

SALZOTTI F., L'esperienza dell'area di Archeologia medievale dell'Università di Siena nella produzione di cartografia archeologica mediante sistemi GIS e tecniche di rilevamento topografico in SIFET 2005, "Integrazione fra le tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali", Atti del 50° Convegno nazionale della SIFET (CD rom), Mondello (PA), 29 giugno – 01 luglio 2005.

L'ESPERIENZA DELL'AREA DI ARCHEOLOGIA MEDIEVALE DELL'UNIVERSITA' DI SIENA NELLA PRODUZIONE DI CARTOGRAFIA ARCHEOLOGICA MEDIANTE SISTEMI GIS E TECNICHE DI RILEVAMENTO TOPOGRAFICO

Dott. Federico Salzotti

LIAAM (Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale),
Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Università degli Studi di Siena, Via Roma, 56 53100 Siena –
salzotti@unisi.it

KEY WORDS: GIS, cartografia numerica, stazione totale, GPS, cartografia archeologica

RIASSUNTO

La tecnologia informatica, in particolar modo le applicazioni GIS e la cartografia numerica, e gli sviluppi delle strumentazioni di rilevamento topografico, ossia stazioni totali e GPS (nonché, sebbene di recente affermazione, gli scanner tridimensionali) hanno contribuito in maniera sostanziale ad un marcato miglioramento nella produzione e nella divulgazione della cartografia archeologica. Nel contributo si intende descrivere l'esperienza maturata presso l'area di Archeologia medievale dell'Università di Siena, in particolare all'interno del LIAAM, per una gestione integrata del dato archeologico dalla scala territoriale a quella dello scavo stratigrafico. Nello specifico, ci limiteremo agli aspetti inerenti al rilievo ed alla produzione di cartografia archeologica, che passano attraverso l'uso dei più comuni strumenti per il rilievo topografico digitale, ma anche attraverso un lungo lavoro di acquisizione e trattamento della cartografia numerica di base. L'obiettivo è quello di descrivere come, all'interno di un settore disciplinare tradizionalmente afferente all'ambito umanistico, si sia riusciti a formare personale che, nel tempo, ha acquisito le competenze tecniche minime indispensabili per poter disporre di documentazione adeguata, rendendosi autosufficienti e ponendosi in condizione di dialogare con amministratori e figure professionali di formazione tecnico-scientifica.

Di seguito verranno illustrate le metodologie di lavoro e le tecniche di rilievo adottate, ponendo l'attenzione sulle loro variazioni dovute al cambio di scala dell'indagine: a ciascuna scala corrispondono infatti, in archeologia, un grado di dettaglio proporzionale alle particolari esigenze ed alle specifiche problematiche di studio. Il tutto viene visto nell'ottica di una gestione complessiva del dato archeologico all'interno di sistemi GIS che mettono in connessione interventi di vario carattere (schede, ricognizioni topografiche, scavi, campagne di rilievo, ecc.) operati dai diversi gruppi di lavoro all'interno del dipartimento. La grande attenzione al dato spaziale passa attraverso uno sforzo collettivo di individuazione di metodologie di rilievo rispondenti alle nostre specifiche esigenze ma anche di adeguamento ed apprendimento degli strumenti necessari alla produzione di una documentazione di alto profilo e tecnologicamente avanzata.

L'impegno profuso in questa direzione ci ha consentito di disporre di una documentazione che si presta a molteplici usi, sempre garantendo, nell'ambito del possibile (condizione quanto mai variabile in archeologia), un'alta affidabilità del dato cartografico. In particolare, la fruizione finale della cartografia è connessa agli aspetti scientifici della ricerca, a quelli politici della programmazione territoriale o della salvaguardia del patrimonio e a quelli sociali dell'uscita al grande pubblico, ossia della divulgazione e della volgarizzazione dei contenuti, che si può ottenere anche mediante un uso semplice e "didascalico" delle ricostruzioni cartografiche.

ABSTRACT

Digital technology, with particular reference to GIS applications, the use of numerical cartography and the developments of topographical survey instruments (total stations, GPS and, more recently, laserscanners) have been of major importance in determining a clear quality improvement in the production of archaeological cartography.

This paper describes the experience of the LIAAM (Laboratory of Information Technology Applied to Medieval Archaeology - Medieval Archaeology Area of the University of Siena) in the integrated management of archaeological data, from the landscape scale down to single excavations. In particular we will deal with aspects related to digital surveying and production of archaeological cartography, obtained through instrumental acquisition as well as through long-lasting processing steps of base maps. Starting from a discipline which is part of the human sciences, we slowly developed the necessary technical know-how which now allows us to autonomously produce data and records fitting the needs of our projects; it also puts us in the right conditions to have a profitable interchange with the public administrations and with specific professional figures having a technical-scientific background.

Our methodologies, and therefore the adopted survey techniques, change in relationship to the different territorial scales of our researches. In fact, different detail levels derive directly from the scale of an archaeological project and are determined by specific

needs usually tied to the research questions which are involved. Moreover our cartography collection has to be seen as part of a more general data management system based on GIS solutions which allow us to gather into one platform several types of interventions (data derived from published material, field-walking, excavations, topographical and monuments survey campaigns, etc.) operated by the research groups of our Department. The great attention towards the spatial perspective of our data passes through a collective effort aiming at the identification of the most appropriate survey methodologies and at gaining the necessary skills in order to produce high quality and technologically advanced records and documentation.

The energy we have spent in this direction has allowed us to obtain, whenever and wherever it has been possible (due to the many and very changeable conditions of archaeological research), a highly reliable cartographical data which serves more than one purpose. In particular the final fruition of the maps is tied with aspects concerning the scientific matters of archaeological and historical research, the political questions of landscape planning and cultural heritage preservation, the social viewpoint in the sense of communicating to the wide public the results of our investigations through a simple and explanatory use of cartographical reconstructions.

1. INTRODUZIONE

1.1 Il rilievo e la cartografia archeologica: problematiche ed obiettivi

La produzione di cartografia archeologica ha rappresentato per anni un problema all'interno della comunità degli archeologi. La mancanza di specifiche competenze rendeva estremamente difficoltosa la produzione di buoni supporti cartografici che andassero oltre alla semplice rappresentazione dei confini, a volte dell'idrografia e dei toponimi principali. L'adozione della comune cartografia di base (generalmente le tavolette IGM in scala 1:25.000) sulla quale venivano sovrappresi i siti archeologici in restituzione puntiforme non soddisfaceva gli intenti di una precisa e particolareggiata mappatura della risorsa archeologica distribuita sul territorio. I riferimenti erano eccessivamente generici e non potevano, di fatto, essere utilizzati come strumenti per la programmazione territoriale e per la realizzazione di politiche di valorizzazione, vincolo o tutela. Risultava inoltre molto difficoltoso il ritrovamento delle evidenze sul campo a partire dalle indicazioni delle carte. Infine, un punto su una base solitamente a scala non superiore all'1:25.000 non poteva fornire alcuna utile informazione riguardo l'estensione, la forma e le dimensioni dell'area di ritrovamento. Allo stesso modo, anche il rilievo tradizionale sul campo di scavo, pur evidenziando minori problematiche, presentava una serie di limiti che si sono poi dimostrati superabili con l'adozione degli strumenti di rilievo e con la loro gestione all'interno di piattaforme GIS. Il rilievo, precedentemente effettuato in un sistema di coordinate locali rappresentato dalla rete della picchettata costruita per il disegno delle unità stratigrafiche, viene ormai agganciato ai punti noti della rete trigonometrica (o ad altri elementi individuabili da cartografia numerica) e risulta quindi georeferenzabile in assoluto mediante i più comuni sistemi di riferimento. L'uso della stazione totale ha inoltre permesso di superare alcuni problemi legati alla misurazione della rete della picchettata, nei casi in cui questa si sviluppi su vaste estensioni o, peggio, su pendii piuttosto scoscesi che rendono meno affidabili le misure prese attraverso i tradizionali metodi manuali (fettuccia metrica e filo a piombo). Proprio quest'ultima eventualità è abbastanza frequente in archeologia, nei casi di scavi di insediamenti, castelli o fortificazioni d'altura.

E' chiaro che ad un pubblico di cartografi e topografi tali problematiche possano sembrare banali e superate, ma se vogliamo parlare di rilievo nel campo dei beni culturali, quindi da parte di un'utenza non specializzata nel settore (eccezion fatta per architetti o ingegneri nell'ambito dei rilievi delle strutture architettoniche), non possiamo trascurare le difficoltà di gestione di tali processi. In particolare in archeologia, i responsabili del rilievo, se non arrivano da studi di tipo tecnico, sono spesso figure d'estrazione umanistica, che crescono senza una specifica preparazione di tipo topo-cartografico e si possono trovare a confrontarsi con problemi, tecniche e metodologie pressochè sconosciute. In alcuni casi imparano ad usare la strumentazione sostanzialmente da autodidatti, a digiuno di quelle nozioni teoriche utili a capire le reali potenzialità del mezzo, la sua migliore fruizione, limiti ed accorgimenti per un miglior rilievo. In questo senso va però chiarito che, soprattutto negli ultimi anni, all'interno dei corsi di beni culturali stanno aumentando gli insegnamenti di rilievo archeologico, che forniscono agli studenti le competenze di minima per potersi avvicinare alla cartografia ed alle più comuni tecniche di rilevamento topografico ed archeologico. In questo modo si favorisce la nascita di figure specializzate che si occupino di tali tematiche approfondendone le possibili applicazioni all'ambito archeologico, sfruttando per questo gli strumenti informatici che semplificano enormemente le procedure di calcolo e di restituzione del dato. Il fatto che debba essere l'archeologo ad acquisire capacità e competenze da tecnico è in linea con quella che è stata la filosofia di lavoro dell'area di Archeologia medievale dell'Università di Siena, perseguita per anni con risultati più che soddisfacenti¹. Così come, nel tempo, sono state acquisite grosse competenze informatiche (cosa non troppo scontata in ambiente umanistico), allo stesso modo abbiamo proceduto ad un faticoso percorso per metterci in condizione di trattare con relativa disinvoltura argomenti e strumenti per una corretta contestualizzazione topo-cartografica delle emergenze indagate. Questo si traduce in una buona gestione dei dati spaziali legati alla ricerca, ma anche nella possibilità di dialogare con gli enti amministrativi, riuscendo a fornire informazioni realmente gestibili all'interno dei rispettivi sistemi informativi. In questo modo l'archeologia sta lentamente entrando all'interno delle dinamiche di programmazione territoriale e si presta più facilmente a politiche di tutela e salvaguardia del patrimonio storico, archeologico ed architettonico.

