

PERIPIMENO M., SALZOTTI F., La stratigrafia archeologica dal rilievo per mezzo di tecniche laser scanning alla gestione 3D in ambiente GIS in SIFET 2006, "Le nuove frontiere della rappresentazione 3D", Atti del 51° Convegno Nazionale della SIFET, Castellaneta Marina (TA), 14-16 giugno 2006.

LA STRATIGRAFIA ARCHEOLOGICA DAL RILIEVO PER MEZZO DI TECNICHE LASER SCANNING ALLA GESTIONE 3D IN AMBIENTE GIS

Mirko Peripimeno^a, Federico Salzotti^a

^aLaboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale (LIAAM) dell'Università degli Studi di Siena
(peripimeno, salzotti)@unisi.it

KEY WORDS: 3D, Laser Scanner, archeologia, GIS 3D, reverse engineering

Riassunto

Dopo l'applicazione sistematica di tecniche 3D laser scanning per la conservazione, gestione ed divulgazione dei reperti archeologici, la sperimentazione di tali tecniche da parte del Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale (LIAAM) dell'Università degli Studi di Siena si è concentrata nel tentativo di gestione tridimensionale dello scavo. Obiettivo della ricerca è quello di giungere ad un documentazione GIS 3D basata su dati provenienti da laser scanner con cui documentare sistematicamente il deposito stratigrafico individuato. La ricerca, prendendo spunto da queste semplici riflessioni, si presenta, in maniera non poco presuntuosa, come una sperimentazione metodologica, la cui fattibilità e utilità all'interno della ricerca archeologica resta ancora da dimostrare.

Abstract

In the last 5 years, 3D laserscanning technology has been the object of intense experimentation at the LIAAM (Laboratory of Information Technology Applied to Medieval Archaeology) of the University of Siena; the aim of our work has been to test the potentialities of these new tools in the evaluation and preservation of the archaeological and historical-monumental heritage in Tuscany. After the Minolta 3D VI-900 machine, by now systematically employed to acquire small and medium size artefacts, we started using a longdistance laserscanner produced by the German company iQvolution (model iQsun 880 HE LS). This last tool has been tested in relation to the possibility of achieving a real and complete 3D recording of archaeological evidences, on excavations as well as in the study of monuments.

Introduzione

Una veloce consultazione di un qualsiasi dizionario della lingua italiana, alla voce *tridimensionale*, riporta il significato "che ha tre dimensioni, lo spazio ordinario" (DEVOTO – OLI 1995). Per tale motivo, la stesura di un articolo, o presentazione di un qualsiasi lavoro che ne presupponga l'applicazione in archeologia, dovrebbe anzitutto prevedere la conoscenza semantica del termine, di uso così comune, ma di applicazione così rara.

Si sta parlando, infatti, di uno degli argomenti di discussione più ricorrenti nel campo dell'informatica applicata, con impieghi che vanno dalla ricostruzione delle diverse fasi diacroniche dei siti indagati alla creazione di sistemi di realtà virtuale, passando per la modellazione ed animazione dei reperti. Ma, se da un lato è sempre più comune dialogare facendo riferimento a questo particolare tipo di tecnologia, è ancora evidente la mancanza di un vero approccio archeologico al problema, con l'inevitabile conseguenza di limitare il 3D a qualche semplicistica vista per volumi, in chiara attinenza con gli studi più propriamente architettonici, finendo per definire come tridimensionali delle semplici immagini, spesso in monocromia, su cui effettuare delle viste per rotazione. In realtà le potenzialità del 3D, applicato o meno all'archeologia, vanno ben oltre (PERIPIMENO 2006a, PERIPIMENO 2006b).

Attualmente, anche a livello internazionale, la situazione non è delle più incoraggianti, soprattutto se confrontata con le effettive potenzialità offerte. L'applicazione della tridimensionalità all'archeologia, quando presente, si limita infatti ad un'asettica, oltre che qualitativamente scadente, visualizzazione dei siti di volta in volta indagati, con qualche rara produzione di documenti di interesse per gli specialisti. I motivi vanno ricercati da un lato nella mancanza di quell'alfabetizzazione di base che a più riprese si è auspicata (FRANCOVICH 1999), e dall'altro, nell'atteggiamento conservatore tipico dell'ambiente archeologico, che poco si presta ad innovazioni forti, specie se metodologiche, come in questo caso.

La tecnica del laser scanning

Il laser, acronimo inglese di *Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation*, traducibile in Amplificazione di Luce tramite Emissione Stimolata di Radiazioni, la cui invenzione si può far risalire alla fine degli anni cinquanta (SCHAWLOW – TOWNES 1958), è applicato in una gran varietà di strumenti. In particolare, la tecnica del *laser scanning* terrestre, da considerarsi come l'evoluzione delle metodologie topografiche e fotogrammetriche per l'acquisizione di modelli digitali delle superfici (DSM – *Digital Surface Model*), ha conosciuto negli ultimi anni una forte crescita di interesse per svariate applicazioni, dal campo geologico a quello ingegneristico ed industriale, per finire, solo recentemente, a quello archeologico.

Il principio di funzionamento di uno scanner laser è piuttosto semplice e si basa su di un distanziometro laser in grado di misurare la distanza senza necessità di prismi topografici ma munito di organismi di movimento con cui direzionare lo strumento verso la superficie oggetto del rilievo (BRANCHINI - GIUSSANI - RONCORONI - SCAIONI 2004).

Gli scanner laser attualmente in commercio possono impiegare due diverse tecnologie: la triangolazione ottica, utilizzata nel caso di piccoli oggetti posti entro un campo di acquisizione (*range*) limitato a pochi metri, o il tempo di volo, per oggetti posti a grande distanza. Per questi ultimi è possibile effettuare un'ulteriore differenziazione applicativa, tra il rilievo del territorio con uno strumento installato su di un velivolo e quello con sensori da terra (TLS – *Terrestrial Laser System*).

