

## IMPIEGO DEL DIFFERENTIAL GLOBAL POSITIONING SYSTEM (DGPS) PER LO STUDIO DEL PAESAGGIO ANTICO: ALCUNI ESEMPI RAPPRESENTATIVI

### 1. INTRODUZIONE

La ricostruzione del paesaggio antico è un obiettivo fondamentale della moderna ricerca topografica che può essere realizzato soltanto nell'ambito di collaborazioni tra esperti di diversi ambiti disciplinari, orientate ad un'accurata e completa acquisizione dei dati storici e ambientali. Inoltre, lo studio multidisciplinare del territorio è importante non solo per migliorare la conoscenza dei fenomeni insediativi del passato, ma anche per produrre carte archeologiche utili per la tutela dei monumenti e per la pianificazione territoriale.

L'integrazione di dati di diversa origine e natura relativi al paesaggio è stata notevolmente facilitata dallo sviluppo dei Sistemi Informativi Territoriali. Infatti, all'interno del GIS i vari oggetti del mondo fisico vengono indicati come elementi geometrici fondamentali, e cioè come linee (es. ferrovia, strada antica), punti (stazione, sito) e poligoni (lago, area di frammenti); in tale strutturazione la gestione delle mutue relazioni spaziali tra i diversi elementi, quali, ad esempio, la connessione, l'adiacenza, l'inclusione, viene definita "insieme topologico". Inoltre, la vera efficacia di un modello di dati GIS è determinata dalla possibilità di associare forme geometriche ad informazioni descrittive, inserendo nel sistema notazioni proprie dei singoli oggetti rappresentati, definite attributi. Le informazioni geometriche e descrittive, unitamente alle caratteristiche topologiche, vengono implementate in data base relazionali.

In questo contesto, assume molta importanza l'esatta georeferenziazione degli elementi, cioè la precisa collocazione degli oggetti nello spazio mediante l'attribuzione di coordinate reali. Il trattamento della cartografia esistente, base topografica sulla quale organizzare le informazioni relative al territorio, deve essere seguito dal rilievo diretto sul terreno dei processi relativi all'attività dell'uomo e ai fenomeni ambientali.

In questi ultimi anni, nell'ambito della ricerca storico-topografica si è diffuso l'impiego delle antenne satellitari GPS. Esse, infatti, offrendo un alto grado di precisione soprattutto se usate in modalità differenziale, non solo permettono di posizionare sul terreno ritrovamenti archeologici sparsi sul territorio anche a considerevole distanza, che verranno rappresentati nel GIS come punti, ma rendono possibile delimitare e rilevare aree di frammenti fittili con estrema facilità, restituendole in forma di poligoni.

In questo lavoro sono descritti alcuni casi di studio orientati all'individuazione di nuove procedure per la georeferenziazione degli elementi territoriali. Gli esempi citati sono relativi a siti archeologici che presentano notevoli differenze, da un lato per le caratteristiche geo-morfologiche, l'epoca storica, l'ambito culturale e le problematiche connesse, dall'altro lato per la scala d'indagine, i metodi ed il grado di approfondimento della ricerca archeologica su di essi effettuata.

Ogni sito indagato costituisce un modello rappresentativo di problemi specifici: a Colle Breccioso, nel Cicolano in Sabina, è stato realizzato il microrilievo tridimensionale della collina e delle strutture affioranti individuate nel corso della ricognizione di superficie; nel Parco Archeologico di Cuma l'utilizzo di tecniche integrate di rilievo ha permesso di restituire un'ampia porzione di territorio e di correlare diversi set di dati; sul sito di Wu'ayra, in Giordania, sono stati ricostruiti gli elementi principali di un'area archeologica in corso di scavo e sono state evidenziate, tramite l'analisi morfologica, possibilità di recupero e di fruizione dell'insediamento. Infine, il rilievo del tumulo di Poggio Gaiella a Chiusi è servito a documentare il processo di degrado di un monumento, soggetto a consistenti fenomeni d'erosione e di lavamento, in attesa delle necessarie opere di conservazione.

F.C., R.G.

## 2. RILIEVO DI DETTAGLIO DEL SITO ARCHEOLOGICO DI COLLE BRECCIOSO (BORGOROSE RI)

Il complesso antico oggetto della ricerca si sviluppa sulle pendici meridionali di Colle Breccioso (m 842 s.l.m.), nel comprensorio del Cicolano (ALMAGIÀ 1909), la regione posta ai margini orientali della Sabina (Lazio-Italia) che deve il suo nome agli abitatori d'epoca storica: gli Equicoli. Il colle si eleva tra la Piana di Corvaro e quella di Spedino e a pari distanza da due percorsi paralleli costituiti dalla Via Quinzia e da un ramo di questa strada che transitava per la Piana di Cordaro dirigendosi all'*ager albensis* (PIETRANGELI 1976; STAFFA 1987; REGGIANI 1988; VAN WONTERGHEM 1989; ALVINO 1996).

Sul sito, identificato nel corso di ricognizioni intensive, è visibile una struttura rettangolare in opera cementizia incassata nel leggero declivio, sovrastante una serie di bassi terrazzi che si intravedono, degradanti verso valle, delimitati da pochi blocchi squadrati in calcare (Fig. 1). Se la struttura rettangolare chiusa, per le tracce di cocciopesto e l'indicazione di un toponimo, può essere agevolmente identificata in una cisterna, difficile risulta la comprensione dell'area verso valle e del complesso in generale.

La collina di Breccioso è stata rilevata in dettaglio utilizzando un DGPS modello Leika SR510 a singola frequenza ed in modalità differenziale, con lo scopo di evidenziare le variazioni altimetriche del pendio collinare, probabilmente legate ad opere di terrazzamento (COLOSI, GABRIELLI, ROSE 2001).



Fig. 1 – Colle Breccioso. Sono visibili la cisterna e le strutture di terrazzamento.

I dati sono stati registrati in modalità cinematica, con l'antenna fissata ad un apposito zaino sulle spalle dell'operatore. Il ricevitore GPS, che registra in questo modo un punto topografico ogni 2 secondi, acquisisce un alto numero di dati in un tempo relativamente veloce, mantenendo un margine di errore compreso tra 2 o 3 cm. Tale margine, pienamente accettabile per la ricostruzione delle curve di livello e degli aspetti morfologici del territorio, risulta elevato per il posizionamento topografico delle strutture affioranti.