2. DESCRIZIONE DEL LAVORO

2.1 La strategia di gestione del dato cartografico dalla scala territoriale allo scavo stratigrafico

Nell'esperienza senese, il processo di gestione del dato cartografico segue quella che è l'impostazione della ricerca, derivata dalla *spatial archaeology*². L'approccio prevede tre distinte scale d'indagine alle quali corrispondono altrettante scale di trattamento del

¹ Francovich, R., Valenti, M., 1999; Francovich, R., Valenti, M., 2001.

² Clarke, D.L., 1977

dato topo-cartografico. Il massiccio uso della tecnologia informatica ed in particolare della cartografia numerica, come già sottolineato, facilita enormemente il lavoro, in quanto consentono di bypassare le più complesse operazioni di calcolo e favoriscono la creazione di piani cartografici costruiti sulla base delle esigenze specifiche della ricerca archeologica. La prima delle tre scale dell'indagine è quella macro, nel nostro caso la Toscana ma anche, per determinate tematiche di ricerca, il contesto nazionale o addirittura quello europeo. A seguire, la scala semi-micro si concentra sui comprensori comunali interessati da attività di prospezione topografica; quella micro, invece, è rappresentata da tutte le tipologie di indagine puntuale ed intensiva: scavo stratigrafico, lettura degli elevati, rilievo di monumenti, partecipazione a restauri ed operazioni di recupero e valorizzazione di contesti architettonici ed archeologici significativi, ecc. Base fondamentale per la contestualizzazione e l'aggancio dei rilievi topografici, la dotazione di cartografia rispecchia la sopracitata differenziazione. Alla scala macro, i supporti cartografici sono ridotti all'essenziale; viene fatto talvolta ricorso a cartografia tematica di vario genere (es: DTM) mentre si tende ad evitare di rendere troppo fitta la rappresentazione con particolari che alle basse scale si possono ritenere superflui. Al livello successivo, per i contesti comunali la miglior base è rappresentata dalla CTR 1:10.000 o 1:5.000 che, in formato vettoriale, mantiene i dati separati per tipologia³; questo consente di procedere a mosaicature tematiche delle sezioni componenti il territorio d'interesse. Dal punto di vista topografico, questo repertorio offre la possibilità, fra le altre, di consultare i punti noti trigonometrici e catastali disponibili per la zona ma anche di calcolare, su base GIS, le coordinate di qualsiasi elemento rappresentato. Nei contesti urbani, infine, la produzione CTR 1:2.000, eventualmente combinata con la cartografia catastale, rappresenta la miglior soluzione; nel caso di interventi all'interno di edifici può essere utile riuscire ad integrare tali basi con rilievi di maggior dettaglio, che riportino le suddivisioni interne agli edifici. Queste possono rivelarsi particolarmente utili nei casi in cui si debba "appoggiare" una stazione totale in ambienti chiusi o, all'esterno, in zone prive di buona visuale e quindi senza specifici riferimenti ai punti trigonometrici.

2.2 La gestione tramite server della cartografia

L'intera dotazione cartografica accumulata all'interno delle nostre strutture viene gestita mediante un server che consente la condivisione dei dati. Questi vengono messi a disposizione allo stato grezzo (divisi cioè per sezioni, elementi, fogli, quadranti, ecc.), organizzati in cartelle per distinguere fra repertori (IGM, CTR, cartografia tematica, foto aeree, ecc), strutture di dato (raster o vettoriale) e sistemi di riferimento (Gauss-Boaga, UTM, talvolta anche lat/long). A seguito di un lungo lavoro di trattamento dati, sono stati inseriti anche quadri cartografici già pronti all'uso e con taglio corrispondente alle estensioni comunali. In questo caso gli elementi cartografici vengono mantenuti distinti per tipologie informative ma assemblati mediante mosaicatura. Questo significa ridurre notevolmente i tempi per la creazione di viste tematiche con i soli elementi necessari alla lettura del contesto o con materiale già pronto a successive elaborazioni (esempio: curve di livello e punti quota dai quali procedere alla generazione di DTM). Questo tipo di lavoro ha interessato finora l'intero repertorio CTR 1:10.000 vettoriale della regione toscana, area nella quale si concentra la gran parte delle nostre ricerche. In realtà, simili elaborazioni sono state promosse anche per altri generi cartografici, ma non con la sistematicità della suddetta raccolta. Ciascun gruppo di lavoro può così attingere dal server i supporti cartografici dei quali necessita e li può caricare ed utilizzare con facilità in quanto il lavoro di lettura, interpretazione ed organizzazione dei piani informativi è già stato fatto. In questo modo si garantisce un regolare uso della cartografia numerica da parte di tutti i gruppi di lavoro. In altri termini, grazie alla specializzazione acquisita da un singolo è stata favorita una crescita complessiva nel settore da parte di tutti i componenti dell'area disciplinare. Questo si riflette, ovviamente, in una maggior qualità della produzione di cartografia archeologica in termini di ricerca scientifica ma anche di peso politico del dato, una volta passato agli organi pubblici preposti alla programmazione o alla salvaguardia.

All'interno del server confluiscono anche i dati archeologici: essi sono consultabili ed utilizzabili da tutte le postazioni collegate. Naturalmente il loro uso è regolato da password di accesso che forniscono privilegi ben precisi; le modifiche ai tematismi possono infatti essere apportate solo dal responsabile del progetto in questione. In tal modo si tutela l'integrità dei dati, consentendone comunque la libera circolazione interna, in combinazione con le informazioni registrate all'interno di un sistema DBMS relazionale del quale i dati vettoriali rappresentano la componente spaziale. In altri termini, il server funge da punto di raccolta dell'intera informazione acquisita o prodotta all'interno del dipartimento. L'uso combinato di archivi e tematismi vettoriali consente di poter contare su uno standard di documentazione estremamente completo ed eterogeneo, di facile e libero accesso, secondo una filosofia di trasparenza dei contenuti e di condivisione dell'informazione, finalizzata a favorire il dibattito sulla base di dati controllabili e quindi, eventualmente, contestabili.

2.3 Gli apparati per la georeferenziazione dell'informazione archeologica: cartografia numerica su piattaforme GIS e server map consultabili in internet

L'ingente dotazione cartografica a nostra disposizione (circa 40 GB comprendendo dati di base e tematismi archeologici) comprende una consistente quantità di supporti raster che vengono principalmente utilizzati per funzioni di georeferenziazione secondo il sistema Gauss-Boaga (ma sono facilmente convertibili anche in UTM). A seconda delle aree geografiche o dei differenti contesti disponiamo di repertori e strumenti che variano per modalità d'uso e scala di rappresentazione. Per quanto concerne il territorio toscano, ossia quello sul quale si concentrano la gran parte delle nostre attività, utilizziamo la cartografia CTR, al 10.000 per le aree rurali ed al 2.000 per quelle urbane. Per il resto del territorio nazionale abbiamo invece optato, in una politica di valutazione costi/benefici, per una semplice cartografia raster di tipo turistico-stradale in scala 1:10.000 (alla quale se ne aggiunge una, molto più generica, in scala 1:200.000), molto utile all'interno dei centri abitati, dal momento che vengono riportati i nomi di tutte le vie, completata da tematismi

³ Gli elementi topografici rappresentati sono stati suddivisi in dieci categorie (o livelli) di dati che corrispondono ad una loro distinzione operata a livello teorico-percettivo e presente in forma di codice nelle tabelle interne delle versioni numeriche: comunicazioni; edifici ed altre strutture; idrografia; infrastrutture; elementi divisorii e di sostegno; forme terrestri; vegetazione; orografia; limiti amministrativi; toponomastica. In archeologia le categorie di dati maggiormente utilizzate sono quelle relative agli edifici, all'idrografia, alla vegetazione ed all'orografia.

vettoriali riportanti i principali toponimi dei centri rurali (fonte ISTAT)⁴. A completamento di questi supporti caricabili su piattaforme GIS, una notevole risorsa, oltretutto gratuita, è costituita da internet e dai vari server map fruibili. Fra quelli maggiormente utilizzati nella nostra esperienza possiamo citare Maporama e Map 24⁵. Si tratta di strumenti a costo zero che offrono un'ottimo grado di dettaglio e semplificano enormemente le funzioni di ricerca, dal momento che sono corredati di un agile e completo database attraverso il quale è possibile reperire i toponimi e ricavarne le coordinate nel sistema lat/long.

2.4 La conversione di coordinate fra i differenti sistemi di riferimento

L'uso di strumenti e cartografie diversi pone il problema di omogeneizzare i dati ricavati da differenti sistemi di riferimento. Nella nostra esperienza abbiamo optato per utilizzare come standard il sistema Gauss-Boaga: la scelta è stata dettata dal fatto che la nostra ricerca si concentra prevalentemente sul territorio italiano e, inoltre, questo è il sistema utilizzato dagli uffici cartografici degli enti amministrativi per la cessione dei dati cartografici numerici. Ma, come si è visto, in alcuni casi riusciamo a trovare riferimenti spaziali solamente in coordinate geografiche (es: i sopracitati server map: maporama e map24), oppure ci troviamo a dover utilizzare cartografie in UTM e si ha quindi la necessità di convertire i file di georeferenziazione o, in alternativa, i dati digitalizzati su tali basi. Se fino a pochi anni fa il disallineamento dei sistemi di riferimento poteva costituire un problema di difficile soluzione, almeno in ambienti disciplinari senza grossa dimestichezza con le operazioni di conversione, oggi questo problema è facilmente superabile grazie ad una serie di strumenti che facilitano e velocizzano tali pratiche. La diffusione di software di conversione a prezzi decisamente accessibili (in internet si possono anche trovare versioni demo in forma gratuita) permette di non preoccuparsi troppo di basi di lavoro poco omogenee e consente di ricevere ed organizzare dati provenienti da fonti fra loro differenti. Nel nostro caso specifico, la scelta è caduta sull'applicativo CartLab⁶ in quanto, attraverso i suoi vari sviluppi (ad oggi è stata rilasciata la versione 2.4), ha raggiunto tutte quelle che possono essere le prerogative richieste da un pubblico di "profani": interfaccia semplice, impostazioni facilmente comprensibili, processi di calcolo veloci che prevedono anche la conversione diretta di grossi file vettoriali in formato *shapefile*.

