

# ARCHEOLOGIA DEI PAESAGGI MEDIEVALI DELLA TOSCANA: PROBLEMI, STRATEGIE, PROSPETTIVE

Stefano Campana

*Università di Siena, Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Archeologia dei Paesaggi  
campana@unisi.it*

## 1. Introduzione

L'area di Archeologia Medievale dell'Università di Siena è impegnata da decenni nello studio dei paesaggi medievali e antichi. Le operazioni di cartografia archeologica si sono basate sostanzialmente sulla ricognizione di superficie in aree campione e sull'analisi stereoscopica di fotografie aeree storiche. Da un recente bilancio emerge chiaramente l'elevata quantità di evidenze censite nella Toscana centro-meridionale, pari a circa 10.500 siti (FRANCOVICH, VALENTI 2001, pp.83-116). Il dato nel suo complesso non può che essere considerato estremamente positivo. Osservando con maggiore attenzione i numeri dei diversi progetti di cartografia archeologica, epurati delle attestazioni documentarie, emerge il basso numero di rinvenimenti medievali e le difficoltà di indagine in corrispondenza degli stessi. Questa situazione comporta, in Toscana come altrove, che mentre l'archeologia dei paesaggi antichi trova nell'indagine territoriale, condotta prevalentemente tramite l'archeologia di superficie, una fonte primaria, l'archeologia dei paesaggi medievali è fatta soprattutto di scavi. Nei casi più felici le ricerche territoriali producono modelli che non possono però partecipare pienamente al dibattito storiografico se non convalidati dall'intervento stratigrafico.

Le ragioni di questa situazione sono molteplici, dai ben noti problemi connessi alla visibilità del medioevo, alla evanescenza dei fossili guida per la definizione cronologica dei contesti, alle caratteristiche materiali delle evidenze, ecc. A questi si aggiungono problemi mai risolti dell'archeologia dei paesaggi quali la rappresentatività delle indagini, la corrispondenza tra superficie e sottosuolo, il rapporto tra interpretazione e depauperamento delle dei depositi. A tale proposito, ad esempio, la constatazione da parte di molti ricognitori attivi in diverse aree della penisola dell'inasprimento dello stato di conservazione delle evidenze in superficie e delle relative difficoltà di riconoscimento e di interpretazione delle evidenze deve essere valutato attentamente. Abbiamo già altrove ricordato (CAMPANA, FRANCOVICH 2005a, p.67) che se è vera l'affermazione di Tim Potter relativa alla conclusione del periodo migliore per le ricerche di superficie con l'inizio degli anni '70 è altrettanto fidedigna una smentita da attribuire ai successi conseguiti dalle successive generazioni di ricercatori (POTTER 1985, p.21). Questi risultati positivi sono da imputare soprattutto allo sviluppo teorico e all'implementazione della disciplina (CHERRY 1983, pp.379, 390-394). Con ciò non intendiamo dire che le nostre ricerche devono rinunciare alla ricognizione di superficie, che rimane la procedura più redditizia per il riconoscimento di siti sconosciuti o poco noti, ma che è necessario prendere atto dei numerosi problemi che affliggono la ricerca territoriale e cercare soluzioni convincenti.

## 2. Contesto territoriale, fenomeni post-deposizionali, visibilità archeologica

Oggetto delle indagini è la Toscana centro meridionale. Il territorio ha una superficie di circa 10.000 Km<sup>2</sup>, un'estensione molto elevata, una scala regionale, caratterizzata da una forte variabilità paesaggistica. Al suo interno i parametri che definiscono i diversi gradi di visibilità archeologica, terrestre e aerea si intrecciano, producendo spazi connotati da alti e bassi livelli di visibilità, separati da innumerevoli variazioni intermedie. Gli elementi che regolano la visibilità archeologica sono molteplici. In estrema sintesi possono essere ricondotti all'eredità storica, all'uso del suolo e ai ritmi agricoli, alla pedologia e alle condizioni climatiche stagionali.

Un primo problema che si incontra è di natura storica. In Italia e all'estero i paesaggi di questa parte di Toscana sono noti per l'assenza di industrie, di infrastrutture e per la trama di seminativi, oliveti e vigneti interrotta solo da tortuose strade bianche e case coloniche. L'immagine di un paesaggio agricolo, conservato nei suoi caratteri naturalistici quasi fossilizzato. In genere questa rappresentazione è del tutto errata poiché ignora le trasformazioni talvolta violente e drammatiche che spesso hanno stravolto i caratteri originari del territorio. Un esempio paradigmatico è costituito dalla Val d'Orcia, un comprensorio che si estende per quasi 500 km<sup>2</sup> a sudest di Siena, oggi caratterizzato dal susseguirsi di dolci rilievi collinari dominati dalla coltura di cereali e nella parte meridionale dal vigneto. La

monocultura è il risultato in questo caso di grandi e spesso violente trasformazioni avvenute a partire dal periodo fascista, proseguite nel dopoguerra e tuttora in corso (*fig.1*). La Val d'Orcia si presentava in passato come una terra arida d'estate, impregnata d'acqua d'inverno, brulla dominata da biancane e calanchi (MANGIAVACCHI 2004). Le caratteristiche morfologiche, i suoli argillosi e pesanti, troppo duri per essere incisi estensivamente da aratri a trazione animale, limitavano le attività agricole e la produttività. Fenomeni analoghi sono riscontrabili nella Maremma e nel Chianti dove bonifiche e monoculture intensive hanno inciso profondamente.

In rapporto all'uso del suolo bisogna anzitutto prendere atto che la Toscana è la regione italiana con la maggiore superficie destinata a bosco con un'occupazione complessiva pari circa al 50% del territorio. La vegetazione boschiva costituisce, come noto, un grave ostacolo alla ricognizione sul terreno e un pessimo mediatore di evidenze archeologiche osservabili dall'alto. Allo stato attuale possiamo affermare che metà del territorio regionale è caratterizzato da un livello di visibilità terrestre e aerea molto basso. Gli elementi che regolano la visibilità archeologica degli spazi restanti sono più complessi da valutare. Se nel caso delle indagini sul terreno è piuttosto semplice stabilire il periodo più idoneo per effettuare la raccolta dei dati, la visibilità aerea pone maggiori difficoltà. Mentre la ricognizione di superficie che è caratterizzata da un rapporto diretto con l'evidenza le tecniche di telerilevamento consentono di dedurre informazioni archeologiche quasi esclusivamente in modo indiretto. I risultati perseguibili tramite l'applicazione di qualunque sistema di osservazione remota del territorio sono quindi strettamente connessi alle peculiarità fisiche, climatiche e all'uso del suolo (MUSSON *et alii* 2005).

L'osservazione aerea del territorio e la documentazione tramite dispositivi fotografici, ad esempio, costituisce in Italia e all'estero, da quasi un secolo, uno degli strumenti fondamentali per il riconoscimento di evidenze archeologiche sepolte (CERAUDO 2004, pp.47-68; BEWLEY 2004, pp.37-46). Questa metodologia di indagine si basa essenzialmente sulla modifica delle proprietà fisiche del suolo (umidità, consistenza, ecc.) che si verificano in corrispondenza del deposito ipogeo provocando alterazioni su superfici nude nel colore del suolo o, in corrispondenza di vegetazione (in particolare le colture agricole) differenze nei tempi e nel livello di sviluppo delle piante. La resa della prospezione aerea è quindi condizionata soprattutto dalle caratteristiche degli elementi mediatori che occultano il deposito, quindi dal tipo di vegetazione, dalla composizione del suolo e dalla capacità di drenaggio del terreno (CERAUDO 2003, pp. 75-85). Altre tecniche di osservazione ampiamente diffuse e potenti quali i sistemi RADAR, terrestri o aviotrasportati, sono fortemente dipendenti da fattori diversi, riconducibili alla rugosità e al contenuto d'acqua dei suoli rilevati (LILLESAND, KIEFER 1994, pp.648-682).

Da queste brevi considerazioni emerge, oltre al rapporto resa/contesto, un elemento fondamentale per comprendere la necessità di un approccio multisensore. Se raramente un territorio presenta caratteristiche che lo rendono idoneo ad essere studiato tramite tutte le tecniche di telerilevamento attualmente disponibili è altrettanto inconsueto che nessuno degli strumenti si riveli utile. Per stabilire in termini generali quale sia l'impatto potenziale delle diverse tecniche di telerilevamento per lo studio del territorio è quindi indispensabile eseguire una attenta valutazione del contesto, al fine di produrre una carta della visibilità. Nel complesso gli spazi occupati dalle colture agricole nella Toscana centro-meridionale si impostano in corrispondenza di suoli fortemente argillosi con sporadiche intercalazioni di sabbie, soggetti in passato come abbiamo visto a pesanti interventi di bonifica e sfavorevoli poiché scarsamente drenanti all'applicazione di gran parte delle tecniche di Telerilevamento. Le aree con un elevato livello di visibilità sono costituite in prevalenza dalle pianure alluvionali dei corsi d'acqua di medio-alta portata ed in particolare dai fiumi Arno, Ombrone, Chiana e Orcia. In alcuni di questi spazi intervengono ulteriori problemi connessi al maggiore spessore dello strato di humus e ad attività antropiche quali le bonifiche o l'attuale sfruttamento per fini industriali e residenziali (AGNOLETTI, 2002). Dovrebbe essere chiaro che lo studio archeologico della Toscana pone numerosi problemi. Per ottenere risultati significativi in un tale contesto non ci si può limitare ad applicare passivamente esperienze sviluppate in altri contesti bensì è necessario sviluppare una strategia di intervento coerente con gli obiettivi della ricerca e con le peculiarità fisiche e culturali del territorio.

### **3. Una strategia in cerca di soluzioni**

Con l'obiettivo di arricchire la quantità ma soprattutto la qualità del record archeologico e incrementare intensità e rappresentatività delle nostre ricerche è sorto il Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento (LAP&T). La struttura è finalizzata alla progressiva introduzione di sistemi di

osservazione remota del territorio e al miglioramento delle tecniche di ricognizione di superficie, tramite l'applicazione di nuovi strumenti per la documentazione e il rilievo del dato archeologico e ambientale (*fig.2*). Allo stato attuale di *work in progress* stiamo implementando una nuova strategia di ricerca, flessibile ed aperta, fondata sulla convinzione che solo attraverso l'uso integrato di un'ampia gamma di metodologie di indagine e di tecnologie informatiche sia possibile affrontare la complessità connaturata allo studio dei paesaggi pregressi (CAMPANA, FRANCOVICH 2005b, pp.61-73). L'approccio al contesto è concepito come multiscalare, da macro territoriale (regione), a semi-micro (bacino idrografico) fino a livelli puntuali (sito), per essere in grado di rispondere con diversi gradi di approfondimento sia alle istanze della tutela sia a singoli problemi storico-archeologici di natura strettamente scientifica. Attualmente siamo impegnati nelle seguenti direzioni (si veda inoltre il sito web: [www.lapetlab.it](http://www.lapetlab.it)):

- ricognizione aerea e fotografia obliqua (MUSSON, CAMPANA 2005, pp.173-229; CAMPANA, FRANCOVICH 2006);
- immagini da satellite ad alta risoluzione (CAMPANA 2002);
- fotografia aerea verticale, coperture storiche e recenti (COSCI 2005, pp.263-271);
- magnetometria (da 1 a 1,5 ettari al giorno; CAMPANA, FELICI, FRANCOVICH 2005, pp.25-30);
- ricognizione di superficie (CAMPANA 2001; FELICI 2004) e sistemi *mobile* GIS (georeferenziazione satellitare e navigazione; CAMPANA 2005, pp.62-82);

Sebbene non siamo ancora in grado di presentare risultati definitivi, abbiamo avviato esperienze con altri metodi e strumenti che riteniamo potranno in futuro svolgere un ruolo significativo per colmare almeno in parte le lacune ancora presenti nel nostro approccio per lo studio dei paesaggi toscani:

- lidar (in collaborazione con NERC, Airborne Research & Survey Facility, Gran Bretagna);
- fotogrammetria digitale (in collaborazione con Università di Lecce e IBAM-CNR);
- geofisica estensiva, con l'obiettivo di raggiungere coperture giornaliere superiori a 6 ettari: gradiometria (sistema Foerster MULTICAT<sup>®1</sup>), radar (sistema GSSI TERRAVISION<sup>®2</sup>), elettromagnetismo;
- geofisica intrasite (resistività e GPR).

