

TECNICHE SPEDITIVE PER LA RICOSTRUZIONE TRIDIMENSIONALE DELL'AREA ARCHEOLOGICA DI VILLA MAGNA

1. INTRODUZIONE

Il lavoro che si presenta in questa nota fa parte di un programma di ricerca più ampio che prevede lo sviluppo di metodologie e l'impiego di strumenti innovativi per l'acquisizione speditiva dei dati territoriali. Con questo obiettivo il gruppo di ricerca collabora da molti anni con varie missioni archeologiche in Italia e all'estero e utilizza in modo integrato moderne strumentazioni topografiche, quali il GPS differenziale, la stazione totale computerizzata, il laser scanner territoriale, le tecniche fotogrammetriche.

Per quanto riguarda questo ultimo aspetto, ci si è specializzati nell'acquisizione di immagini a bassa quota di aree archeologiche utilizzando aste telescopiche e palloni frenati opportunamente equipaggiati. Le immagini, oltre a fornire una visione complessiva dei siti, permettono da un lato di individuare tracce anomale riconducibili a strutture sepolte, dall'altro lato di effettuare ricostruzioni tridimensionali del territorio.

Per quanto riguarda il sito archeologico di Villa Magna, il problema era quello di ricostruire in tempi brevi l'andamento morfologico dell'area sulla quale insiste la villa, per evidenziare, tramite la realizzazione di un modello tridimensionale del terreno, il rapporto tra gli elementi naturali e i manufatti emersi dallo scavo e per rendere leggibili, quindi, la distribuzione planimetrica e la funzione delle varie parti del complesso. Inoltre, il rilievo dettagliato della morfologia dell'area può mettere in evidenza discontinuità o lacune nell'andamento delle curve di livello che potrebbero essere riconducibili all'intervento umano.

Per quanto riguarda gli aspetti morfologici, è ormai accertato che il metodo più rapido ed efficace di acquisizione è quello basato sull'utilizzo di un GPS differenziale in modalità cinematica. Tuttavia, nel caso del sito di Villa Magna, il rilievo dei dati eseguito in modo tradizionale, e cioè con l'antenna *rover* fissata in uno zainetto sulle spalle di un operatore, avrebbe richiesto tempi di acquisizione molto lunghi, data la vastità dell'area da rilevare (circa 22 ettari), oltre che un notevole dispendio di energie. Per questo motivo si è sperimentata la possibilità di effettuare il rilievo cinematico con l'antenna *rover* montata su automobile, mettendo a punto una precisa procedura di acquisizione, di cui nell'articolo vengono analizzati i vantaggi e le problematiche.

L'intervento sul sito ha previsto, inoltre, l'esecuzione di foto a bassa quota delle aree di scavo con un pallone aerostatico. Il sistema fotografico, come vedremo, è stato ancorato al pallone per mezzo di un dispositivo radio-

comandato chiamato Picavet, che stabilizza e guida la macchina fotografica mantenendola parallela alla superficie da fotografare ed è dotato di un sistema di scatto automatizzato.

2. IL SITO E IL PROGETTO VILLA MAGNA

Il complesso archeologico di Villa Magna, che si estende alle falde orientali dei monti Lepini, fra Sgurgola e Segni, nel Comune di Anagni, è certamente da identificare con la residenza imperiale appartenuta ad Antonino Pio, e dalla quale il giovane Cesare Marco Aurelio scrisse alcune lettere al suo tutore e professore di retorica, Frontone, nell'anno 144-145 (FENTRESS *et al.* 2006). La proprietà appartenne in seguito anche ai Severi, poiché il nome Villa Magna compare anche in una iscrizione databile al 207 d.C., attualmente conservata nella cattedrale di Anagni, nella quale si ricorda la pavimentazione della strada che da Anagni portava alla villa, fatta eseguire da Settimio Severo e dai suoi figli Caracalla e Geta. La villa, di cui non sono ad oggi note le vicissitudini tardoantiche, ebbe una notevole continuità di vita, poiché su di una parte delle sue strutture si insediò, verso il X secolo, il fiorente monastero benedettino di S. Pietro, di cui ancora oggi si conservano notevoli resti (DE MEO 1998; GIAMMARIA 1999; RASPA 1999).

Delle strutture dell'imponente complesso è oggi visibile solo una piccola parte, rappresentata sostanzialmente da numerose cisterne a più concamerazioni, collegate da una complessa rete idrica, e da ambienti di sostruzione, che costituiscono comunque una prova evidente di quella che doveva essere la grandiosità della residenza. I resti visibili attualmente si articolano in due nuclei principali: quello settentrionale, nei pressi della chiesa di S. Pietro, e quello meridionale, occupato da un casale e da un granaio, separati da un ampio cortile. Una torre ottocentesca in stile medievale è annessa al casale.

L'attività di ricerca è inserita in un progetto internazionale i cui enti partecipanti sono la Soprintendenza Archeologica del Lazio, l'Università di Pennsylvania, la British School at Rome, l'Università di Roma "Tor Vergata" e l'Associazione Internazionale di Archeologia Classica. Il progetto, che è giunto al suo secondo anno nel 2007, promuove indagini scientifiche e conoscitive sulla zona della villa, all'interno del territorio del Comune di Anagni.

Il sito è noto per le rovine della villa di residenza e di produzione degli imperatori romani tra il II e il III secolo d.C. Le indagini propriamente scientifiche consistono nello scavo archeologico di una parte della villa, insieme a indagini nell'abbazia benedettina di S. Pietro di Villa Magna, sorta su di essa nel Medioevo, quindi a indagini non invasive (geomagnetiche) del territorio, a un laboratorio di restauro delle strutture antiche e medievali e a una campagna di ricognizioni archeologiche nel territorio del Comune di Anagni e dei limitrofi Comuni di Gorga e Sgurgola.

