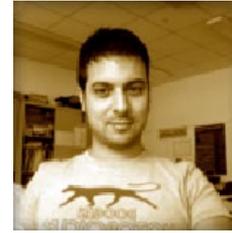




Sofia Pescarin
Archeologa, Dottore di Ricerca in Storia e Informatica, specialista GIS e nell'approccio Open Source ai Beni Culturali. Ricercatore presso CNR ITABC, nel VHLab (Roma). E' coordinatrice a livello nazionale una unità di ricerca dedicata al "Virtual Heritage" e, attualmente, del progetto di V-MusT.net Network of Excellence, finanziato dalla Comunità europea nell'ambito del 7 ° PQ (2011-2015). Dirige la Scuola Italiana di Archeologia Virtuale e gli eventi ArcheoVirtual.



Bruno Fanini
Programmatore di Grafica 3D e artista digitale, si interessa di Virtual Heritage, grafica 3D real-time e Realtà Virtuale. E' impegnato in diversi progetti tra cui mondi virtuali online (OSG4WEB plugin), sistemi di aiuto alla navigazione in ambienti virtuali e interfacce utente. Ha sviluppato progetti al centro di calcolo CINECA (Bologna) e presso il CNR ITABC, VHLab (Roma). Ha esperienze in ambito OpenSceneGraph, interessi in ottimizzazioni web 3D e periferiche per Wii.



Guido Lucci Baldassari
Ingegnere dell'Automazione presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Degli Studi di Ferrara. Si interessa di videogiochi, 3D real time, computer grafica e animazione. Nel 2010 stagista al centro di calcolo CINECA (BO). Attualmente presso il CNR ITABC (Roma) è coinvolto in varie attività nel campo del Virtual Heritage e approfondisce le sue conoscenze di computer grafica e di sviluppo del software Mac OSX/Cacao.



Daniele Ferdani
Archeologo, ha un master di II livello in Geotecnologia per l'Archeologia. Dal 2009 è dottorando in Archeologia di edilizia medievale presso l'Università di Siena e docente di modellazione 3D per l'archeologia presso la Scuola Virtual Heritage del CNR e presso la Scuola Superiore di Computer Graphics per i Beni Culturali del Cineca (BO). È borsista nel Virtual Heritage Lab (VHLab) del CNR ITABC (Roma).



Luigi Calori
Laureato in Matematica a Bologna, dal 1989 lavora presso il CINECA nel laboratorio di Visualizzazione. Ha sviluppato applicazioni in diversi campi: astrofisica, analisi mediche con visualizzazione dei dati, interfacce tattili, visualizzazione di paesaggi e dati geografici del patrimonio culturale. È attualmente impegnato nello sviluppo di applicazioni 3D per i beni culturali e per la visualizzazione scientifica, basate sulla libreria open source "OpenSceneGraph".

Archeologia virtuale, realismo, interattività e performance: dalla ricostruzione alla fruizione on line *Realism, Interactivity and Performance: a pipeline for large scale Virtual Heritage dataset on line*

L'articolo presenta le diverse fasi di un progetto di archeologia virtuale, nel quale i diversi tipi di dati vengono acquisiti e realizzati utilizzando approcci metodologici diversi, per poi essere integrati all'interno di un unico ambiente interattivo. Tale ambiente è costituito da una parte accessibile solo da utenti "esperti" (tramite accesso ristretto ad una sezione back-end in cui è possibile comporre la scena 3d ed esplorarla) e da una parte 3d esplorabile interattivamente da un pubblico più ampio. Viene dunque descritto il software open source realizzato, OSG4WEB, recentemente ottimizzato tramite l'aggiunta di nuove funzionalità che consentono di pubblicare on line ampi paesaggi 3d ricostruiti. Viene quindi analizzato un caso di studio, Aquae Patavinae VR, su cui si sono testati gli approcci metodologici e le funzionalità del software di visualizzazione e interazione on line. Vengono infine sottolineate le problematiche ancora aperte nel

settore della creazione di paesaggi archeologici e nella loro esplorazione all'interno di ambienti di realtà virtuale.

The paper presents the different steps of a virtual archaeology project, where different data are produced using separate pipelines, and are optimized and integrated in a real time environment, accessible on line by specialists (restricted access to a back end section) and by a wider public (open access to a front end section). The work is based on an open source tool previously developed by the team, OSG4WEB, recently optimized, adding new features and functionalities to enable the final publication of massive landscape reconstructions and virtual environments. The case study, Aquae Patavinae project, was chosen in order to explain the problematic aspects of a typical virtual archaeology

work, where the main goal is to reconstruct ancient potential contexts and landscapes, thus supporting the choices made in the development of the software. The paper will underline how large reconstructed worlds and virtual environments within real-time 3D applications via web is still a challenge.

