

L'INFORMATICA DELL'ARCHEOLOGO: ALCUNE ISTRUZIONI PER L'USO

1. INTRODUZIONE

G. Lock e T. Harris hanno di recente osservato, a proposito della scarsa adesione ad un incontro internazionale dedicato al rapporto tra informatica e teoria archeologica, che ...*considering the increasing utilisation of GIS and related technologies it could be construed as a lack of interest in, or awareness of, the more theoretical aspects and implications of their application in archaeology* (LOCK, HARRIS 2000, XIII). Condividendo le osservazioni dei due studiosi riteniamo che ancora oggi, nonostante la diffusione crescente delle applicazioni, la riflessione sull'uso degli strumenti informatici in archeologia resti insufficiente. Se non sono mancate le occasioni di dibattito, ospitate anche su questa rivista nella sua ultradecennale attività, resta comunque l'impressione che spesso gli effetti degli approfondimenti teorici siano in definitiva estranei dalla pratica operativa quotidiana.

In non pochi casi, infatti, nelle pubblicazioni di "informatica archeologica" o "archeologia informatica" ci si limita, anche da parte di archeologi, a descrivere applicazioni le più svariate, limitandosi talvolta ad indicare quante sono le schede archiviate, i layer gestiti o i poligoni disegnati, come se tali quantità fornissero anche un indicatore di qualità. Molti interventi poi non si collocano in un contesto collettivo di ricerca della comunità scientifica, non rapportandosi criticamente allo stato dell'arte, come dimostrano bibliografie in cui si citano solo i propri lavori: per fare una statistica approssimativa, dei 47 articoli pubblicati negli atti della CAA2000 (STANČIČ, VELJANOVSKI 2001), il 25% ha meno di 4 titoli in bibliografia oppure tutti i titoli sono riconducibili all'autore stesso o al gruppo di ricerca cui appartiene l'autore.

Come che sia, questo fenomeno è una spia della presenza – magari minoritaria – di un atteggiamento acritico che benevolmente si potrebbe definire di tipo "ingenuo", tecnologicamente positivista. Questo atteggiamento genera poi un altro fenomeno, cioè il disinteresse per le ricerche altrui e, in ultima analisi, l'incomunicabilità. Succede spesso che per colpa del software che impone precisi formati siano prodotti archivi fra di loro incompatibili: non è quindi possibile, ad esempio, il confronto fra dati di database diversi sia perché differenze, anche se leggere, fra i tracciati dei record ne impediscono la fusione, sia perché i formati sono diversi e quindi si può iniziare a confrontare la struttura, e non già i dati, solo dopo onerose conversioni.

Il problema è ben chiaro, ad esempio, all'ADS (Archaeological Data Service), che infatti conserva i propri database in formato di testo ASCII

delimitato (RICHARDS, ROBINSON 2000) e accetta solo un numero limitato di formati per il conferimento degli archivi digitali (ma viene da chiedersi: degli altri che ne fanno?). Il problema di creare archivi durevoli e facilmente intercomunicabili non sembra comunque affliggere, neppure in via teorica, molti ricercatori, per i quali la “facilità d’uso” e la “disponibilità del software” forse prevale su questi altri elementi di valutazione. Un analogo problema affligge le ricostruzioni virtuali, impedendo l’integrazione di modelli ricostruttivi di situazioni vicine fisicamente, ma separate dalle barriere dei formati proprietari.

Proveremo quindi a indicare alcuni rischi contenuti in tre diffusi campi di applicazione (database, GIS e Realtà Virtuale) per dimostrare come un approccio acritico verso l’impiego degli strumenti informatici possa generare usi “impropri” e analisi del tutto errate e fuorvianti.

2. L’INFORMATICA DEL RAGIONIERE: I DATABASE

Per una riflessione sulle applicazioni dell’informatica in archeologia si deve iniziare dalla considerazione che in origine la tecnologia più diffusa, quella dei database relazionali, è stata inventata per gestire la contabilità e i conti correnti bancari, ed è per questo che vi è stato fatto riferimento come “accountant’s computing” (CANTONE, NICCOLUCCI c.s.). Come ogni pratica spontanea, la necessità di archiviazione dei dati ha prodotto soltanto la teoria di cui aveva bisogno, cioè l’algebra relazionale (DATE 1986), dotata dei postulati necessari e sufficienti per l’uso previsto. Che poi questi postulati siano applicabili a contesti affatto diversi, è tutto da dimostrare e accettarli *sic et simpliciter* (o magari semplicemente ignorarli) porta all’atteggiamento di positivismo (o superficialismo) tecnologico sopra ricordato. La generazione del record archeologico è sempre assimilabile a un modello entità-relazioni? Il contenuto di ogni campo è veramente atomico, cioè non ulteriormente analizzabile (si pensi a quante informazioni finiscono negli onnipresenti campi “Descrizione”, “Interpretazione” e “Osservazioni”)?

Spesso questo tipo di domanda viene inconsapevolmente elusa dall’archeologo, in quanto gli sforzi di una traduzione digitale degli archivi si concentrano e si concludono nella fase di inserimento dei dati e raramente si estendono a quella di consultazione e gestione. Così non è possibile verificare la correttezza del modello formale prescelto poiché lo strumento informatico è utilizzato in prevalenza per la funzione di conservazione del dato e non della sua ricerca e interpretazione. Numerosi progetti finalizzati all’inventariazione e catalogazione informatizzate dei beni archeologici non sono andati al di là di una generica memorizzazione dei dati al punto che i software per la gestione degli archivi digitali sono adoperati soprattutto per la produzione di stampe cartacee in formato A4.

La questione dell'inadeguatezza del modello del database relazionale alla problematica archeologica e più in generale umanistica non è nuova. In campo storico, M. Thaller ha iniziato a sollevarla sino dal 1985 (i lavori di Thaller sono numerosi quanto non sempre facilmente reperibili; si veda per tutti THALLER 1993). Molte delle sue argomentazioni relative alla ricerca storica sono applicabili anche al nostro caso: i database archeologici possono contenere una varietà di informazioni strutturate, implicitamente strutturate e non strutturate; i record differiscono significativamente anche quando corrispondono a entità apparentemente o logicamente simili (si pensi a una scheda di US e a una di USM, o ai record relativi a materiali ceramici e, rispettivamente, metallici); i campi hanno lunghezza e contenuto variabili e di frequente sono vuoti; le relazioni multi-a-molti sono le più diffuse; i dati "fuzzy" sono un fenomeno comune (per una definizione e un commento su questo concetto si veda NICCOLUCCI, D'ANDREA, CRESCIOLI 2001). Si tratta in tutti questi casi di violazioni delle regole tipiche dei database relazionali, che si possono in qualche modo aggirare con "protesi" tecnologiche, ma c'è una questione di fondo introdotta da Thaller per le fonti storiche (THALLER 1993, 52) che conserva il suo valore problematico anche in campo archeologico e che riportiamo parafrasandola: quando l'archeologo inizia la sua ricerca – e imposta il suo database – in realtà non "sa" con assoluta certezza il significato delle fonti materiali che troverà. In questo, l'elaborazione dei dati archeologici è diversa dall'elaborazione dei dati contabili che per definizione sono e restano quello che sono, mentre i dati archeologici acquistano gradualmente una fisionomia e si precisano nel loro significato *in itinere*, modificando il punto di vista del ricercatore e con esso i dati stessi, come in fondo ammettono anche gli archeologi quando cambiano la scheda di rilevazione da una campagna all'altra, adattandola alle nuove prospettive dell'indagine in corso. Insomma, mentre per un database relazionale l'ordine – temporale – dei record non porta informazione aggiuntiva (DATE 1986, 242), per il database archeologico sì, con effetti di "knock-on" in seguito anche a un limitato cambiamento: *in archaeology everything depends on everything else* (HODDER 1999, 194).

Adottando un atteggiamento pragmatico, i database relazionali per ora svolgono egregiamente le loro funzioni per la gestione di grandi quantità di dati purché siano presenti determinate condizioni che garantiscano l'assimilabilità delle elaborazioni richieste a quelle dello "accountant's computing": dati strutturati, campi atomici, attributi definiti con precisione, relazioni individuate in modo non equivoco. Se ciò non accade, occorre verificare se le estensioni tecnologiche disponibili comprendano il caso in questione.

