



Università degli Studi
di Foggia



Dipartimento
di Scienze umane



L'INFORMATICA E IL METODO DELLA STRATIGRAFIA

Atti del Workshop
(Foggia 6-7 giugno 2008)

a cura di
Giuliano De Felice, Maria Giuseppina Sibilano, Giuliano Volpe



EDIPUGLIA

Bari 2008

© 2008 - Edipuglia srl, via Dalmazia 22/b - 70127 Bari-S. Spirito
tel. 080. 5333056-5333057 (fax) - <http://www.edipuglia.it> - e-mail: edipuglia@email.it

Redazione: Valentina Natali
Copertina: Paolo Azzella

ISBN 978-88-7228-551-0

Metodologie *laser scanning* per il rilievo archeologico: metodi operativi e standard di documentazione

di Andrea D'Andrea, Giancarlo Iannone, Laura Saffiotti*

Laser scanning methodologies for archaeological surveys: operative methods and standards for documentation

Archaeological documentation is the core process of archaeological investigation on the field. Digital evolution has increased the quality and quantity of archaeological documentation, as far as digital photos and drawings produced with CAD techniques are concerned. Composite computational information systems using different platforms, software and, mainly, conceptual data representations have been implemented to manage this great quantity of information. The availability of new technologies for 3D data acquisition is modifying the paradigm of 3D objects and consequently the work in the field; in particular, the Laser Scanner 3D is able to gather and store information on the geometry and features of the scanned objects. In the archaeological domain, researchers are experimenting the application of this new equipment to provide complete documentation of ancient monuments (walls, buildings, caves, etc.). Recently archaeologists have started using Laser Scanner 3D to survey the archaeological excavation. The availability of Laser Scanner 3D during investigation in the field raises many issues: firstly, how to manage the processing of the point-clouds (Paradata); secondly, how to distribute any kind of 3D document for further analysis and research (Metadata); finally how to share this knowledge using modern tools which exploit the Semantic Web (Ontologies). The paper deals with these issues and gives an overview on the future perspective of the archaeological documentation, integrating new software like Adobe Acrobat 3D with ontological representation as GML (with some adaptations) for the management of spatial and geographical documents.

1. Introduzione

Da alcuni anni, presso il CISA dell'Orientale di Napoli, è in corso una sperimentazione finalizzata a verificare l'applicabilità del *Laser Scanner 3D* in differenti scenari archeologici. Le esperienze fin qui realizzate hanno riguardato la creazione di modelli tridimensionali relativi a contesti di scavo e indagini di tipo territoriale e urbano. I test abbracciano un vasto settore di intervento caratterizzato da ampie problematiche di acquisizione e restituzione grafica: dalle esplorazioni stratigrafiche alla ricostruzione di superfici, dal rilievo architettonico semplice ai monumenti archeologici complessi.

Il programma di ricerca è finalizzato alla definizione di una metodologia per il rilievo digitale (architettonico, strutturale, del suolo, dei ritrovamenti) integrabile con i dati acquisiti da altri specialisti – geologi e geofisici innanzitutto – per una ricostruzione il più possibile completa del manufatto e del suo ambiente circostante. L'approccio si basa sull'esigenza di

mettere a punto una strategia di intervento in parte sostitutiva dello scavo e utile nei processi di valutazione preventiva del potenziale archeologico¹.

Il *Laser Scanner 3D* è stato impiegato per l'esecuzione, in modo speditivo, di rilievi geometrici altamente precisi ed accurati. In alcuni casi, soltanto grazie alle tecnologie *laser scanning*, è stato possibile eseguire il rilevamento di strutture archeologiche: il ricorso a tecniche tradizionali avrebbe richiesto lunghi tempi di acquisizione e una minore precisione.

La sperimentazione ha avuto finora come oggetto la ricostruzione di geometrie e superfici semplici e complesse consentendo letture ed analisi dei modelli sia dal punto di vista del calcolo dei volumi e dei piani sia per quanto concerne la creazione di viste, piante e sezioni. I modelli non soltanto sono navigabili a 360°, offrendo visuali non altrimenti possibili, ma costituiscono una preziosa documentazione dell'oggetto archeologico, utile nella fase di conoscenza geometrica e materica del manufatto come nell'ambito della preservazione, del monitoraggio e del suo eventuale restauro.

* CISA - Università di Napoli L'Orientale.

¹ Il progetto rientra nelle attività del Centro Regionale di Competenza per lo Sviluppo ed il Trasferimento dell'Innovazione applicata ai Beni Culturali ed Ambientali, INNOVA, finanziato dalla Regione Campania (POR misura 3.13), *Workpackage I.1* "Metodologie archeologiche, geofisiche e geologiche integrate": responsabile scientifico del CISA: prof.

A. de Maigret. Gli autori desiderano ringraziare i proff. Fabrizio Pesando, Rodolfo Fattovich e Giuseppe Ragone per aver cortesemente acconsentito alla pubblicazione dei casi di studio. L'elaborazione grafica delle nuvole di punti si deve a Giancarlo Iannone. A Matteo Lorenzini vanno i ringraziamenti per le discussioni sul 3D e sui linguaggi di marcatura per gli elementi spaziali.

Sebbene questa strumentazione richieda una alta curva di apprendimento e costi ancora particolarmente elevati, il *Laser Scanner 3D* costituisce una tecnologia speditiva che verrà adoperata in un prossimo futuro in modo sempre più ampio nel processo di documentazione grafica dei contesti archeologici. Tuttavia, il passaggio ad un rilievo indiretto digitale, totalmente sganciato dalla fase di interpretazione dei resti, solleva due problematiche. La prima riguarda la competenza e la formazione di quanti operano e opereranno in tali ambiti di applicazione; la seconda invece si riferisce all'esigenza di garantire una omogeneità nella produzione e gestione delle informazioni geometriche acquisite sia per la tipologia dei *file* prodotti (formati aperti e/o proprietari) sia per le fasi che scandiscono la creazione del modello (paradati); non deve in ogni caso essere sottovalutato anche l'aspetto della accessibilità e del riuso dei modelli (metadati).

Partendo dalle esperienze realizzate, il presente contributo intende sottolineare alcuni *trend* applicativi segnalando le cd. aree di "sofferenza", particolarmente evidenti nell'ambito della standardizzazione delle procedure e quindi nell'accessibilità dei modelli tridimensionali. Sono già molte le esperienze che vanno in tale direzione e che mirano alla definizione di standard per garantire la trasparenza dei modelli 3D e quindi la loro riproducibilità.

Dopo una breve introduzione sul ruolo della documentazione grafica nel processo di indagine stratigrafica e l'esposizione sintetica di alcuni casi di studio, verrà evidenziato il ruolo che potranno svolgere negli scenari di interoperabilità e riuso delle fonti digitali, i linguaggi di modellazione per sistemi geografici (in particolare il CityGML con opportuni adattamenti) e alcuni *software*, come Acrobat 3D, in grado di "ingabbiare" i modelli 3D all'interno di normali documenti in formato PDF.

