

Indice generale

Indice delle figure	4
Introduzione.....	6
Capitolo 1. La Realtà Virtuale per i beni culturali.....	9
1.1. Applicazione del Web3D ai beni culturali	12
1.2. Categorizzazione di scenari Web3D per la fruizione culturale.....	17
1.2.1. <i>Gli obiettivi e il target della visualizzazione</i>	18
1.2.2. <i>I contenuti riproducibili</i>	21
1.2.3. <i>Le metafore ambientali</i>	26
1.3. Il Museo Virtuale	27
1.4. Il procedimento di categorizzazione e valutazione funzionale	30
1.4.1. <i>Applicazioni Web3D on-line come campioni d'analisi</i>	31
Capitolo 2. Valutazione dell'integrità dei contenuti mediati: un'implementazione della Carta di Londra.....	37
2.1. Valutazione dei metodi in relazione agli scopi effettivi	40
2.2. Fonti della ricerca.....	46
2.3. Documentazione.....	50
2.4. Sostenibilità.....	55
2.5. Accessibilità	58
Capitolo 3. Strumenti e tecnologie nel Web3D	63
3.1. La realizzazione dell'Ambiente Virtuale	63
3.2. Accessibilità e limiti in relazione alle macchine e alla Rete	68
3.3. Il Plugin e il viewer: gli effetti sulle scelte dell'utente	73
Capitolo 4. Analisi strutturale e funzionale di applicazioni Web3D per la	

mediazione culturale	77
4.1. Usabilità in interfacce Web3D	79
4.2. La visualizzazione in ambienti Web3D per i beni culturali	85
4.2.1. <i>Il recupero delle informazioni</i>	91
4.3. Strumenti e modalità di interazione nella VR desktop e nel Web3D ...	97
4.3.1. <i>Navigazione e orientamento</i>	101
4.3.2. <i>La selezione e la manipolazione degli oggetti</i>	116
Capitolo 5. Creazione di microapplicazioni per testare e individuare le più appropriate modalità di visualizzazione e interazione in ambienti Web3D.....	122
5.1. Gli utenti	124
5.2. Le ipotesi	126
5.3. Primo set di ipotesi: testare strumenti e metodologie di visualizzazione e navigazione	128
5.3.1. <i>Descrizione dei task di navigazione</i>	132
5.3.2. <i>Risultati e possibili soluzioni</i>	133
5.4. Secondo set di ipotesi: testare alcuni metodi di supporto all'orientamento	135
5.4.1. <i>Descrizione dei task</i>	138
5.4.2. <i>Risultati e possibili soluzioni</i>	140
5.5. Terza ipotesi: testare strumenti e metodologie di selezione e manipolazione degli oggetti	141
5.5.1. <i>Descrizione dei feedback</i>	143
5.5.2. <i>Risultati e possibili soluzioni</i>	144
5.6. Quarta ipotesi: testare i metodi di recupero delle informazioni	145
5.6.1. <i>Descrizione dei feedback</i>	147
5.6.2. <i>Risultati e possibili soluzioni</i>	148
Capitolo 6. Conclusioni e proposta di nuovi elementi applicativi	150
6.1. Selezione e produzione delle informazioni	151

6.2.	Scelta del metodo e degli strumenti di implementazione	153
6.3.	Progettazione della visualizzazione e dell'interazione	154
6.4.	Futuri elementi applicativi	161
Bibliografia.....		164
Sitografia.....		166

Indice delle figure

Figura 1. Livello di immersione dell'ambiente virtuale in relazione alle tecnologie	12
Figura 2. Livello di astrazione dell'ambiente virtuale	24
Figura 3. Un'opera visualizzata nel "Museo delle Pure Forme"	33
Figura 4. "Piazza dei Miracoli" di Pisa in 3D	34
Figura 5. Un esempio di visualizzazione di un oggetto del "Virtual Hampson Museum"	34
Figura 6. Un'antica architettura acquisita da CyArk	35
Figura 7. Un'opera conservata dal database di ViHAP3D	36
Figura 8. Un Information Landscape per presentare la vita di Galileo Galilei	44
Figura 9. Scheda informativa di un'opera scannerizzata	49
Figura 10. La struttura di un'interfaccia Web3D per contenuti culturali.....	79
Figura 11. I fattori che caratterizzano la struttura dell'ambiente Web3D.....	86
Figura 12. Il tool di misurazione del viewer PDF3D	93
Figura 13. Mappa interattiva fornita dal viewer di SecondLife	104
Figura 14. La mappa interattiva dello "Smithsonian National Museum of Natural History"	106
Figura 15. Sistema di navigazione a 6-DOF	110
Figura 16. La barra di navigazione nel Museo delle Arti Tessili.....	114
Figura 17. La barra di navigazione in "Tradky"	114
Figura 18. La barra di navigazione in Cortona3D.....	116
Figura 19. La barra degli strumenti implementata nel viewer dei modelli CyArk	118
Figura 20. La barra degli strumenti implementata nel viewer PDF3D	118
Figura 21. La struttura del menu di immagini per la selezione di zone del modello	119
Figura 22. Il pannello di personalizzazione di inquadrature predefinite in PDF3D	

.....	120
Figura 23. La sezione trasversale sull'asse z di un modello 3D in PDF3D	121
Figura 24. La struttura del museo virtuale per il test navigazione	128
Figura 25. Il pannello di personalizzazione della navigazione	129
Figura 26. Lo slider per la personalizzazione della velocità.....	130
Figura 27. La barra di navigazione	131
Figura 28. Un esempio di billboard utilizzati per identificare una sala	136
Figura 29. La mappa dell'ambiente per il test d'orientamento	137
Figura 30. Il cartello interattivo indica le direzioni delle opere	138
Figura 31. L'interfaccia di manipolazione degli oggetti.....	142
Figura 32. L'interfaccia per testare il recupero delle informazioni	147
Figura 33. Un'ipotetica interfaccia di navigazione ideale	158
Figura 34. Un'ipotetica interfaccia di manipolazione ideale	160
Figura 35. Un esempio di utilizzo del sistema di controllo della visualizzazione Navidget	162
Figura 36. Esempio di funzioni gestibili con il mouse 3d.....	163

