morfologici sono serviti per creare il DEM definitivo con risoluzione spaziale pari a 10 m, utile anche per la produzione delle ortoimmagini.

Durante le due survey (2009 e 2010) sono stati inoltre misurati oltre 150 punti di rilevamento per la creazione della carta geologica dell'area. La cartografia è stata prodotta a partire da questi, dalla stereorestituzione e da carte geologiche a piccola scala già esistenti. Inoltre, per favorire l'interpretazione geologica si è proceduto all'elaborazione dell'ortoimmagine attraverso la tecnica di miglioramento spettrale con la Trasformazione delle Componenti Principali.

Conclusioni

La carta topografico-archeologica prodotta rappresenta uno strumento di tutela e salvaguardia per il giacimento archeologico, nonché di pianificazione e sviluppo territoriale dell'area in particolare per le missioni archeologiche autorizzate dal ministero della cultura turco con concessione di scavo.

Dal punto di vista scientifico è da rimarcare come l'informazione topografica derivi da scene satellitari stereoscopiche; negli ultimi anni l'alta risoluzione spaziale raggiunta dai sensori di telerilevamento ha fatto sì che, per la produzione di carte a medio-grande scala, la fotogrammetria satellitare venga considerata una valida alternativa a quella aerea, mantenendo soddisfacenti caratteristiche geometriche e radiometriche, e garantendo accuratezza posizionale accettabile (Dial e Grodecki, 2003; Sperti e Galanti, 2006; Holland, 2006). Si aggiunga a questo che, considerati gli elevati costi di gestione di una survey archeologica, e la difficoltà di reperire mappe topografiche aggiornate di grande scala, le tecniche di fotogrammetria satellitare consentono, con costi molto contenuti, di fornire strumenti di alta definizione per l'analisi del paesaggio e la gestione delle informazioni topografiche e geologiche utili alla ricerca archeologica.

Dal punto di vista archeologico, basandosi sui dati multispettrali delle immagini, sul DEM creato e sul geodatabase, la carta topografica costituisce un elemento di ricerca essenziale. Visualizzando in un unico ambiente di lavoro tutti i dati archeologici e quelli di tipo geologico-geomorfologico, ciascuna informazione può essere analizzata in rapporto alle caratteristiche paleo-geografiche del territorio. I dati così ottenuti potranno essere ulteriormente elaborati, mediante specifici sistemi per proporre uno o più modelli, sincronici e diacronici, di frequentazione antropica. Inoltre, sulla base dei risultati acquisiti con la *locational analysis*, potrà essere avanzata un'ipotesi che, partendo dalle variabili territoriali analizzate, possa predire la localizzazione di nuovi insediamenti non ancora individuati, e ricostruire l'organizzazione del territorio da parte delle popolazioni occupanti l'area dal terzo millennio a.C. al V secolo d.C..

Questo strumento potrà inoltre orientare nuove ricerche di superficie e favorire il processo di conservazione e salvaguardia di questo inestimabile patrimonio di informazioni (Clevis *et al.*, 2006; Wheatley and Gillings, 2002).

Bibliografia

- Atalan-Çayirezmez N., Ertepinar-Kaymakci P. e Summers G.D. (2008), "Remote sensing at Kerkenes: Combining geophysical and other methods", *Earth Sciences*, 29, 87-100.
- Campana S., Forte M. (2001), Remote sensing in archaeology. XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia. Certosa di Pontignano (Siena, 6-11 Dicembre 1999), *Edizioni all'Insegna del Giglio*, Firenze, pp. 373.

- Clevis Q., Tucker G.E., Lock G., Lancaster S.T., Gasparini N., Desitter A., Bras R.L. (2006), "Geoarchaeological simulation of meandering river deposits and settlement distributions: A three-dimensional approach", *Geoarchaeology* 21: 843–874.
- Dial G., Grodecki J. (2003), "Applications of Ikonos Imagery", *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference Proceedings*, Anchorage, Alaska.
- Dirik K. e Göncüoğlu M.C. (1996), "Neotectonic characteristics of Central Anatolia", *International Geology Review*, 38: 807–817.
- Erler A. e Göncüoğlu M.C. (1996), "Geologic and tectonic setting of the Yozgat batholith, Northern Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey", *International Geology Review*, 38: 714-726.
- Fraser C.S., Dial G., Grodecki J. (2006), "Sensor orientation via RCPs", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60: 182–194.
- Gurney O. R. (1995), "The Hittite Names of Kerkenes Dağ and Kuşaklı Höyük", *Anatolian Studies* XLV, 69-71.
- Holland D.A., Boyd D.S., Marshall P. (2006), "Updating topographic mapping in Great Britain using imagery from high-resolution satellite sensors", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60: 212–223.
- Jacobsen K. (2002), "Mapping with IKONOS images", In: *T. Benes Geoinformation for European-wide Integration*, Prague June 2002, 149–156
- Mazzoni S., D'Agostino A., Orsi V. (2010), "Survey of the Archaeological Landscape of Usakli / Kusakli Höyük (Yozgat)", *Anatolica*, 36: 111-163.
- Piccarreta F., Cerando G. (2000), "Manuale di aerofotografia archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni", Edipuglia, Bari, pp. 218.
- Slocum Terry A., McMaster R.B., Kessler F.C., Howard H.H. (2005), *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, 2nd edition, Pearson Prentice Hall. pp. 201-212
- Sperti, M., Galanti R., (2006), "Su una procedura di restituzione a partire da una stereocoppia IKONOS 2", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 4: 229-243.
- Summers G.D., Summers M.E.F. and Ahmet K. (1995), "The Regional Survey at Kerkenes Dağ: an Interim Report on the Seasons of 1993 and 1994", *Anatolian Studies*, 45: 43-68.
- Swiss Society of Cartography (2005), "Topographic Maps – Map Graphics and Generalization", *Cartographic Publication Series No.17*, 3-7, pp. 14-37.
- Wheatley D. W., Gillings, M. (2002), "Spatial Technology and Archaeology: The archaeological applications of GIS", London: Taylor & Francis.