1 . ARCHEOLOGIA VIRTUALE. NECESSITA' E PROBLEMI

Negli ultimi anni sta emergendo all'interno della comunità internazionale degli archeologi un crescente interesse verso l'archeologia virtuale, tanto da dare l'avvio ad un vivo dibattito sulla sua eventuale integrazione nei curricula accademici, elevandola a disciplina. La situazione cambia naturalmente da paese a paese, in quanto all'interno del mondo accademico non sono ancora arrivati a maturazione alcuni principi e riflessioni epistemologiche tuttora in corso (London Charter, Seville Principles). È comunque interessante registrare che sebbene tale interesse sia nato in un gruppo ancora ristretto, composto da quei professionisti e studiosi del settore che hanno adottato tecnologie informatiche nel proprio lavoro di tutti i giorni, tale gruppo è destinato ad ampliarsi sempre più nei prossimi anni cambiando completamente le prospettive e il panorama futuro. È dunque possibile immaginare come il dibattito di questi anni possa in breve essere sostenuto ben più ampiamente. Il termine "archeologia virtuale" nasce nel 1990 quando Paul Reilly (Reilly, 1990) per primo lo propose in riferimento all'uso di modelli tridimensionali di monumenti e oggetti. La parola "virtuale" viene oggi utilizzata in maniera piuttosto ampia, includendo di fatto semplici rappresentazioni 3d, ivi comprese quelle pubblicate su libri e video, perdendo quel fondamentale legame con il campo delle visualizzazioni interattive (Gillings, 1999). Nell'ambito del dibattito sopra menzionato, l'archeologia virtuale si configura dunque come una disciplina attraverso cui accedere in maniera visiva (visual) e, talvolta, interattiva a dati difficili da osservare, consentendo di formulare nuove domande utili alla ricerca in campo archeologico. Attraverso la costruzione di modelli e simulazioni è possibile ricreare il nostro processo cognitivo sul passato e di renderlo accessibile anche ad altri attraverso un sistema di presentazione interattivo. Le ricostruzioni tridimensionali scaturite da tale processo ci consentono poi di testare in maniera visiva più completa informazioni complesse, redifinendo gli obiettivi della ricerca stessa. Senza scendere nel merito della discussione se si debba o meno considerare l'Archeologia Virtuale

una disciplina, possiamo qui limitarci a definirla un processo di acquisizione e simulazione, oltre che uno strumento per ricostruire quanto non è più o è difficilmente studiabile, visibile o visitabile. Rimangono comunque aperte alcune questioni che necessiterebbero un'attenta disamina: come realizzare un modello virtuale archeologico, partendo da dati reali? Come può il processo di ricostruzione rendere tale modello una porta di accesso alla spiegazione /descrizione/ studio del passato? Come gestire la ricostruzione soprattutto dove vi siano dati frammentari? Come impostare il lavoro di acquisizione dei dati in maniera da ottenere un risultato, e dunque modelli, più affidabili? Quale rapporto esiste tra realismo e realtà e come evidenziarlo nel processo digitale? Come è possibile infine utilizzare la realtà virtuale in maniera efficace per diffondere informazioni archeologiche a vari livelli (educational, entertainment, research, ecc.)? All'interno dell'archeologia virtuale sembrano emergere due componenti: una strettamente connessa alla ricerca e l'altra alla comunicazione. Si tratta infatti di un processo che non si esaurisce nella semplice trasposizione digitale di un bene culturale, ma che prende come input i risultati della ricerca (archeologica e ambientale) per poi costruire un canale di comunicazione principalmente basato su strumenti di visualizzazione rivolti in prima battuta ad un gruppo ristretto di esperti e successivamente ad un pubblico più ampio. Nel primo caso lo scopo è infatti quello di consentire lo scambio di dati e informazioni durante la fase di interpretazione; nel secondo caso quello di raggiungere un pubblico più ampio e di trasmettere un messaggio comunicativo. Nel primo caso percorsi interattivi, aperti, condivisi, caratterizzati dall'accesso a molte informazioni vengono preferiti, nel secondo invece percorsi caratterizzati dall'integrazione di media narrativi più o meno lineari (video, audio, testi, virtual story telling, ecc). Nel segmento "ricerca", il lavoro viene svolto da gruppi multidisciplinari, provenienti sia dal settore culturale/ambientale che da quello tecnologico. Il team si occupa in genere di studiare il passato, acquisire informazioni di base, interpretarle e produrre delle ipotesi. Per fare ciò il gruppo di lavoro ha bisogno di discutere e scambiare informazioni

e dati. Generalmente il tipo di dati con cui ha a che fare è di tipo "raw" (dati grezzi acquisiti con GPS, o con strumenti Image Based - IBM- o Range Based - RBM), da cui vengono poi prodotti una prima serie di dati post-processati di due tipi: dati geo-spaziali e modelli tridimensionali. Questo tipo di dati vanno acquisendo dimensioni sempre maggiori. Le immagini geo-spaziali (es. geotif) e i modelli digitali del terreno ad alta risoluzione diventano rapidamente, nella fase del post-processamento, gigabyte e gigabyte di informazioni. Ogni successiva caratterizzazione del paesaggio (geomorfologia, idrologia, vegetazione, ecc.) si trasforma in enormi librerie digitali di texture e geometria. La stessa situazione si ripete nel caso della creazione di modelli 3d a partire da acquisizioni RBM (scanner laser).

Al fine dunque di semplificare e ottimizzare questo doppio processo (scambio di informazioni/ produzione di dati) è necessario:

- poter gestire ampi dataset di informazioni geo-spaziali e di modelli 3d;
- consentire il collegamento e integrazione tra dati che appartengono a workflow differenti (terreni tridimensionali, librerie di vegetazione, modelli 3d), assicurando accesso e possibilità di "editing" agli specialisti dei contenuti e non solo ai programmatori;
- consentire di condividere dati e informazioni 2d e 3d all'interno di un ristretto gruppo di lavoro;
- consentire l'integrazione di informazioni multimediali e l'inserimento di specifici comportamenti all'interno degli ambienti tridimensionali;
- semplificare la visualizzazione ed esplorazione interattiva di tutti i dataset, consentendone l'accesso all'intera comunità.