Introduzione

In questi ultimi anni le nuove metodologie di conservazione, riproduzione, promozione e valorizzazione delle risorse culturali si sono mosse in direzione di una forte digitalizzazione. Le sempre più sofisticate tecnologie informatiche hanno apportato una consistente evoluzione alla tradizionale fruizione dell'opera d'arte, a partire da rappresentazioni e visualizzazioni bidimensionali, statiche e passive sino a raggiungere alti livelli di interattività comunicativa, che spesso ha trovato una più soddisfacente risposta alle esigenze di una completa e intuitiva rappresentazione degli oggetti di studio in ambito di grafica tridimensionale e Realtà Virtuale. Inoltre le nuove caratteristiche degli hardware e la diffusione capillare di reti ad alta velocità hanno permesso di aggiungere la terza dimensione anche alle interfacce web, il cosiddetto Web3D, fornendo un contributo alla diffusione di questi nuovi modelli di accesso al sapere e costituendo una piattaforma globale sulla quale tecnici e umanisti hanno potuto e continuano tuttora a sperimentare nuove metodologie per preservare, catalogare e condividere il patrimonio culturale e artistico e permettere a chiunque, via desktop e da ogni luogo del pianeta, di conoscere liberamente queste informazioni.

Nonostante una lunga fase di progresso tecnologico, nella quale le tecnologie di digitalizzazione e rappresentazione tridimensionale hanno raggiunto il livello di applicabilità e la riduzione dei costi necessari per una applicazione generalizzata al settore dei beni culturali, spesso continua ad accadere che la tecnologia superi il messaggio stesso che intende veicolare, mascherando e rendendo più difficile l'apprendimento del messaggio trasmesso dall'opera e l'autore. In realtà, specialmente in un contesto di fruizione culturale, la tecnologia deve essere intesa come mezzo di comunicazione e trasmissione dei contenuti e non come una rappresentazione di se stessa (D'Uva, 2007). Per questo lo studio intende incentrarsi sull'individuazione e l'analisi di tutti quegli aspetti che concorrono alla miglior realizzazione e ad un più efficiente sfruttamento degli strumenti di

interazione Web3D per la fruizione dei beni culturali, al fine di redigere delle linee guida utili a fornire degli standard di sviluppo per una corretta rappresentazione delle informazioni culturali, favorendo l'apprendimento e garantendo sistemi accessibili e utilizzabili per tutte le tipologie di utenti, tralasciando virtuosismi tecnologici ed elementi concernenti il puro intrattenimento ludico.

Molti sono gli ambiti di applicazione della Realtà Virtuale ai beni culturali, dall'arte, al restauro, all'archeologia, etc. e ognuno di questi sistemi necessita di differenti modelli di accesso alle informazioni con differenti livelli di gestione e integrazione delle varie componenti rappresentative. Per questo le più efficaci metodologie di visualizzazione, rappresentazione dei contenuti culturali e interazione sono state identificate anzitutto attraverso la categorizzazione delle varie modalità di accesso alle informazioni via desktop in relazione al tema, agli obiettivi e ai task delle applicazioni. Sulla base di queste classificazioni sono stati effettuati dei test dal vivo su utenti principianti ed esperti della materia al fine di individuare ciò che potrebbe essere migliorato per un più ottimale sfruttamento delle risorse desktop e una maggiore soddisfazione dell'utente in fase di visualizzazione e interazione con la piattaforma virtuale. Un occhio di riguardo è stato rivolto anche alle applicazioni Web3D non immediatamente riferibili ai beni culturali e alle piattaforme indipendenti, per identificare eventuali soluzioni utili all'evoluzione delle interfacce browser 3D.

Il giudizio attinente la buona rappresentazione dei contenuti ovviamente non comprende solamente i criteri di posizionamento, gestione e interazione delle informazioni, ma riguarda soprattutto la qualità della produzione culturale e la selezione mirata dei dati sulla base degli obiettivi dell'azione comunicativa, senza le quali la progettazione della visualizzazione e dell'interazione risulterebbe vana. Favorire l'apprendimento dell'utente infatti dipende in primo luogo dal valore del sapere trasmesso, che dovrà a sua volta essere rappresentato in modo tale da facilitarne l'assimilazione. Per questo una prima parte del lavoro è stata incentrata sulla verifica dell'integrità delle informazioni diffuse a partire dalle linee guida

per una buona gestione dei contenuti culturali già stilate nella Carta di Londra. Secondo un obiettivo di “miglioramento della pratica”, così come nominato nella Carta di Londra, la redazione complessiva del lavoro ha prodotto in un documento volto a migliorare la progettazione della visualizzazione digitale tramite web e cercare di incrementarne l’utilizzo sia da parte degli sviluppatori che degli utilizzatori per un metodo di diffusione dei beni culturali più completo e accessibile. I risultati finali dell’indagine potranno rivelarsi utili nelle successive valutazioni e comparazioni delle applicazioni Web3D e nel cercare di risolvere quei limiti ancora riscontrati in questo metodo di visualizzazione.

Capitolo 1. La Realtà Virtuale per i beni culturali

In quest'ultimo ventennio la Realtà Virtuale ha subito continue metamorfosi sulla scia di una grossa spinta tecnologica che ha portato tecnici, filosofi e ricercatori a definire questo metodo d'interazione in più termini, diversi tra loro ma con molti punti in comune.

Dalla prima definizione di Jaron Lanier¹, che coniò il termine “virtual reality” nel 1989 definendola “una tecnologia usata per sintetizzare una realtà condivisa” a quella di Withrow, che con Realtà Virtuale intese “un'interfaccia umano-computer in cui un computer crea un ambiente immersivo che risponde interattivamente ed è controllato dal comportamento dell'utente” e di Dickelman che la definì “un ambiente generato dal computer che simula la realtà in modo che i sensi lo possano percepire”. Dalle asserzioni riportate emerge il concetto generale di un ambiente interattivo, generato da un computer e volto a simulare la realtà su livelli più o meno profondi di immersione e percezione.

