

Aquae Patavinae VR, dall'acquisizione 3D al progetto di realtà virtuale: una proposta per il museo del termalismo.

Bruno Fanini, Emanuel Demetrescu, Daniele Ferdani, Sofia Pescarin

1. Premessa

Aquae Patavinae VR è un progetto che prevede la ricostruzione virtuale su larga scala di alcuni siti archeologici e la loro fruizione su una piattaforma *real-time on-line*. All'interno del progetto, il paesaggio termale dei Colli Euganei attorno a Montegrotto Terme (Padova), è stato studiato e ricostruito dal CNR-ITABC in collaborazione con l'Università di Padova e finanziato dal MIUR e dalla Regione Veneto.

Nell'area oggetto di studio, i siti archeologici noti sono molti e sparsi in una vasta area, ma solamente uno di essi è aperto e fruibile dal pubblico, gli altri sono ancora in fase di scavo o non accessibili, altri ancora sono individuabili solo da pochi reperti rinvenuti grazie a *survey* archeologiche, studi storici e telerilevamento. Il nostro studio è stato focalizzato su 4 grandi aree archeologiche scavate e documentate nel corso degli ultimi anni:

- area archeologica di viale Stazione / via degli Scavi (costituito dai resti di un teatro, un complesso termale con tre vasche e un sistema di captazione e distribuzione delle acque costituito da due norie e canalizzazioni);
- area archeologica di via Neroniana (costituito dai resti di un'ampia villa di età imperiale);
- area archeologica di Turri (costituito dai resti di una villa rustica di età tardo-repubblicana - imperiale e pertinenze);
- area archeologica delle terme Neroniane sotto l'Hotel (costituito dai resti di un vasto ed articolato un complesso termale).

Come già sottolineato nel precedente contributo (Pescarin *et Alii* 2012, p. 312), il dato fisico integro non esiste più ed al suo posto sono rimaste poche tracce lacunose, comprensibili solo da utenti esperti o addetti ai lavori. Da ciò è nata l'esigenza di rendere fruibile a tutti il vasto patrimonio archeologico di Montegrotto Terme, utilizzando i dati scientifici, frutto dello sforzo congiunto di Università, Soprintendenza e CNR, per ricostruire e comunicare il passato tramite nuovi approcci ed interfacce web.

E' evidente a questo punto, che ci siamo trovati di fronte ad un ben noto problema scientifico, comune in archeologia, ovvero l'interpretazione e la ricostruzione di un paesaggio archeologico (*Virtual Reality*, 2000). Questo problema è stato particolarmente rilevante in questo progetto, poiché indirizzato alla comunicazione del patrimonio archeologico ad un'utenza mista, cioè composta sia dal visitatore comune che da quello esperto in materia. Nel nostro caso di studio, abbiamo affrontato il problema prendendo in considerazione la Carta di Londra, in particolare i principi 3 e 4 (LC 2009), organizzando il flusso di lavoro con un approccio multidisciplinare, di seguito riassunto, condotto da un'équipe di ricercatori con differenti competenze tecniche, e tramite l'impiego di metodologie e tecnologie di recente sviluppo:

1. Il primo passo è stato quello di:

a) ottenere modelli 3D reality-based, frutto di rilievi effettuati sul campo tramite tecniche di remote-sensing, laser-scanning e fotogrammetria terrestre (Remondino, El-Hakim 2006)

b) ottenere modelli non-reality-based, ovvero ricostruzioni 3D, ottenute con tecniche di computer grafica, che simulano l'aspetto che si ipotizza avessero i monumenti rilevati all'epoca della loro realizzazione (Pescarin *et Alii* 2011, Pescarin *et Alii* 2012)

2. In seguito è stata sviluppata una nuova versione di un web *plug-in* "OSG4WEB", un'applicazione per l'esplorazione 3D *on-line* del paesaggio virtuale archeologico e antico", sulla base di OpenSceneGraph (Calori *et Alii* 2009).

L'applicazione di realtà virtuale, pubblicata nel 2011, è attualmente fruibile *on-line* (fig.1) sul portale delle "Aquae Patavinae. Per un parco archeologico delle Terme Euganee", nella sezione di "Visita virtuale" (Aquae Patavinae).

2. Introduzione

Questo contributo si presenta come la conclusione del progetto di realtà virtuale sulle Aquae Patavinae, le cui tematiche e aspetti problematici, tipici del lavoro di archeologia virtuale, e gli obiettivi principali, quali l'interpretazione e la ricostruzione del paesaggio archeologico attraverso strumenti *on-line* di archeologia virtuale, brevemente riassunti sopra, sono già stati ampiamente affrontati negli atti del II convegno nazionale "Aquae Patavinae" (Pescarin *et Alii* 2012).

La novità di questo lavoro riguarda invece alcuni principali aspetti innovativi e miglioramenti apportati alla versione definitiva dell'applicazione.

Il primo, prettamente tecnico concerne la ricostruzione con un nuovo approccio *open-source* alla modellazione per il *real-time* del sito archeologico "sotto l'hotel delle Terme Neroniane", di recente integrato nell'applicazione e le migliorie apportate al *plug-in* OSG4Web per uno *streaming* più fluido dei dati ed una miglior interazione del visitatore.

Il secondo, più concettuale, riguarda il modo in cui abbiamo affrontato il concetto di "trasparenza" del dato archeologico rendendo disponibile ad utenti non esperti i metadati usati per costruire e garantire la scientificità dei modelli 3D ricostruttivi e reso più fluido ed intuitivo il processo di interazione e visita dei siti.

Infine un ultimo aspetto riguarda la presentazione dei dati provenienti dai test sull'utenza effettuati con diverse interfacce grafiche *gesture-based* appositamente realizzate per la mostra "Archeovirtual 2011" e per la presentazione "A passeggio nel passato. Visita virtuale interattiva nella Montegrotto antica". Tali test sono stati focalizzati su alcuni fattori dell'applicazione quali coinvolgimento, funzionalità e l'usabilità percepiti dal visitatore.

