

UN ESPERIMENTO DI VISUALIZZAZIONE SCIENTIFICA PER L'ARCHEOLOGIA DEL PAESAGGIO: LA NAVIGAZIONE NEL PAESAGGIO VIRTUALE

1. LA VISUALIZZAZIONE SCIENTIFICA

Gli esperimenti di visualizzazione scientifica realizzati al computer si prefiggono sostanzialmente di riprodurre qualunque tipo di fenomeno o di realtà fisica simulandone l'evento ed il contenuto informativo. Questo modo di procedere permette al ricercatore di formulare ipotesi "random" o di verificare l'esito di determinate teorie studiandone e analizzandone gli effetti, gli impatti, gli sviluppi, come se tali fenomeni si manifestassero realmente. Queste verifiche risultano determinanti proprio perché siamo in grado in pochissimo tempo di osservare fenomeni o situazioni che in tempo reale avrebbero sviluppi di tutt'altro ordine spazio-temporale (quindi anche in scale di milioni di anni o di microfrazioni di secondo).

In pratica è come disporre di un laboratorio di ricerca permanente dotato di tutti gli strumenti per rendere intelligibili realtà remote o in divenire, situazioni di fatto o futuribili, assecondando qualunque criterio di predittività. Ma non è forse questa l'utopia tipica delle scienze dell'antichità, la suggestione di poter verificare e interpretare i dati storici e archeologici alla stessa stregua di un fenomeno fisico, quindi riproducibile in laboratorio? L'esclusione dei metodi empirici, la classificazione automatica, l'esatta prospettiva visuale delle informazioni, la loro rappresentazione "in vitro", costituiscono da sempre la linea d'orizzonte più lontana per l'umanesimo scientifico, la sua inconscia meta virtuale. È su questa linea di frontiera che le scienze dell'antichità possono comunicare con le scienze esatte: la visualizzazione scientifica può trasformare i percorsi di rappresentazione offrendo una nuova prospettiva per la ricerca e le letture interpretative (FORTE 1991, 1992).

2. LE TECNICHE

Le tecniche di visualizzazione scientifica si indirizzano a riprodurre simulazioni ed elaborazioni in ambiente grafico secondo due principali applicazioni: le sessioni di lavoro real-time, le sequenze di immagini (animazioni) non real-time (GUIDAZZOLI 1992). Nel primo caso le informazioni saranno acquisibili in modo uniforme per ciascuna immagine, con una soglia di elaborazione già definita dal contenuto digitale delle medesime; nel secondo caso le informazioni

verranno visualizzate compiutamente, e con un contenuto informativo superiore, solo durante l'animazione.

Il principale problema della visualizzazione scientifica in questo genere di sessioni di lavoro è costituito dalla trasformazione di output di tipo grafico ad informazioni di tipo televisivo. In sostanza si tratta di trasformare il segnale "colore" dei monitor grafici in un segnale video registrabile su videotape e quindi corrispondente ad uno standard televisivo. Il segnale video PAL (Phase Alternation Line) è lo standard ormai utilizzato in quasi tutti i paesi europei, con rapporto base-altezza delle immagini di 4:3. Il numero di linee di scansione è di 625 a 50 Hz, mentre lo standard video americano NTSC ne prevede 525 a 60 Hz.

La scansione delle linee corrisponde alla facoltà dell'occhio umano di distinguere due punti vicini tra loro (potere di risoluzione); affinché la risoluzione sia sufficiente alla lettura delle immagini sono indispensabili almeno 500 righe di scansione, supponendo che l'osservatore si trovi ad una distanza corrispondente a 4 volte la diagonale del televisore. La persistenza delle immagini sulla retina, pari a circa 1/10 di secondo, permette all'osservatore la percezione di un effetto di continuità in una scena in movimento. Pertanto per ottenere un'immagine esente dal fenomeno di sfarfallio (flicker), in cui la percezione dell'immagine non è nitida ma risulta vibrare, è necessario inviare all'occhio un'informazione pari ad almeno 50 immagini al secondo. Allo stesso modo la facoltà di definizione dell'occhio arriva alla risoluzione di 480 punti (pixel) per linea.

Per quanto riguarda invece la costruzione di un modello 3D del territorio/paesaggio la strada più promettente (v. *ultra* e Fig. 1) è sicuramente quella di costruire un DTM (Modello Digitale del Terreno) acquisendo i dati altimetrici dalla cartografia, e successivamente integrando questi dati con le riprese aeree del territorio (aerofotogrammi o immagini telerilevate: sui risultati da telerilevamento cfr. JACQUES *et al.* 1988).

La sincronizzazione e la sovrapposizione delle immagini fotorealistiche del paesaggio con il corrispondente modello altimetrico si definisce texture mapping e costituisce certamente l'elaborazione di maggiore potenzialità nell'ambito della modellazione 3D (Fig. 2). Inoltre questo indirizzo applicativo risulta perfettamente idoneo ad un sistema composito e non definibile nello spazio geometrico euclideo, come il paesaggio (FORTE 1992a-b).

3. LE SESSIONI DI LAVORO REAL-TIME E "FRAME BY FRAME"

La documentazione video di tipo real-time necessita di una scheda grafica con uscita standard video collegata con l'ingresso video di un comune videoregistratore. La qualità video non sarà comunque ottimale per l'impossibilità di fare