Per rispondere a quest'esigenza e per rilevare le aree coperte da vegetazione è stata utilizzata una Stazione Totale computerizzata; l'uso coordinato delle due strumentazioni ha permesso di effettuare il rilievo dell'intera collina di Breccioso nel corso di una giornata lavorativa, impegnando solamente tre unità di personale.

I dati acquisiti sono stati elaborati per realizzare il modello digitale della collina (Fig. 2) che evidenzia, con curve di livello parallele e molto ravvicinate, la presenza di brusche e non naturali variazioni nell'altimetria. Il fianco meridionale del rilievo, quindi, fu oggetto di interventi antropici che ne modificarono la morfologia, organizzando il pendio in una successione di ampie e basse terrazze contenute da muri in blocchi squadrate.

Sul DEM (Digital Elevation Model) della zona (Fig. 3) appaiono in falsi colori quattro livelli altimetrici interpretabili come terrazze artificiali. La fitta successione delle terrazze lungo un pendio di non forte declivio e di limitata estensione presuppone l'assenza di grandi spostamenti di terra e, quindi, di opere di sostruzione di particolare impegno. Esasperando il valore della Z,



Fig. 2 – Colle Breccioso. Modello tridimensionale della collina. In nero sono riportate le strutture archeologiche affioranti.

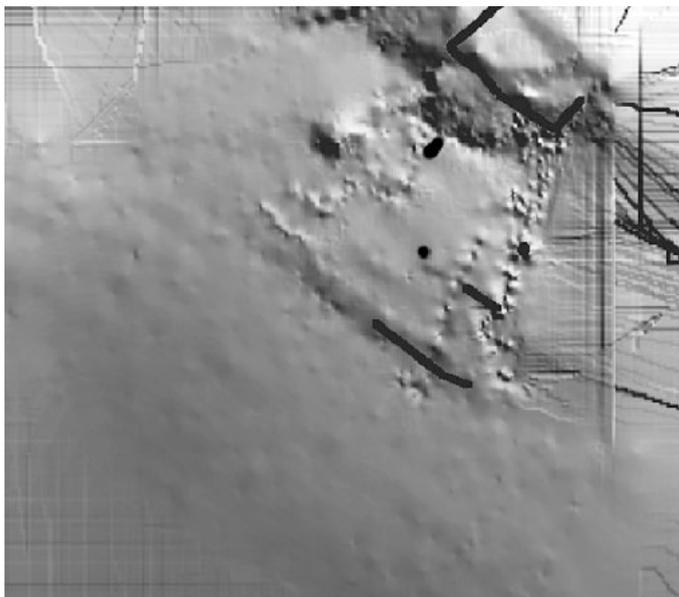


Fig. 3 – Colle Breccioso. DTM del sito in falsi colori. Il pendio è scandito da quattro livelli altimetrici.

è possibile cogliere la posizione quasi scenografica del complesso, adagiato sul fianco del colle ed affacciato sul pianoro sottostante; oggi il sito, sconvolto e degradato, nasconde e mortifica tale posizione rilevata e strettamente connessa alla morfologia del versante.

In conclusione, il rilievo tridimensionale della collina di Breccioso ha permesso di delimitare nella loro estensione le emergenze archeologiche affioranti sul sito e di evidenziarne il legame con la conformazione fisica del terreno, costituendo un utile strumento per pianificare interventi di tutela (ad esempio il vincolo dell'area) e per programmare le fasi dello scavo archeologico.

F.C., R.G., D.R.

### 3. INTEGRAZIONE DI DIVERSE METODOLOGIE D'INDAGINE PER LO STUDIO DELL'ANTICA CUMA

Il lavoro che qui si presenta è il frutto di una collaborazione tra l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC) del CNR e l'Istituto Universitario Orientale (IUO) di Napoli, nell'ambito del progetto "La carta dell'impatto archeologico nella pianificazione territoriale. Strumenti e modelli computazionali nell'analisi e nella gestione del patrimonio culturale della Regione Campania: GIS e Visualizzazione Scientifica".

Il progetto, coordinato dal Prof. Bruno d'Agostino, si inserisce in un vasto programma di indagini sulla colonia euboica, concentrato in particolare sul suo assetto urbanistico. A tal fine è stata avviata una ricerca integrata sul territorio che prevede l'apporto di studiosi di varie discipline impegnati nella revisione, nell'individuazione e nel posizionamento topografico dei dati archeologici, nonché nello studio dei rapporti esistenti tra l'insediamento antico e l'ambiente in cui si colloca (AA.VV. 2001).

In particolare, l'indagine condotta dall'ITABC ha previsto l'ubicazione delle emergenze visibili sul terreno relative alle fortificazioni della città antica e ad alcuni percorsi viari. Il rilievo di tali strutture ha presentato notevoli difficoltà, dovute, in primo luogo, alle forti variazioni altimetriche e alla presenza di una fitta copertura vegetale che ha reso difficoltoso l'accesso alle zone interessate e ne ha impedito la visibilità reciproca. Inoltre, l'intero circuito delle mura si snoda su un'area molto ampia e i singoli tratti sono, in alcuni casi, piuttosto distanti tra di loro.

Per ovviare a tali inconvenienti si è sperimentato l'utilizzo in modo combinato di un DGPS e di una stazione totale, destinando il primo alla risoluzione dei problemi specificatamente topografici, quali l'ancoraggio dei punti e la georeferenziazione degli elementi, e la seconda alla realizzazione di una pianta del profilo delle strutture emergenti.

Il rilievo dei singoli tratti murari conservati è stato eseguito con la stazione totale, posizionando lo strumento su un punto di riferimento chiamato base (Bi; i indica il numero delle basi effettuate) che coincide con l'origine di

un sistema di assi cartesiani xy, dove y non è necessariamente orientato a nord. Da Bi sono stati rilevati due punti (P1 e P2) esterni alla macchia della vegetazione, in aree idonee alla misurazione satellitare. Infatti, calcolando le coordinate di P1 e P2 con il GPS e, quindi, operando una matrice roto-transazionale, è stato possibile iso-orientare i vari sistemi locali secondo il sistema geografico Gauss-Boaga (Fig. 4). I punti GPS sono stati a loro volta riportati a due nodi della rete topografica IGM WGS 84 esistenti a meno di 20 km dal sito di Cuma e ad alcuni appoggi trigonometrici presenti in zona; tale aggancio assicura un margine di errore contenuto entro i 2 cm.