La sperimentazione di nuovi sistemi di interazione ed il *feedback* degli utenti sono infatti di fondamentale importanza per orientare le future scelte in vista di un museo virtuale *on-site* sulle Aquae Patavinae.

Fig. 1: Interfaccia utente dell'applicazione di visita virtuale delle Aquae Patavinae

3. Il "Complesso termale sotto l'hotel".

Nell'area archeologica delle terme Neroniane sotto l'Hotel sono visibili i resti di un complesso termale di età romana (fine del I secolo a.C. – II secolo d.C. circa), costituiti da un'ampia sala absidata, da parte del sistema di circolazione idrica, forse da un porticato e altri ambienti complementari. Il complesso venne scoperto nel 1996 in occasione dei lavori di ampliamento dell'Hotel Terme Neroniane. Gli scavi archeologici, condotti dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto, si svolsero a più riprese tra il 1996 e il 2003. Lo scavo archeologico, insieme alle notizie già note attraverso il medico naturalista del '700 Domenico Vandelli relative

alla grande piscina esterna, ha permesso alla Soprintendenza di elaborare una planimetria ricostruttiva quasi completa.

3.1 Le strutture conservate.

Nella grande sala absidata sono presenti a terra alcune lastre di marmo bianco in situ all'interno dell'abside ed i segni nella malta permettono di ricostruire la pavimentazione originaria. Lungo i margini lunghi si conserva una zoccolatura che, a giudicare dai fori per le grappe bronzee, doveva essere rivestita di ortostati. Tracce sul pavimento testimoniano la presenza di un sedile vicino e parallelo a tutto il lato lungo sinistro dell'aula. All'esterno una canaletta scorreva sotto il piano di campagna mentre a sud è presente un ambiente stretto probabilmente di servizio; a ovest c'è un tratto del portico perimetrale mentre ad est si può riconoscere una porzione del probabile quadriportico quadrangolare (una palestra ?), segnato a terra da evidenti tracce di lastre nella malta. Un'abbondante sorgente termale adiacente al complesso chiude la struttura ad est. Tutte le strutture attualmente visibili appartengono alla seconda fase di vita del sito, risalente agli inizi del I sec. d.C.

3.2 Ipotesi ricostruttive del complesso termale, gli esterni.

La ricostruzione virtuale si basa su rilievi di scavo e su un'ipotesi planimetrica (cfr. [6]) mentre la reintegrazione grafica degli alzati si basa principalmente su una sezione ideale e su indicazioni fornite dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto a cui sono state aggiunte alcune soluzioni dimensionali rese necessarie dalle esigenze di statica e di programmi edilizi romani (ad esempio la posizione delle finestre fra due edifici contigui e con diversa altezza). I portici esterni sono stati modellati con colonne di ordine corinzio su alto plinto con un sistema di capriate lignee a vista. In mancanza di tracce archeologiche non è stato previsto un controsoffitto né un apparato decorativo e si è scelto di mantenere il colore bianco del marmo e dell'intonaco. Le pareti del porticato sono caratterizzate da una zoccolatura in pietra di circa 4 piedi di altezza, dettaglio desumibile dai resti presenti nell'ambulacro perimetrale (fig.2).

Fig. 2: Ipotesi ricostruttiva, vista da nord-ovest.

3.3 Ipotesi ricostruttive del complesso termale, gli interni.

La grande aula absidata per la sua dimensione, posizione e struttura doveva essere il centro della vita culturale del complesso termale. Lo spessore dei muri perimetrali e l'assenza di diverse indicazioni archeologiche dirette, fa ipotizzare una copertura a capriate rivestita da un cassettonato ligneo mentre la sua decorazione si attesta su un piano meramente evocativo e consta in un fiore bianco su fondo blu ed incorniciato, lungo le pareti, da una teoria di elementi vegetali su fondo rosso. Le finestre, posizionate in modo compatibile con gli scarichi di peso delle capriate, sono molto in alto, dovendo scavalcare il tetto dell'ambulacro esterno. La quantità di luce potenziale in entrata dalle finestre non si è basata su delle simulazioni di dati reali (profili fotometrici e materiali fisicamente corretti). Tuttavia l'impostazione empirica di una luce diurna esterna sul set virtuale ha reso immediatamente percepibile che numero e dimensione delle finestre è sufficiente alla corretta illuminazione di questo grande ambiente. Proprio nell'ottica di una maggiore "permeabilità" della luce nell'ambiente, le pareti della parte superiore sono state ipotizzate come intonacate con un colore chiaro. La zona inferiore presenta invece la caratteristica tripartizione zoccolatura – ortostati partizionati da lesene – cornice di chiusura. Mentre il dato archeologico conforta la presenza di una zoccolatura, le lesene sono state ipotizzate, in via del tutto evocativa, in serpentino ed in ordine corinzio. Gli ortostati sono ipotizzati in marmi bianchi venati disposti in doppia specchiatura

verticale ed orizzontale, in linea con un programma decorativo molto diffuso in epoca romana. Al centro dell'abside è stata ipoteticamente posta una vasca di acqua, con probabili funzioni di *alveus* (fig. 3).

Fig. 3: Ipotesi ricostruttiva dell'interno della sala absidata.

L'ambiente absidato minore, così come il resto degli ambienti navigabili in *real-time*, permettono una sola ricostruzione evocativa, essendo privi di tracce archeologiche utili per gli alzati. Si auspica una futura ripresa delle indagini e la possibilità di approfondire il contesto archeologico attraverso i materiali rinvenuti negli scavi (fig. 4).

Fig. 4: Ipotesi ricostruttiva dell'ambiente absidato minore.