Quindi anzitutto la Realtà Virtuale (d'ora in poi VR, dall'inglese *Virtual Reality*) è da considerarsi un ambiente, un mondo sintetico che vuole simulare la realtà fisica ma non intende ricrearla e neanche sostituirla, anzi, piuttosto, basandosi su di essa, mira a integrare le tradizionali percezioni del sapere con nuovi strumenti di interazione. Questi strumenti di interazione consistono in varie metodologie di interfacciamento e comunicazione tra il computer e l'utente, ovvero una sorta di scambio reciproco di input sensoriali e informativi che permettono a quest'ultimo di sentirsi più o meno “immerso” all'interno dell'ambiente virtuale. Una parte della misura del realismo della simulazione è data proprio dal livello di interazione, che dà all'utente la possibilità di controllare e modificare l'ambiente e aumenta il suo coinvolgimento e la sensazione mentale di essere nello spazio virtuale, in quella condizione che viene definita “presenza”, il cui grado è

¹ Il termine Realtà Virtuale nasce nel 1988, in un'intervista a Jaron Lanier “A portrait of the Young Visionary”.

determinato anche dalla qualità delle informazioni sensoriali, dipendenti dal dettaglio della modellazione, e dalla qualità del rendering dell'ambiente: in situazioni di *VR Immersiva*, le tecnologie impiegate, quali ad esempio la visione stereoscopica, gli ambienti realizzati con proprietà e scala realistiche, l'interazione realistica con l'ambiente tramite interfacce per la manipolazione e controllo, l'eventuale ritorno auditivo, aptico, e motorio, determinano un alto livello di interattività e di controllo degli input sensoriali, che possono creare forti illusioni al punto da convincere l'utente di essere completamente immerso nel mondo generato dal computer.

Dati i costi più permissivi e la semplicità e la facile reperibilità delle tecnologie dei sistemi "desktop", con il termine *VR* si è soliti indicare anche quegli ambienti sviluppati appositamente per interfacce più limitate come lo schermo del PC, il mouse e la tastiera. Difatti, oltre alla *VR Immersiva*, il carattere delle tecnologie e degli strumenti impiegati per la gestione dell'ambiente virtuale determina la classificazione di altre tipologie di *VR Non Immersiva*, le cosiddette interfacce NIVEs (dall'inglese *Non-Immersive Virtual Environments*), nella quale sono comprese la *VR testuale*, la *VR Desktop* e più nello specifico il Web3D, un tipo particolare di *VR* presente sul web e accessibile tramite browser.

Gli ambienti della *VR testuale* sono rappresentati solamente tramite descrizioni testuali, spesso a fini educativi. Nonostante alcuni ambienti siano fortemente interattivi, la totale mancanza di grafica e feedback sensoriali esclude ogni grado di immersività.

Come evoluzione della *VR Testuale*, con la *VR Desktop* l'interfaccia ha raggiunto livelli di complessità grafica molto superiori, aggiungendo rappresentazioni grafiche e immagini che successivamente si sono evolute portando la rappresentazione alla terza dimensione. Per la quasi totalità dell'utenza, la *VR Desktop* è a tutt'oggi l'unico strumento di accesso a simulazioni tridimensionali, e se da una parte l'interazione tramite questo strumento può raggiungere un alto grado di complessità interattiva, dall'altra questi sistemi non hanno comunque la pretesa di "immergere" completamente l'utente nell'ambiente di visualizzazione,

in quanto i limitati strumenti di interfacciamento non permettono di aumentare il grado di percezione dell'ambiente virtuale, portando in alcuni casi a simulazioni passive e dai dettagli limitati. Per questo è importante concentrare la ricerca non su particolari effetti sensoriali e di controllo sull'ambiente per ottenere il miglior grado di immersività, ma individuare i migliori metodi di utilizzo degli strumenti messi a disposizione dalle tecnologie desktop e di rappresentazione e interazione all'interno dell'ambiente virtuale, per cercare di massimizzare l'apprendimento dell'utente e rendere immediata e chiara la comprensione degli obiettivi e del messaggio che è inteso veicolare per mezzo dell'applicazione, facilitando la visualizzazione e velocizzando il reperimento delle informazioni desiderate.

Difatti la VR e la grafica 3D hanno cambiato il metodo di accesso alle informazioni, permettendo di documentare e rappresentare visivamente opere d'arte e modelli architettonici di notevole complessità descrittiva. Purtroppo ancora sono molti gli aspetti di fruizione tramite desktop non ancora sufficientemente sviluppati per permettere all'utente di ottenere maggiori informazioni e di più alta qualità su web, e le tecnologie indispensabili per questo tipo di interazione sono ancora troppo costose, ingombranti, in via di sperimentazione, irreperibili e difficili da utilizzare per la maggioranza degli utenti. Quindi alcune tipologie di fruizione rimangono per adesso in via sperimentale, inutilizzabili e inadattabili alla tecnologia desktop, come ad esempio l'utilizzo di Interfacce Aptiche (in inglese *Haptic Interface, HI*), ovvero "sistemi robotici che permettono agli utenti di interagire con gli oggetti virtuali usando il senso del tatto" (Bergamasco et al., 2003): il sistema esercita un ritorno di forza sull'utente che percepisce fisicamente la morfologia dei modelli di opere altrimenti inavvicinabili². Oppure le *Virtual Hands*, tecnologie sensoriali che mostrano una versione virtuale della mano dell'utente nella scena 3D per

² Un esempio italiano di questo tipo di applicazioni, volto a cambiare radicalmente il modo in cui gli utenti percepiscono le sculture all'interno del museo è "Il Museo delle Pure Forme", coordinato dal Prof. M. Bergamasco, responsabile del laboratorio PERCRO della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.

manipolare direttamente gli oggetti, o l'utilizzo di *tracker* (inseguitori, puntatori), per la registrazione dei movimenti dell'utente che renderebbe più agevole e immediato il recupero delle informazioni e la navigazione all'interno dell'ambiente di visualizzazione.



Figura 1. Livello di immersione dell'ambiente virtuale in relazione alle tecnologie

In Figura 1 è mostrato come i diversi metodi di accesso alla VR presentino un incremento significativo di immersività direttamente proporzionale all'aumento della complessità tecnologica impiegata per l'implementazione dei vari sistemi. La VR desktop, e il Web3D in essa incluso, presentano il minor grado di immersione ottenibile rispetto alle altre tecnologie come l'installazione di ambienti CAVE (dall'inglese *Cave Automatic Virtual Environments*) o l'utilizzo di *Head Mounted Display* (HMD). L'immersività va intesa come il calarsi completamente nel mondo virtuale, a livello sensoriale, tramite interfacce, la quale fornisce una misura della percezione del mondo virtuale come esistente.