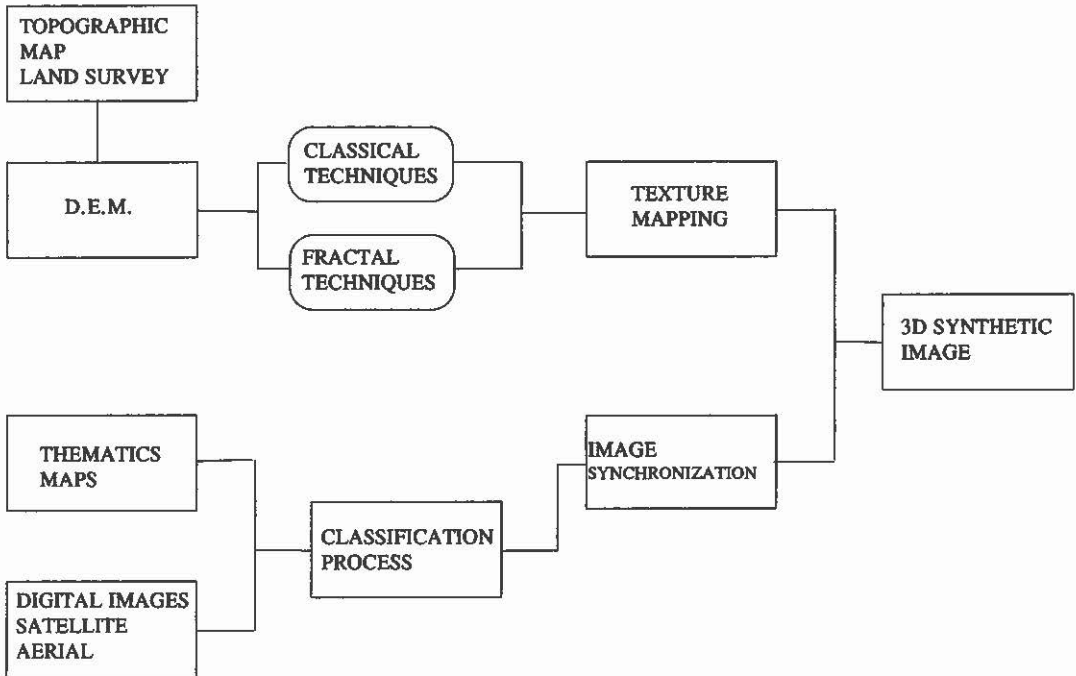


Fig. 1 — Costruzione di un'immagine sintetica 3D partendo dall'elaborazione di dati digitali del territorio.

elaborazioni tipo editing, di modificare la velocità di registrazione, o di ottenere effetti speciali. Il risultato consisterà quindi nel riprodurre su videotape (con finestra PAL) esattamente ciò che viene visualizzato in tempo reale sul computer. L'unico accorgimento applicabile per migliorare la qualità della realizzazione potrebbe essere l'impiego di un dispositivo di conversione di scansione.

Una sessione di lavoro di tipo "frame by frame", o registrazione passo passo, necessita invece di trasformare i segnali analogici RGB in un segnale video-composito (encoder) o di tipo component (transcoder). I dispositivi di trasformazione dovranno essere totalmente sincronizzati fra di loro. Nelle animazioni vengono registrati 25 frames differenti per secondo (passo 1); pertanto per registrare 1 minuto di animazione occorrono circa 2 ore e 30 minuti.

4. LA CONFIGURAZIONE DEL LABORATORIO DI VISUALIZZAZIONE SCIENTIFICA DEL CINECA

L'ambiente di lavoro del Laboratorio è stato progettato allo scopo di consentire al ricercatore l'accesso a strumenti di calcolo e di elaborazione multi-

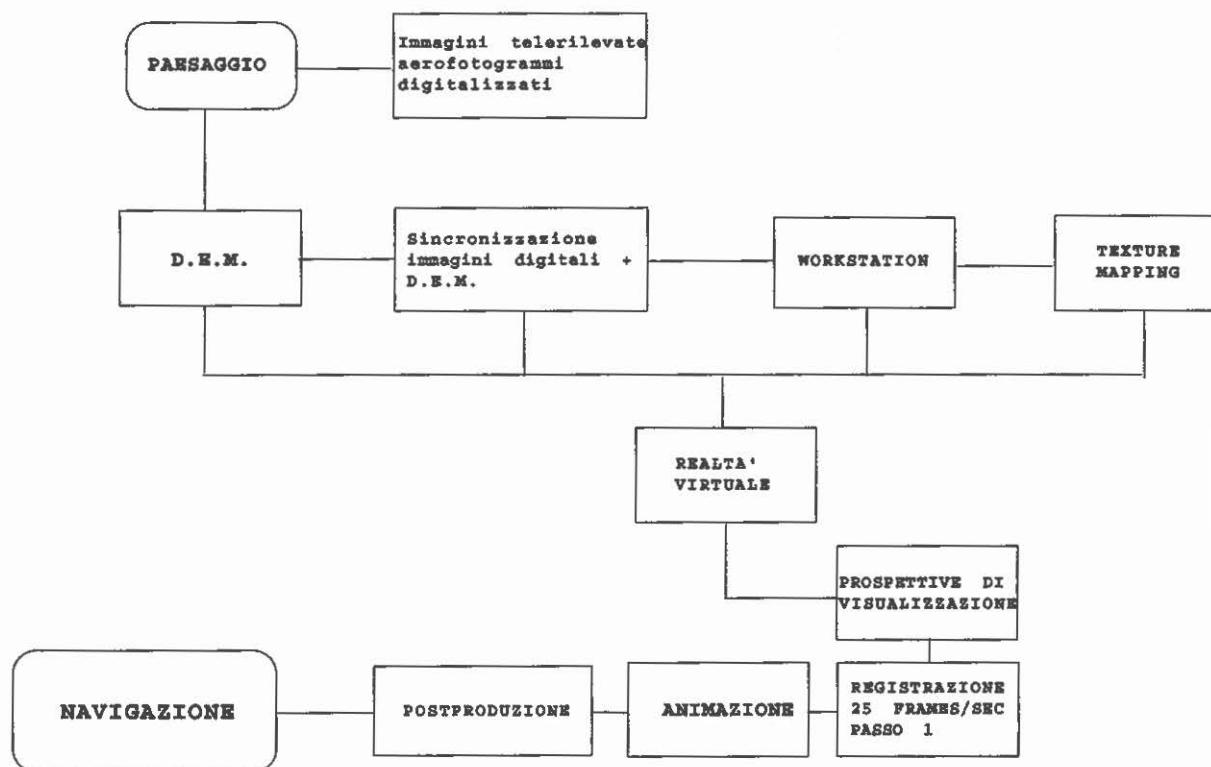


Fig. 2 — La realizzazione di un videotape sulla navigazione 3D nel paesaggio.

tente e polifunzionali, predisponendo le piattaforme di lavoro in modo tale da agevolare lo scambio di dati e il controllo delle operazioni (FABIANI, LANZARINI, Rossi 1988). Il laboratorio contempla workstations grafiche connesse tra loro da una rete Ethernet locale via TCP/IP con cui si può accedere anche al supercalcolatore CRAY YMP8/432, per le operazioni di calcolo particolarmente onerose.