Nel primo caso l'utilizzo di sensori laser installati a bordo di velivoli consente di ottenere con rapidità una descrizione digitale destinata a scopi diversi, come, ad esempio, la creazione di modelli digitali del terreno (DTM), di modellazioni tridimensionali in ambito urbano (*3D city models*) e di studi geologici e forestali. Nel secondo caso, invece, la scansione si basa su di uno strumento che costituisce l'evoluzione tecnologica della stazione totale. Il laser può ruotare attorno a due assi, primario e secondario, che possono essere posizionati rispettivamente lungo la verticale per il punto di stazione e in un piano orizzontale. Il direzionamento del raggio laser può avvenire in due diverse modalità, a seconda delle tecnologie costruttive impiegate dai costruttori. Può essere mosso l'intero distanziometro, oppure, grazie ad uno specchio rotante, può essere deviato il solo raggio. Nei modelli attualmente in commercio queste due tecniche vengono spesso combinate, utilizzando il primo sistema per gli spostamenti sull'asse primario ed il secondo per quelli sul piano verticale. In tal mondo, dal punto di vista pratico, il raggio laser è in grado di catturare una superficie attorno al centro strumentale secondo un *range* variabile in funzione della potenza del raggio e delle condizioni luminose presenti al momento del rilievo (BRANCHINI - GIUSSANI - RONCORONI - SCAIONI 2004).

L'applicazione della tecnologia laser in ambito archeologico: l'esperienza senese

Presso il Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università degli Studi di Siena, da ormai cinque anni, è in corso l'applicazione di tecniche di *3D laser scanning* per la catalogazione digitale di reperti archeologici.

Questo percorso innovativo si sviluppa all'interno del Progetto *Archeologia dei Paesaggi Medievali*, in cui sono impegnate Università degli Studi di Siena e Fondazione Monte dei Paschi; il programma prevede la valorizzazione del patrimonio storico-archeologico di una porzione del territorio toscano, anche attraverso la sperimentazione di nuove soluzioni, elaborate presso il Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale (LIAAM).

Inizialmente, la sperimentazione si è concentrata su oggetti di piccole dimensioni, con il Minolta 3D VI-900 impiegato in maniera ormai sistematica (PERIPIMENO – SALVADORI 2003a, PERIPIMENO – SALVADORI 2003b, PERIPIMENO – SALVADORI 2004) e recentemente utilizzato per la scansione di un modello in creta del cosiddetto "Cavallo Sforza", realizzato presso i laboratori dell'Opera Fiorentina sulla base degli studi, disegni e annotazioni su una delle opere mai realizzate ma in assoluto meglio documentate di Leonardo da Vinci. Il modello 3D è stato poi impiegato come base per la realizzazione di prodotti multimediali di supporto alla mostra *La mente di Leonardo*, in programma presso la Galleria degli Uffizi di Firenze per tutto il 2006 (GALLUZZI 2006).

A partire dal 2004 si è avviata la sperimentazione di un secondo scanner laser 3D a lunga gittata, il modello iQsun 880, prodotto dalla tedesca iQvolution, acquisita recentemente dall'americana Faro, le cui specifiche tecniche si sono mostrate le più appropriate per il rilievo digitale di strutture architettoniche ed unità stratigrafiche in corso di scavo. La scelta, poi dimostrata corretta, cadde sullo strumento migliore che il mercato era in grado di offrire, soprattutto per la superiore capacità di acquisizione, circa 120000 punti al secondo, ognuno dei quali caratterizzato da tre coordinate spaziali (X, Y, Z). Inoltre, scegliere un prodotto di una piccola ditta e rappresentando di fatto i primi clienti a livello mondiale ad utilizzare la periferica in ambito archeologico ha reso possibile instaurare un proficuo rapporto di collaborazione che ha già consentito due corsi di aggiornamento presso gli uffici della ditta di Stoccarda.

Senza voler entrare nei dettagli tecnici, si tratta di uno strumento modulare costituito da quattro parti indipendenti e per questo sostituibili ed aggiornabili nel tempo, progettato per acquisire al computer, attraverso un fascio laser, informazioni geometriche delle superfici, riprodotte tramite una nuvola di punti di risoluzione impostabile dall'utente per mezzo del software iQscene, prodotto dalla stessa casa tedesca, con cui è possibile effettuare alcune delle prime operazioni di gestione ed ottimizzazione, oltre all'esportazione in formati standard verso i principali pacchetti software.

Le principali caratteristiche tecniche della periferica sono riassumibili in una capacità del raggio laser di 76,9 metri, risoluzione di 17 bit, errore lineare inferiore a 3mm fino ad una distanza di 25 m, angolo di cattura verticale di 320° ed angolo di cattura orizzontale di 360°, il che, all'atto pratico si traduce nella capacità di acquisire un'area compresa all'interno di una sfera dal raggio di circa settanta metri, con centro localizzato nel punto stazione.

La sperimentazione dello strumento ne ha messo in evidenza da subito pregi e limiti. Se i pregi sono ben sintetizzabili in velocità e precisione del rilievo, i limiti vanno ricercati nella forte influenza della luce sul sensore dello strumento e nelle difficoltà legate alla gestione del dato. Il sistema laser, infatti, perde potenza e gittata proporzionalmente alla quantità di luce presente nell'ambiente. E, se le condizioni ottimali sono traducibili nella totale oscurità dell'ambiente, con l'eliminazione di ogni disturbo, lo scavo archeologico, condotto nella maggior parte dei casi durante i mesi estivi ed in pieno giorno, rappresenta una condizione limite. Per tale motivo, pochi mesi dopo l'acquisto, lo scanner è stato oggetto di una serie di upgrade tesi a risolvere alcuni dei problemi riscontrati. Si è reso perciò necessario un incremento della potenza del laser, passato dai precedenti 8 mW agli attuali 22 mW. Le prove di confronto hanno da subito dimostrato la validità dell'upgrade, con lo strumento che può ora essere utilizzato anche in tali condizioni.