2.5 La gestione della cartografia per la registrazione e lo studio dei dati archeologici territoriali: la scala macro

Entrando nel merito dei processi di gestione informatica dei dati archeologici, il primo grado di approccio è quello della scala territoriale. Dal punto di vista topo-cartografico, il lavoro che viene effettuato alle basse scale dell'indagine è principalmente correlato alla rielaborazione della cartografia di base ed alla georeferenziazione dei dati storici, dell'archeologia edita e di altri tipi di attestazioni, come le segnalazioni di anomalie aeree (figura 1).

⁴ Si tratta del repertorio cartografico dell'azienda STEP (www.step-to.com/Default.html) che si occupa principalmente di produzione di cartografia turistico-stradale nei formati vettoriale, molto completo e dettagliato, e raster, più essenziale ma per questo anche più economico. La raccolta dei toponimi comprende tanto quelli registrati nell'ambito della produzione della suddetta cartografia, tanto quelli censiti nelle indagini ISTAT.

⁵ www.maporama.com; www.it.map24.com.

⁶ CartLab, sicuramente ai più nota, è un'applicazione di conversione di formati geografici scritta proprio da alcuni esponenti della SIFET (Ing. Cima, Geom. Maseroli, Prof. Surace). E' disponibile in due versioni: la prima, più semplificata e limitata in alcune funzioni, è scaricabile gratuitamente all'indirizzo <http://www.gpscomefare.com/software/recensioni/cartlab.htm>; la seconda, molto precisa e funzionale, è disponibile a pagamento in versione commerciale.

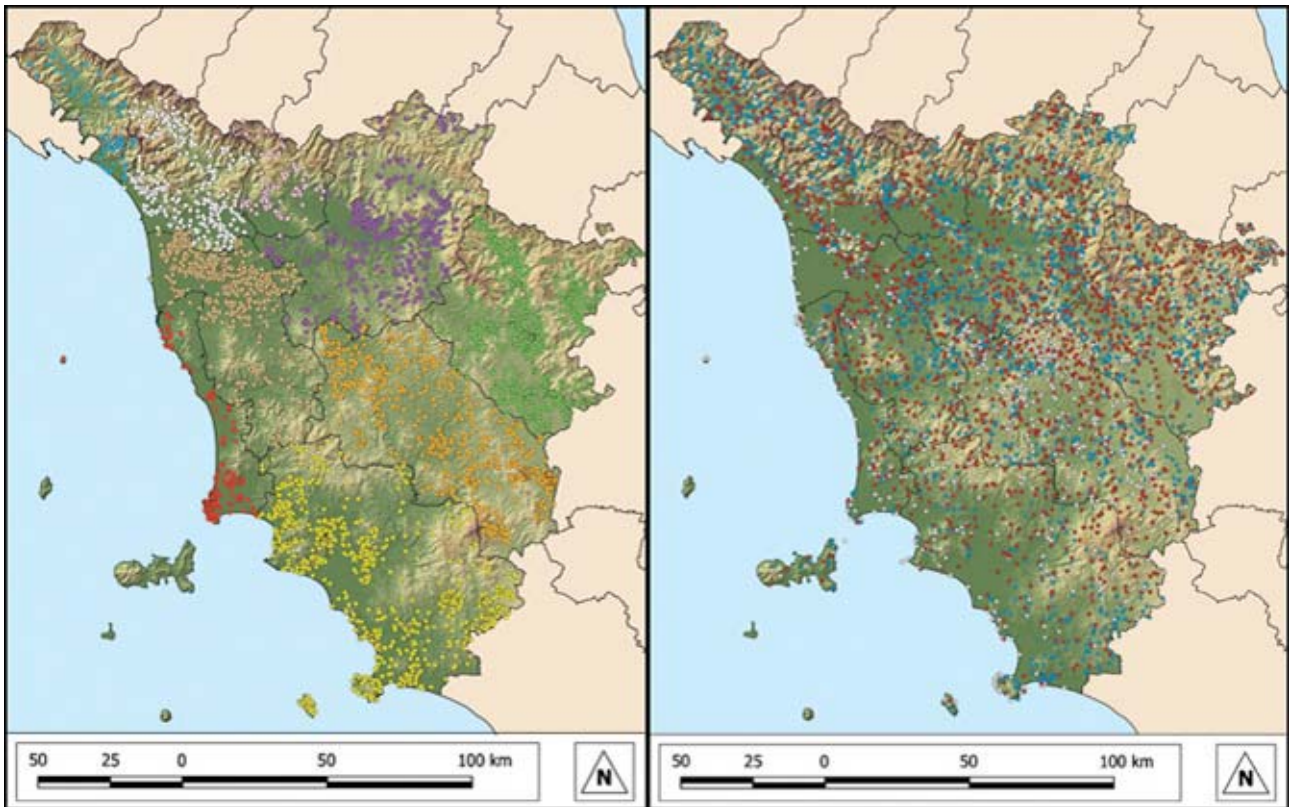


Figura 1: DTM della Toscana con georeferenziazione dei siti ricavati da progetti di schedatura dell'edito archeologico per ambiti provinciali (a sinistra) e delle attestazioni d'archivio e segnalazioni di anomalie aeree dei siti fortificati d'altura medievali (a destra)

I supporti cartografici sono riorganizzati sulla base delle esigenze dell'indagine: vengono scartati i dati superflui, estratti ed isolati tematismi particolari (es: distinzione dei vari usi del suolo a partire dalle entità areali del repertorio CTR) o ancora creati nuovi livelli informativi a partire dai dati a disposizione. E' il caso della generazione di DTM in formato raster-grid o TIN ottenuti da interpolazione di curve di livello e punti quota. Da questo tipo di dato vengono poi ricavati, mediante le più elementari funzioni degli applicativi GIS (nel nostro caso ci serviamo delle estensioni *spatial analyst* del pacchetto ESRI), altri piani cartografici di tipo morfologico, molto utili nell'indagine archeologico-territoriale: carte di esposizione dei versanti, ma soprattutto carte delle pendenze. Per le operazioni di georeferenziazione si ricorre alle sezioni CTR raster 1:10.000 che assicurano un buon dettaglio a livello topografico ed una discreta collezione di toponimi, eventualmente integrabile con le informazioni desumibili dalle tavolette IGM in scala 1:25.000. Un altro tipo di dato utilizzabile, principalmente in fase di analisi e di visualizzazione alle basse scale, è quello della cartografia tematica ed in particolare delle coperture geomorfologiche, geologiche, litologiche, di uso del suolo o di altri tipi di informazioni (confini amministrativi, comprensori ambientali, bacini idrografici, tipi climatici, ecc.).

Le informazioni tematiche che vengono registrate a tale scala sono generalmente pertinenti a schedatura di attestazioni storiche, rinvenimenti archeologici editi (cartografie archeologiche, repertori di siti, schedatura di articoli e contributi vari) e segnalazioni di anomalie aeree da verificare, in un secondo tempo, mediante controllo diretto sul campo (figura 1). Le foto aeree possono essere ricavate da voli appositi con velivoli da turismo (immagini oblique) o da voli effettuati per le levate cartografiche (fotogrammi zenitali). Nel primo caso si procede alla georeferenziazione mediante fotoraddrizzamento con software od estensioni specifiche di facile utilizzo (AirPhoto⁷, ER Mapper o il modulo Georeferencing di ArcGIS), mentre nel secondo caso si tratta di materiale già pronto all'uso ma spesso, nelle versioni digitali, di risoluzione minore rispetto alle foto oblique scattate da quote minori, su obiettivi mirati ed acquisite a scanner ad opportuna definizione. Attraverso i sistemi GIS le anomalie vengono vettorializzate e schedate, entrando così a far parte dell'informazione archeologica utile alla ricostruzione dei paesaggi antichi. In questo senso, molta importanza rivestono i repertori di foto storiche, come il volo GAI del 1954 (georeferenziato in questi ultimi anni dalla Regione Toscana), che possono avere un duplice utilizzo. Intanto forniscono informazioni utili alla ricostruzione del paesaggio prima degli sconvolgimenti urbanistici degli anni Sessanta-Settanta e, in ambito rurale, prima della crisi del sistema mezzadrile; in secondo luogo, possono essere utilizzate per la lettura di anomalie che il tempo, e soprattutto l'intervento antropico, possono aver cancellato rendendole illeggibili o appena percettibili. Nutriamo invece qualche perplessità sull'uso delle immagini satellitari che, al momento, in archeologia sono principalmente utilizzabili per lo studio dei paleoambienti o delle macroanomalie, mentre, per la lettura di evidenze minori nel sottosuolo, sono senza dubbio preferibili le semplici foto aeree, di maggior dettaglio e soprattutto di minor costo. Il problema, in questo senso, è dovuto proprio al deficitario rapporto costi/utilità: le immagini economicamente più accessibili presentano infatti una risoluzione troppo bassa (è il caso del repertorio Ikonos: 1 pixel = 4 metri) mentre quelle più dettagliate comportano una spesa difficilmente giustificabile con il rinvenimento di anomalie probabilmente leggibili già da foto aerea.

⁷ www.uni-koeln.de/~al001/airdown.html

La ricostruzione del popolamento, sebbene di epoche più recenti rispetto a quella medievale⁸, è possibile anche mediante georeferenziazione di mappe storiche e catastri: nel caso toscano, uno strumento di grandi potenzialità è rappresentato proprio dal catasto lorenese (redatto a cavallo fra XVIII e XIX secolo), che si distingue, in vero, per un'alta affidabilità dei rilievi. Da verifiche effettuate sul comune di Chiusdino (SI), queste carte sembrano risultare un po' più approssimative solamente in corrispondenza delle aree boschive, evidentemente più difficili da rilevare.