3.4 Tecniche di modellazione e texturing.

La modellazione 3D, come ogni digitalizzazione, è sempre e comunque una approssimazione della realtà (Shanks, Tilley 1987, p.110). Nel caso di un modello virtuale esplorabile in *real-time* per il web, l'approssimazione geometrica diventa una necessità intrinseca così come lo diventa la granularità del dato digitale: nessun elemento (immagine o geometria) può superare un dato limite di memoria (nel nostro caso qualche centinaio di kb). A questa necessità si assolve facendo largo uso della ripetizione e della standardizzazione degli elementi, laddove non esistano dati archeologici a sostegno di una differenziazione delle parti simili di un monumento (ad esempio colonne, finestre, etc...). Nel caso del complesso termale la struttura di progetto prevede un file principale in cui vengono creati tutti gli elementi non ripetibili (ad esempio pavimentazioni, pareti, tetti, etc.) ed una serie di file "risorsa" in cui vengono modellati gli elementi ripetibili (colonne, basi, capriate, etc.). Dal punto di vista visivo dell'utente finale non vi è alcuna differenza, ma da un punto di vista della modellazione le implicazioni sono molte: è possibile in ogni momento modificare la propria colonna "tipo" e trovare tutte le sue "istanze" aggiornate in automatico. Il procedimento si sposa bene con un taglio tassonomico agli oggetti quale è quello archeologico e permette di rendere molto veloce e stabile una applicazione 3D *real-time* sul web (cfr. infra par. 3.6). Prendiamo a titolo esemplificativo un colonnato immaginario di cento colonne: in formato digitale è possibile descrivere questa soluzione architettonica in due modi. Nel primo caso si può descrivere come la somma delle geometrie per cui la quantità di informazione di una colonna va moltiplicata per il numero delle colonne (un colonnato di 100 elementi avrà un numero di poligoni cento volte più grande di quello di una sola colonna). Nella soluzione da noi adottata è invece possibile trasmettere sul web all'utente finale una sola colonna e, a parte, le disposizioni spaziali di ogni colonna sotto forma di una matrice di numeri: si dichiara la posizione, la scala e la rotazione di un oggetto negli assi cartesiani. In quest'ultimo modo si trasmette una quantità di dati ampiamente ridotta. Naturalmente questa tecnica necessita degli accorgimenti sia in termini di organizzazione del lavoro sia in termini di pipeline di esportazione dal software di 3D impiegato (Blender) alla visualizzazione *real-time* con OpenSceneGraph.

3.5 Metodo di esportazione da Blender verso OSG4Web.

Il flusso di lavoro (fig. 5) è stato interamente svolto all'interno di software open source di libera circolazione. Questa scelta ha permesso di avvantaggiarsi del potente linguaggio Python, molto usato per estendere le funzionalità di alcuni software.

Fig. 5: Schema in breve della pipeline di Blender: dalle fonti si passa ai modelli, esportati tramite script.

E' stato preparato un breve script per esportare tutti gli oggetti che si ripetono nella suddetta forma di a) modello base più b) elenco delle sue posizioni nello spazio:

```
import bpy
# la riga sottostante estrae le coordinate dagli oggetti del modello (colonne, etc..)
for obj in bpy.data.objects:
print(obj.name, obj.location, obj.rotation_euler, obj.scale)
```

Il file esportato da Blender, in formato obj è accompagnato dalle sue textures e da un file con estensione “.txt” con le suddette coordinate, pronte per essere lette e interpretate da un altro script che le traduce nell'ambiente di OpenSceneGraph.

3.6 Tecniche di ottimizzazione per la pubblicazione online.

La visita virtuale del paesaggio di Montegrotto attraverso il *plugin* OSG4Web (Fanini *et Alii* 2011) per la navigazione tridimensionale consentiva già nella prima versione l'esplorazione di tre siti archeologici (Via Scavi, Via neroniana e zona Turri). La pubblicazione online di questi siti e le relative problematiche attraverso questa piattaforma sono state trattate nella nuova *release* con alcune tecniche orientate all'ottimizzazione delle gerarchie e alle performance per una fruizione via web ottimale (Fanini *et Alii* 2011)

Il quarto sito archeologico, ovvero il complesso termale “Sotto l'hotel Terme Neroniane”, dopo la fase di modellazione in ambiente Blender, ha richiesto alcuni passaggi aggiuntivi per la pubblicazione online. Un modello particolarmente esteso e dettagliato come quello in considerazione richiede una maggiore pianificazione a livello di organizzazione geometrica per una fruizione ottimale via web senza sacrificare troppo il dettaglio. In questa occasione è stato utilizzato un nuovo approccio per quanto riguarda la generazione di alcuni componenti.

L'estensione delle aree porticate infatti, la ripetizione e la disposizione di altri componenti come le capriate, colonne e plinti, hanno permesso un approccio orientato alle istanze. L'*instancing* è una tecnica ampiamente utilizzata all'interno di scene complesse, in particolar modo con l'utilizzo della libreria OpenSceneGraph e quindi del *plugin* OSG4Web utilizzato per l'esplorazione del complesso termale. E' stato sviluppato uno strumento in grado di generare in formato OpenSceneGraph alcuni componenti come colonnati, capriate ed altri moduli, organizzati in sotto-grafi ottimizzati, a partire da un modello *template* e da un file contenente la lista di trasformazioni generato nella precedente fase di modellazione in Blender. Per la gestione del *texturing*, ove possibile è stato utilizzato l'approccio degli *atlas* con conseguenti impatti positivi sia sulla quantità di dati trasferiti, sia sulle performance di visualizzazione.