Ben più problematica risulta invece la gestione della massa di dati generata, le cosiddette nuvole di punti (*point cloud*). Senza entrare nel dettaglio tecnico, ogni nuvola è costituita da milioni di punti, ognuno localizzato per mezzo delle tre coordinate spaziali X, Y, Z. Se il rilievo è un'operazione piuttosto semplice e veloce, rimane aperto il problema di come impiegare tali dati. L'estrema precisione, da sola, non è sufficiente a giustificare un acquisto di tale importanza. Lo strumento va inserito all'interno del processo di documentazione e conservazione, senza limitarsi ad una semplice archiviazione dei vari rilievi effettuati. Si rende necessario lo sviluppo di un vero sistema di documentazione 3D del dato archeologico ed architettonico.

Obiettivi della ricerca

La sperimentazione si focalizza verso due diversi canali di ricerca: lo scavo archeologico ed il rilievo architettonico, con l'obiettivo di giungere ad una reale e completa documentazione 3D del dato.

Nel primo caso, se da un lato si ripropongono gli innumerevoli vantaggi di misurazione ed analisi di un sistema GIS/CAD, dall'altro si introduce il nuovo concetto di tridimensionalità dello strato, che, in quanto tale, diventa liberamente misurabile e visualizzabile nelle sue tre dimensioni (le due planimetriche, tipiche di una tradizionale pianta di scavo e la profondità/spessore). Nel secondo caso, invece, risulta chiaro come la visione tridimensionale, la via più immediata, semplice e fedele per la rappresentazione della realtà, sia in grado di rendere con immediatezza una struttura architettonica, tanto per la creazione di documentazione di interesse specialistico, quanto per la divulgazione verso il grande pubblico. Si aprono in tale direzione una serie di possibili percorsi che vanno dall'analisi delle dinamiche di crollo, documentando di anno in anno tali zone e misurandone le variazioni, al raddrizzamento fotogrammetrico delle murature, al restauro virtuale, alla ricostruzione delle strutture nelle diverse fasi diacroniche.

E' possibile individuare alcuni aspetti chiave nello sviluppo di una documentazione 3D dello scavo archeologico e delle strutture architettoniche, sintetizzabili brevemente in:

- restituzione fedele dello scavo/struttura/monumento nelle sue tre dimensioni;
- eliminazione della soggettività nella rappresentazione planimetrica del deposito stratigrafico;
- velocità di acquisizione garantita da una periferica laser;
- misurabilità dello scavo/struttura/monumento nelle sue tre dimensioni spaziali (X,Y,Z);
- incrociabilità delle informazioni 3D (scansioni) con le informazioni 2D (planimetrie);
- georeferenziabilità del rilievo;
- facilità di lettura del dato tridimensionale;
- esaustività del rilievo.

La ricerca, prendendo spunto da queste semplici riflessioni, si presenta, in maniera non poco presuntuosa, come una sperimentazione metodologica, la cui fattibilità e utilità all'interno della ricerca archeologica resta ancora da dimostrare.

Documentazione 3D delle sequenze stratigrafiche

I miglioramenti nel campo dell'informatica da un lato e delle tecnologie tridimensionali dall'altro, hanno finalmente permesso di proporre un progetto di sviluppo di un GIS/CAD 3D dello scavo stratigrafico, grazie, soprattutto, alla disponibilità di uno scanner laser per paesaggi, la cui precisione, dichiarata e verificata sul campo è di $\pm 3 \text{ mm}/25 \text{ m}$.

Se da un lato il tradizionale GIS (*Geographic Information System*), ormai universalmente accettato, anche se non sempre utilizzato, quale fondamentale strumento di documentazione e gestione dei dati grafici ed alfanumerici, assolve egregiamente al compito di archiviazione del dato archeologico (VALENTI 1998), l'impiego della tridimensionalità può arricchire tale archivio di nuove informazioni navigabili e consultabili tramite la semplicità e flessibilità che tali applicazioni hanno dimostrato di poter offrire.

In tal modo, se da un lato si ripropongono gli innumerevoli vantaggi di un sistema GIS, dall'altro si introduce il nuovo concetto di tridimensionalità dello strato, che, in quanto tale, diventa liberamente misurabile e visualizzabile nelle sue tre dimensioni (le due planimetriche, tipiche di una tradizionale pianta di scavo e la profondità/spessore).

L'approccio al problema non vuole rappresentare un'operazione di facciata, né, tanto meno, un tentativo di esasperazione dell'informatica applicata all'archeologia. Vuole piuttosto porsi un problema ed una domanda. E' fattibile, in termini di tempo e di qualità finale del prodotto, sviluppare ed impiegare in archeologia un GIS/CAD 3D dello scavo ?

Nel quadro generale della ricerca questo tipo di approccio porta ad una forte evoluzione del GIS di scavo tradizionale, che fino ad oggi ha visto la sovrapposizione delle diverse planimetrie, con qualche timido utilizzo del 3D in ambito territoriale, spesso per mezzo di una semplice importazione di DTM (*Digital Terrain Model*) su cui spalmare le emergenze mappate.¹

Non si sta parlando di una semplice visualizzazione tridimensionale dei depositi stratigrafici, comunque presente ed importante, ma di una loro georeferenziazione per mezzo delle tre coordinate spaziali (X,Y,Z). Uno strumento che, oltre a consentire la consultazione integrata di tutti i dati raccolti in fase di scavo, elimina di fatto la soggettività e l'astrazione del rilievo tradizionale.