### **Ricognizione archeologica aerea**

Tra i metodi disponibili per la ricerca territoriale la ricognizione aerea occupa un posto a parte. Consente infatti di raccogliere dati su scala regionale e contestualmente operare analisi puntuali tramite la ripetizione dei voli e la possibilità di variare (sebbene entro certi limiti) il grado di dettaglio. Come noto, in Italia a causa della legislazione in materia di riprese aerofotografiche emessa nel 1939, gli studi di aerofotografia archeologica hanno registrato uno sviluppo anomalo rispetto ai maggiori paesi europei. Le ricerche condotte hanno fatto uso quasi esclusivamente di riprese aerofotogrammetriche acquisite con finalità non archeologiche. Al contrario in paesi quali Francia, Germania e Gran Bretagna la ricognizione aerea è una metodologia ampiamente diffusa da oltre cinquant'anni ed è organizzata in sistematici programmi nazionali di ricerca diretti dagli enti predisposti alla tutela del patrimonio storico archeologico (BEWLEY, 2002, pp.11-18).

Dal 2000 abbiamo avviato un progetto di ricognizione aerea della Toscana e restituzione cartografica (CAMPANA, FRANCOVICH 2006). Nei primi quattro anni di attività (200-2003) abbiamo volato per un totale di 200 ore e acquisito circa 9500 fotografie aeree riconducibili a poco più di un migliaio di siti di interesse storico e archeologico (*fig.3*). Tra i contesti documentati vi è una certa prevalenza di siti monumentali con particolare riferimento a centri castrensi (*fig.4*) e a contesti urbani (*fig.5*). Questa situazione è da attribuire, oltre agli interessi che da sempre animano l'area di Archeologia Medievale

---

<sup>1</sup> Il sistema Multicat consiste di 4 (fino a 8) sensori fluxgate FEREX<sup>®</sup> con risoluzione di 0,1 nT montati in parallelo su un carrello in vetroresina. Sullo stesso carrello viene posizionata un'antenna GPS per la georeferenziazione delle misure. Il sistema per essere operativo deve essere trainato da un quad o da una jeep. Per ottimizzare il lavoro e garantire la copertura sistematica dei fondi Foerster ha sviluppato il sistema di navigazione DATAMONITOR gestibile tramite data logger o PC portatile che prevede l'uso di un secondo ricevitore GPS come reference station. Per l'applicazione archeologica dello strumento si veda: <http://192.167.118.99/CCGBA/laboratori/lapetlab/pagine/multicat.html>

<sup>2</sup> Il sistema TerraVision consiste di 14 antenne radar poste a 12 cm di distanza con inclinazioni diverse montate su un carrello trainato da un quad o un fuoristrada (FINZI *et alii* 2005, pp.215-219). La sperimentazione dei sistemi MULTICAT e TerraVision, della geoelettrica e elettromagnetismo è realizzata dal LAP&T in collaborazione con Salvatore Piro (ITABC-CNR e Università "la Sapienza" Roma) e Geostudi Astier s.r.l. (Livorno).

dell'Università di Siena, alla dipendenza per lo svolgimento delle ricognizioni aeree dai colleghi inglesi e tedeschi. Come è noto, il principio che regola il successo di questo metodo di indagine si basa sull'osservazione delle condizioni di visibilità delle tracce. Individuato il momento più favorevole si procede con la ricognizione aerea. Non disporre di un aereo e del pilota nei momenti più appropriati significa porre un grave limite all'applicazione del metodo (MUSSON *et alii* 2005). Nonostante l'assenza in molti casi di condizioni ideali (logistica e visibilità) è stato comunque possibile riconoscere nuovi siti attraverso gli strumenti classici della fotointerpretazione e quindi, variazioni nella crescita della vegetazione, nel contenuto di umidità dei suoli, delle caratteristiche fisiche dei terreni o ancora micro variazioni altimetriche. La presenza di tracce in condizioni non ottimali è strettamente connessa a differenze locali delle caratteristiche paesaggistiche ed in particolare della pedologia, ai fenomeni postdeposizionali e all'uso del suolo. Gli stessi fattori determinano la visibilità delle tracce sulle riprese verticali eseguite a fini non archeologici (ALVISI, 1989, p. 28). I contesti archeologici riconosciuti si estendono dalla preistoria all'età moderna e sono relativi a insediamenti, necropoli, recinti, viabilità, parcellizzazioni agrarie, paleoalvei, ecc. (*fig.6*).

Con l'inizio del 2004 la nostra attività ha subito un importante salto di qualità. Abbiamo avviato un rapporto di collaborazione con l'Aero Club di Firenze che ha messo a nostra disposizione velivoli e piloti (*fig.7*). Nel corso del 2004 abbiamo volato in totale 51 ore ad intervalli piuttosto regolari e frequenti tra i mesi di gennaio e agosto, raggiungendo il picco di attività tra la fine di maggio e la metà di giugno. In totale abbiamo acquisito circa 5000 fotografie oblique e documentato più di 500 evidenze archeologiche e paleoambientali<sup>3</sup>. In relazione a siti e paesaggi antichi la ricognizione aerea è risultata piuttosto efficace sia per l'individuazione di nuove evidenze sia per l'incremento di informazioni in corrispondenza di contesti precedentemente noti. Più complesso e limitato ad un numero ridotto di contesti è il riconoscimento di siti propriamente medievali. Il problema è da rintracciare nella continuità di una parte consistente delle reti insediative medievali e nella predilezione per le sommità collinari, in genere in Toscana occupate da bosco. Le ricognizioni condotte nel corso dell'inverno 2004 sembrano forse prospettare nuove possibilità (non rivoluzionarie) per l'indagine delle aree boschive, se condotte nei periodi in cui il manto vegetale è meno denso e a bassa quota. In queste condizioni è infatti possibile riconoscere e documentare siti fossilizzati, tra cui castelli, complessi religiosi, ecc.<sup>4</sup>.

Le dimensioni dell'aerea indagata, la mole della documentazione prodotta e l'intensità della ricerca comportano l'esigenza di disporre di un sistema efficiente per la gestione delle informazioni fin dalla fase di acquisizione. Le riprese aerofotografiche sono state realizzate per la maggior parte tramite comuni fotocamere reflex su pellicola a colori. Nelle campagne di ricognizione del 2003 abbiamo avviato la sperimentazione di camere digitali e solo dalla seconda metà del 2004 i sistemi su pellicola sono stati completamente sostituiti a favore di strumenti digitali. Nel complesso, ad oggi, la documentazione fotografica è costituita per la metà da stampe cartacee. La difficoltà di gestire una mole tanto consistente di fotografie ci ha da subito indirizzato verso la scansione digitale di tutto il materiale fotografico e la ricerca di un sistema di archiviazione informatizzato. La soluzione adottata consiste in un data base multimediale che permette di catalogare le informazioni in base a specifici tematismi. Questo data base costituisce solo uno *step* intermedio del processo di archiviazione del dato. In questo catalogo sono immesse tutte le fotografie aeree acquisite. Al fine di una consultazione agile ed efficace è indispensabile procedere ad una selezione del numero di immagini. Durante le ricognizioni aeree infatti abbiamo quasi sistematicamente eseguito doppi e tripli scatti delle emergenze documentate. Se questa tecnica di ripresa ci garantisce sempre un'ottima qualità delle fotografie produce un problema di ridondanza. La soluzione prescelta consiste in una selezione delle fotografie più significative e nel trasferimento in un data base accessibile via web. Questo rappresenta il contenitore finale, strumento di lavoro per il nostro gruppo di ricerca e catalogo condiviso con tutti coloro che sono coinvolti nella ricerca, tutela e gestione del territorio. Il web data base è stato realizzato per la consultazione delle informazioni tramite operatori booleani e in base a specifici tematismi. Allo stato attuale del nostro lavoro le chiavi di ricerca dell'archivio sono costituite da: anno del rilevamento, tipo di pellicola o sensore, regione, provincia, comprensorio, comune, località, tipo di evidenza, interpretazione, affidabilità dell'interpretazione, verifica

---

<sup>3</sup> Dal 2004 le ricognizioni aeree sono state condotte dallo scrivente e da Francesco Pericci, laureando in Archeologia Medievale e collaboratore a tempo pieno del Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento.

<sup>4</sup> Al momento riteniamo che una risposta concreta al problema dello studio delle aree boschive possa venire solo dalla sperimentazione del sistema aviotrasportato Lidar. Sull'argomento si veda oltre.

sul terreno, definizione, cronologia. Disporre di uno strumento di questo tipo consente genericamente di ridurre in modo drastico i tempi di accesso ai dati ma soprattutto di eseguire ricerche complesse coinvolgendo nell'interrogazione più chiavi di ricerca. Nella pratica ciò significa che oltre alla rapida identificazione e visualizzazione, ad esempio, di tutte le immagini relative ad un sito o a un comprensorio territoriale, possiamo richiedere al data base di eseguire la ricerca, proseguendo l'esempio, di evidenze specifiche quali potrebbero essere i cropmark documentati nell'anno 2004, nella valle dell'Ombrone ed interpretati come insediamenti medievali. Allo stato attuale sono consultabili tutti i siti documentati tra 2000 e 2004 (*fig.8*)<sup>5</sup>.