Lo sviluppo di questo flusso di lavoro dalla modellazione alla pubblicazione è stato composto quindi dalle seguenti fasi:

- Semplificazione di alcune geometrie
- Paginazione dei componenti: segmentazione spaziale di alcuni moduli esterni e interni
- Importazione in ambiente OpenSceneGraph dei componenti

- Generazione componenti istanziati: attraverso l'utilizzo di uno strumento di Back-End, sono stati generati colonnati, capriate, basi delle colonne ed altri moduli interni.
- Atlas e riutilizzo di texture
- Organizzazione dei componenti per materiali (es. acqua nelle vasche)

Questo flusso combinato con questi approcci, ha permesso l'ottenimento di un modello particolarmente performante all'interno del *plugin* OSG4Web, con una consistente riduzione del peso complessivo (e quindi banda utilizzata per il trasferimento dei componenti) e senza rinunciare particolarmente a dettagli e qualità estetica globale del modello trasmesso in *streaming* via web. Un ulteriore passo potrebbe coinvolgere la compressione e de-compressione *real-time* dei modelli di cui la libreria OpenSceneGraph è dotata, per migliorare ulteriormente il dettaglio delle geometrie e delle *texture*.

4. L'interazione del visitatore con l'applicazione.

Il caso di studio di "Aquae Patavinae" nella sua forma di esposizione al pubblico con l'interfaccia di navigazione virtuale del territorio attraverso l'utilizzo del *plugin* OSG4Web, si è rivelato un ottimo "laboratorio" di analisi della usabilità ed interazione degli utenti con questo tipo di applicazioni orientate ai musei virtuali. In occasione della prima esibizione del progetto infatti (ArcheoVirtual 2011), è stata valutata ed analizzata l'idea di fornire al pubblico due nuove forme di interazione oltre alla classica visualizzazione *desktop-based*: una attraverso un *touch-screen* e la seconda attraverso un sistema a basso costo di *body tracking* utilizzando una semplice *webcam* (fig. 6). Tali interfacce sono state appositamente studiate e sperimentate soprattutto in vista del loro possibile inserimento all'interno del futuro museo del termalismo a Montegrotto, realizzando così un'applicazione virtuale *on-site*.

Attraverso un processo di *brainstorming*, design, sviluppo e valutazione sul campo dei due sistemi di interazione è stato possibile investigare alcuni fattori di coinvolgimento, le funzionalità, l'usabilità percepita dal visitatore e infine misurare entro certi limiti l'incremento di qualità rispetto all'interazione standard attraverso mouse e tastiera del museo virtuale.

Fig. 6: sistemi di body tracking (a sinistra) e touch-screen (a destra) sperimentati dagli utenti

L'applicazione virtuale prevede, attraverso un'interfaccia, una navigazione virtuale del territorio della Montegrotto attuale in modalità *fly-mode* ovvero ad una certa quota di altezza. Da questo livello l'utente è in grado di selezionare uno dei punti di interesse o *hotspots*, e iniziare un'esplorazione in modalità *walk* sulla zona (ad esempio le Terme e il Teatro di via Scavi) e attraverso alcuni elementi interattivi presenti sull'interfaccia grafica, attivare le ricostruzioni virtuali.

La visione di insieme della sessione di visita che il visitatore tipicamente compie a partire dal punto di vista iniziale (*home*) e' quindi stata quindi suddivisa nelle seguenti azioni (fig. 7):

1. Selezione di un *hotspot* ed ingresso: il visitatore entra in un'area, cambiando modalità di esplorazione (da *fly* a *walk*) visitando il luogo nel suo stato attuale.
2. Attivazione di "Interpretation": il visitatore attiva un livello di interpretazione con le ricostruzioni virtuali (fornite di livelli di affidabilità) in semi-trasparenza, permettendo un raffronto visivo tra presente e passato.
3. Attivazione di "Reconstruction": il visitatore attiva un ulteriore livello di ricostruzione, eliminando lo strato attuale e permettendo un'esplorazione immersiva negli edifici ricostruiti.

4. L'utente completa la sua esplorazione tornando alla *home* quindi in modalità *fly* per ricominciare eventualmente una nuova esplorazione dalla fase 1.

Fig. 7: schema delle azioni effettuate dall'utente durante la sessione di visita

Questa analisi e suddivisione dei *task* per l'utente ha permesso lo studio e il design delle due interazioni naturali applicate alla installazione pubblica, in base ad un approccio *task-centered* (Greenberg 2004)

5. Il concetto di trasparenza del dato

Come per la maggior parte degli studi complessi e multidisciplinari, il nostro progetto ha comportato la gestione di una vasta gamma di informazioni e dati. Normalmente questi dati rimangono nascosti agli utenti (Forte e Pescarin 2009), che hanno soltanto una vaga percezione dell'intero flusso di lavoro, o non l'hanno per niente, cosa che li lascia senza consapevolezza dei dati utilizzati per garantire la scientificità della ricostruzione.

Inoltre, anche se le nuove tecnologie 3D utilizzate per la diffusione del patrimonio culturale ci hanno permesso di creare rappresentazioni più efficaci e chiare del mondo antico, il problema della trasparenza (ovvero come presentare il dato archeologico che sta alla base delle nostre ipotesi, l'affidabilità e l'incertezza del nostro modello ricostruttivo), persiste e spesso viene affrontato in modo soggettivo.

Di seguito viene descritto il nostro approccio alla trasparenza del dato. Grazie a questo sistema di navigazione online con differenti strati informativi e strumenti che consentono una esplorazione più approfondita abbiamo tentato di migliorare la diffusione delle informazioni archeologiche e rendere gli utenti consapevoli.

Durante la navigazione nel mondo virtuale in modalità *walk*, all'utente vengono fornite diverse informazioni su due livelli.

Il primo livello riguarda i tre *layer* informativi attivabili direttamente da un'icona presente sull'interfaccia grafica. Questi una volta attivati, permettono di modificare la visualizzazione del monumento archeologico, fornendo all'utente diversi punti vista sul passato e mostrando a seconda del *layer* scelto, il modello archeologico (o attuale), quello interpretativo oppure quello ricostruttivo.

