

Archeologia e Calcolatori
16, 2005, 177-197

TECNOLOGIE GPS E *PERSONAL DATA ASSISTANT* APPLICATI ALL'ARCHEOLOGIA DEI PAESAGGI

1. INTRODUZIONE

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 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 incomprese¹.

È verosimile ritenere che una parte rilevante della comunità archeologica sia d'accordo sullo straordinario contributo che la tecnologia GIS offre all'indagine archeologica. È altrettanto vero che i GIS archeologici territoriali non solo costituiscono una rappresentazione schematica del paesaggio moderno e antico ma sono soprattutto una interpretazione alla quale gli archeologi spesso partecipano solo in una fase inoltrata del processo di elaborazione del dato. Gran parte delle informazioni presenti nei GIS territoriali sono infatti prodotte dagli uffici cartografici provinciali, regionali e nazionali o da società private. I dati telerilevati, le cartografie numeriche tecniche, tematiche e storiche oltre a veicolare le rispettive informazioni sono utilizzati dagli archeologi per estrarre o derivare ulteriori livelli informativi.

Nell'indagine territoriale fino all'inizio degli anni Novanta gli strumenti di rilievo utilizzabili dagli archeologi si limitavano all'impiego di sistemi di misurazione basati sulla triangolazione tramite rotella metrica o alla stazione totale. Entrambi i sistemi sono piuttosto lenti e mentre il primo pone evidenti limiti di accuratezza, il secondo, all'estrema precisione, contrappone scarse possibilità di impiego sistematico a causa del peso e delle dimensioni dello strumento. Prima dell'avvento della tecnologia GIS le carte archeologiche erano costituite da punti sovrapposti nella migliore delle ipotesi a basi cartografiche cartacee in scala 1:25.000.

¹ 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: cfr. COLOSI *et al.* 2000, 171-189; COLOSI *et al.* 2001a, 181-197; COLOSI *et al.* 2001b, 9-12; GABRIELLI 2001, 329-354; COLOSI *et al.* 2003, 177-198. Eccezioni sono costituite da SOMMELLA *et al.* 1990, 211-236, dal progetto Regional Pathways to Complexity (ATTEMA *et al.* 2002, 18-27) e dall'attività del Virtual Heritage Laboratory (ITABC-CNR) diretto da Maurizio Forte (cfr. in particolare FORTE, GABRIELLI 2002, 157-171 e FORTE 2003, 81-93).

La diffusione dei Sistemi informativi territoriali e delle basi cartografiche ha solo in parte migliorato la situazione. Il problema sostanziale risiede infatti a monte e consiste nei metodi di rilevamento topografico delle emergenze. Considerata la crescente tendenza verso l'analisi quantitativa del dato e la gestione informatizzata del palinsesto archeologico a fini di ricerca e di tutela, i problemi di accuratezza metrica nella collocazione spaziale delle evidenze non possono più essere sottovalutati. A tale proposito non è del tutto inverosimile immaginare in un futuro non troppo lontano che i dati archeologici provenienti da indagini territoriali non rilevati tramite strumenti di georeferenziazione affidabili (provvisi di relativi metadati) possano essere in un certo senso declassati, non diversamente da quanto è accaduto per lo scavo archeologico con l'avvento del metodo stratigrafico². Attualmente riteniamo che la tecnologia GPS 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.

Finora abbiamo posto l'attenzione su un solo aspetto della tecnologia GPS, il rilievo. Una caratteristica fondamentale di questi strumenti, che trova altrettante applicazioni in archeologia e merita uno spazio specifico, è rappresentata dalle possibilità di navigazione verso evidenze archeologiche note.

In questa sede discuteremo come, sulla base dell'esperienza maturata presso i Laboratori di Telerilevamento Applicato all'Archeologia e di Archeologia dei Paesaggi (Università di Siena a Grosseto), la disponibilità costante in campagna di uno strumento di georeferenziazione satellitare vada ben 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.

Ma il contributo dei sistemi *mobile* GIS va oltre l'orizzonte prospettato. Negli ultimi quindici anni abbiamo assistito al progressivo trasferimento delle informazioni archeologiche entro sistemi geografici territoriali e database 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

² In generale sulle problematiche connesse al riutilizzo di informazioni provenienti da survey si rimanda al lavoro di CHAPMAN 2001, 19-23.

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 or 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.

2. LA STAZIONE BASE GPS

Quando abbiamo iniziato a far uso di strumenti GPS nelle nostre indagini era ancora attivo il filtro di degrado artificiale del segnale GPS (circa ± 100 m), noto come *Selective Availability* (SA) introdotto dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti³. In queste condizioni la correzione differenziale era indispensabile per ottenere dati utilizzabili in ambito archeologico. L'impiego di tecniche differenziali prevede la presenza di un ricevitore fisso di riferimento dislocato su un punto di coordinate noto che opera contemporaneamente a uno o più ricevitori sul campo (KAPLAN 1996). La Cattedra di Archeologia Medievale per eseguire questa operazione inizialmente ha fatto riferimento alla stazione base del SIT della Provincia di Siena (Etruria Telematica)⁴.

Nonostante dalla primavera del 2001 la SA sia stata abolita e sia ora possibile ottenere dati accettabili senza correzione differenziale, l'area di Archeologia Medievale ha deciso di dotarsi di una stazione GPS di riferimento⁵. È noto infatti che anche in assenza di SA non è possibile senza correzione differenziale scendere, in tempi accettabili, al di sotto di 5/2 metri di precisione.

³ La comunicazione originale dell'abolizione del filtro SA, divulgata dall'Ufficio Stampa della Casa Bianca, è consultabile al sito Internet: <http://www.trimble.com/home/accuracy2.htm>.

⁴ Cogliamo l'occasione per ringraziare Etruria Telematica (Società di servizi informatici per conto dell'Amministrazione Provinciale di Siena) per la disponibilità e la collaborazione.

⁵ I dati GPS della stazione di riferimento sono liberamente scaricabili dal sito Internet: <http://shaq.archeo.unisi.it/gps/>.

Un'approssimazione ritenuta eccessiva per molte delle applicazioni di nostro interesse⁶. La gestione diretta della stazione di riferimento offre almeno due vantaggi significativi. Consente di impostare, secondo le nostre esigenze, il passo di campionamento delle misurazioni e quindi di accelerare ulteriormente le operazioni in campagna.