1.1. Applicazione del Web3D ai beni culturali

Originariamente le tecnologie VR sono state impiegate soprattutto in ambito di simulazione e addestramento militare e scientifico, diffondendosi successivamente all'utenza generale attraverso la produzione di grafica e cinematografia in 3D, ma soprattutto grazie alla larga commercializzazione dei videogiochi. Negli anni successivi nuove applicazioni della VR sono state estese anche ai tradizionali ambiti di conoscenza e produzione soprattutto per la notevole flessibilità e personalizzazione dei sistemi, che permettono di ottenere infinite anteprime e

simulazioni preventive. In architettura, la modellazione e la visualizzazione in contesti di VR è impiegata per esplorazioni tridimensionali e valutazioni di ambienti architettonici; in campo medico per test clinici e simulazioni pre-operatorie; in campo industriale per addestramento, simulazione e per la progettazione e lo sviluppo di prodotti aerospaziali, automobilistici, ma soprattutto di intrattenimento.

La visualizzazione in terza dimensione e la forte interattività che caratterizzano la maggior parte degli ambienti virtuali, hanno permesso l'accesso alle informazioni in modalità completamente diverse, aumentando fortemente la quantità di dati fruibili contemporaneamente e la qualità delle stesse rappresentazioni. Questi fattori hanno portato alla diffusione delle visualizzazioni in contesti di VR anche in ambito dei beni culturali, già oggetto di studio, digitalizzazione e rappresentazione informatizzata bidimensionale attraverso la gestione di database, documentazioni fotografiche e manipolazioni grafiche. La gestione della rappresentazione, fruizione e conservazione dei beni culturali, ha tratto, e continua tuttora trarre notevoli vantaggi dall'impiego delle risorse informatiche e multimediali, sia come nuovo metodo a sostegno della ricerca, della sperimentazione e dell'educazione, sia come mezzo di promozione e valorizzazione delle risorse culturali. In particolare, l'introduzione della VR ha modificato radicalmente il metodo di accesso al sapere tradizionale, permettendo una visione multidimensionale, multipercettiva e fortemente interattiva. L'utente può sperimentare la visualizzazione di un'opera in tre dimensioni non necessariamente raggiungendola dal vivo, può avvicinarsi e percepire dettagli altrimenti nascosti, può toccare virtualmente il reperto senza danneggiarlo e sperimentare su di esso azioni di restauro altrimenti irreversibili sull'originale. Gli studiosi e i ricercatori hanno la possibilità di ricostruire opere o ambienti storici e artistici che il tempo ha distrutto o danneggiato, in modo da permetterne la conservazione. Inoltre la VR fornisce mezzi per creare nuove forme d'arte.

I nuovi sistemi multimediali, connessi a grandi banche dati elettroniche, hanno fornito una più intuitiva ed efficace interfaccia per sistemi complessi, come i

database multimediali, contribuendo notevolmente alla trasmissione dei contenuti culturali e in particolare alla rappresentazione simultanea di immagini, testi, audio e video, permettendo di raggiungere alti livelli descrittivi, che hanno favorito notevolmente la promozione dei beni culturali soprattutto nel web. E è proprio con la diffusione capillare della rete Internet e con il contemporaneo aumento della larghezza di banda disponibile, che le applicazioni si sono evolute aumentando le informazioni e le metodologie di rappresentazione aggiungendo elementi multimediali e contenuti più complessi, interattivi, e di qualità molto superiore tra cui la grafica tridimensionale. Molti istituti e aziende hanno trasferito le proprie attività dal mondo reale a quello virtuale, utilizzando la rete anche come strumento di promozione ed educazione e inducendo migliaia di persone a cambiare le proprie abitudini. Banche e conti correnti online, e-commerce, corrispondenza elettronica, social-network, e-learning, associazioni culturali online e molti altri sono gli esempi concreti di come tutto stia evolvendo verso una realtà digitale in cui miliardi di informazioni, più o meno correlate tra loro in enormi banche-dati, vanno a sostituire o integrare i tradizionali servizi e a costituire i nuovi alter ego virtuali per il nuovo popolo della rete.

Sino a poco tempo fa la larghezza di banda disponibile per la trasmissione dei dati attraverso la rete Internet e la potenza di calcolo dei comuni computer “casalinghi” non avrebbero permesso una visualizzazione fluida di informazioni 3D di alta qualità, che per la loro complessità necessitano di una notevole capacità di elaborazione e memorizzazione; risultava così opportuno, se non necessario, sviluppare applicazioni web in due dimensioni, impiegando esclusivamente testo e immagini di dimensioni e qualità ridotte, con rare eccezioni nella pubblicazione di brevi video di scarsa qualità o applicazioni Flash. Successivamente, l’installazione delle linee in fibra ottica, l’incremento delle prestazioni delle stazioni desktop e lo sviluppo del *Virtual Reality Modeling Language* (VRML), un formato di file progettato per rappresentare grafica vettoriale 3D interattiva sul web, hanno permesso alla *VR desktop* di allargare il suo campo d’azione espandendosi al *World Wide Web* e raggiungere così un numero di utenti prima inimmaginabile. Il

VRML, oggi ormai obsoleto, ha però generato negli anni una pletera di strumenti con finalità simili e performance crescenti, oggi disponibili tipicamente in due versioni:

- piattaforme autonome installabili su PC come viewer 3D;
- interfacce per la visualizzazione 3D fruibili esclusivamente tramite browser con l'ausilio di plugin appositi. Questo metodo di implementazione e fruizione virtuale è denominato appunto Web3D.

Tra gli esempi più significativi di piattaforme autonome di accesso ad ambienti virtuali condivisi emergono in primis Second Life e Google Earth per l'elevato numero di utilizzatori. Second Life³ è un social network con milioni di iscritti in tutto il Mondo, è utilizzato come base di sperimentazione e ricostruzione tridimensionale da numerose università e centri di ricerca e la particolarità del sistema consiste appunto nella possibilità per tutti gli utenti di modellare mesh in tempo reale direttamente nel mondo virtuale. Google Earth⁴, è un sistema che permette di raggiungere e visitare virtualmente ogni luogo del Pianeta ottenuto tramite rilevazione fotografica satellitare, è possibile visualizzare in tre dimensioni molti monumenti, edifici o intere città grazie a un sistema che permette l'integrazione di modelli precostruiti e texture annesse.

