

UTILIZZO DI STEREOCOPPIE IKONOS II PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTA TOPOGRAFICA DEL SITO ARCHEOLOGICO DI MELKA KUNTURE (ETIOPIA)

Riccardo SALVINI, Federico BONACCINI, Maria Cristina SALVI

(*) 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

Riassunto

Melka Kunture costituisce uno dei principali siti preistorici dell'Africa orientale: all'interno del progetto Cultura 2000 "*From the past to the present in Ethiopian Prehistory. An Interactive Museum for the Archaeological Park of the Early Palaeolithic site of Melka Kunture*", l'utilizzo di nuove tecnologie quali la fotogrammetria satellitare ha permesso di apportare un contributo notevole allo studio della ricostruzione storico-archeologica dell'area.

Grazie all'utilizzo di immagini stereoscopiche IKONOS II e ad una campagna di rilevamento dati DGPS è stato possibile ottenere una carta topografico-archeologica del sito preistorico in scala 1:10.000. La vestizione grafica e l'allestimento per la stampa 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

Melka Kunture represents one of the most important prehistoric archaeological site recently preserved by the Culture 2000 project titled "From the past to the present in Ethiopian Prehistory. An Interactive Museum for the Archaeological Park of the Early Palaeolithic site of Melka Kunture". To achieve this aim, advanced technologies such as the satellite photogrammetry have been utilized.

The use of IKONOS II stereoscopic images and ground control points from a DGPS survey, allowed the creation of the new topographical-archaeological map at a scale of 1:10,000.

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 50 km a sud di Addis Abeba, nell'alta valle del fiume Awash, Melka Kunture (Figura 1), per l'estensione del sito, la sua lunga sequenza culturale da 1.7 a 0.2 milioni di anni, la molteplicità e la varietà delle situazioni archeologiche presenti nelle sue diverse fasi, costituisce un complesso di grande valore scientifico (Chaivallon e Piperno, 2004).

Melka Kunture è un giacimento di vallata con terrazzi sovrapposti, i cui sedimenti sono conservati per oltre 100 m complessivi di spessore. Nella sua lunga sequenza, gli apporti fluviali sono stati spesso interrotti da eruzioni vulcaniche i cui prodotti costituiscono essenziali punti di riferimento e di raccordo stratigrafico tra i vari affioramenti nelle diverse località del giacimento. Degli oltre 80 livelli archeologici finora individuati, circa 30 sono stati oggetto di scavi più o meno estensivi. Gli scavi di vaste superfici hanno permesso di mettere in luce da 50 a 250 m² per ciascun giacimento e di raccogliere, in ognuno dei livelli archeologici, diverse migliaia di manufatti litici e resti

faunistici. In alcuni di questi siti sono stati anche scoperti resti umani attribuiti sia a *Homo erectus* sia a forme arcaiche di *Homo sapiens* (Bulgarelli e Piperno, 2000; Berthelet et al., 2001).

La conoscenza della topografia relativa ad un sito archeologico così esteso ed importante, integrata con i risultati degli scavi e la componente geologica, risulta quindi essenziale ai fini dell'analisi e dell'interpretazione dell'area di studio (Piccarreta e Cerando, 2000; Campana e Forte, 2001).

A tale scopo per il sito di Melka Kunture, in questo lavoro, è stato realizzato un Sistema Informativo Geografico (GIS) costituito da diversi strati informativi riconducibili essenzialmente agli aspetti archeologici, geologici e topografici. L'informazione topografica utilizzata come riferimento all'interno del geodatabase deriva, come detto, 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, soprattutto per i Paesi in via di sviluppo, il risparmio economico rispetto alla produzione di foto aeree che, quand'anche disponibili, sono datate e presentano scala inadeguata per applicazioni archeologiche di scavo (Jacobsen et al., 2008).