2. La documentazione dello scavo

È tradizionalmente riconosciuto che il valore di uno scavo sia rappresentato dalla qualità della documentazione prodotta². Anziché consistere nella valu-

tazione della ricostruzione e/o interpretazione di ciò che, rimuovendo la terra, è stato distrutto, il giudizio di uno scavo viene affidato alla meticolosità con la quale è stata realizzata la documentazione nel corso delle indagini.

Schede, fotografie e disegni sono gli oggetti materiali di una strategia che l'archeologo ha seguito sul campo, i prodotti finali di un agire pratico realizzato osservando un metodo ed una prassi operativa consolidata.

Per queste sue caratteristiche lo scavo può essere assimilato ad una procedura standardizzata che, accordandosi ad uno specifico diagramma di flusso, prevede varie fasi di intervento in cui la concatenazione delle operazioni è rigorosa. La standardizzazione consente non soltanto di ricorrere ad un codice di norme universalmente accettate, rappresentando un fattore di qualità scientifica, ma anche di ottenere una omogeneità nella acquisizione delle informazioni: schede, diari, fotografie e disegni rappresentano la testimonianza materiale dello scavo ed in quanto tale elementi irrinunciabili all'interno del paradigma indiziario.

Il processo di documentazione include una serie articolata di azioni (materiali ed immateriali) che si riferiscono ad attività tra loro convergenti (pianificazione e valutazione; scavo, trattamento dell'informazione; comunicazione); la natura ed il livello della documentazione sono generalmente dettate da esigenze specifiche e circoscritte³.

Se la documentazione archeologica è paragonabile ad un processo di standardizzazione che include gli obiettivi e i contenuti della ricerca fino a comprendere la strategia di scavo e le regole utilizzate per la formalizzazione dei dati raccolti, come si manifesta un mutamento della metodologia?

È sufficiente cioè modificare uno degli elementi sopraindicati (schede, foto e disegni) per affermare che abbiamo cambiato strategia "investigativa"?

La rivoluzione digitale ha senza dubbio mutato radicalmente la creazione di quelle risorse informative e testimoniali che da oltre mezzo secolo caratterizzano la pratica dello scavo archeologico stratigrafico: dalle foto B/N e dalle diapositive si è passato a macchine fotografiche digitali che possono raggiungere elevate

² Si veda ad esempio Renfrew, Bahn 2006², 106.

³ Sulle standardizzazione in archeologia si veda D'Andrea 2006a.

prestazioni in termini di risoluzione; dai semplici disegni a mano siamo oramai in un mondo caratterizzato da sofisticate strumentazioni elettroniche come l'EDM, il GPS, la fotogrammetria terrestre ed il *Laser Scanner 3D*; infine mentre prima i diari di scavo venivano redatti manualmente, oggi le schede sono compilate sullo scavo con portatili o PDA e gestiti con sistemi informatici sempre più complessi.

Basta questa innovazione tecnologica per giustificare – come direbbe Kuhn⁴ – un cambiamento di paradigma?

Forse una risposta a un tale interrogativo potrebbe giungere dal dimostrare che cambiando gli strumenti con i quali documentiamo il processo archeologico si modifica anche il risultato delle interpretazioni/ricostruzioni. Nessuno studio a livello comparativo ha però mostrato finora che producendo documentazioni differenti (analogiche o digitali) si possano ottenere interpretazioni alternative. L'uso di attrezzature sofisticate garantisce senz'altro la qualità ed affidabilità delle informazioni acquisite e registrate sebbene l'intervento del ricercatore finisca sempre per influenzare in modo decisivo il prodotto "materiale" dell'attività sul campo.

Ma se è innegabile l'apporto che le scienze esatte hanno fornito all'archeologia, soprattutto nel campo della cronologia assoluta consentendo di suggerire, grazie al C14, una maggiore e più accurata datazione dei contesti, dobbiamo allo stesso modo evidenziare quale impatto hanno le tecnologie informatiche sulla documentazione del metodo stratigrafico.

Numerosi studiosi, pur rilevando l'importanza del computer, non hanno mai veramente indagato il ruolo innovativo che le tecnologie informatiche hanno nel processo archeologico. Nella valutazione dell'impatto dell'informatica sul processo archeologico, gli archeologi hanno dimostrato di essere più interessati all'analisi del versante applicativo del sistema computazionale adoperato che alla sua influenza sul metodo.

La più completa analisi della funzione dell'informatica nell'archeologia sul campo si deve a I. Hodder⁵. Lo studioso elenca 4 strategie dedicate al computer. Se lo scavo non è una attività tecnica, ma

una continua produzione di ipotesi e interpretazioni che influenzano e modificano le strategie di partenza, la condivisione della documentazione prodotta e scambiata in forma digitale alimenta per Hodder una trasmissione continua e rapida delle informazioni fornendo un costante aggiornamento su ciò che viene messo in luce. Il flusso ininterrotto di informazioni può essere velocemente assicurato dalla disponibilità dei dati archiviati in un *database*, mentre differenti tipi di informazioni raccolti sul terreno (piante, disegni, misure degli oggetti, film e diari di scavo) possono essere codificati e resi accessibili ai ricercatori in modo semplice. La circolazione dei dati nell'idea di Hodder rappresenta la provvisorietà delle conclusioni che sono sempre momentanee e solo alla fine del processo divengono definitive.

Per garantire il traffico continuo e stabile di informazioni è necessario assicurare un certo grado di formalizzazione. L'utente, per poter contestualizzare i *record*, può ricorrere ad altri tipi di dati come il diario di scavo che – memorizzato ed indicizzato – serve come fonte sulle riflessioni dello scavatore e sulle sue valutazioni in relazione alle domande poste dalla ricerca sul campo. Per Hodder lo scavo deve essere filmato per documentare non soltanto le fasi principali di intervento sul terreno, ma anche le paure, le riflessioni e gli eventuali ripensamenti. La ripresa video completa quanto riportato dai diari di scavo fornendo anche una prova visiva dell'intervento di scavo.

Nelle tesi dedicate all'informatica Hodder evidenzia il ruolo tecnico, ma di grande importanza, che avrebbe il computer nell'assicurare la circolazione delle informazioni e quindi la comparazione e il confronto puntuale e rapido di tutti i dati digitali disponibili.