A livello di restituzione grafica delle evidenze archeologiche, a queste scale si ricorre solitamente alla copertura puntiforme, ideale perché garantisce sempre la visibilità del dato, pressoché impossibile, invece, in caso di evidenze perimetrate, e soprattutto perché si presta perfettamente ad operazioni di caratterizzazione del dato mediante utilizzo di simbologie. I siti schedati vengono georeferenziati non senza essere stati codificati in termini di affidabilità della localizzazione, per esprimere la quale riconosciamo cinque differenti livelli, che vanno dal sito assolutamente non posizionabile, se non all'interno di una vasta e generica area, alla georeferenziazione mediante apposita strumentazione (figura 2, riquadro a sinistra):

1. EVIDENZA NON LOCALIZZABILE. Nel caso di attestazioni archivistiche o rinvenimenti noti, può capitare di disporre, come unico riferimento, di un toponimo che non è però rintracciabile su cartografia. Analogamente, è possibile ritrovare notizia di scoperte archeologiche già segnalate come non localizzabili.

Posizionamento assolutamente casuale.

2. EVIDENZA GENERICAMENTE LOCALIZZABILE. Nel caso di documentazione archeologica edita, è frequente dover ricorrere al generico posizionamento sul toponimo ma senza elementi utili ad una sua più precisa ubicazione. Nel caso di attestazioni documentarie, invece, si utilizza questo grado di affidabilità per i siti nei quali non si registra persistenza di tracce materiali che consentano di riscontrare elementi di continuità fra insediamento attestato storicamente e toponomastica attuale, seppure con presenza di un nucleo abitato.

Posizionamento generico e non giustificato sul toponimo.

3. EVIDENZA LOCALIZZABILE CON PRECISIONE APPROSSIMATIVA. Grado di affidabilità utilizzato quasi esclusivamente per l'ubicazione di rinvenimenti noti, meno spesso per attestazioni archivistiche. E' fondato su un posizionamento giustificato da una descrizione della localizzazione del ritrovamento piuttosto approssimativa o dalla persistenza di labili tracce materiali, non del tutto sufficienti a ricondurre con certezza il rinvenimento noto (o l'attestazione archivistica) al deposito individuato.

Posizionamento giustificato ma con affidabilità non elevata.

4. EVIDENZA LOCALIZZABILE CON PRECISIONE. Posizionamento giustificato da una completa ed esauriente descrizione della localizzazione, nel caso di rinvenimenti editi, o dalla persistenza di chiare e relativamente abbondanti tracce sul sito, che consentano l'identificazione certa con l'insediamento documentato storicamente (caso dei toponimi con attestata continuità di vita). Confluiscono inoltre in questo livello tutti i ritrovamenti effettuati nell'ambito della ricognizione di superficie e posizionati su GIS con l'ausilio di supporti cartografici numerici di adeguato dettaglio.

Posizionamento preciso.

5. EVIDENZA LOCALIZZABILE CON PRECISIONE STRUMENTALE. Questo grado di affidabilità differisce solo parzialmente dal precedente, contemplando i medesimi casi d'applicazione, ma fornendo maggiore precisione ed affidabilità. E' infatti riferito all'utilizzo di strumentazione, stazioni totali e GPS, che garantisce uno scarto d'errore minore rispetto al posizionamento tramite supporto cartografico.

Posizionamento strumentale.

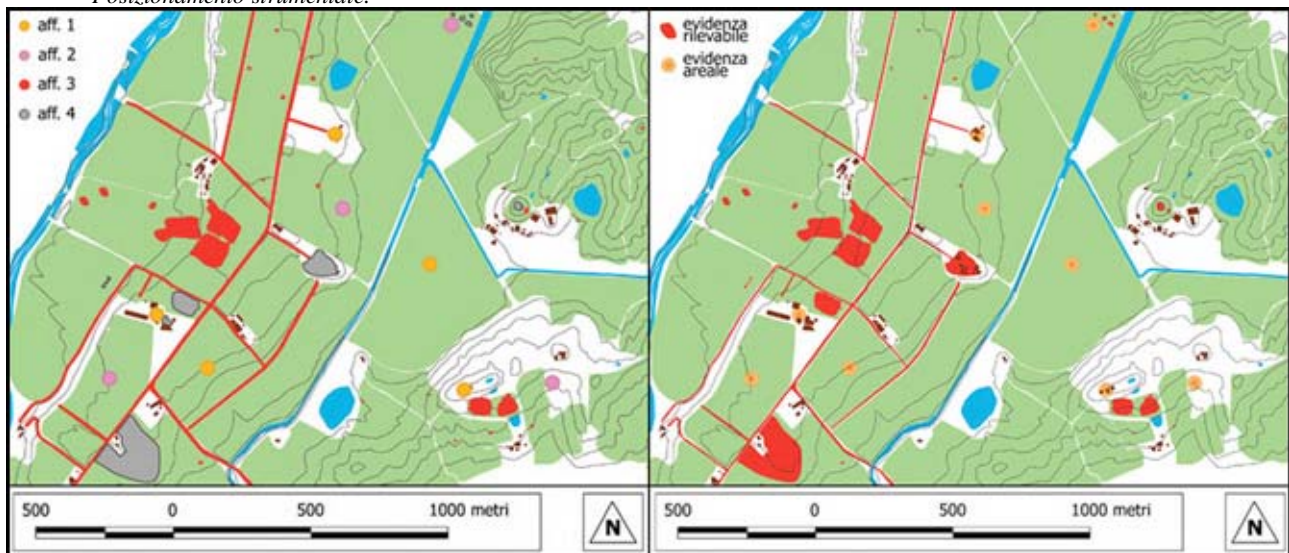


Figura 2: Carta Archeologica della Provincia di Siena – Comune di Castelnuovo Berardenga: esempio di perimetrazione delle unità topografiche con relativi codici di affidabilità della georeferenziazione (a sinistra) e di caratterizzazione della tipologia di rappresentazione (a destra).

Le più comuni funzioni di trattamento delle banche dati archeologico-territoriali, in ambiente GIS, prevedono la creazione di viste tematiche di tipo diacronico, scandendo l'evoluzione dell'insediamento per secoli, fasi o grandi periodi storici, e di viste legate alla

⁸ I pochi esempi di mappe storiche riferibili a periodi precedenti all'epoca moderna, sebbene di innegabile rilevanza storica, non sono redatte con criteri cartografici tali da consentire un'accettabile raddrizzamento od un'affidabile georeferenziazione.

caratterizzazione della tipologia insediativa o della rilevanza politica, sociale, economica e demografica dei siti. Altro tipo di elaborazione è quella pertinente alle analisi spaziali, che si sono ormai affermate come un vero e proprio ramo di specializzazione e che consentono, specie se tarate e corrette sulla base delle variabili di tipo storico-archeologico (certamente non traducibili in linguaggio analitico), di ottenere interessanti spunti di riflessione e di dibattito, salvo restando che esse esprimono più delle tendenze che dei fenomeni oggettivi (figura 3). Le interrogazioni dei dati e la loro interpretazione complessiva si esplicitano quindi in una serie di tematismi che possono prevedere anche incroci fra livelli informativi differenti e che garantiscono la produzione di una variegata ed ampia cartografia tematica pronta alla consultazione su GIS, all'uscita in stampa ed all'immissione in altri sistemi informativi territoriali, per i quali rappresentano un dato connotato da un alto grado di specializzazione.

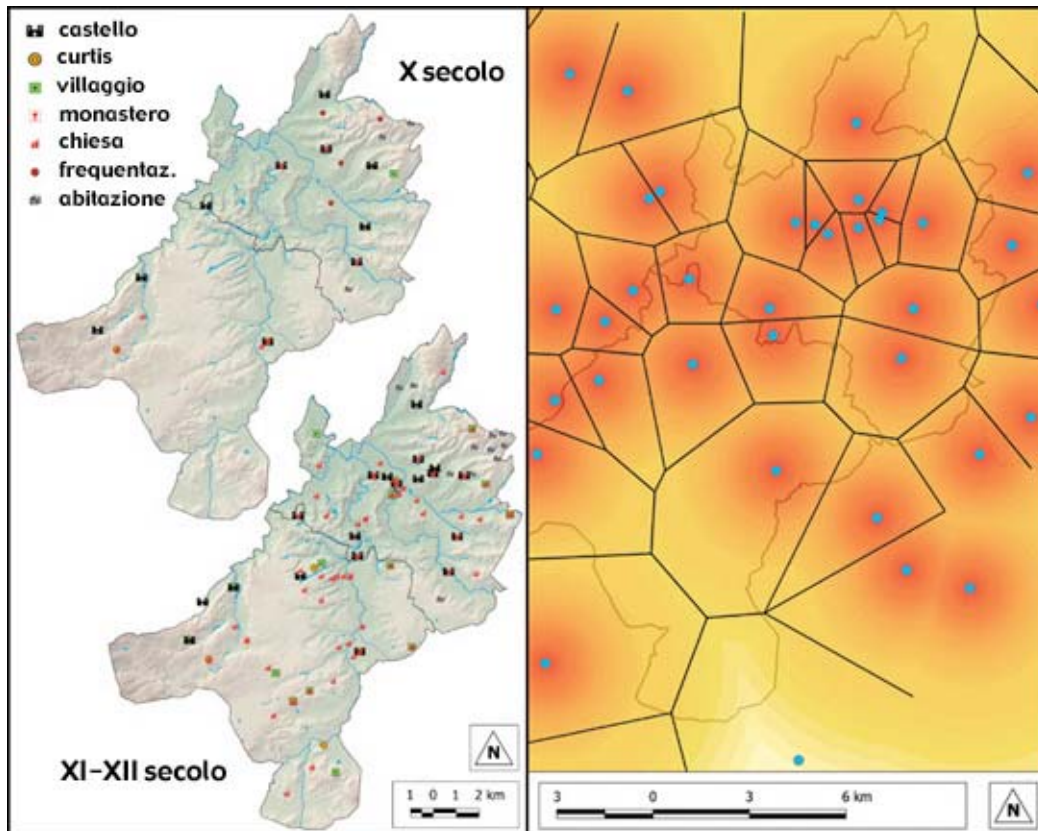


Figura 3: Valdelsa: esempi di viste diacroniche (a sinistra) e di analisi spaziali su dati territoriali (a destra)