Per meglio illustrare le differenti fasi di un progetto di archeologia virtuale, evidenziandone problematiche e possibili soluzioni, viene di seguito riportato come caso di studio il progetto *Aquae Patavinae VR*. In tale progetto i diversi tipi di dati sono stati prodotti seguendo workflow differenti; sono stati poi composti all'interno di una sezione back-end accessibile on line da specialisti, infine integrati all'interno di un ambiente VR accessibile, aperta a tutti, esplorabile su un browser con il plug-in OSG4WEB, di seguito descritto.

1.1 IL CASO DI STUDIO DI AQUAE PATAVINAE VR A MONTEGROTTO TERME: DAL CAMPO ALLA RICOSTRUZIONE 3D

La ricostruzione e modellazione dell'intero territorio nei pressi dei Colli Euganei (comuni di Montegrotto Terme e Turri in provincia di Padova) con i principali siti archeologici e la pubblicazione on line dei dati sono stati due dei principali obiettivi e sfide del progetto *Aquae Patavinae*, finanziato dalla Regione Veneto e dal MIUR e coordinato dal Dipartimento di Archeologia dell'Università di Padova. Per raggiungere tali obiettivi si è dovuta pianificare una fase di acquisizione sul campo (paragrafo 1.1.1) e una di modellazione in laboratorio (paragrafo 1.1.2.) a partire da fonti storico-archeologiche e architettoniche. Si sono infine ottimizzati i modelli ottenuti per essere integrati in una piattaforma web accessibile attraverso il plug-in OSG4WEB (paragrafo 2). Per quanto concerne il lavoro di modellazione, si sono seguiti due approcci:

1. acquisizione dei siti e monumenti archeologici attraverso tecnologie attive e passive, IBM e RBM, finalizzate alla rappresentazione fedele dei siti e dei monumenti;
2. modellazione procedurale e modellazione in computer grafica "not-real" per rappresentare in maniera efficiente in 3d la città moderna e per ricostruire quello che doveva potenzialmente essere l'aspetto in età antica degli edifici (I secolo d.C.).

1.1.1 IL RILIEVO DEI SITI ARCHEOLOGICI

Riguardo al primo punto, uno dei primi problemi affrontati ha riguardato la selezione di una corretta tecnica di acquisizione dei dati sul campo. Allo stato attuale è possibile affermare che non esiste un'unica tecnica di modellazione utilizzabile per ogni tipo di monumento e di sito, in grado di soddisfare le richieste di accuratezza geometrica, quelle di "leggerezza" e portabilità dei file, la completa automazione, il foto-realismo, i costi contenuti e infine la flessibilità ed efficienza. I due principali metodi di acquisizione e modellazione utilizzabili (IBM e RBM) sono in grado di offrire singolarmente tutti gli elementi chiave necessari a modellare l'oggetto acquisito, ma la loro integrazione assicura il miglior risultato in termini di affidabilità e completezza. Per giungere ad una completa ed esaustiva do-

cumentazione metrica dei monumenti e resti archeologici si è deciso di effettuare un test, basato sull'utilizzo di entrambe le tecniche, in modo da poterle confrontare e definirne le specifiche di applicazione. Il test si è focalizzato sul cosiddetto teatro romano, all'interno dell'area archeologica di via Scavi a Montegrotto (fig. 1).

I resti di tale monumento, infatti, presentavano una grande varietà di casi e di situazioni anche problematiche, come ad esempio la presenza di una copertura protettiva o la complessa articolazione della planimetria che di fatto ne limitava fortemente la visibilità complessiva. Per acquisire completamente tale monumento si è verificato che solo l'utilizzo integrato della fotogrammetria terrestre e area (multi-stereo) e dello scanner laser a tempo di volo (time of flight) ha dato il migliore risultato. I risultati del test, in corso di

pubblicazione, hanno orientato dunque la scelta verso l'utilizzo integrato dei due approcci, attraverso cui si è potuto giungere ad un controllo geometrico degli oggetti, confrontare l'aspetto e forma attuale con il disegno originario e ottenere una texture fotorealistica. In linea generale queste le scelte condotte:

- si è proceduto ad acquisire con tecnica RBM:
 - i contesti nel loro insieme;
 - le strutture coperte di primario interesse;
 - gli ambienti estremamente complessi dal punto di vista dell'articolazione, ma di secondario interesse;
- si è scelta la tecnica IBM per:
 - tutte le strutture con primario interesse dal punto di vista delle tessiture;
 - le strutture con minore complessità geometrica;



1. Il sito archeologico di via Scavi a Montegrotto.

- le strutture “scoperte” acquisibili con fotogrammetria aerea (drone).

Si è in seguito proceduto ad acquisire e modellare i seguenti siti:

- area archeologica di via Scavi a Montegrotto Terme (PD):

- teatro o odeon romano;
- resti di tre vasche termali;
- resti di una noria e sistema di canalizzazione relativo alle vasche termali;
- scavo archeologico nei pressi dell'Hotel Terme Neroniane, via Neroniana a Montegrotto Terme (PD):

- resti di una villa residenziale databile al I secolo d.C. scavata dall'Università degli Studi di Padova;
- resti di vasche (all'interno dell'hotel).

a) Acquisizioni con tecnica fotogrammetriche.