A nostro giudizio però non si tratta di un semplice "miglioramento" gestionale in quell'ottica di efficienza che sempre accompagna l'uso del computer nei processi di archiviazione. L'impiego massiccio dell'informatica, anche per quanto riguarda la semplice trasmissione dei dati, finisce per modificare l'avanzamento stesso dello scavo e non soltanto la classificazione dei reperti, l'interpretazione delle unità stratigrafiche e la ricostruzione del contesto indagato. L'informatica non è soltanto un mezzo tecnico-operativo, ma uno strumento concettuale che, necessitando di forme molto standardizzate di normalizzazione e codifica dei dati, influenza costantemente il ricerca-

⁴ Kuhn 1978.

⁵ Hodder 2000.

tore sul campo. In tal modo l'informatica è essa stessa parte della metodologia di scavo.

Non potendo allora separare le tecniche di acquisizione dal prodotto finale del loro impiego possiamo affermare che l'uso sempre più estensivo delle tecnologie *laser scanning* per la documentazione grafica degli scavi archeologici, determinerà profondi mutamenti nella metodologia e nelle procedure di scavo così come nella descrizione geometrica dei manufatti e nella loro successiva analisi, classificazione e interpretazione. Non cambia soltanto la qualità grafica della pianta o il numero dei dettagli che il *Laser Scanner* è in grado di acquisire in tempi ristrettissimi. La nostra esperienza sul campo conferma che essendo impossibile conseguire una descrizione oggettiva della realtà fisica, l'osservazione è il risultato di una combinazione dell'oggetto con lo strumento⁶. Ad ogni dispositivo di acquisizione corrisponde una particolare lettura e pertanto il passaggio dal disegno manuale al *Laser Scanner* non costituisce un progresso tecnologico, ma un modo differente di misurare e quindi vedere la realtà fisica.

In futuro il lavoro degli archeologi sul campo sarà caratterizzato dalla integrazione di una pluralità di tecnologie speditive per il rilievo che forniranno un elevato numero di informazioni e dati. L'incremento nella quantità e qualità delle informazioni digitali richiederà una accurata analisi dell'impatto sul piano operativo e più in generale su quello metodologico in particolare per quanto riguarda l'acquisizione dei dati 3D e delle nuvole dei punti, i fattori di restituzione e infine la gestione di un numero elevato di dati spaziali.

3. I casi di studio

La strumentazione utilizzata è prodotta dalla ditta tedesca Zoller & Frohlich⁷; lo *Scanner 3D*, del tipo Imager 5003, è stato progettato per applicazioni a corto e medio raggio (distanza minima cm 40 fino a m 53,5) pur garantendo un'elevata risoluzione di acquisizione (max. 36.000 x 15.000 *pixel*: orizzontale per verticale) con una velocità di 500.000 *pixel* al se-

condo. L'errore lineare, definito dalla casa costruttrice, è inferiore a mm 5.

Tre sono i profili che possono essere selezionati per le scansioni: *Superhigh*, *High* e *Medium*: a 10 metri di distanza il passo di campionamento di una ripresa *High* è mm 6, mentre per le *Superhigh* è doppia. La scansione dell'area da riprendere ha una copertura max. di 360° x 310° (orizzontale per verticale) con tempi nell'ordine di 6 minuti per una scansione completa a risoluzione *High*. La scansione presenta un angolo di 50° di non-ripresa verticale coincidente con il punto d'installazione della stazione; si genera pertanto un cono d'ombra, cioè di assenza di dati, il cui diametro varia a seconda dell'altezza del treppiede, generalmente posto a cm 170 dal piano di ripresa.

L'Imager 5003 dispone di una tecnologia di calibrazione interna, mentre il sistema di calcolo delle distanze e degli angoli è basato sulla misurazione della fase. I dati sono acquisiti sia in coordinate spaziali x, y, z, che in valori di riflettanza; quest'ultimo dato, espresso in toni di grigio, corrisponde alla "risposta" dei materiali al raggio laser. In questo modo è possibile riprendere anche superfici non illuminate.

Per la fase di post-elaborazione delle riprese è stato utilizzato il *software* JRC 3D Reconstructor⁸, un applicativo modulare per la completa gestione ed elaborazione di dati 3D da *Laser Scanner* o da dati topografici⁹.

I rilievi sono stati preceduti da una accurata pianificazione delle operazioni di rilievo che consiste nella progettazione dell'intervento e nella disposizione di *target* piani per il successivo montaggio delle varie riprese; si è inoltre analizzata la morfologia delle strutture al fine di verificare la potenzialità informativa/conoscitiva del rilievo strumentale ad alta precisione.

L'acquisizione sul campo e la restituzione grafica delle nuvole di punti sono state realizzate seguendo una consolidata *pipeline* procedurale¹⁰.

3.1. Pompei

Dal 2004, sotto la direzione scientifica del prof. F. Pesando dell'Università di Napoli L'Orientale, è in corso l'esplorazione dell'*insula 7*, *Regio IX*, finaliz-

⁶ Già negli anni '20 Bohr e Heisenberg avevano messo in evidenza l'impossibilità di conseguire una descrizione oggettiva della realtà fisica che fosse indipendente dallo strumento adoperato per osservarla. Su questi temi: Cini 1994, 71-72.

⁷ www.zf-laser.com/e_index.html.

⁸ www.reconstructor.it.

⁹ Sgrenzaroli, Vassena 2007.

¹⁰ Scopigno 2006.



1. - Elaborazione dopo la registrazione delle scene acquisite.



2. - Texture sul modello geometrico.

zata alla comprensione delle modalità insediative di un settore della città situato all'esterno dell'area comunemente considerata come l'*altstadt*, e della storia edilizia delle singole abitazioni; finora le indagini hanno riguardato le abitazioni nr. 21, 23, 25 e 26, interessando l'angolo nord-occidentale dell'isolato.

Il programma di ricerca si basa sulla documentazione e sul rilievo delle strutture edilizie esistenti, cui seguono le indagini sul terreno mirate al recupero di dati su eventuali preesistenze o sulle prime fasi di occupazione delle strutture abitative. Particolarmente importante risulta quindi il rilievo delle strutture poiché

spesso, grazie ad una documentazione grafica accurata degli elevati, è possibile individuare le diverse fasi edilizie delle abitazioni (stratigrafia verticale) non più rintracciabili a livello di pavimenti e/o fondazioni.

Allo scopo di mettere a punto una metodologia in grado di semplificare il processo di estrazione e di lettura delle stratigrafie verticali delle strutture in elevato è stato avviato nel settembre del 2006 un programma di rilievi con *Laser Scanner 3D* delle facciate e degli interni delle abitazioni dell'*insula 7*; l'intervento ha interessato le abitazioni IX, 7, 19 e 21 su Vicolo di Tesmo e le abitazioni IX, 7, 22 - 23 - 25 e 26 su Via degli Augustali.

La campagna di riprese è durata una giornata ed ha interessato un fronte di circa 75 metri. I dati, raccolti in undici differenti scene, sono stati acquisiti nella modalità *High* (fig. 1).