Si tratta quindi di un complesso monumentale di notevolissima rilevanza, sia per la prolungata continuità di vita, sia per l'entità delle strutture, che si estendono sull'amplessima superficie di una dorsale dei Monti Lepini e che sicuramente sono collegate fra loro da un tessuto connettivo di resti al momento interrati, come è dimostrato dall'affioramento in più punti di tratti di murature appena visibili, dalla fitta presenza di materiali da costruzione antichi in superficie e, infine, dalle prospezioni geofisiche ancora in corso.

E.F.

3. IL RILIEVO CON IL GPS DIFFERENZIALE

3.1 *Note metodologiche*

È noto che per un corretto studio di un'area archeologica è necessario contestualizzare le informazioni presenti sul sito con quelle relative al territorio. Metodi per la realizzazione di tale relazione sono molteplici e la moderna tecnologia permette di realizzare dei modelli numerici descrittivi di un'area in maniera rapida e poco costosa. L'impiego di modelli digitali del terreno, disponibili oggi per quasi tutto il territorio nazionale, consente la creazione di opportuni DEM (Digital Elevation Model) che permettono una visione più specifica dell'area di interesse. Tuttavia, tali modelli, essendo realizzati in scala regionale o nazionale, hanno un dettaglio minore che a volte non può essere sufficiente per descrivere medie e piccole aree. Negli ultimi anni, per soddisfare queste necessità, si sono impiegati sempre più diffusamente strumenti che, nati per scopi di topografia territoriale, hanno trovato la loro diffusa applicazione per la creazione di modelli digitali del terreno su aree limitate.

Lo strumento più innovativo per questo tipo di applicazione è il DGPS (Differential Global Positioning System), che impiega due antenne GPS correlate tra loro che permettono di ricavare le coordinate sul terreno con una precisione sub-metrica o sub-centimetrica, a seconda del dispositivo usato e con una cadenza "continua" di circa un punto ogni secondo o ogni due secondi (GABRIELLI 2001).

Il GPS, nato come strumento militare, ha trovato sempre maggior impiego nell'utilizzo civile, ricoprendo un ruolo fondamentale in diverse applicazioni territoriali che vanno dai sistemi di navigazione aerea, marittima e stradale, agli elementi portanti per sistemi di antifurto veicolare e all'uso in ambito civile per il posizionamento di mezzi di soccorso sul territorio.

Lo strumento utilizza una costellazione di satelliti (24) messi in orbita dal sistema di difesa americano, anche se, allo stato attuale, l'Unione Europea sta creando un sistema satellitare autonomo. I satelliti ruotano costantemente intorno alla Terra ed inviano le coordinate della loro esatta posizione spaziale. Mediante la lettura di questi segnali, il GPS riesce a calcolare la sua posizione

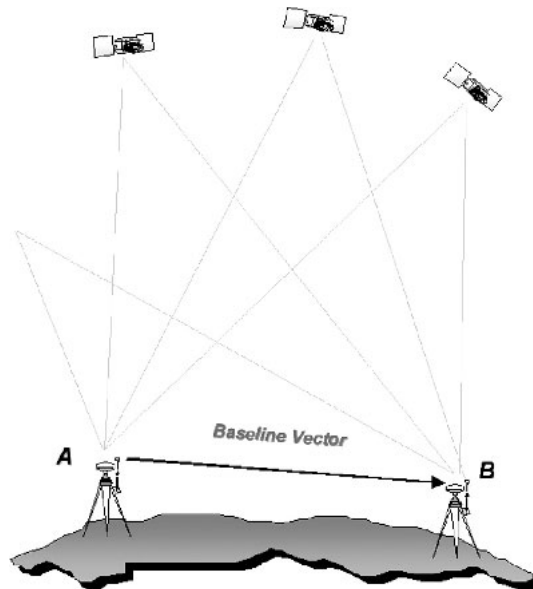


Fig. 1 – Schema del funzionamento del GPS differenziale.

sulla superficie terrestre. Per questo calcolo è necessario che almeno quattro satelliti siano visibili e che tra il dispositivo GPS e la costellazione satellitare non siano presenti ostacoli, che ne precludano una visibilità diretta. In ogni caso lo strumento fornisce il dato territoriale con una precisione che dipende da vari parametri, quali il numero di satelliti visibili, la loro disposizione geometrica in cielo, la precisione strumentale del GPS. L'impiego di GPS differenziali permette di abbassare ulteriormente la precisione d'acquisizione, arrivando fino a valori dell'ordine del centimetro.

Nel lavoro effettuato nel sito archeologico di Villa Magna è stato impiegato un GPS topografico differenziale a doppia frequenza (Modello Leica SR530). Il dispositivo è munito di un'antenna fissa (*reference*) e di una mobile (*rover*). Le due antenne possono essere messe in rapporto sia attraverso un radio modem per una relazione in tempo reale, sia mediante la tecnica del *post-processing*, che consiste nell'elaborare e correlare temporalmente i dati raccolti da ogni singola antenna (Fig. 1).