Infine, il tema di fondo posto in precedenza, che comunque non deve essere ignorato, può avere un impatto modesto sul piano operativo e quindi restare sullo sfondo, oppure, come per i casi citati da HODDER (1999, cap. 5),

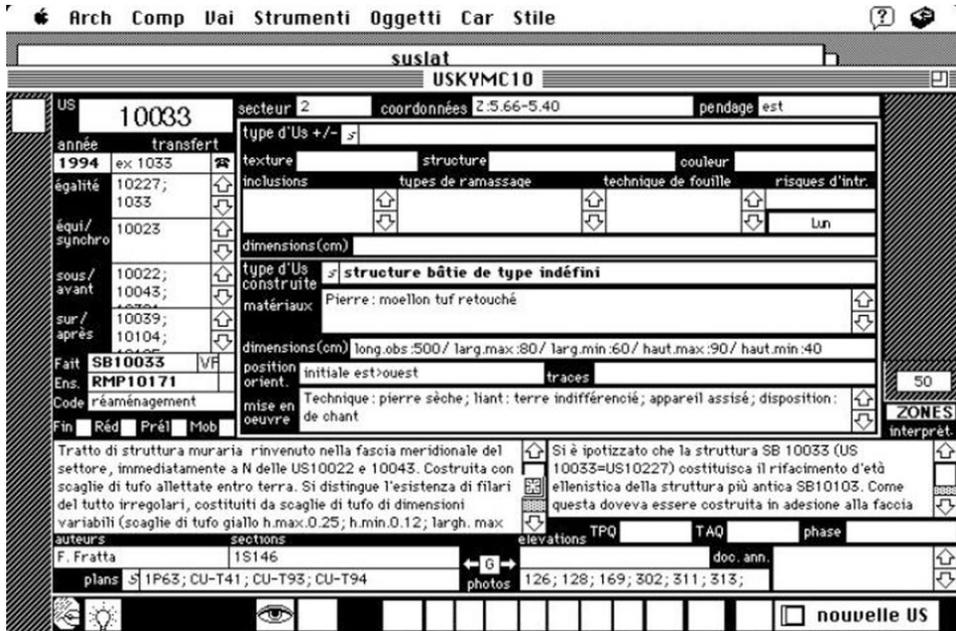


Fig. 1 – Scheda US redatta con il programma Syslat.

essere rilevante e quindi mettere in crisi anche la struttura informativa del sistema di documentazione.

Le soluzioni a questi problemi non sono naturalmente a portata di mano, ma vi è comunque una tecnologia più ricca di quanto non si pensi comunemente. Ad esempio, uno dei principali aspetti negativi dei database è costituito dal formato degli archivi che li rende non trasparenti, in quanto i dati sono accessibili solo mediante il software stesso di gestione del database, e soggetti a rapida obsolescenza (si veda CRESCIOLI, D'ANDREA, NICCOLUCCI c.s. per l'analisi di un caso di studio relativo a questa problematica). Sono però disponibili soluzioni tecnologiche come l'uso di XML che, fra gli altri meriti, hanno anche quello di risolvere questo problema (MOSCATI, MARIOTTI, LIMATA 1999; CRESCIOLI, D'ANDREA, NICCOLUCCI c.s.; RYAN, in questo volume).

Da un altro punto di vista, questa tecnologia consente di gestire in modo efficace l'informazione contenuta "dentro" i campi, cioè fornisce gli strumenti per la gestione di dati non strutturati. Nelle Figg. 1-3, tratte da un'esperienza di "rescue archaeological informatics" compiuta lo scorso anno dagli autori (D'ANDREA, NICCOLUCCI c.s.), si mostra ad esempio come si possano evidenziare e quindi gestire i riferimenti alle Unità Stratigrafiche contenuti all'interno del campo "Descrizione". Si tratta di parte di una scheda gestita in precedenza con un programma proprietario per la gestione dei dati ar-

```

- <scheda-US usm="10033">
  <US-primo>10033</US-primo>
  <settore>2</settore>
  <coordinate>2:5.66-5.40</coordinate>
  <pendenza>est</pendenza>
  <trasferimento>
    <US>1033</US>
  </trasferimento>
  <uguaglianza>
    <US>10227</US>
    <US>1033</US>
  </uguaglianza>
  <equivalenze>
    <US>10023</US>
  </equivalenze>
  < sopra>
    <US>10039</US>
    <US>10104</US>
    <US>10105</US>
    <US>10294</US>
    <US>10296</US>
  </ sopra>
  < sotto>
    <US>10022</US>
    <US>10043</US>
    <US>10321</US>
    <US>1038</US>
    <US>1071</US>
    <US>1000</US>
    <US>1082</US>
    <US>1084</US>
    <US>1115</US>
    <US>1128</US>
  </ sotto>
  <materiali>Pierre: moellon tuf retouché</materiali>
  <dimensioni>long.obs:500/ larg.max:80/ larg.min:60/ haut.max:90/ haut.min:40</dimensioni>
  <anno>1994</anno>
  <posizione>Initiale est</posizione>
  <messe-in-opera>Technique: pierre sèche; liant: terre indifférencié; appareil assisté; disposition: de chant</messe-in-opera>
  <fatto>SB10033</fatto>
  <insieme>RMP10171</insieme>
  <codice>réaménagement</codice>
  <autore>F. Fratta</autore>
  <data>Lun</data>
  <sezioni>
    <sez>15146</sez>
  </sezioni>
  <feta>
    <scatto>126</scatto>
    <scatto>128</scatto>
    <scatto>169</scatto>
  </feta>
  </scheda-US>
  
```

Fig. 2 – La scheda US di Fig. 1 convertita in XML e visualizzata con Internet Explorer.

cheologici (*Syslat*: LATTARA 10), di una scheda ottenuta trasferendo i dati in un database gestito con Access, e del documento ottenuto mediante la marcatura con XML.

Non ci siamo soffermati a descrivere il documento XML, ma siamo convinti che il lettore non avrà avvertito la mancanza di una legenda. L'immediata trasparenza e comprensibilità dei documenti XML si deve, quasi in forma programmatica, alla definizione stessa di XML (*documents should be human-legible and reasonably clear*, W3C 2000, 1.1): vantaggio non di poco conto rispetto ai formati proprietari di archiviazione dei database.

L'uso di un database per trarre conclusioni di carattere archeologico interrompe la sequenza logica della catena deduttiva e ne impedisce – almeno sul piano del metodo – la ripercorribilità e verificabilità. Se infatti una sequenza di affermazioni, tutte debitamente documentate con evidenze materiali, passano a un certo punto attraverso la *black box* dell'elaborazione con un DBMS, solo chi ha accesso ai dati e possiede il software adatto potrà verificare la correttezza della deduzione; tutti dovranno comunque fidarsi di Microsoft o di Oracle per la correttezza degli algoritmi utilizzati. Trattandosi

US 10033						
US	10033	settore	2	Coordinate	Z:5.66-5.40	Pendenza est
Tessitura		Struttura		Colore		Inclusioni
Rischio intras.		Prelievi terreno		Materiali	Pierre: moellon tuf retouché	Dimensioni long.obs:590/ larg.max:60/ haut.min:60/ haut.max:90/ haut.min.40
Tipo di US	structure battie de type indéfini				Tipologia	COSTR
RELAZIONI STRATIGRAFICHE						
Uguaglianza	10227_1033			Equivalenza	10023	
Sopra	10039_10194_10195_10294_10296					
Sotto	10022_10043_10321_1038_1071_1080_1082_1084_1115_1128					
Trasferimento	1033	Fatto	SB10033	Insieme	RMP10171	Anno 1994
Posizione	initiale est>ouest	Traoce		M.in opera	Technique: pierre sèche; liant: terre indifférencié; appareil assisé; disposition: de chant	Fase
Finita		Ridotta		Prelievi		Oggetti
DESCRIZIONE - INTERPRETAZIONE						
Descrizione	Tratto di struttura muraria rinvenuta nella fascia meridionale del settore, immediatamente a N delle US10022 e 10043. Costruita con scoglie di tufo allettate entro terra. Si distingue l'esistenza di filari del tutto irregolari, costituiti da scoglie di tufo di dimensioni variabili (scoglie di tufo giallo h.max.0.28; h.min.0.12; largh. max.0.75; largh.min.0.18; spess.max.0.32; spess. min. 0.20) legate da terreno friabile, limoso, misto a tagliame di tufo e piommi di piccole dimensioni. Non si distingue la presenza di letti di terre regolari tra un filare e l'altro, quanto piuttosto di scoglie di tufo di piccole dimensioni utilizzate come inzeppature. La struttura sul lato S è coperta dalle US 10022 e 10043 che le si appoggiano. Sul lato nord ha una faccia più o meno regolare e le scoglie di tufo presentano una faccia sbazzata più regolarmente nonostante su questo lato fosse costruita contro lo strato del terrapieno US 10033. Nel tratto in esame la struttura è tagliata da tre buchi: da W dalle 1004, 1038, 1071. L'elevato è stato rasato a due quote differenti, probabilmente in seguito a due interventi di distruzione differenti. La struttura attualmente è stata asportata.					
Interpretazione	Si è ipotizzato che la struttura SB 10033 (US 10033 =US10022) costituisca il rifacimento d'età ellenistica della struttura più antica SB10103. Come questa doveva essere costruita in adesione alla faccia interna della cortina interna della cinta muraria di seconda fase (non rinvenuta). Essa doveva costituire una sorta di antitema interno della cortina muraria, a contenimento degli strati del terrapieno centrale.					
DOCUMENTAZIONE GRAFICA						
Sezioni	1S146			Piante	1P63_CU-T41_CU-T93_CU-T64	

Fig. 3 – La scheda in XML tradotta in HTML e visualizzata in ambiente WEB.

di software proprietario e coperto dal segreto industriale, non è infatti possibile – a prescindere dalla competenza – verificarlo direttamente.