Come già accennato, le tecnologie di Ambienti Virtuali sono ormai sufficientemente consolidate in alcuni specifici ambiti applicativi, come quello della simulazione e della progettazione, specie nel settore industriale, e sono ormai impiegate abitualmente per lo studio, la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali per merito delle numerose applicazioni innovative che esse possono apportare nel settore museale, archeologico, del restauro, e altri, ma è proprio con l'utilizzo del Web3D che si è giunti all'effettiva promozione del patrimonio culturale. Difatti ad oggi la *VR Desktop* costituisce l'unico strumento di accesso a simulazioni tridimensionali per la maggioranza degli utenti e, in particolare il Web3D è da considerarsi un importante punto di riferimento

³ <http://secondlife.com/>

⁴ <http://www.google.it/gadgets/directory?synd=earth&hl=it&preview=on>

effettivo per la diffusione, la condivisione e la conservazione del patrimonio culturale e artistico collettivo. L'opera d'arte reale non può essere sostituita, ma può essere valorizzata grazie alla VR ma soprattutto al Web3D, che ne costituisce “una forma alternativa che supera le barriere dello spazio e del tempo” (Cappellini, 2008), permettendo una mediazione a grande distanza spaziale di collezioni virtuali di oggetti sparsi in tutto il mondo. Nonostante la natura transnazionale propria della rete Internet conferisca alle applicazioni Web3D molteplici vantaggi di fruizione, ad oggi questo metodo di interazione e visualizzazione non ha ancora avuto larga diffusione tra gli utenti della rete, la maggioranza dei quali non ha avuto modo di confrontarsi con applicazioni Web3D, ancora poco utilizzate o non sfruttate al meglio dagli stessi sviluppatori web, che non hanno ancora colto l'importanza delle nuove possibilità comunicative offerte dalle tecnologie di realtà virtuale per browser.

Una vera collaborazione internazionale tra musei, università e centri di ricerca permetterebbe la costituzione di diverse banche dati e collegamenti tra ogni tipologia e formato di informazione su opere d'arte, reperti, architetture e altro. Gli utenti otterrebbero un accesso istantaneo alle fonti delle informazioni in forma di fascicoli o cataloghi virtuali delle opere d'interesse, visualizzando nello stesso contesto tutti i dati storici relativi inoltre a mostre, collezioni, restauri, spostamenti, etc. contenuti nelle diverse banche collegate tra loro, e troverebbero allegati dati digitali di vario genere e formato, come riproduzioni tridimensionali, immagini e scannerizzazioni di documenti, e collegamenti a siti web attinenti le collezioni.

La visita virtuale a distanza tramite Internet può costituire un mezzo veramente utile di trasmissione di conoscenza, permettendo la fruizione di opere altrimenti inaccessibili al visitatore per problemi di irraggiungibilità spaziale o perchè presenti solo nei depositi e archivi e mai esposte. Ma ulteriori possibilità si estendono dalla forte interattività che caratterizza questo tipo di applicazioni e che permette di effettuare molteplici comparazioni di tipo cronologico, tecnico e spaziale, come ad esempio seguire la varie fasi di stesura nella realizzazione di

dipinti o visualizzare vari interventi di restauro nel corso dei secoli, comparare differenze e vari accorgimenti tecnici di un artista o relazionare varie opere di uno stesso artista disperse su di un territorio. L'approccio interattivo nella presentazione culturale tramite la VR e il Web3D non può essere attivato in contesti del museo reali, in quanto limitazioni oggettive non permettono di scostarsi dalla visione tradizionale di un'opera e specialmente di un'architettura. Nei musei reali non è possibile osservare a distanza ravvicinata determinati particolari degli oggetti esposti, come le microcrepe di un affresco o di una statua, e le architetture non possono essere osservate da ogni punto. Viceversa, l'impiego di strumenti digitali può consentire una visione dell'oggetto virtuale a risoluzioni elevatissime e da ogni angolazione, l'opera può essere esaminata al suo interno e nelle sue componenti in altre bande ottiche non visibili con l'occhio umano, come l'infrarosso, l'ultravioletto e i raggi X.

Nei successivi paragrafi saranno esposti più nel dettaglio i metodi e i vantaggi più ricorrenti nella visualizzazione, promozione e conservazione del patrimonio culturale mediante tecnologie Web3D, con particolare attenzione rivolta al "museo virtuale".

1.2. Categorizzazione di scenari Web3D per la fruizione culturale

Partendo dal presupposto che gli strumenti di interfacciamento disponibili nell'accesso alla *VR desktop* sono molto limitati e che per questo gli ambienti Web3D non hanno la pretesa di ottenere alcun livello di immersività o un alto livello di presenza, l'analisi è concentrata soprattutto sullo studio delle modalità di presentazione delle informazioni al fine del raggiungimento di particolari obiettivi di supporto alla ricerca, promozione e valorizzazione dei beni culturali o, comunque, di obiettivi che esulano dal puro intrattenimento ludico.

Le categorie di scenari virtuali per la rappresentazione di informazioni culturali sono individuate sulla base degli obiettivi della comunicazione, del target della comunicazione, dei contenuti veicolati e della modalità di acquisizione di questi contenuti, la quale quest'ultima dipende a sua volta dagli obiettivi della

comunicazione, dalla morfologia, dallo stato di conservazione dei soggetti reali e dal materiale documentale disponibile per la loro ricostruzione morfologica in formato digitale.

Per ogni categoria di scenario virtuale è effettuata un'analisi su applicazioni realmente esistenti al fine di individuare le metodologie implementative più ricorrenti sia nell'aspetto della rappresentazione strutturale dell'ambiente e delle metodologie d'interazione, sia sulla qualità delle informazioni veicolate e l'efficacia nella loro rappresentazione. L'analisi dell'interazione prevede l'individuazione degli strumenti e dei metodi di navigazione e movimento all'interno dell'ambiente di visualizzazione, la selezione degli oggetti, la manipolazione degli oggetti e il grado di personalizzazione dell'ambiente.