In alcune situazioni, come sopra indicato, si è scelto di utilizzare una tecnica automatica multi-stereo. Il metodo consente di condurre una scansione 3d utilizzando serie di immagini fotografiche digitali non calibrate da diverse posizioni. Nel nostro caso, per ottenere un modello 3d il più completo possibile si è proceduto ad acquisire ogni monumento sia da terra, attraverso acquisizioni fotografiche “tradizionali”, che dall'alto, attraverso l'utilizzo di acquisizioni da drone telecomandato e dotato di camera zenitale (Menci). Solo in due casi (la zona della cavea e scena del teatro e quella della noria) non è stato possibile procedere come prestabilito, a causa della copertura. Le serie di foto acquisite a terra sono state poi processate con Arc3d web-service (www.arc3d.be). Al fine di ottenere un risultato accurato, si è provveduto, contestualmente all'uso del drone, ad effettuare un rilievo ulteriore con una stazione totale con cui si sono acquisiti Ground Control Points (GCP), mentre nel caso del rilievo a terra si sono applicati piccoli target sui paramenti, la cui misura reale è poi servita a scalare il modello ottenuto e a metterlo così in relazione con la rete topografica e con tutte le mesh all'interno dello stesso sistema spaziale.

b) Laser-scanner.

Il rilievo con lo scanner a tempo di volo (Riegl LMS-360i) è stato principalmente usato per acquisire

l'intero contesto nel suo insieme e utilizzarlo come aggancio e punto di riferimento per i singoli modelli 3d. Nel caso del rilievo dell'intera area archeologica di via Scavi si sono dovute pianificare diverse stazioni di presa (circa 40). Le nuvole di punti così ottenute sono state unite all'interno del software Riegl (RiScanPro), utilizzando la procedura di riconoscimento automatico dei target, riportate tutte ad un unico sistema di riferimento. Si è poi deciso di procedere ad esportare le singole nuvole separatamente per poterle elaborare e generare il modello geometrico (mesh) all'interno di MeshLab (meshlab.sourceforge.net).

Le mesh ottenute con entrambe le tecniche (IBM e RBM) sono state editate in MeshLab, allineate ed ottimizzate. In particolar modo si sono utilizzati: filtri di pulizia (“cleaning”: per rimuovere le superfici duplicate, riempire i buchi, unificare le normali) e filtri di re-meshing (per semplificare l'eccessiva complessità delle mesh in modo da poterle poi gestire nelle successive fasi di ricostruzione della fase antica, di analisi e di gestione in tempo reale e on line).

1.1.2 MODELLAZIONE 3D

Nel progetto Aquae Patavinae si sono voluti ricostruire sia i principali siti archeologici che l'intero abitato attuale, con il solo obiettivo di contestualizzare meglio i monumenti antichi, anche in prospettiva della creazione di tour virtuali nel paesaggio archeologico. Si sono a questo proposito seguiti due approcci:

- a) modellazione procedurale per la città attuale;
- b) modellazione 3d in computer grafica (“not-real”) per ricostruire la fase antica di I secolo d.C. dei monumenti, a partire dai dati di scavo.

a) Procedural Modeling.

Per migliorare il realismo del paesaggio urbano di Montegrotto e per contestualizzare i siti archeologici, si è proceduto a ricostruire virtualmente l'intera città. Per riuscire a modellare in maniera rapida l'intero abitato, con le sue migliaia di edifici, con un soddisfacente livello di verisimiglianza, si è deciso di seguire un approccio procedurale (PM01). Utilizzando il software CityEngine (MW07), sviluppato e ottimizzato proprio per contesti urbani e

architettonici, è stato possibile avere un controllo completo su tutti gli oggetti della scena, strutturandoli in maniera gerarchica e ottenendo così una moltitudine di strutture diverse tra loro.

Come primo passo si sono importate le planimetrie di base di tutti gli edifici in formato GIS (*.shp) tratte dal Sistema Informativo Territoriale del comune. I file sono quindi stati trasformati in unità-edificio (“allotment”) a cui è stata associata una specifica descrizione (“shape grammar”) contenente le istruzioni che definiscono aspetto, dimensione, tipologia di ciascun edificio. Grazie all'utilizzo della “shape grammar” si sono potute definire un gran numero di variabili e ottenere un buon grado di realismo, grazie ai criteri di casualità.

Per adattare l'abitato alla morfologia del terreno e posizionare i terreni alla corretta altezza sul livello del mare si è poi importata una mappa di elevazione in toni di grigio (geotiff). Infine per aumentare ulteriormente il realismo degli edifici e renderli più simili all'effettivo aspetto della città attuale si è programmata una campagna fotografica delle facciate più caratterizzanti l'aspetto globale dell'abitato. Si è infine costruita una matrice di correlazione che ha assegnato in maniera casuale il set di texture a ciascun edificio, tenendo anche in considerazione le dimensioni e le proporzioni di ciascuno (Figg. 2-3). Il risultato è stato la generazione di circa 6000 edifici comprensivi di case, appartamenti, condomini, hotel, ecc. Dal momento che l'obiettivo finale era la fruizione on line, si è deciso di limitarsi a modelli piuttosto schematici e con pochi poligoni, lasciando alla texture dettagli strutturali.

b) Modellazione 3d in computer grafica.

Le ricostruzioni virtuali possono risultare molto utili per aiutare a comprendere meglio l'architettura antica. Ciò è vero quando viene assicurata la percezione estetica delle strutture sia nella loro interezza architettonica che nei particolari decorativi. Per questo nel caso dei siti archeologici di Montegrotto e Turri si sono adottate tecniche di modellazione manuale in 3d (not-real), per ricostruire la fase antica dei monumenti romani, come il teatro, le terme e le ville, e per renderli utilizzabili in tempo reale. Tutte le ricostruzioni sono state seguite da vicino dagli esperti della soprintendenza

Archeologica della Regione Veneto e dagli archeologi dell'università di Padova, al fine di garantire una correttezza filologica e scientifica.