La seconda fase del lavoro ha comportato la creazione di un GIS dell'area archeologica, nel quale sono stati inseriti la carta fotogrammetrica della zona, il rilievo dei resti effettuato secondo le procedure sopra descritte, le coperture aeree dell'area, alcune importanti mappe storiche ottocentesche. Un prodotto del GIS è il DTM del territorio di Cuma (Tav. IVb); esso ha costituito la base su cui effettuare ulteriori elaborazioni e ricerche, come, ad esempio, il calcolo della pendenza dei versanti collinari o la valutazione delle quote altimetriche su cui correva la cinta muraria nelle varie epoche storiche. Con l'aiuto del DTM, ad esempio, è stato possibile evidenziare la presenza di più circuiti murari a quote differenti e la doppia funzione di terrazzamento e di fortificazione dei versanti delle alture svolta da alcuni tratti (COLOSI *et al.* 2000; COLOSI, D'ANDREA, GABRIELLI 2001).

Infine, sono state georeferenziate ed inserite nel SIT le mappe geofisiche relative alla zona compresa tra il foro e le fortificazioni settentrionali. Esse sono state correlate agli elementi topografici del territorio, alle informazioni desunte dalla cartografia storica e alle strutture archeologiche emerse dalle precedenti campagne di scavo. Tali elaborazioni hanno indirizzato la scelta delle aree su cui effettuare ricerche archeologiche di dettaglio e, viceversa, i dati emersi nel corso dello scavo hanno guidato successivi interventi geofisici mirati alla risoluzione di problemi specifici.

F.C., R.G.

#### 4. L'INCASTELLAMENTO CROCIATO NEI TERRITORI DELLA SIGNORIA DI TRANSGIORDANIA: L'INSEDIAMENTO DI AL-WU'AYRA (PETRA, GIORDANIA)

La ricerca sul sito archeologico di al-Wu'ayra si svolge nell'ambito di una collaborazione tra l'ITABC e il Dipartimento di Studi Storici e Geografici dell'Università di Firenze ed è orientata ad analizzare le caratteristiche dell'incastramento crociato nei territori della Signoria di Trasgiordania nel secolo XII<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Il responsabile del progetto è il Professor Guido Vannini dell'Università di Firenze; i rilievi e le elaborazioni che si presentano in questa sede sono stati eseguiti in collaborazione con il Dott. A. D'Andrea dell'Istituto Universitario Orientale di Napoli.

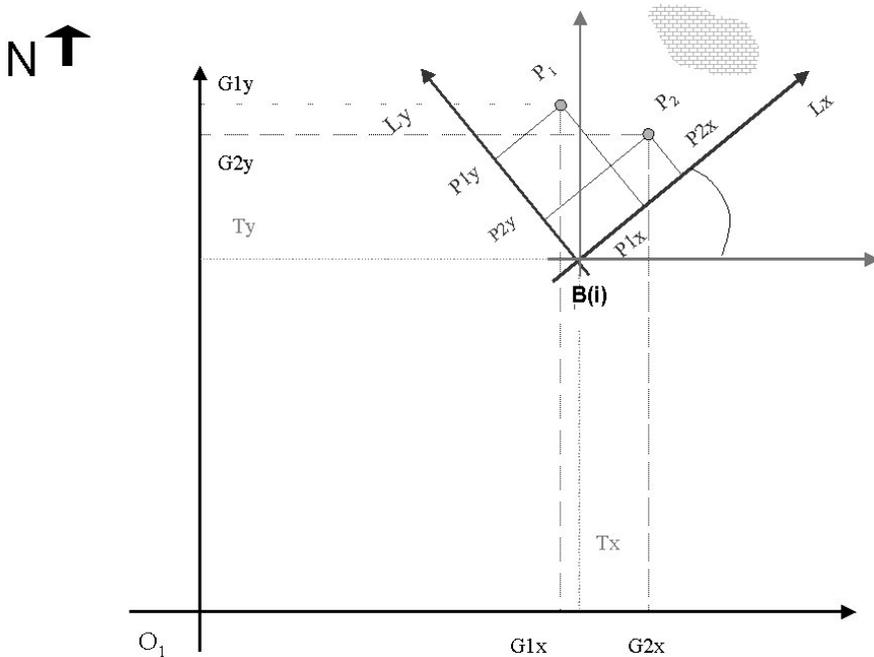


Fig. 4 – Cuma. Lo schema illustra la procedura seguita nel rilievo delle strutture murarie.

In questo contesto il sito di Petra, antica capitale dei Nabatei, aveva un ruolo centrale nell'articolato sistema d'incastellamento feudale dell'intera valle (Fig. 5); un sistema disposto a protezione della "Strada dei Re" e che, di fatto, costituiva il primo apparato difensivo orientale del Regno Latino di Gerusalemme (BINI, BERTOCCI 1997).

Il complesso di fortificazioni della valle di Petra gravitava intorno al castello di al-Wu'ayra, dominante gli accessi all'antica valle; questo si è rivelato la chiave di lettura di tutto il sistema insediativo della zona, non solo per il periodo medievale. Il sistema fortificato crociato di al-Wu'ayra si compone di una doppia linea di difesa, all'interno della quale il cassero, nucleo centrale dell'impianto, sorge in posizione eccentrica verso est (Fig. 6). Il complesso della chiesa fortificata, cui si accede dal lato sud, si trova alla sommità di una rampa dove si è anche rinvenuta l'area cimiteriale crociata ed è posto a protezione dell'accesso alla principale cisterna d'acqua del sito (VANNINI, TONGHINI 1997).

I dati che si presentano in questa sede sull'insediamento di al-Wu'ayra sono preliminari a un programma di indagine più vasto che prevede la realizzazione di un GIS per l'organizzazione spaziale dei dati territoriali (morfologici, storici, archeologici e geofisici) e si avvale di tecniche innovative di microrilievo, sia per la creazione di scenari 3D, sia per la determinazione di mappe tematiche (pendenze, esposizioni solari ecc).