Il data base multimediale rappresenta però solo un aspetto del sistema di gestione della documentazione delle fotografie aeree, risultando straordinariamente efficace per la gestione delle immagini senza però permettere l'accesso alle informazioni quantitative contenute nelle fotografie. Se in Italia le ricognizioni aerofotografiche hanno avuto solo uno sviluppo recente, le ricerche sulle prese fotogrammetriche hanno raggiunto livelli altissimi palesati nell'interpretazione contestuale alla restituzione cartografica degli elementi di natura archeologica (PICCARRETA, CERAUDO 2000; GUAITOLI 2003; MUSSON *et alii* 2005). E' infatti solo tramite la restituzione delle anomalie su base grafica georeferenziata che il dato territoriale può essere misurato, confrontato con altri piani informativi di natura archeologica o altro ed infine può essere tutelato e monitorato. La restituzione grafica georeferenziata delle informazioni contenute nelle fotografie oblique consente la sedimentazione negli anni delle tracce su un unico piano. La restituzione offre quindi non solo la possibilità di misurare e collocare la singola evidenza bensì di osservare un quadro sinottico della stratificazione degli elementi superstiti dei paesaggi antichi. Sulla falsariga dell'esperienza e dei principi che consentono la restituzione di elementi territoriali tramite le tecniche fotogrammetriche sono stati sviluppati da colleghi americani e inglesi software che permettono la correzione geometrica e la georeferenziazione delle fotografie oblique (PALMER 2005, pp.107-151). In seguito a questa elaborazione il dato può essere misurato con una precisione che varia da 10 cm fino a 1, 2 m in base al sistema utilizzato per la misurazione dei punti di controllo a terra. L'interpretazione delle immagini si svolge con il disegno su un livello informativo dedicato delle tracce e degli elementi ritenuti di interesse archeologico. Come il data base anche il sistema informativo territoriale attualmente in uso (ESRI ArcGIS) è da considerare uno strumento di lavoro interno al Laboratorio indirizzato soprattutto alla gestione e analisi spaziale dei dati. Ai fini della consultazione e comunicazione del lavoro abbiamo indirizzato le nostre energie nella realizzazione di un sistema webGIS interfacciabile con il data base che prevediamo di realizzare entro l'anno 2006.

Prima proporre una valutazione dei primi sei anni della nostra attività in Toscana riteniamo utile ribadire gli obiettivi principali del Progetto. E' infatti importante ricordare che i nostri interessi sono rivolti alla documentazione fotografica non solo di anomalie ma anche dei monumenti medievali (e classici) inseriti nel loro contesto paesaggistico rurale o urbano. Il *survey* aereo, inoltre, rappresenta una parte di una strategia di indagine complessa e articolata, nella quale questo metodo svolge un ruolo originale e complementare alle altre tecniche. Il peso nella strategia di studio dei paesaggi della ricognizione per la scoperta di nuovi siti o per l'incremento di informazioni varia a seconda delle condizioni complessive di visibilità (principio è valido per ogni metodo coinvolto). La provincia di Siena, ad esempio, è senza esitazione la zona meno favorevole della Toscana per la presenza di tracce tipo cropmark, soilmark e microrilevo<sup>6</sup>. In questi anni abbiamo documentato nella provincia senese circa 450 siti archeologici con una copertura quasi sistematica dei castelli medievali, contestualmente abbiamo identificato solo due cropmark (*fig.9*). Il ruolo della ricognizione aerea esplorativa in questa provincia è decisamente marginale sebbene i due contesti individuati oltre ad incoraggiare la ricerca offrono alcuni spunti interessanti. I due siti non erano stati riconosciuti in precedenza tramite altre tecniche. Il primo è verosimilmente interpretabile come una villa romana situata nel territorio di Pienza oggetto di recenti indagini archeologiche da parte dell'Area di Archeologia Medievale dell'Università di Siena (FELICI 2004). Il mancato ritrovamento del contesto durante le ricognizioni è da attribuire all'esclusione dell'area dagli spazi campionati. La seconda emergenza, situata nel comune di Monteroni d'Arbia, è forse più interessante. Ci troviamo in prossimità del complesso monumentale della Pieve di Corsano. Nel fondo di

<sup>5</sup> Si veda l'indirizzo: <http://www.paesaggimedievali.it/atlanter/index.html>. La realizzazione informatica del data base è a cura di E. Donati.

<sup>6</sup> Le cause principali sono da attribuire alla dominante argillosa dei suoli per i primi di tipi di traccia mentre la visibilità del terzo tipo è compromessa da più di cinquanta anni di profonde arature.

fronte, perfettamente parallela rispetto al grande edificio religioso romanico abbiamo identificato una traccia di forma rettangolare con una chiusura semicircolare sul lato est. Forma, dimensioni, orientamento e contesto consentono di interpretare la traccia come una piccola chiesa. Il riconoscimento di una chiesa tramite la ricognizione di superficie è estremamente difficile. Nel caso specifico il *survey* ha permesso di identificare materiale edilizio e frammenti ceramici di età romana e tardoantica formando uno scenario genericamente riconducibile ad una intensa e prolungata frequentazione dell'area<sup>7</sup>. Ulteriori indagini quali la magnetometria hanno dato esito negativo individuando solo labili variazioni delle misure in coincidenza con la traccia (particolare in *fig.9* in alto a destra e *fig.10*). Determinante in questo caso è quindi il ruolo della fotografia obliqua senza la quale non saremmo stati in grado di individuare la struttura.

Agli antipodi della scala della visibilità aerea della Toscana spiccano alcune zone della provincia grossetana. In maremma il ruolo della ricognizione aerea è maggiormente equilibrato tra la documentazione di evidenze monumentali e l'identificazione di tracce. Negli ultimi due anni abbiamo concentrato la nostra attenzione in quest'area ottenendo risultati incoraggianti soprattutto per le fasi etrusco-romana e medievali. La prima è particolarmente evidente nella valle dell'Albegna, nella valle d'Oro e nella valle dell'Ombrone con tracce pertinenti soprattutto a viabilità e strutture insediativo-produttive tipo villa o fattoria (*fig.11*). Ad ovest di Roselle abbiamo un'area che ad oggi corrisponde al transetto toscano maggiormente favorevole alla ricognizione aerea. Immediatamente ad ovest della città di Roselle sono visibili tracce di edifici di varie dimensioni, viabilità, partizioni agrarie. In quest'area riteniamo vi siano le condizioni di visibilità, conservazione e ricchezza della risorsa archeologica che permetteranno nei prossimi anni al *survey* aereo di svolgere un ruolo di primo per la ricostruzione articolata e stratificata di questa porzione di paesaggio (*fig.12*). Nelle pianure della Maremma anche in relazione al periodo medievale la ricognizione aerea permette di andare oltre la documentazione di contesti monumentali e dei paesaggi circostanti. Nell'ultimo anno abbiamo ottenuto risultati molto interessanti con l'identificazione di un numero limitato di evidenze ma estremamente significative per tipologia. Ad esempio in figura 13 si osservano tre tracce concentriche riferibili verosimilmente a tre fossati o palizzate. Il sopralluogo ha permesso di rilevare una variazione di morfologia in corrispondenza delle tracce e di un importante spargimento di ceramica su tutta l'area riferibile ad un orizzonte altomedievale e secoli centrali<sup>8</sup>. La motta è una tipologia insediativa diffusa nella penisola ma pressoché sconosciuta nella Toscana centro-meridionale. L'importanza della scoperta deve essere intesa non solo nell'originalità del rinvenimento bensì nella possibile esistenza di altre situazioni analoghe in particolare nelle aree con le medesime caratteristiche geografiche (FRANCOVICH, HODGES 2003; FRANCOVICH, GINATEMPO 2000; HIGHAM, BARKER 1992).

### **Immagini da satellite**

Tra i maggiori limiti delle ricognizioni aeree troviamo la soggettività della documentazione. Infatti questa è del tutto affidata alle capacità e all'esperienza dell'archeologo che nel corso del volo documenta solo le evidenze che ritiene essere significative. Per superare questo problema è necessario affiancare alla ricognizione aerea una documentazione sinottica che possa essere acquisita nei periodi in cui la visibilità delle tracce è maggiore. Queste ed altre caratteristiche sono rintracciabili nelle immagini dell'ultima generazione di satelliti. In circostanze appropriate l'informazione acquisita dai satelliti ad alta risoluzione comincia ad essere confrontabile con le riprese aeree verticali a media scala. Il livello di dettaglio delle immagini Ikonos-2 e QuickBird-2 in linea teorica dovrebbe consentire di distinguere elementi con dimensioni minime (larghezza) comprese tra 60 cm e 4 m ed elementi poligonali con superfici di circa 500-1000 m<sup>2</sup>. Partendo da queste ipotesi, dal 2000 abbiamo avviato un progetto di sperimentazione e valutazione delle potenzialità archeologiche delle immagini da satellite ad alta risoluzione.

*Immagini del satellite Ikonos-2* - Il sensore pancromatico ha una risoluzione geometrica al suolo di 1 m ad 11 bit e acquisisce nella banca spettrale fra 450-900 nm. Il sensore multispettrale ha una risoluzione di 4 m, 11 bit e 4 bande. Sebbene Ikonos-2 non abbia bande che operano nell'infrarosso medio e termico, è certamente tra i satelliti che più si avvicinano alle esigenze degli archeologi. Nella primavera del 2000

---

<sup>7</sup> I dati di superficie sono stati raccolti e gentilmente messi a disposizione da Francesco Pericci, responsabile del *survey* del comune di Monteroni d'Arbia (Progetto Carta Archeologica della Provincia di Siena)

<sup>8</sup> La ricognizione e l'esame autoptico dei reperti sono stati eseguiti dal sottoscritto e da Lorenzo Marasco, quest'ultimo responsabile del riesame degli scavi condotti tra la fine degli anni Settanta, inizio anni Ottanta nel vicino castello di Scarlino. MARASCO 2006.