Il secondo vantaggio consiste nel collegamento alla stazione di un radio-modem che permette (quando necessario) di mettere in comunicazione il dispositivo GPS rover con la stazione base ed effettuare la correzione differenziale del dato in tempo reale (Fig. 1, a). Come vedremo nel corso della discussione, la correzione in tempo reale rappresenta una opportunità significativa anche in ambito archeologico, contribuendo al netto miglioramento della qualità del nostro lavoro ed ampliando in modo significativo il panorama delle possibili applicazioni con particolare riferimento alle operazioni di navigazione satellitare.

3. LA TECNOLOGIA GPS APPLICATA ALL'INDAGINE TERRITORIALE

Se consideriamo che la disponibilità sul mercato di dispositivi GPS risale alla seconda metà degli anni Ottanta, l'impiego di sistemi di georeferenziazione satellitare nello studio dei paesaggi archeologici presso il Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti di Siena è tutt'altro che precoce (SOMMELLA *et al.* 1990; PACE *et al.* 1996, 237-270). Bisogna infatti attendere il 1999 quando, in occasione dell'*XI International School in Archaeology*, l'Area di Archeologia Medievale ha acquistato il primo dispositivo GPS. Inizialmente le principali operazioni riguardavano il rilievo topografico nel corso delle ricognizioni di superficie di aree di concentrazione e di monumenti⁷. 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.

⁶ Per una stima dell'accuratezza metrica del sistema GPS differenziale in rapporto alla distanza tra stazione e rover, cfr. TOPOUZI *et al.* 2002, 417-426.

⁷ Il primo dispositivo GPS di cui disponevamo, un Geo Explorer II (Trimble), in seguito al post-processamento dei dati consentiva di rilevare l'emergenza con un errore medio di ± 2 metri. Nel corso degli anni 2000 e 2001 si sono aggiunti due ricevitori Geo Explorer III (Trimble). I nuovi dispositivi consentivano di raggiungere, in seguito alla correzione differenziale, precisioni nell'ordine di ± 1 m (*code*) e ± 30 cm (*opzione carrier*). Riteniamo utile precisare che tutti i dispositivi GPS che negli anni abbiamo utilizzato sono strumenti in grado di operare sia per capacità di memoria sia per autonomia delle batterie in modo continuo durante l'intero arco della giornata lavorativa. E questo un requisito non marginale per consentire l'uso sistematico sul campo dello strumento. La nostra esperienza ci spinge a ritenere che lo sviluppo di ulteriori applicazioni sia direttamente connesso all'intensità d'uso della tecnologia GPS in campagna, luogo per eccellenza dove cercare stimoli applicativi.

3.1 La ricognizione di superficie

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 (Fig. 1, d). Questa applicazione assume particolare significato se stratificata nel tempo. La pratica della ripetizione delle ricognizioni è prassi molto diffusa nell'archeologia di superficie per incrementare la quantità delle informazioni ed accrescere l'affidabilità dell'interpretazione (DE GUIO 1985; BARKER 1986). L'impiego del GPS comporta un miglioramento significativo delle qualità spaziali dei dati acquisiti. La determinazione precisa della collocazione dei reperti più significativi raccolti in anni differenti va ad arricchire il record archeologico rappresentando una base indispensabile per lo svolgimento di analisi *intra-site*. 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. Per svolgere le operazioni di navigazione con un tradizionale dispositivo GPS è sufficiente esportare dalla piattaforma GIS (o determinare sulla carta topografica) le coordinate dell'evidenza, importarle nel GPS come *waypoint*⁸ e seguire le indicazioni sullo schermo dello strumento (Fig. 1, c).

Di fronte a concentrazioni di superficie molto articolate e compromesse dai lavori agricoli (una situazione sempre più diffusa nelle nostre campagne) sono stati sviluppati nel corso degli anni Ottanta sistemi aprioristici di raccolta dei materiali basati sulla quadrettatura del sito (BROWN 1987; SCHOFIELD 1991; ORTON 2000). Le esperienze condotte mostrano chiaramente l'efficacia del metodo ma denunciano contemporaneamente la dilatazione dei tempi di lavoro da attribuire prevalentemente alle operazioni topografiche di georeferenziazione della quadrettatura (ORTON 2000).

Nel corso delle ricognizioni effettuate nell'ambito del Progetto Carta Archeologica della Provincia di Siena e della Provincia di Grosseto abbiamo applicato in più occasioni questo metodo utilizzando griglie con passo di campionamento di 5 e 10 metri. Materialmente la griglia sul terreno è stata realizzata tramite l'impiego di una bussola, di picchetti posti in corrispondenza dei vertici e di nastro da cantiere per delimitare i quadrati (Fig. 2, a). In genere i contesti indagati hanno richiesto un numero medio compreso tra 150 e 200 quadrati rilevati in modo non sistematico al fine di sveltire le operazioni topo-

⁸ Questa operazione può comportare la necessità di eseguire un passaggio tra sistemi di coordinate. Il nostro sistema informativo territoriale ad esempio adotta il sistema di coordinate Gauss-Boaga mentre com'è noto i dispositivi GPS utilizzano il sistema globale di coordinate UTM con datum WGS84. Sull'argomento e sui software per il passaggio tra sistemi cfr. SURACE 2002.



Fig. 1 – a) stazione base GPS installata presso il Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti di Siena; b) sistema iPAQ PDA/GPS; c) interfaccia di navigazione di un rover tradizionale; d) rilievo di un reperto particolare nel corso delle ricognizioni di superficie.

grafiche tramite l'acquisizione della posizione di 50-60 vertici (Fig. 2, b). Per garantire una buona approssimazione nell'acquisizione del dato GPS abbiamo acquisito 120 misurazioni per vertice con un tempo di campionamento di 1 secondo sottoponendo i dati a correzione differenziale in post-processing. In questo modo è stato possibile, impiegando una sola persona, rilevare l'intera griglia in poco più di due ore. Un tempo del tutto accettabile se si considera