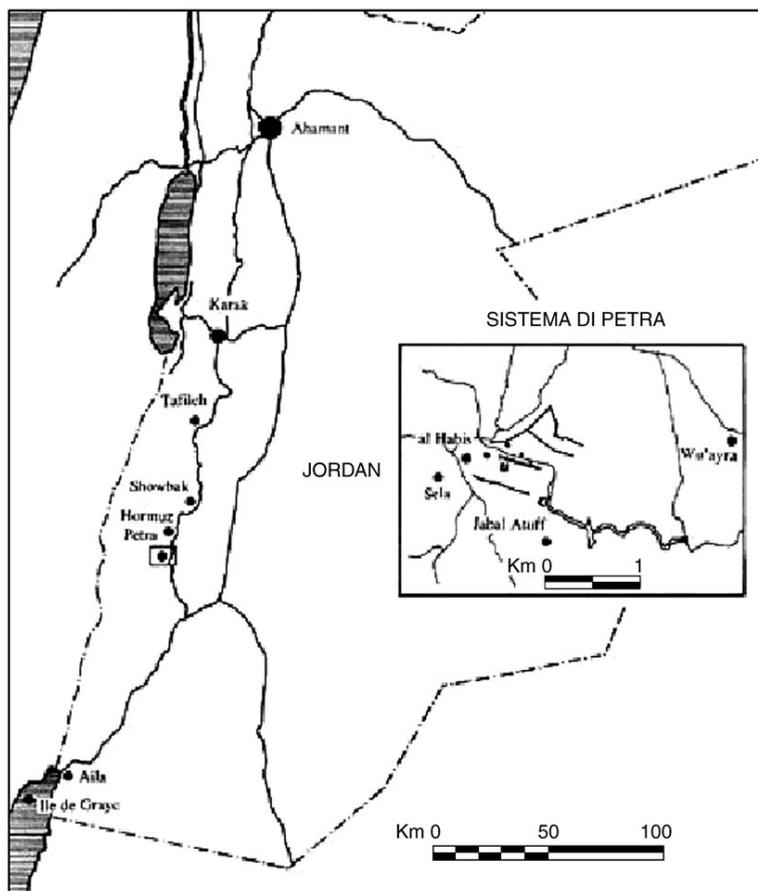


Fig. 5 – Petra (Giordania). Il sistema dell'incastellamento feudale.

Il territorio su cui insiste il sito è caratterizzato da una morfologia impervia e articolata che ha reso le operazioni di rilievo particolarmente complesse; inoltre, non esiste nessuna carta topografica ufficiale della zona su cui ancorare il rilievo della roccaforte. La mancanza di una base cartografica limita notevolmente le possibilità di indagine a scala territoriale offerte dal GIS, come, ad esempio, la ricostruzione dei profili altimetrici, molto utile per il riconoscimento dei percorsi antichi e per lo studio dei rapporti di visibilità tra i centri fortificati. Alcune elaborazioni in questo senso sono state tentate sui castelli meglio conosciuti di al-Wu'ayra, al-Shawbak e al-Habis, ma soltanto una accurata campagna di rilievo sul campo finalizzata all'acquisizione degli elementi principali della morfologia locale, potrà fornire dati significativi sul rapporto di ogni sito con gli altri insediamenti e con il territorio circostante.

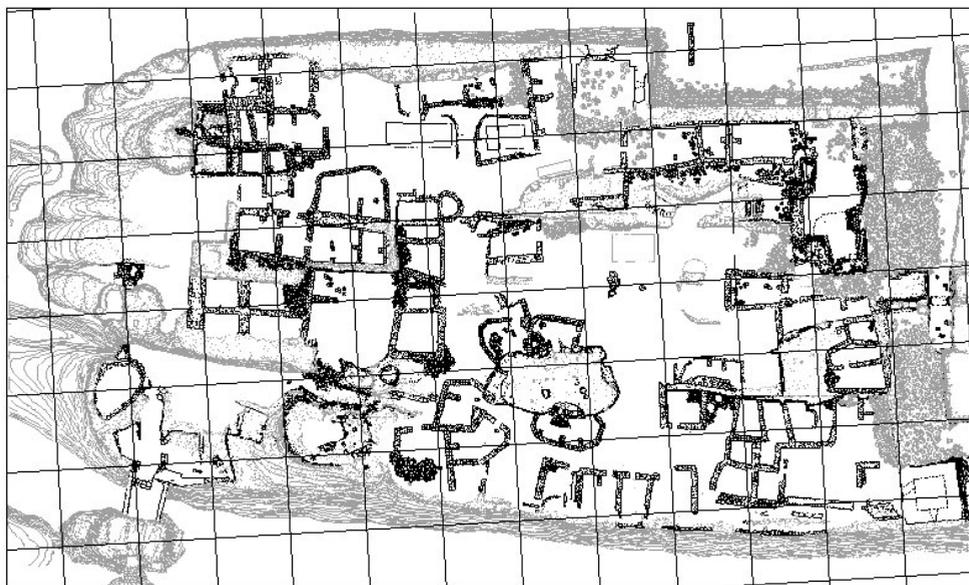


Fig. 6 – Petra (Giordania). Rilievo del castello di al-Wu'ayra georeferenziato e adattato alla morfologia del sito.

L'indagine sul castello di al-Wu'ayra è stata concentrata sull'area del cassero; i rilievi esistenti delle strutture del castello sono stati georeferenziati e adattati alla morfologia del sito sulla base di una serie di punti fiduciali (circa 40) facilmente individuabili sul terreno. Le coordinate assolute di questi punti sono state registrate dall'antenna DGPS funzionante in modalità statica (Fig. 6).

Il rilievo di dettaglio della rocca su cui insiste il cassero è stato eseguito con il DGPS in modalità cinematica (GABRIELLI 2001), dividendo l'area da indagare in settori regolari di limitata estensione. Tale accorgimento ha permesso di verificare la correttezza del rilievo nel corso della sua esecuzione e di valutare la corrispondenza di ogni settore rappresentato con la realtà e con le piante esistenti.