Dopo la registrazione e l'assemblaggio delle riprese è stato realizzato un modello 3D sul quale sono state rettificare e proiettate alcune immagini a colori acquisite con una macchina fotografica digitale (fig. 2).

Sono stati poi generati alcuni piani che hanno permesso la creazione di fototopiani su cui si è avviata la fase di vettorializzazione delle differenti tecniche murarie.

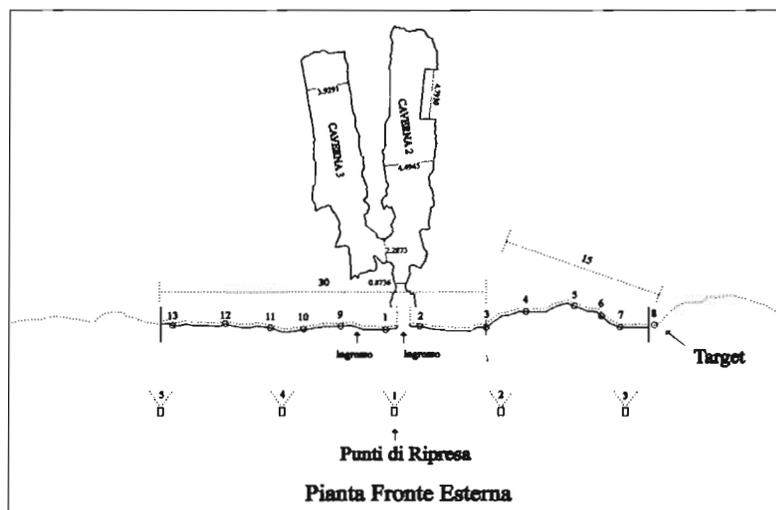
In futuro l'estrazione delle informazioni grafiche relative alle differenti tecniche murarie andrà collegata alle schede

USM e ad altre informazioni grafiche e fotografiche in modo da avere una documentazione il più possibile completa dell'area indagata.

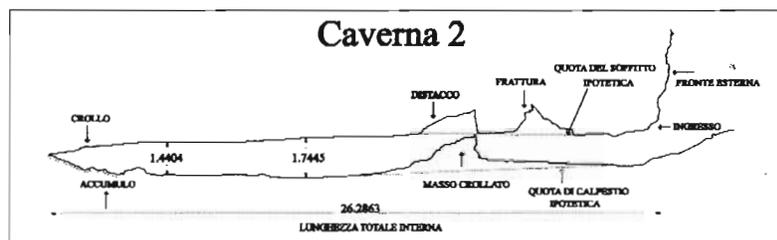
3.2. Wadi Gawasis

Nel gennaio del 2008, nell'ambito delle attività della missione diretta dal prof. R. Fattovich, dell'Università di Napoli L'Orientale, è stato realizzato un primo rilievo digitale delle caverne 2 e 3¹¹; l'uso del

¹¹ Bard, Fattovich 2007.



3. - Progettazione dell'intervento. Punti di ripresa (in quadratini) e disposizione dei target (in cerchietti) sulle pareti.



4. - Sezione longitudinale della caverna 2.

Laser Scanner doveva garantire l'acquisizione di una documentazione di dettaglio, precisa ed accurata, delle due caverne scavate nel *plateau* di corallo fossile ed utilizzate in un lungo periodo, a partire dal Secondo Millennio a.C., come ricovero d'imbarcazioni e strumenti per la navigazione.

Nel tempo le caverne avevano subito numerosi rimaneggiamenti e aggiustamenti sia di origine antropica che naturale. La caverna 2, raggiungibile dall'originario ingresso, presentava due zone con grossi distacchi di materiale roccioso dal soffitto, mentre l'attigua caverna 3 era accessibile soltanto da un corridoio laterale aperto nella caverna 2. All'esterno, in corrispondenza dell'accesso - ora chiuso per motivi di sicurezza - alla caverna 3, si evidenziava una lunga crepa longitudinale.

Ad una esigenza di tipo scientifico di documentazione grafica degli interni delle caverne, si aggiungeva quindi la necessità di costruire un modello geometrico accurato che potesse costituire la base per un successivo monitoraggio statico della struttura anche attra-

verso il confronto con nuove riprese digitali.

Il rilievo è stato realizzato in 4 giorni sul campo e circa 4 settimane di post-elaborazione in laboratorio. La progettazione del lavoro è stata realizzata apponendo dei *target* piani sulla facciata e sull'interno delle grotte al fine di consentire la ricomposizione delle scene (fig. 3).

Per realizzare la ricostruzione delle tre distinte superfici (fronte, caverna 2 e caverna 3) in un unico modello, una particolare cura è stata dedicata alla disposizione dei *target* in posizione intermedia tra le varie superfici allo scopo di assicurare l'inquadratura e montaggio di tutte le nuvole di punti in una sola ricostruzione geometrica.

La restituzione 3D dell'area è stata successivamente "vestita" con *texture* realizzate adoperando foto digitali opportunamente calibrate e rettificata. Il modello è stato quindi utilizzato per estrarre importanti informazioni come la sezione (fig. 4) e la pianta delle caverne.

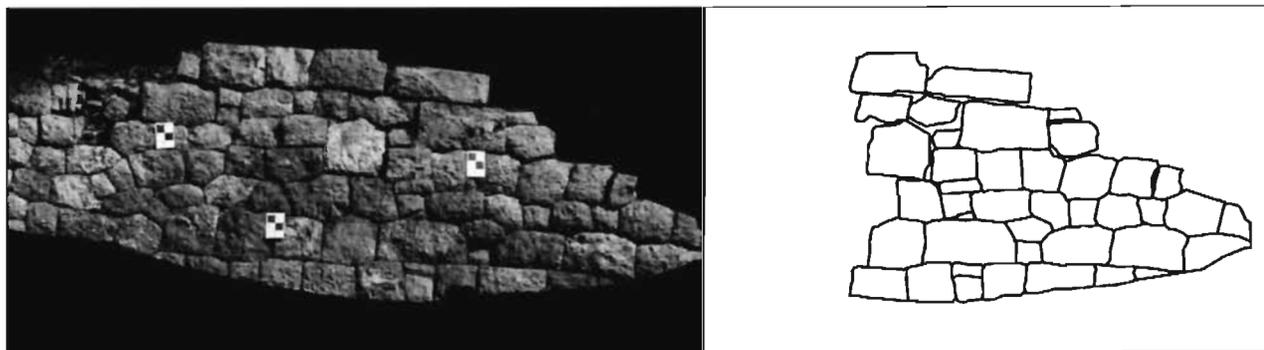
L'acquisizione di nuove riprese, previste nella prossima campagna, consentirà di confrontare i modelli ricostruiti per

verificare l'eventuale avanzamento delle lesioni garantendo un adeguato monitoraggio statico del monumento.