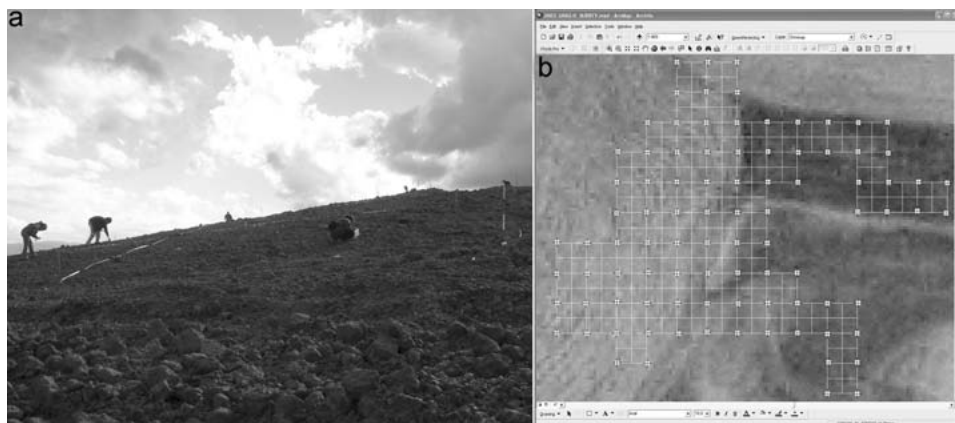


Fig. 2 – a) raccolta di materiali in superficie entro griglie predefinite; b) restituzione in ambiente GIS.

che contemporaneamente i restanti componenti del gruppo di ricerca sono liberi di dedicarsi alla raccolta dei reperti in superficie (Fig. 2, a). Negli anni successivi la ripetizione della raccolta per griglie può contare sulle proprietà di navigazione dello strumento e quindi sul riposizionamento dei vertici nella collocazione originale.

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. Sebbene non manchino esperienze precedenti alla diffusione delle macchine fotografiche digitali, queste ultime hanno svolto un ruolo decisivo nello sviluppo di sistemi di gestione della documentazione fotografica tramite database multimediali. Se gli archivi digitali risolvono molti dei problemi di accesso rapido al dato e alle informazioni in esse presenti, questi risultano scollegati dal GIS o collegati secondo criteri spaziali approssimativi. 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 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. Il fatto che questa soluzione non offra layer direttamente sovrapponibili con altri piani informativi non costituisce, a nostro parere, un limite bensì un'estensione delle possibilità del sistema informativo

di veicolazione delle informazioni. Come nei casi precedenti essere in grado di associare ad ogni dato una terna di coordinate significa essere in grado tramite il medesimo strumento di raggiungerlo in qualsiasi momento. Sarà quindi semplice rintracciare sul terreno elementi contenuti nelle immagini fisse o in movimento non notati in precedenza o che riteniamo suscettibili di ulteriori verifiche.

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). 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). 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 ricerca⁹. Il GEO3 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 (Fig. 3, a). 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.

3.2 La ricognizione aerea

Com'è noto questa metodologia è applicabile in Italia solo da pochi anni in seguito alla liberalizzazione delle riprese aerofotografiche. In gran parte

⁹ Come nel caso precedente è sufficiente attivare lo strumento all'inizio della ricognizione del fondo e tenerlo in mano lungo il tragitto o addirittura riporlo in uno zaino se si è provvisti di antenna esterna.

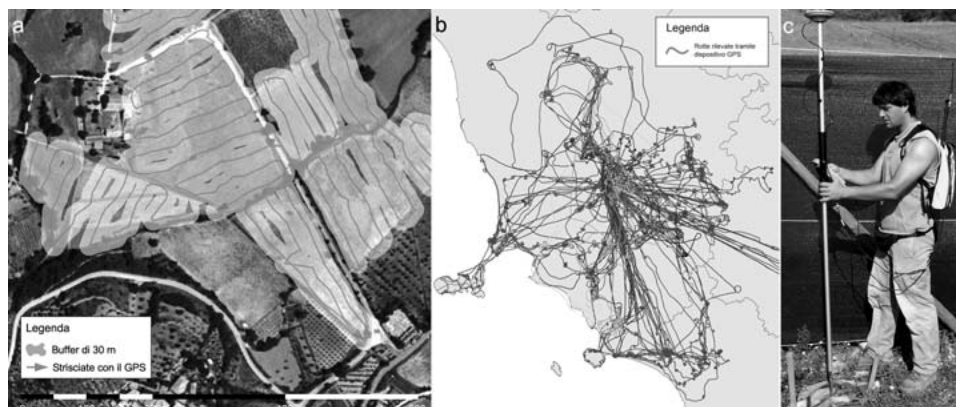


Fig. 3 – a) restituzione e buffer nel GIS archeologico del percorso effettivo seguito durante le strisciate rilevate tramite GPS nel corso delle ricognizioni di superficie; b) tracciati GPS delle ricognizioni aeree condotte tra 2000 e 2004; c) rilievo di un punto di controllo a terra per la rettifica di foto aeree tramite un dispositivo GPS topografico connesso via GSM alla stazione base di Siena.

d'Europa il metodo della ricognizione aerea è ampiamente diffuso e organizzato da quasi cinquanta anni in sistematici programmi nazionali o regionali di ricerca generalmente promossi e diretti dalle rispettive Soprintendenze (BEWLEY 2002). In breve, le ricerche consistono nell'attenta valutazione dei periodi di maggiore visibilità delle tracce archeologiche, in coincidenza dei quali un archeologo specializzato vola con piccoli aerei da turismo osservando dall'alto il territorio al fine di identificare, secondo i principi tradizionali della aerofotointerpretazione, discontinuità nel paesaggio riconducibili a depositi archeologici ipogei (MUSSON *et al.* 2005). Individuati gli elementi di interesse, questi vengono documentati tramite l'acquisizione di fotografie aeree oblique. L'area di Archeologia Medievale è attiva in questo settore con un progetto di ricognizione della Toscana centro meridionale dal 2000 (CAMPANA, FRANCOVICH 2003, 15-28).

Nello svolgimento di questa attività il GPS costituisce uno strumento irrinunciabile. Il dispositivo è infatti estremamente utile per la registrazione delle rotte seguite nel corso delle ricognizioni aeree e per la localizzazione delle evidenze fotografate (Fig. 3, b). In relazione a questa ultima applicazione è evidente che la posizione rilevata a causa del punto di vista non ortogonale rispetto all'evidenza risulterà spostata di alcune centinaia di metri. A tale proposito bisogna considerare che l'obiettivo dell'operazione consiste nella localizzazione approssimativa dell'emergenza. In questo modo successivamente sarà semplice identificare l'area al fine di restituire l'evidenza su base cartografica.

3.3 Verifica di dati telerilevati

Rispetto ai casi finora trattati, il primo problema che si presenta al ricercatore intenzionato a verificare direttamente al suolo le tracce individuate da foto aerea o immagine da satellite non è il rilievo bensì l'individuazione del sito e quindi la navigazione. Trasferire la posizione dell'anomalia dall'immagine telerilevata su ortofotocarta o addirittura su cartografia CTR o IGM rende l'identificazione sul campo, in particolare per le aree boschive, dispersiva e approssimativa. In situazioni di bosco fitto può risultare estremamente complesso determinare con certezza se ci si trova in corrispondenza delle tracce o meno. I rischi connessi a verifiche che non considerano questo problema sono evidenti. In casi estremi può accadere di eseguire sopralluoghi nelle aree sbagliate senza la possibilità di accorgersene, magari non trovando nulla mentre a poche decine o centinaia di metri si celano le strutture corrispondenti alle tracce.