I dati raccolti sono serviti a realizzare il modello tridimensionale della zona del cassero e delle sue strutture; a causa dei numerosi crolli presenti sul terreno che hanno impedito di campionare tutta l'area con le stesse modalità, sono stati realizzati singoli DTM per ogni settore invece che il rilievo globale del sito (D'ANDREA *et al.* 2000).

Le elaborazioni ottenute sono di notevole interesse perché esaltano le caratteristiche specifiche del luogo e, restituendo in modo integrato gli elementi naturali e quelli antropici, forniscono un aiuto alla lettura ed alla comprensione dei manufatti presenti. La corrispondenza tra il modello matematico tridimensionale e la realtà del terreno è molto forte, come testimoniano,

ad esempio, la resa della rampa di accesso alla chiesa fortificata o la zona del cimitero, confermando la validità delle procedure di rilievo adottate e del successivo trattamento dei dati (Tav. Va).

F.C., R.G.

## 5. IL TUMULO DI POGGIO GAIELLA DI CHIUSI

Il lavoro che qui si presenta nasce nell'ambito di un ampio progetto di ricerca scientifica, promosso dal Comune di Chiusi e dalla Soprintendenza Archeologica per la Toscana, finalizzato alla valorizzazione dell'ingente patrimonio storico, archeologico e culturale della città di Chiusi; il progetto si basa sulle convenzioni stipulate dal Comune con l'ITABC del CNR di Roma, con il Dipartimento di Studi del Mondo Classico e del Mediterraneo Antico dell'Istituto Universitario Orientale di Napoli, con la Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze e il PIN S.c.r.l. – Servizi Didattici e scientifici per l'Università di Firenze.

Il tumulo di Poggio Gaiella sorge a nord-ovest del centro abitato di Chiusi, tra questo e il lago omonimo. Per le sue misure colossali (con il diametro di oltre 80 metri è tra i più grandi d'Etruria) e per la presenza dei numerosi *dromoi* e cunicoli labirintici a collegamento dei circa trenta sepolcri, al momento dello scavo ottocentesco fu facilmente ritenuto il leggendario sepolcro di Porsenna (BRAUN 1840b, 1841; BIANCHI BANDINELLI 1925, 223, 370-374; CAPDEVILLE 1993; RASTRELLI 2000, 96-105).

Si tratta in realtà di un sepolcreto gentilizio orbitante attorno a un'originaria sepoltura a *tholos* datata all'ultimo trentennio del VII a.C.; altre tombe, racchiuse all'interno del tamburo del tumulo, sono distribuite spazialmente e cronologicamente sino al V sec. a.C. (BRAUN 1840a, 147; BIANCHI BANDINELLI 1925, 371). Esterne a questo sono numerose sepolture a fossa d'età ellenistica: a quest'epoca appartiene l'iscrizione attestante la famiglia degli *Aclini*, unica attuale traccia per dare un nome alla *gens* cui riferire il sepolcreto (RASTRELLI 2000, 96, 103).

La collina si erge ancora distinta nella campagna ma, a causa del progressivo dilavamento, certamente con meno evidenza rispetto all'antico; infatti, nell'ultimo scavo si è confermato che il tumulo è in parte artificiale e costituito ammassando sul rilievo naturale della terra di riporto, un tempo contenuta da uno o due tamburi realizzati in blocchi di travertino (ABEKEN 1841, 31; LAVIOSA 1962, 272).

Come si desume facilmente da un rapido confronto tra lo stato attuale e la planimetria realizzata nell'ultima campagna di scavi, il monumento si sta oggi rapidamente degradando: basti notare come il fronte esposto della *tholos* sia arretrato, per erosione pluviale, di circa 0.70 m sino a coincidere con il grande pilastro centrale. Nell'esponenziale ammaloramento del complesso,



Fig. 7 – Chiusi, Poggio Gaiella. Rilievo del tumulo eseguito da L. Gruner (1840).

come già ebbero a lamentarsene Dennis (DENNIS 1883) e Bianchi Bandinelli, oltre antiche cause quali l'asportazione dei blocchi di travertino dei tamburi (riutilizzati da secoli nei casali circostanti), lo scavo clandestino di parte dei cunicoli e la "poca cautela adoperata nelle investigazioni", concorrono anche il taglio di numerose querce effettuato in occasione dell'ultima campagna di scavo e la mancata completa ricopertura dello stesso. In attesa delle necessarie opere di consolidamento e conservazione, ci è parso utile documentare il processo di degrado di un monumento, soggetto a consistenti fenomeni d'erosione e dilavamento, tramite l'analisi della cartografia storica disponibile e la realizzazione di un modello numerico capace di descriverne in maniera soddisfacente l'aspetto morfologico e volumetrico.

Le carte considerate, quella di Ludovico Gruner del 1840 (Fig. 7), quella coeva del reverendo Luigi Dei (Fig. 8), e i rilievi redatti in occasione degli scavi di Clelia Laviosa nei primi anni '60 (LAVIOSA 1961; Fig. 9) e di Anna Rastrelli nel 1995 sono stati georeferenziati e quindi sovrapposti per determinare quantitativamente il grado d'erosione (BRAUN 1840b; AA.VV. 1985; RASTRELLI 2000). L'erosione del limite esterno del tumulo nell'area prossima all'ingresso della *tholos* è di circa 11 metri rispetto alla situazione documentata dai rilievi più antichi (Fig. 10), mentre nella parte interna della *tholos* la parte superiore dell'ingresso ha subito un'erosione di circa 70 cm, intaccando anche la colonna centrale (Fig. 11).