¹ L'importazione di DTM avviene solitamente mediante strutture raster grid o attraverso strutture TIN (Triangulated Irregular Network). Su tali basi, i più comuni viewer GIS 3D consentono di spalmare le aree di emergenza archeologica modellandole sulla base delle superfici ottenute dai rispettivi DTM. Queste operazioni si prestano quasi esclusivamente all'indagine territoriale per la quale non è richiesto un grado di dettaglio della documentazione grafica molto elevato e nemmeno è previsto un rilievo particolareggiato che vada oltre una generica definizione dei limiti dell'evidenza archeologica, senza alcuna forma di caratterizzazione, se non per casi eccezionali. La maggior parte delle UT (unità topografiche) archeologiche sono infatti rappresentate da aree di spargimento di reperti in superficie, solitamente nei campi arati o fresati; in questo senso l'indagine territoriale presenta quindi problematiche di rilievo decisamente differenti rispetto ai più complessi contesti stratigrafici dello scavo.

L'utilizzo di uno scanner 3D laser consente l'impiego di dati oggettivi, assumibili quali fedele rappresentazione di fatto delle diverse unità stratigrafiche individuate in corso di scavo. Sebbene nella modellazione 3D degli oggetti siano possibili diverse astrazioni (STOTER – ZLATANOVA 2003) l'utilizzo di tale strumento e l'impiego diretto delle nuvole di punti consente di giungere ad un rilievo preciso ed oggettivo del deposito stratigrafico rappresentato nelle tre dimensioni spaziali. Consente inoltre di abbandonare ogni genere di vincolo interpretativo e culturale. Il rilievo di un'unità stratigrafica o di una struttura architettonica raggiunge la totale oggettività ed esaustività e si svincola dalla figura umana del rilevatore, che inserisce nel disegno una propria calligrafia individuale e dell'epoca. A dimostrazione di ciò è sufficiente confrontare tra loro rilievi degli stessi edifici fatti a distanza di secoli per rendersi conto di ciò. Non si tratta più di rappresentazione dei confini degli oggetti, in ambito archeologico i limiti delle diverse unità stratigrafiche individuate, che chi rileva decompone, decostruisce, mimando alla rovescia il processo attraverso cui l'immagine si è formata crescendo su se stessa (DI GRAZIA 1991, p. 3). Nel rilievo a scanner laser l'oggetto è rappresentato utilizzando le coordinate di superficie come delimitazione dell'attributo quota (MANZINO – ROGGERO 2003).

Un sistema di documentazione di tale tipo, se da un lato si presta perfettamente alla documentazione delle unità stratigrafiche scavate in tre dimensioni (estensione e profondità), dall'altro rende disponibili una massa di nuovi confronti e misurazioni fino ad ora solo ipotizzabili, il che si traduce, all'atto pratico, nella produzione di nuovi piani di conoscenza.

La sperimentazione si pone come obiettivo primario lo sviluppo di un sistema di documentazione che metta a disposizione degli archeologi un nuovo mezzo di conoscenza: il modello digitale 3D del deposito stratigrafico, della struttura o del monumento. Per modello 3D non si intendono una o più immagini dell'oggetto o un'animazione ottenuta montando immagini fotografiche dello stesso. Un modello 3D è una rappresentazione digitale fedele e misurabile dell'oggetto in esame, ottenuta mediante la rappresentazione della sua forma (SCOPIGNO 2006, p. 41).

A tal proposito, ritengo quindi necessario richiamare ancora una volta il concetto di tridimensionale, ovvero ciò che ha tre dimensioni, lo spazio ordinario. Dal punto di vista pratico si rende quindi indispensabile in un qualsiasi sistema di documentazione 3D che voglia definirsi tale, la presenza delle tre coordinate spaziali (X, Y, Z).

Non si tratta di una semplice precisazione formale, ma piuttosto di un problema di metodo. Fra i tanti casi presentati come tridimensionali è sufficiente ricordare quelli che propongono delle semplici successioni di planimetrie di scavo o prospetti murari orientati nello spazio, in cui emergono ben chiari gravi errori di fondo di tipo metodologico, come l'assumere una quota arbitraria di posizionamento delle varie planimetrie, arrivando ad una semplice e approssimativa astrazione del volume di scavo.

Lo sviluppo di un sistema di documentazione tridimensionale

Il principale campo di sperimentazione è rappresentato dallo scavo stratigrafico in corso presso il sito di Miranduolo (Chiusdino, SI), (NARDINI – VALENTI 2003, NARDINI – VALENTI 2005), caratterizzato dalla sperimentazione di tecnologie innovative come il rilievo per mezzo di scanner tridimensionale e l'uscita in tempo reale delle indagini sul web (<http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/MIRANDUOLO/MIR.html>).



Figura 1 – Ripresa aerea dello scavo archeologico del castello di Miranduolo, Chiusdino (SI)

Allo stato attuale, delle 405 scansioni totali effettuate, ben 246 sono state spese sul sito, dove lo scanner è da due anni inserito stabilmente all'interno del processo di documentazione delle diverse aree di scavo. E se la campagna del 2004, primo caso di applicazione sistematica di tale tecnologia allo scavo archeologico, è stata utile per definire le procedure ed i modi del rilievo, nel corso della campagna 2005, grazie all'esperienza accumulata, è stato possibile impostare una metodologia di rilievo di qualità sensibilmente superiore. Nel dettaglio, si è avviata la scansione sistematica di tutte le unità stratigrafiche individuate nelle quattro aree di scavo, con un'attenzione particolare all'area palaziale posta sulla sommità del poggio, che per caratteristiche morfologiche e per la successione stratigrafica individuata si è dimostrata la migliore per una sperimentazione volta alla ricerca di una prima forma di documentazione 3D. Con cadenza quasi quotidiana sono state effettuate le scansioni di tutte le unità stratigrafiche rilevate, dal crollo delle strutture murarie allo strato di roccia tagliata da una serie di buche di palo. Le diverse scansioni, che dopo l'incremento della potenza del raggio laser da 8 mW a 22 mW, non soffrono più la forte luce solare dei mesi estivi, sono poi state georeferenziate per mezzo di una serie di punti noti, interni al palazzo e acquisiti tramite stazione totale.