abbiamo acquistato le immagini Ikonos-2 relative a due aree campione. La prima è situata lungo la costa toscana tra le località Piombino e Donoratico ed è caratterizzata dalla prevalenza di suoli leggeri destinati a seminativi. La seconda è relativa all'entroterra senese (amministrazioni comunali di Murlo e Montalcino) ed è prevalentemente occupata da aree boschive e suoli argillosi. Le immagini relative al comprensorio senese presentano due grandi aree con copertura nuvolosa (con relativa ombra) la prima in corrispondenza delle località Murlo e Vescovado, la seconda più estesa tra le località Casciano, Frontignano e Castel di Notte. Le immagini della provincia di Livorno sono costituite da due scene, la scena ovest relativa alla fascia di litorale tra il promontorio di Piombino, San Vincenzo, Donoratico è caratterizzata da un'ottima visibilità, totalmente priva di copertura nuvolosa e foschia. La scena est, tra le località Torre del Sale e Riotorto è priva di nuvole ma risulta disturbata da un velo di foschia che altera la risposta spettrale della banda del blu. L'approccio metodologico seguito per lo studio delle immagini Ikonos-2 ha previsto l'analisi autoptica a monitor delle scene, precedente e successiva ad una serie di trasformazioni delle stesse. La procedura applicata per il trattamento delle immagini è distinguibile in due fasi. Il primo stadio di elaborazione prevede l'uso di trasformazioni elementari, tecniche di miglioramento del contrasto, elaborazioni multispettrali della scena tra cui colour composite RGB delle bande originali (3-2-1; 4-3-2; 4-2-1) e operazioni algebriche, in particolare l'indice normalizzato di vegetazione (NDVI). Uno dei problemi delle immagini multispettrali Ikonos-2 è costituito dalla risoluzione spaziale talvolta ancora insufficiente per definire con certezza la natura di alcuni oggetti. In considerazione di questa difficoltà abbiamo affiancato alla lettura ed analisi dell'immagine multispettrale come strumento di verifica e controllo una ortofotocarta digitale del 1996 con risoluzione di 1 m. Prima di passare al secondo *step* di elaborazione digitale le anomalie identificate vengono riesaminate in ambiente GIS dove ogni presunta anomalia viene confrontata con le informazioni deducibili dalla cartografia tecnica, tematica, storica e con le prese aeree verticali storiche e recenti. Quando è stato ritenuto utile abbiamo inoltre sovrapposto l'immagine al modello digitale del terreno e visualizzato, per quanto possibile in rispetto all'accuratezza del modello, la rappresentazione tridimensionale del transetto territoriale e dell'anomalia. Questo passaggio intermedio consente un processo di selezione (di 104 anomalie individuate nella prima fase 20 sono state scartate) basato sulle possibilità offerte dal GIS archeologico di integrazione e confronto tra fonti talvolta marcatamente differenti. La seconda fase di elaborazione ha previsto l'isolamento delle aree di interesse, ritagliando le parti di immagini in cui abbiamo identificato le anomalie. Questo procedimento è indispensabile poiché le trasformazioni applicate a questo stadio sono di natura statistica. È quindi necessario disporre di aree omogenee affinché ai calcoli corrisponda il significato originariamente attribuito. Le operazioni effettuate sulle immagini sono l'analisi delle componenti principali, Tasseled Cap Transformation, *decorrelation stretch* e *colour composites* RGB dei risultati delle varie trasformazioni (in particolare PC1-PC2-PC3; BGW).

Concluse le operazioni di elaborazione delle immagini si passa all'interpretazione in ambiente GIS che consiste, come abbiamo già visto per le fotografie scattate nel corso delle ricognizioni aeree, nella restituzione grafica o cartografica su layer vettoriale delle tracce visibili che nel complesso ammontano a 84 (CAMPANA, 2002). Le tipologie di evidenze rilevate in fase di interpretazione delle immagini sono relative ad aree insediative cinte da fossati, tumuli e monumenti funerari, insediamenti fortificati d'altura, viabilità, opere di terrazzamento, partizioni agrarie, generici fossati, paleoalvei ed infine elementi generati da fenomeni geologici ed altre false tracce di varia natura. Le dimensioni delle anomalie identificate mostrano un intervallo piuttosto ampio da un minimo di 400 m<sup>2</sup> (statisticamente irrilevante) ad una media di 10000 m<sup>2</sup> (*fig. 14*). Oltre ad anomalie del tipo appena discusso le immagini del satellite Ikonos-2 si sono rivelate piuttosto efficaci per l'individuazione di elementi anomali con andamento prevalentemente lineare con dimensioni minime comprese tra 2 e 4 m. Le evidenze individuate sono in genere pertinenti a fossati o probabili tratti viari, anche se piuttosto numerose sono risultate le false tracce pertinenti ad interventi moderni o di natura geologica.

*Immagini del satellite Quickbird-2* - La società americana DigitalGlobe™ ha messo in orbita alla fine del mese di ottobre del 2001 il satellite Quickbird-2, equipaggiato con un sensore pancromatico con risoluzione spaziale massima di 0,62 m ad 11 bit ed un sensore multispettrale, simile a quello installato su Ikonos-2, con risoluzione di 2,44 m sempre ad 11 bits. Attualmente Quickbird-2 è il satellite civile con la definizione spaziale più elevata. Sulla base dell'esperienza acquisita nello studio del dato Ikonos-2 abbiamo focalizzato la nostra attenzione su due problemi: la risoluzione spaziale e la possibilità di scegliere il periodo di acquisizione. Nella primavera del 2002 abbiamo acquistato tramite la società

Telespazio le immagini pancromatiche e multispettrali di tre aree della Toscana centro-meridionale. La prima è situata in Val d'Orcia, la seconda in Val di Merse (SI), la terza nel comune di Grosseto a nord dell'omonimo centro urbano. Oltre all'elevatissima risoluzione geometrica molto interessante è la politica di vendita che prevede un acquisto minimo di soli 64 Km<sup>2</sup> e maggiori possibilità di determinare con sufficiente approssimazione i tempi di acquisizione. Le immagini sono nel complesso di ottima qualità. Nella discussione sull'esperienza condotta con il dato Ikonos-2 abbiamo visto che uno dei limiti maggiori è costituito dalla risoluzione spaziale. Il dato multispettrale di Quickbird-2 ha una risoluzione spaziale di poco superiore ad Ikonos-2 pari a 2,8 m. Per migliorare questo aspetto abbiamo acquistato oltre al multispettrale anche il dato pancromatico. Disporre di entrambe le immagini è piuttosto utile poiché è possibile attraverso un algoritmo di *data fusion*, ad esempio il *pan-sharpening* combinare i due dati ed ottenere una nuova immagine (detta *pan-sharpened*) con risoluzione 0,70 m. L'immagine conserva tre delle quattro bande spettrali – verde, rosso, vicino infrarosso (PRINZ, 1997; CONSOLE-SOLAIMAN, 2000). In questo modo nello spazio occupato da un pixel dell'immagine multispettrale Quickbird-2 trovano spazio 14,87 pixel della nuova immagine e rispetto alle immagini multispettrali Ikonos-2 l'aumento della risoluzione è quantificabile in 32,65 volte. Il dato *pan-sharpened* ha quindi una risoluzione di 0,70 m, un livello di dettaglio che aumenta in modo significativo le nostre capacità di osservare con chiarezza gran parte degli elementi che costituiscono il territorio, diminuendo il rischio di commettere grossolani fraintendimenti. Sulla base dell'esperienza condotta riteniamo che i motivi di maggiore interesse verso le immagini da satellite ad alta risoluzione debbano essere riconosciuti nelle caratteristiche multispettrali dei dati, nella presenza del canale infrarosso e nella possibilità offerta all'utente di pianificare il momento di acquisizione. Se i progressi nella comprensione delle potenzialità delle caratteristiche multispettrali e delle proprietà diagnostiche del canale vicino infrarosso dipendono direttamente dall'intensificazione di ricerche specifiche, la possibilità di accedere ai dati sulla base delle esigenze archeologiche deriva esclusivamente dall'implementazione dell'industria aerospaziale. A tale proposito le prospettive sembrano essere molto promettenti. Il successo registrato da Space Imaging e DigitalGlobe, l'incremento generale dell'interesse verso le applicazioni di Remote Sensing, la crescente richiesta di immagini del territorio per l'aggiornamento dei sistemi GIS e la volontà di indipendenza dal mercato americano hanno spinto numerose agenzie spaziali e società commerciali a sviluppare propri progetti di piattaforme satellitari per rilevamenti di dettaglio del territorio (si veda il sito internet: <http://192.167.112.135/NewPages/REMOTESENS/REMOTE.html>).

### **Fotografia aerea storica**

La fotografia aerea storica costituisce una fonte irrinunciabile per lo studio del territorio. Le informazioni contenute soprattutto nelle riprese degli anni '30, '40 e '50 mostrano un paesaggio profondamente diverso dalla realtà contemporanea. Sviluppo edilizio, realizzazione di opere infrastrutturali, trasformazioni dell'uso del suolo, meccanizzazione dell'agricoltura hanno profondamente cambiato il territorio, distruggendo in modo irreparabile o occultando una parte significativa del nostro patrimonio archeologico. Solo attraverso l'analisi dettagliata di queste coperture aerofotografiche è possibile recuperare, almeno in parte, la memoria dell'esistenza, dell'ubicazione e dell'articolazione di insediamenti e altre attività antropiche o eventi naturali (PICCARRETA, CERAUDO 2000). Ulteriori motivi di interesse verso questa fonte sono costituiti dalla rilevanza dell'estensione superficiale interessata dalle coperture aeree verticali (in genere quantomeno a scala regionale o provinciale) e dalla ingente quantità di materiale fotografico disponibile, spesso gratuitamente, presso archivi provinciali, regionali, organi militari e collezioni private.

L'attività in questo settore dell'Area di Archeologia Medievale risale alla metà degli anni '80 ad opera di Marcello Cosci. Il lavoro svolto presso il LAP&T può essere ricondotto al proseguimento della lettura allo stereoscopio delle fotografie aeree, all'immissione dei dati acquisiti in passato in ambiente informatizzato, alla georeferenziazione e interpretazione tramite restituzione grafica vettoriale ed infine all'applicazione a casi di studio di particolare interesse di tecniche fotogrammetriche.

Allo stato attuale tutte le anomalie (circa 5500) sono state acquisite in formato digitale e le informazioni descrittive ad esse associate inserite in un apposito data base. Il processo di georeferenziazione e restituzione grafica è invece tuttora in corso e costituisce uno degli obiettivi principali del Progetto finanziato dal MIUR (PRIN 2004) dal titolo, Cartografia finalizzata e sistemi informativi per il patrimonio archeologico del territorio: campioni regionali in Italia e nel bacino del

Mediterraneo (si veda il sito: <http://192.167.118.99/CCGBA/laboratori/lapetlab/pagine/tecnologieintegrate.html>).

Di recente la nostra attività di lettura ed analisi si è concentrata sul volo base (1954) e su prese acquisite negli anni '70. Gli spazi indagati sono relativi alla provincia di Siena, alla costa Toscana (da Caparbio a Cecina), alle aeree previste nella programmazione delle ricerche per la Carta Archeologica della Provincia di Grosseto (tratto costiero da Grosseto a Pescia Romana e area parco e preparco dei monti dell'Uccellina) ed infine il comprensorio amiatino relativo ai comuni di Castell'Azzara, Santa Fiora, Arcidosso, Castel del Piano, Seggiano, Abbadia San Salvatore e Piancastagnaio.

### **Indagini geofisiche estensive**

Se la restituzione cartografica di tutte le evidenze riscontrate da satellite, nel corso delle ricognizioni aeree e dalle riprese aerofotogrammetriche consentono di comporre un mosaico articolato in grado di arricchire notevolmente il *record* archeologico, le stesse non sono sistematicamente in grado di fornire nuove informazioni rispetto al totale della popolazione dei siti archeologici noti. Per esprimere meglio questo concetto dobbiamo fare un passo indietro. Nell'introduzione abbiamo accennato a progetti di ricognizione archeologica di superficie in cui è impegnata l'Area di Archeologia Medievale (alcuni dei quali coordinati dallo stesso LAP&T). I *survey*, complessivamente, hanno interessato in modo sistematico più di 1500 Km<sup>2</sup> di superficie, individuando circa 9000 aree di reperti in superficie. Una grave lacuna nel processo di ricomposizione del palinsesto informativo è costituita dalla mancanza di corrispondenza sistematica tra dato telerilevato e indagine sul terreno. Accade spesso infatti che le emergenze rinvenute nel corso delle ricognizioni sul campo e caratterizzate da estesi spargimenti di ceramiche e materiali edilizi non sono rintracciabili sulle immagini da satellite, sulle prese verticali o nel corso delle ricognizioni aeree. Meno diffuso ma altrettanto problematico è il fenomeno inverso, ovvero le tracce visibili da dati telerilevati non corrispondono in superficie alla presenza di materiali archeologici o solo in misura molto ridotta rispetto a quanto sarebbe lecito attendersi.