Figura 1 - Localizzazione dell'area di studio

Descrizione del lavoro

La carta topografico-archeologica di Melka Kunture è stata realizzata utilizzando due stereocoppie di immagini satellitari IKONOS II del tipo *Standard Stereo 1m Pansharpened*, che coprono in totale un'area vasta circa 100 km². Pur essendo il prodotto distribuito assieme ai *Rational Polynomial Coefficients*, utili per l'orientamento esterno, l'accuratezza geometrica garantita è molto bassa (RMSE -*Root Mean Square Error*- circa 12 metri in planimetria e 13 metri in altimetria); per questo motivo, con l'obiettivo di creare una topografia in scala 1:10.000, è stata condotta una campagna DGPS necessaria alla misura di *Ground Control Points* (GCP) da utilizzare nelle fasi di orientamento e triangolazione aerea (Kraus, 1993). Per tal motivo i punti sono stati individuati in modo da essere uniformemente distribuiti nell'area di interesse e collocati in zone ben riconoscibili sulle immagini (spigoli di tetti in lamiera, recinti di *tukul*, ecc.). La strumentazione utilizzata per il rilievo DGPS è consistita in due ricevitori *LeicaTM SR530*, un ricevitore *LeicaTM 1200* ed un ricevitore *LeicaTM GS20*. Per poter garantire un'elevata accuratezza e contemporaneamente tempi di acquisizione compatibili con il periodo di svolgimento della missione, le misure sono state registrate sia in modalità differenziale statica che in modalità *Real Time Kinematic* (RTK) (Leica Geosystems, 2003). La modalità statica, che consente elevata precisione anche su lunghe distanze (fino ad alcune decine di km) con tempi di acquisizione piuttosto lunghi, è stata utilizzata per misurare la stazione di triangolazione BNP 267 le cui coordinate sono state rese note dal *Mapping Agency* di Addis Abeba mediante fornitura della relativa monografia; contemporaneamente ad essa, sono state materializzate e misurate ulteriori nove basi di nuova generazione dislocate uniformemente nell'area di studio.

Tutti gli altri punti GPS sono stati acquisiti in modalità RTK, utilizzando come riferimento le nove basi precedentemente misurate, in modo tale che, tramite *Radio Modem*, il calcolo delle coordinate avvenisse correttamente in tempo reale, permettendo tempi di osservazione di pochi minuti e rapidi spostamenti.

Oltre ai punti di interesse topografico, sono stati rilevati anche quelli che fornivano informazioni di carattere archeologico e geologico, per un totale di 171 misurazioni.

Secondo la convenzione cartografica etiope, i dati rilevati sono stati convertiti dal sistema geografico primario WGS84 in coordinate cartografiche piane riferite al sistema assoluto *UTM*, sferoide *Clarke 1880*, datum *Adindan*, zona 37 N.

L'orientamento esterno delle scene satellitari è stato effettuato utilizzando le terne di coordinate relative ai GCP rilevati durante la missione. Tutte le operazioni fotogrammetriche sono state eseguite mediante il software *Leica GeoSystems Erdas Imagine 9.1*. Oltre ai GCP sono stati utilizzati punti di legame al fine di migliorare la qualità dell'orientamento e favorire la successiva visione stereoscopica. Dato il formato d'origine *Standard* delle scene, l'orientamento è stato effettuato mediante *Rational Function Refinement* (Fraser *et al.*, 2006; Jacobsen, 2002) con ordine polinomiale di secondo livello. Data la risoluzione spaziale delle immagini IKONOS II corrispondente a 1 metro, l'RMSE ottenuto dalla triangolazione, pari a 0.25 e 0.6 pixel per le due stereocoppie, è stato ritenuto soddisfacente (le due coppie di scene IKONOS II sono state orientate separatamente e non in un unico blocco a causa del *sidelap* insufficiente).

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. Grazie agli algoritmi di autocorrelazione tra *pixel*, è stato inoltre creato un Modello Digitale di Elevazione (DEM) preliminare della zona; la regolarità morfologica dell'area e l'assenza di vegetazione arborea e di centri abitati di grande estensioni hanno consentito di produrre un DEM di buona qualità (se confrontato con l'unica topografia inizialmente disponibile in scala 1:50.000) 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; sono stati creati due *Feature Project* contenenti i *blockfile* relativi alle stereocoppie. Al loro interno sono state create diverse *feature classes* rappresentanti la rete viaria, la rete idrografica e gli edifici. Le curve di livello e i punti quotati provengono invece da fasi precedenti: le prime derivano dalle operazioni di estrazione automatica successive alla creazione del DEM, mentre i punti quotati corrispondono ai *Tie points* dell'orientamento esterno a seguito delle operazioni di triangolazione aerea. Per l'attribuzione dei codici alle varie *feature classes* si è fatto riferimento, pur con necessari adattamenti alla realtà etiope, alle Normative della Regione Toscana (2007) riguardanti la produzione di cartografia numerica a scala 1:5.000/1:10.000 (lev.3 v.3.5), essendo inesistente una normativa etiope in scala a così gran dettaglio.

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.