Il sistema di documentazione, allo stato attuale della ricerca, può essere definito come un visualizzatore 3D in ambiente GIS basato su nuvole di punti acquisite tramite tecniche *laser scanning*.

Per correttezza si preferisce evitare il termine GIS 3D, in quanto il sistema non consente ancora tutta la serie di analisi, volumetriche in primis, che tali sistemi dovrebbero garantire. I punti di forza vanno invece ricercati nel grado di accuratezza del dato, nella quantità di punti rilevati, nella bontà di visualizzazione e nell'incrociabilità dei dati grafici con i dati alfanumerici rappresentati dalle schede di unità stratigrafica compilate all'interno del database, grazie al sistema Open Archeo (FRONZA 1999), riscritto per ambiente Windows. In tal modo, è possibile, tramite semplice interfaccia grafica, passare da 3D a database US, a matrix e viceversa. Il prodotto sviluppato rappresenta un arricchimento del sistema di documentazione degli scavi in uso all'interno del LIAAM. Mai è stata presa in considerazione l'ipotesi di sostituire il rilievo tridimensionale a quello tradizionale, le cui doti di semplicità ed immediatezza restano per certi versi insuperabili.

Sebbene in molti, all'interno della comunità archeologica, si siano spinti a parlare con disinvoltura di piattaforme GIS 3D per la gestione dei dati, la nostra posizione si avvicina a quella del gruppo di ricerca americano guidato da K. Kvamme che già cinque anni orsono presentò un intervento chiarificatore sull'argomento (BERGER – DE RUITER – LIMP – KVAMME – NIGRO 2002). Il team in questione introdusse il concetto di GIS 2,5D, individuando il principale problema nella mancanza di una reale e completa topologia 3D e denunciando, a fronte di buone potenzialità in fase di visualizzazione, la mancanza di validi strumenti analitici. Il modello dati dei più comuni applicativi in commercio risulta infatti inadeguato all'analisi ed alla rappresentazione di superfici multiple sovrapposte in uno spazio tridimensionale, come nel caso della stratigrafia archeologica e dei materiali in essa presenti.

Nel corso di questi due anni è stato possibile sperimentare una serie di percorsi tesi a sviluppare un metodo di rappresentazione del dato, come i modelli a maglia regolare o reti a maglia triangolare (*Triangular Irregular Network, TIN*). I primi sono generati per interpolazione dei punti rilevati a scanner: partendo da una collezione di punti estremamente fitta e numericamente molto consistente, il rischio è la perdita di informazione (un unico pixel omogeneizza i differenti valori di decine di punti) o, in alternativa, la generazione di file troppo pesanti e conseguentemente ingestibili (non si può pensare ad una risoluzione subcentimetrica del grigliato per l'area di un cantiere archeologico). Inoltre si poneva il problema della rappresentazione, su una struttura bidimensionale (sul grid la z è un semplice attributo) delle stratigrafie verticali (murature, tagli verticali, ecc.). La soluzione del TIN non è invece risultata praticabile principalmente per questioni legate ad una visualizzazione delle superfici esteticamente poco convincente (troppo "ruvida", caratterizzata da una sequenza di spigoli e picchi geometrici che poco si adattano ad una rappresentazione "morbida" e realistica di oggetti e superfici). Inoltre, entrambe le soluzioni avrebbero previsto la creazione di un layer per ciascuna US (unità stratigrafica), precludendo di fatto la possibilità di operare interrogazioni su un'unica banca dati di tipo grafico e costringendo l'utente a comporre viste tematiche attraverso visualizzazione contemporanea dei differenti livelli rispondenti ai criteri di ricerca.