- **Modello archeologico (o attuale):** questo *layer* informativo è già attivo nel momento in cui l'utente accede ad una delle aree archeologiche. Esso mostra la versione digitale dei monumenti allo stato di conservazione attuale (2011), così come documentato dai rilievi archeologici effettuati direttamente sui resti con diverse tecniche di rilievo già ampiamente descritte (Pescarin *et Alii* 2012, pp. 312-313)
- **Modello Interpretativo:** questo *layer* permette di visualizzare direttamente sui resti archeologici allo stato attuale, volumi semitrasparenti degli elementi architettonici scomparsi e ricostruiti tramite modellazione in computer grafica. Questa visualizzazione concettuale e non realistica del modello è stata pensata per permettere all'utente di confrontare simultaneamente i due modelli (attuale e ricostruito), in modo che sia immediata e chiara la differenza fra ciò che ancora esiste e ciò che è frutto di ipotesi interpretative
- **Modello ricostruttivo:** quest'ultimo *layer*, se attivato, nasconde i due precedenti e mostra la ricostruzione tridimensionale "solida" monumenti oggetto di visita. La ricostruzione in questo caso non più trasparente ma dotata di volumi, *shader* e *texture*, che simulano e riproducono l'aspetto dei manufatti così come si ipotizza fossero stati al momento della loro realizzazione in epoca romana ed in particolare nel I secolo d.C. Come già accennato in precedenza, le

ipotesi ricostruttive sono state sviluppate dagli archeologi ed architetti della Soprintendenza Archeologica del Veneto e dall'Università di Padova che da anni sono impegnati in attività di scavo, documentazione e ricerca nei siti archeologici di Montegrotto.

Il secondo livello riguarda invece la visualizzazione di pannelli “galleggianti”, ovvero delle schede fluttuanti semitrasparenti che riportano alcune essenziali informazioni testuali riguardo al monumento che si sta visitando o parte di esso (fig. 8).

Tali pannelli vengono attivati da un “sensore di prossimità”, in altre parole, non appena l'utente si avvicina ad un *hotspot*, cioè ad un punto di particolare interesse, queste si aprono automaticamente e seguono l'utente fintanto che resta nell'area pertinente al pannello stesso. Ciò permette di mantenere continuità tra il tour virtuale dei modelli e l'apparato informativo, in tal modo infatti l'utente può visualizzare entrambi senza dover necessariamente interrompere la propria esplorazione.

I pannelli come accennato, recano esclusivamente le seguenti informazioni essenziali, funzionali al tipo di visita:

- **Nome del manufatto visualizzato**
- **Tipologia e funzione del manufatto**
- **Datazione stimata**
- **Riferimenti principali utilizzati nelle ipotesi ricostruttive e risorse**
- **Livello di affidabilità**

Seguono due esempi di pannelli compilati:

1. Ruote Idrauliche (Norie)

- Sistema idraulico di deflusso e adduzione delle acque termali connesso alla rete di canalizzazioni estesa per più di 200 m
- I sec. d.C.
- Ricostruzione basata sui resti degli alloggiamenti delle ruote per il sollevamento e movimentazione dell'acqua e sui modelli realizzati per la mostra “Machina” (Pisani Sartorio e Galli 2010, pp. 110-129)
- Affidabilità: 2/3 stelle

2. Teatro

- Piccolo teatro per spettacoli, forse coperto con una struttura amovibile. Faceva parte di un più ampio complesso termale monumentale di età augustea
- Costruito tra la fine del I sec. a. C e gli inizi del I sec. d.C.
- Ricostruzione basata sui rilievi e documenti di scavi e restauri della Soprintendenza Archeologica del Veneto
- Affidabilità: 3/3 stelle

Con il termine “affidabilità”, si intende quanto sia alto il grado di verosimiglianza dei modelli. Per rendere chiaro all'utente il differente grado di affidabilità riguardante le ricostruzioni, è stato utilizzato un espediente facile e di comprensione immediata, la cui efficacia è stata testata in precedenti progetti di realtà virtuale (*La Villa di Livia* 2007). Nella scelta dell'espediente grafico è stata evitata la codifica per colori in modo da preservare l'aspetto realistico dei modelli (Jones 2009, p. 102). È stato invece scelto un semplice sistema basato su scala progressiva che fa uso del simbolo grafico a forma di stella per determinare la minore o maggior affidabilità della ricostruzione:

* **Ricostruzione “evocativa”**: nessuna informazione archeologica è disponibile e le ipotesi 3D presentate sono basate su criteri deduttivi o su confronti con altri casi simili documentati nel territorio. In genere riferito a decorazioni, pitture, elementi lignei, ovvero elementi che più di altri sono soggetti al degrado e che difficilmente lasciano traccia.

** **Ricostruzione “possibile”**: poche tracce archeologiche a disposizioni e le ipotesi ricostruttive sono basate sulle evidenze e su confronti specifici. In genere questo livello è riferito ad elementi architettonici mancanti ma il cui profilo è deducibile per via di alcuni criteri come ripetitività, funzionalità strutturali, proporzioni o stile (ad esempio colonnati, portici, tetti, architravi, ecc.)

*** **Ricostruzione “probabile”**: molte tracce archeologiche e cartografia storica a disposizione. La ricostruzione è basata sulle ampie tracce archeologiche ben preservate, ad esempio i volumi del teatro o delle terme di via Scavi che hanno mantenuto la loro planimetria originale e ampie tracce in elevato

Fig. 8: esempio di pannelli galleggianti attivabili durante la navigazione

6. User test e metodi di investigazione

Al fine di valutare l'efficacia delle nuove interfacce e testare il coinvolgimento, le funzionalità e l'usabilità percepita dal visitatore, durante la presentazione al pubblico del progetto “A passeggio nel Passato. Visita virtuale interattiva della Montegrotto antica”, tenutasi a Montegrotto nei giorni 17, 18 e 19 maggio 2012, l'applicazione è stata testata dal grande pubblico all'interno degli spazi del “Palazzo del Turismo” utilizzati per creare un'installazione temporanea delle due interazioni naturali per l'applicazione virtuale. Il setup delle due interazioni ha ricalcato la disposizione fisica preparata per la precedente occasione di Archeovirtual 2011.