L'impiego di sistemi GPS rappresenta la soluzione del problema comportando vantaggi significativi riguardo all'affidabilità, alla precisione e ai tempi di realizzazione delle verifiche. Determinata con precisione l'area di interesse, se ci troviamo su seminativi arati, il dispositivo è utile a svolgere le operazioni di rilievo descritte nel corso delle ricognizioni di superficie. Nelle aree boschive le tecniche di intervento sono diverse e quindi differenti risultano le possibili applicazioni GPS. Anzitutto è indispensabile premettere che in termini puramente tecnico-operativi, a causa della presenza della copertura fogliare, la qualità del segnale diminuisce. Ciò è dovuto ad un fenomeno noto in letteratura come aberrazione *multi-path* (percorso multiplo)¹⁰. È per questo motivo che i rilievi effettuati nelle aree boschive risultano affetti da frequenti spike che alterano il risultato e allungano i tempi di elaborazione in laboratorio. Per arginare i problemi connessi a questo fenomeno una alternativa è rappresentata dal rilievo in modalità *stop and go* (LEICA 2003).

Il secondo problema, di natura percettiva, è connaturato agli spazi connotati da scarsa visibilità orizzontale (situazioni analoghe sono osservabili ad esempio anche nei vigneti) e consiste nella difficoltà di formarsi un quadro mentale realistico delle dimensioni e dell'articolazione del sito¹¹. In genere l'impossibilità di osservare nella sua totalità il contesto archeologico

¹⁰ Il segnale in corrispondenza della volta vegetale può subire, prima di essere ricevuto dal dispositivo GPS, un numero n di deviazioni che ne allungano il percorso. Questo tipo di errore rientra nella categoria delle alterazioni non eliminabili sia in tempo reale sia in post-processing. Recentemente sono apparsi sul mercato strumenti provvisti di algoritmi di correzione automatica dell'errore *multi-path*. Cfr. ad esempio il sistema Everest di Trimble: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1989/everest.pdf>.

¹¹ Bisogna considerare che in genere le evidenze segnalate in letteratura o individuate attraverso l'analisi di dati telerilevati si presentano articolate e di dimensioni considerevoli.

e la maggiore lentezza di movimento dovuta alla presenza di ostacoli porta il ricercatore a dilatare (in modo non lineare) le dimensioni del sito e quindi ad una percezione distorta dell'evidenza. Nelle ricognizioni di aree boschive svolte in provincia di Siena e di Grosseto, il GPS è risultato di grande utilità per la realizzazione speditiva di mappe delle evidenze attraverso il rilevamento in modalità *stop and go* di cinte murarie, strutture insediative e produttive, terrazzamenti, crolli, viabilità, interventi clandestini nel sottosuolo, ecc. Rientrati in laboratorio è possibile visualizzare nel GIS archeologico la distribuzione, le dimensioni e i rapporti reciproci delle evidenze rilevate. Altrettanto significative sono le possibilità di rilievo di tutta una serie di operazioni condotte nel corso dell'indagine. Ci riferiamo alla georeferenziazione di test stratigrafici, carotaggi, sezioni occasionali o alla delimitazione di spazi indagati con diversi gradi di intensità, ecc.

Considerate le suddette difficoltà ad operare in aree boschive, l'acquisizione di dati GPS svolge un ruolo determinante non solo per la qualità e la ricchezza della documentazione acquisita ma soprattutto in quanto la visualizzazione nel GIS degli elementi rilevati consente di elaborare strategie in grado di orientare in modo efficace gli interventi futuri. Nei sopralluoghi successivi, la capacità di navigazione del sistema GPS consente, oltre all'individuazione dell'evidenza (nel caso in cui fosse ancora necessario), il riconoscimento di tutti gli elementi rilevati nella fase precedente ed eventuali aree di interesse determinate in seguito all'elaborazione dei dati raccolti con particolare riferimento ad esempio a zone in cui praticare saggi campione, carotaggi, ecc.¹²

3.4 Indagini geofisiche

Dal 2003 il Laboratorio di Telerilevamento ha avviato un'esperienza di applicazione del metodo gradiometrico alle ricerche territoriali (CAMPANA, FELICI 2004, 104). Oltre alle ben note caratteristiche diagnostiche della gradiometria, questa tecnica è in grado di soddisfare quello che per l'archeologia dei paesaggi costituisce un elemento cruciale: l'esigenza di indagare ampie superfici in tempi contenuti. Nelle campagne di ricognizione di superficie in Val d'Orcia (SI) e nella Bassa Valle dell'Ombrone (GR) abbiamo progressivamente messo a punto un sistema di acquisizione dati che consente ad un gruppo di tre persone di indagare un ettaro di terreno al giorno con una risoluzione di 1 metro tra i profili (x) e 50 cm circa lungo gli stessi (y). Le operazioni di topografia condotte con la stazione totale richiedono, tranne per i modelli più evoluti, due operatori e tempi piuttosto lunghi (trasporto, montaggio, messa in bolla).

¹² Per dimensioni, complessità e limiti operativi le tipologie di siti in esame necessitano pressoché sistematicamente ben più di una ricognizione.

È indispensabile premettere che le applicazioni finora discusse non richiedevano una precisione inferiore al metro. Per la georeferenziazione dei dati geofisici è al contrario preferibile utilizzare dispositivi che consentono di raggiungere precisioni quantomeno submetriche. Se è vero ad esempio che il GPS Trimble GEO3 utilizzato in modalità *carrier* consente in seguito alla correzione differenziale di raggiungere un'accuratezza di circa ± 30 cm, bisogna considerare che i tempi di acquisizione minima di ogni punto richiedono 10 minuti con il rischio di dover ripetere l'operazione in caso di interruzione del segnale. La migliore soluzione consiste nell'uso di un GPS topografico che garantisce precisioni centimetriche (variabili a seconda del valore DOP e della lunghezza della *baseline*) in pochi secondi (Fig. 3, c).