1.2.1. Gli obiettivi e il target della visualizzazione

La digitalizzazione e il Web3D consentono al patrimonio artistico di trovare nuove vie di utilizzo, dalla preservazione del contenuto, alla fruizione di opere inaccessibili. L'obiettivo dell'applicazione, ovvero il messaggio che è inteso veicolare o l'azione prefissa, è il primo parametro atto a determinare le scelte nella metodologia implementativa dell'applicazione ed è dipeso dalla categoria del modello digitalizzato e l'utilizzo che se ne vuole fare. Gli obiettivi sono rintracciabili non solo dall'osservazione delle applicazioni Web3D per i beni culturali presenti on-line, ma possono essere ipotizzati tra le varie opportunità di fruizione rese possibili dalle tecnologie disponibili e dalla digitalizzazione di opere e architetture e riguardano in generale il supporto alla ricerca, la conservazione, la promozione e la valorizzazione dei contenuti culturali. I soggetti che possono trarre vantaggio dall'utilizzo delle applicazioni Web3D per la ricerca e la conoscenza del patrimonio culturale sono molteplici e direttamente individuabili nella descrizione degli obiettivi implementativi:

- *Conservazione e catalogazione.* La riproduzione di un'opera, un reperto o un'architettura in formato digitale ad alta risoluzione, tramite elaborazione e modellazione dei dati acquisiti con sistemi integrati laser scanning e

fotogrammetrici dei materiali, consente una memorizzazione delle collezioni pressoché eterna. Le rappresentazioni digitali delle opere possono mantenersi inalterate per tempi teoricamente infiniti, non risentendo delle alterazioni ambientali e storiche che tipicamente comportano degradazione e deperimento dei reperti reali, e in qualsiasi momento è possibile ottenerne dei duplicati su nuovi supporti di memoria. Il supporto alla memorizzazione del sapere manuale e artistico può essere così attuato tramite la creazione di database, catalogazioni, collezioni virtuali di opere più o meno eterogenee, utili per la ricerca e la costituzione di musei virtuali transnazionali, senza limiti spazio-temporali e accessibili tramite interfacce Web3D. Ogni tipo di dato, come testo, immagini, audio e video, può essere così collegato alla stessa opera virtuale in enormi banche-dati multimediali con accesso ai dati stratificati remoto e controllato, il quale deve però essere facilitato attraverso l'integrazione di sistemi di supporto all'interpretazione dei dati e di sistemi di rintracciamento o ricerca delle informazioni di tipo testuale o ipermediale.

- *Supporto alla ricerca scientifica e storica.* I modelli tridimensionali ad alta risoluzione possono costituire una solida fonte di dati e supporto per operatori specializzati, ricercatori, storici, archeologi e una base di lavoro virtuale per i restauratori. L'indagine scientifica in ambienti virtuali permette di conoscere più a fondo la morfologia, l'architettura e la struttura cromatica delle opere. L'ambiente virtuale può fornire un efficace e attraente mezzo di produzione e rappresentazione di ricostruzioni storiche sulla base delle ipotesi di storici e archeologi, per simulazioni sullo stato di conservazione del reperto, la comparazione di modificazioni diacroniche e ambientali, e mappature di dati sul degrado e su operazioni di restauro referenziati nel tempo e nello spazio. Questo tipo di rappresentazione è denominato "Realtà a 4 dimensioni" (4-D), ovvero "quando alla realtà di oggi viene aggiunta la ricostruzione di quanto è presupposto sia presente nella realtà del passato" (Cappellini, 2008).

- *Promozione e valorizzazione.* Le applicazioni Web3D sono utilizzate soprattutto col fine di promuovere e valorizzare il patrimonio culturale, diffondendo informazioni attraverso nuovi metodi di comunicazione che riescano ad incuriosire l'utente, e lo avvicinino allo studio e all'apprezzamento dei beni culturali. La forma di architettura di visualizzazione più ricorrente è quella del "museo virtuale", che spesso intende rivolgersi a turisti culturali e appassionati di arte e archeologia, come vetrina informativa per collezioni, musei o siti archeologici reali, come base per installazioni di un particolare autore o corrente artistica, o come mezzo di valorizzazione del patrimonio artistico territoriale. I modelli non possono essere caratterizzati da una risoluzione poligonale eccessiva in quanto il fine ultimo della rappresentazione non è raggiungere livelli tali di dettaglio e fedeltà all'originale da costituire una fonte valida di ricerca per esperti, ma raggiungere il maggior numero di utenza e consentire a chiunque di poter usufruire agevolmente dell'applicazione senza eccessivi tempi di attesa. A differenza di alcune teorie che vedrebbero nella visita virtuale un sistema di allontanamento dell'interesse dell'utente alla visita dal vivo, questo approccio può anzi costituire un metodo di promozione del patrimonio culturale, apportando una conoscenza preventiva, preparatoria e integrativa della fruizione dal vivo, con conseguente stimolazione del desiderio di ripetere l'esperienza in un contesto reale (Cappellini, 2008). Difatti il "museo virtuale" è la metafora di visualizzazione più impiegata nella presentazione di contenuti culturali, e le tecnologie *Web3D* sono sfruttate soprattutto per l'implementazione di questo tipo di mediazione informativa, ma non solo.
- *Educazione, comunicazione.* Negli ultimi anni sono nati numerosi sistemi di *e-learning*, piattaforme tecnologiche che sfruttano la rete Internet per diffondere informazioni a distanza a fini di formazione scolastica e universitaria. I contenuti di questo metodo didattico possono essere progettati in diversi formati multimediali, comprendenti pagine HTML,

contributi audio, contributi video, simulazioni ed esercitazioni interattive, le quali potrebbero sfruttare il Web3D per facilitare l'apprendimento attraverso ricostruzioni storiche, scientifiche e soprattutto mutazioni diacroniche e diafasiche: per esempio la rappresentazione di Piazza dei Miracoli nelle varie fasi di costruzione e cambiamenti nel tempo.