Questa situazione, se da un lato consente un aumento quantitativo delle evidenze, dall'altro rappresenta un limite nel processo conoscitivo dei paesaggi archeologici, una frattura sostanziale rispetto ai nostri obiettivi. La possibilità di associare a spargimenti di materiali ceramici una sorta di "radiografia" più o meno articolata del sottosuolo rappresenta sia per la conoscenza del sito sia per la tutela dello stesso un elemento significativo. Per affrontare questa situazione abbiamo considerato varie possibilità. La prima soluzione che abbiamo adottato e che stiamo attualmente implementando è costituita dalla gradiometria, un'applicazione del metodo magnetometrico particolarmente diffuso nella diagnostica archeologica ma raramente applicato in modo estensivo all'indagine territoriale, nonostante le precoci intuizioni di Clark. Nel suo volume *Seeing beneath the soil* suggerisce infatti di affiancare sistematicamente gli strumenti geofisici alla ricognizione di superficie, offrendo all'archeologo un "terzo occhio" (CLARK, 1990, p. 89; per applicazioni all'indagine territoriale si veda in Gran Bretagna, POWLESLAND 2001, pp.233-255, mentre in Italia KAY, 2003, pp.199-215). Rispetto alle nostre esigenze la gradiometria è in grado di soddisfare quello che per noi costituisce un nodo cruciale, indagare superfici consistenti in tempi contenuti. Il nostro obiettivo consiste nell'indagine sistematica di tutti i contesti di medio e grandi dimensioni, dal medioevo alla preistoria, riconosciuti durante le campagne di ricognizione. Dal 2003, nel corso del *survey* della Val d'Orcia, abbiamo progressivamente messo a punto un sistema di acquisizione e postprocessamento dei dati che ci consente di acquisire ed elaborare misure del gradiente magnetico da uno fino ad un ettaro e mezzo di terreno in una giornata di lavoro con risoluzione di un metro tra i profili e 50 cm circa lungo gli stessi. Allo stato attuale abbiamo indagato 30 siti per un totale di circa 30 ettari di superficie. La tendenza generale sembra indicare che il grado di dettaglio sia sufficiente per individuare con una buona approssimazione l'ubicazione del deposito. Per meglio comprendere il ruolo che questo metodo occupa nelle nostre indagini presentiamo brevemente un caso di studio relativo alle province di Siena. Si tratta di un sito compreso in una delle aree campione definite nell'ambito del progetto Carta Archeologica della Provincia di Siena, situata nel Comune di San Giovanni d'Asso. L'area è segnalata, nei documenti della disputa tra i vescovi di Siena e di Arezzo ascrivibili al 714 e 715, per la presenza della pieve di San Pietro in Pava (SCHIAPARELLI, 1929, n.19). L'esegesi del documento consente di retrodatare l'esistenza di un edificio di culto, infatti il prete *Audo* testimonia che i suoi predecessori già obbedivano all'episcopio aretino, suggerendo la possibilità di due precedenti generazioni di sacerdoti e quindi l'esistenza dell'edificio di culto almeno dalla metà del VII

secolo. Di San Pietro in Pava sappiamo inoltre che probabilmente sorgeva presso il torrente Asso, nella località denominata nell'Estimo del 1320 Pieve Vecchia, non lontano dall'attuale Pieve a Pava. L'edificio plebano risulta attestato nel 1029 ma probabilmente era ridotto in stato di rovina, abbandonato e sostituito dalla vicina chiesa filiale di Santa Maria in Pava, che nel 1045 appare nei documenti con il titolo di pieve. Tuttavia le carte riportano che era ancora ufficiata nel 1320 dal rettore "*Ser Finus presbiter plebis Pievecchia*". Nel 2001, durante la campagna di ricognizione per la redazione della Carta Archeologica della Provincia di Siena, sono state individuate ai piedi della località tracce in superficie di un complesso di medio-grandi dimensioni di epoca romano-imperiale, con tracce di continuità d'uso, forse ininterrotta, fino almeno al VI secolo d.C. Il complesso era molto probabilmente legato al passaggio della viabilità che proprio in questo punto guadava il torrente Asso. La presenza frammentata a ceramica e materiali edilizi di molte ossa umane ha favorito l'ipotesi di distinte fasi d'uso del sito, abitativa e funeraria. La presenza piuttosto copiosa di ossa umane consentiva di ipotizzare un numero elevato di sepolture, per le quali non era da escludere un eventuale rapporto con la suddetta pieve di San Pietro in Pava (FELICI 2003). Ricapitolando dalla ricognizione sono emersi molti indicatori relativi alla presenza di un complesso insediativo piuttosto importante: tubuli per il passaggio dell'aria calda relativi ad un impianto termale, cocciopesto (da associare anche in questo caso ad impianti idraulici), numerose monete, un cavallino in bronzo di ottima fattura, ossa umane. Il sito è stato oggetto di analisi delle foto aeree verticali storiche e recenti e di ricognizioni aeree che hanno avuto esito negativo. L'assenza di risultati è da associare alla natura argillosa dei suoli. Anche il volo effettuato nell'inverno 2004 a seguito di una leggera nevicata non ha consentito la registrazione di nessuna evidenza.

L'indagine gradiometrica ha interessato un'area di 2 ettari (Fig 15). Le anomalie magnetiche visibili nella porzione in cui da ricognizione era possibile notare la compresenza di ceramica e ossa umane sono risultate piuttosto interessanti. La restituzione grafica dei dati (Fig 16) mostra l'esistenza di una forma rettangolare piuttosto netta di 20 m x 10 m orientata est-ovest interpretabile come un edificio (una chiesa sulla base di dimensioni orientamento e ossa o un impianto termale per dimensioni e tubuli?). Ulteriori tracce sono costituite da allineamenti con andamento parallelo e ortogonale rispetto all'anomalia di forma rettangolare e sono associabili in via ipotetica a parti supersiti di strutture edilizie o a divisioni esterne. Infine spicca la presenza di due forti dipoli interpretabili come attività produttive tipo forni o fornaci (Fig 16 in alto e in basso). Nei mesi di luglio e agosto 2004 è stata realizzata la prima campagna di scavo che ha interessato la parte occidentale del sito in corrispondenza delle aree di concentrazione di manufatti, di reperti osteologici e delle indicazioni più significative emerse dal rilievo gradiometrico. L'intervento nel sottosuolo ha permesso di verificare l'effettiva presenza di depositi archeologici strettamente correlabili con le risposte offerte dal magnetometro. Alla forma rettangolare corrisponde la presenza di un edificio religioso ascrivibile al V-VI secolo (Fig 16) mentre uno dei due dipoli magnetici, il solo indagato in modo esaustivo, coincide con un forno destinato probabilmente alla cottura di laterizi (Fig 16). La situazione esaminata costituisce un caso di studio completo nel quale il circuito cognitivo è stato realizzato attraverso l'integrazione di diversi metodi che ci hanno permesso di arricchire progressivamente le nostre conoscenze fino alla conclusione del percorso con l'intervento di scavo. Se l'analisi delle fotografie aeree storiche e le ricognizioni con aereo da turismo non hanno dato esito positivo, la lacuna è stata colmata dalle informazioni emerse dal *survey* magnetico, permettendo di associare ai dati della ricognizione di superficie una "forma", approssimativa e sincronica ma ricca di spunti interpretativi ed elementi misurabili. Il confronto tra anomalie magnetiche, ricognizione di superficie e dati di scavo costituisce un tassello fondamentale per l'elaborazione delle chiavi interpretative indispensabili per comprendere situazioni analoghe che divergono dalla presente solo per l'impossibilità di scavare.

### **Il lavoro sul campo: sistemi di georeferenziazione satellitare GPS e computer mobili<sup>9</sup>**

La condizione imprescindibile per gestire i dati territoriali è rappresentata dalla conoscenza della loro posizione rispetto ad un sistema di coordinate geografiche noto. Non soddisfare questa condizione significa non essere in grado di localizzare le informazioni acquisite e quindi rendere impossibile qualunque tentativo di integrazione delle informazioni e di tutela della risorsa. Una singolare contraddizione nella produzione scientifica italiana degli ultimi anni è costituita dalla notevole diffusione in ambito archeologico dei sistemi GIS e per contro dal ritardo nell'affermazione dei sistemi di

<sup>9</sup> Gran parte del presente contributo è già pubblicato in CAMPANA 2005, pp.62-82.

georeferenziazione satellitare. Come è possibile mantenere aggiornato in tempi rapidi un GIS territoriale senza l'impiego sistematico di dispositivi GPS? Osservando la ridotta letteratura italiana sulle applicazioni GPS in archeologia, si ha l'impressione che questa tecnologia venga utilizzata di rado e che il suo reale contributo e le potenzialità siano sottostimate o addirittura incomprese<sup>10</sup>.

L'Area di Archeologia Medievale è convinta da quasi dieci anni che la tecnologia GPS, nell'ambito dell'indagine territoriale, rappresenti per il rilievo speditivo delle evidenze archeologiche la migliore soluzione per versatilità, maneggevolezza, accuratezza e compatibilità con i sistemi di gestione dei dati spaziali. In genere in archeologia l'attenzione sulla tecnologia GPS si è concentrata sul rilievo. Una caratteristica fondamentale di questi strumenti, che trova altrettante applicazioni in archeologia e che merita uno spazio specifico, è rappresentata dalle possibilità di navigazione verso obiettivi noti. La disponibilità costante in campagna di uno strumento di georeferenziazione satellitare va oltre il generico miglioramento della precisione della collocazione delle emergenze archeologiche. Il GPS, soprattutto nella sua forma più evoluta ovvero quando integrato con un *Personal Data Assistant* (PDA) e provvisto di appositi *software* GIS e DBMS, rappresenta uno strumento che consente l'applicazione sistematica di strategie e di metodologie di indagine sviluppate in passato ma raramente applicate per l'eccessivo dispendio di tempo richiesto dalle operazioni topografiche. Negli ultimi quindici anni abbiamo assistito al progressivo trasferimento delle informazioni archeologiche entro sistemi geografici territoriali e data base digitali sempre più affidabili, complessi ed integrati. Molti archeologi, tra cui noi, sostengono che i *personal computer* e la *computer science* hanno trasformato in modo significativo i laboratori e le attività in essi svolte. Riteniamo però che il cambiamento cui abbiamo assistito sia da considerare solo parziale e ancora in corso. Se in laboratorio il supporto cartaceo ha completamente ceduto il passo a sistemi di gestione e di analisi informatizzati, il lavoro sul campo viene tuttora condotto, nella maggior parte dei casi, con i medesimi strumenti in uso prima della rivoluzione informatica. Nell'acquisizione dei dati in campagna tra le prime innovazioni significative vi è senza dubbio la comparsa dei dispositivi di georeferenziazione satellitare, GPS. A questi possiamo aggiungere alcuni strumenti per indagini geofisiche più agili, *friendly* ed affidabili, dispositivi di documentazione quali le macchine fotografiche e le videocamere digitali, i distanziometri laser e poco altro. In termini di accesso e di gestione delle informazioni territoriali direttamente sul terreno la situazione pareva fino a pochi anni o sono in fase di stallo. Un primo concreto cambiamento coincide con la comparsa sul palcoscenico dell'informazione geografica dei dispositivi PDA. I sistemi *mobile* GIS, sincronizzabili con i server cartografici operanti in laboratorio, consentono finalmente di risolvere, o quantomeno arginare, la grave frattura presente tra il laboratorio e l'attività in campagna, mettendo a disposizione sul terreno la medesima quantità e qualità di informazioni precedentemente accessibili solo su Desktop PC o su Server cartografico.