In alternativa la soluzione da noi abitualmente adottata consiste nell'uso di strumenti palmari di ultima generazione, quali sono ad esempio i GPS Leica GS20 o Trimble GEO XT che permettono di acquisire un vertice della griglia ogni minuto (60 misurazioni) con un'accuratezza submetrica (circa ± 30 cm in post-processing)¹³. Un'approssimazione accettabile se messa in relazione a esigenze di natura territoriale, ma discutibile se ad esempio si intende approfondire l'indagine e procedere a un confronto puntuale tra dato geofisico e dato di scavo.

3.5 Acquisizione di dati topografici

Oltre allo sviluppo di applicazioni squisitamente archeologiche, vi sono rilevamenti di natura topografica che possono risultare direttamente o indirettamente utili per l'aggiornamento e l'arricchimento del sistema informativo territoriale. Tra questi troviamo la generazione di micro-modelli digitali del terreno e il rilevamento di punti di controllo al suolo per la fotogrammetria, la rettifica di fotografie aeree oblique e immagini da satellite. Se la cartografia disponibile costituisce un supporto fondamentale per la topografia di base, si rivela inadeguata per analisi puntuali per le quali è necessario produrre basi cartografiche dedicate.

Come per le indagini geofisiche anche queste applicazioni sono soggette a maggiori esigenze di precisione ed è quindi preferibile procedere utilizzando strumenti topografici. Ciononostante in assenza di dispositivi centimetrici, i GPS submetrici consentono di ottenere dati nettamente migliori rispetto alla cartografia tecnica regionale, del tutto compatibili con le esigenze di accuratezza dell'archeologia dei paesaggi e in particolare con alcune applicazioni. Si pensi ad esempio alla trasformazione di una fotografia aerea obliqua che nella migliore delle ipotesi, a causa delle distorsioni connaturate all'angolo di acquisizione, non supera una accuratezza di 15 cm (DONEUS 2001, 24). O

¹³ Si ringraziano per la disponibilità e la fornitura degli strumenti le società Farad S.P.A., Crisel S.R.L. e Assogeo S.R.L.

ancora si pensi alle immagini da satellite ad alta risoluzione per le quali la dimensione minima del pixel corrisponde a 70 cm¹⁴.

Nell'ambito del Progetto Carta Archeologica della Provincia di Siena abbiamo ad esempio utilizzato GPS submetrici sia in modalità statica per l'acquisizione di punti di controllo a terra sia in modalità cinematica per produrre modelli del terreno microtopografici. In quest'ultimo caso, sebbene i DTM così realizzati non siano affidabili per l'individuazione di anomalie micro-morfologiche (GABRIELLI 2001; FORTE, GABRIELLI 2002; FORTE 2003), questi possono essere utili sia in fase di analisi per la realizzazione di indagini macroscopiche, quali acclività (modelli di erosione), esposizione e visibilità, sia per visualizzazioni multilivello del sito tramite il *draping* di altri livelli informativi raster o vettoriali.

4. OLTRE I CONFINI DEL GIS: PDA, MOBILE GIS E CONNETTIVITÀ WIRELESS. VERSO IL LABORATORIO "EN PLEIN AIR"?

Dal 2002 abbiamo rivolto la nostra attenzione verso i sistemi *mobile GIS*. I motivi di attrazione verso questa tecnologia sono piuttosto evidenti (RYAN *et al.* 1999; CRAIG 2000; RYAN, VAN LEUSEN 2002). I PDA mettono a disposizione direttamente sul terreno tutte le informazioni geografiche (basi cartografiche tecniche e tematiche, coperture aerofotografiche e satellitari, dati geofisici) e i database 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. Questi strumenti sono dotati di connettività wireless Bluetooth, una caratteristica importante considerata l'estrema scomodità d'uso in campagna di collegamenti tradizionali tramite cavi elettrici. Tra le numerose periferiche collegabili via Bluetooth, particolarmente significativi rispetto alle nostre esigenze sono il GPS e il telefono cellulare. Quest'ultimo, tramite le reti mobili GSM o GPRS, consente la ricezione dei dati della stazione fissa per la correzione differenziale in tempo reale.

La nostra esperienza è iniziata con un palmare iPAQ Compaq (OS PocketPC2002), sul quale abbiamo installato l'equivalente per PDA dei software utilizzati in laboratorio, ArcPad 6.0 (ESRI), come interfaccia grafica dei dati geografici e FileMaker Mobile 2.1, come database. Per implementare la capacità di memoria ROM abbiamo acquistato un modulo di espansione e un microdrive

¹⁴ In sostanza solo per l'acquisizione di punti di controllo a terra per applicazioni fotogrammetriche il GPS topografico risulta indispensabile.

IBM con capacità di 1 Gb. Altro elemento fondamentale del sistema è costituito dal GPS. In commercio vi erano numerose soluzioni, tra cui piccole schede Compact Flash e moduli estremamente agili che si integrano perfettamente con il PDA (ad esempio il Navman GPS3450). Al tempo però l'unico dispositivo in commercio a noi noto che consentisse la correzione differenziale dei dati e quindi un livello di accuratezza di circa ± 1 m era Pathfinder Pocket di Trimble (Fig. 1, b).

Il sistema così costituito ci ha permesso di inserire nel palmare una notevole quantità di informazioni. I dati vettoriali possono essere inseriti direttamente in formato shapefile senza alcun tipo di trasformazione (esclusi eventuali passaggi di sistemi di coordinate). I dati raster invece devono essere necessariamente compressi. Il sistema di compressione di default utilizzato da ArcPAD è MisterSID. Il software ArcGIS consente di comprimere in formato MisterSID file fino a 40 Mb. Per file di dimensioni maggiori è necessario acquistare un'estensione dedicata, MisterSID Encoder. Una alternativa interessante, sebbene a nostro parere qualitativamente inferiore, è costituita dall'utility di compressione ECW di ErMapper, di cui è scaricabile gratuitamente l'estensione per consentire la lettura dei file sul PDA (*ArcPad Ecw Raster Extension*). Questi programmi consentono di ridurre da 10 fino a 20 volte le immagini conservando un eccellente grado di dettaglio. Ciò significa ad esempio che il volo AIMA 1996 (risoluzione di 1 m) di tutta la provincia di Siena occupa su PDA, a seconda del livello di compressione delle immagini, da 600 a 300 Mb. Rispetto allo spazio disponibile sul nostro microdrive (1 Gb), abbiamo ancora la possibilità di inserire un gran numero di piani vettoriali e di immagini (da 400 a 700 Mb).