La stazione di acquisizione e registrazione è composta da telecamera SONY DXC-3000, VTR SONY BVU, VTR controller, decoder PAL, Compaq 386/20. La telecamera consente di acquisire immagini statiche, mentre il VTR e il decoder PAL consentono l'acquisizione di sequenze di immagini da videotapes. Le immagini vengono digitalizzate mediante scheda VISTA dell'AT&T, che acquisisce fino a 1024 x 1024 pixels con 32 bits di profondità; quindi sono memorizzate su COMPAQ 382/20 e da qui trasferite, mediante protocollo di comunicazione UNIX TCP/IP, alle workstations o elaboratori collegati alla rete

del CINECA. È inoltre possibile trasferire le immagini al supercomputer CRAY-MP8/432 oppure al vector mainframe IBM 3090 qualora si richiedano elaborazioni particolarmente sofisticate.

Ogni workstation è provvista di scheda "genolock" per generare linee di scansione che si possano adattare allo standard PAL, mentre un encoder converte il segnale RGB in un segnale videocomposito. La registrazione passo passo su videotape viene effettuata per mezzo del VTR controller (Lyon Lamb Minivas) che pilota il videoregistratore SONY BVU 950P Umatic SP. Il controller consente le operazioni di formattazione del nastro, l'inserimento di determinati frames anche importati e le operazioni di registrazione; esso è stato programmato tramite una libreria a basso livello scritta in linguaggio C che gestisce l'inserimento dei comandi di registrazione anche all'interno di programmi di visualizzazione, connettendosi al videoregistratore tramite porta seriale RS 232.

5. LE APPLICAZIONI PER L'ARCHEOLOGIA DEL PAESAGGIO

In campo archeologico gli esperimenti di visualizzazione scientifica si sono in passato prevalentemente indirizzati a finalità didattiche con particolare attenzione per la ricostruzione di strutture ed edifici monumentali (per la visualizzazione scientifica in archeologia e i modelli virtuali cfr. REILLY 1988, 1989, 1990; REILLY, SHENNAN 1989). Tra i numerosi esperimenti è il caso di citare le ricostruzioni degli antichi villaggi giapponesi di Yoshinogari, isola di Kushu, del IV-VI sec. d.C., presentate da Kazumasa Ozawa ad Aarhus, al CAA '92 (*Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, 27-29 marzo 1992), e la ricostruzione della Massalia greca nel filmato presentato a Parigi in occasione del *Colloque Européen Archéologie et Informatique* (Saint-Germain-en-Laye, 21-24 novembre 1991).

La visualizzazione del paesaggio (sul paesaggio come sistema cfr. da ultimo NAVEH, LIEBERMAN 1990), che insegua intenti ricostruttivi fotorealistici, si presenta invece come una rarità nel contesto della ricerca archeologica, sia perché necessita in fase di realizzazione di laboratori particolarmente attrezzati, sia perché il campo d'indagine rappresenta ancora una frontiera non sufficientemente conosciuta.

L'esplorazione coscientemente virtuale di modelli fisici come il paesaggio incoraggia il ricercatore a indagare lo spazio secondo prospettive infinite e del tutto impraticabili ad una interpretazione su scala reale. Infatti i campi visivi e i punti di orizzonte che siamo in grado di definire per gli oggetti e le aree di indagine in una realtà virtuale o modellata possono di gran lunga superare le possibilità effettive di osservazione proprie della realtà fisica (FORTE 1991, 1992, 1992a); questo perché la rappresentazione di un sistema complesso in un model-

lo consente l'assoluta padronanza del modello stesso in una scala spaziale che è integralmente consona alla ricerca e alle simulazioni di impatto. La qualità dei livelli informativi sarà dunque proporzionale alla definizione e alla qualità del modello.

L'obiezione che può venire spontanea osservando questo genere di sperimentazione per una realtà complessa come il paesaggio, è quella di paragonare la navigazione virtuale al calcolatore ad un volo aereo, intendendo la prima come una grossolana e limitante simulazione del secondo; cioè tutto quello che si può rappresentare al calcolatore risulterebbe di scarse potenzialità rispetto all'autentico utilizzo di mezzi aerei di esplorazione (ultraleggeri, elicotteri, aerei, palloni aerostatici). A questo quesito si può facilmente rispondere considerando che i movimenti nello spazio e le prospettive eliggibili nel calcolatore non soltanto seguono piste pressoché infinite, ma realizzano dinamiche e campi visivi "impossibili", elaborando punti di vista e scorci d'orizzonte assolutamente impraticabili nella realtà (Tavv. II,b; III,a-b).

Così è stato per il videotape che abbiamo realizzato sulla navigazione 3D nella valle del Reno (Bologna) in corrispondenza della città etrusca di Marzabotto (Tavv. I; II; III,a); la maggior parte delle viste e dei percorsi esplorativi, pur assecondando gli itinerari teorici della ricerca, sono irrealizzabili da qualunque altro mezzo di osservazione. Si caratterizzano infatti nel simulare una sorta di piattaforma orbitale all'interno della morfologia della valle che si sposta secondo le escursioni altimetriche, oppure rintracciando teorici punti di incidenza e di impatto col terreno. Potremmo definire questo tipo di esplorazione quasi un'incursione prospettica nel territorio, dove non esistono limiti di intervisibilità dello spazio.