Il DGPS, per un corretto funzionamento, deve poter risolvere le ambiguità riferite al riconoscimento di un numero di cicli necessari a ricoprire il percorso tra satelliti e ricevitore. Per eseguire tale calcolo, è necessario determinare la differenza di fase tra il segnale ricevuto dal GPS e quello inviato dal satellite. La risoluzione di tale calcolo è direttamente proporzionale al tempo

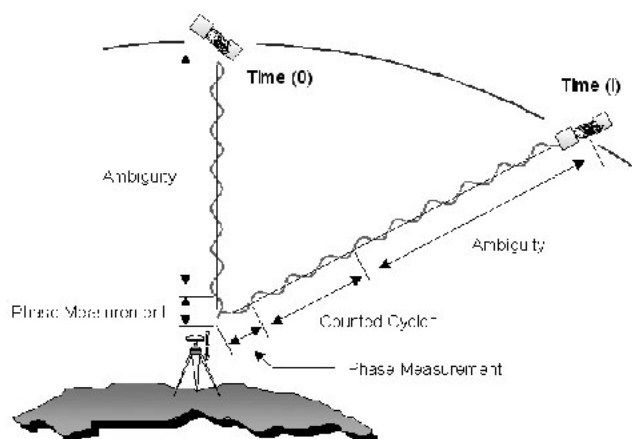


Fig. 2 – Schema di principio della misura della fase. Da GABRIELLI 2001, fig. 15.

di inizializzazione dello strumento. Il segnale inviato dal satellite è modulato su due onde sinusoidali rispettivamente L_1 di frequenza 1575.42 MHz e L_2 di frequenza 1227.60 MHz. Per completare il cammino che serve per collegare il satellite all'antenna del GPS, tale onda sarà descritta da un certo numero di cicli interi, più una parte frazionaria di essa.

Risolvere il problema delle ambiguità significa determinare esattamente quanti cicli di onda servano per completare tale percorso e quanta parte di ciclo sia necessaria per coprire esattamente questa distanza (Fig. 2; GABRIELLI 2001, 9-10). Lasciando il GPS acceso per un periodo abbastanza lungo, esso riuscirà a determinare esattamente la distanza tra ciascun satellite e l'antenna del ricevitore, permettendo quindi la determinazione dei parametri che verranno utilizzati per il calcolo di post-processamento. Questo tempo di inizializzazione normalmente dipende dalla distanza tra l'antenna del rover e quella del *reference*; inoltre, è di fondamentale importanza sapere in quale periodo della giornata si eseguono le misure, poiché nelle ore di maggiore irraggiamento solare possono verificarsi delle interferenze sulla ionosfera, peggiorando in tal modo le capacità di lettura dello strumento. Un tempo ragionevole per tale inizializzazione, durante le misure diurne di un DGPS a doppia frequenza e per distanze tra le antenne non superiori ai 5 km, è di circa cinque minuti.

In questo modo il DGPS può essere impiegato in diversi metodi operativi, che possono essere brevemente riassunti:

– Statico: è il classico metodo per la misurazione di lunghe distanze al di sopra dei 20 km, in cui il tempo di acquisizione è proporzionale alla distanza da misurare e che permette un'accuratezza nell'ordine dei millimetri.

- RTK (Real Time Kinematic): è impiegato per distanze inferiori ai 20 km e consiste nello spostare l'antenna *rover* sul punto/i desiderati, acquisendo il dato con una precisione centimetrica.
- CIN (Cinematico): dopo aver inizializzato lo strumento e aver risolto le ambiguità, il *rover* può essere spostato sul territorio da indagare registrando i dati in uno specifico intervallo di tempo (COLOSI *et al.* 2001; GABRIELLI 2001; COLOSI *et al.* 2002; COLOSI, GABRIELLI, LAZZARI 2006).

3.2 Il rilievo del sito archeologico di Villa Magna

All'interno dell'area archeologica di Villa Magna sono stati eseguiti lavori di rilevamento topografico attraverso l'uso integrato di GPS, stazione totale e pallone aerostatico. L'area occupa circa 22 ettari di superficie e non permette un rilevamento standard. In questo caso, infatti, l'acquisizione dei dati sul campo è stata eseguita attraverso differenti metodologie. Dopo un accurato sopralluogo dell'area da rilevare, le singole zone sono state divise da linee immaginarie, sfruttando elementi di riferimento sul territorio come strade, limiti naturali, lottizzazioni preesistenti. Questa suddivisione in porzioni più piccole (sull'ordine di 3 ettari e mezzo circa per ciascuna zona) ha permesso di svolgere dei rilievi topografici su aree limitate, consentendo di lavorare su vari fronti in momenti diversi della giornata e in più giornate in base alle esigenze di scavo. In questa maniera si è potuto distribuire il lavoro in più giorni e verificare la coerenza spaziale dei dati acquisiti.

La prima operazione sul campo è stata la creazione di una griglia di riferimento grazie al posizionamento di picchetti lungo il perimetro dei campi da rilevare, che consentisse i comuni usi agricoli dei terreni circostanti. Per ogni area di scavo sono stati collocati almeno due picchetti il più possibile distanti tra loro. I picchetti sono stati rilevati con il GPS in modalità RTK, verificando che le condizioni sperimentali di misura permettessero sempre di acquisire, spostandosi nelle aree, valori accurati al centimetro (precisione garantita dal DGPS) (Tav. IIIa). In questo modo è stato possibile evitare la realizzazione di una poligonale sul terreno con la stazione totale, che avrebbe comportato un allungamento dei tempi di esecuzione a causa del numero elevato di cambi stazione. Le aree in cui non è stato possibile utilizzare il GPS a causa della scarsa visibilità dei satelliti sono state rilevate con l'uso della stazione totale impostando un punto-stazione agganciato alla poligonale ottenuta dai punti GPS.