*Applicazioni GPS all'indagine territoriale* - Inizialmente le principali operazioni da noi implementate riguardavano il rilievo topografico nel corso delle ricognizioni di superficie di aree di concentrazione e di monumenti. Ben presto abbiamo realizzato che la tecnologia GPS poteva essere impiegata nelle ricerche sui paesaggi archeologici per numerose applicazioni pertinenti ai diversi ambiti delle nostre ricerche dalla ricognizione di superficie, alla ricognizione aerea, alla verifica in campagna di dati telerilevati, alle indagini geofisiche e all'acquisizione di dati topografici.

Le applicazioni al survey sul terreno, ad esempio, sono molteplici. Oltre all'impiego più elementare, relativo alla georeferenziazione delle emergenze di reperti in superficie o di sottoinsiemi delle stesse, il dispositivo è stato impiegato per il rilievo di singoli reperti individuati nelle aree di concentrazione e per il rilievo di griglie predefinite di raccolta. Questa applicazione assume particolare significato se stratificata nel tempo. Le funzioni di navigazione dei GPS trovano naturali applicazioni nella ricerca di concentrazioni georeferenziate in passato e nel monitoraggio dello spostamento e dell'aumento della superficie di spargimento dei reperti. Proseguendo la rassegna delle applicazioni GPS all'archeologia di superficie affrontiamo un problema diffuso nella documentazione archeologica di molti progetti territoriali, rappresentato dallo scollamento degli archivi fotografici dalla realtà territoriale. Il GPS può svolgere anche in questo caso un ruolo significativo attraverso il rilievo del punto di vista di una fotografia (georeferenziazione di una linea), di un prodotto QTVR (georeferenziazione di un punto) o del

---

<sup>10</sup> La letteratura sull'argomento è piuttosto limitata e rivolta in particolare alla descrizione tecnica del sistema GPS, all'integrazione tra GPS e stazione totale e ad applicazioni finalizzate alla realizzazione di DTM con strumenti centimetrici, si vedano COLOSI *et alii*, 2000; COLOSI *et alii*, 2001a; COLOSI *et alii*, 2001b; GABRIELLI, 2001; COLOSI *et alii*, 2003. Eccezioni sono costituite dal progetto Regional Pathways to Complexity (ATTEMA *et alii*, 2002, pp. 18-27) e dall'attività del Virtual Heritage Laboratory (ITABC-CNR) diretto da Maurizio Forte (si vedano in particolare FORTE-GABRIELLI, 2002 e FORTE, 2003).

percorso di acquisizione di un filmato (georeferenziazione di una polilinea). Mentre l'acquisizione sul campo di questi dati non richiede un dispendio di tempo quantificabile, è infatti sufficiente attivare il dispositivo, appoggiarlo a terra e dedicarsi alla ripresa fotografica, il risultato è particolarmente prezioso poiché consente di stabilire una relazione topologica tra immagini e ambiente GIS. La visualizzazione delle immagini nel GIS non potrà che avvenire tramite *hyperlink*. L'ultima applicazione che presentiamo in questa sede, associata alla pratica della ricognizione di superficie, è stata sperimentata fin dal 1999 e consiste nel rilievo del percorso effettivo seguito durante la battitura sistematica dei fondi agricoli (CAMPANA, 2001, pp. 68-69). Il problema della precisione della copertura del fondo costituisce un aspetto metodologico fondamentale per l'esito della ricerca e per la rappresentatività dei risultati (BINTLIFF-SNODGRASS, 1985, pp.123-161). La difficoltà di mantenere costante la direzione corretta è particolarmente evidente in corrispondenza di territori caratterizzati da fondi agricoli di grandi dimensioni, con morfologia collinare, di forma irregolare e quasi del tutto privi di punti di riferimento (recinzioni, cortine di alberi ecc). In queste situazioni anche una piccola variazione della direzione può rappresentare la perdita inconsapevole di un'ampia porzione di territorio. Per evitare situazioni di questo tipo viene generalmente utilizzata la bussola e prestata scrupolosa attenzione al rispetto della distanza tra ricognitori. Questo sistema garantisce un grado di precisione accettabile, evitando lacune grossolane. I limiti di questa procedura rimangono l'approssimazione difficilmente calcolabile con esattezza e l'assenza di documentazione. Dal 1999 abbiamo utilizzato intensivamente il ricevitore GPS con l'obiettivo di documentare anche questo aspetto della ricerca. Lo strumento consente di controllare la direzione tramite una bussola elettronica ma soprattutto contemporaneamente il ricevitore registra il tragitto reale. L'elaborazione in ambiente GIS dei dati acquisiti sul terreno consente di generare una *buffer zone* che tenga conto della distanza tra i ricognitori e del numero di persone presenti al fine di rappresentare la superficie battuta. Il risultato è estremamente prezioso in quanto consente di documentare un aspetto rilevante del nostro lavoro, fornendo indicazioni preziose sia al responsabile della ricerca sia agli utenti dei risultati delle ricognizioni, dagli addetti alla tutela alle nuove generazioni di ricercatori, al fine di valutare la reale intensità delle indagini.

*Applicazioni PDA alla ricognizione di superficie* - Dal 2002 abbiamo rivolto la nostra attenzione ai sistemi *mobile GIS*. I motivi di attrazione verso questa tecnologia sono piuttosto evidenti (RYAN *et alii*, 1999; RYAN-VAN LEUSEN, 2002; CRAIG, 2000). I PDA mettono a disposizione direttamente sul terreno tutte le informazioni geografiche (basi cartografiche tecniche e tematiche, le coperture aerofotografiche e satellitari, dati geofisici) e i data base alfanumerici normalmente fruibili solo in laboratorio. Oltre al vantaggio di consultare e aggiornare in campagna gli archivi, questi strumenti e i relativi *software GIS* sono predisposti per essere collegati a svariate periferiche tra cui il dispositivo GPS, permettendo di visualizzare sullo sfondo le informazioni geografiche con in *overlay* la posizione dell'operatore in tempo reale. Per comprendere meglio alcune delle opportunità messe a disposizione dai sistemi *mobile GIS* riteniamo che un esempio particolarmente significativo è costituito dal confronto delle possibilità offerte da un "tradizionale" strumento GPS e da un PDA provvisto di GPS in relazione alla raccolta di materiali, nell'ambito della ricognizione di superficie, organizzata entro griglie predefinite.

Nel primo caso la procedura sul campo, sebbene velocizzata negli aspetti del rilievo, prevede comunque la collocazione fisica di una griglia sul terreno, in genere tramite l'utilizzo di paletti in corrispondenza dei vertici di ogni cella. Questa operazione, oltre ad essere piuttosto dispersiva, presuppone che il ricognitore disponga di rotelle metriche, mazzuolo, picchetti e nastro da cantiere. Un equipaggiamento pesante che non è proponibile portare sistematicamente in campagna. Nell'ambito delle ricerche nel comune di Montalcino, al fine di superare questa situazione ed offrire al ricercatore la possibilità in qualunque momento della ricognizione di optare per una raccolta per griglie, abbiamo generato in laboratorio, in formato *shapefile*, tre griglie predefinite di 5, 10 e 20 m per tutte le aree campione del territorio ilcinese. Ad ogni cella abbiamo associato un identificatore composto dalla sigla dell'amministrazione comunale, da una lettera corrispondente al campione e da un numero progressivo. Successivamente al passaggio dal sistema di riferimento Gauss-Boaga a UTM abbiamo trasferito i dati sul PDA. Il contributo di questo approccio alla raccolta per griglie è risultato straordinario. La possibilità di visualizzare la griglia prescelta contemporaneamente alla posizione del ricognitore con una accuratezza di circa  $\pm 30$  cm (correzione differenziale in tempo reale) permette di procedere alla raccolta senza bisogno di altro (Fig 17). In questo modo decade sia la necessità di portare con se l'attrezzatura necessaria per la realizzazione della quadrettatura sia l'esigenza di rilevare i vertici della griglia. È ovvio che non pensiamo di dotare

ogni componente di un *team* di ricognizione di un PDA. Sarà sufficiente che il responsabile segua le indicazioni del cursore di navigazione, spostandosi sui vertici di ogni cella, segnando il punto, ad esempio, con una pietra o con qualunque altro oggetto disponibile ed in seguito avviare la raccolta.

L'apporto che questo uso del PDA offre alla ricognizione di superficie non deve essere inteso solo in relazione al risparmio di tempo o al superamento di possibili conflitti con i proprietari dei fondi agricoli bensì nell'opportunità offerta al responsabile della ricognizione di scegliere la raccolta per griglie ogniqualvolta lo ritenga necessario, fin dal momento della scoperta del sito, e proseguire con la massima flessibilità nei mesi o negli anni successivi alla ripetizione del *survey* utilizzando la medesima griglia digitale. Riteniamo che sia proprio di questa libertà di scelta, della capacità di rispondere rapidamente e in modo flessibile alla necessità di applicare strategie diverse di caso in caso che le ricerche di superficie hanno bisogno per superare finalmente il diffuso scetticismo che da sempre le affligge. Quanto esposto in relazione alla ricognizione di superficie costituisce solo una delle numerose nuove possibilità offerte dall'impiego sul campo di sistemi *mobile* GIS. Nell'ambito di indagini geofisiche il ricercatore può, in modo simile a quanto visto per la ricognizione di superficie, evitare di perdere tempo nelle operazioni di preparazione di profili di acquisizione e navigare lungo "virtuali" griglie predefinite, realizzate in laboratorio specificatamente per la prospezione del sito.