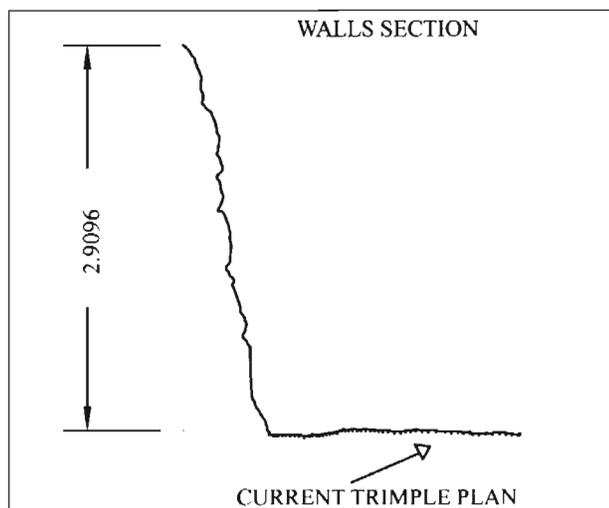
3.3. *Temnos (Turchia)*

Durante l'ultima campagna di ricognizione di superficie realizzata nell'Ottobre del 2007 a Temnos, nel quadro delle attività di ricerca condotte dal prof. G. Ragone dell'Università di Roma Tre, è stato realizzato il rilievo digitale di una larga porzione del muro di terrazzamento dell'*agorà*; il tratto murario, in opera poligonale, era localizzato all'angolo Ovest della piazza dell'antica città eolica. L'obiettivo dell'intervento, eseguito in una sola giornata, consisteva nel documentare in dettaglio la tecnica costruttiva e pertanto si è scelta una parte visibile del muro, circa 43 metri, non coperta dalla vegetazione.

Sono state acquisite e poi elaborate 4 scansioni riprese da circa 4-5 metri dal muro in una posizione situata in un pendio leggermente ribassato rispetto alla quota dello spiccatto.



5. - Prospetto di parte del terrazzamento. A dx. vettorializzazione dell'opera poligonale.



6. - Sezione del terrazzamento.

Dopo l'assemblaggio delle diverse riprese è stata costruita una *mesh* e su questa proiettate le immagini rettificate ottenute con una fotocamera digitale. Successivamente è stato realizzato un fototopiano esportato in AutoCAD ed elaborato per la vettorializzazione dell'opera poligonale (fig. 5) e per l'estrazione della sezione (fig. 6); quest'ultima mostra in modo chiaro che il tratto di muro era costruito contro terra in posizione leggermente inclinata all'interno per sostenere la spinta della terrazza.

L'area oggetto dell'indagine si trova in una zona non facilmente raggiungibile. Ricorrendo a tecniche di tipo tradizionale sarebbero occorsi molti giorni di rilievo; il *Laser Scanner*, invece, ha consentito una rapida e spedita acquisizione delle nuvole dei punti che sono state poi opportunamente elaborate in laboratorio.

4. Uso e riuso dei dati 3D

Dalle diverse esperienze maturate sul terreno sono scaturite alcune riflessioni che impongono una più approfondita valutazione sull'applicabilità del *Laser Scanner* allo scavo archeologico e su ciò che abbiamo definito nell'introduzione come un ripensamento paradigmatico della metodologia di indagine dei contesti archeologici; è tuttavia necessario che questa attenzione alle tecniche di acquisizione e restituzione dei modelli tridimensionali sia adeguata alla complessità della tecnologia che adoperiamo allo scopo di non creare equivoci o, peggio, usi impropri e non corretti.

All'interno di questa riconsiderazione metodologica un elemento deve essere particolarmente precisato e attentamente considerato. Ci riferiamo alla proprietà non selettiva di acquisizione del *Laser Scanner 3D* cui si affianca la non rilevanza dei fattori di scala nella restituzione grafica.

I manuali di rilievo archeologico quando esaminano le tecniche del rilievo indiretto, le inquadrano soprattutto nell'ambito del rilevamento di tipo topografico all'interno di un sistema di riferimento locale o assoluto, sebbene siano sempre di più adoperate per analizzare e restituire i dettagli. Mentre nel rilievo tradizionale (diretto ed indiretto) i punti da rilevare sono scelti dall'operatore, sia esso un archeologo, un disegnatore o un architetto, che nella acquisizione valuta in modo discrezionale (ovvero discretizza) le informazioni da registrare graficamente, il *Laser Scanner 3D* memorizza tutte le informazioni che il fascio ottico del laser può catturare.

Il *master* digitale, ottenuto attraverso una acquisizione non campionata dell'evidenza archeologica, può essere successivamente elaborato: il modello può es-



7. - Nuvola di punti visualizzata con algoritmo *confidence*.

sere pulito, filtrato, semplificato e solo al termine dell'analisi saranno individuate le caratteristiche spaziali e fisiche dell'oggetto archeologico (fig. 7).

In una nuvola di punti il concetto stesso di scala appare del tutto irrilevante. Il modello è in sé scalabile essendo vettoriale e il problema della scala si pone soltanto nell'ottica della restituzione a stampa, non in quello della sua visualizzazione e manipolazione digitale. La possibilità di rappresentare direttamente i modelli, senza alcuna mediazione di tipo grafico, costituisce un tratto rilevante nel processo di uso e riuso dei dati 3D. Sezioni, longitudinali e trasversali, possono essere estratte successivamente all'acquisizione quando il modello è ricostruito e non richiedono particolari accorgimenti sul terreno in fase di ripresa (fig. 8).