L'unica soglia invalicabile all'esplorazione è rappresentata dalla definizione dell'immagine digitale, ovvero l'unità di misura di risoluzione visiva di un pixel. La definizione dell'immagine digitale, che possiamo definire anche unità di lettura, si può considerare un limite ineludibile, salvo digitalizzare un'altra immagine a migliore dettaglio o definizione. A questo punto la rappresentazione virtuale ideale per la navigazione 3D deve prevedere una configurazione gerarchica delle immagini, da quelle a grande scala sino a raggiungere le regioni di interesse a maggiore dettaglio, con il risultato di passare da insiemi informativi complessi, alle informazioni delle singole parti, misurandone la connettività.

6. IL PROGETTO E LA REALIZZAZIONE DI UN VIDEOTAPE SULLA NAVIGAZIONE 3D NEL PAESAGGIO

L'animazione di scene ambientali ai fini della visualizzazione scientifica necessita di grandi risorse di calcolo e di un'accurata pianificazione della realizza-

zione per ottenere i migliori risultati non soltanto dal punto di vista dell'impatto visivo ma anche ai fini dell'interpretazione. Pertanto l'intera realizzazione andrà guidata assecondando gli scopi della ricerca, e tenendo conto di molteplici fattori tra cui la risoluzione delle immagini e le caratteristiche morfologiche delle riprese.

Essendo quello della navigazione 3D un campo di indagine di frontiera anche per le scienze informatiche, l'esperienza sin qui maturata non è ancora sufficiente per indicare un sistema di implementazione standard delle procedure. Ciò nonostante è possibile, a seguito degli esperimenti completati, indicare i migliori percorsi metodologici per acquisire i migliori risultati. A prescindere dall'esperimento completato, che illustreremo più avanti, si possono schematizzare in alcuni punti essenziali le principali fasi di pre-elaborazione ed elaborazione di un videotape-prototipo. La gestione di ciascuno di questi steps condizionerà ineluttabilmente tutti gli altri; di qui la necessità di una pianificazione preliminare di tutte le fasi di lavoro.

1) Progettazione (Fig. 2). Le fasi preliminari del progetto devono prendere in considerazione due ordini di fattori: gli scopi della ricerca a prescindere dalle tecnologie utilizzate; la scelta degli strumenti operativi più idonei. La migliore visualizzazione sarà quella che mette in risalto particolari della ricerca o della simulazione altrimenti non percepibili, o il comportamento di determinate variabili, magari non osservabili in tempo reale. Questa fase di approccio deve essere interamente guidata dal ricercatore che conosce approfonditamente le dinamiche di tutte le variabili dell'indagine e l'ambiente di simulazione. Infatti la realizzazione di sequenze animate può provocare effetti depistanti per chi non ha una perfetta padronanza dell'ambiente, con il risultato di ottenere un'apparente falsificazione dei dati. La trasformazione dei dati dall'accesso all'output deve prevedere un controllo costante di ogni sequenza operativa e seguire uno schema prestabilito.

2) Digitalizzazione. La qualità degli strumenti di acquisizione e della scheda di digitalizzazione sono di fondamentale importanza per la qualità delle immagini. Eventuali rumori o alterazioni introdotti in fase di acquisizione e conversione analogico-digitale condizioneranno irreparabilmente tutto il filmato comportando un ulteriore impiego di risorse software per correggere od attenuare i difetti. La prima scelta operativa cadrà sul tipo di strumento più idoneo per l'acquisizione. Tipicamente si opta per uno scanner o per una telecamera. Nel primo caso, idoneo solo per l'acquisizione di immagini piane, la risoluzione potrà essere estremamente elevata, mediamente da 600 Dpi ma con la possibilità di raggiungere anche i 2400 Dpi e oltre. La qualità della risoluzione paga però un alto tributo in termini di memoria dell'immagine, trattandosi di formati raster. Per esempio una foto aerea delle dimensioni di cm. 30 x 45 acquisita a livelli di gri-

gio da scanner a 600 Dpi, potrà occupare in memoria anche uno spazio di 45 Mb, ingombro proibitivo per chi opera su PC, e che non può prescindere da una piattaforma di lavoro integrata con memorie a dischi ottici. Volendo continuare su questa strada ed economizzare in memoria ci possono essere soltanto due soluzioni praticabili: diminuire in input la mole d'informazione dell'immagine, riducendo i livelli di grigio o le dimensioni dell'immagine, oppure acquisire la stessa ad una risoluzione inferiore, ad esempio sui 300 Dpi. Trattandosi di elaborazioni di visualizzazione dove l'informazione in termini di livelli di grigio/colore è fondamentale, l'unica via praticabile sarà la seconda, magari non rinunciando del tutto a ridurre la superficie dell'immagine da acquisire. Rimanendo sempre all'esempio della foto aerea, riducendo le dimensioni a cm. 30 x 25, e acquisendo a 300 Dpi, l'immagine non dovrebbe superare i 15 Mb di memoria, mantenendo quasi intatto il contenuto informativo originario (gli esperimenti si riferiscono a scanners di tipo professionale). Una terza possibilità, di un certo interesse per mantenere le immagini in formato pressoché standard (sia come dimensioni che come qualità risolutiva), potrebbe essere l'acquisizione da scanner di diapositive a 35 mm.

Decisamente più versatile risulta invece il percorso di acquisizione da telecamera, scelta indispensabile nel caso si debbano acquisire oggetti 3D. La telecamera sarà montata su stativo per consentire una ripresa perfettamente ortogonale all'immagine o all'oggetto, quindi senza deformazioni prospettiche. La risoluzione non potrà raggiungere le medesime possibilità degli scanner ad elevata definizione, ma ne guadagnerà notevolmente la gestione dell'immagine in memoria (contenibile facilmente nello spazio di 5 Mb).

Attualmente i più avanzati sistemi di registrazione (Betacam, MII, il digitale D1) utilizzano un diverso spazio di colori detto "component" in cui la luminosità e le due componenti di cromaticità vengono registrate su differenti tracce con un notevole incremento di qualità rispetto al segnale videocomposito.