Le prove del sistema iPAQ effettuate sul terreno hanno dimostrato numerosi limiti operativi riconducibili a scarsa autonomia e compattezza, oltre a un'eccessiva delicatezza ed instabilità del dispositivo in condizioni atmosferiche estreme. Nonostante la dotazione di una seconda batteria, l'autonomia dello strumento usato intensivamente non supera la mezza giornata. La scelta del GPS Pathfinder Pocket ha comportato il collegamento via cavo all'iPAQ tramite la porta seriale; a questo si aggiunge il cavo dell'antenna esterna. Queste connessioni, oltre ad essersi dimostrate precarie (ci riferiamo in particolare al cavo seriale che collega il GPS al PDA), comportano un'eccessiva presenza di cavi che sul terreno limitano la libertà di movimento ed in generale l'agilità dello strumento. Salvo nell'uso a bordo del mezzo di trasporto, in campagna ci siamo trovati spesso a rilevare oggetti sotto la pioggia, in atmosfera salina oppure in ambienti boschivi, dove le possibilità di urtare l'attrezzatura sono alte. A tale proposito ricordiamo che l'iPAC nasce come palmare da "aeroporto" ed è indispensabile per l'utilizzo sul campo munirlo di una custodia protettiva che, se non elimina tutti i problemi, consente almeno in parte di ridurre i rischi (Fig. 1, b).

Al di là dei limiti operativi, il palmare iPAC ha dimostrato notevoli possibilità applicative permettendo di eseguire sul campo nuove operazioni. Il dispositivo consente infatti la consultazione e l'interrogazione di database geografici e alfanumerici articolati, oltre all'aggiornamento degli stessi aggiungendo osservazioni e nuovi dati tramite il sistema touch screen. A tale proposito, il sistema di scrittura non è dei più rapidi, ma bisogna considerare che di solito i sopralluoghi sono effettuati con più persone ed è quindi possibile dedicare il tempo necessario alla documentazione, mentre i collaboratori, ad esempio, cercano reperti in superficie, scavano piccoli saggi, ripuliscono sezioni occasionali, ecc. Inoltre il database progettato per il PDA ha privilegiato la scelta di campi a tendina limitando le operazioni di scrittura a pochi campi.

L'aggiornamento dei dati contenuti nel server cartografico o nel desktop PC in laboratorio può essere effettuato direttamente al ritorno o in via teorica in tempo reale. È bene precisare subito che attualmente, a causa dell'instabilità del segnale, le possibilità di operare in tempo reale in modalità "always on" dal palmare all'indirizzo IP del server cartografico non sembrano ancora proponibili¹⁵. Per aggiornare il server cartografico è quindi necessario tornare in laboratorio e collegare il dispositivo al PC. Mentre gli shapefile devono essere copiati nel server, il sistema di update del RDBMS funziona automaticamente con un semplice click sul comando di sincronizzazione. Con queste due semplici e rapidissime operazioni tutto il lavoro svolto nell'arco della giornata viene trasferito nel GIS archeologico.

In relazione alle caratteristiche wireless dello strumento, allo stato attuale è possibile operare trasmissioni di dati compatti e con tempi limitati di collegamento. Rientra in questa categoria la correzione differenziale dei dati GPS in tempo reale. Il sistema sviluppato vede coinvolti il palmare Compaq/GPS Trimble e il telefono cellulare Ericsson T39m (Fig. 1, b). Il collegamento tra i due dispositivi è di tipo Bluetooth. Nel caso specifico il telefono cellulare ha operato sulla banda GSM ricevendo i dati per la correzione dalla stazione base dell'area di Archeologia Medievale.

Come abbiamo anticipato, il primo sistema PDA/GPS ha dimostrato limiti operativi significativi che non consentono di prospettare l'adozione per un uso intensivo sul terreno. Considerate le alternative presenti sul mercato abbiamo optato per il ricevitore Trimble GEOXT. Questo dispositivo ha caratteristiche del tutto diverse rispetto a quanto osservato nel caso precedente. È infatti estremamente compatto, solido, con una autonomia ampiamente superiore ad una giornata di lavoro e una accuratezza in seguito alla correzione differenziale (tempo reale o post-processing) di circa ± 30 cm. Dal 2003 lo strumento è stato sperimentato intensivamente nel corso delle

¹⁵ Per comunicazione "always on" intendiamo l'allacciamento e la trasmissione continua di ogni nuovo dato immesso nel sistema sul server cartografico.

ricognizioni della Carta Archeologica delle Province di Grosseto e Siena per un periodo complessivo superiore a sei mesi con esiti del tutto soddisfacenti. Se l'uso dell'iPAC ci aveva fatto intravedere notevoli potenzialità applicative sul campo per i PDA, con significativi miglioramenti rispetto ai tradizionali GPS, l'uso sistematico per un lungo periodo del GEOXT ha permesso di registrare cambiamenti sostanziali dell'attività sul campo e delle possibilità di scelta di strategie di intervento nel corso del lavoro.

Per comprendere meglio alcune delle opportunità messe a disposizione dai sistemi *mobile* GIS, riteniamo che un esempio particolarmente significativo può essere costituito dal confronto delle possibilità offerte da un "tradizionale" strumento GPS e dal GEOXT in relazione alla raccolta di materiali organizzata entro griglie predefinite. Nel primo caso, abbiamo visto che 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 articolato e pesante che non è proponibile immaginare di 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 ± 30 cm (correzione differenziale in tempo reale) permette di procedere alla raccolta senza bisogno di altro (Fig. 4). In questo modo decade sia la necessità di portare con sé 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, segnalandoli 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