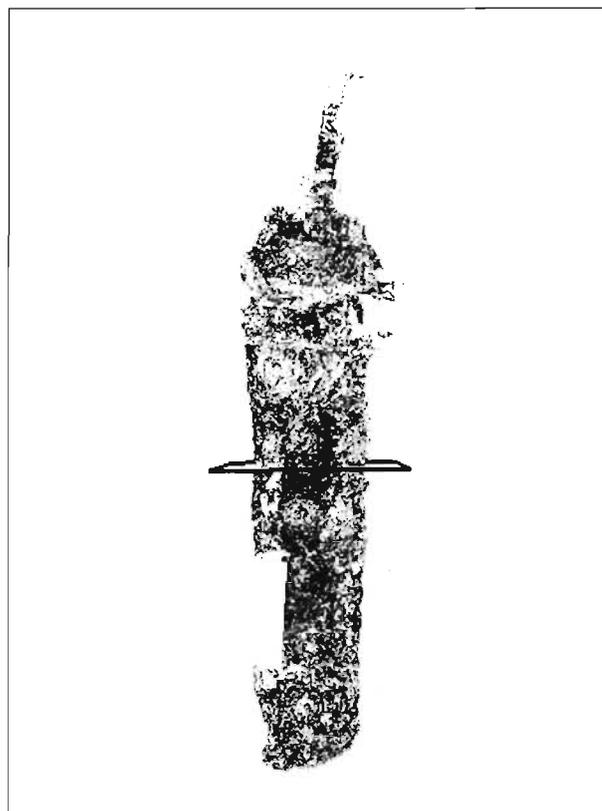
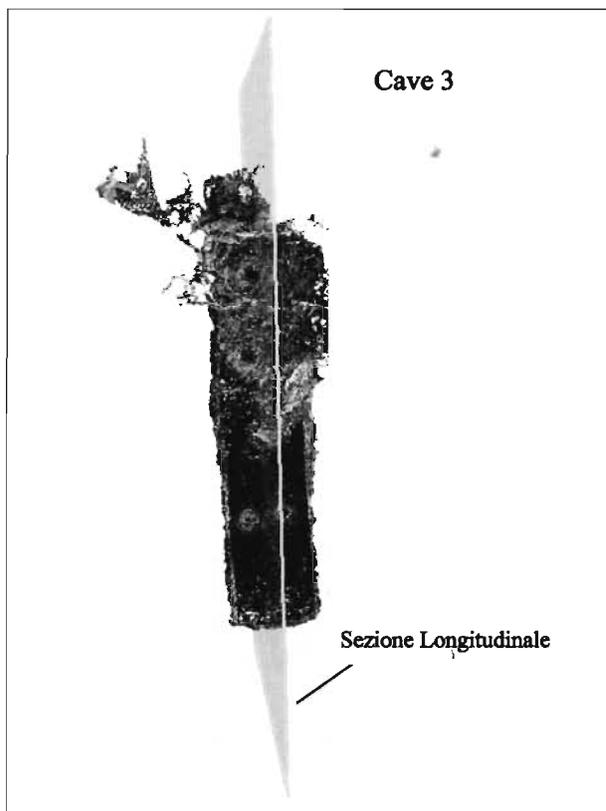
L'approccio più diffuso in ambito archeologico prevede oggi la descrizione degli oggetti archeologici quasi esclusivamente in 2D, evidentemente in rapporto al tipo di supporto cartaceo su cui tali dati sono "restituiti". I recenti tentativi di intervenire sulla terza dimensione e sui volumi hanno soprattutto evidenziato

il valore geometrico dello strato isolato in quella relazione spaziale sopra e sotto che raffigura i più interessanti rapporti di tipo cronologico (prima e dopo)¹².

È possibile allora mantenere la dimensione geometrica 3D del modello senza doverlo convertire in una vista 2D? Possiamo cioè renderlo realmente fruibile senza necessariamente proiettarlo in una dimensione 2D o costringere gli eventuali utilizzatori ad installare sofisticati e poco pratici *software* per la navigazione virtuale? Infine, è possibile attribuire alla semplice sovrapposizione geometrica valori semantici relativi ad esempio all'appartenenza?

Il *software* Acrobat 3D e il linguaggio CityGML sembrano aprire nuovi straordinari scenari all'archiviazione ed alla strutturazione topologica tridimensionale dei dati spaziali. Nel prossimo paragrafo ne esamineremo il funzionamento e l'applicabilità alla standardizzazione ed alla distribuzione di contenuti informativi 3D.

¹² Cattani, Fiorini, Rondelli 2004.



8. - Piani ortogonali e longitudinali creati per l'estrazione di sezioni.

4.1. Acrobat 3D

Acrobat è un programma realizzato dalla Adobe Systems per creare e modificare *file* nel formato PDF (*Portable Document Format*) divenuto alla fine degli anni 1990 lo standard nella distribuzione di contenuti composti da testo e immagini. Il *software* Adobe Reader, distribuito gratuitamente e liberamente da Adobe, permette agli utenti finali di aprire, leggere e stampare i *file* PDF.

Il PDF è un formato basato su un linguaggio di descrizione di pagina sviluppato per rappresentare documenti in modo autonomo dall'*hardware* e dal *software* utilizzati per generarli o per visualizzarli. Il PDF non include informazioni specifiche permettendo una sua visualizzazione e renderizzazione nella stessa maniera indipendentemente dalla piattaforma e/o dispositivo utilizzato per leggerlo. Questa *portabilità* dei documenti ha contribuito ad affermare il PDF come formato standard *de facto* molto diffuso per la condivisione dei documenti. Ogni *file* contiene una completa descrizione del documento bidimensionale composta da proprietà, testo, stili di carattere, immagini e oggetti di grafica vettoriale 2D.

¹³ Nel Dicembre del 2007 PDF è diventato standard ISO 32000.

¹⁴ Per ricercare informazioni contenute in *file .pdf* è sufficiente in Google far precedere la stringa richiesta dall'istruzione: *filetype:pdf*.

¹⁵ Oltre il modello potrebbero essere messi in rete documenti che precisano ad esempio le caratteristiche tecniche della ri-

Nel 2006 Adobe ha lanciato il programma Acrobat 3D e nella primavera del 2007 è stata rilasciata la versione Acrobat 3D v.8 che consente di convertire e comprimere *file* CAD in un unico *file* PDF¹³.

Acrobat 3D permette di creare documenti PDF partendo da modelli tridimensionali realizzati con differenti applicazioni e conservando in modo preciso le misure degli oggetti. Con il *software* gratuito Reader 7.0, il modello potrà essere visualizzato in tutti i suoi aspetti. Reader 7.0 dispone di una ampia *console* di funzioni per la navigazione e l'interrogazione e quindi non è necessario possedere *software* di tipo CAD. Acrobat 3D supporta modelli statici bidimensionali, organizzati in livelli informativi distinti, e modelli 3D navigabili: l'utente può ruotare il modello, misurare le distanze, creare sezioni, modificare la luce e la renderizzazione.

PDF è uno standard per il *WEB* e per questa sua caratteristica è adoperato per distribuire testi elettronici. Se i documenti non sono coperti da *password* sono visualizzabili all'interno del *browser* con un apposito *viewer*; adottando particolari tecniche di ricerca è possibile scaricare *file* in formato *.pdf* che rispondano a specifici requisiti¹⁴.

Sfruttando le proprietà di portabilità del PDF potrebbero essere resi disponibili documenti che incorporano modelli 3D accompagnati da annotazioni e testi esplicativi dei processi adoperati nella costruzione del modello (paradati) che così potranno essere cercati in rete con i tradizionali motori di ricerca¹⁵. Ricor-

rendo inoltre ad alcune funzioni implementate direttamente nel *software* sarà possibile utilizzare metadati, anche in formato DublinCore¹⁶, agganciati sia al documento che ai singoli oggetti 3D incorporati nel PDF.