2.6 L'integrazione delle cartografie e dei rilievi nel passaggio alla scala semi-micro dei territori comunali, dei comprensori storici e dei contesti urbani: esempi di cartografia archeologica in multiscala

Scendendo nella gerarchia delle scale di approccio all'informazione archeologica, il grado intermedio è costituito dalle indagini a scala comunale, all'interno delle quali si possono annoverare campagne di ricognizione topografica sulle aree rurali, studi multidisciplinari di comprensori storici e carte archeologiche di aree urbane. In contemporanea, cambiano ovviamente le scale della cartografia di riferimento, che copre interamente la produzione CTR, dal 10.000 al 2.000, e può ricorrere al repertorio catastale, sebbene meno ricco di riferimenti topografici e privo di informazioni altimetriche, alle coperture aeree ed ai catasti storici. I suddetti supporti vengono spesso integrati da rilievi effettuati mediante GPS e stazione totale, adottando l'uno o l'altra a seconda del grado di dettaglio richiesto per il rilievo delle differenti evidenze archeologiche od architettoniche o di qualsiasi altra informazione, quali l'altimetria o la presenza di oggetti ed entità non rappresentate. Le sezioni CTR al 10.000 garantiscono l'intera copertura comunale, mentre ai fogli al 2.000 si ricorre per le sole aree urbane (alle quali è peraltro limitata la produzione). Si tratta di supporti ideali per il tipo di indagine svolta, anche se talvolta, come già sottolineato, vengono integrati dalle carte catastali, utili soprattutto per la definizione degli spazi interni degli edifici (quindi solitamente all'interno dei centri cittadini). Altre possibili integrazioni sono garantite dal rilievo diretto sul campo, in particolare nel caso di studi mirati su comprensori rurali per i quali la scala al 10.000 è ritenuta inadeguata, o quanto meno non sufficientemente dettagliata. Non poco frequenti sono quindi i casi di basi cartografiche in multiscala, generate dall'integrazione di tutti i predetti dati topo-cartografici. Come già sottolineato nel paragrafo precedente, un'ottimo strumento di lettura ed analisi è quello dei catasti storici, che offrono rappresentazioni piuttosto fedeli del territorio a partire sostanzialmente dal XVIII secolo. In archeologia, possono essere utili alla ricostruzione dei paesaggi antichi attraverso un lavoro di individuazione delle tendenze di trasformazione territoriale, da proiettare a ritroso nel tempo. Arrivare fino alle fasi medievali presuppone, in più, un lavoro di verifica sulla base dell'eventuale documentazione archivistica e soprattutto di interventi archeologici sistematici e mirati (carotaggi, piccoli saggi di controllo della stratigrafia, lettura di possibili anomalie, analisi dei pollini, ecc.). Il loro uso risulta particolarmente indicato nel caso di paesaggi fossilizzati, fornendo informazioni e dati spaziali utili ad una dettagliata ricostruzione dei comprensori storici. In un lavoro che stiamo conducendo sul comune di Chiusdino (SI) ed in

particolare sul comprensorio del castello di Miranduolo⁹, oggetto di scavo da ormai quattro anni, stiamo ottenendo risultati sorprendenti dal confronto fra foto aeree del '54 (volo GAI), catasto leopoldino e verifiche topografiche di carattere geo-ambientale. In sintesi, abbiamo proceduto alla georeferenziazione del catasto sulla base delle foto aeree storiche e si è notata una notevole corrispondenza nella divisione dei campi, chiaro segno di un paesaggio fossilizzato almeno nel corso degli ultimi due secoli. In seguito, abbiamo digitalizzato i campi rilevati da catasto e abbiamo raccolto le informazioni sull'estensione delle singole particelle riportate sui registri del catasto ed espresse in iugeri (1 iugero = 2.308 mq¹⁰). Dal confronto fra catasto georeferenziato e digitalizzato e dati dei registri è emersa una corrispondenza dei campi rispetto ai multipli degli iugeri pressochè perfetta nel 22% dei casi (un'unità risulta addirittura di 2 iugeri esatti) e molto vicina ai valori previsti nel 28% dei casi. Complessivamente, la metà dei campi georeferenziati da catasto presenta quindi misure che si inquadrano precisamente nel sistema di misurazione utilizzato al tempo. Questi dati, insieme ai bassi livelli di distorsione riscontrati al momento della georeferenziazione delle carte (eccezion fatta, come già ricordato nel paragrafo precedente, per le aree boschive), ci danno la conferma della validità, anche dal punto di vista cartografico, di tali cartografie storiche. La loro corrispondenza con le foto del '54, inoltre, ci fornisce la conferma di una situazione paesaggistica fortemente fossilizzata, che probabilmente può essere spinta fino all'epoca medievale, dal momento che, dopo le fasi di vita del castello, non abbiamo raccolto, né da attestazioni archivistiche, né da dati archeologici, testimonianze di intensa frequentazione dell'area che, a tutt'oggi, continua ad essere piuttosto periferica (molti campi lasciati a pascolo ed una bassa percentuale coltivata; occupazione antropica praticamente nulla).

L'approccio multiscale si rivela particolarmente utile, a questa scala, per la generazione di DTM che possano anche essere restituiti mediante visualizzazioni tridimensionali. Sempre nel contesto del castello di Miranduolo, il modello digitale è stato costruito integrando le isoipse CTR ad intervallo di 10 metri con un dettagliato rilievo celerimetrico del poggio. Per l'area circostante il poggio è stata inoltre effettuata un'operazione di raffittimento delle curve di livello (fino ad intervalli di quota di 2 metri) digitalizzate anche in base a quote ottenute da GPS. Il risultato è stata la possibilità di ottenere un DTM del dettaglio necessario col quale procedere alla sovrapposizione dei dati archeologici rilevati e di tematismi che sintetizzino graficamente le interpretazioni e le ipotesi elaborate in corso d'opera (figura 4).

Nel corso delle campagne topografiche effettuate nei comprensori comunali, nel nostro caso nell'ambito del progetto Carta Archeologica della Provincia di Siena, vengono registrate tutte le possibili evidenze archeologiche. Queste sono ricavabili in particolare dalla ricognizione sui campi arati, ma anche da lettura degli elevati (monumenti, abitazioni, ruderi), da sterri per cantieri di vario genere e da indagine mirata nelle aree boschive, in corrispondenza di anomalie segnalate da foto aerea o di sezioni di terra leggibili nella loro stratigrafia. La maggior parte delle UT (unità topografiche) sono comunque riconducibili alle ricognizioni dei campi interessati da arature o fresature, mentre meno frequenti, in quanto meno redditizie a livello di restituzione di materiale in superficie, sono le ricerche nei campi lasciati incolti, a pascolo, o nei boschi. All'interno di quest'ultimi, in caso di possibili emergenze nel sottosuolo (segnalate da anomalie o da presenza di crolli o tracce di strutture sommerse) vengono effettuati piccoli saggi di controllo delle stratigrafie presenti. Il loro rilievo avviene mediante perimetrazione delle emergenze ottenuta con l'uso dei GPS. La loro verifica e sistemazione si completa in un secondo momento, in laboratorio, importandole in ambiente GIS, corredato di opportuna cartografia, per il loro controllo mediante CTR raster e ortofotocarte sulle quali il responsabile è in grado di leggere particolari topografici rilevati sul campo per la descrizione del sito. In questa fase, oltre ad assegnare un grado di affidabilità della georeferenziazione (secondo i parametri illustrati nel paragrafo precedente), viene operata una distinzione basilare per una corretta lettura delle evidenze e delle loro caratteristiche topo-cartografiche (figura 2, riquadro a destra):

- EVIDENZA RILEVABILE. Si ritiene rilevabile qualsiasi emergenza archeologica della quale sia possibile la lettura della forma e dei contorni. In altri termini, appartengono a questa categoria tutti i rinvenimenti dei quali sia possibile fornire una planimetria. I rilievi sono ottenuti mediante celerimisure (stazione totale) o sistemi di posizionamento satellitare (GPS), o semplicemente digitalizzazione a video su una base cartografica di sufficiente dettaglio.
- EVIDENZA AREALE. In questa accezione, il termine "areale" ha significato di evidenza non rilevabile né per forma né per dimensioni. E' quindi un riferimento generico e simbolico, sostanzialmente riconducibile alla tipologia puntiforme (entità adimensionale). Questo genere di dato è utilizzato per la restituzione grafica di località attestate storicamente, delle quali non è rimasta alcuna traccia materiale, o per notizie edite di rinvenimenti dei quali non è stata fornita una caratterizzazione topo-cartografica. Nell'ambito della ricognizione, è utile ad indicare aree di spargimento sporadico per le quali non è possibile individuare altri limiti se non quelli del campo indagato. In questo caso, in cui è il sito stesso a delimitare l'unità topografica, riteniamo infatti più opportuno non definire forma e dimensioni dell'area di spargimento perché corrispondenti, di fatto, a semplici limiti di visibilità o di praticabilità. La caratterizzazione areale può essere idonea, inoltre, a rappresentare rinvenimenti isolati (singoli oggetti) per i quali, come si è già precisato, non è auspicabile la perimetrazione, ma è piuttosto preferibile indicare una generica area di riferimento. Infine, si ricorre agli areali per la localizzazione di stratigrafie verticali (sezioni, tratti di elevati non riconducibili ad una struttura ancora leggibile, ecc.) e per l'indicazione di unità topografiche sotterranee (es: tombe ipogee) per le quali non si dispone di un rilievo. Molti casi di uso dell'areale sono riferibili agli ambienti boschivi, nei quali è spesso difficile riuscire a caratterizzare emergenze appena intuibili (crolli, murature parzialmente affioranti, qualche coccio isolato) per la presenza di una folta vegetazione spontanea e di una morfologia che rende difficoltosa l'indagine diretta.