Le fonti utilizzate a tale scopo sono state:

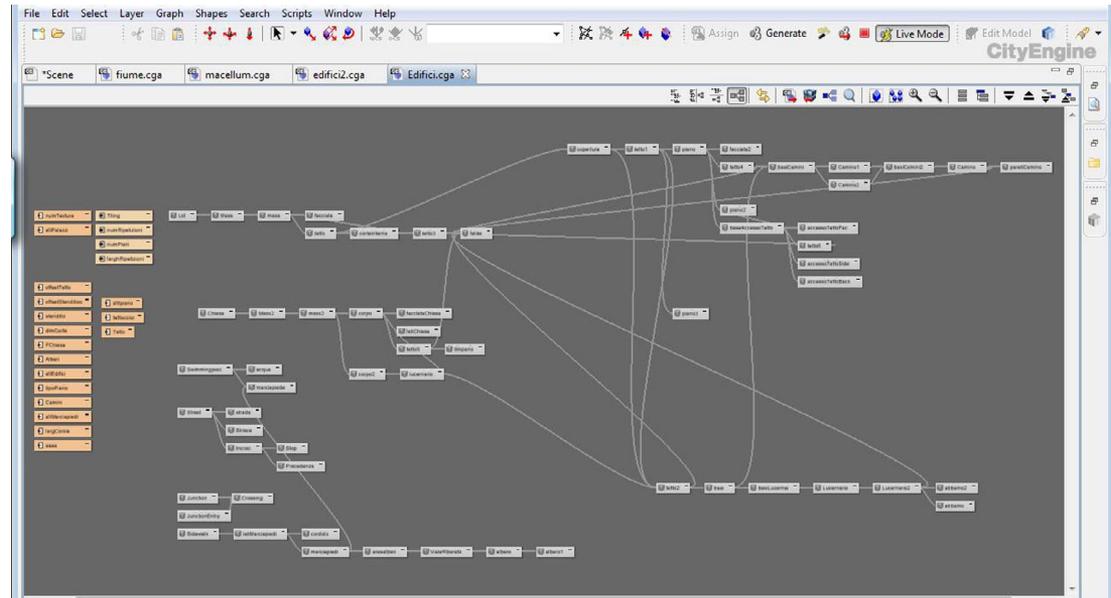
- planimetrie dei monumenti, ottenute tramite acquisizione con stazione totale;
- dati 3d da acquisizione scanner laser e fotogrammetrica, utilizzati per rappresentare la reale topologia degli oggetti con un alto livello di dettaglio e accuratezza geometrica;
- fonti storiche (cartografia dell'800, dati dei vecchi scavi, foto storiche, ecc.);
- dati dei più recenti scavi.

I modelli 3d sono stati realizzati con il software Blender a partire dalle scansioni ottimizzate e dai rilievi. Dal momento che si intendevano utilizzare le ricostruzioni sia per creare animazioni filmiche che per integrarle all'interno di un'applicazione VR in tempo reale, si è dovuto generare diversi livelli di dettaglio (LOD). Si è deciso di utilizzare una modellazione poligonale per ricostruire le architetture, dal momento che questa tecnica è piuttosto flessibile e appropriata a creare varie versioni dei modelli con un differente numero di poligoni. Ad esempio per rappresentare gli oggetti più complessi, come i capitelli corinzi, si è ricorso alla creazione di superfici fatte di diversi poligoni nella versione ad alto livello di dettaglio (LOD) e all'utilizzo di una versione decimata per i LOD minori. Le texture sono state create seguendo diversi approcci: quando possibile sono state prodotte ri-arrangiando le immagini acquisite in situ, in altri casi si è reso necessario procedere simulandone le superfici originarie attraverso operazioni di image processing.

Riguardo all'ottimizzazione dei modelli per il real time si sono seguiti alcuni accorgimenti: ogni modello proveniente sia dalla scansione laser che direttamente dal software di modellazione è stato decimato e suddiviso in piccole porzioni ed esportato per materiale in formato *.obj. Alla fine le texture sono state trattate come "squared atlas" completi di informazioni colorimetriche, "ambient occlusion" e informazioni "bump".

2 – PIATTAFORMA WEB VR: OSG4WEB

Abbiamo utilizzato come piattaforma di presenta-



zione un precedente lavoro, OSG4WEB, un plug-in per il browser basato sulla libreria open source OpenSceneGraph (www.openscenegraph.org). Il plug-in nella sua prima release è stato realizzato nell'ambito del progetto Virtual Rome (CCP09, PCC 08). A partire da questa versione, sono state introdotte nel corso del progetto Aquae Patavinae, nuove funzionalità, tra cui:

1. ampia portabilità (Mac OSX);
2. incremento della robustezza;
3. ampliamento delle funzionalità di navigazione;
4. evoluzione degli effetti grafici e dei processi di rendering, attraverso l'introduzione dei più recenti avanzamenti tecnologici.

Il progetto ha richiesto uno sviluppo specifico per quanto riguarda l'interfaccia utente, il realismo e la qualità delle immagini. Diverse tecniche sono state implementate all'interno del plug-in di rendering, in modo da massimizzare la qualità percettiva preservando un accettabile frame-rate. L'uso efficiente del sistema avanzato di gestione delle ombre (self-shadow) di OpenSceneGraph applicato ad un ampio database (terreni, modelli 3d, vegetazione)