Questioni di lana caprina, si dirà, ma l'Unione Europea sta iniziando a prendere in seria considerazione il problema e ha proposto di considerare il software *Open Source*, cioè il software di cui gli autori rendono disponibili pubblicamente i sorgenti: si vedano ad esempio i documenti relativi al Free Software del V programma quadro (...one of the top level priorities of the IST programme for 2001 is 'to foster the development and use of open source software'..., IST 2001). Quindi non solo risparmio – il software *Open Source* è infatti gratuito – ma anche affidabilità e fiducia: di cosa ci si può fidare di più, infatti, di quello che si può verificare direttamente? Il prezzo da pagare è, per ora, la maggiore scomodità di prodotti che non sono supportati da un'organizzazione commerciale, ma stanno già nascendo i primi progetti che si propongono di verificare l'utilizzabilità del software *Open Source* per le applicazioni archeologiche, di suggerirne l'impiego e di corredarlo della necessaria documentazione e di strumenti formativi.

Occorre dunque una competenza specifica – né solo informatica, né solo archeologica – per individuare la soluzione corretta; naturalmente, occorre prima di tutto analizzare criticamente la correttezza della soluzione più semplice e più diffusa, che probabilmente conserva validità operativa nella maggior parte dei casi, ma non nella totalità.

3. L'INFORMATICA DEL GEOGRAFO: I GIS

Abbiamo già espresso il nostro punto di vista nel dibattito sull'uso dei GIS in archeologia, sottolineando come le domande sul nesso fra GIS e teoria archeologica e sull'impatto della tecnologia GIS sulla ricerca archeologica aspettino ancora una risposta finale (CRESCIOLI, D'ANDREA, NICCOLUCCI 2000). Tuttavia, proprio l'ampia proliferazione di applicazioni a connotazione spaziale nell'ambito del settore della *landscape archaeology* ha stimolato l'avvio di una riflessione sulla correttezza e adeguatezza delle soluzioni informatiche adoperate in modo particolare nel settore delle analisi dei paesaggi (WHEATLEY, GILLINGS 2000).

La consapevolezza dell'esistenza di alcuni nodi irrisolti dietro l'elaborazione di modelli a più parametri è stata da tempo opportunamente presa in considerazione, ma essa è stata limitata all'attenzione sugli aspetti interpretativi di un paesaggio ricostruito in multiple viste e non a quelli che chiameremo tranelli matematici. Una volta generato un modello 3D, esso costituisce la base per ricostruire una relazione (non puramente geometrica) tra un territorio e le diverse componenti culturali che in questo spazio vivono e si muovono. Spesso la critica ai modelli 3D si è limitata ad evidenziare l'assenza, nel processo di elaborazione dei paesaggi, di qualsiasi informazione sull'ambiente fisiografico antico; e non sempre le indagini paleoambientali risultano sufficienti per garantire la fedeltà di una ricostruzione.

Nel riprodurre in forma naturalistica un paesaggio multidimensionale nel quale simulare l'attività di agenti, si è però rimosso un punto a nostro avviso altrettanto importante e tale da compromettere l'intero processo ricostruttivo. Dietro le illusioni ottiche dei modelli tridimensionali esistono molte soluzioni matematiche in grado di rappresentare la realtà in 3D senza però riprodurla esattamente. Se il paesaggio ricostruito, antico o moderno che sia, non è la riproduzione della struttura fisica del territorio, ma soltanto un modello matematico-statistico che elabora la geometria e la topologia dei suoi elementi strutturali, dobbiamo interrogarci su come questo modello virtuale tridimensionale venga generato prima di analizzarne il suo impiego.

In un altro contributo abbiamo sottolineato come non possa essere ignorato il semplice fatto che dietro l'elaborazione e l'analisi dello spazio tridimensionale si nasconda un procedimento matematico (D'ANDREA, NICCOLUCCI, VANNINI c.s.) e che pertanto l'interesse degli studiosi non debba limitarsi ad

esplorare i mondi digitali ricostruiti, ma anzi debba estendersi alle forme ed alle modalità di elaborazioni dei modelli virtuali. Se ogni ricostruzione è condizionata da una pluralità di fattori quali la base di dati, la scala, le variabili (si vedano su questo punto le osservazioni di LOCK, HARRIS 2000, XVIII-XXI), che possono a loro volta influenzare profondamente gli algoritmi adoperati per generare ambienti 3D, è chiaro che ciascun modello non è la riproduzione della realtà fisica, ma solo una delle possibili varianti dipendenti dal set di dati e dalle procedure matematico-statistiche impiegate. Quali sono allora gli strumenti che possiamo utilizzare per validare i nostri modelli senza cadere nel tranello matematico?

La rappresentazione in forma digitale della superficie continua del terreno si ottiene, com'è noto, partendo da una matrice di punti noti. Per completare le parti mancanti si ricorre ad un procedimento matematico-statistico, denominato interpolazione, che ricostruisce la quota in un punto qualsiasi sulla base delle coordinate (x, y, z) dei vertici noti. L'ampia presenza di software esistente sul mercato commerciale consente di elaborare modelli 3D dai toni di grigio, dalla interpolazione di punti o contorni sia vettoriali che raster, dalle riprese stereoscopiche fotogrammetriche. L'approccio tipicamente software si è ulteriormente allargato con la disponibilità di strumenti come il GPS che possono giungere ad acquisire vertici tridimensionali con margini di errori contenuti nei centimetri e nei millimetri sia per quanto riguarda le coordinate geografiche che le quote altimetriche. Ogni procedura produce soluzioni differenti nella creazione della terza dimensione.

Abbiamo già descritto in un precedente articolo la funzione di alcuni principali metodi di interpolazione; in questa sede riprenderemo solo alcune delle riflessioni già espresse sottolineando attraverso due casi di studio i rischi connessi ad un'errata considerazione del rapporto tra base di dati topografici e modelli ricostruiti (D'ANDREA, NICCOLUCCI, VANNINI c.s.).

Tra i principali metodi di interpolazione figura il TIN (Triangulated Irregular Network) che appartiene al gruppo dei modelli che rispettano i punti noti. Il terreno è rappresentato come composto da facce triangolari, piane o curve, che uniscono i vertici. Alla stessa tipologia appartiene il metodo detto delle superficie spline cubiche che utilizza quote passanti per i punti noti. Anche se poco adoperato in campo archeologico (ad esempio VERHAGEN 1996), la procedura è familiare per la presenza delle curve spline cubiche nei programmi di grafica vettoriale di larga diffusione. Altri metodi costruiscono una superficie che non passa necessariamente per le coordinate note restituendo un terreno "virtuale" con un andamento più dolce. Tra questi segnaliamo l>IDW (Inverse Distance Weighting) e le sue varianti, che tendono ad eliminare taluni effetti indesiderati, ed il metodo detto di kriging che ipotizza che la quota di ogni punto del terreno sia composta da un trend costante, una componente aleatoria, ma correlata spazialmente, e un rumore casuale.

Tutti i software GIS dispongono di funzioni necessarie ad eseguire ognuno dei modelli sopra descritti, previa impostazione di alcuni parametri. Ciascun metodo però è affetto da diversi tipi di errore, che vanno da quelli relativi ai dati e al disallineamento dei punti (analizzato ad esempio in WOOD 1996), a quelli derivanti dalla distribuzione dei punti noti.

Pur ammettendo che l'uso dei modelli tridimensionali in archeologia sia corretto e fondato su solide basi teoriche, in che modo possiamo affermare che il modello ricostruito sia corretto, oggettivo e neutrale? Si sceglie un metodo perché lo si ritiene il più idoneo o solo perché è a portata di click nel software che si utilizza? La scelta del procedimento di interpolazione, come si può facilmente immaginare, non è neutrale; tuttavia numerosi autori non si soffermano ad analizzare questi aspetti e i rischi che possono essere nascosti nei modelli tridimensionali.

Mentre in campo geografico già nel 1991 (WEIBEL, HELLER 1991) si descrivono i possibili errori nella creazione del DEM e si suggeriscono strumenti di valutazione, ancora nella metà degli anni Novanta, e in un testo importante come quello di LOCK e STANČIČ (1995), la situazione è differenziata. Infatti si va dal saggio di FORTE (1995) in cui, pur segnalando la modesta differenza globale di quota del caso di studio e quindi il possibile elevato errore relativo, non si indica il metodo seguito, a quello di GILLINGS (1995) in cui si discutono ampiamente i parametri del modello impiegato (nella fattispecie il TIN) ed a quello di WANSLEEBEN e VERHARTR (1995) che segnalano l'esistenza di un ampio dibattito (evidentemente non a tutti noto) in merito ai problemi connessi con la scelta di un metodo piuttosto che un altro.