Il GPS è stato montato su un fuoristrada per l'esecuzione di un rilievo cinematico sull'intera area. L'antenna (*rover*) è stata fissata su un supporto presente sull'automezzo e accuratamente tarata sull'altezza da terra (Fig. 3). Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati finali è stato comunque necessario tenere conto delle oscillazioni del veicolo verificatesi durante la fase di acquisizione. Questa necessità ha comportato un'analisi filtrata e approfondita



Fig. 3 – L'antenna *rover* del DGPS montata su Land Rover.

dei dati finali nella lettura delle variazioni altimetriche. Dato che il rumore introdotto dalle oscillazioni è valutabile in circa 5 cm, non sono state considerate valide le variazioni altimetriche inferiori a questa grandezza.

Lo strumento è stato inizializzato come descritto in precedenza, attendendo il tempo necessario per permettere al GPS di risolvere le ambiguità.

L'uso del fuoristrada su aree di una certa vastità ha dei vantaggi notevoli, che possono essere così riassunti:

- Copertura di aree notevolmente grandi.
- Passo di campionamento costante dovuto sia all'interasse delle ruote del mezzo che alla velocità di spostamento.
- Possibilità di visualizzare le aree già investigate mediante linee-guida prodotte dagli pneumatici del mezzo.

Durante la fase di elaborazione dei dati, sono stati restituiti i punti della poligonale, acquisiti in modalità RTK, in modo da poter procedere con tutte le successive georeferenziazioni.

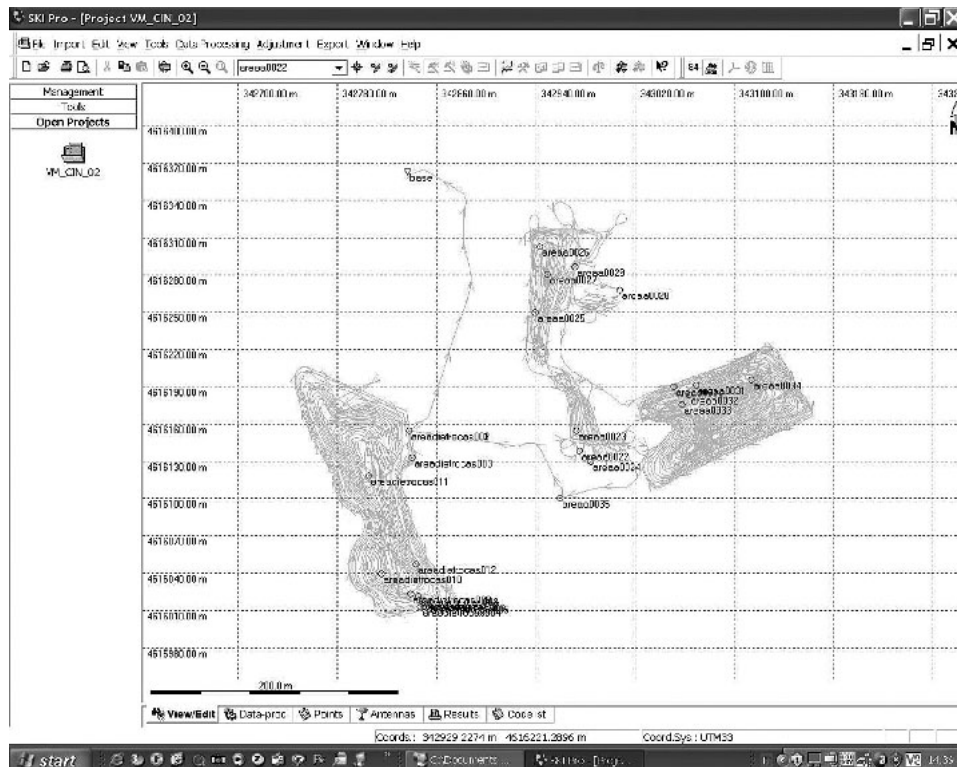


Fig. 4 – Area circostante il casale. L'elaborazione dei dati che visualizza il percorso della Jeep.

I dati relativi all'acquisizione in cinematico sono stati pre-elaborati con il software applicativo specifico della casa produttrice del GPS, e in seguito visualizzati per rappresentare in maniera esaustiva le aree coperte e i percorsi eseguiti (Fig. 4). I dati scaricati dal GPS fanno parte di un insieme di acquisizioni prese in giornate diverse, in cui la base (*reference*), nonostante venga collocata sullo stesso punto, viene identificata da coordinate differenti dovute ad un errore insito nel sistema GPS. Per questo motivo, è necessario attribuire alla base sempre il medesimo valore, riferito a punti geografici o topografici presenti sul territorio. Per quanto riguarda i dati della stazione totale, sono stati georeferenziati, ossia orientati secondo un sistema di coordinate assolute, agganciando i singoli rilievi ad almeno due punti noti della rete di punti GPS, creata in precedenza (COLOSI, D'ANDREA, GABRIELLI 2002).