Durante l'afflusso dei visitatori, i metodi di investigazione utilizzati per analizzare le interazioni sono stati i questionari, interviste e sessioni di osservazione, rivelandosi ottimi strumenti per individuare criticità, difficoltà e misurare entro certi limiti la qualità percepita dal visitatore durante la sessione di esplorazione virtuale del paesaggio di Montegrotto. Il protocollo utilizzato per le sessioni di osservazione in particolare, si è focalizzato maggiormente su alcune variabili individuate in precedenza durante Archeovirtual, occasione nella quale era stato utilizzato un protocollo più generico. Le variabili monitorate in particolare sono state (Norman 2002):

- **Visibilità**: statistiche sul modo in cui i visitatori accedono ai punti di interesse attraverso le due interfacce, includendo l'ordine di visita e statistiche sull'accesso al sito singolo.
- **Mapping**: la facilità e la velocità di apprendimento delle due interazioni naturali, l'efficienza e i problemi riscontrati durante l'osservazione.
- **Consistenza**: il livello di apprendimento del meccanismo di avanzamento delle fasi (interpretazione e ricostruzione)
- **Feedback visivo**: analisi delle reazioni ad alcune informazioni visive in seguito all'interazione con alcuni elementi
- **Prevedibilità**: osservazione di azioni compiute dall'utente, non previste dai due sistemi

Il protocollo di osservazione si è focalizzato inoltre su eventuali problemi tecnici, raccolta di commenti dei visitatori durante la sessione di visita. Il questionario invece si è concentrato maggiormente sulle informazioni utili riguardanti l'esperienza utente (figg. 9-10-12), in particolare l'impatto emotivo a sessione appena terminata.

I risultati di queste valutazioni compiute su questo tipo di sistemi di interazione, hanno mostrato un concreto incremento del fattore di coinvolgimento, con una attitudine positiva all'esplorazione soprattutto con l'interfaccia di *body-tracking* (registrate permanenze spontanee di oltre 15 minuti). Attraverso queste osservazioni e questionari sono tuttavia emerse alcune criticità, durante l'evento di Montegrotto in particolare:

- **Interazione Touch-screen:** alcuni utenti hanno incontrato delle difficoltà con il modello di *dragging* con il riferimento assoluto (centro dello schermo) durante rotazione e movimento camera
- **Interazione Body-tracking :** le problematiche principali hanno riguardato principalmente la perdita del punto di *tracking*, la necessità di supervisione da parte di un membro del team, movimenti dei visitatori non previsti dal sistema e alcune difficoltà derivate dagli spazi ristretti (fig. 11).

In conclusione, l'obiettivo principale di arricchimento dell'esperienza, coinvolgimento e senso di immersione per il visitatore sono stati raggiunti a costo di alcune criticità che possono essere risolte agendo sui sistemi di interazione. Mentre per il touch-screen è possibile intervenire direttamente configurando un modello di *dragging* opportuno, per le problematiche relative al *body-tracking* un nuovo sistema di *tracking* è in fase avanzata di sviluppo, in grado di:

- Rilevare e segmentare automaticamente lo sfondo ripreso da una semplice webcam, con un buon adattamento a condizioni variabili di illuminazione (KaewTraKulPong e Bowden 2002);
- Rimuovere il vincolo della supervisione da parte di un membro del team, in quanto il nuovo sistema è in grado di tracciare ogni movimento del visitatore in maniera automatica;
- Rimuovere le criticità durante il tracking, in quanto il sistema provvede automaticamente alla rigenerazione di nuovi *tracker*.

La robustezza del nuovo sistema proposto, oltre all'applicazione diretta ad installazioni in ambito museale, apre nuovi scenari e possibilità per l'interazione con più di una persona alla volta, in grado di controllare ed interagire con un ricco paesaggio ricostruito, fruibile via web.

Fig. 9: grafico con indicati i tempi di permanenza media dell'utente nelle sessioni di body-tracking e touch-screen in occasione della presentazione al pubblico del progetto "A passeggio nel Passato. Visita virtuale interattiva della Montegrotto antica"

Fig. 10: grafico con indicati il grado di coinvolgimento dell'utente nelle sessioni di navigazione in occasione della presentazione al pubblico del progetto "A passeggio nel Passato. Visita virtuale interattiva della Montegrotto antica"

Fig. 11: grafico con indicati il grado di usabilità delle interfacce in base alle opinioni degli utenti nelle sessioni di navigazione in occasione della presentazione al pubblico del progetto "A passeggio nel Passato. Visita virtuale interattiva della Montegrotto antica".

Fig. 12: grafico con indicati il grado di preparazione culturale e tecnologica degli utenti nelle sessioni di navigazione in occasione della presentazione al pubblico del progetto "A passeggio nel Passato. Visita virtuale interattiva della Montegrotto antica".

6. Conclusioni

Con il progetto *Aquae Patavinae* abbiamo sperimentato un completo flusso di lavoro strutturato in diverse fasi: dall'analisi alla ricostruzione del paesaggio archeologico a diverse scale e risoluzioni, dalla sua pubblicazione e fruizione su web al test sull'utenza. Ad eccezione del software *CityEngine*, utilizzato per la generazione semiautomatica del contesto urbano attuale il lavoro ha fatto uso esclusivamente di strumenti *open-source* in tutte le sue fasi (ricordiamo i principali: *Meshlab*, *Blender* e *OSG4Web*). Ciò ha permesso di implementare *ad hoc* (tramite scripting) degli strumenti di raccordo fra i diversi software, fra i diversi partner che li utilizzano e, quindi, fra diverse competenze disciplinari. Da un punto di vista della ricerca applicata, uno degli aspetti più importanti del mondo *open source* è rappresentato dal fatto che ogni strumento software non è un'isola separata dagli altri come avviene per le licenze *closed* (principalmente per motivi di modelli di business delle società a cui fanno capo). I software *open-source* si basano infatti su librerie (pezzi di codice finalizzati ad un compito preciso) condivise e impiegano linguaggi comuni, per cui è possibile rappresentarli mentalmente come un arcipelago di isole vicine e comunicanti. Questa caratteristica strutturale è di gran lunga superiore al già importante vantaggio economico della gratuità dello strumento: in un contesto multidisciplinare, permette di personalizzare e migliorare la propria pipeline di lavoro valorizzando le competenze dei singoli. Infine, trattandosi di software gratuito, ha permesso di investire le risorse finanziarie sul capitale umano e la sua formazione anziché nelle licenze d'uso.