L'efficacia dell'utilizzo del DGPS nel microrilievo morfologico di aree di piccole dimensioni (con la precisione centimetrica raggiunta misurando la differenza di fase del segnale satellite-ricevitore) è stata ampiamente dimo-

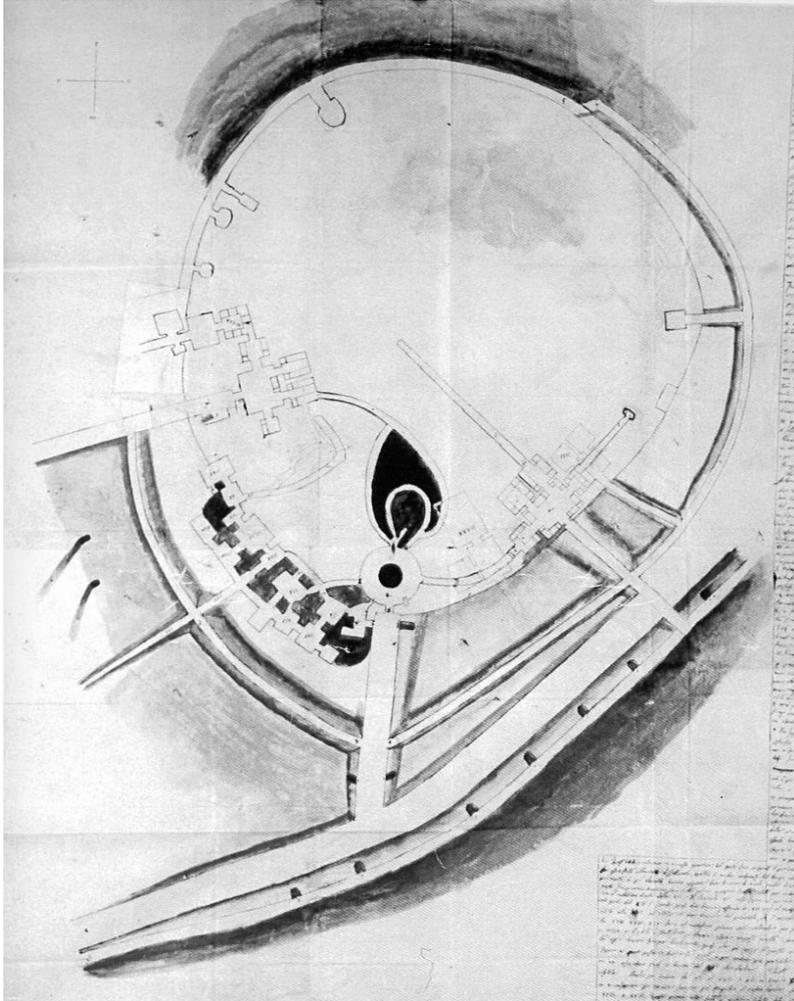


Fig. 8 – Chiusi, Poggio Gaiella. Rilievo del tumulo eseguito da Don Luigi Dei.

strata (v. anche *supra*) . Normalmente per questo tipo di realizzazioni viene usato il DGPS in modalità cinematica, che prevede l'impiego dell'antenna *rover* su di uno zaino e che consente la registrazione delle coordinate spaziali durante il cammino e con estrema rapidità (circa 1800 pnt/h).

Nel caso considerato, il rigoglioso manto vegetativo (cespugli, alberi d'alto fusto), nonché le asperità del terreno (fosse, cunicoli, strapiombi) hanno imposto in fase di acquisizione dei dati geometrici il ricorso ad una tecnica di rilevamento integrata.

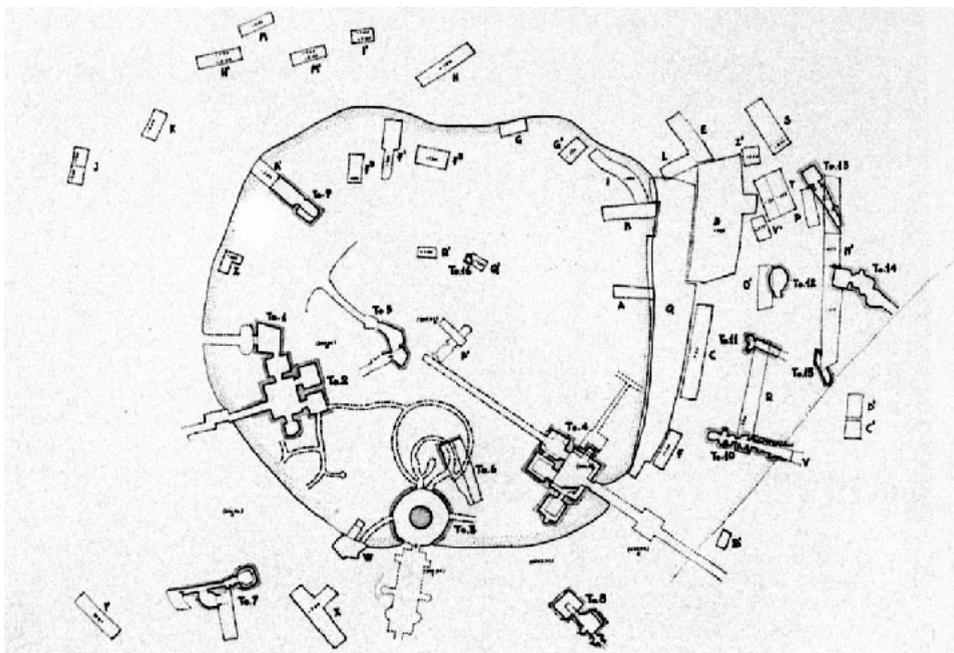


Fig. 9 – Chiusi, Poggio Gaiella. Rilievo del tumulo eseguito da C. Laviosa in occasione degli scavi degli anni 1960.

Il DGPS utilizzato è della serie Leica 530, strumento d'ultima generazione dotato di un ricevitore a doppia frequenza e di radio modem per il collegamento in *real time*. La doppia frequenza elimina nel funzionamento cinematico i lunghi tempi d'inizializzazione (tempo necessario per risolvere l'ambiguità della differenza di fase tra le due antenne ed il satellite, *on the fly* OTF), soluzione determinante per procedere speditamente nella raccolta dei dati durante lo spostamento e permette di ottenere la visualizzazione in tempo reale delle coordinate del punto rilevato. Nonostante ciò, si è dovuti ricorrere ad alcune modifiche del dispositivo *rover* in RT, innalzando l'antenna, tramite l'innesto su di una palina telescopica graduata, sino ad una quota di 4.60 m. Inoltre, laddove erano presenti settori oscurati dal segnale, degli strapiombi, e parte degli ambienti ipogeici, è stato necessario integrare al DGPS una stazione totale. È stata utilizzata la stazione Leica TRCM 1103 plus, dotata di distanziometro laser per la misura dei punti inaccessibili e con sistemi applicativi pienamente compatibili col DGPS in dotazione.