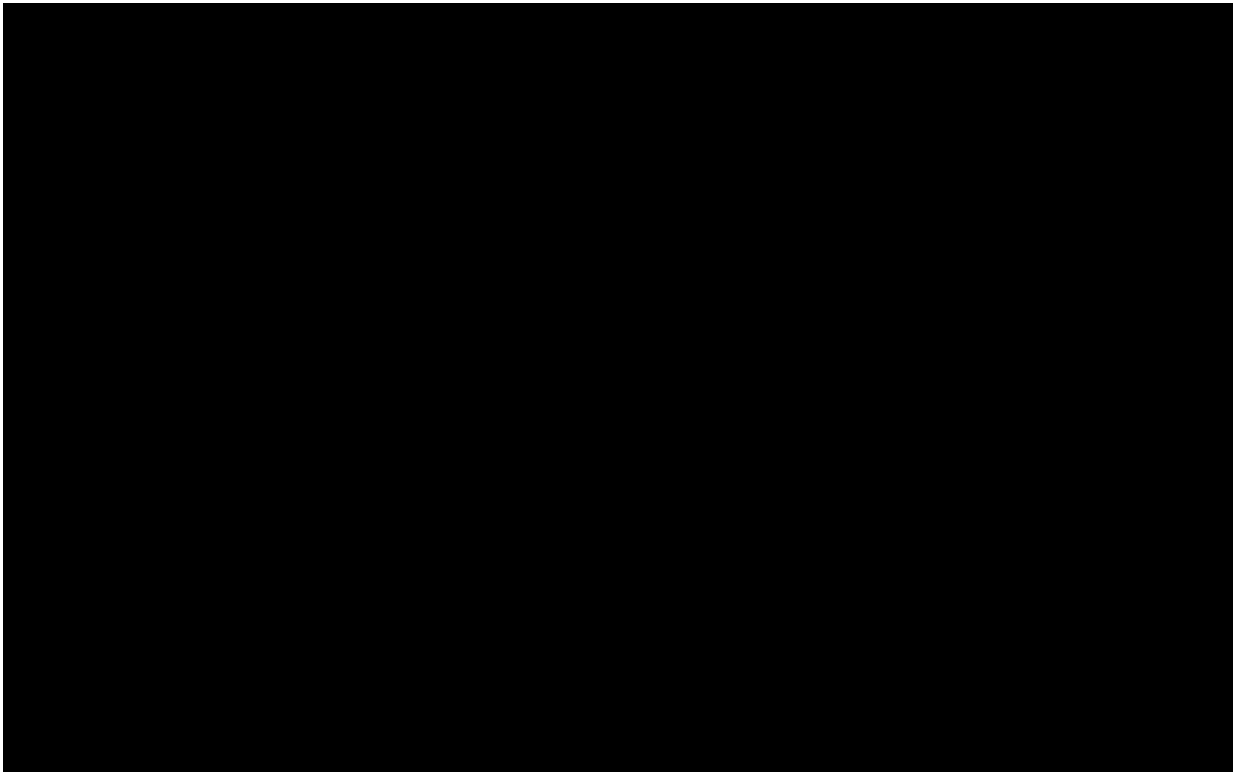


Figura 2 – Scavo archeologico di Miranduolo (Chiusdino, SI). GIS 3D. Visione prospettica della collina e dell'area palaziale.

Per tali motivi, la scelta finale è ricaduta sulla rappresentazione puntuale delle superfici, mediante tematismi di tipo "multipoint" in grado di raggruppare in un unico record tutti i punti pertinenti alla stessa US.

In tal modo, la gestione 3D dello scavo all'interno di un programma commerciale di largo utilizzo è legata esclusivamente ad un buon file di esportazione. Tutto il lavoro si svolge all'interno del software proprietario dello scanner ed all'interno di programmi di *reverse engineering*. Il GIS, nel caso specifico ArcGis di Esri, diventa un semplice contenitore in cui importare file gestiti completamente all'interno di altri software. Dal punto di vista pratico, le diverse scansioni effettuate sullo scavo sono sottoposte ad una fase di trattamento che ha il compito di sfolire le nuvole di punti, di unirle tra loro e di georeferenziarle. Successivamente la sovrapposizione di piante di scavo bidimensionali con la maglia di punti trattati e caratterizzati da tre coordinate spaziali, permette di isolare le singole unità stratigrafiche, non più identificate da un contorno planimetrico, ma da un insieme di punti delimitanti l'intera US.