Il sistema di presentazione interattivo ed i contenuti dell'applicazione, ha reso inoltre possibile all'utente, secondo i nostri test, la formulazione di processi cognitivi non pensabili mediante un approccio tradizionale (fig. 13). Le ricostruzioni tridimensionali, le dinamiche di esplorazione e gli apparati grafici ed informativi hanno permesso infatti di "digerire" e comprendere visivamente, in modo più completo informazioni complesse, quali i dati archeologici ed il relativo processo interpretativo (fig. 14)

Aspetto fondamentale di quest'ultimo anno di ricerca è stato infine lo sviluppo di nuove interfacce ed il test sull'usabilità dell'applicazione da parte dell'utente. Uno degli elementi fondamentali di un museo virtuale è infatti la sua potenzialità di comunicare un messaggio, trasformando il dato grezzo in informazione, qualunque sia l'utente previsto (il ricercatore, il turista, lo studente, ecc.). Non vi è comunicazione se il dato grezzo non raggiunge l'utente, nella sua "trasformazione" all'interno di un sistema digitale fatto di interfaccia, comportamenti, *digital device*. Verificare che il messaggio arrivasse all'utente, analizzandone reazioni, aumento cognitivo e percezione dell'esperienza è risultato di fondamentale importanza. La valutazione effettuata sugli utenti è ormai considerata parte del processo di ricerca, coinvolgendo anche le scienze cognitive. Negli ultimi anni infatti si registra circa 30% di aumento degli articoli scientifici su questo argomento all'interno dei convegni dedicati al digital heritage. (Law *et Alii* 2008; Hassenzahl 2006). Concludendo, il successo riscontrato nella sperimentazione di nuove interfacce, che semplificano i processi di navigazione e migliorano interesse e tempi di permanenza del visitatore, ci ha aiutato nell'eliminazione delle criticità e nell'individuare le migliori soluzioni comunicative e grafiche per l'integrazione dell'applicazione di realtà virtuale all'interno del futuro Museo del Termalismo.

Fig. 13: Modello 3D di portici delle Terme Neroniane sotto l'Hotel realizzato in Blender

Fig. 14: Modello 3D di portici delle Terme Neroniane sotto l'Hotel visualizzato all'interno dell'interfaccia OSG4Web

Ringraziamenti

Il progetto *Aquae Patavinae* (<http://www.aquaepatavinae.lettere.unipd.it/>) è stato finanziato da ARCUS S.p.A., dalla Regione Veneto, dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Padova e Rovigo e dal MIUR (progetto PRIN), con il coordinamento del Dipartimento di Archeologia (ora ipartimento di Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica) dell'Università di Padova (prof. ssa Francesca Ghedini). Si ringraziano inoltre: CNR ITABC; Francesca Ghedini, Marianna Bressan, Maddalena Bassani, Paolo Kirschner (Dipartimento di Beni Culturali: archeologia, storia dell'arte, del cinema e della musica, Università degli Studi di Padova); Vincenzo Tinè, Elena Pettenò, Loretta Rega (Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto).

Glossario tecnico

Atlas texture: Nella computer grafica la texture Atlas è un'immagine di grandi dimensioni che contiene al suo interno un'insieme di immagini più piccole. Il suo utilizzo permette di migliorare le prestazioni del plugin OSG4Web.

Body-tracking: modalità di interazione con il computer basata, invece che su strumenti tradizionali (es: mouse o tastiera), su *devices* sensibili al movimento umano (es: Microsoft Kinect)

Desktop-based: tecnologia di visualizzazione tradizionale, mediante comuni monitor per PC

Fly-mode: si veda Walk-mode.

Gesture-based: letteralmente "*basata su gesti*". Insieme delle diverse forme di interazione con il computer basate sui gesti dell'utente (es: body-tracking, touch-screen).

Instance/instancing: oggetto che condivide i propri attributi con una classe o gruppo di oggetti.

Low Poly, Modello: Modello 3D costituito da un basso numero di poligoni.

Normal map: immagine che simula illuminazione e rilievo di un oggetto, impiegata in genere su modelli low poly per aggiungere dettaglio.

Quad-Tree: struttura in cui ogni nodo in un grafo possiede quattro figli, particolarmente efficiente per l'organizzazione dei dati in una scena. I nodi terminali (senza ulteriori figli) vengono chiamati "*foglie*".

Rendering: processo di generazione di un'immagine a partire da una descrizione matematica di una scena tridimensionale.

Set virtuale: si intende un ambiente ricreato in 3d con caratteristiche e funzioni del tutto analoghe a quello di un set fotografico a luce controllata e prelude alle fase di messa a punto delle luci prima di un rendering.

Shader: in computer grafica ci si riferisce ad uno strumento generalmente utilizzato per determinare il materiale (comportamento fisico) dell'oggetto che si vuole simulare

Streaming: flusso di dati trasmessi in formati compressi da una sorgente (server) a una o più destinazioni (Computer).

Texture: tessitura, immagine che simula il materiale che costituisce la superficie del modello. Esistono varie sottocategorie di texture, tra quelle citate: Color Map, simula il colore RGB del materiale; Bump Map, simula la rugosità del materiale.

Touch-screen: sistema di interazione con l'applicazione basata, invece che su dispositivi tradizionali (es: mouse o tastiera), su *monitor o superfici* sensibili al tocco delle dita.