2. Gerarchia della shape grammar.

3. matrice di correlazione.

```
attr numTexture = case geometry.area >400: rint (rand(0,19))
    else:
        rint (rand (70, 92))
const Tiling = (scope.ex/cell (scope.ex/largRipetizioni))*numRipetizioni
const numRipetizioni = 0:4          const numPiani = 0:8          const largRipetizioni =
= case numTexture== 0:4          case numTexture== 1:1          case numTexture== 0:10
  case numTexture== 2:4          case numTexture== 2:3          case numTexture== 1:8
  case numTexture== 3:5          case numTexture== 3:4          case numTexture== 2:4
  case numTexture== 4:3          case numTexture== 4:3          case numTexture== 4:3
  case numTexture== 5:3          case numTexture== 5:5          case numTexture== 5:5
  case numTexture== 6:3          case numTexture== 6:5          case numTexture== 6:5
  case numTexture== 7:2          case numTexture== 7:4          case numTexture== 7:5
  case numTexture== 8:2          case numTexture== 8:4          case numTexture== 8:3
  case numTexture== 9:3          case numTexture== 9:4          case numTexture== 9:4
  case numTexture==10:3          case numTexture==10:2          case numTexture==10:3
  case numTexture==11:2          case numTexture==11:3          case numTexture==11:2
  case numTexture==12:7          case numTexture==12:4          case numTexture==12:3
  case numTexture==13:2          case numTexture==13:3          case numTexture==13:4
  case numTexture==14:3          case numTexture==14:3          case numTexture==14:3
  case numTexture==15:3          case numTexture==15:3          case numTexture==15:3
  case numTexture==16:3          case numTexture==16:4          case numTexture==16:3
  case numTexture==17:3          case numTexture==17:2          case numTexture==17:3
  case numTexture==18:2          case numTexture==18:3          case numTexture==18:4
  case numTexture==19:5          case numTexture==19:3          case numTexture==19:3
  case numTexture==20:5          case numTexture==20:2          case numTexture==20:3
  case numTexture==21:2          case numTexture==21:2          case numTexture==21:3
  case numTexture==22:4          case numTexture==22:1          case numTexture==22:3
  case numTexture==23:4          case numTexture==24:1          case numTexture==24:3
  case numTexture==25:3          case numTexture==25:2          case numTexture==25:3
  case numTexture==26:3          case numTexture==26:2          case numTexture==26:3
  case numTexture==27:2          case numTexture==27:2          case numTexture==27:3
  case numTexture==28:3          case numTexture==28:2          case numTexture==28:3
  case numTexture==29:5          case numTexture==29:2          case numTexture==29:2
  case numTexture==30:4          case numTexture==30:2          case numTexture==30:2
  case numTexture==31:3          case numTexture==31:2          case numTexture==31:3
  else:                          else:                          else:
    4                              11                          12

//texture facades:
facciata->setUpUV(0,Tiling,scope.sy,0)
set(material.colormap,"mapse/"+numTexture+"Facciata"+numPiani+" "+numRipetizioni+"x"
+largRipetizioni+".jpg")
bakeUV(0)
```



4. I tre stati dei modelli 3d.

paginato on line ha richiesto un'attenta ottimizzazione dell'intero mondo, sia in fase di modellazione e di pre-processamento sia nella gestione del suo scenegraph dinamico. L'interfaccia grafica e gli effetti specifici di rendering sono stati studiati ed introdotti con lo scopo di rendere più coinvolgente l'esperienza di visita dell'utente sia nello spazio (esplorazione del territorio) che nel tempo (esplorazione delle diverse fasi storiche dei monumenti). Le funzionalità aggiuntive del plug-in sono state implementate il più possibile come moduli separati, consentendo personalizzazioni specifiche in tempo reale: del nucleo di rendering, del set di strumenti di pre-processamento e del back-end web per la costruzione del mondo virtuale.

2.1 OTTIMIZZAZIONE DEL MONDO VIRTUALE

I modelli 3d, prima di poter essere integrati e pubblicati su web, devono essere preparati e ottimizzati. Da esperienze passate abbiamo visto che i migliori risultati si ottengono con grafi ben bilanciati, in particolar modo utilizzando strutture *quad-tree* che consentono ai "tile" (o "pagine") di essere scaricati contestualmente alla posizione dell'osservatore. Sono state naturalmente utilizzate anche tecniche di creazione e gestione dei LOD per fornire una rap-

presentazione multi-risoluzione della geometria del terreno e dei modelli 3d, con la possibilità di gestire mondi virtuali molto vasti dal globale al particolare. È stato poi necessario utilizzare un approccio modulare, dal momento che il focus del progetto *Aquae Patavinae* era ad esempio la ricostruzione di dettaglio solo di alcune zone sparse nel paesaggio (come l'area archeologica di via Scavi, via neroniana a Montegrotto o quella di Turri). I modelli 3d complessi sono dunque stati suddivisi in componenti più piccole bilanciando il carico su pochi file (generalmente circa 15-20), mantenendo comunque robustezza e pulizia nella loro distribuzione spaziale e contribuendo a migliorare il processo di illuminazione dinamica e gestione delle ombre, riducendo così gli artefatti visivi.

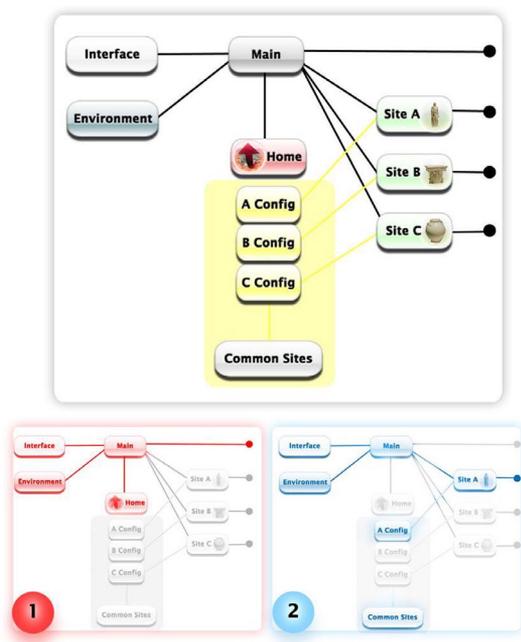
È stato fornito un alto livello di personalizzazione. Ad esempio la riduzione del frustum delle ombre quando l'osservatore entra nell'esplorazione dei siti (passando dalla modalità volo a quella "walk") ha avuto come risultato una diminuzione del carico di lavoro della GPU e un incremento della precisione delle ombre nel caso degli oggetti più vicini. Essendo il progetto *Aquae Patavinae* basato sulla fruizione on line, è stata sviluppata una suite di strumenti semi automatici (tra cui quella che abbiamo