- *Restauro preventivo*. Purtroppo, ad oggi, gli strumenti hardware e le interfacce messe a disposizione in contesti di *VR desktop* non consentono un'interazione soddisfacente per un buon addestramento o una simulazione utile a fini di restauro virtuale, altrimenti molto efficiente in ambienti che utilizzano tecnologie complesse come le Interfacce Aptiche. Gli ambienti di VR con mesh ad alta risoluzione consentono di realizzare restauri virtuali preventivi, che non alterano le condizioni dei reperti originali ma intervengono solo sulla versione digitalizzata dei modelli, per suggerire eventuali integrazioni di lacune e modifiche estetiche o funzionali assolutamente reversibili. Il lavoro manuale del restauratore non potrà mai essere sostituito e il risultato finale dell'interazione non sarà identico all'operato reale, ma potrà rivelarsi molto utile per effettuare una diagnosi non invasiva sullo stato di conservazione dell'opera prima dell'intervento definitivo. Reperti e architetture distrutte, danneggiate o invecchiate possono essere recuperate e ricostruite riunendo virtualmente i frammenti rinvenuti e questo risulterebbe molto vantaggioso nel caso in cui l'oggetto originale non possa essere toccato per non arrecarvi ulteriori danneggiamenti. L'applicazione di sistemi Web3D a questo metodo di interazione apporterebbe notevoli vantaggi legati al lavoro collettivo che risulterebbe dalla collaborazione remota e in tempo reale tra esperti di ogni luogo.

1.2.2. I contenuti riproducibili

La modellazione tridimensionale e, conseguentemente, la riproduzione virtuale in ambienti Web3D, può riguardare tutto ciò che compete l'arte e ogni forma di

oggetto culturale. Per l'identificazione quindi dei contenuti che generalmente sono rappresentati in applicazioni Web3D per la mediazione culturale è opportuno anzitutto dare una definizione di beni culturali e di ciò che è compreso in questo ambito.

Secondo la più generale definizione riportata nell'introduzione alla London Charter⁵, con il termine "beni culturali" (in inglese *cultural heritage*) possono essere considerati "tutti quegli ambiti dell'attività umana riguardanti la fruizione e la comunicazione di cultura materiale e intellettuale. Tali ambiti includono, ma non limitatamente a questi, musei, gallerie d'arte, siti, centri interpretativi, istituti di ricerca sui beni culturali, soggetti d'arte e umanistici⁶ all'interno di università, il settore educativo, e il turismo."

Un elenco più preciso riguardo l'effettiva identità dei "beni culturali" è riportato nella "Convenzione per la protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato", stipulata presso l'Aja, in Olanda il 14 maggio del 1954, secondo la quale sarebbero considerati beni culturali quei "beni, mobili o immobili, di grande importanza per il patrimonio culturale dei popoli, come i monumenti architettonici, di arte o di storia, religiosi o laici; i siti archeologici; i complessi di costruzioni che, nel loro insieme, offrono un interesse storico o artistico; le opere d'arte; i manoscritti, libri ed altri oggetti di interesse artistico, storico o archeologico; nonché le collezioni scientifiche e le collezioni importanti di libri o di archivi o di riproduzioni dei beni sopra definiti; gli edifici la cui destinazione principale ed effettiva è di conservare i beni culturali mobili [...] quali i musei, le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i beni culturali mobili, [...] i centri comprendenti un numero considerevole di beni culturali, [...] detti *centri monumentali*".

⁵ [http:// www.londoncharter.org/](http://www.londoncharter.org/)

⁶ Testo originale: "*Encompassing all domains of human activity that are concerned with the understanding and communication of the material and intellectual culture. Such domains include, but are not limited to, museums, art galleries, heritage sites, interpretative centres, cultural heritage research institutes, arts and humanities subjects within higher education institutions, the broader educational sector, and tourism.*"

Da un'osservazione generale riguardo le applicazioni presenti ad oggi su web sono emerse varie tipologie di contenuti con caratteristiche molto diverse tra loro:

- Testi e immagini in *Information Landscapes*, dove l'ambiente tridimensionale è sfruttato per creare connessioni logiche tra testo e immagini;
- Opere d'arte o documenti bidimensionali come libri, disegni, dipinti, fotografie, affreschi;
- Opere d'arte tridimensionali come statue, monumenti, bassorilievi;
- Intere architetture urbane come città antiche, rovine archeologiche, monumenti architettonici;
- Singole costruzioni antiche come templi, cattedrali, chiese, palazzi storici;
- Reperti di oggetti d'uso quotidiano come monili, gioielli, arnesi, armi o invenzioni;
- Centri di conservazione ed esposizione di opere come i musei, in genere riprodotti con acquisizione fotografica⁷.

Un'attività particolare che ha cominciato a prendere campo nell'ultimo ventennio è la generazione di opere direttamente attraverso algoritmi computerizzati. Nel caso del Web3D l'ambiente è sfruttato per creare allestimenti virtuali di opere sia bidimensionali che ottenute attraverso la modellazione tridimensionale.

1.2.2.1. L'acquisizione dei contenuti

Sulla base degli obiettivi della comunicazione, dalla morfologia, dallo stato di conservazione dei soggetti originali e dal materiale documentale disponibile per la ricostruzione morfologica in formato digitale, i modelli della rappresentazione possono essere ottenuti a partire da oggetti realmente esistenti o essere frutto di valutazioni ipotetiche riguardo particolari situazioni storiche o comparazioni di reperti. Inoltre gli obiettivi e il target della mediazione determinano particolari scelte qualitative che possono influenzare significativamente sia il livello di

⁷ Un esempio all'indirizzo <http://www.roanoke.com/multimedia/artmuseum/>

astrazione dell'ambiente, sia il dettaglio d'acquisizione del modello.

In Figura 2 è mostrato come l'acquisizione ottenuta direttamente dalla digitalizzazione dei modelli reali comporti il massimo livello di concretezza dell'ambiente virtuale. La creazione di un contesto ipotetico o dipendente da congetture e valutazioni storico-ambientali determina il pieno grado di astrazione dell'ambiente virtuale, che non può essere ottenuto sulla base di evidenze concrete.