In particolare l'acquisizione da telecamera dell'aerofotogramma di Marzabotto utilizzato per il videotape, in formato raster a 24 bit (RGB) ha presentato una risoluzione di 595 * 394. Mi pare pertanto che, al momento, le soluzioni di acquisizione da telecamera, integrate da una buona scheda video per la conversione analogico-digitale, risultino le più appropriate per le elaborazioni visuali, di ampia estensione, soprattutto a fronte della più agevole gestione in piattaforme di lavoro non particolarmente potenti, e dei contenuti "costi" di memoria. La generalmente inferiore risoluzione video inoltre non compromette il buon esito delle elaborazioni, soprattutto considerando che si tratta di animazioni e non di immagini ferme (che sarebbero maggiormente ponderabili nell'impatto visivo per l'occhio umano). L'alternativa sarà di acquisire da scanner i singoli particolari.

3) Eventuali correzioni geometriche. Le immagini digitalizzate, soprattutto nel caso di riproduzioni di scene ambientali, vanno corrette anche dalle più piccole deformazioni prospettiche.

4) Sceneggiatura e scelta delle viste. In ambiente di visualizzazione è quanto mai importante verificare ogni singola scena ed i relativi percorsi di vista. Nel caso della navigazione 3D nel paesaggio, o comunque nella simulazione di scene naturali fotorealistiche, la scelta del percorso di vista deve indirizzarsi ad evidenziare le regioni di interesse offrendo una percezione significativamente sintetica dell'intero modello. Per questa ragione nell'esperimento qui presentato si è sviluppato il programma in modo che l'utente sia in grado, da una vista ortogonale dell'immagine, di scegliere le prospettive e il campo visivo operando interattivamente, modificando cioè angoli zenitali, azimutali e punti di orizzonte. Ogni modifica, corrispondente ad una vista differente, per esempio da un punto x con distanza p da un altro y con angoli di n gradi, ecc., può essere immediatamente visualizzata, consentendo quindi all'operatore di verificarne l'esito; la scelta dei punti sull'immagine viene facilmente effettuata con il mouse.

Le immagini di maggiore efficacia prospettica per i fini della visualizzazione scientifica possono essere poi salvate e si ordineranno automaticamente in un file. Un altro fattore importante da considerare è che non è indispensabile scegliere un numero particolarmente elevato di viste o scene, dal momento che il percorso da un punto ad un altro e i frames corrispondenti vengono interpolati dal calcolatore. La scelta interattiva delle viste incide in parte sulla velocità dell'animazione; cioè laddove il percorso di interpolazione leggibile dal file è interrotto da più punti di vista ravvicinati scelti dall'operatore si avrà un incremento di velocità nelle sequenze. Quindi possiamo dire che l'animazione avrà un indice di accelerazione costante per immagini interpolate automaticamente, mentre di diverso incremento per immagini selezionate interattivamente.

5) Elaborazione. Prima della visualizzazione definitiva si possono elaborare le immagini digitali sia per eliminare eventuali rumori, sia per evidenziare o scoprire altri dettagli informativi particolarmente significativi per la modellazione 3D animata. A questo riguardo si potrà procedere con tecniche a pseudo-colore, con filtraggi numerici o convoluzioni. Per eliminare o attenuare i rumori si utilizzeranno tecniche di smoothing e filtri di tipo passa-basso.

6) Registrazione. La registrazione di migliore qualità, come si è detto, è di tipo frame by frame, a passo 1 (25 frames per secondo). I videoregistratori meccanici devono essere attivati per almeno 5 secondi (pre-roll time) per inserire il frame nella locazione corretta. Se si registrano due frames consecutivi uguali i tempi saranno dimezzati, naturalmente senza tenere conto del tempo di generazione di un'immagine. Per contenere i tempi di registrazione si può utilizzare al posto

del videoregistratore meccanico il Laser Videodisk Recorder, in grado di realizzare registrazioni real-time e single-frame senza tempi di pre-roll.

7) Layout. Prima di arrivare al montaggio vero e proprio è opportuno inserire nelle immagini editing di testi, grafici, figure geometriche o sovraimpressioni, titoli di testa e di coda ed eventuali fermi-immagine digitalizzati a parte e non compresi nelle sequenze animate. Le operazioni completate in questa fase oltre a migliorare l'apparato didascalico accorceranno anche le operazioni di montaggio.

8) Montaggio e post-produzione. Completata la registrazione frame by frame possibilmente a passo 1 (25 immagini per secondo) per ottenere un'ottima fluidità di movimento si passa alla fase conclusiva dell'elaborazione che consiste nel montaggio dell'animazione realizzata in post-produzione (mixer video). Se materialmente queste operazioni vengono realizzate in studio tele-audiovisivo da personale tecnico specializzato, la "regia" e la scelta delle sequenze deve forzatamente competere al ricercatore. Infatti soltanto un buon montaggio consente una perfetta ed agevole lettura dei dati per la più corretta interpretazione. Se le fasi di progettazione e sceneggiatura sono state particolarmente curate, il montaggio non presenterà problemi, lasciando inalterato il contenuto informativo delle immagini.

In senso più lato per post-produzione si intendono tutti gli interventi di ritocco e presentazione finale del filmato, come l'uso del sonoro, l'inserimento di commenti o parti musicali, effetti speciali, dissolvenze, moviole, duplicati, ecc... È possibile inserire in questa fase anche riprese non elaborate al computer ma che risultano efficaci per la comprensione del filmato. Per esempio nel nostro filmato l'immagine del modello 3D del territorio rappresentato al computer con una griglia grafica (con interpolazione di tipo cubic-spline) presentava problemi di flickering, cioè di sfarfallio per problemi di sincronizzazione col segnale videocomposito. Dal momento che eliminare l'effetto via software sarebbe stato quanto mai complicato e con scarse probabilità di successo, si è provveduto a fotografare l'immagine dal monitor ad alta definizione per poi acquisirla successivamente da telecamera Betacam (Tav. I, a). L'esito è stato estremamente soddisfacente ed inoltre l'operazione si è completata in pochissimo tempo.