La creazione di documenti PDF 3D consente una maggiore interoperabilità fra differenti soluzioni CAD migliorando le forme di collaborazione e *networking*; inoltre, l'inserimento di testi e annotazioni esplicative sul processo di costruzione del modello 3D rende trasparente l'oggetto tridimensionale e più semplice il suo riuso.

Oggi la tecnologia promuove una maggiore integrazione e forme di *peer production* sebbene non consenta ancora una ampia gestione dei modelli digitali a causa della "pesantezza" di alcune ricostruzioni. Lo sviluppo di formati standard più leggeri potrà garantire in futuro una piena interoperabilità dei documenti 3D favorendo una più ampia circolazione dei *master* digitali e delle relative elaborazioni digitali.

L'archiviazione delle nuvole di punti e delle elaborazioni successive è un problema reale che merita di essere adeguatamente esaminato: la campagna di riprese effettuata in Egitto ha prodotto complessivamente 10Gb di dati che includono scansioni originali e rielaborazioni successive¹⁷. La creazione di collezioni di *file* PDF 3D, corrispondenti ai vari modelli generati, può certamente aiutare nella gestione degli archivi rendendo accessibili e visualizzabili, con semplicità, le ricostruzioni digitali dei monumenti e delle stratigrafie. Includendo all'interno del *file* PDF che ingloba il modello, testi ed annotazioni strutturate secondo lo standard DublinCore o altri tipi di metadati, sarà possibile garantire la conservazione delle fonti digitali 3D.

4.2. CityGML

Acrobat 3D, integrando oggetti CAD codificati in 2 o 3 dimensioni, agevola lo scambio di contenuti e informazioni. Tuttavia, per garantire un corretto riuso dei dati, non è sufficiente avere un mezzo che funge da interscambio; in tal modo il dato 3D può essere visualizzato nella sua rappresentazione geometrica.

Per incorporare la semantica all'interno del mo-

dello occorre trovare un linguaggio nella rappresentazione degli elementi a connotazione spaziale bi e tridimensionali. Questo obiettivo non può essere raggiunto ricorrendo ad altre ontologie di dominio come il CIDOC-CRM che pur hanno dimostrato la loro applicabilità al settore della documentazione archeologica¹⁸. Occorre invece analizzare le potenzialità espressive del GML (*Geography Markup Language*) e soprattutto di un suo profilo applicativo definito CityGML¹⁹ che con opportune modifiche può essere utilizzato per evidenziare le relazioni semantiche delle strutture antiche.

GML è la grammatica XML definita dall'*Open Geospatial Consortium* (OGC) per esprimere oggetti geografici. Diventato standard nel 2007, GML è un linguaggio di modellazione per sistemi geografici e un formato aperto per lo scambio di informazioni geografiche via Internet. GML definisce *feature* una entità distinta da un *oggetto geometrico*.

Una *feature* è un oggetto dell'applicazione che rappresenta un'entità fisica (un edificio) che può anche non avere un aspetto geometrico. Una collezione di *features* è un insieme di *features* che possono essere considerate nel loro insieme un'unica *feature* ma con singole e specifiche proprietà distinte dalla *feature* che definiscono.

Un *oggetto geometrico* invece definisce una locazione o una regione piuttosto che una entità fisica. Questa distinzione tra la rappresentazione fisica e geometrica di un oggetto spaziale differenzia GML dai modelli GIS che considerano equivalenti *feature* e *oggetto geometrico*.

Un altro elemento rilevante nel processo di organizzazione della *feature* è la classe *coverage* che rappresenta la copertura geografica discreta dell'entità in uno dominio spazio-temporali ben definito e il concetto di *observation* che modella l'azione di osservazione e misurazione anch'essa definita secondo coordinate spazio-temporali precise. Nella formulazione delle linee guida l'OGC ha definito l'*observation* una classe semplice suggerendo lo sviluppo di

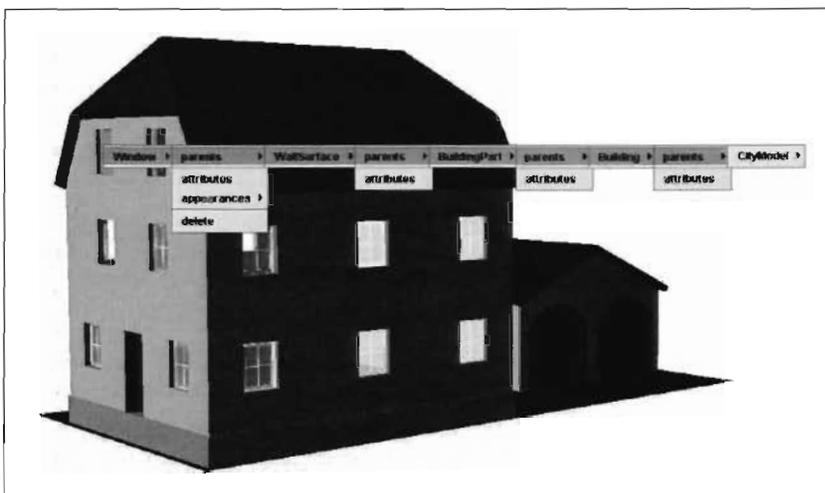
presa; il tipo di scansione eseguita, il numero di *target* adoperati per la roto-traslazione delle riprese, etc. I paradati si definiscono come le regole dei processi applicate ai dati in funzione di un determinato obiettivo.

¹⁶ Dublincore.org/

¹⁷ Un test eseguito su uno scavo ha mostrato che per una semplice buca di palo sono stati acquisiti oltre 15.000 punti per un peso di circa 500 KB del *file*.

¹⁸ D'Andrea 2006b.

¹⁹ www.citygml.org.



9. - Schema del CityGML.

specifici GML *application schema* per osservazioni e misure scientifiche, tecniche e ingegneristiche quali, ad esempio, quelle con il *Laser Scanner 3D*.

CityGML costituisce un profilo applicativo per il GML3, orientato alla rappresentazione multilivello di strati informativi tra i quali gli edifici. Il "CityGML" è un modello orientato prevalentemente alla codifica di oggetti urbani tridimensionali.

Nell'esempio riportato in figura 9 si può cogliere come la semantica sia espressa da una gerarchia semplificata basata su nodi padre-figlio legati dalla relazione *is part of*.

Attualmente il CityGML è stato definito per la rappresentazione di contesti e geometrie urbane anche per la gestione di problematiche quali il traffico, l'inquinamento e la simulazione di eventi catastrofici.

Con opportuni cambiamenti, il profilo del CityGML può essere adattato al dominio archeologico per la rappresentazione semantica, e quindi non soltanto geometrica, delle unità stratigrafiche costruite. Un edificio antico è composto da una pluralità di entità fisiche quali ambienti, tetti, porte, muri, piani di calpestio, fondazioni, arredi, etc. Ogni entità fisica ha una sua geometria e una serie di attributi (dimensioni, cronologia, tecnica muraria, etc.) che possono essere facilmente espressi come nell'esempio di figura 9.