Nel procedere alla costruzione del modello 3D i dati acquisiti, per ovvie ragioni non distribuiti in modo omogeneo (pnt/m<sup>2</sup>), sono stati integrati attraverso funzioni d'interpolazione numerica applicati tenendo conto delle



Fig. 10 – Chiusi, Poggio Gaiella. Rilievi di L. Dei e di S. Guidotti e G. Masci (scavi Rastrelli 1995) georeferenziati e sovrapposti. Nell' 800 il diametro del tamburo del tumulo era decisamente più ampio.

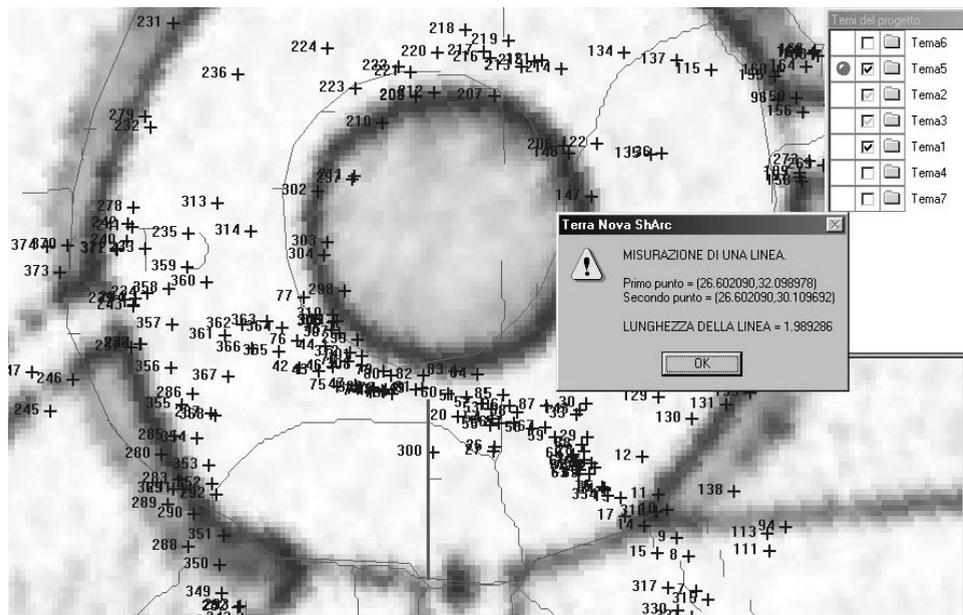


Fig. 11 – Chiusi, Poggio Gaiella. Pianta di C. Laviosa georeferenziata e sovrapposta al rilievo eseguito nel mese di Agosto 2001. Particolare della *tholos* in cui si nota l'erosione della volta dell'ingresso.

diverse caratteristiche morfologiche del monumento. A tale scopo, e per la rappresentazione grafica, si sono utilizzati applicativi software GIS, quali ArcView TNSharc – 3D, Surfer 7.0, SkiPro (Tavv. Vb e VIa).

R.G., D.P., D.R.

## 6. CONCLUSIONI

Sebbene i casi di studio esposti si riferiscano ad aree e a problematiche storiche diversificate, li accomuna il fatto che su di essi sono stati sperimentati nuovi metodi di raccolta dei dati territoriali, anche attraverso l'apporto di diversi settori disciplinari.

Gli esempi confermano l'utilità del DGPS nella ricerca topografica, sia nelle applicazioni in modalità statica, che permettono di acquisire in modo preciso le coordinate assolute di punti anche molto distanti tra loro, sia utilizzando il metodo cinematico che, pur con una lieve diminuzione dell'accuratezza nel rilevare il punto al suolo, registra un'alta quantità di dati in un tempo molto breve. La modalità cinematica rappresenta l'aspetto più innovativo delle tecniche di rilievo DGPS ed è particolarmente indicata per la restituzione della morfologia di dettaglio di un sito archeologico.

I risultati più interessanti, tuttavia, emergono con l'impiego integrato di diverse strumentazioni per rispondere a specifiche esigenze di raccolta dei dati: a Colle Breccioso e a Cuma sono stati utilizzati con diversi scopi i ricevitori DGPS e la Stazione Totale elettronica, a Petra l'antenna satellitare ha assunto differenti funzioni secondo le necessità del lavoro.

L'integrazione dei metodi, quindi, che costituisce uno degli aspetti più interessanti della ricerca, ha prodotto rilievi complessi e articolati, come quello delle fortificazioni cumane, e comprensivi delle caratteristiche fisiche del territorio. L'acquisizione dei dati ha richiesto tempi di lavoro molto contenuti e l'impegno lavorativo di pochi esperti e tecnici.

La possibilità di registrare una grande quantità di informazioni in un tempo relativamente breve apre indubbiamente nuovi scenari per la ricerca topografica sul territorio. Infatti, i dati archeologici vengono acquisiti insieme alle informazioni fisiche sul sito in esame e le strutture antropiche sono restituite all'interno del loro contesto ambientale. In questo quadro, il modello tridimensionale del terreno non ha più un valore puramente estetico ma può essere considerato una vera e propria ricostruzione virtuale del territorio perché ha origine da dati numerici registrati direttamente sul campo e rappresentativi di tutti gli elementi in esso contenuti.

F.C., R.G.

### *Ringraziamenti*

Esprimiamo il nostro ringraziamento al Prof. Bruno D'Agostino che ha voluto e indirizzato la ricerca multidisciplinare sul territorio di Cuma, al Dott. Andrea D'Andrea e alle

Dott.sse Francesca Fratta e Adele D'Onofrio che ci hanno messo a disposizione le informazioni storiche sul sito e hanno seguito in prima persona le operazioni di raccolta e di gestione dei dati archeologici.

Un sentito ringraziamento va al Prof. Guido Vannini, che ha richiesto la nostra presenza sullo scavo di al-Wu'ayra e ha coordinato il lavoro sul campo all'interno del quadro storico di riferimento, al Dott. Andrea Vanni Desideri e alla Dott.ssa Cristina Tonghini che ci hanno fornito le informazioni archeologiche sull'insediamento.