7. LA COSTRUZIONE DEL MODELLO E LA SPERIMENTAZIONE

Già abbiamo detto che presupposto indispensabile alla esplorazione 3D di una porzione territoriale è la realizzazione del suo DTM o Modello Digitale del Terreno. Il DTM si può costruire con tecniche classiche acquisendo i dati altimetrici dalle isoipse cartografiche mediante tablet o digitizer, con tecniche frattali (BRIVIO, RIGHETTI 1989; FURINI *et al.* 1991), o con tecniche miste (Fig. 1) (FORTE 1992); per rilievi di microdettaglio è possibile operare acquisendo i dati

direttamente sul campo con un tacheometro a stazione totale (lettura estrema di battuta in media da 1 a 2,5 km.) collegato ad un microcalcolatore da campagna. Nello schema in Fig. 1 è indicato un ipotetico sistema standard per la costruzione di immagini 3D sintetiche a partire dal DTM e dai dati di input digitali.

In input abbiamo da una parte la cartografia, le informazioni-base del sistema territoriale, dall'altra le carte tematiche e le immagini a matrice digitale del territorio (riprese aeree e da satellite). In output possiamo avere elaborazioni di qualifica e classificazione di tipo image processing, il texture mapping dell'immagine, ed infine la rappresentazione virtuale 3D dell'immagine originale, ovvero il suo modello complesso (Figg. 1-2; Tav. I,a).

Ultimate queste operazioni per ottenere una completa visualizzazione del microrilievo, il tutto facilmente gestibile da PC (Tav. I,a), si deve provvedere alla perfetta sincronizzazione spaziale tra l'immagine digitale ed il corrispondente DTM (Tav. III,a): in sostanza il modello del terreno, comunque costruito, deve perfettamente coincidere con la corrispondente immagine digitale che gli si va a sovrapporre. La precisione del DTM e la sua "fedeltà" dipendono dal numero di quote o isoipse acquisite e dalle tecniche di interpolazione della griglia di superficie (HARRIS 1987).

Per un preciso allineamento dell'immagine digitale con il DTM, si deve realizzare una rappresentazione su una griglia regolare di risoluzione pari a quella dell'immagine digitalizzata, possibilmente utilizzando un'interpolazione bilineare. È quindi opportuno correggere eventuali distorsioni geometriche delle immagini digitalizzate prima di approcciare l'elaborazione. Un'errata sincronizzazione provocherà l'effetto, davvero inverosimile, di vedere valli o depressioni collocate al posto dei rilievi, o profondi "crateri" siti nel mezzo di regioni perfettamente piane, insomma una sorta di paesaggio rovesciato in gran parte alieno dalla realtà fisica. Altri errori di sincronizzazione possono provocare uno slittamento dell'immagine rispetto al DTM, con conseguenti errori di lettura e di definizione dei pixels.

La perfetta sincronizzazione e proiezione dell'immagine sul DTM costituisce il texture mapping dell'immagine digitale (Tavv. I,b; II), che fungerà da modello base per l'animazione e la visualizzazione nel paesaggio virtuale. Il controllo della sincronizzazione dell'immagine con il modello (Tav. III,a) può essere effettuato producendo un overlay in trasparenza in cui si può apprezzare sia l'immagine digitalizzata (in questo caso l'aerofotogramma scelto), sia il suo DTM (nella Tav. III,a evidenziato dalle zone biancastre).

Uno dei più cospicui vantaggi delle tecniche di Computer Graphics Videotaping (GUIDAZZOLI 1992) è che la realizzazione di un'animazione non rappresenta la semplice somma algebrica del contenuto informativo di ciascuna sequenza,

ma, ben oltre, consente di seguire e verificare il comportamento dinamico dei dati, offrendo un contenuto informativo incomparabilmente superiore ai singoli frames analizzati separatamente. La sequenza animata di un modello complesso, sia esso una simulazione matematica, o una ricostruzione fotorealistica e di campionamento, emula di fatto un fenomeno fisico che, nello sviluppo dinamico, riproduce il maggior numero di informazioni scambiandole con l'ambiente di ricerca.

La sperimentazione qui presentata si è prefissa come obiettivo di ricerca l'esplorazione topografica della regione mediana della valle del Reno (Bologna) comprensiva della città etrusca di Marzabotto (Tavv. I,b; II; III,a). Gli input dell'elaborazione hanno contemplato: 1) la digitalizzazione dell'aerofotogramma in scala 1: 30000 corrispondente all'area da indagare (Tav. III,a); 2) la costruzione del DTM corrispettivo da carta regionale in scala 1:5000 (CTR, Elemento n.237074) con rilevazione topografica puntuale (punti quotati sparsi) adeguata alla scala dell'aerofotogramma (Tavv. II,a; III,b).

L'aerofotogramma scelto si riferisce ad un volo del 3-5-1976, e copre un areale di 3500 m. di estensione Est-Ovest e di 2300 m. Nord-Sud. È stato acquisito da telecamera, corretto geometricamente, e infine digitalizzato in formato raster (RGB 24 bit, risoluzione 595 * 394), allineandolo con il DTM mediante una rappresentazione a griglia regolare di risoluzione pari all'immagine digitalizzata (Tav. III,a). Per la resa dell'immagine finale (Tav. II), avendo a disposizione hardware specializzato per il rendering di poligoni (SGI), non si sono utilizzate le tecniche usuali di texture-mapping, ma si è realizzato un texturing geometrico esplicito (un poligono per pixel), riducendo il rumore di campionamento (aliasing) senza ricorrere ad onerose interpolazioni via software. L'uso esclusivo di software dedicato ha comportato, come unica penalizzazione, certo non gravosa, la stretta dipendenza del programma dalla libreria grafica (gl), che è comunque implementata sia su piattaforma Silicon Graphics che su Risc 6000 IBM.