⁹ Lo scavo del castello di Miranduolo, nel comune di Chiusdino (SI), ha avuto inizio nel 2001, in seguito alla campagna topografica condotta sul territorio comunale da A. Nardini fra il 1993 e il 1995, in occasione della sua tesi di laurea. Un'esauriente descrizione dello scavo, diretto dalla dott.ssa A. Nardini, sotto la responsabilità scientifica del prof. M. Valenti, è consultabile a partire dalla pagina web <http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/MIRANDUOLO/MIR.html>. Nell'ambito di questa campagna è stato promosso un progetto di ricostruzione paesaggistica del comprensorio storico del castello, attraverso lo studio dei suoi caratteri geo-ambientali; tale lavoro, sotto la direzione della dott.ssa A. Arnoldus e del dott. G. Di Pasquale, è oggetto di due tesi di laurea che stanno per essere portate a termine da M. Putti e C. Rosadoni; il sottoscritto vi partecipa in qualità di consulente per gli aspetti cartografici e tecnico-informatici. Per un approfondimento si rimanda al sopraccitato sito internet, in particolare nella sezione "Documentazione", ai capitoli "Archeologia ambientale. Ricostruzione del paesaggio a Miranduolo" e "Rilevamento unità di terre. Ipotesi sull'uso del territorio storico di Miranduolo".

¹⁰ Fonte: Cammarosano, P.

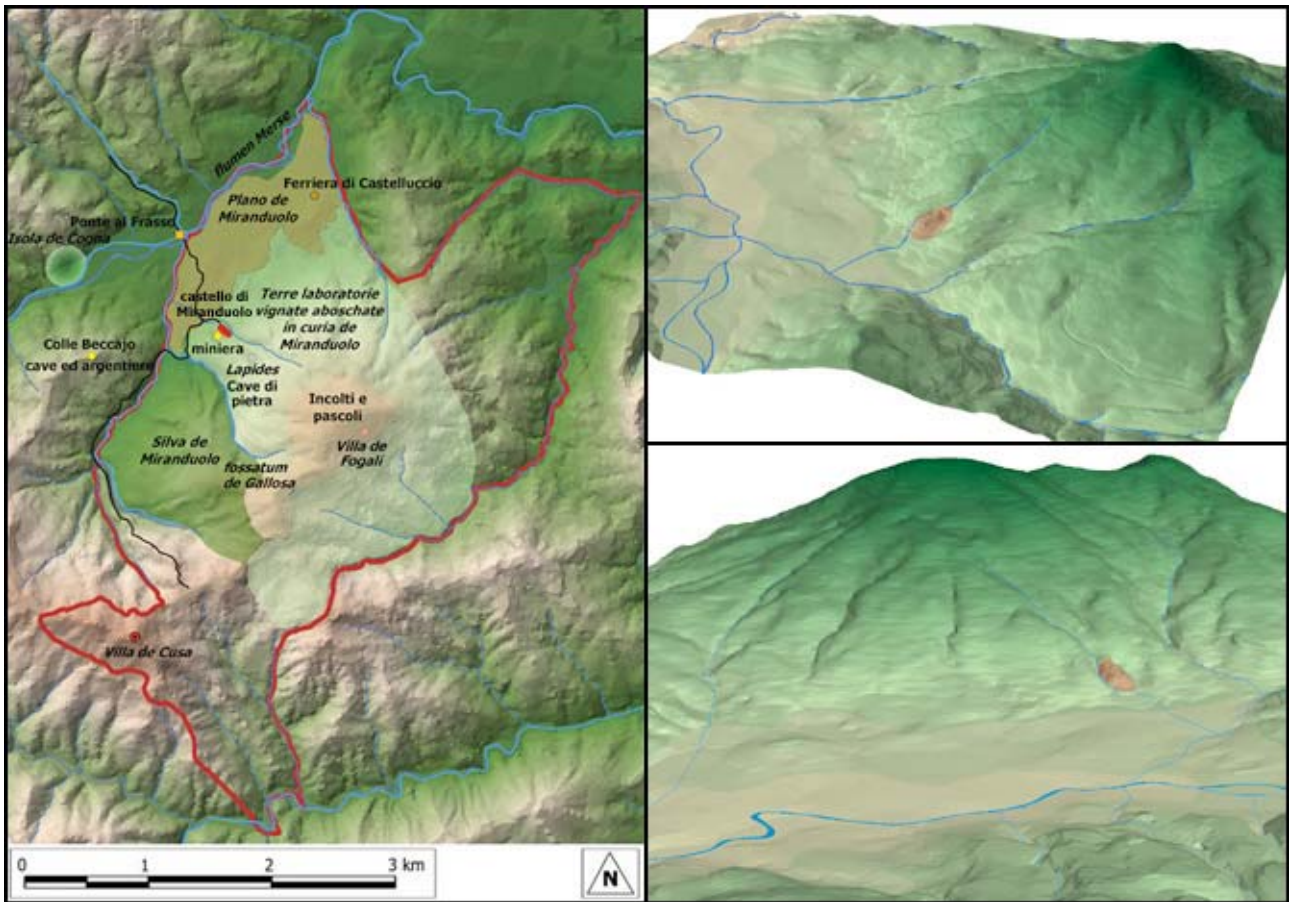


Figura 4: comprensorio del castello di Miranduolo (Chiusdino - SI). Ricostruzione del quadro economico-ambientale (a sinistra) e visualizzazioni 3D del comprensorio mediante DTM ottenuto in multiscala (riquadri a destra: in alto vista da sud; in basso da ovest)

2.7 Il rilievo topografico alla scala micro: l'uso della stazione totale sugli scavi per la costruzione di cartografia di dettaglio

Il grado di maggior dettaglio, in archeologia, è ovviamente connotato alla documentazione grafica di scavo, costituita generalmente da piante in scala 1:20 che vengono digitalizzate in apposite piattaforme GIS. Per la loro gestione abbiamo elaborato, all'interno del dipartimento, un modello dati standard, appositamente costruito sulle esigenze di registrazione e rappresentazione della stratigrafia di scavo. La scelta di ricorrere a sistemi GIS è riconducibile alla necessità di approntare uno strumento che consenta la consultazione della documentazione e l'organizzazione dei dati in tematismi elaborati sulla base di specifiche ricerche (piante composite: carte di fase, delle strutture, delle attività, delle murature, ecc.) o di analisi spaziali (es: carte di distribuzione)¹¹. I rilievi di scavo, georeferenziati all'interno di piattaforme GIS, necessitano però di essere contestualizzati all'interno di adeguata cartografia di base. All'interno delle aree urbane questo non rappresenta un grosso problema, avendo a disposizione basi CTR 1:2.000 e carte catastali nei formati raster e vettoriali; talvolta, se lo scavo viene effettuato internamente ad un edificio, si può integrare anche attraverso le planimetrie ad alta scala degli architetti, supporti ottimali per collocare con grande precisione i rilievi della stratigrafia all'interno dei vari ambienti. Più complessa appare invece l'operazione in contesti rurali per i quali lo scavo si può agganciare solo ad elementi e sezioni CTR, rispettivamente in scala 1:5.000 e 1:10.000. In questi casi, la sproporzione fra le scale risulta troppo netta e si avverte quindi la necessità di procedere alla costruzione di una cartografia che integri i due supporti e permetta di inquadrare lo scavo in un comprensorio rilevato con gran dettaglio. Secondo quella che è la nostra filosofia, siamo noi archeologi, rendendoci autosufficienti, a provvedere al rilievo, utilizzando principalmente la stazione totale. I primi dati dei quali abbiamo bisogno sono sicuramente quelli relativi all'altimetria ed alla morfologia del sito sul quale viene svolto lo scavo. Quest'attività viene svolta preliminarmente all'intervento ma continua nel corso delle varie campagne, in modo da riuscire, in ultimo, anche a ricostruire la morfologia originaria del sito. I DTM così ottenuti possono essere visualizzati attraverso varie tipologie grafiche: collezione di punti quota, isoipse, superfici raster grid o strutture vettoriali TIN. A partire da questi, le più comuni estensioni GIS di analisi spaziale permettono di originare carte di pendenza (funzioni di *slope* molto utili ai nostri fini) o di esposizione dei versanti (funzioni di *aspect*, idonee alla ricerca di tipo geo-ambientale) e visualizzazioni 3D del territorio, un buon supporto per lo studio del contesto morfologico ma soprattutto ottimo strumento a fini divulgativi (figura 5).