Negli anni seguenti la situazione resta differenziata: ad esempio non si descrive il modello in PARCERO-OUBIÑA (1999) oppure in FORTE, MOZZI e ZOCCHI (1998), FORTE, MONTEBELLI e TUSA (1998), mentre in VAN LEUSEN (1999) viene nuovamente ribadito l'impatto potenziale del modello di DEM prescelto sulle conclusioni di carattere archeologico all'interno di un articolato esame dei modelli di visibilità e in NACKAERTS, GOVERS e LOOTS (1999) vengono addirittura proposti metodi statistico-probabilistici per simulare l'errore del DEM e intervenire conseguentemente.

Finalmente, nel volume *Beyond the Map* (LOCK 2000) l'argomento della valutazione degli errori nei DEM diventa centrale, questa volta per tutti. WHEATLEY e GILLINGS (2000) presentano un'analisi dettagliata dei problemi connessi con le differenti procedure di interpolazione adoperate per l'elaborazione del DEM, segnalando che si sono verificate variazioni anche del 50% causate dall'uso di algoritmi diversi; senza argomentazioni gli autori suggeriscono che nelle applicazioni di visibilità il metodo TIN risulta preferibile (su questo metodo si veda anche CHAPMAN 2000). Una lista di possibili modelli di interpolazione è proposta da M. Forte il quale sostiene che "si possono ottenere nuove prospettive analitiche del paesaggio archeologico combinando

diversi tipi di interpolazioni di DEM e cambiando i dettagli del modello e la risoluzione” (FORTE 2000, 200). Dei metodi elencati, tuttavia, soltanto il TIN e Grid interpolation sono stati utilizzati nelle applicazioni archeologiche.

In un saggio dedicato interamente all'analisi dell'errore nei DEM, HAGEMAN e BENNET (2000) hanno approfondito, nel contesto dei modelli predittivi, i problemi connessi alla creazione dei modelli tridimensionali, illustrando però soltanto con dati geografici reali il confronto tra modelli diversi. Due sono le domande fondamentali affrontate nel saggio:

- esiste un “miglior” algoritmo di interpolazione in senso assoluto?
- quali criteri possiamo adoperare per scegliere l'algoritmo più efficace per lo specifico problema?

Alla prima domanda, la risposta è negativa. Nessun algoritmo è infatti migliore degli altri indipendentemente dall'applicazione, dai dati disponibili e dal grado di approssimazione desiderato. E' altrettanto certo che per ridurre i rischi non sia corretto produrre un mix di metodi diversi: semmai si possono confrontare “visivamente” diverse ricostruzioni con il terreno reale per verificare, in modo autoptico, il grado di fedeltà riprodotta: simulare differenti interpolazioni non produce nuova conoscenza, ma solo confusione e come ci ricorda Bacone *la verità nasce dall'errore e non dalla confusione*.

La scelta del metodo più idoneo alla nostra elaborazione è sicuramente influenzata da vari parametri:

- la regolarità delle rete dei punti acquisiti: ad esempio il kriging richiede una rete regolare per funzionare meglio;
- le caratteristiche morfologiche del terreno: il TIN risponde meglio per terreni accidentati, con pendenze ripide e fianchi scoscesi, oppure nelle applicazioni in cui un'elevata fedeltà di riproduzione di picchi e creste è determinante, come nelle analisi di visibilità ed inter-visibilità.

ROBINSON e ZUBROW (1999), evidenziando la necessità di una piena comprensione in campo archeologico del modello di interpolazione utilizzato per la costruzione del DEM, hanno sperimentato diverse procedure di interpolazione (TIN, TIN quintica, interpolazione quintica senza triangolazione e kriging) su quattro superfici artificiali campione: tre di esse presentano forti variazioni di pendenza, mentre la quarta è pianeggiante. I punti su cui applicare i diversi metodi di interpolazione sono stati generati casualmente attraverso la costruzione di poligoni o di una griglia di celle. I risultati sono illustrati da una serie di grafici che riportano il coefficiente di correlazione fra superficie interpolata e superficie “reale” e l'errore, rispetto al numero di poligoni o celle.

Pur essendo un articolo estremamente chiaro e preciso, in particolare nel descrivere le “condizioni di laboratorio” in cui il test è stato condotto,

non crediamo che le conclusioni debbano essere automaticamente accettate: sarebbe certo più interessante eseguire un test analogo su terreni reali, magari “tipici” di determinate situazioni archeologiche. Le superfici utilizzate per il test sono invece troppo artificiali perché i risultati di quest'ultimo appaiano sufficientemente convincenti, oltretutto se confrontati con un caso reale come quello esaminato da HAGEMAN e BENNET (2000), che giungono a conclusioni esattamente opposte. Se lo scopo dell'articolo è, come dichiarato, di esaminare casi di pertinenza dell'archeologia, va segnalato che in nessuna condizione reale ci si imbatte in terreni simili alle superfici di test, che assomigliano alla superficie del mare più o meno in tempesta o, come gli autori stessi la definiscono, a una scatola porta-uova.

Un esempio di accurata analisi dei diversi modelli di DEM riferita a un indagine archeologica è contenuta nell'articolo di FARINETTI e SIGALOS (c.s.). Gli autori, descrivendo il GIS intra-site da loro predisposto per il sito di Tanagra, confrontano le diverse soluzioni possibili, individuando quella che, per le caratteristiche morfologiche del terreno, risulta la più adatta a rappresentarlo. Si tratta quindi di un approccio misto teorico-euristico che è probabilmente il più efficace.

L'analisi dell'errore di cui sono affetti i modelli matematico-informatici utilizzati nei GIS è quasi del tutto assente dalla letteratura archeoinformatica, a ulteriore riprova del più volte segnalato atteggiamento acritico nei confronti degli strumenti. Un'eccezione significativa è costituita dalla ricerca svolta da un'équipe dell'Institute for Mediterranean Studies del FORTH (TOPOUZI *et al.* c.s.) che analizza in dettaglio l'errore strumentale introdotto nella georeferenziazione di siti archeologici dall'uso del GPS. La presenza di numerosi grafici e tabelle, che analizzano l'errore nella determinazione delle coordinate in funzione della distanza fra le due stazioni di un DGPS e del tempo di acquisizione, pongono le basi per indagini simili in zone geografiche diverse; i diagrammi possono costituire in tal modo un riferimento per una valutazione della precisione dello strumento in indagini archeologiche, sia pure con i limiti derivanti dalla forte correlazione fra valori trovati e posizione geografica dei siti che è connessa con la dipendenza di tali risultati dalla visibilità dei satelliti.

Per illustrare i rischi connessi all'elaborazione dei modelli tridimensionali riportiamo due esperienze sviluppate dagli autori in collaborazione con altri colleghi all'interno di due progetti di ricerca.

Il primo caso riguarda il modello tridimensionale dell'antica città di Cuma, sviluppato per evidenziare le eventuali correlazioni tra il circuito murario dell'antica colonia greca e la morfologia del terreno (COLOSI *et al.* c.s.). Il modello è stato ricostruito utilizzando una base aereo-fotogrammetrica vettoriale realizzata in scala 1:1.000 con curve di livello, acquisite alla distanza di 1 m, comprese tra 0 e 119 m s.l.m. Dal file dxf che ricopre un'area di

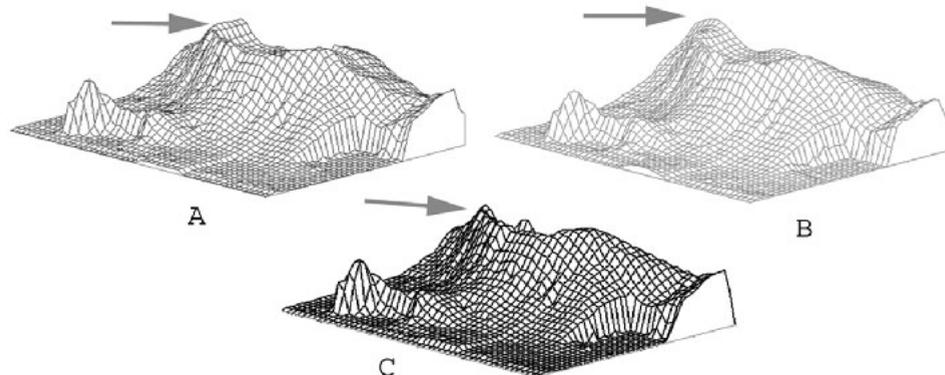


Fig. 4 – Differenti metodi di interpolazione adoperati con il programma Surfer per l'elaborazione del modello tridimensionale dell'area di Cuma; le frecce indicano alcune evidenti difformità tra i modelli ricostruiti. A) metodo kriging; B) metodo minimum curvature; C) metodo TIN.

1,43 Km² sono stati estrapolati i vertici di circa 750.000 nodi ottenendo in questo modo un file di testo contenente una matrice di punti (x, y, z). Con differenti algoritmi di interpolazione sono stati elaborati diversi modelli tridimensionali. Una prima elaborazione è stata eseguita con Surfer (Fig. 4). Un secondo modello è stato ottenuto con IDRISI: tuttavia in questo caso non è stato possibile eseguire direttamente l'elaborazione del 3D senza il passaggio intermedio con Surfer, in quanto IDRISI può elaborare solo (!) 16.000 punti (Fig. 5). Un terzo trattamento è stato realizzato con ArcView che tuttavia dispone nella versione 3.1 soltanto del metodo TIN per la creazione del DTM (Fig. 6).