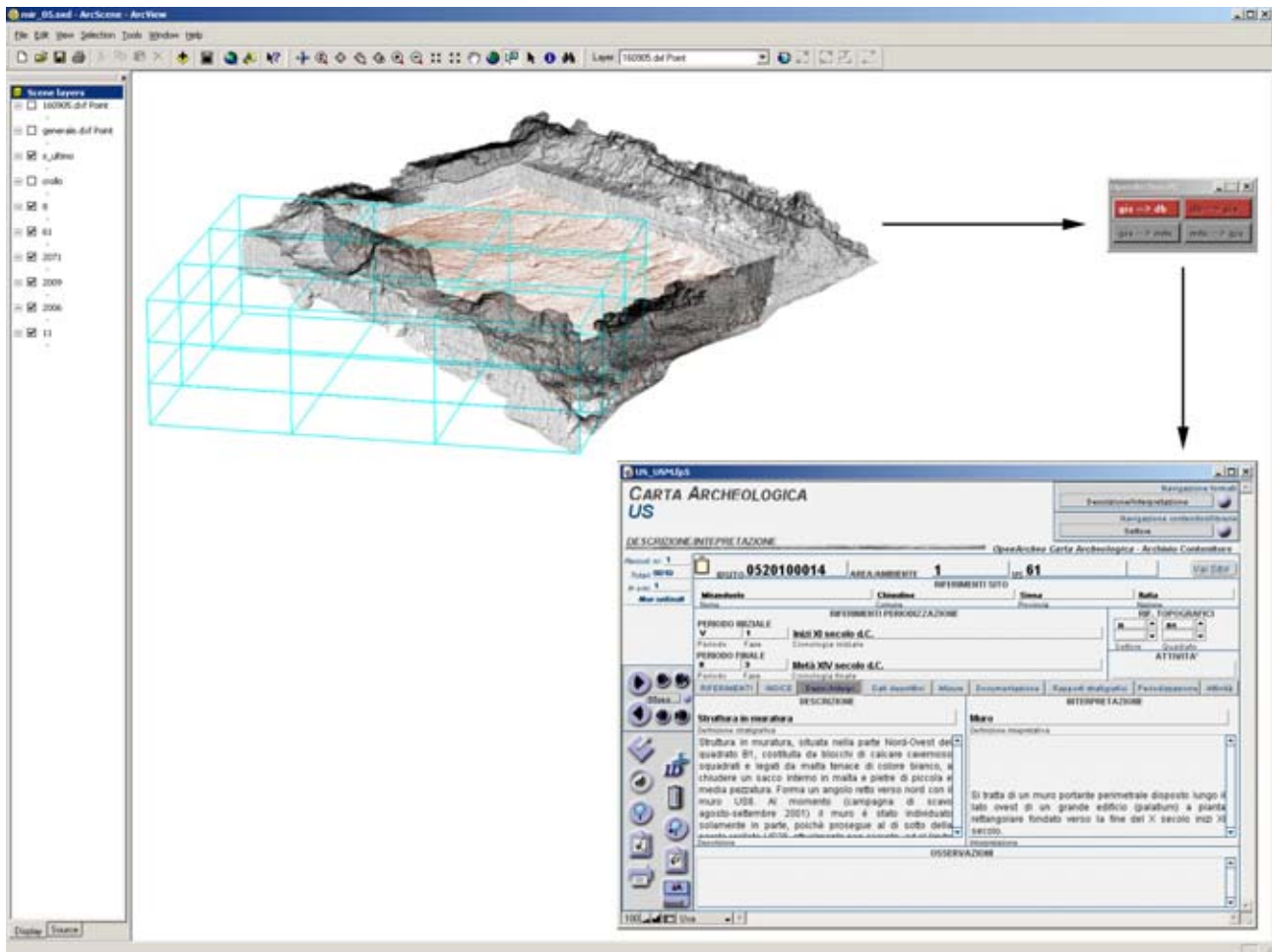


Figura 3 – Il sistema di gestione 3D dello scavo archeologico di Miranduolo. Esempio di interfaccia tra dato 3D e archivio alfanumerico per mezzo del software proprietario OpenArcheo.

Parallela mente alla sperimentazione condotta sul sito di Miranduolo, lo scanner è stato impiegato nei seguenti casi: la Cripta del Duomo di Siena, la Fonte di Follonica (Siena), l'Abbazia di San Galgano (SI), l'Eremito di Montesiepi (SI), la torre di Donoratico (LI), il Fortino delle Donne (Siena), la chiesa del Santuccio (Siena), l'Ospedale di Santa Maria della Scala (Siena), Piazza Castellani (Firenze) e Palazzo Vecchio (Firenze), per un totale di 405 riprese. Nel caso fiorentino è stato possibile sperimentare lo strumento in ambito urbano, con la scansione degli esterni di Palazzo Vecchio e di alcuni ambienti interni in corso di scavo. In tal caso, l'obiettivo finale, non troppo complesso, è quello di mettere in relazione, all'interno di un sistema GIS/CAD, i dati tridimensionali ottenuti per mezzo di scanner laser, con dati bidimensionali rappresentati dai prospetti murari e dalle piante di scavo vettorializzate.

La sperimentazione di tecniche 3D *laser scanning*, in pieno svolgimento, oltre che argomento di una tesi dottorale, si focalizzerà ancor più in ambito archeologico, con l'obiettivo finale di giungere allo sviluppo di un sistema di documentazione tridimensionale del deposito stratigrafico. In particolare, si vuole giungere ad un sistema che permetta non solo di visualizzare le diverse unità stratigrafiche individuate, ma piuttosto di effettuare analisi volumetriche. A tale scopo sembra necessario confrontarsi con strumenti propri delle scienze geologiche e programmi *Open Source*, primo fra tutti GRASS, che abbiamo individuato come strumento per lo sviluppo futuro del nostro sistema.

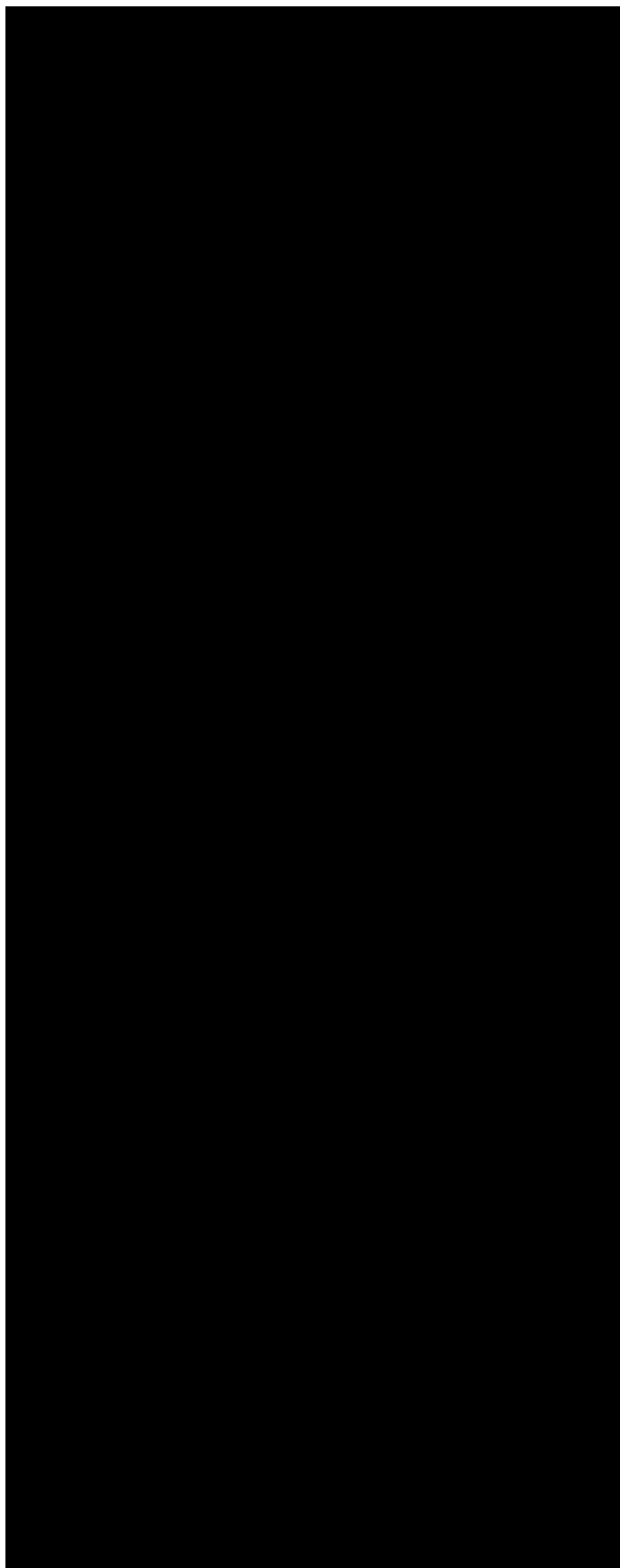


Figura 4 - Scavo archeologico di Miranduolo (Chiusdino, SI). Parziale scomposizione 3D dello deposito stratigrafico individuato sull'area palaziale.