denominato "FigX") per gestire la generazione dei cluster degli edifici, la generazione della vegetazione e anche per posizionare in tempo reale le piante, come nel caso della ricostruzione dei giardini delle ville romane. Alcuni di questi strumenti garantiscono alte prestazioni grazie all'uso di algoritmi avanzati (come KD-Trees) per il posizionamento veloce anche durante la generazione batch di massicce coperture vegetali, che vengono ri-arrangiate in cluster dall'applicazione con gerarchie a quad-tree usando referenze OpenGL StateSet. La creazione di istanze in forma di cluster è stata anche usata per rimpicciolire la dimensione dei file e per migliorare i risultati in termini di traffico dati.

L'intero grafo della scena è stato re-ingegnerizzato per ottimizzare le chiamate OpenGL e quindi per massimizzare le prestazioni, riducendo i tempi di rendering e il carico della GPU. Nell'ambito del progetto *Aquae Patavinae*, i materiali e gli altri attributi relativi alla città moderna, ad esempio, sono stati spostati in su fino al nodo radice e gli "atlas" sono stati usati per minimizzare i cambiamenti di stato ed evitare caricamenti non necessari attraverso la rete. I modelli 3d possono trovarsi in due stati, richiamabili dall'utente attraverso l'interfaccia: solido e semitrasparente, corrispondenti a "ricostruzione" e "interpretazione" (Fig.4).

5. Il grafo dell'interazione (Interaction Graph).

6. Struttura della piattaforma OSG4WEB.



2.1.1 INTERACTION GRAPH

Il plug-in supporta nodi speciali chiamati “ActionNodes” in grado di lanciare eventi. Usando tali nodi l’utente è in grado di percorrere un grafo dell’interazione all’interno del progetto corrente, il cui percorso dipende da come tali nodi sono legati tra loro. Ogni nodo nella scena infatti è capace di incapsulare comandi che vengono eseguiti quando l’utente interagisce. Un codice generico può essere associato a un qualsiasi modello, icona, punto di interesse, “pin” o oggetto 3d. La API inoltre fornisce il supporto per invocare altri ActionNodes, consentendo una modularizzazione precisa e razionale del grafo dell’interazione (Interaction Graph) permettendo anche chiamate in cascata. (fig. 5). Nel progetto Aquae Patavinae, per esempio, quando un utente clicca su uno dei punti di interesse, un ActionNode comune a tutti i siti archeologici viene chiamato ed eseguito, attivando e configurando il “walk-mode” accelerazione e altri parametri. Il tasto home ugualmente esegue una richiesta di uno specifico set di parametri (fly-mode) e di caratteristiche ambientali (es. il cielo – skydome).

Questa struttura ha dimostrato i vantaggi dell’approccio modulare, consentendo un altissimo livello di flessibilità e adattabilità ai cambiamenti via via richiesti dal progetto (altezza del punto di vista, caratteristica delle ombre, ecc.).

2.1.2 FRONTEND E BACKEND

Il front-end è la componente pubblica del sistema in grado di aprire una “finestra” sul mondo virtuale. Questa componente PHP è responsabile dell’inizializzazione del canvas, permettendo l’invio dei parametri al plug-in, per esempio eseguendo l’ActionNode principale come un “root loader” dell’intera scena, responsabile delle chiamate in cascata agli altri ActionNodes (come ad esempio le configurazioni ambientali). Consente inoltre di passare parametri via URL ed è includibile in pagine esterne, come nel caso di una possibile integrazione con un sistema Drupal o altri CMS. Recenti funzionalità HTML5 per esempio possono permettere di riprodurre in background un audio.

La componente back-end dall’altro lato è un tool basato su web il cui uso è ristretto ad un piccolo numero di utenti con privilegi speciali (user e password) per accedere ad un database che gestisce i dati della scena. Attraverso il back-end l’utente è in grado di configurare e organizzare il grafo della scena, definendo i toltip degli oggetti 3d, la posizione e altro. Esso è responsabile della generazione del nodo radice da caricare nel front-end. Nel caso del progetto qui descritto viene utilizzata una piccola macchina virtuale come server contenente il back-end. Dimostrando così i vantaggi circa la portabilità e mantenimento del sistema (fig. 6).

2.1.3 FUNZIONALITÀ AVANZATE

OSG4WEB ha dimostrato la sua estendibilità anche come componente stand-alone: la sua natura “out-of-process” consente diversi adattamenti e applicazioni avanzate sia su web sia come componente locale. L’interfaccia HUD si trova su un layer separato che include anche un “listener” con lo scopo di gestire gli ActionNodes e le interazioni speciali dell’utente. A questo stadio finale della pipeline può essere fornito un componente web incorporabile in una generica pagina web, come l’applicazione per Aquae Patavinae, che propone diverse interazioni insieme a una componente di visualizzazione stand-alone. Tutte queste possibilità possono supportare contenuti locali o remoti e caricamenti di risorse che includono opzioni ibride e anche funzionalità di caching. È possibile inoltre attivare opzioni quali la visualizzazione stereo anaglifa o lo stereo passivo/attivo, dimostrando quanto il sistema sia fortemente flessibile e orientato ad aumentare il grado di immersività o/e interazione. È stato anche possibile integrare con successo monitor multi-touch come strumento di visualizzazione/interazione, semplicemente adattando l’interfaccia HUD e alcuni elementi interni e di design. Tutte queste possibilità come si può ben immaginare aprono nuove possibilità di nuovi sviluppi futuri e applicazioni nel campo dell’esplorazione del paesaggio ricostruito all’interno di ambienti di fruizione differenti, dal web agli spazi museali (Figg. 7-8).