I risultati ottenuti con questi differenti software ed algoritmi possono essere facilmente comparati. Solo una verifica 'autoptica' dei diversi modelli potrà a nostro avviso validare la ricostruzione elaborata. Ad ogni modo sembra necessario dover prevedere un infittimento della maglia in alcune zone particolarmente ripide e sconnesse.

Il secondo caso di studio esaminato riguarda il modello tridimensionale del castello crociato di al-Wu'ayra a Petra (Giordania) elaborato per indagare la relazione tra la complessa conformazione orografica su cui sorge il castello e lo sviluppo dell'apprestamento militare (Fig. 7). La situazione morfologica dell'area, caratterizzata da forti discontinuità altimetriche, non consentiva di produrre un modello tridimensionale ricorrendo a strumenti di tipo tradizionale, né si disponeva di planimetrie eseguite con sufficiente precisione. Pertanto è stata sperimentata una campagna topografica con il DGPS in modalità cinematica al fine di ottenere una fitta matrice di punti relativi alla superficie del terreno (D'ANDREA *et al.* c.s.). I dati acquisiti sono stati successivamente elaborati con il metodo TIN di ArcView: i risultati raggiunti sono

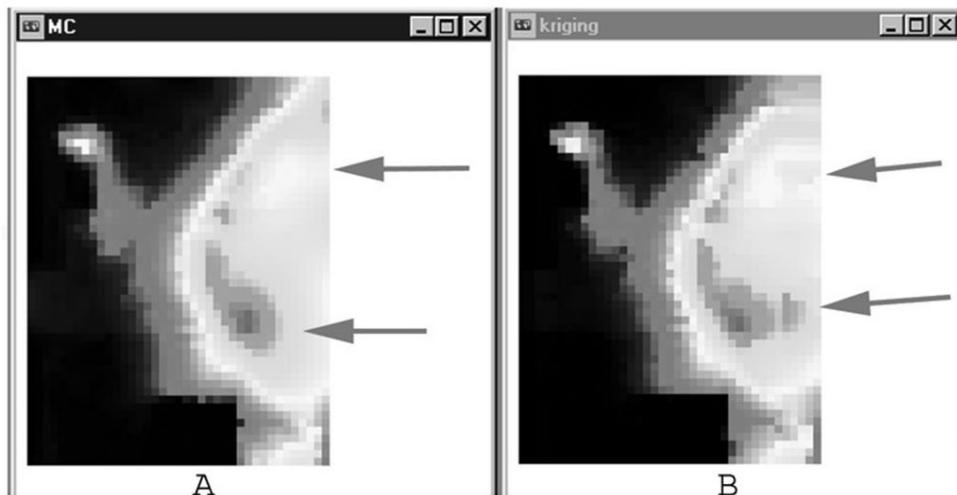


Fig. 5 – Due esempi di interpolazione per la ricostruzione del DEM di Cuma. Programma IDRISI: le frecce indicano le diversità tra i modelli ricostruiti. A) metodo minimum curvature; B) metodo kriging.

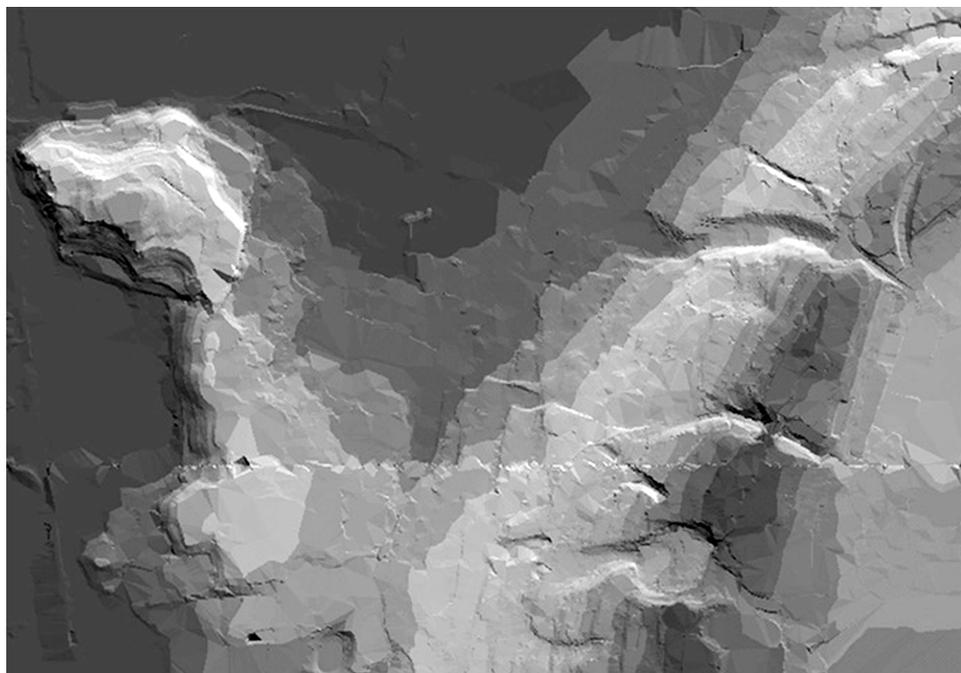


Fig. 6 – Il DTM di Cuma ricostruito con il programma ArcView. Per l'interpolazione è stato adoperato il metodo TIN.

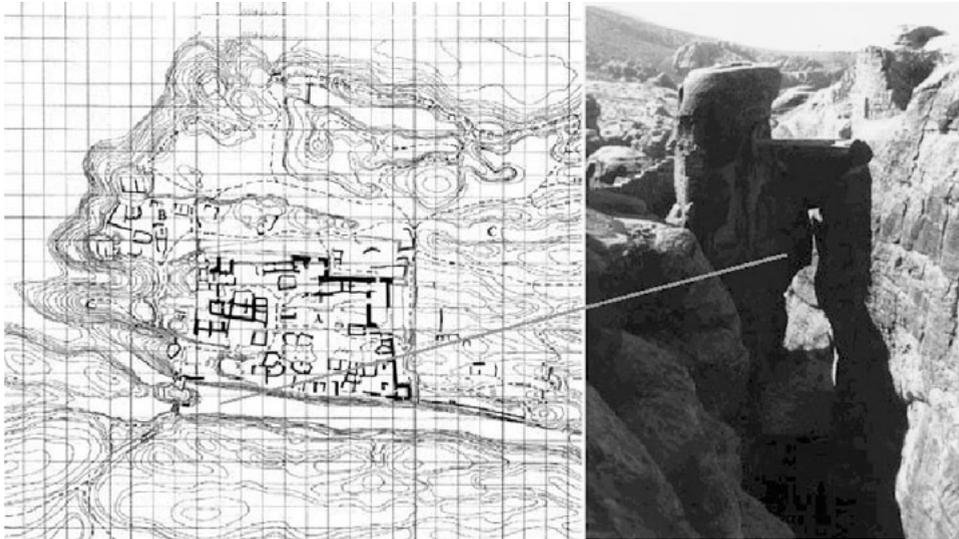


Fig. 7 – Il castello crociato di al-Wu'ayra a Petra in Giordania. A sinistra pianta dell'area; a destra un particolare dell'accesso al sito fortificato.

estremamente significativi soprattutto se si confronta in alcuni dettagli l'accuratezza del modello ricostruito con la ripresa fotografica dell'area (Fig. 8).

Le esperienze realizzate ci hanno indotto a formulare l'ipotesi che nell'elaborazione dei modelli 3D devono essere considerati molteplici fattori tra cui i modi di acquisizione dei punti (estrapolazione, misurazione diretta) e gli algoritmi di interpolazione e che non è né l'ampiezza, né la regolarità delle quote a fornire una maggiore accuratezza al modello. Va inoltre considerato che esiste un legame tra quote processate, algoritmo prescelto e soprattutto complessità della superficie da ricostruire.

Occorre quindi da un lato la consapevolezza delle ipotesi matematico-statistiche assunte implicitamente da ciascuno dei modelli sopra ricordati, per verificare se esse siano a priori verificabili nel caso in esame; dall'altro un'analisi, anche empirica, della rispondenza del modello proposto con il contesto degli obiettivi della ricerca archeologica in cui esso viene utilizzato. Prospettare diverse alternative ha un senso se le si argomenta criticamente, altrimenti il rischio della moltiplicazione dei modelli è quello di aggiungere soltanto confusione, compromettendo qualsiasi risultato scientifico e offrendo al contrario un quadro dell'archeologia computazionale che, a dispetto della potenza delle tecniche impiegate, sembra incapace di proporre un coerente percorso metodologico.