Infine, vogliamo ringraziare il Comune di Chiusi e il Dott. Mario Iozzo della Soprintendenza Archeologica per la grande disponibilità e la fattiva collaborazione sempre dimostrate nei nostri confronti.

FRANCESCA COLOSI, ROBERTO GABRIELLI,  
DANIELA PELOSO, DARIO ROSE  
CNR - Istituto per le Tecnologie Applicate  
ai Beni Culturali Montelibretti (Roma)

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 1985, *Archeologia e antiquaria a Chiusi nell'Ottocento*, Milano, Electa.
- AA.VV. 2001, *Atti della Giornata di Studio "Nuove forme di intervento per lo studio del sito antico di Cuma"* (Napoli 2001), «AION», in corso di stampa.
- ABEKEN W. 1841, *Sopra lo stato attuale ed il carattere dei due sepolcri di Poggio Gajella a Chiusi e di Pitagora a Cortona*, «Annali dell'Istituto di Corrispondenza Archeologica», 31.
- ALMAGIÀ R. 1909, *Il Cicolano*, «Rivista Abruzzese Scienze, Lettere, Arti», 24, 2-59.
- ALVINO G. 1996, *Alcune riflessioni sulla cultura equicola nella piana di Corvaro*, in *Atti del XVIII Convegno di Studi Etruschi ed Italici. Identità e civiltà dei Sabini* (Rieti-Magliano Sabina 1993), Firenze, Leo S. Olschki, 470-476.
- BIANCHI BANDINELLI R. 1925, *Clusium*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 30, 223-374.
- BINI M., BERTOCCI S. 1997, *The survey of al-Wu'ayra: A contribution to the knowledge of the Crusader castles in Jordan*, «Annual of the Department of Antiquities of Jordan», 41, 403-414.
- BRAUN E. 1840a, *Monumenti*, «Buletino dell'Istituto di Corrispondenza Archeologica», 147.
- BRAUN E. 1840b, *Il Labirinto di Porsenna comparato coi sepolcri di Poggio Gajella ultimamente dissotterrati nell'agro clusino*, Roma, tav. III.
- BRAUN E. 1841, *Monumenti*, «Buletino dell'Istituto di Corrispondenza Archeologica», 6-8.
- CAPDEVILLE G. 1993, *Porsenna, re del labirinto*, in *Atti del XVII Convegno di Studi Etruschi ed Italici. La civiltà di Chiusi e del suo territorio* (Chianciano Terme 1989), Firenze, 53-54.
- COLOSI F., D'ANDREA A., FRATTA F., GABRIELLI R. 2000, *The integration of different technologies for the 3D model of Cuma*, in *Proceedings of VAST International Euroconference (Arezzo 2000)*, BAR International Series, Oxford, in corso di stampa.
- COLOSI F., D'ANDREA A., GABRIELLI R. 2001, *Applicazioni informatiche per l'integrazione di dati eterogenei nel processo di conoscenza del sito di Cuma*, in *Atti della Giornata di Studio "Nuove forme di intervento per lo studio del sito antico di Cuma"* (Napoli 2001), «AION », in corso di stampa.
- COLOSI F., GABRIELLI R., ROSE D. 2001, *Integrated use of DGPS and Total Station for the survey of archeological sites: The case of Colle Breccioso (Borghose, RI)*, in *Pro-*

- ceedings of CAA 2000: *Computing Archaeology for Understanding the Past (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, 9-12.
- D'ANDREA A., GABRIELLI R., REALI E., TUCCI S., VANNINI G., VERDE G. 2000, *Data acquisition and three dimensional models of medieval castles: A comparison between two case-studies Rocca Ricciarda (Tuscany) and Wu'ayra (Petra, Jordan)*, in *Proceedings of VAST International Euroconference (Arezzo 2000)*, BAR International Series, Oxford, in corso di stampa.
- DENNIS G. 1883, *The Cities and Cemeteries of Etruria*, London.
- GABRIELLI R. 2001, *Introduzione all'uso dei GPS in Archeologia*, in AA.VV., *Remote Sensing in Archaeology*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 1-25.
- LAVIOSA C. 1961, *Rassegna scavi e scoperte*, «Studi Etruschi», 29, 247.
- LAVIOSA C. 1962, *Rassegna scavi e scoperte*, «Studi Etruschi», 30, 272.
- PIETRANGELI C. 1976, *Il Cicolano*, in AA.VV., *Rieti e il suo territorio*, Milano, Bestetti, 75.
- RASTRELLI A. 2000, *Il tumulo di Poggio Gaiella*, in AA.VV., *Chiusi Etrusca*, Chiusi, Edizioni Lui, 96-105.
- REGGIANI A.M. 1988, *Il santuario degli Equicoli a Corvaro*, Roma, De Luca Editore.
- STAFFA A.R. 1987, *L'assetto territoriale della Valle del Salto fra la tarda antichità e il medioevo*, «Xenia», 13, 45-47.
- VANNINI G., TONGHINI C. 1997, *Mediaeval Petra. The stratigraphic evidence from recent archaeological excavations at al-Wu'ayra*, in *Studies in the History and Archaeology of Jordan VI (Torino 1995)*, Amman, 371-384.
- VAN WONTERGHEM F. 1989, *La viabilità antica nei territori di Alba Fucens e Carsoli*, in *Atti del Convegno di Archeologia "Il Fucino e le aree limitrofe nell'antichità"*, Avezzano, 423.

## ABSTRACT

In recent years, the use of DGPS (Digital Ground Positioning System) satellite antennas has become widespread within the framework of the historical-topographic research. They give us the possibility of geo-referencing, in a very easy way, different objects spread across the territory, and permit the delimitation and geometrical survey of specific areas rendered in the shape of polygons.

In the present project, new case-studies, aimed at defining new procedures for geo-referencing of territorial elements, are produced. In these case-studies the use of DGPS, employed in a new and integrated way with other modern topographical instruments, has enabled us to survey complex structures and to produce detailed morphological studies of the sites. The archaeological sites that have been examined show great differences; first, in their geomorphologic characteristics, the historical period, the cultural environment and related problems and second, for the different scale of the research, procedures and level of investigation of the archaeological research.