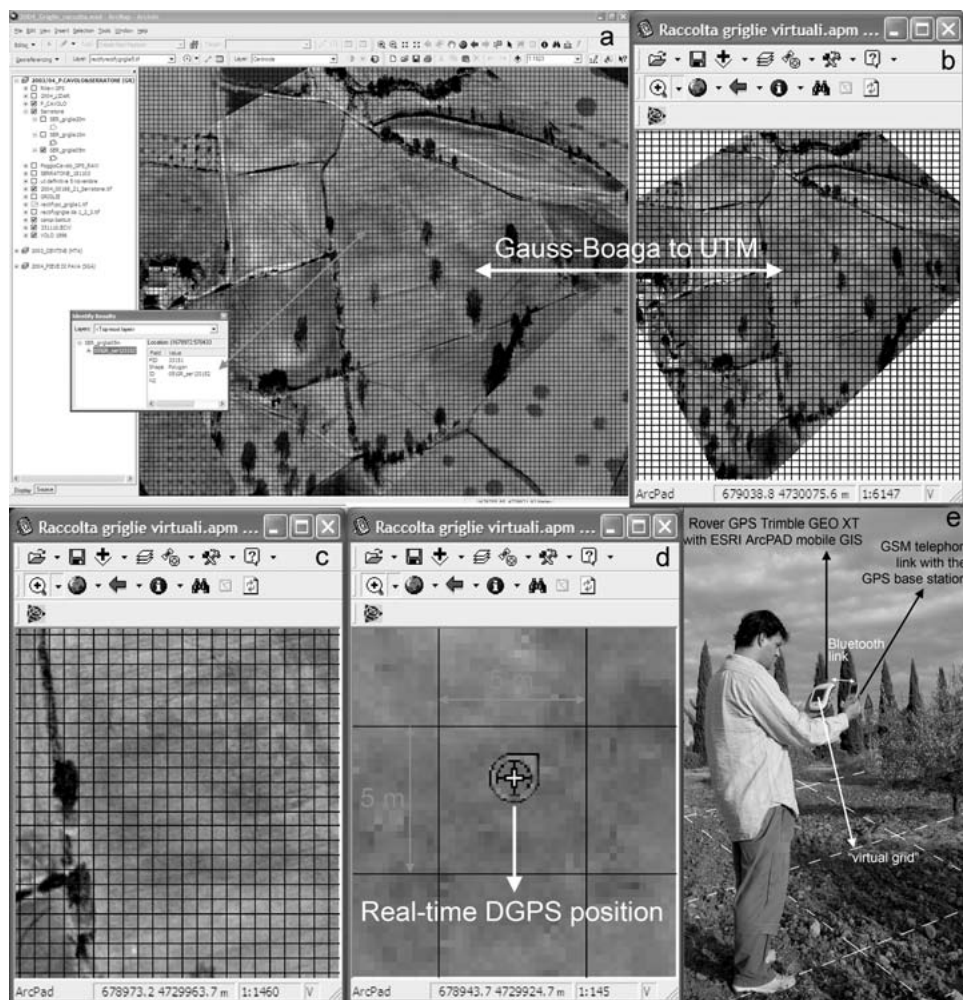


Fig. 4 – Raccolta di materiali di superficie assistita da PDA sul quale è stata trasferita una griglia vettoriale con passo di 5 m per lato.

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. Altrettanti significativi miglioramenti possono essere ottenuti nello sviluppo di nuove soluzioni *mobile* GIS applicate alle ricognizioni aeree. In questo caso è preferibile sostituire il PDA con un tablet PC equipaggiato con software GIS/DBMS e collegato (via Bluetooth) ad un GPS. Il sistema così concepito mette a disposizione dell'archeologo, direttamente in aereo, un supporto cartografico, di georeferenziazione e di archiviazione dati (DBMS) molto più ricco, flessibile e aggiornato delle tradizionali schede cartacee e carte topografiche¹⁶. O ancora 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 database;
- possibilità di liberarsi di supporti cartacei quali schede di Unità Topografica (UT), 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 e boschi (Fig. 5), alle ricognizioni aeree mirate, 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

¹⁶I tablet PC sono a nostro parere troppo ingombranti per essere impiegati nel corso di ricognizioni archeologiche di superficie, inoltre non sono presenti sul mercato soluzioni integrate come per i PDA tra computer palmare e GPS. Al contrario in aereo o sullo scavo l'esperienza avviata nel corso del 2004 incentrata sullo sviluppo di una soluzione integrata tra tablet PC (HP TC1100) e GPS Bluetooth (ricognizioni aeree) o GPS topografico (scavo) ci permette di anticipare che l'impiego di questi dispositivi può risultare estremamente efficace.

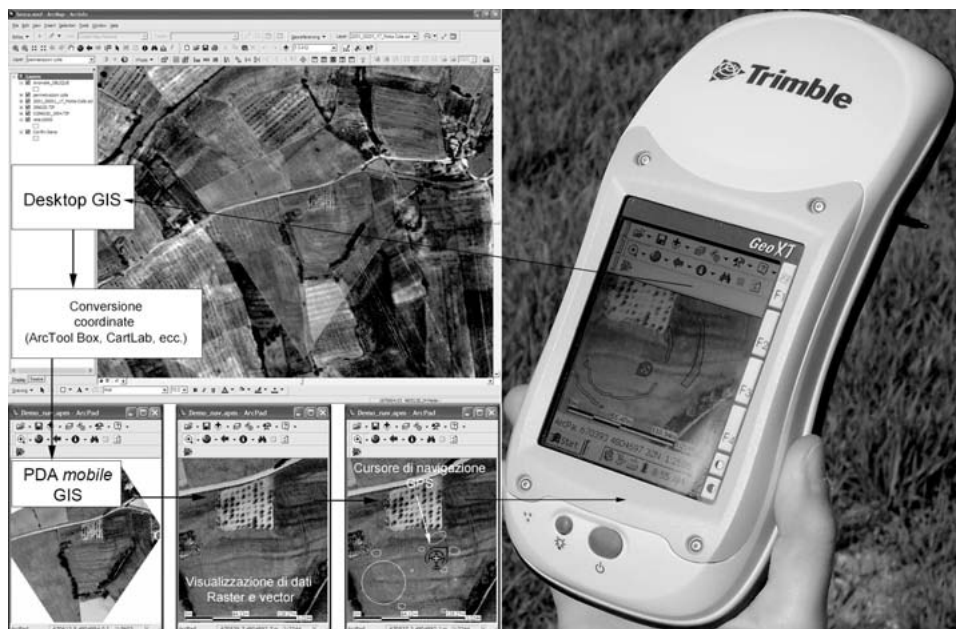


Fig. 5 – Visualizzazione dei dati disponibili sul PDA per la navigazione in corrispondenza di anomalie telerilevate.

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; infine riteniamo necessario rivolgere l'attenzione verso il miglioramento delle funzionalità di aggiornamento dei server cartografici.

In conclusione se non bisogna cedere a facili entusiasmi – molte esigenze risultano infatti ancora orfane di soluzioni affidabili e di facile utilizzo – sulla base dell'esperienza condotta riteniamo questa tecnologia 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 consente concretamente di arginare lo scollamento tra lavoro sul campo e in laboratorio ampliando in modo significativo le possibilità di intervento dell'archeologo.