Dunque è necessaria una competenza mista, interdisciplinare, consapevole delle due facce del problema, quella algoritmica e quella archeologica,

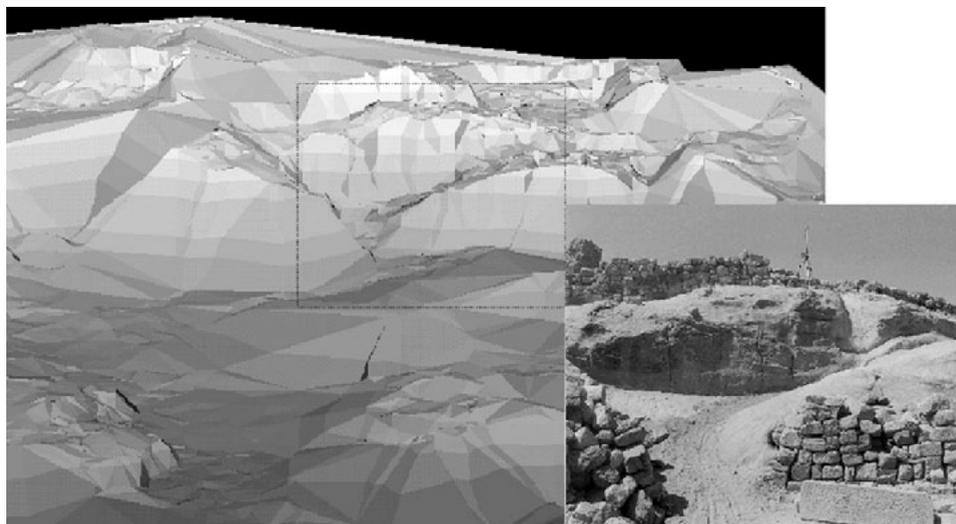


Fig. 8 – Particolare del DTM relativo alla parte interna del Castello (Cassero). I vertici quotati sono stati acquisiti con il DGPS in modalità cinematica. L'elaborazione del modello tridimensionale è stata eseguita con il programma ArcView (metodo TIN). Nel riquadro si può confrontare il modello tridimensionale con l'immagine fotografica della rampa di accesso alla terrazza superiore del Cassero.

così intimamente correlate, per individuare la soluzione più attinente allo specifico problema archeologico e rendersi conto delle implicazioni archeologiche di ciascuna delle possibili scelte matematico-statistiche.

4. L'INFORMATICA DELL'INGEGNERE: LA REALTÀ VIRTUALE

Accade talvolta che un'argomentazione logica apparentemente stringente e basata su dati di fatto porti a conclusioni completamente difformi dalla realtà; è questo il caso dell'uso della Realtà Virtuale e delle tecniche di rappresentazione dimensionale in archeologia.

Se la stragrande maggioranza delle indagini archeologiche (ad eccezione magari dei micro-controesempi citati in HODDER 1999, 9) riguarda la descrizione/interpretazione /ricostruzione del passato nella sua spazialità, quindi partendo da fonti materiali e producendo risultati in termini di spiegazione di oggetti, spazi, ambienti e territorio, ci si aspetterebbe che uno strumento come la grafica tridimensionale, finalizzato ad aiutare quell'“esercizio dell'immaginazione creativa”, che secondo Renfrew (RENFREW, BAHN 1996, 11) è una delle tre componenti dell'attività archeologica insieme alla scoperta dei tesori del passato e alla meticolosa analisi dello scienziato, fosse grandemente apprezzato sia come strumento di documentazione durante la fase di analisi, sia come strumento di riflessione durante il lavoro di sintesi sia, infine,

come aiuto per la comunicazione scientifica e quella rivolta al grande pubblico. Né la tecnologia dovrebbe spaventare più di tanto: fa parte infatti nella tradizione della ricerca archeologica la rapida assimilazione delle scoperte tecnologiche, dall'uso della fotografia come strumento di documentazione, a quello dei raggi X, dalle tecniche di prospezione geofisica alla datazione con il C¹⁴.

Nonostante ciò un senso di estraneità relega, spesso a ragione, le rappresentazioni tridimensionali ad un ruolo didattico e divulgativo nella migliore delle ipotesi, di inutile video-game nella peggiore. Insomma la grafica tridimensionale conferma, nel sentire comune degli archeologi, un senso di estraneità alla disciplina sia per l'estremo tecnologismo della maggioranza delle sue applicazioni sia per l'apparente carenza di senso storico che le connota. Spesso sono enfatizzati gli aspetti spettacolari (il cosiddetto fotorealismo), la rapidità ed efficienza con cui vengono creati i diversi scenari che accompagnano le passeggiate virtuali, le prestazioni di hardware e software, la performance piuttosto che la cognitività.

Insomma, le applicazioni di grafica computerizzata e di Realtà Virtuale sono percepite come "engineer's computing" e in quanto tali bollate come estranee alla ricerca archeologica. A questo riguardo l'atteggiamento più diffuso è opposto rispetto a quello che si verifica nei confronti delle applicazioni GIS o dell'uso dei database: per questi ultimi acritica accettazione, per la Realtà Virtuale acritico rifiuto. Va detto che, naturalmente, a livello personale non mancano le sfumature rispetto a questa necessariamente schematica descrizione, e che ci stiamo riferendo a quella parte purtroppo largamente minoritaria che considera l'uso dei computer in qualche modo pertinente alla ricerca archeologica.

Accanto a questa repulsione motivata ma epidermica di gran parte degli archeologi sta sviluppandosi una corrente critica che propone dei correttivi a un'interpretazione completamente ingegneristica di questa tecnologia. Se nell'approccio di BARCELÓ (2000) la Realtà Virtuale "fornisce più risposte di quante domande noi siamo in grado di formulare" e va preferita una metodologia di "Realtà Aumentata" (BARCELÓ, in questo volume), nei contributi di RYAN (1996) si avverte la consapevolezza che l'anello mancante per congiungere definitivamente la grafica tridimensionale con i fondamenti della disciplina archeologica è alla portata della tecnologia esistente e se ne iniziano a tracciare i contorni. Numerosi altri autori hanno contribuito al dibattito, già dalla metà degli anni Novanta fino a tempi più recenti (per una rassegna si veda NICCOLUCCI c.s.): ci limiteremo qui a richiamarne alcuni fra i più significativi.

Anche se MILLER e RICHARDS (1995) segnalavano già nella CAA1994 che la molla propulsiva di molte ricostruzioni era di dimostrare la potenza del software, da parte di molti "ingegneri" e di qualche archeologo si continua a porre l'accento sulla tecnologia più che sull'efficacia archeologica, spesso

del tutto assente (o tutt'al più nebulosamente celata dietro un presunto apporto cognitivo di un qualunque modello grafico).

Anche il rischio di comunicare una sola ricostruzione, ignorando le altre molteplici possibili alternative, era segnalato nel suddetto articolo di sei anni fa e ripreso da ROSS (1996) e da RYAN (1996). Quest'ultimo ritorna più volte sull'argomento, dimostrando con le ricostruzioni di Canterbury come sia possibile raggiungere tali obiettivi parametrizzando la ricostruzione rispetto al tempo e ad alcune caratteristiche di base (nella fattispecie, l'altezza e il numero di posti del teatro romano di Canterbury). Sempre nella scuola inglese, pur così pragmatica, non mancano altri contributi critici, fra cui quelli di GILLINGS (2000) e GOODRICK, GILLINGS (2000): nel primo contributo si dimostra come il VRML possa essere utilmente impiegato per semplificare la creazione di ricostruzioni virtuali (componentizzazione, si direbbe in termini tecnici) e si conclude che pur essendo il foto-realismo l'approccio dominante nelle applicazioni di VR, potrebbe dimostrarsi il meno utile in campo archeologico; nel secondo contributo, apparso in un contesto fortemente critico delle applicazioni informatiche, gli autori concludono che la VR è sotto-teorizzata e avvolta in una foschia opaca di ambiguità e rappresentazione scorretta di se stessa, pur conservando un forte potenziale esplicativo e di ricerca, forse per l'ambiguità della stessa denominazione che suggerisce il concetto di realtà, presente o passata, laddove questo è del tutto improprio.

In conclusione, da un lato si iniziano ad esplorare le nuove frontiere del web, come X3D, il linguaggio di marcatura della famiglia XML destinato a sostituire il VRML e dotato di caratteristiche di modularità, trasparenza e componentizzazione che ne fanno il candidato ideale per un uso archeologico (CANTONE c.s.; NICCOLUCCI, CANTONE c.s.; RYAN, in questo volume); dall'altro lato si enunciano i requisiti – o almeno si sottolinea la necessità di enunciare i requisiti – che dovranno avere le tecniche di Realtà Virtuale per consentire un corretto uso archeologico (per il gruppo che ha proposto CVRO “Cultural Virtual Reality Organization”, cfr. FRISCHER *et al.* c.s.): e soprattutto un approccio filologico con la conseguente creazione di un codice di comunicazione, ma anche strumenti di validazione e protocolli di standardizzazione. Anche importanti progetti come quello in corso all'Università di Tübingen (JABLONKA, SERANGELI c.s.) su Troia prendono in esame, fino dall'impostazione progettuale, la necessità di comunicare l'affidabilità della ricostruzione, in questo caso usando uno strumento semplificato come un “indicatore di probabilità”, vista la destinazione prevalentemente comunicativa del prodotto.