Bibliografia

BERGER – DE RUITER – LIMP – KVAMME – NIGRO, 2002 = BERGER L., DE RUITER D., LIMP F., KVAMME K.L., NIGRO J.D., *The creation and potential Application of a 3-Dimensional GIS for the Early Hominin Site of Swartkrans, South Africa*, in BURENHULT G., ARVIDSSON J. (ed.), *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope CAA 2001, Proceedings of the 29th Conference*, Gotland (Sweden), April 2001, Oxford 2002, pp. 113-124.

BRANCHINI - GIUSSANI - RONCORONI - SCAIONI 2004 = BRANCHINI F. - GIUSSANI A. - RONCORONI F. – SCAIONI M., *Utilizzo del laser scanning per lo studio della sicurezza delle pareti in roccia: analisi delle problematiche aperte*, in “Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia”, n. 3, 2004, pp. 61-74.

DEVOTO – OLI 1995 = GIACOMO DEVOTO – GIAN CARLO OLI , *Il Dizionario della lingua italiana*, Firenze.

DI GRAZIA 1991 =DI GRAZIA V., *Rilievo e disegno nell'archeologia e nell'architettura. Tecniche, Opinioni e Teorie*, Roma.

FRANCOVICH 1999 = FRANCOVICH R., *Archeologia e informatica: dieci anni dopo*, «Archeologia e Calcolatori», X, Firenze 1999, pp. 45-61.

FRONZA 1999 = FRONZA V., *Il sistema di gestione degli archivi nello scavo di Poggio Imperiale a Poggibonsi (Insegnamento di Archeologia Medievale dell'Università di Siena). Una soluzione all'interno della “soluzione GIS”*, in D'ANDREA A. - NICOLUCCI F. (a cura di), *Atti del I Workshop Nazionale di Archeologia Computazionale (Napoli – Firenze 1999)*, “Archeologia e Calcolatori”, XII, 2000, pp. 125-137.

GALLUZZI 2006 = GALLUZZI P., *La mente di Leonardo. Il genio universale all'opera*, Firenze.

MANZINO – ROGGERO 2003 = MANZINO A. M. – ROGGERO M., *Il trattamento informatico del dato laser*, in (CROSILLA F. – GALETTO R., a cura di), *La tecnica del laser scannino. Teoria ed applicazioni*, Udine, pp. 39-74.

NARDINI – VALENTI 2003 = NARDINI A. – VALENTI M., *Il castello di Mirandolo (Chiusino, SI). Campagne di scavo 2001-2002*, in FIORILLO R. - PEDUTO P. (a cura di), *III Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Salerno 2-5 ottobre 2003)*, Società degli Archeologi Medievisti Italiani, Firenze, pp. 487-495.

NARDINI – VALENTI 2005 = NARDINI A. – VALENTI M., *Il castello di Mirandolo. Guida breve allo scavo archeologico (anni 2001-2004)*, Firenze.

PERIPIMENO 2006a = PERIPIMENO M., *Sperimentazione di tecniche 3D laser scanning in archeologia: l'esperienza senese*, in “Atti del I Workshop in Paesaggi Archeologici e Tecnologie digitali: GPS e Laser Scanner”, Grosseto 4 marzo 2005, pp. 143-157.

PERIPIMENO 2006b = PERIPIMENO M., *Strumenti di analisi e conservazione del patrimonio archeologico e storico-monumentale tramite tecniche 3D laser scanning*, in “Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia”, Cagliari 2006, pp. 49-64.

PERIPIMENO – SALVADORI 2003a = PERIPIMENO M. – SALVADORI F., *Nuovi percorsi di documentazione archeologica per mezzo di uno scanner 3d*, in “Atti del XXXVI Convegno Internazionale della Ceramica”, Albisola, 30-31 maggio 2003, Firenze, pp. 195-200.

PERIPIMENO – SALVADORI 2003b = PERIPIMENO M.– SALVADORI F., *Sperimentazione di uno scanner laser 3D nella documentazione dei reperti archeologici*, in “Atti del III Congresso Nazionale SAMI”, Salerno, 2-5 ottobre 2003, pp. 633-637.

PERIPIMENO – SALVADORI 2004 = M. PERIPIMENO - F. SALVADORI, *L'esperienza senese nella sperimentazione di uno scanner laser: studio e documentazione dei reperti archeologici*, in “Atti della Giornata di Studio”, *Archiviazione e restauro di reperti archeologici mediante tecniche CAD-RP*, Università degli Studi di Napoli Federico II, 23 gennaio 2004, pubblicazione su CD ROM.

SCHAWLOW – TOWNES 1958 = SCHAWLOW A. L. – TOWNES C. H., *Infrared and Optical Masers*, in “Physical Review”, Vol. 112, pp. 1940 – 1949.

SCOPIGNO 2006 = SCOPIGNO R., *Gestione efficiente dei dati prodotti da scansione tridimensionale*, in (CAMPANA – FRANCOVICH, a cura di), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali I*, Firenze, pp. 41 – 68.

STOTER – ZLATANOVA 2003 = STOTER J. – ZLATANOVA S., *3D GIS, where are we standing*, in “Joint Workshop on Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modeling and Analysis”, 2-3 ottobre 2003, Quebec city, Canada, http://www.gdmc.nl/publications/2003/3D_GIS.pdf.

VALENTI 1998 = VALENTI M., *La gestione informatica del dato; percorsi ed evoluzioni nell'attività della cattedra di Archeologia Medievale del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti-Sezione Archeologica dell'Università di Siena*, “Archeologia e Calcolatori”, IX, 1998, pp. 305-329.