Allo stato attuale di *work in progress* i risultati e limiti da noi osservati possono essere ricondotti nel complesso a:

- Accesso in tempo reale sul campo ad una mole significativa di informazioni tramite interfacce GIS e *data base*.
- Possibilità di liberarsi di supporti cartacei quali schede di unità topografica, stampe degli schedari prodotti nelle campagne precedenti, documentazione edita, cartografie tecniche, tematiche e storiche. Tutta questa documentazione limita l'agilità dell'operatore sul campo e costringe l'archeologo a farsi carico di lavori ridondanti quali la trascrizione di schede UT, di schede di volo, della delimitazione degli spazi indagati, ecc.
- Possibilità di interazione tra *layer* georeferenziati e posizione GPS, facilitando in modo straordinariamente efficace la navigazione in qualsiasi condizione, dalla ricerca di siti e anomalie su terreni agricoli (*Fig 18*) e boschi, alle indagini geofisiche, ecc.
- Opportunità in fase di navigazione e di rilievo di un riscontro immediato tra le caratteristiche attuali del sito e le rappresentazioni fotografiche o cartografiche disponibili sullo sfondo. Ci riferiamo, ad esempio, a eventuali trasformazioni dell'uso del suolo, all'aumento dell'aerea di spargimento o a movimenti di concentrazioni di reperti fittili in superficie, ecc.
- I limiti principali sono da ricercare nelle componenti hardware e software. In particolare sono auspicabili miglioramenti della qualità visiva dello schermo, della frequenza del processore e della disponibilità di memoria RAM. In relazione ai programmi disponibili è indispensabile sviluppare *suite* in grado di favorire ulteriormente l'integrazioni dei dati, l'immissione sul campo di nuove informazioni geografiche e descrittive ed infine riteniamo necessario rivolgere l'attenzione verso il miglioramento delle funzionalità di aggiornamento dei server cartografici.

Sulla base dell'esperienza condotta riteniamo che questa tecnologia costituisca la prima concreta risposta alla necessità di dotare l'archeologo che opera nel territorio di uno strumento integrato ed implementabile, uniformato, sincronizzato e coerente con le più avanzate tecnologie disponibili in laboratorio che consenta concretamente di arginare lo scollamento tra lavoro sul campo e in laboratorio ampliando in modo significativo le possibilità di intervento dell'archeologo.

*Applicazioni Tablet PC alla ricognizione aerea* - Nel corso delle ricognizioni aeree del 2004 abbiamo sviluppato una soluzione *mobile* GIS finalizzata alla documentazione delle evidenze e alla navigazione. Sebbene il contributo in entrambi i casi sia stato significativo, il palmare utilizzato in campagna e i relativi software hanno evidenziato alcuni limiti. Anzitutto lo schermo da 3 pollici e mezzo risulta troppo piccolo rispetto alla scala territoriale a cui si lavora e di difficile utilizzo per le continue vibrazioni a cui si è sottoposti. Altro problema è costituito dall'uso di uno strumento integrato. La necessità di operare con aerei ad ala alta comporta la presenza del tettuccio che ostacola la ricezione del segnale, costringendo l'utente ad una posizione protratta in avanti scomoda e innaturale. Una soluzione potrebbe essere costituita da una antenna esterna ma ciò comporterebbe la presenza di fili nell'abitacolo che possono ostacolare l'archeologo durante le riprese aerofotografiche o essere staccati provocando l'interruzione della registrazione dei dati (*Fig 19*). Tra i limiti incontrati nella nostra esperienza ricordiamo infine le

dimensioni limitate delle memorie di massa rispetto alla scala regionale, la possibilità di installare solo sistemi operativi, GIS e data base di tipo elementare.

Insoddisfatti di questa soluzione ci siamo rivolti a verso i Tablet PC. L'esperienza avviata nel corso del 2004 è incentrata sullo sviluppo di una soluzione integrata tra un Tablet PC e un GPS *bluetooth*. Se il Tablet è troppo ingombrante per essere impiegato nel corso di ricognizioni archeologiche di superficie risulta ideale in aereo, soprattutto se abbinato ad un GPS *bluetooth* che gli conferisce la massima libertà di movimento. È infatti possibile mostrare la rotta e la posizione al pilota oppure passare la tavoletta al passeggero seduto sul sedile posteriore senza intralci e senza mai perdere il segnale. Le dimensioni dello schermo sono da tre a quattro volte superiori rispetto a un PDA. Inoltre, i Tablet sono veri e propri computer dotati di grandi quantità di memoria e di sistema operativo Windows XP. Ciò significa che è possibile installare i medesimi software utilizzati in laboratorio e trasportare consistenti moli di dati. Attualmente abbiamo sviluppato un sistema basato su software ArcEditor (ESRI) e un piccolo data base relazionale, elaborato con FileMaker, attualmente in corso di trasferimento su Access. Il sistema così concepito mette a disposizione dell'archeologo, direttamente in aereo, un ampio repertorio di cartografie tecniche, tematiche, ortofotografiche e costituisce uno strumento di georeferenziazione e di archiviazione dati (DBMS). Il *mobile* GIS contiene inoltre le rotte seguite negli anni passati, i punti e la restituzione grafica di tutte le tracce rilevate tramite fotografia aerea obliqua, verticale, satellite, gradiometro, ricognizioni di superficie, letteratura edita e fonti documentarie (*Fig 20*). È questo uno strumento decisamente più ricco, flessibile e aggiornato delle tradizionali schede cartacee e delle carte topografiche.

Vi sono altri tre aspetti significativi finora emersi nel corso delle ricognizioni del 2005. Disporre sul velivolo di un PC, oltre a soddisfare le esigenze prioritarie di rilievo e navigazione, significa avere uno strumento sul quale appoggiarsi per svariate attività. Ad esempio, l'uso di fotocamere digitali è sempre più diffuso tra gli archeologi aerei. Il Tablet può essere utile, in caso di esaurimento delle memorie fotografiche, per scaricare durante il volo i dati e proseguire il lavoro oppure nel caso di ricognizioni mirate, caratterizzate da particolari esigenze di qualità delle immagini (quali documentazione di scavi o monumenti), per valutare quasi in tempo reale i risultati ottenuti. Si possono inoltre installare software tipo Flitestar (Jeppesen) utile per la consultazione di carte aeronautiche e per l'elaborazione di rotte. La seconda considerazione riguarda il sistema di scrittura. A differenza del PDA il Tablet dispone del sistema di riconoscimento della scrittura, ciò significa che è possibile riempire schede e tabelle con la penna del Tablet esattamente come se fosse una comune penna a biro. Oltre alla facilità di utilizzo in un ambiente che non bisogna dimenticare costantemente sottoposto a disturbi, questa opportunità consente di archiviare dati meno standardizzati più ricchi di sfumature. Con i sistemi tradizionali costituiti dalla tastiera digitale è infatti praticamente impossibile lavorare sul terreno e a maggior ragione in aria. Per superare questo problema i data base vengono progettati con liste valori predefiniti. I dati vengono immessi di campo in campo, selezionando le voci previste nei rispettivi menù. Si tratta di scegliere l'opzione più affine all'elemento da schedare operazione che però comporta il rischio di introdurre forzature. Il lavoro svolto in aereo è molto intenso e faticoso. Seguire la rotta, leggere e interpretare i paesaggi sottostanti, tenere sempre sotto controllo l'attrezzatura fotografica per giungere sull'evidenza con l'obiettivo migliore, con un numero sufficiente di scatti a disposizione, valutare l'incidenza della luce, compilare in modo esaustivo la documentazione, sono solo alcune delle attività che per essere eseguite in modo corretto richiedono grande esperienza. In Italia è verosimile che questo metodo di indagine si affermi negli anni a venire ma è probabile che ci vorrà più tempo prima che vi siano i presupposti per figure specializzate il cui unico compito sia il volo e la ripresa aerea come abbiamo visto in Gran Bretagna. Strumenti quali il Tablet PC sono forse ancor più utili per archeologi meno specializzati. Questo dispositivo infatti facilita notevolmente il compito dell'archeologo in aereo, semplificando la navigazione, l'accesso e la registrazione dei dati e permettendo di concentrarsi maggiormente sul paesaggio sottostante.

## **Conclusioni**

Poche sono le scienze che necessitano come l'archeologia, ed in particolare l'archeologia dei paesaggi, di far ricorso simultaneamente a tanti metodi e strumenti, spesso di natura tanto differente. In questa breve rassegna dell'attività e dell'esperienza condotta dal LAP&T presso l'Area di Archeologia Medievale di

Siena speriamo sia emerso con chiarezza come la progressiva introduzione di tecniche di indagine risponda direttamente ad una serie di esigenze:

- confrontarsi con i condizionamenti del contesto territoriale in cui operiamo;
- rispondere a domande storico-archeologiche centrali nelle nostre ricerche sul territorio;
- rispondere in modo convincente alle istanze della tutela e del monitoraggio dei beni archeologici.

Giunti a questo grado di approfondimento delle nostre indagini in termini tecnici e metodologici abbiamo ancora molto da comprendere, in particolare, in relazione al comportamento delle immagini da satellite, ai fenomeni ambientali che influenzano nelle varie zone della Toscana la visibilità delle tracce archeologiche, all'acquisizione, all'elaborazione e alla corrispondenza tra dati gradiometrici e depositi ipogei, ecc. Inoltre dobbiamo segnalare che in alcuni casi le indagini condotte con tutti i metodi descritti in corrispondenza di siti individuati nel corso delle ricognizioni sul terreno si sono rivelate sostanzialmente impotenti o inapplicabili per la presenza di fattori di disturbo. Infine non possiamo ignorare la nostra sostanziale incapacità di intervento in corrispondenza del 50% di territorio toscano che abbiamo visto essere ricoperto da vegetazione boschiva. A tale proposito un segnale positivo proviene da esperienze condotte negli Stati Uniti e in Gran Bretagna con il sensore aviotrasportato lidar un laserscanner, in grado di rilevare con estrema precisione la morfologia del terreno, rimuovere la vegetazione boschiva e restituire con estremo grado di dettaglio la presenza di tracce da microrilievo (SHELL 2005, pp.281-293; CRUTCHLEY 2006). Su questo fronte abbiamo visto il LAP&T essere già attivo. Nell'ambito del progetto Cultura 2000 *European Landscapes: Past Present and Future* nella primavera del 2005 una abbiamo effettuato l'acquisizione di quattro aree campione nelle province di Siena e Grosseto. Nella medesima direzione, rimozione della vegetazione boschiva e penetrazione del suolo, va il progetto COSMO SkyMed a compartecipazione dell'Agenzia Spaziale Italiana che prevede la realizzazione di una serie di satelliti equipaggiati con sensori RADAR ad apertura sintetica (SAR) ad alta risoluzione (1 m). Se in conclusione è innegabile registrare un generale e significativo progresso nel processo conoscitivo delle evidenze archeologiche e paesaggistiche non bisogna cedere a facili entusiasmi e tenere presente che, nonostante gli sforzi profusi la risorsa archeologica, è costantemente soggetta ad un inarrestabile processo di depauperamento. Per arginare questo fenomeno e contestualmente affrontare specifici problemi storiografici riteniamo che l'ampliamento della disponibilità di sistemi di telerilevamento nella direzione indicata e la loro applicazione sistematica ed estensiva alle nostre indagini territoriali, possa svolgere un ruolo di primo piano, incrementando progressivamente la capacità di riconoscere la risorsa archeologica sempre più svincolata dalle condizioni di visibilità.