Per concludere, l'elaborazione e la preparazione delle sequenze di immagini da destinare al montaggio ed alla post-produzione per l'animazione definitiva, è stata ottenuta tecnicamente nel modo seguente:

- 1) costruzione di un tool interattivo per la definizione dei punti sull'immagine;
- 2) selezione dei punti due a due, consultando il modello, e realizzazione delle posizioni tridimensionali del punto di vista e del punto osservato o d'orizzonte (con relativi angoli zenitali e azimutali), che definiscono una serie di viste fondamentali (keyframes), successivamente memorizzate in files separati (Tav. I,b);
- 3) da queste viste fondamentali produzione di tutte le viste intermedie necessarie per simulare un movimento fluido (per un totale di 5600 frames), mediante un semplice processo di interpolazione lineare;
- 4) per perfezionare l'impatto fotorealistico della navigazione, e far risaltare i vo-

lumi 3D, sono state utilizzate tecniche di rendering nella costruzione di un cielo "virtuale" (Tav. I,b);

5) data l'elevata risoluzione del modello (il sistema produce un'immagine in circa tre secondi, un rate insufficiente per una animazione real-time), registrazione delle sequenze frame-by-frame a passo 1 (25 immagini per secondo).

Riassumendo, l'intera sessione di lavoro è stata prodotta con le seguenti piattaforme hardware e software:

1)hardware: workstation IRIS 4D/80 GT; VTR controller: Lyon Lamb Minivas; Videorecorder: BVU 950 Umatic SP;

2)software: C language, GL libraries; animazione: 5600 frames (25 frames per secondo).

8. LA CITTÀ ETRUSCA DI MARZABOTTO E LA VALLE DE RENO: RISULTATI E PROSPETTIVE DELL'ESPLORAZIONE 3D

La scelta di esplorare al calcolatore la porzione della valle del Reno in cui è sita la città etrusca di Marzabotto si motiva sia per ragioni di carattere archeologico, sia per la specifica idoneità morfologica dell'area ad un esperimento di visualizzazione tridimensionale.

Le motivazioni di ordine storico-archeologico risiedono in particolare nella importanza della valle del Reno come versante primario di comunicazione tra l'Italia centro-meridionale e l'Italia settentrionale con proiezioni verso l'Europa centrale sin dalla I età del Ferro. La collocazione topografica della città etrusca, sita su un pianoro nel settore mediano della valle, si caratterizza come una posizione strategica per il controllo del traffico commerciale e delle comunicazioni; a questo si aggiunge la vocazione prevalentemente industriale e di servizio del centro in età etrusca. Fattore altrettanto determinante per la ricerca è il fatto che Marzabotto rappresenta praticamente l'unica città etrusca attualmente esplorabile sul terreno, costituendo così un laboratorio permanente di indagini per studi sulla città antica.

Per quanto riguarda invece l'ambiente geomorfologico si deve sottolineare lo stretto rapporto tra la città e il Reno per diverse ragioni: 1) prima di tutto la navigabilità del fiume che certamente facilitava i trasporti in quasi tutta la valle (e fin qui non ci si è mai sufficientemente soffermati sulle funzioni di porto o approdo fluviale che doveva avere la città); 2) il rapporto tra la città e la distribuzione/gestione dell'acqua è scandito da sofisticati sistemi monumentali di canalizzazione e dai numerosi pozzi; 3) l'angusto incasso della valle ha incrementato gli effetti erosivi del Reno in questo tratto, determinando la progressiva erosione di diversi ettari di terreno (attualmente dovrebbe essere conservata poco più della metà dell'area archeologica originaria).

L'assetto morfologico della valle presenta dislivelli accentuati tra sito archeologico e zone sommitali (tra i 400 e i 500 m.; Tav. I,a; III,b). Nel filmato è particolarmente apprezzabile la "scelta" topografica del sito sviluppatosi all'interno di un pianoro poligonale praticamente insinuato a ridosso di un'ansa del fiume. L'area si appoggia inoltre ad un'adiacente regione di poco sommitale adibita a luogo sacro per eccellenza, in cui è installata l'acropoli.

Ma gli aspetti più densamente significativi dell'analisi topografica si colgono nell'esplorazione complessiva di tutto lo spazio nel contempo fisico e virtuale dell'aerofotogramma, non soltanto dedicato alla conoscenza morfologica del paesaggio, nelle sue unità geologiche, ma anche ai sistemi di installazione territoriale, alle interrelazioni tra sito archeologico ed evoluzione del territorio e, infine, alla più corretta comprensione della prospettiva spaziale nell'ambientazione topografica.

Potendo poi disporre di immagini del territorio relative a periodi diversi possiamo indagare anche le più complesse dinamiche evolutive del paesaggio, monitorando determinate aree campione e verificando inoltre nel tempo gli indici di leggibilità del terreno, le alterazioni, le anomalie, le tracce, o l'impatto di eventi circostanziati al suolo. Con queste finalità la visualizzazione scientifica potrà costituire anche un fondamentale strumento didattico per studi sulle tipologie insediative e per la gestione comparata di tutte le informazioni relative all'ambiente e alla pianificazione territoriale.

MAURIZIO FORTE

Dipartimento di Scienze Storiche, Archeologiche,
Antropologiche dell'Antichità
Università « La Sapienza » di Roma

Le applicazioni qui presentate si inseriscono in un più lato progetto di ricerca su Archeologia, Eidologia informatica e Visualizzazione Scientifica, condotto dal sottoscritto presso il Laboratorio di Visualizzazione Scientifica del CINECA (Centro Interuniversitario di Supercalcolo, Bologna), in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Storiche, Archeologiche, Antropologiche dell'antichità dell'Università « La Sapienza » di Roma. Della suddetta attività di ricerca sono particolarmente grato al Direttore del CINECA, Dr. Mario Lanzarini, e al Prof. Giovanni Colonna, ordinario di Etruscologia e Archeologia Italica a « La Sapienza » di Roma. Per quanto riguarda le specifiche applicazioni sulla navigazione virtuale nel paesaggio, la ricerca ha contemplato un impegnativo lavoro di équipe che ha coinvolto, oltre al sottoscritto, l'Ing. Antonella Guidazzoli, il Dr. Luigi Calori, e il Dr. Roberto Scardovi del CINECA. A tutti loro va la mia più affettuosa gratitudine. Per la fase di post-produzione si ringrazia la Karma video di Zola Predosa (Bologna).