STEFANO CAMPANA

Archeologia dei Paesaggi

Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti
Università degli Studi di Siena a Grosseto

BIBLIOGRAFIA

- ATTEMA P., BURGERS G.J., VAN JOOLEN E., VAN LEUSEN M., MATER B. (eds.) 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 2000)*, BAR International Series 1091, Oxford, Archaeopress.
- BARKER G. 1986, *L'archeologia del paesaggio italiano: nuovi orientamenti e recenti esperienze*, «Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Athenische Abteilung», 13, 7-27.
- BEWLEY R. 2002, *Aerial survey: Learning from a hundred years of experience?*, in R. BEWLEY, W. RACZKOWSKI (eds.), *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, Amsterdam, IOS Press, 11-18.
- BINTLIFF J.L., SNODGRASS M.A. 1985, *The Cambridge/Bradford Boeotia expedition: The first four years*, «Journal of Field Archaeology», 12, 2, 123-161.
- BROWN A. 1987, *Fieldwork for Archaeologists and Local Historians*, London, Batsford.
- CAMPANA S. 2001, *Carta Archeologica della Provincia di Siena. Murolo*, Siena, Nuova Immagine Editrice, 68-69.
- CAMPANA S., FELICI C. 2004, *Integrated archaeological interpretation of multistage remote/proximal sensing techniques and traditional field survey to the knowledge of settlement pattern in south Tuscany*, in 34th International Symposium of Archaeometry (Zaragoza 2004), Zaragoza, 104.
- CAMPANA S., FRANCOVICH R. 2003, *Landscape archaeology in Tuscany: Cultural Resource Management, remotely sensed techniques, GIS based data integration and interpretation*, in M. FORTE, P.R. WILLIAMS (eds.), *The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies (Boston, Massachusetts 2001)*, BAR International Series 1151, Oxford, Archaeopress, 15-28.
- CHAPMAN H. 2001, *Understanding and using archaeological topographic surveys – The “Error Conspiracy”*, in Z. STANČIČ, T. VELJANOVSKI (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. Proceedings of CAA 2000 (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, Archaeopress, 19-23.
- COLOSI F., COSTANTINI A., GABRIELLI R., PIRO S., SANTORO P. 2000, *Lo studio del territorio impiegando diverse metodologie d'indagine: il caso della valle del Tevere*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 171-189.
- COLOSI F., GABRIELLI R., PELOSO D., ROSE D. 2001a, *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., ROSE D. 2001b, *Integrated use of DGPS and Total Station for the survey of archaeological sites: The case of Colle Breccioso (Borgorose, RI)*, in Z. STANČIČ, T. VELJANOVSKI (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. Proceedings of CAA 2000 (Ljubljana 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, Archaeopress, 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*, «Archeologia e Calcolatori», 14, 177-198.
- CRAIG N. 2000, *Real-time GIS construction and digital data recording of the Jiskairuwo excavation. Perù*, «The Society for American Archaeology Bulletin», 18 (1), 24-28.
- DE GUIO A. 1985, *Archeologia di superficie e archeologia superficiale*, «Quaderni di Archeologia del Veneto», 1, 31-47.
- DONEUS M. 2001, *Precision mapping and interpretation of oblique aerial photographs*, «Archaeological Prospection», 8, 13-27.
- FORTE M. 2003, *The Remote Sensing Project for the archaeological landscape of Aksum (Ethiopia)*, in M. FORTE, P.R. WILLIAMS (eds.), *The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies (Boston, Massachusetts 2001)*, BAR International Series 1151, Oxford, Archaeopress, 81-93.

- FORTE M., GABRIELLI R. 2002, *Il GPS*, in M. FORTE, *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, Roma, MondoGIS, 157-171.
- GABRIELLI R. 2001, *Introduzione all'uso dei GPS in archeologia*, in S. CAMPANA, M. FORTE (eds.), *Remote Sensing in Archaeology. XI Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena 1999)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 329-354.
- KAPLAN E.D. 1996, *Understanding GPS: Principles and Applications*, BOSTON, Artech House Telecommunications Library.
- LEICA 2003, *Il sistema GPS. Applicazioni e sviluppi nel rilievo del territorio*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli.
- MUSSON C., PALMER R., CAMPANA S. c.s., *In volo nel passato*, Firenze, in corso di stampa.
- ORTON C. 2000, *Sampling in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- PACE S., FROST G., LACHOW I., FRELINGER D., FOSSUM D., WASSEM D.K., PINTO M. 1996, *The Global Positioning System: Assessing National Policies*, Santa Monica (CA), Rand Corporation.
- RYAN N., PASCOE J., MORSE D. 1999, *FieldNote: Extending a GIS into the field*, in J.A. BARCELÓ, I. BRIZ, A. VILA (eds.), *New Techniques for Old Times. Proceedings of CAA 1998 (Barcelona 1998)*, BAR International Series 757, Oxford, Archaeopress, 127-132.
- RYAN N., VAN LEUSEN M. 2002, *Educating the Digital Fieldwork Assistant*, in J. ARVIDSSON, G. BURENHULT (eds.), *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope. Proceedings of CAA 2001 (Gotland 2001)*, BAR International Series 1016, Oxford, Archaeopress, 401-416.
- SOMMELLA P., AZZENA G., TASCIO E., *Informatica e topografia storica: cinque anni di esperienza su un secolo di tradizione*, «Archeologia e Calcolatori», 1, 211-236.
- SCHOFIELD A.J. 1991, *Interpreting Artefact Scatters. Contributions to Ploughzone Archaeology*, Oxford, Oxbow Monograph 4.
- SURACE L. 2002, *La georeferenziazione delle informazioni territoriali*, «MondoGIS», 29/30, 1-24.
- TOPOUZIS S., TRIPOLITSIOTIS A., SARRIS A., MERTIKAS S., SOETENS S. 2002, *Errors & inaccuracies in repositioning of archaeological sites*, in J. ARVIDSSON, G. BURENHULT (eds.), *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope. Proceedings of CAA 2001 (Gotland 2001)*, BAR International Series 1016, Oxford, Archaeopress, 417-426.

ABSTRACT

The Department of Medieval Archaeology of the University of Siena has been engaged for several years in the testing of GPS survey application for landscape archaeology. In the first section of this paper we have summarised the GPS application developed for field-walking, aerial, geophysical and topographical surveys. In the second section we have discussed the fact that, since the second half of the 1990s, we have felt a progressive disjunction between work in the laboratory and work in the field. While the availability of advanced technologies has been rapidly growing, activities in the field have continued to make use of instruments and methodologies developed in the 1970s. A mobile GIS system managed through the merging of PDA and GPS technologies represents at the moment the best available solution for restoring the link. The conclusions reached in our experiments using these devices consistently go far beyond the increased fieldwork efficiency and finally make it possible to systematically apply strategies and methodologies developed in the past but rarely used up to now because they were too time consuming.