### **Ringraziamenti**

Questo contributo è debitore in primo luogo degli stimoli, delle continue discussioni e della fiducia del prof. Riccardo Francovich. L'autore vuole inoltre ringraziare i proff. Enzo Pranzini (Università di Firenze), Salvatore Piro (ITABC-CNR), Dario Albarello (Università di Siena), Maurizio Forte (ITABC-CNR), Chris Musson (English Heritage) e Daria Grossman (Università di Lubiana) per la disponibilità e i preziosi consigli.

Molti sono i ricercatori e gli studenti che hanno collaborato alle attività promosse nell'ambito dei progetti Carta Archeologica delle province di Grosseto e di Siena. Un ringraziamento particolare è rivolto al team del Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento: Cristina Felici, Lorenzo Marasco, Emanuele Vaccaro, Anna Caprasecca, Francesco Pericci, Maria Corsi, Barbara Frezza e Mariaelena Ghisleni, Matteo Sordini.

In ultimo non potremmo mai ringraziare abbastanza gli Aero Club di Firenze e Grosseto con i rispettivi presidenti e piloti e la società di strumenti geofisici GEOSTUDI ASTIER per la costante disponibilità e l'insostituibile contributo dato alle nostre ricerche.

### **Bibliografia**

- AGNOLETTO M. 2002, Il paesaggio agro-forestale toscano. Strumenti per l'analisi, la gestione e la conservazione, Firenze.
- ALVISI G., 1989, La fotografia aerea nell'indagine archeologica, Roma.

- ATTEMA P., BURGERS G.J., VAN JOOLEN E., VAN LEUSEN M., MATER B. 2002, New Developments in Italian Landscape Archaeology. Theory and methodology of field survey, land evaluation and landscape perception, pottery production and distribution, Proceedings of the conference (Groningen, April 13-15 2000), BAR International Series 1091.
- BEWLEY R. 2002, Aerial Survey: learning from a hundred years of experience?, in *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, a cura di R. Bewley, W. Rączkowski, IOS Press, Amsterdam, pp.11-18.
- BINTLIFF J., SNODGRASS A. 1985, The Cambridge/Bradford Boeotian Expedition: The First Four Years, "Journal of Field Archaeology", 12, pp.123-161.
- CAMPANA S. 2001, Carta Archeologica della Provincia di Siena. Murlo, vol.V, Siena.
- CAMPANA S. 2002, Ikonos-2 multispectral satellite imagery in the study of archaeological landscapes: an integrated multi-sensor approach in combination with "traditional" methods. In *The Digital Heritage of Archaeology, CAA02 Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, edited by DOERR, M. and SARRIS, A., Athens p.219-225.
- CAMPANA S. 2005, *Tecnologie GPS e Personal Data Assistant applicate all'archeologia dei paesaggi*, Archeologia e Calcolatori, 2005, All'Insegna del Giglio, Firenze, pp.62-82.
- CAMPANA S., FELICI C., FRANCOVICH R. 2005, *Large scale magnetic survey and archaeological mapping. The Grosseto and Siena projects*, in *proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Archaeological Prospection*, (Roma 14-17 settembre 2005), Institute of Technologies Applied to Cultural Heritage, Roma, pp.25-30.
- CAMPANA S., FRANCOVICH R. 2005a, *Seeing The Unseen. Buried Archaeological Landscapes In Tuscany*, Taylor& Francis, The Netherlands, pp.67-76.
- CAMPANA S., FRANCOVICH R. 2005b, *Linking remote sensing and infra-site analysis to the reconstruction of rural settlement and landscape patterns*, in *The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies*, (Roma, 3-5 novembre 2003), Archaeopress BAR INTERNATIONAL SERIES 1379, Cambridge, pp.61-73.
- CAMPANA S., FRANCOVICH R. 2006, *Progetto Ricognizione Archeologica Aerea della Toscana. Rapporto 2000-2005*, in *Archeologia Aerea (2)*, Roma.
- CERAUDO G. 2003, *Fotografia aerea: tecniche, applicazioni e fotointerpretazione*, in Guaitoli M. 2003, pp. 75-85.
- CERAUDO G. 2004, *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2003)*, in *Archeologia Aerea (1)*, Roma.
- CHERRY J. 1983, Frogs around the pond: Perspectives on Current Archaeological Survey Projects in the Mediterranean Region, in *Archeological Survey and the Mediterranean Area*, BAR Int. Ser. 195, a cura di D. Keller, D. Rupp, Oxford, pp.375-416.
- CLARK A. J., 1996, *Seeing Beneath the Soil*, Prospecting methods in archaeology, London.
- COLOSI F., COSTANTINI A., GABRIELLI R., PIRO S., SANTORI P. 2000, Lo studio del territorio impiegando diverse metodologie d'indagine: il caso della valle del Tevere, "AC", 11, pp.171-189.
- COLOSI F., GABRIELLI R., PELOSO D., ROSE D. 2001, Impiego del Differential Global Positioning System (DGPS) per lo studio del paesaggio antico: alcuni esempi rappresentativi, "AC", 12, pp.181-197.
- COLOSI F., GABRIELLI R., ROSE D. 2001, Integrated use of DGPS and Total Station for the survey of archeologica sites: the case of Colle Breccioso (Borgorose, RI), in *Computing Archaeology for understanding the past*, Proceedings of CAA 2000, BAR International Series 931, Oxford, pp.9-12.
- COLOSI F., GABRIELLI R., MAURIELLO P., PELOSO D. 2003, Cerveteri: topografia della Vigna Parrocchiale II. Metodologie integrate per lo studio di un'area archeologica, "AC", 14, pp.177-198.
- CONSOLE E., SOLAIMAN B. 2000, Problems and perspectives in the high resolution data fusion, in *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 6, pp. 2605 -2607.
- COSCI M. 2005, *Ricerche Aeree in Toscana. L'utilizzo delle immagini tridimensionali e del trattamento computerizzato nella ricerca e nello studio delle fasi antiche del territorio: il progetto senese*, in Musson C., Palmer R., Campana S., Firenze, pp.263-271.
- CRAIG N. 2000, Real-time GIS construction and digital data recording of the Jiskairomuoko excavation. Perù, "SAA Bulletin", 18 (1), pp.24-28.
- CRUTCHLEY S. 2006, *Seeing through the trees: LIDAR and aerial archaeology in England*, in *GPS e Laserscanner per l'archeologia dei paesaggi*, atti del I Workshop Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali, a cura di Campana S., Francovich R., Firenze.

- FELICI C. 2003, La Toscana - Il caso della Val d'Orcia, in *Le chiese rurali tra V e VI secolo in Italia settentrionale e nelle regioni limitrofe*, 9° seminario sul tardo antico e l'alto medioevo, Garlate, Parrocchia di S. Stefano 26-28 settembre 2002, pp. 267-288.
- FELICI C. 2004, *Carta Archeologica della Provincia di Siena. Pienza*, Siena.
- FINZI E., FRANCESE R.G., MORELLI G. 2005, *High-resolution geophysical investigation of the archaeological site "Le Pozze" in the surroundings of the town of Lonato (Brescia, Northern Italy)*, in *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference Archaeological Prospection*, pp.215-219.
- FORTE M. 2003, The Remote Sensing project for the archaeological Landscape of Askum (Ethiopia), in *The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies* (Boston, Massachusetts 1-3 novembre 2001), BAR International Series 1151, pp. 81-93.
- FORTE M., GABRIELLI R. 2002, Il GPS, in *I Sistemi Informativi Geografici in Archeologia*, Forte M., Roma, pp.157-171.
- FRANCOVICH R., GINATEMPO M. (a cura di) 2000, *Castelli. Storia e archeologia del potere nella Toscana medievale*, Firenze.
- FRANCOVICH R., VALENTI, M. 2001, Cartografia archeologica, indagini sul campo ed informatizzazione. Il contributo senese alla conoscenza ed alla gestione della risorsa culturale del territorio, in Francovich R., Pellicanò A., Pasquinucci M. (a cura di), *La carta archeologica. Fra ricerca e pianificazione territoriale*, Florence, 6-7 May 1999, Florence, pp. 83-116.
- FRANCOVICH R., HODGES R., 2003, *Villa to Village. The Transformation of the Roman Countryside in Italy, c. 400-1000*, London.
- GABRIELLI R. 2001, Introduzione all'uso dei GPS in archeologia, in *Remote Sensing in Archaeology*, a cura di Campana S., Forte M., XI Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 6-11 novembre 1999), Firenze, pp.329-354.
- GUAITOLI M., 2003, *Lo sguardo di Icaro. Le collezioni dell'Aerofototeca Nazionale per la conoscenza del territorio*, Rome.
- HIGHAM R., BARKER P. 1992, *Timber Castels*, Londra.
- KAY S. 2003, An integrated approach to the application of geophysical methods to the Cecina Valley Project, "Archeologia e Calcolatori", 14, pp.199-215.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W. 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, New York.
- MANGIAVACCHI M. 2004, *Archivio del Consorzio di Bonifica della Val d'Orcia. Immagini fotografiche per la lettura del territorio*. Firenze, Aska Edizioni.
- MARASCO L. 2006, *Scarlino. Lo scavo Archeologico*, All'insegna del Giglio, Firenze.
- MUSSON C., CAMPANA S. 2005, *Fotografare i segni del passato*, in C. Musson, P. Palmer, S. Campana, All'insegna del Giglio, Firenze, pp.173-229.
- MUSSON C., PALMER R., CAMPANA S. 2005, *In volo nel passato. Aerofotografia e cartografia archeologica*, All'insegna del Giglio, Firenze.
- PICCARRETA F., CERAUDO G. 2000, *Manuale di aereofotografia archeologica. Metodologia, tecniche, applicazioni*, Bari.
- POWLESLAND D., 2001. The Heselton Parish Project. An Integrated multi-sensor approach to the archaeological study of Eastern Yorkshire, England. In *Remote Sensing in Archaeology*, edited by CAMPANA, S. and FORTE, M., Firenze, pp.233-255.
- POTTER T. W., 1985, *Storia del paesaggio dell'Etruria meridionale. Archeologia e trasformazioni del territorio*, trad. it. Compostella C., Roma.
- PRINZ B. 1997, Simulation of High Resolution Satellite Imagery from Multispectral Airborne Scanner Imagery for Accuracy Assessment of Fusion Algorithms, <http://kogs-www.informatik.uni-hamburg.de/projects/censis/satsim/node4.html#SECTION000310000000000000>.
- RYAN N., PASCOE J., MORSE, D. 1999, FieldNote: extending a GIS into the field, in *New Techniques for Old Times*, Proceedings of CAA 1998, BAR International Series 757, pp.127-132.
- RYAN N., VAN LEUSEN M. 2002, Educating the Digital Fieldwork Assistant, in *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope*, Proceedings of CAA 2001, BAR International Series 1016, pp.401-416.
- SCHIAPARELLI L. 1929-1933, *Cidice Diplomatico Longobardo*, Roma.

SHELL C. 2005, High Resolution Digital Airborne Survey for Archaeological Research and Cultural Landscape Management, in *In volo nel Passato*, Musson C.R., Palmer R., Campana S., Firenze, pp.271-283.