Oltre alla generazione di cartografia di base, l'uso della stazione è finalizzato anche al rilievo manuale nello scavo. Nel corso della campagna viene rilevata continuamente la picchettatura costruita per le misurazioni necessarie al rilievo delle unità stratigrafiche. In

¹¹ Per un approfondimento sulle tecniche di registrazione, gestione ed analisi della documentazione grafica in contesti di scavo si rimanda a Nardini, A., 2000; Nardini, A., 2001; Fronza, V., Nardini, A., Salzotti, F., Valenti, M., 2001.

laboratorio, le coordinate così ottenute vengono elaborate e confrontate: dal calcolo delle medie ottenute, si procede alla redazione definitiva della picchettatura interna alle aree di scavo. Il passaggio successivo prevede la sua georeferenziazione secondo i vari sistemi di riferimento (nel nostro caso il Gauss-Boaga) attraverso i dati ricevuti dalle operazioni di pothenot o, nelle situazioni meno fortunate (ossia in aree, come quelle boschive, senza visibilità circostante e quindi senza la possibilità di agganciarsi ai punti noti), mediante orientamento su punti rilevati a GPS con sessioni di misura prolungate e reiterate. Una volta georeferenzata, la picchettatura è pronta per essere caricata su base GIS ed utilizzata per importare le varie piante di unità stratigrafica che vengono quindi digitalizzate nella loro reale posizione nello spazio terrestre. In altri casi, la stazione può essere utilizzata per un rapido rilievo di massima delle strutture emerse, in particolare le murature; in questo modo si riesce, nell'arco di uno o pochi più giorni di lavoro, a disporre di un primo rilievo utile a ricostruire la topografia del sito archeologico. Lo stesso tipo di operazione può essere effettuata anche per il rilevamento di strutture pertinenti al sito ma momentaneamente esterne alle aree di scavo: si tratta, in questo caso, di murature appena affioranti o leggibili in sezione, di aree di crollo di materiali, o di punti di ritrovamento occasionale di reperti (frequenti nelle battiture mediante metal detector). In ultimo, il rilievo celerimetrico può costituire da supporto per la georeferenziazione di rilievi tridimensionali operati mediante tecnologia laserscanning, che possono interessare complessi architettonici o aree di scavo. Nel corso della campagna 2004, a Chiusdino abbiamo sperimentato entrambi i tipi di scansione: queste hanno interessato il complesso architettonico del monastero di San Galgano (uno dei siti più suggestivi e storicamente rilevanti del territorio senese) ma anche lo scavo, per il quale abbiamo sperimentato, esperienza finora unica in Italia, la documentazione tridimensionale sistematica di tutte le unità stratigrafiche individuate¹². La stazione totale, nell'occasione, viene utilizzata per la georeferenziazione delle mire (o delle sfere, utilizzate da alcune marche di scanner quali il nostro, iQsun, distribuito in Italia dalla FARO Technologies, con sede a Torino) utilizzate per l'unione dei vari rilievi pertinenti ad un'area o ad una struttura. Pur se applicate all'uso dello scanner, la metodologia e la procedura di trattamento dei rilievi celerimetrici sono le stesse già illustrate per la restituzione della picchettatura di scavo.

Complessivamente, l'uso della stazione totale su uno scavo archeologico può essere ricondotto ai seguenti ambiti:

- rilievo georeferenziato del sito finalizzato alla restituzione delle caratteristiche morfologico-altimetriche dello stesso;
- rilievo georeferenziato delle strutture murarie riconoscibili nelle aree non ancora sottoposte ad indagine stratigrafica;
- rilievo georeferenziato degli ingombri delle strutture murarie e delle quote degli strati individuati nelle aree di scavo;
- rilievo georeferenziato della picchettatura costruita per le operazioni di rilievo manuale degli elementi stratigrafici;
- rilievo georeferenziato delle mire utilizzate per l'unione delle scansioni tridimensionali mediante laserscanning.

¹² Il progetto di rilievo tridimensionale dello scavo, molto ambizioso, è stato tentato per testare le possibilità di una reale gestione tridimensionale della stratigrafia: è oggetto di una tesi di dottorato che vedrà impegnato, nei prossimi anni, Mirko Peripimeno, al cui contributo, nell'ambito di questi atti, rimando per l'illustrazione degli obiettivi e delle problematiche emerse. Riteniamo comunque l'esperienza molto significativa, anche se non nascondiamo alcuni limiti emersi nel corso del lavoro, connaturati principalmente al dettaglio del rilievo (in particolare alla presenza di fattori di disturbo della scansione: troppo sole, pulviscolo, margini di errore centimetrici, ecc.), ed alle difficoltà di gestione di grossi quantitativi di dati che devono essere trasformati da nuvole di punti in superfici e che devono essere ritagliati sulla base della forma di ogni singola UT. Inoltre, lo svolgimento sistematico di tale pratica richiede dei tempi di preparazione e di rilievo (2 o 3 scansioni giornaliere per ciascuna area) che impongono l'impegno pressoché totale di due persone e la necessità di bloccare i lavori sull'area per circa mezz'ora al giorno.

Per un'approfondimento dell'esperienza, comprendendo in questo anche i rilievi del complesso monastico di San Galgano, si rimanda comunque alla pagina web <http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/MIRANDUOLO/MIRscanner.html>.

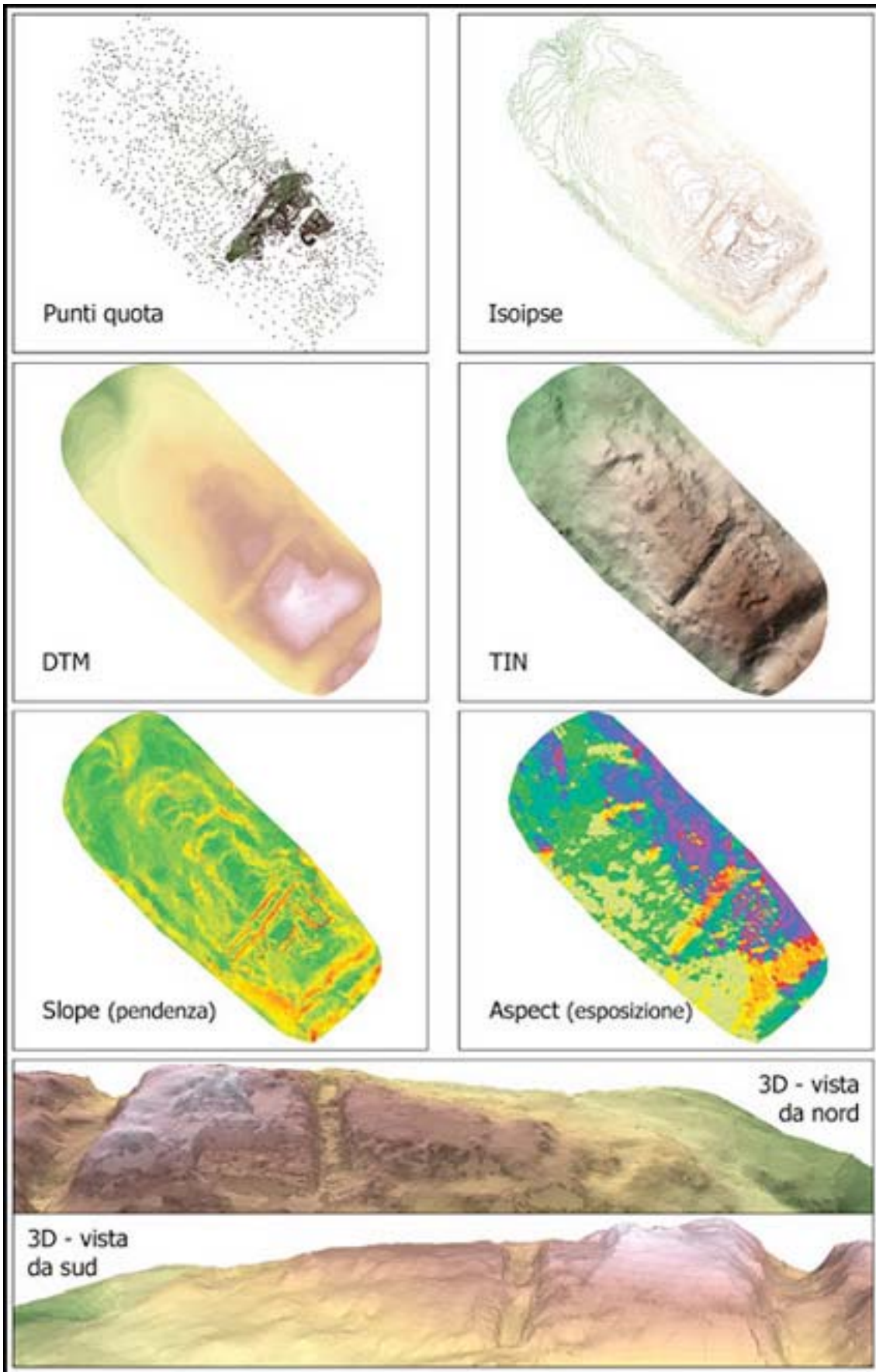


Figura 5: castello di Miranduolo (Chiusdino - Siena). Rilievo topografico mediante stazione totale e successive elaborazioni effettuate in ambiente GIS (varie restituzioni di DTM, carte di pendenza, di esposizione dei versanti e visualizzazioni 3D)

3. CONCLUSIONI

Il fine ultimo della produzione di cartografia archeologica è la restituzione di conoscenza mediante mappe tematiche a corredo di dati, analisi e sintesi interpretative. La crescente diffusione, all'interno dell'ambiente archeologico, delle applicazioni GIS ha indotto una crescita in termini quantitativi e qualitativi della produzione di cartografia, sia a livello di restituzioni cartacee che di consultazione e costruzione di viste in ambiente informatico. La produzione cartacea è stata enormemente facilitata dalla diffusione di moduli di stampa e funzioni di esportazione immagine che permettono, anche ad un utente medio quale l'archeologo, di costruire quadri cartografici completi di qualsiasi dettaglio e degli elementi necessari ad una corretta lettura della carta (didascalie, legenda, scala, freccia del nord, cartiglio). Nella compilazione dei *layout* è ovviamente opportuno valutare preliminarmente quali dati possano servire alla costruzione di un quadro completo ed esauriente, tenendo conto delle aspettative di chi dovrà utilizzare le informazioni: la comunità archeologica o le amministrazioni o il grande pubblico. Rispetto a quella cartacea, la consultazione a monitor mediante sistemi GIS risulta più dinamica, integrata ed esaustiva, in quanto offre la possibilità di costruire liberamente le viste, aggregando in tempo reale piani informativi differenti e rendendone disponibili le informazioni, all'interno di archivi relazionali, e la documentazione multimediale: testi, ipertesti, immagini, movie, panorami QTVR, ricostruzioni tridimensionali, ecc. Le modalità di fruizione dei dati, in questo caso, non vengono impostate, ma sono determinate esclusivamente dagli interessi e dalle necessità delle varie utenze.

La capacità di gestire, attraverso gli strumenti informatici, l'intero ciclo di trattamento dei dati, mette quindi a disposizione dell'archeologo una serie di strumenti per produrre ed elaborare conoscenza, secondo elevati standard di documentazione e di trattamento della stessa. Fra questi, l'uso della strumentazione topografica ha consentito un salto di qualità fondamentale anche per gli aspetti cartografici, sia nell'ambito della ricerca che della fruibilità dei dati da parte di organi amministrativi.