Durante la fase di processamento dei dati GPS, bisogna tener conto che il dato acquisito non è pronto per essere reso fruibile attraverso i più comuni

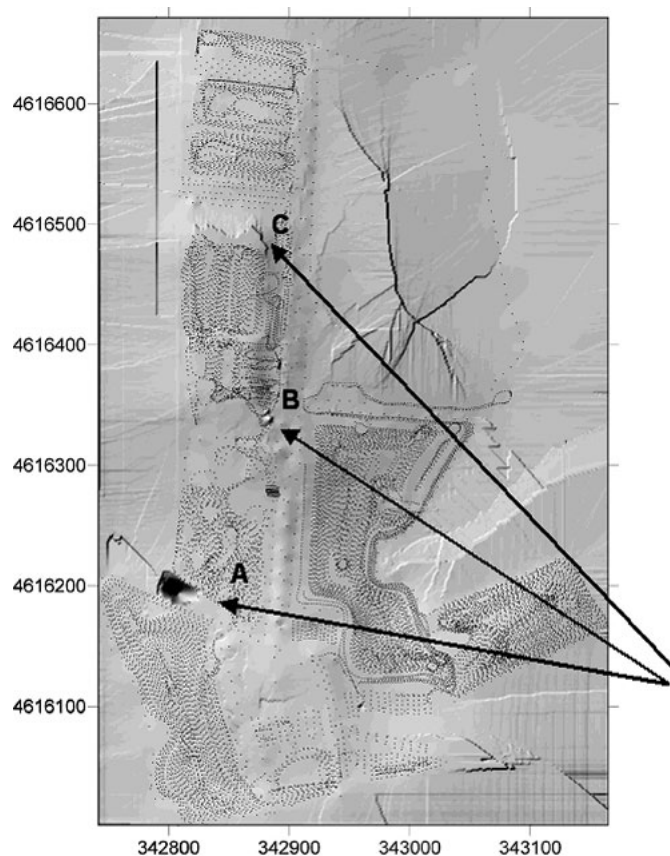


Fig. 5 – Restituzione *shaded* dell'area indagata. Le frecce indicano anomalie nella restituzione 3D dovute a errori di misura.

software di visualizzazione; è, infatti, necessario analizzare accuratamente i dati per verificare la corretta elaborazione. Una mancata verifica può generare visualizzazioni e interpretazioni errate dell'area indagata. L'errore può dipendere da molti fattori sia interni al GPS, che esterni, quali ad esempio il fatto che l'operatore non abbia atteso il tempo necessario per la risoluzione delle ambiguità dello strumento. Nelle schermate di analisi del dato queste anomalie sono ben visibili e possono essere corrette o eliminate per una buona interpretazione della superficie. La correzione può avvenire variando alcuni parametri del software impiegato per l'elaborazione dei dati, come ad esempio l'applicazione di un filtro sui satelliti che erano troppo bassi all'orizzonte o la variazione delle soglie accettabili del rapporto segnale/rumore.

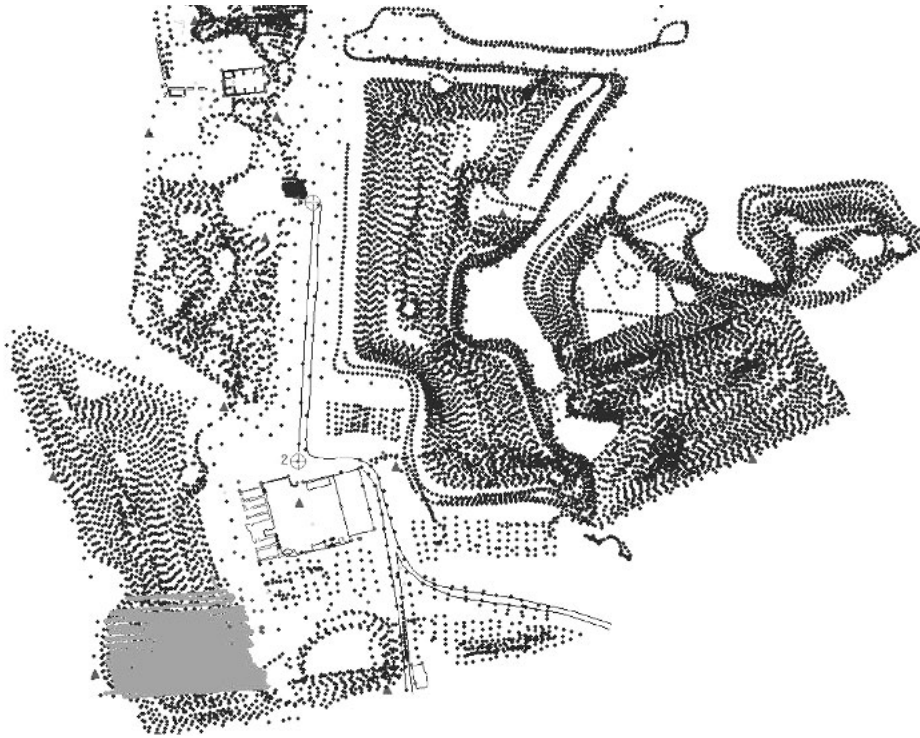


Fig. 6 – Particolare dell'area del casale. I singoli rilievi GPS sono stati uniti in un'unica mappa all'interno del GIS. L'area campita in grigio chiaro corrisponde alla porzione di terreno rilevata a piedi.

Nella Fig. 5, negli esempi A e B, sono visibili alcune anomalie riscontrate nelle aree vicino al casale e vicino alla chiesa di S. Pietro. In alcuni casi esse sono facilmente riconoscibili grazie alla differenza di quota con i punti circostanti, a volte calcolata in parecchi metri, mentre in altri casi l'errore appare meno evidente, soprattutto se causato dall'imperizia dell'operatore. Nel caso C, ad esempio, una non corretta taratura dell'antenna sul veicolo ha creato una superficie rialzata di 15 cm, che sembrava appartenere ad un piano diverso del terreno. Con la verifica sul campo, l'area rialzata seguiva le stesse linee guida prodotte dal fuoristrada sul terreno ed era quindi stata prodotta da un errore creato con la preparazione della strumentazione.