BIBLIOGRAFIA

- BOOTH W., IPSON S.S., HAIGH J.G.B. 1991, *An inexpensive PC-based imaging system for applications in archaeology*, in G. LOCK, J. MOFFETT (edd.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1991*, BAR International Series 577, Oxford, 197-204.
- FABIANI G., LANZARINI M., ROSSI R. 1988, *Grafica e Supercomputer: il laboratorio grafico del CI-NECA*, « Pixel », 9, 45-52.
- FORTE M. 1991, *Archaeology and computer image processing: applications in the aerial photographs analysis and the perspectives in the landscape navigation*, in *Archéologie et Informatique, Colloque Européen (Saint-Germain-en-Laye, 21-24 novembre 1991)*, in corso di stampa.
- FORTE M. 1992, *Archeologia e tecniche di eidologia informatica*, « Archeologia e Calcolatori », 3, 37-76.
- FORTE M. 1992a, *L'immagine processing per l'archeologia del paesaggio: sistemi di classificazione del territorio*, in « Bollettino d'informazioni del Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali », 2, 1992, n. 1, Scuola Normale Superiore, Pisa, 53-96.
- FORTE M. 1992b, *Image processing applications in archaeology: classification systems of archaeological sites in the landscape*, in T. MADSEN, I. SCOLLAR (edd.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1992*, BAR International Series, Oxford, in corso di stampa.
- FURINI P., RIGHETTI M., BRIVIO P.A., MARINI D. 1991, *Una metodologia per la simulazione di scene ambientali*, in I.CO.GRAPHICS, VI Convegno Internazionale e mostra sulle applicazioni della computer graphics nella produzione, progettazione e gestione (Milano 5-8 marzo 1991), Milano, 405-412.
- GUIDAZZOLI A. 1992, *Computer graphics videotaping in un ambiente di visualizzazione scientifica*, in I.CO.GRAPHICS, VII Convegno internazionale sulle applicazioni della computer graphics nella produzione, progettazione e gestione (Milano 4-7 febbraio 1992), Milano, 347-354.
- HARRIS T. 1987, *Digital terrain modelling in archaeology and regional planning*, in C.L.N. RUGGLES, S.P.Q. RAHTZ (edd.), *Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1987*, BAR International Series 393, Oxford, 161-169.
- JACQUES C., LE GORGEU J.P., STARGARDT J., TERRASSE M. 1988, *L'apport du satellite SPOT à l'archéologie du paysage*, Paris.
- NAVEH Z., LIEBERMAN A. 1990, *Landscape Ecology. Theory and Application*, New York.
- REILLY P. 1988, *Data Visualization: recent advances in the application of graphic systems to archaeology*, « IBM UK Scientific Centre Report », 185, Winchester.
- REILLY P. 1989, *Data Visualization in archaeology*, « IBM System Journal », 28 (4), 569-579.
- REILLY P. 1991, *Towards a virtual archaeology*, in K. LOCKYEAR, S. RAHTZ (edd.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, BAR International Series 565, 133-140.
- REILLY P., SHENNAN J. 1989, *Applying solid modelling and animated three-dimensional graphics to archaeological problems*, in S.P.Q. RAHTZ, J.D. RICHARDS (edd.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1989*, BAR International Series 548, Oxford, 157-166.

ABSTRACT

Certainly computer simulation of natural phenomena is one of the most attractive and modern subjects for image synthesis. Simulation means all those processes, computed with mathematical models, the results of which can be visually represented on a graphic screen. Then, the

model generated synthetic image can be compared with the available information, and the image becomes an instrument for furthering knowledge. Two problems exist in visual simulation of natural ambients or in 3D navigation. The first one is the construction of a reliable and careful Digital Elevation Model (D.E.M. or Digital Terrain Model, D.T.M.), the second one, closely tied to ambient simulation, is the terrain rendering, that is, the evocation of the color vision in the observer. D.T.M. can be generated from isoliner or from regular points, using classical models (linear interpolation and Kriging) or fractal models (brownian interpolation). In our case the target is to make a landscape model (including archaeological sites) using D.T.M. and satellite or aerial images; these applications include the following steps:

- acquisition of isolines from cartographic maps in any resolution scale,
- D.T.M. generation,
- digital image classification to determinate the pixels distribution map for the D.T.M.,
- image synchronization (digital aerial photographs or satellite images synchronized with the D.T.M.,
- texture mapping and generation of 3D images.

Practically the texture mapping consists of the original image overlaid point by point on the D.T.M.: the result is a realistic and significant landscape 3D image. This kind of simulation is especially useful to enhance the geomorphological characteristics of the landscape in connection with its evolution and the ancient settlement. Inside the image the researcher can move, navigate, explore, like in a realistic ambient.

The example of processing concerning the Etruscan town of Marzabotto in the Reno Valley (Bologna) has given a realistic and representative 3D image which includes important topographical and geomorphological information on the archaeological site and the Reno Valley, on the natural resources, and on the correlation between the Reno river and the Etruscan town. A digitalized zenithal aerial photography is processed by overlaying the D.T.M. of this area. D.T.M. is generated from cartographic isolines and contour lines. This kind of processing consists of different steps: the first one is the digitization of the aerial photograph (scale 1:30.000) in order to create a numeric input of a part of the Valley of Reno which includes the archaeological area and the DEM model with a topographical sampling. The aerial photograph has been digitized by a CCD camera and converted in a numeric format in raster file (RGB 24 bit plane, resolution 595 * 394 pels), and it has been aligned with the DEM model by a regular grid with a resolution similar to the one of the digital image.

For the final rendering special purpose hardware (SGI workstation) has been used; for the polygon rendering we do not use the usual texture mapping techniques, but a geometric texturing has been produced (one polygon per pixel). This technique allows a lower sampling noise (anti-aliasing) without a heavy software interpolation. In this way the only problem is related to the dependance on the graphic library GL which is however implemented either on Silicon Graphics or on RISC 6000 IBM platform.