La crescita della comunità archeologica sotto questi aspetti, pensiamo possa essere un segnale positivo in un paese, come l'Italia, per il quale il patrimonio culturale rappresenta un bene, ancora poco e male gestito, di inestimabile valore e possibile motore di ricchezza. Se è vero che il turismo è una voce importante nell'economia nazionale, è altrettanto vero che sono auspicabili grossi miglioramenti nella valorizzazione delle risorse artistiche, archeologiche e storico-architettoniche. Il nostro sforzo si inquadra anche in questa direzione, ossia nella volontà di approntare mezzi, tecniche e metodologie per consentire realmente una svolta nell'offerta culturale, che possa altresì garantire, anche da parte della popolazione stessa, una presa di coscienza della ricchezza di storia e testimonianze materiali che devono diventare beni comuni e diffusi.

3.1 Produzione di cartografia archeologica per finalità scientifiche

La cartografia, dovendo ridurre tutta l'informazione in una ristretta gamma di simboli e colori, rappresenta spesso per l'archeologo un grande sforzo di sintesi interpretativa, che riduce all'interno del piano cartografico la dimensione storico-diacronica del territorio, delle sue tipologie insediative e delle sue forme organizzative. Prima di arrivare alla sintesi, però, i dati archeologici vengono opportunamente organizzati e trattati su sistemi GIS: si compilano e si interrogano le banche dati, generando selezioni e tematismi mediante criteri storici (diacronici, tipologici, genericamente tematici, ecc.) o semplicemente geografici (selezione dei siti all'interno di una specifica zona o selezione sulla base della distanza o della pertinenza rispetto ad uno o più elementi georeferenziati). A partire dai siti georeferenziati, si possono altresì sviluppare analisi spaziali che prevedono l'incrocio fra differenti tipologie di dati, compresi quelli di tipo geo-ambientale. Solo in ultimo si arriva alla generazione di cartografie pronte alla divulgazione presso la comunità scientifica, per la quale possono diventare uno spunto di dibattito e di riflessione. Considerato l'uso specifico per il quale sono state prodotte, riteniamo opportuno non eccedere nell'inserimento di troppi livelli informativi perché si rischia di rendere confusa e difficoltosa la lettura dei dati. Piuttosto è preferibile, considerati i rapidi tempi di costruzione delle viste e di stampa dei *layout*, fornire più carte dello stesso soggetto, contemplando, per ciascun caso, l'inserimento di pochi tematismi, ogni volta diversi (figura 3, riquadro di sinistra). Nel caso di repertori cartografici, la tendenza sta nell'individuare e mantenere, nei limiti del possibile, uno standard di presentazione dei dati che faciliti anche operazioni di comparazione fra le diverse carte tematiche. Infine, la possibilità, mediante appositi programmi, di rendere consultabili le basi in rete (ma sono ancora pochi gli esempi in tal senso) dovrebbe garantire, nel tempo, una veloce e vasta forma di condivisione dell'informazione, in uno sforzo di trasparenza che potrebbe incentivare il dibattito scientifico, rendendo i propri dati liberamente consultabili e, conseguentemente, soggetti ad eventuali critiche e considerazioni da parte di una vasta utenza.

3.2 Produzione di cartografia archeologica per finalità politiche

La catastazione dei dati archeologici su base digitale, attraverso dettagliata rappresentazione delle stratigrafie di scavo e restituzione perimetrata delle evidenze riscontrate nel corso delle ricognizioni (unità topografiche), fornisce finalmente agli organi di tutela e pianificazione (soprintendenze ed amministrazioni pubbliche) strumenti realmente utilizzabili nello svolgimento delle rispettive politiche. I tematismi archeologici, infatti, possono confluire anche all'interno di più ampi sistemi informativi territoriali, integrandosi eventualmente con dati e risorse elaborati all'interno di altri ambiti disciplinari o professionali. E' in questo modo che l'archeologia può realisticamente tentare di entrare a far parte delle dinamiche di pianificazione e valorizzazione del paesaggio, diventando strumento anche di possibili misure di vincolo e tutela di comprensori o singoli siti di particolare rilevanza archeologica o storico-architettonica. Per questo tipo di finalità, quindi, è necessaria una documentazione in forma numerica e di dettaglio proporzionale alle esigenze che il tipo di politica impone. Tale flusso di dati verso le amministrazioni pubbliche, inoltre, può essere compensato, se sancito da rapporti di interscambio fra le parti, dall'acquisizione gratuita di cartografia di base che può essere utile allo sviluppo della ricerca. Nella nostra esperienza abbiamo instaurato apposite convenzioni con l'Amministrazione Provinciale di Siena, nell'ambito del progetto di cartografia archeologica provinciale, e con il Comune di Siena. A fronte della cessione di informazioni di alto contenuto specialistico, che tali organi non sarebbero in grado di elaborare autonomamente, riceviamo supporti cartografici che comporterebbero spese non sempre sostenibili. In questo modo, invece, si procede ad un reciproco arricchimento delle banche dati senza alcuno spreco di risorse. Siamo convinti che lo sviluppo di tali pratiche rappresenti un valido esempio di cooperazione e di condivisione allargata della conoscenza prodotta. Questo sforzo si potrà tradurre, peraltro, in maggiori richieste di

consulenze e prestazioni, che non possono che allargare gli orizzonti della ricerca e del censimento di un patrimonio che finalmente comincia ad essere riconosciuto.

3.3 Produzione di cartografia archeologica per finalità socio-divulgative

L'ultimo tipo di produzione cartografica è quello a scopi divulgativi. Se la finalità primaria di un'indagine archeologica è quella scientifica, allo stesso modo riconosciamo l'importanza di proporre i contenuti sviluppati anche mediante un linguaggio meno specialistico e più adeguato alla loro divulgazione presso il grande pubblico. Gli interventi archeologici, infatti, sono spesso visti esclusivamente come causa di disagi e di spese pubbliche che talvolta i cittadini faticano a giustificare in quanto fini a se stesse e partecipate solo da una ristretta comunità scientifica. Per questo, riteniamo fondamentale riuscire a garantire un ritorno sociale delle nostre attività. Le cittadinanze interessate devono essere coinvolte e messe in condizione di poter conoscere e comprendere i risultati della ricerca, avvertendola come un momento di arricchimento della memoria collettiva e della storia della comunità. In altri termini, devono poter pensare alla spesa richiesta come ad uno strumento per prendere coscienza delle proprie origini e delle testimonianze materiali del luogo. Per raggiungere tali intenti ci serviamo di varie produzioni multimediali, che vanno dalla creazione di siti internet (con dettagliati aggiornamenti quotidiani dell'attività di scavo¹³) alla redazione di filmati costruiti per la diffusione dei contenuti attraverso un linguaggio semplice, corredato di immagini e ricostruzioni grafiche, che rendano più interessanti e facilmente comprensibili le articolate dinamiche dell'interpretazione archeologica e della narrazione storica. Attraverso questi linguaggi si propone quindi al pubblico una storia che possa stimolare l'interesse e la curiosità, avvicinandolo alla pratica archeologica come ad un'opportunità di conoscenza della propria identità storica, che molto spesso non riesce a costruirsi per la mancanza di adeguate offerte. La produzione di questi materiali divulgativi, inoltre, favorisce il reperimento di fondi, più facilmente stanziabili se avvertita la consapevolezza di poter confezionare, in fase finale, un prodotto che abbia visibilità e che assicuri un riscontro dal punto di vista sociale.

In tali processi, anche la cartografia può fare la sua parte, aiutando a capire quale sia stato lo sviluppo e l'articolazione del popolamento delle epoche passate sul territorio. La produzione di carte allestite appositamente contempla una restituzione semplice e chiara dei contenuti, esteticamente accattivante, e con eventuali riferimenti che ne aiutino la lettura e la comprensione. I formati di uscita possono essere digitali, e quindi utilizzabili in pagine web, prodotti multimediali e filmati, o cartacei, nel caso di pubblicazioni di tipo divulgativo quali guide, volantini o pannellature per mostre e percorsi museali.

4. BIBLIOGRAFIA

Clarke, D.L., 1977 = Clarke, D.L. (eds.), 1977. *Spatial Archaeology*. London.

Francovich, R., Valenti, M., 1999 = Francovich, R., Valenti, M., 1999. La carta archeologica della Provincia di Siena. Ricerca, sperimentazione ed uso della tecnologia per lo sviluppo dell'indagine territoriale, in *Carta archeologica e pianificazione territoriale. Un problema politico e metodologico*, Roma, 1997, pp.170-184.

Nardini, A., 2000 = Nardini, A., 2000. La piattaforma GIS dello scavo di Poggio Imperiale a Poggibonsi (Insegnamento di Archeologia Medievale dell'Università di Siena). Dalla creazione del modello dei dati alla loro lettura. *Archeologia e Calcolatori*, 11, pp. 111-123.

Francovich, R., Valenti, M., 2001 = Francovich, R., Valenti, M., 2001. Cartografia archeologica, indagini sul campo e informatizzazione. Il contributo senese alla conoscenza ed alla gestione della risorsa culturale del territorio, in *La carta archeologica fra ricerca e pianificazione territoriale*, Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, Firenze, 6-7 maggio 1999, pp. 83-116.

Fronza, V., Nardini, A., Salzotti, F., Valenti, M., 2001 = Fronza, V., Nardini, A., Salzotti, F., Valenti, M., 2001. A GIS solution for excavation: experience of the Siena University LIAAM in *Computing Archaeology for Understanding the Past – CAA 2000 - Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Ljubljana, Slovenia, April 2000.

Nardini, A., 2001 = Nardini, A., 2001. Il modello dati nell'applicazione GIS dello scavo (l'esperienza senese). "Workshop sul GIS di scavo", Siena. <http://192.167.112.135/NewPages/EDITORIA/INFO.html>

Cammarosano, P. = Cammarosano, P., "Le campagne nell'età comunale" http://www.storia.unive.it/_RM/didattica/.

¹³ Un esempio, finora unico in Italia, di costruzione di siti per l'aggiornamento quotidiano dell'attività di scavo, si rimanda al sito web dello scavo di Miranduolo, consultabile all'indirizzo <http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/MIRANDUOLO/MIR.html>