7. Diversi gradi di interazione ed immersività del progetto Aquae Patavinae: stereo anaglyph, touchscreen, mobile.



3. CONCLUSIONI

Nel progetto Aquae Patavinae qui descritto abbiamo sperimentato una procedura completa per acquisire informazioni archeologiche, ricostruire il paesaggio archeologico a diverse scale e risoluzioni e per pubblicare su web i modelli realizzati consentendo agli utenti del sito [aquae-patavinae.it](http://www.aquae-patavinae.it) di esplorarli interattivamente. A parte il software CityEngine, il lavoro ha fatto uso esclusivamente di strumenti open source in tutte le sue fasi. La piattaforma web sviluppata si è dimostrata comparabile, in termini di qualità visiva, a software proprietari quali Unity 3D. Ciò nonostante alcune problematiche rimangono aperte e avranno bisogno di essere prossimamente affrontate, quali la stabilità, il deployment, il supporto di tecnologie "mobile" e gli strumenti di editing della scena.

Tre sono i prossimi sviluppi previsti dal progetto:

1- proseguire il lavoro di ricostruzione del paesaggio antico in collaborazione con l'Università di Padova, sviluppando modelli di simulazione dall'età del ferro ai giorni nostri;

2- proseguire il lavoro di ottimizzazione dei modelli esistenti e integrare nuovi modelli ricostruttivi relativi ad altri siti archeologici dell'area termale ai piedi dei colli Euganei;

3- proseguire il lavoro di sviluppo e miglioramento del software OSG4WEB soprattutto per quanto riguarda: sviluppo di un'infrastruttura di test e sviluppo cross-platform e cross-browser (estendendo l'uso del plug-in anche ad ambiente Linux); implementazione della piattaforma su tecnologia mobile, estendendo il supporto OSG a iOS e Android; testare il possibile porting del sistema, almeno parzialmente su WebGL, attraverso il promettente progetto OSG.js e infine consolidare le procedure di creazione della scena attraverso il back-end. Riguardo a quest'ultimo punto, la mancanza di un'appropriata standardizzazione degli strumenti di lavoro e dei formati rende il passaggio ai nuovi motori di rendering ancora piuttosto complesso, con il rischio di rimanere troppo legati alle politiche commerciali dei venditori, ragione per cui continuiamo a preferire soluzioni open source rispetto a quelle proprietarie.

Ringraziamenti

Il progetto Aquae Patavinae (<http://www.aquae-patavinae.lettere.unipd.it/>) è stato finanziato dalla Regione Veneto e dal MIUR (progetto PRIN) con il coordinamento del dipartimento di archeologia dell'Università di Padova e della prof.ssa Francesca Ghedini. Si ringraziano inoltre: Paolo Salonia e Ivana Cerato, CNR ITABC; Francesca Ghedini, Marianna Bressan, Dip. Archeologia Univ. Padova; Elena Pettenò, Vincenzo Tinè, Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto.

REFERENCES

[AMH 02] Akenine-Möller, T., Haines, E., *Real-Time Rendering Second Edition*, A K Peters Natick, Massachusetts US, 2002, pp.477-479.

[CCP 09] 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, ISBN: 978-1-60558-432-4, pp. 177-180.

[Gillings 1999] Gillings, M., (1999), *Engaging Place: a Framework for the Integration and Realisation of Virtual-Reality Approaches in Archaeology*, in "Archaeology in the age of the Internet", CAA 1997. Edited by Dingwall, L., Exon, S., Gaffney, V., Laflin, S., Van Leusen, M., Oxford: British Archaeological Reports (Int. Series, S750).

[MW 07] Muller, P., Wonca, P., Haegler, S., Ulmer, A., Van Gool, L., *Image-Based Procedural Modeling of Facades*, ACM Siggraph, New York, 2007.

[PCC 08] Pescarin, S., Calori, L., Camporesi, C., Di Iorio, M., Forte, M., Galeazzi, F., Imboden, S., Moro, A., Palombini, A., Vassallo, V., Vico, L., *Back to 2nd AD. A VR on-line experience with Virtual Rome project*, in "VAST 2008", 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Eurographics Symposium Proceedings, Eds. Ashley, M., Hermon, S., Proenca, A., Rodriguez-Echavarria, K., Publ. Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland, 2008, ISBN3905674149: pp.109-113.

[PM01] Parish, Y., Muller, P., *Procedural Modeling of the Cities*, ACM Siggraph, New York, 2001, pp. 301-308.

[Reilly 1990] Reilly, P., *Towards a virtual archaeology. Computer Applications in Archaeology*, Edited by K. Lockyear and S. Rahtz, Oxford: British Archaeological reports (Int. Series 565), 1990, pp., 133-139.

[OpenScenograph] <http://www.openscenograph.org/projects/osg>.

[OSGs] <http://osgs.org/>.

8. Diversi gradi di interazione ed immersività del progetto Aquae Patavinae: natural interaction (Archeovirtual 2011).