Le parti mancanti o totalmente ricostruite potranno sempre essere rappresentate sia geometricamente sia con proprietà che ne definiscano il grado di attendibilità anche secondo parametri di tipo *fuzzy*²⁰.

Le nuvole di punti che riprendono i dati dell'ogget-

to antico sono nella grammatica del GML delle *coverages* come risultato specifico di una *observation* che in un definito ambito spazio-temporale è il prodotto finale di una acquisizione con *Laser Scanner*.

Numerosi sono i GIS *open-source* e commerciali che elaborano documenti scritti in GML (TatukGIS, OpenJump, QGIS e GRASS) mentre alcuni programmi sono in grado di leggere *file* codificati in GML (GMLViewer). Più complessa risulta la gestione dei documenti in GMLCity che possono essere visualizzati e correttamente renderizzati soltanto con programmi specifici come Aristoteles e Landexplorer

CityGML viewer.

Attualmente il *software* Reconstructor può esportare le nuove di punti in formato X3D e Collada. Ci si augura che in futuro una più coordinata azione tra produttori e utenti possa contribuire alla creazione di formati di interscambio di tipo GML con la possibilità di aggiungere e definire le proprietà e gli attributi delle informazioni registrate²¹.

Il passo successivo in questa direzione sarà l'integrazione del GML e dei suoi profili applicativi con il CIDOC-CRM. Per l'X3D è stato già definito un allineamento con il CIDOC²². Il GML si configura come un dominio più vasto in grado di esprimere non soltanto la geometria 2D, ma anche quella 3D registrando anche le relazioni topologiche tra le *features*.

5. Conclusioni

L'uso sempre più estensivo delle tecnologie *laser scanning* per la documentazione grafica degli scavi archeologici determinerà profondi mutamenti nella metodologia e nelle procedure di scavo come nella descrizione geometrica dei manufatti e nella loro successiva analisi e classificazione.

²⁰ Hermon, Niccolucci, D'Andrea 2005.

²¹ Per la creazione di oggetti 3D marcati in CITYGML è in corso, da parte di Matteo Lorenzini, il test del *software* tedesco SupportGIS-3D.

²² Niccolucci, D'Andrea 2006.

Se l'impiego di nuove strumentazioni di raccolta di dati geometrici consente di avere in tempi rapidi informazioni 3D altamente accurate, è molto probabile che l'intero processo di scavo e di ricostruzione possa trarne un significativo beneficio sia in termini di qualità dei dati acquisiti che di completezza delle informazioni di tipo spaziale e geometrico.

Nonostante ciò una profonda trasformazione della metodologia si attuerà non solo grazie a tecnologie digitali più potenti ed affidabili, ma anche quando il prodotto della attività di scavo sarà reso pienamente disponibile per l'intera comunità scientifica. Gli strumenti concettuali e fisici già esistono e sono l'infrastruttura del *Semantic Web*, le ontologie di dominio e i formati standard.

Fino a circa venti anni fa il numero delle scoperte e degli scavi era limitato e ogni archeologo poteva, in una conveniente dimensione temporale, leggere ed essere

informato dei progressi delle ricerche nel suo specifico settore di intervento. L'estensione delle ricerche, l'estrema parcellizzazione dei saperi e la comparsa delle comunità locali prima escluse dalla ricerca, rende difficile il costante aggiornamento dei ricercatori sulla letteratura pubblicata e grigia sull'argomento.

La diffusione di strumenti che semplificano l'accesso ed il riuso dei dati favorirà, anche grazie alla trasmissione dei metadati e paradata, la creazione di comunità collaborative caratterizzate da modalità *peer production* come risultato di vaste reti orizzontali di partecipanti. Il raggiungimento di questo obiettivo sarà reso possibile dall'esistenza di standard semantici e tecnologici adatti anche ad una formalizzazione rigorosa delle nuvole di punti. L'integrazione degli standard e dei linguaggi di rappresentazione 3D come delle tecnologie costituisce uno scenario dal futuro non molto lontano.

Abbreviazioni bibliografiche

- Bard K. A., Fattovich R. (eds.) 2007, *Harbor of the Pharaohs to the Land of Punt. Archaeological Investigations at Mersa/Wadi Gawasis Egypt, 2001-2005*, Università degli Studi di Napoli L'Orientale, Napoli.
- Cattani M., Fiorini A., Rondelli B. 2004, *Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts*, in Ausserer K. F., Börner W., Goriány M., Karlhuber-Vöckl L. (eds.), *Enter the Past: the E-way into the Four dimensions of Cultural Heritage. CAA 03, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Proceedings of the 31st Conference (Vienna, April 2003), Oxford, 299-303.
- Cini M. 1994, *Un paradiso perduto*, Milano.
- D'Andrea A. 2006a, *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Budapest.
- D'Andrea A. 2006b, *A preliminary Ontology-based model applied to the description/interpretation of the archaeological excavation*, in von Hahn W., Vertan C. (eds.), Proceedings of the First International Workshop on *Ontology Based Modelling in The Humanities* (7-8 April 2006), University of Hamburg, Bericht 264, 38-46.
- Hermon S., Niccolucci F., D'Andrea A. 2005, *Some Evaluations on the Potential Impact of Virtual Reality on the Archeological Scientific Research*, in Thwaites H. (ed.), Proceedings of the Eleventh International Conference on *Virtual Systems and Multimedia*, VSMM 2005, (October 3-7, Ghent), Budapest, 105-114.
- Hodder I. (ed.) 2000, *Towards Reflexive Method in Archaeology: The Example at Catalhöyük*, McDonald Institute for Archaeological Research. British Institute of Archaeology at Ankara, Monograph No. 28.
- Kuhn, T. S. 1978, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino.
- Niccolucci F., D'Andrea A. 2006, *An Ontology for 3D Cultural Object*, in Ioannides M., Arnold A., Niccolucci F., Mania K. (eds.), Proceedings of the 7th International Symposium on *Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST 2006)*, (Nicosia, Cyprus October 30 - November 4, 2006), Switzerland, 203-210.
- Renfrew C., Bahn P. 2006², *Archeologia. Teoria, metodi, pratica*, Bologna.
- Scopigno R. 2006, *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*, in Campana S., Francovich R. (eds.), *Laser Scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali 1., I Workshop* (Grosseto, 4 marzo 2005), Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti. Sezione Archeologia - Università di Siena, Firenze, 41-68.
- Sgrenzaroli M., Vassena G.P.M. (eds.) 2007, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, Vol. 1 - Introduzione generale*, Brescia.