Nella fase di analisi dei dati in ambiente GIS, si è proceduto all'importazione delle *feature classes* all'interno di un *personal geodatabase*, al loro editing ed alla creazione della banca dati di uso del suolo con riferimento alla Nomenclatura CORINE Land Cover di 3° livello con approfondimenti, qualora possibile, grazie all'alta risoluzione delle immagini, fino al 4° livello. L'unità minima da interpretare ha corrisposto ad una superficie di almeno 1 ettaro. Per gli elementi lineari, infrastrutture e corsi d'acqua, l'unità minima è stata pari a 20 m di larghezza e 250 m di lunghezza, ad eccezione di infrastrutture che obbligatoriamente dovessero essere presenti (es. strade).

La vestizione grafica e l'allestimento per la stampa della carta topografica (Figura 2) e della relativa ortofotocarta ottenuta utilizzando le ortoimmagini prodotte, sono stati effettuati all'interno del Modulo ArcMap del software ESRITM ArcGIS. Per l'attribuzione del simbolismo agli elementi topografici contenuti nelle due 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).

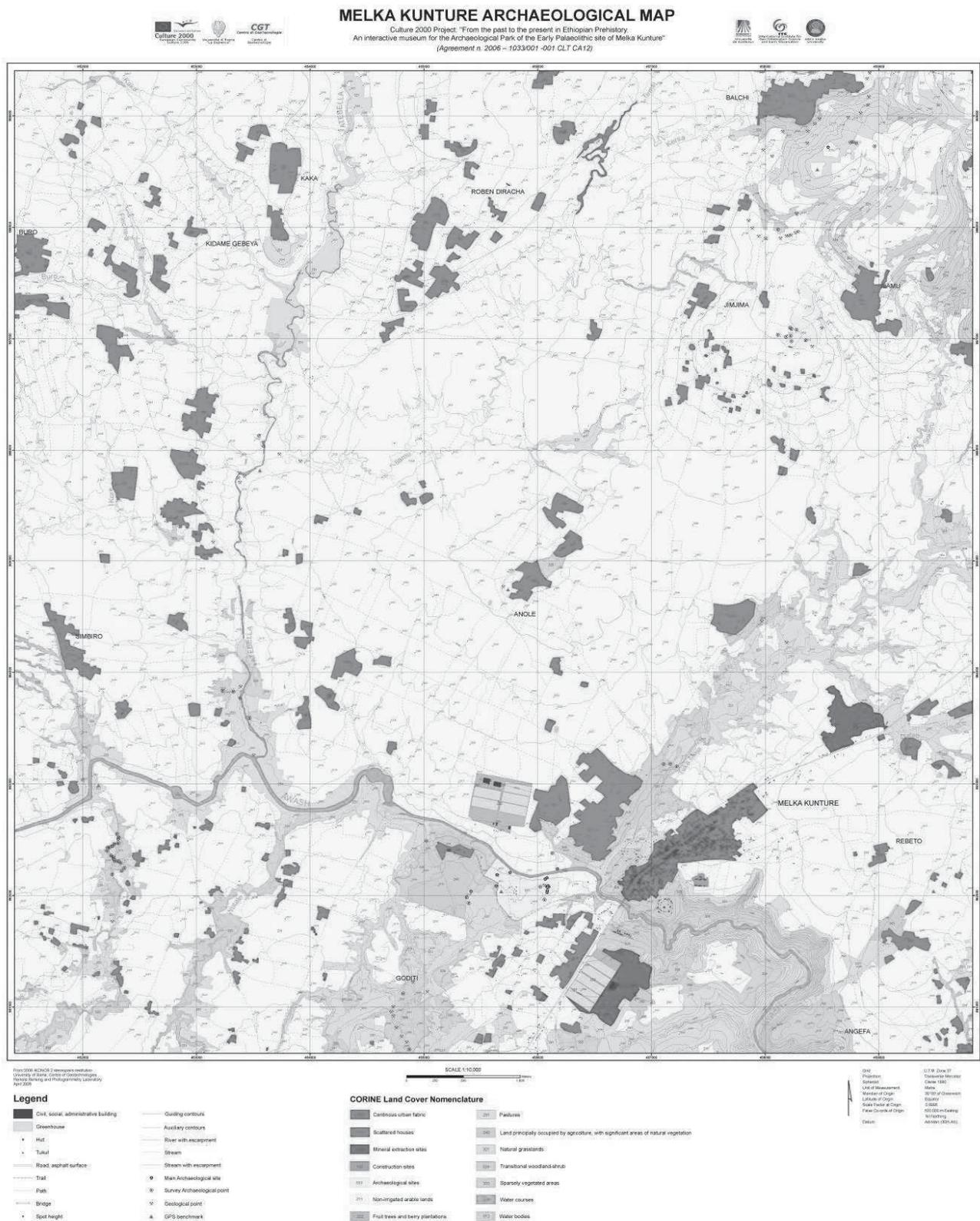


Figura 2 - Carta archeologica di Melka Kunture – base topografica in scala 1:10.000