Walk-mode: letteralmente "*modalità di camminata*". Termine utilizzato nelle applicazioni interattive di navigazione in prima o terza persona per indicare il punto di vista e velocità di spostamento dell'utente, all'interno del mondo virtuale, simile a quello di un uomo. Si differenzia da **Fly-mode** che indica invece un punto di vista aereo e velocità di spostamento maggiori.

Bibliografia

- Bonomi S., Cipriano S., Hsking D., Rigoni M. 2012, *Lo scavo archeologico presso l'Hotel Terme Neroniane*, in *Aquae patavinae. Montegrotto terme e il termalismo in Italia. Aggiornamenti e nuove prospettive di valorizzazione*, Atti del II convegno nazionale, a cura di M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini (Padova, 14-15 giugno 2011), pp. 193-204.
- Calori, L., Camporesi, C., Pescarin, S. 2009, *Virtual Rome: A FOSS approach to WEB3D*, in "3D technologies for the World Wide Web", Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology, Darmstadt, Germany, pp. 177-180.
- Fanini B., Calori L., Ferdani D., Pescarin S. 2011, *Interactive 3D Landscapes Online*, in International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-5/W16.
- Forte M. Pescarin S. 2009, *Behaviours, Interactions and Affordance in Virtual Archaeology*. In, A. Bentkowska-Kafel, H. Denard, D. Baker (a cura di), *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, London, pp. 189-201.
- Greenberg S. 2004, *Working through Task-centered System Design*, in *The Handbook of task analysis for human computer interaction*, a cura di D. Diaper, N. Stanton, Mawuaw, pp. 49-66
- P. KaewTraKulPong, R. Bowden 2001, *An improved adaptive Background Mixture Model for realtime tracking with shadow detection*
- Hassenzahl, M. 2006, *Hedonic, emotional, and experiential perspectives on product quality*, in a C. Ghaoui (cura di) *Encyclopedia of Human Computer Interaction*, Darmstadt, pp. 266-272.
- Law E., Roto V., Hassenzahl M., Vermeren A., Kort J. 2009, *Understanding, Scoping and Defining User Experience: A Survey Approach*. Atti della conferenza SIGCHI, Human Factors in Computing System (Boston, 7 Aprile 2009) a cura di D. R. Olsen, Jr e R. B. Arthur, New York, pp.719-728.
- *La villa di Livia, un percorso di ricerca di archeologia virtuale* 2007, a cura di M. Forte, Roma.
- Norman D. A. 2002, *The Design of Everyday Things*, New York.
- Pescarin S., Fanini B., Lucci Baldassari, Ferdani D., Calori L. 2011, *Archeologia virtuale, realismo, interattività e performance: dalla ricostruzione alla fruizione on line*, in "Disegnare con". *Communication Technology for Cultural Heritage , Tecnologie per la Comunicazione del Patrimonio Culturale*", IV, 8, pp. 62-70.
- Pescarin S., Fanini B., Ferdani D., Lucci Baldassari G 2012, *Archeologia virtuale a Montegrotto Terme* in *Aquae patavinae. Montegrotto terme e il termalismo in Italia. Aggiornamenti e nuove prospettive di valorizzazione*, Atti del II convegno nazionale, a cura di M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini (Padova, 14-15 giugno 2011), pp. 309-326.
- Pisani Sartorio G. e Galli M. (a cura di) 2010, *Machina. Tecnologia dell'antica Roma*, Catalogo della Mostra (Roma, Museo della Civiltà Romana, 23 dicembre - 5 aprile 2010), Roma.
- Remondino F. and El-Hakim S. 2006. *Image-based 3d modelling: a review*, in *The Photogrammetric Record*, 21(115), pp. 269–291.
- Shanks M., Tilley C. , *Reconstructing Archaeology*, New York 1987.
- *Virtual Reality in Archaeology* 2000, a cura di J. A. Barcelò, M. Forte, D. H. Sanders, BAR International Series 843, Oxford.
- Jones M. 2009, *Hypothesizin Southampton in 1454: a Three-dimensional Model of the Medieval Town*, in *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*, a cura di A. Bentkowska-Kafel, H. Denard, D. Baker, London, pp. 95-108,

Pagine internet

- London Charter. Disponibile on line all'indirizzo:
http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_en.pdf
- ArcheoVirtual 2011. Disponibile on line all'indirizzo:
<http://www.vhlab.itabc.cnr.it/archeovirtual/2011>
- Aquae Patavinae. Disponibile on line all'indirizzo:
http://www.aquaepatavinae.lettere.unipd.it/portale/?page_id=2174
- Phyton. Disponibile on line all'indirizzo:
<http://www.python.it/>

Abstract

Il lavoro presenta le differenti fasi del progetto di archeologia virtuale “Aquae Patavinae VR”, nel quale è stato utilizzato un approccio multidisciplinare di lavoro al fine di realizzare modelli 3D ricostruttivi del passato, ottimizzati e integrati in un museo virtuale fruibile in tempo reale ed accessibile on-line sia da parte di specialisti che un più ampio pubblico. Il lavoro si basa principalmente su strumenti *open-source* tra cui uno sviluppato in precedenza dal team, OSG4Web, recentemente ottimizzato con l'aggiunta di nuove caratteristiche e funzionalità per consentire la pubblicazione finale delle ricostruzioni e vasti paesaggi. Nell'articolo vengono approfonditi gli aspetti problematici di una attività tipica di archeologia virtuale, in cui gli obiettivi principali sono l'interpretazione e la ricostruzione del paesaggio archeologico ed antico attraverso strumenti di archeologia virtuale, concentrandosi sul problema di rendere "trasparente" per utenti non esperti, i metadati utilizzati per costruire e garantire l'accuratezza dei modelli 3D. Infine sono presentati nuove possibili interfacce *gesture-based* appositamente studiate in vista di una futura realizzazione di un museo virtuale *on-site* del termalismo e vengono discussi i dati dei test, relativi a funzionalità ed usabilità dell'applicazione di realtà virtuale, effettuati su un campione di utenti.