Sembrerebbe quindi che sei anni di analisi critica dell'uso della Realtà Virtuale abbiano raggiunto l'obiettivo: invece, le statistiche non sono confortanti.

Restando in questo caso a livello di criteri di classificazione del tutto personali e quindi, naturalmente, discutibili, delle sedici comunicazioni pre-

sentate nella sessione di Realtà Virtuale alla CAA2001 solo due prendevano in qualche misura in considerazione gli aspetti critici sopra ricordati, sei affrontavano temi particolari o settoriali e quindi sfuggivano a una classificazione mentre le restanti otto, relative a progetti più “tradizionali” di Realtà Virtuale, non accennavano minimamente, neppure per giustificarne l'assenza, alle problematiche sopra ricordate sebbene gli autori fossero in maggioranza archeologi. Anche se si dovrà aspettare la pubblicazione degli atti per esprimere un giudizio definitivo, gli atti della precedente CAA2000 non inducono all'ottimismo, almeno sotto questo punto di vista; ancora peggiore la situazione di altri convegni dedicati a questi temi, dove non di rado i team che realizzano modelli archeologici tridimensionali non coinvolgono a pieno titolo nessun archeologo.

Il lavoro da fare in questo campo interessa prima di tutto la tecnologia (NICCOLUCCI, CANTONE c.s.). Si tratta infatti di approntare degli strumenti software che:

- consentano un approccio filologico, ad esempio varianti, ricostruzioni alternative, affidabilità e altri attributi degli elementi;
- siano trasparenti e evitino l'“effetto nebbia del codice”, cioè quell'effetto per il quale i risultati e i concetti archeologici vengono nascosti dalla complessità del software che diventa, da mezzo, il fine dell'attività;
- permettano una facile modifica dei modelli attraverso un'interfaccia utilizzabile anche da utenti non tecnici;
- permettano la creazione di librerie archeologiche con componenti standard da utilizzare per un più efficiente assemblaggio dei modelli (ad esempio texture, parti architettoniche, ecc.);
- garantiscano l'intercomunicabilità e l'integrazione fra modelli simili, ad esempio fra quelli relativi a edifici contigui;
- siano integrabili con archivi, prevalentemente alfanumerici, in modo da consentire ricerche su entrambi, così come accade per i GIS in cui si possono selezionare oggetti sulla base dei loro attributi alfanumerici e, contemporaneamente, sulla base di attributi spaziali (si vedano a questo proposito iniziative per ora a livello parziale o sperimentale ma di grande interesse come quelle descritte in CLARKE *et al.* c.s.; VOTE *et al.* c.s.);
- posseggano un editor grafico facile.

Dall'altra parte occorre invece proporre un'attività più legata all'archeologia: definire i criteri di validazione, individuare i codici di comunicazione, definire per il disegno digitale tridimensionale un set di regole che estendano, adattandole al nuovo medium, quelle già esistenti per il disegno tecnico archeologico. Infine, accettare anche questa tecnica fra quelle normalmente utilizzate nella ricerca.

La tecnologia odierna non può soddisfare tutte queste richieste subito, ma si aprono già prospettive interessanti (RYAN, in questo volume): si tratta di iniziare a percorrerle o quanto meno di inserire la valutazione critica fra i requisiti di un lavoro di ricerca, con la stessa imprescindibilità della bibliografia e dell'abstract.

5. CONCLUSIONI

Esiste oggi un'autonomia disciplinare per l'archeologia computazionale al pari di altri settori specialistici orientati all'approfondimento di particolari contesti articolati sia in senso cronologico che geografico (ad es. l'Archeologia Preistorica, Classica, Greca, Romana, Medioevale, Pre-islamica, l'Etruscologia, l'Archeologia Orientale, l'Egittologia, etc.)? Oppure tutta l'archeologia approderà in futuro verso nuovi scenari integralmente digitali attraverso una progressiva appropriazione dei metodi informatici? Non sappiamo se esista un'informatica archeologica o, se preferite, un'archeologia informatica e forse non è neppure importante. Noi abbiamo provato a enunciare alcune ipotesi di lavoro e una prima lista di requisiti per trasformare l'informatica altrui, del ragioniere, del geografo o dell'ingegnere, in un'informatica dell'archeologo, con la sola ambizione di provocare reazioni. Il maggior pericolo, secondo noi, non è il dissenso o la condanna, ma il silenzio: dispiace, per citare solo un caso, che in un'importante raccolta di contributi sull'archeologia teorica (TERRENATO 2000) manchi il pur minimo accenno all'impatto di una tecnologia pervasiva come l'informatica sulla pratica e la teoria archeologica, argomenti che ad esempio sono oggetto di dibattito in apposite sessioni del *Theoretical Archaeology Group* (TAG).

ANDREA D'ANDREA

Istituto Universitario Orientale

FRANCO NICCOLUCCI

Università degli Studi di Firenze

Ringraziamenti

La missione archeologica a Petra in Giordania è diretta dal prof. Guido Vannini dell'Università di Firenze. I rilievi con GPS della superficie del Cassero sono stati eseguiti da Roberto Gabrielli (Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del CNR) e da Andrea D'Andrea.

Le indagini archeologiche a Cuma sono dirette dal prof. Bruno d'Agostino dell'Istituto Universitario Orientale di Napoli. Le ricostruzioni del DTM dell'area di Cuma sono state realizzate da Andrea D'Andrea sulla base di un recente rilievo aereo-fotogrammetrico messo gentilmente a disposizione dalla Soprintendenza Archeologica per le Province di Napoli e Caserta.

Le Figg. 6 e 7 sono riprese da D'ANDREA *et al.* c.s.

Si ringrazia il prof. Bruno d'Agostino per aver messo a disposizione l'archivio relativo ai recenti scavi di Cuma.

BIBLIOGRAFIA

- BARCELÓ J.A. 2000, *Visualizing what might be: An introduction to Virtual Reality techniques in archaeology*, in J.A. BARCELÓ, M. FORTE, D.H. SANDERS (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, Oxford, Archaeopress, 9-35.
- CANTONE F. c.s., *3D standards for scientific communication*, in CAA2001 - *Archaeological Informatics - Pushing the Envelope* (Gotland 2001), in corso di stampa.
- CANTONE F., NICCOLUCCI F. c.s., *New tools for Virtual Archaeology*, in *7th Annual Meeting European Association of Archaeologists (Esslingen am Neckar 2001)*, in corso di stampa.
- CHAPMAN H. 2000, *Understanding wetland archaeological landscapes: GIS, environmental analysis and landscape reconstruction; pathways and narratives*, in G. LOCK (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press, 49-59.
- CLARK J.T., BERGSTROM A., LANDRUM J.E.I., LARSON F., SLATOR B. c.s., *Digital archive network for anthropology (Dana): Three-dimensional modeling and database development for Internet access*, in NICCOLUCCI c.s.
- COLOSI F., D'ANDREA A., FRATTA F., GABRIELLI R. c.s., *The integration of different technologies to create a 3D model of Cumae (Naples)*, in NICCOLUCCI c.s.
- CRESCIOLO M., D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. 2000, *A GIS-based analysis of the Etruscan cemetery of Pontecagnano using fuzzy logic*, in LOCK 2000, 157-179.
- CRESCIOLO M., NICCOLUCCI F., D'ANDREA A. c.s., *XML encoding of archaeological unstructured data*, in CAA2001 - *Archaeological Informatics - Pushing the Envelope* (Gotland 2001), in corso di stampa.
- D'ANDREA A., GABRIELLI R., REALI E., TUCCI S., VERDE G. c.s., *Data acquisition and three-dimensional models of medieval castles: A comparison between two case-studies Rocca Ricciarda (Tuscany) and Wu'ayra (Petra, Jordan)*, in NICCOLUCCI c.s.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F. c.s., *Database di scavo ed Internet. L'accesso remoto all'archivio Syslat*, in *Atti della Giornata di Studio "Nuove forme di intervento per lo studio del sito antico di Cuma"* (Napoli 2001), in corso di stampa.
- D'ANDREA A., NICCOLUCCI F., VANNINI G. c.s., *"Landscape archaeology" e modelli 3D. Nuove metafore dello spazio, illusioni ottiche e tranelli matematici*, «GEOSTORIE, Bollettino e Notiziario del Centro Italiano per gli Studi storico-geografici», 10, 1, gennaio 2001, in corso di stampa.
- DATE C.J. 1986, *An Introduction to Database Systems*, Reading, Addison-Wesley.
- FARINETTI E., SIGALOS L. c.s., *Detailed topography and surface survey. What is the point?*, in CAA2001 - *Archaeological Informatics - Pushing the Envelope* (Gotland 2001), in corso di stampa.
- FORTE M. 1995, *Scientific visualization and archaeological landscape: The case study of a terramara, Italy*, in LOCK, STANČIĆ 1995, 231-238.
- FORTE M. 2000, *Archaeology and virtual micro-topography: The creation of DEMs for reconstructing fossil landscapes by Remote Sensing and GIS applications*, in LOCK 2000, 199-213.
- FORTE M., MONTEBELLI M., TUSA S. 1998, *Il progetto Valle del Belice: applicazioni GIS e di Remote Sensing su dati archeologici*, «Archeologia e Calcolatori», 9, 291-304.
- FORTE M., MOZZI P., ZOCCHI M. 1998, *Immagini satellitari e modelli virtuali: interpretazioni geoarcheologiche della regione del Sistan Meridionale*, «Archeologia e Calcolatori», 9, 271-290.
- FRISCHER B., NICCOLUCCI F., RYAN N.S., BARCELÓ J.A. c.s., *From CVR to CVRO: The past, present and future of Cultural Virtual Reality*, in NICCOLUCCI c.s.
- GILLINGS M. 1995, *Flood dynamics and settlement in the Tisza valley of north-east Hungary: GIS and the Upper Tisza project*, in LOCK, STANČIĆ 1995, 67-84.