I dati validi sono stati trasformati e rielaborati con alcuni applicativi GIS per collegarli tra loro e avere una visione d'insieme dell'area indagata (Fig. 6) e in seguito, posti su diversi layer, per essere messi in relazione alla cartografia locale georeferenziata (Tav. IIIa).

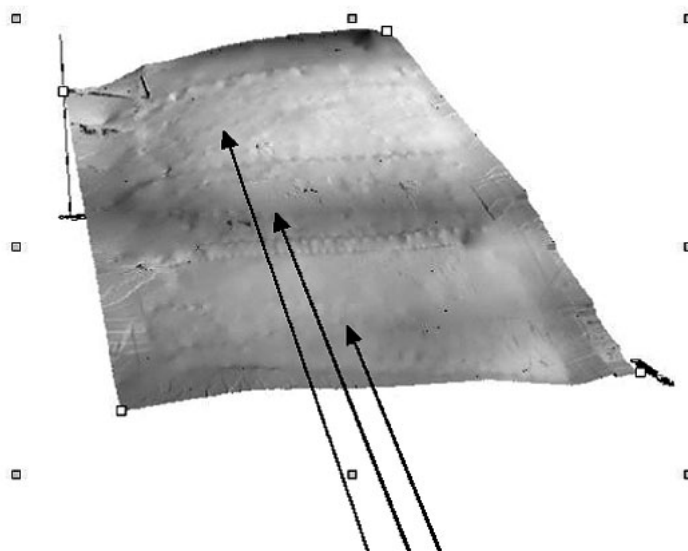


Fig. 7 – Particolare dell'area della vigna. L'elaborazione *shaded* evidenzia la presenza di terrazzamenti artificiali.

L'ultima fase del lavoro è quella relativa all'interpretazione. Dalla grande quantità di punti ottenuti si può ricavare un DEM rappresentativo dell'area, sovrapporre ad esso il rilievo delle strutture archeologiche ed evidenziare, in questo modo, la presenza di eventuali anomalie sul terreno (Tav. IIIb).

Un esempio paradigmatico del rilevamento dati con GPS e della successiva elaborazione è rappresentato da una piccola zona all'interno dell'area archeologica di Villa Magna nella quale, grazie all'applicazione della procedura sopra descritta, è stata visualizzata una serie di terrazzamenti artificiali digradanti verso la strada con differenze altimetriche inferiori al metro. Attraverso l'uso di una funzione particolare degli applicativi GIS, chiamata *shaded*, il terreno appare chiaramente diviso in quattro terrazzamenti (Fig. 7).

4. ACQUISIZIONE DI FOTOGRAFIE CON IL PALLONE AEROSTATICO

4.1 *Cenni introduttivi*

Le prime riprese aeree da pallone vennero effettuate nel 1858 dal celebre fotografo Nadar (Gaspar Felix Tournachon) attraverso l'uso di una mongolfiera in grado di salire a un'altezza di 80 m. Nadar abbandonò il progetto l'anno successivo per non essere costretto a utilizzare in campo militare (Seconda Guerra d'Indipendenza italiana) la procedura di acquisizione da lui messa a punto.

Questo tipo di tecnica permette di analizzare un campo di superficie generalmente più vasto rispetto a quello dell'occhio umano, consentendo, quindi, di visualizzare le modificazioni dell'ambiente sia in senso assoluto (singolo fotogramma), sia in senso relativo, ovvero per confronto tra diversi fotogrammi (stessa immagine ripetuta in diversi periodi).

Una delle possibili applicazioni delle riprese aeree è la restituzione fotogrammetrica delle aree investigate, ossia la possibilità di ottenere i dati metrici di un oggetto (forma e posizione) tramite l'acquisizione e l'analisi di immagini fotografiche a prospettiva centrale. Tale tecnica fu utilizzata già a partire dalla metà del 1800 per produrre cartografia metrica. In seguito, alla fotografia aerea vennero applicati algoritmi relativi alla fotointerpretazione per la produzione di cartografia tematica e per la ricerca sulle problematiche inerenti all'assetto dell'ambiente.

La fotografia aerea è uno strumento utile al rilevamento delle caratteristiche del terreno non facilmente percepibili al livello del suolo e, come tale, trova applicazione ormai da molti anni nel campo dell'archeologia.

Se in un primo tempo le fotografie dall'alto dello scavo archeologico venivano eseguite sfruttando ponteggi mobili e scale lignee, da alcuni anni, con la diffusione dei sistemi di controllo remoto, vengono applicati sistemi di sorvolo telecomandato mediante pallone aerostatico e mongolfiera. Questo strumento di indagine consente di evidenziare anomalie relative alla presenza di resti sepolti e di cogliere, con una visione d'insieme, i reciproci rapporti spaziali dei ritrovamenti. Le riprese fotografiche possono essere verticali (ortofoto) od oblique. I migliori risultati si ottengono con fotografie di uno stesso soggetto scattate in diverse epoche dell'anno, mentre spesso possono essere utili immagini riprese con luce radente che mettono in maggior risalto i segni di eventuali anomalie morfologiche presenti sul terreno. I resti sepolti possono essere segnalati da minime variazioni dell'andamento morfologico in corrispondenza del sottostante materiale più compatto, oppure per una differenza di crescita nella vegetazione. Gli allineamenti di queste tracce minime si distinguono assai più efficacemente in una visione d'insieme dall'alto che permette di riconoscerne l'orientamento e la mutua relazione spaziale.