Per l'attribuzione dei colori agli elementi topografici si è fatto riferimento ai cromatismi pantone utilizzati per la cartografia nazionale, mentre per i poligoni di uso del suolo si è utilizzata la codifica cromatica ufficiale proposta dal Progetto Corine Land Cover (2000).

Conclusioni

La carta topografico-archeologica di Melka Kunture rappresenta uno strumento di tutela e salvaguardia per il giacimento archeologico, nonché di pianificazione e sviluppo territoriale dell'area, tenuto conto dei cambiamenti di uso del suolo verificati dagli Autori in altri lavori (Salvini et al., 2008).

Relativamente al suo valore storico archeologico, la carta verrà consegnata all'*Ethiopian Archaeological Centre*, che grazie a tale documentazione potrà proporre il Parco Archeologico di Melka Kunture come Patrimonio Mondiale dell'Umanità presso l'UNESCO. Tale operazione contribuirà anche a promuovere il nascere di un circuito turistico, apportando benefici economici in un'area in cui prevale ancora un'economia di sussistenza.

Dal punto di vista scientifico archeologico, basandosi sui dati multispettrali delle immagini, sul DEM creato e sul GIS, la carta topografica costituisce un elemento di ricerca essenziale. Visualizzando in un unico ambiente di lavoro tutti i dati archeologici e quelli di tipo paleo-ambientale, ciascuna informazione può essere analizzata in rapporto alle caratteristiche paleo-geografiche del territorio. I dati così ottenuti potranno essere ulteriormente elaborati, mediante specifici *software*, 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, orientando in tal modo nuove ricerche di superficie e favorendo il processo di conservazione e salvaguardia di questo inestimabile patrimonio di informazioni (Clevis et al., 2006; Wheatley and Gillings, 2002).

Bibliografia

- Berthelet A., Bulgarelli G.M., Chavaillon J., Piperno M. (2001), *Melka Kunture. La Guida*, Finiguerra Arti Grafiche, Lavello, 32 schede.
- Bulgarelli G.M., Piperno M. (2000), *Melka Kunture. La Guida*, Finiguerra Arti Grafiche, Lavello, pp. 37.
- 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.
- Chavaillon J., Piperno M. (2004), *Studies on the Early Paleolithic site of Melka Kunture, Ethiopia, Vol. I e II*. Finiguerra Arti Grafiche, Lavello, pp.745.
- 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.
- Fraser C.S., Dial G., Grodecki J. (2006), "Sensor orientation via RCPS". *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60: 182–194.
- 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
- Jacobsen K., Büyüksalih G., Baz I. (2008), "Mapping from space for developing countries", *EARSel Workshop Remote Sensing - New Challenges of High Resolution. Bochum*.
- Kraus K. (1993), *Photogrammetry, Volume I, Fundamental and Standard Processes*, Dümmlers Verlag, Bonn, pp. 397.
- Leica Geosystems (2003), *Il sistema GPS: applicazioni e sviluppi nel rilievo del territorio*, Maggioli, Rimini, pp. 227.

- Piccarreta F., Cerando G. (2000), *Manuale di aerofotografia archeologica. Metodologia, tecniche e applicazioni*, Edipuglia, Bari, pp. 218.
- Regione Toscana (2007), *Tavola dei contenuti grafici e codici per la cartografia numerica a scala 1:5000 / 1: 10000, livello 3 Versione 3.5*. Giunta Regionale. Dipartimento delle Politiche territoriali ed ambientali. Area SIT – Cartografia.
- Salvini R., Salvi M.C., Cartocci A., Kozciak S., Gallotti R., Piperno M. (2008), “Multitemporal study of obsidian exploitation from Melka Kunture (Ethiopia) through digital aerial photogrammetry and multispectral stereo-IKONOS II”, *1st EARSeL Workshop on "Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management"*, Rome.
- 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.
- 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.