- GILLINGS M. 2000, *Plans, elevations and virtual worlds: The development of techniques for the routine construction of hyperreal simulations*, in J.A. BARCELÓ, M. FORTE, D. H. SANDERS (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, Oxford, Archaeopress, 59-69.
- GOODRICK G., GILLINGS M. 2000, *Constructs, simulations and hyperreal worlds: The role of Virtual Reality (VR) in archaeological research*, in G. LOCK, K. BROWN (eds.), *On the Theory and Practice of Archaeological Computing*, Oxford, Oxford University Committee for Archaeology, Institute of Archaeology, 41-58.
- HAGEMAN J.B., BENNET D.A. 2000, *Construction of digital models for archaeological applications*, in K.L. WESTCOTT, R.J. BRANDON (eds.), *Practical Application of GIS for Archaeologists*, London, Taylor & Francis, 114-127.
- HODDER I. 1999, *The Archaeological Process: An Introduction*, Oxford, Blackwell.
- JABLONKA P., SERANGELI J. c.s., *TroiaVR: A Virtual Reality model of Troy and the Troad*, in *7th Annual Meeting European Association of Archaeologists (Esslingen am Neckar 2001)*, in corso di stampa.
- LATTARA 10 = PY M. (ed.) 1997, *Syslat 3.1. Système d'Information Archéologique. Manuel de référence*, Lattes.
- LOCK G. 2000 (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, Amsterdam, IOS Press.
- LOCK G., HARRIS T. 2000, *Introduction: Return to Ravello*, in LOCK 2000, XIII-XXV.
- LOCK G., STANČIĆ Z. (eds.) 1995, *Archaeology and Geographical Information Systems*, London, Taylor & Francis.
- MILLER P., RICHARDS J. 1995, *The good, the bad, and the downright misleading: Archaeological adoption of computer visualization*, in J. HUGGET, N.S. RYAN (eds.), *CAA94 - Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Oxford, Tempus Reparatum, 19-22.
- MOSCATI P., MARIOTTI S., LIMATA B. 1999, *Il "Progetto Caere": un esempio di informatizzazione dei diari di scavo*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 165-188.
- NACKAERTS K., GOVERS G., LOOTS L. 1999, *The Use of Monte-Carlo techniques for the estimation of visibility*, in L. DINGWALL, S. EXON, V. GAFFNEY, S. LAFLIN, M. VAN LEUSEN (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. Proceedings of the 25th CAA Conference (Birmingham 1997)*, Oxford, Archaeopress, 63-65.
- NICCOLUCCI F. c.s., *Virtual Archaeology. Proceedings of the VAST Euroconference (Arezzo, November 2000)*, Oxford, Archaeopress, in corso di stampa.
- NICCOLUCCI F., CANTONE F. c.s., *Legend and virtual reconstruction: Porsenna's mausoleum in X3D*, in *Web3D 2002 Conference - 7th International Conference on 3D Web Technology (Tempe, Arizona 2002)*, in corso di stampa.
- NICCOLUCCI F., D'ANDREA A., CRESCIOLI M. 2001, *Archaeological applications of fuzzy databases*, in STANČIĆ, VELJANOVSKI 2001, 107-115.
- PARCERO-OUBIÑA C. 1999, *Deconstructing the land: The archaeology of sacred geographies*, in L. DINGWALL, S. EXON, V. GAFFNEY, S. LAFLIN, M. VAN LEUSEN (eds.), *Archaeology in the Age of the Internet. Proceedings of the 25th CAA Conference (Birmingham 1997)*, Oxford, Archaeopress, 73-80.
- RENFREW C., BAHN P. 1996, *Archaeology. Theories, Methods and Practices*, London, Thames and Hudson.
- RICHARDS J., ROBINSON D. 2000 (eds.), *Digital Archives from Excavation and Fieldwork: A Guide to Good Practice*, Oxford, Oxbow Books.
- ROBINSON J.M., ZUBROW E. 1999, *Between spaces: Interpolation in archaeology*, in M. GILLINGS, D. MATTINGLY, J. VAN DALEN (eds.), *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology*, Oxford, Oxbow Books, 65-83.
- ROSS S. 1996, *Archaeology's new language: Multimedia*, in P. HIGGINS, P. MAIN, J. LANG (eds.), *Imaging the Past*, London, British Museum Press, 286-287.

- RYAN N.S. 1996, *Computer based visualisation of the past: Technical 'realism' and historical credibility*, in P. HIGGINS, P. MAIN, J. LANG (eds.), *Imaging the Past*, London, British Museum Press, 95-108.
- STANČIČ Z., VELJANOVSKI T. 2001 (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. Proceedings of the 28th CAA Conference (Ljubljana 2000)*, Oxford, Archaeopress.
- TERRENATO N. 2000 (ed.), *Archeologia teorica*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- THALLER M. 1993, *Historical Information Science: Is there such a thing? New comments on an old idea*, in T. ORLANDI (ed.), *Discipline umanistiche e informatica. Il problema dell'integrazione*, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 51-86.
- TOPOUZI S., TRIPOLITSIOTIS A., SARRIS A., MERTIKAS S., SOETENS S. 2001, *Errors & inaccuracies in repositioning of archaeological sites*, in CAA2001 - *Archaeological Informatics - Pushing the Envelope (Gotland 2001)*, in corso di stampa.
- VAN LEUSEN M. 1999, *Viewshed and Cost Surface Analysis using GIS*, in J.A. BARCELÓ, I. BRIZ, A. VILA (eds.), *New Techniques for Old Times. Proceedings of the 26th CAA Conference (Barcelona 1998)*, Oxford, Archaeopress, 215-223.
- VERHAGEN P. 1996, *The use of GIS as a tool for modeling ecological change and human occupation in the Middle Aguas Valley (S.E. Spain)*, in H. KAMERMANS, K. FENNEMA (eds.), *Interfacing the Past. Proceedings of CAA95*, Leiden, University of Leiden, 317-324.
- VOTE E.L., ACEVEDO, D., LAIDLAW D., SHARP JOUKOWSKY M. 2001, *ARCHAVE: A virtual environment for archaeological research*, in STANČIČ, VELJANOVSKI 2001, 313-316.
- WANSLEEBEN M., VERHART L.B.M. 1995, *GIS on different spatial levels and the neolithization process in the south-eastern Netherlands*, in LOCK, STANČIČ 1995, 153-170.
- WEIBEL R., HELLER M. 1991, *Digital Terrain Modelling*, in D.J. MAGUIRE, M.F. GOODCHILD, D.W. RHIND (eds.), *Geographical Information Systems*, Harlow, Longman, 269-297.
- WHEATLEY D., GILLINGS M. 2000, *Vision, perception and GIS: Developing enriched approaches to the study of archaeological visibility*, in LOCK 2000, 1-27.
- WOOD J. 1996, *The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models*, (Ph.D Thesis), Department of Geography, University of Leicester.
- IST 2001, http://www.cordis.lu/ist/ka4/tesss/impl_free.htm (15/10/01)
- TAG, <http://www.ucd.ie/~archdata/TAGinIreland.html> (15/10/01)
- W3C 2000, <http://www.w3c.org/TR/2000/REC-xml-20001006> (15/10/01)

ABSTRACT

The paper examines the applications of some software technologies in archaeological research and discusses a number of errors that may derive from a naïve approach. As far as databases are concerned, relational databases have strict requirements that are fulfilled in most cases when dealing with archaeological records, but cannot be given for granted without further investigation. It is suggested that XML technology may solve many of the above issues. Digital Elevation Models generated automatically by GIS software may create undesired or unrealistic terrain features and introduce errors, as well as GPS data acquisition. The frequent absence in archaeological GIS papers of an error analysis confirms the lack of a critical approach to these mathematical tools. Finally, computer visualisation is examined in the paper, with a similar criticism to an exclusively visual interpretation of Virtual Reality reconstructions. Since all the tools examined in the paper were created within other applicative context, it is hoped that a more conscious approach may better integrate them into archaeological method and theory.