4.2 Rilievo aereo-fotogrammetrico dell'area archeologica di Villa Magna

Un ulteriore approfondimento dell'indagine sul sito di Villa Magna, i cui risultati sono ancora in fase di elaborazione, ha previsto l'esecuzione di foto aeree a bassa quota sulle aree in corso di scavo, con l'obiettivo di fornire uno strumento utile per il rilievo delle emergenze archeologiche (mediante digitalizzazione) e, tramite opportune elaborazioni fotogrammetriche, una dettagliata restituzione tridimensionale dello scavo e dei resti archeologici emersi.

Per tale scopo è stato utilizzato un pallone aerostatico di 2,50 m di diametro, stabilizzato e guidato da terra mediante dei cavi di ritenuta manovrati



Fig. 8 – Area della chiesa. Riprese a bassa quota con il pallone aerostatico.

da tre operatori (Fig. 8). I tre ancoraggi consentono di guidare il pallone sulle aree investigate a diverse quote di esercizio e di contrastare in maniera agevole la forza del vento presente anche a basse quote.

Le fotografie del sito di Villa Magna sono state effettuate a circa 60 m di altezza, misura ritenuta in questo caso ottimale per ottenere una ripresa complessiva dell'area indagata mantenendo minimo il rapporto tra il numero di fotogrammi utilizzati e la risoluzione metrica complessiva. Per eseguire le riprese ci si è dotati di una macchina fotografica digitale compatta (Nikon Coolpix P3 8MP) che è stata montata su un dispositivo (Picavet) con controllo remoto. Il Picavet è un sistema che garantisce la stabilizzazione costante dell'apparecchiatura fotografica mediante una serie di cavi che autobilanciano il dispositivo (Fig. 9). Il controllo remoto permette di ruotare il sistema fotografico su due assi, l'asse orizzontale (180°) e l'asse verticale (360°). Attraverso il radiocomando, l'operatore può governare l'orientamento della macchina da ripresa a seconda delle esigenze sperimentali (COLOSI *et al.* 2003, 178-183).

Per georeferenziare le fotografie, sono state distribuite in modo omogeneo sul territorio una serie di mire numerate e sistemate ad una distanza di circa 5 m una dall'altra. Le coordinate delle mire sono state calcolate con



Fig. 9 – Il dispositivo Picavet.

il DGPS in modalità RTK, metodo che ha garantito una buona velocità di acquisizione a prescindere dalla complessità orografica delle aree scavate e dalla distanza intercorrente tra le stesse.

I singoli fotogrammi sono stati quindi georeferenziati e mosaicati utilizzando un software dedicato (Photometric) che ha permesso di generare delle ortofoto metriche relativamente al piano di calpestio attuale (Figg. 10-11). Nei casi in cui l'andamento del terreno non è costante, e cioè nelle aree strettamente interessate dallo scavo, è stato necessario applicare tecniche fotogrammetriche per il calcolo delle pendenze relative ai diversi piani che descrivono nelle tre dimensioni l'area fotografata.

Le fotografie georeferenziate possono risultare molto utili non solo per scopi di documentazione e di rilievo, ma anche ai fini della presentazione e della valorizzazione del sito. Riguardo a quest'ultimo aspetto si prevede, nel corso del prossimo anno, di integrare i dati acquisiti con una campagna di fotogrammetria terrestre, in modo da definire e completare la visualizzazione tridimensionale dell'area archeologica.

5. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nell'area archeologica di Villa Magna l'acquisizione dei dati territoriali è stata eseguita tramite l'utilizzo del DGPS in modalità cinematica, montato su Land Rover. Lo scopo principale della ricerca è stato quello di



Fig. 10 – Area della chiesa di S. Pietro. Foto a bassa quota mosaiccate e georeferenziate.

adattare l'uso della strumentazione GPS alle diverse esigenze dell'indagine archeologica sul campo. Un lotto di terreno alle spalle del casale, ad esempio, è stato indagato con il GPS in modalità cinematica caricato sulle spalle di un operatore. Il passo di campionamento più fitto è stato adottato per individuare, appena sotto la superficie, l'eventuale presenza di strutture archeologiche (Fig. 6).

Comparando quest'ultima modalità di rilievo con quella che prevede l'utilizzo del GPS montato su Land Rover, si sono evidenziate alcune differenze tra le due procedure operative, legate principalmente alla struttura del dispositivo sperimentale.

Prendendo in considerazione quattro ore di rilievo, nel primo caso (A: GPS montato sulle spalle dell'operatore) la superficie indagata è stata di 3700 mq, mentre nel secondo caso (B: GPS su automezzo) di 35.000 mq; quindi,



Fig. 11 – Area del casale. Foto a bassa quota mosaicate e georeferenziate.

a parità di tempo, è stata coperta un'area 10 volte maggiore. I punti acquisiti con il metodo A sono stati 6200 e 6500 con quello B. Questo dato risente di una posizione non ottimale dei satelliti. Un elemento molto importante riguarda la densità dei punti acquisiti: il metodo B acquisiva un punto ogni

5 mq, mentre il metodo A 8 punti ogni 5 mq, determinando quindi una densità maggiore a discapito del tempo impiegato. Infatti, con il sistema B in circa 20 secondi sono stati rilevati 5 mq, mentre con quello A soltanto 2 mq. Attraverso questa schematizzazione non si può affermare quale modalità di acquisizione sia in assoluto la migliore, ma è possibile stabilire, a seconda delle esigenze lavorative, quale mezzo è più appropriato. Se il lavoro è di tipo topografico su larga scala, allora il rilievo con automezzo risulta essere il più pratico e adeguato; se invece con il DTM si vogliono visualizzare sensibili cambiamenti di superficie in un'area specifica e limitata, il metodo tradizionale offre la risposta migliore. Nel caso di Villa Magna, i due rilievi sono stati integrati all'interno del GIS per ottenere un modello numerico maggiormente definito (Fig. 6).

Il lavoro è stato svolto in sole cinque giornate di lavoro, che hanno compreso lo studio del territorio e il posizionamento di una rete fissa, la definizione dei limiti delle aree da investigare con l'uso integrato di stazione totale e GPS (RTK), il rilievo DGPS in cinematico del terreno e il rilievo degli edifici più importanti con la stazione totale. L'utilizzo di queste tecnologie integrate ha permesso una veloce pianificazione e realizzazione dell'intervento sul campo e un accurato controllo della bontà dei dati raccolti insieme alla rapida elaborazione e processamento dei risultati nella fase post-scavo.

Per quanto riguarda le riprese fotografiche eseguite con il pallone aerostatico, il loro utilizzo può essere molteplice. Infatti le immagini georeferenziate offrono una vista complessiva dei settori di scavo e permettono, data la loro alta definizione, la digitalizzazione in dettaglio dei manufatti. In seguito, se opportunamente trattate mediante fotogrammetria, potranno integrare e completare il modello tridimensionale del terreno, trasformando il dato numerico in una vera e propria ricostruzione virtuale del sito di Villa Magna.

A.A., F.C., R.G., E.F., C.F.

ANDREA ANGELINI, FRANCESCA COLOSI, ROBERTO GABRIELLI
Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali
CNR-Roma

ELIZABETH FENTRESS
AIAC. Associazione Internazionale di Archeologia Classica

CINZIA FILIPPONE
British School at Rome

Ringraziamenti

Si desidera rivolgere un particolare ringraziamento ad Enrico Gabrielli, per il valido contributo dato durante la campagna di acquisizione dei dati GPS in modalità cinematica, utilizzati per l'elaborazione del modello digitale del terreno dell'area archeologica.

BIBLIOGRAFIA

- 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 (Borgorose, RI)*, in Z. STANČIĆ, T. VELJANOVSKI (eds.), *Proceedings of CAA 2000: Computing Archaeology for Understanding the Past (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, Archaeopress, 9-12.
- COLOSI F., D'ANDREA A., GABRIELLI R. 2002, *Applicazioni informatiche per l'integrazione di dati eterogenei nel processo di conoscenza del sito antico di Cuma*, in B. D'AGOSTINO, A. D'ANDREA (eds.), *Cuma. Nuove forme di intervento per lo studio del sito antico. Atti della Giornata di Studio (Napoli 2001)*, «AION», Quaderno 14, Napoli, 115-126.
- COLOSI F., GABRIELLI R., PELOSO D., ROSE D. 2002, *Impiego del Differential Global Positioning System (DGPS) per lo studio del paesaggio antico: alcuni esempi rappresentativi*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 181-197.
- COLOSI F., GABRIELLI R., MAURIELLO P., PELOSO D. 2003, *Cerveteri: topografia della Vigna Parrocchiale II. Metodologie integrate per lo studio di un'area archeologica*, «Archeologia e Calcolatori», 14, 177-197.
- COLOSI F., GABRIELLI R., LAZZARI A. 2006, *Il sistema GPS per il rilevamento del territorio: potenzialità e limiti dei diversi metodi di acquisizione*, in S. CAMPANA, R. FRANCOVICH (eds.), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali 1. I Workshop (Grosseto 2005)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 187-200.
- DE MEO M. 1998, *S. Pietro in Villamagna presso Anagni. Una villa romana si trasforma in abbazia*, Quaderni di architettura e restauro, 2, Roma, Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Storia dell'Architettura, Restauro e Conservazione Beni Architettonici.
- FENTRESS E., GATTI S., GOODSON C., HAY S., KUTTNER A., MAIURO M. 2006, *Excavations at Villamagna 2006*, «Journal of Fasti Online» (<http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2006-68.pdf>).
- GABRIELLI R. 2001, *Introduzione all'uso dei GPS in archeologia*, in S. CAMPANA, M. FORTE (eds.), *Remote Sensing in Archaeology*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 1-25.
- GIAMMARRIA G. 1999 (ed.), *Villamagna*, Monumenti di Anagni, 3, Anagni.
- RASPA G., *La storia*, in GIAMMARRIA 1999, 13-18.

ABSTRACT

The article presents the results of the GPS and photographic surveys conducted on the archaeological site of Villa Magna (Anagni, Lazio). The archaeological complex, identified as the imperial residence of Antoninus Pius, occupies an area of about 22 hectares. Presently, the visible remains are divided into two principal nuclei: the northern one, near the church of S. Pietro, and the southern one, occupied by a farmhouse. The aim of the survey was the reconstruction of the morphology of the terrain in order to produce a Digital Terrain Model and to highlight the relationship between natural elements and ancient structures.

In order to speed up the work, a new procedure was used. It consists of a Differential GPS used in a kinematic way by mounting the rover antenna on a jeep. In this article the experimental method's advantages and the problems of acquisition are analysed. Moreover, low altitude photographs of the archaeological excavations were taken using an aerostatic balloon. The photographic system was anchored to the balloon with a radio-controlled device called Picavet. Georeferenced photos can be very useful not only for documenting but also for presenting and exploiting the site.