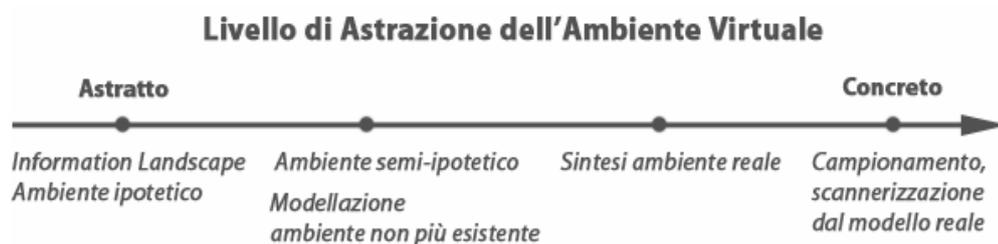


Figura 2. Livello di astrazione dell'ambiente virtuale

I vari livelli di astrazione nell'acquisizione digitale dei modelli possono essere così elencati e descritti:

- *Campionamento, riproduzione di un modello realmente esistente tramite scansione o sulla base di fotografie sull'originale.* In genere, per quei modelli di cui si intende gestire delle copie finalizzate alla ricerca e/o alla conservazione del patrimonio nel tempo, sono costituiti dei database di digitalizzazioni ottenute attraverso la scansione sul modello originale o modellate a partire da documentazioni fotografiche reali, proprio per cercare di ottenere il più alto grado di dettaglio al fine di mantenere l'integrità dello studio. Il modello ottenuto in questo caso può essere costituito da una *mesh* con milioni di poligoni, che vanno ad appesantire notevolmente il *rendering*, ma necessari per l'accuratezza della documentazione. Comunque in genere nell'ambiente non sono presenti altri elementi di interferenza visiva che andrebbero ad appesantire e rallentare ulteriormente la visualizzazione.

- *Sintesi, modellazione di un ambiente reale esistente basata su documentazione fotografica.* Non sempre è necessario dover ottenere un alto grado di dettaglio o comunque essere completamente fedeli all’originale nella riproduzione del modello. Questo spesso vale in caso di pura promozione turistico-culturale, dove non conta la massima fedeltà ma garantire a una vasta gamma di utenti l’accesso al sito virtuale di un museo o di un sito archeologico. Spesso le informazioni accessorie come il testo e le immagini aiutano a completare la visualizzazione e alcune volte possono rivelarsi ancora più utili. In questi casi conta la leggerezza e la fluidità della navigazione, che può essere ulteriormente velocizzata facendo affidamento sulla realistica delle textures anziché sul dettaglio della *mesh* stessa. Un esempio di questo tipo è riscontrabile in Google Earth, dove un più alto livello di realismo dei modelli è possibile grazie all’applicazione di textures ottenute direttamente dalla documentazione fotografica delle architetture originali.
- *Ricostruzione digitale, modellazione di un’opera non più esistente, o esistente solo in parte a partire da documentazione storica e iconografica degli ambienti.* La VR può costituire uno strumento molto utile per cercare di rappresentare ricostruzioni di opere e architetture ormai non più esistenti o quasi del tutto distrutte o deteriorate dal tempo e valorizzare così le ricerche di studiosi e archeologi. Un esempio significativo di applicazione Web3D impiegata per la visualizzazione e la comparazione diacronica di un’architettura storica è la ricostruzione in più fasi cronologiche di Piazza dei Miracoli di Pisa⁸.
- *Modellazione di un ambiente non reale, ambiente ipotetico, semi-ipotetico.* Il Web3D può fungere da supporto alla realizzazione di ambienti astratti, creativi, ideali o comunque indirizzati allo studio di situazioni ipotetiche. Con “ambiente ipotetico” sono intese molteplici situazioni, a partire dagli

⁸ <http://piazza.opapisa.it>

Information Landscapes, sino alla riproduzione di ambienti tridimensionali ideati esclusivamente per la fruizione in rete, come nel caso di varie forme di net-art, ovvero di arte digitale le cui opere sono esposte solamente sul sito di un artista o di un'organizzazione. Con ambienti *semi-ipotetici* sono intese quelle rappresentazioni o simulazioni create a partire da elementi realmente esistenti per i quali può essere utile fornirne l'evoluzione nel tempo futuro o in situazioni particolari del passato, come ad esempio una visita virtuale in una città antica ricostruita sulla base dei ritrovamenti archeologici. Altri ambienti di questo tipo possono essere considerati i musei virtuali o comunque ambienti non basati sulla realtà ma nei quali sono integrati modelli costruiti a partire da soggetti realmente esistenti. In ambito di simulazioni per il restauro, l'ambiente è generato a partire da un oggetto reale, ma le modifiche apportate al modello dall'utente costituiscono versioni ipotetiche dello stesso.

1.2.3. Le metafore ambientali

La modalità di presentazione dell'applicazione è dipesa da tutti i parametri precedentemente analizzati, i quali si influenzano a vicenda determinando la scelta della tecnologia da utilizzare, la metodologia di costruzione e rappresentazione dell'ambiente, nonché la sua struttura.

La complessità dell'ambiente, è determinata sostanzialmente dal numero dei modelli presenti nella visualizzazione, che può consistere anche in un modello, quindi un'applicazione ideata esclusivamente per la riproduzione digitale di un particolare soggetto, a volte l'applicazione può presentare più versioni separate dello stesso modello spesso per rappresentare i mutamenti storici dell'oggetto, più versioni dello stesso autore, di più autori, effetti del tempo, erosione, etc. dell'oggetto, ottenere una comparazione; più modelli ma visualizzati separatamente, quindi un database per la gestione di una serie di modelli visualizzabili sulla base della richiesta dell'utente; più modelli visualizzati contemporaneamente in un unico contesto comune, per una comparazione o in

genere corrisponde al cosiddetto museo virtuale, la presentazione di una collezione.

- Modello unico di opera bidimensionale (tela, affresco, fotografia, video, arte digitale)
- Modello unico tridimensionale di statua o oggetto di rilevanza storico-artistica, soggetto allo studio approfondito di esperti del settore artistico o archeologico.
- Modello unico di architettura di rilevanza storica, soggetta allo studio archeologico.
- Collezione di modelli bidimensionali o tridimensionali visualizzabili singolarmente.
- Collezione di modelli bidimensionali o tridimensionali visualizzabili contemporaneamente in un unico contesto. In genere questo tipo di visualizzazione si risolve con l'implementazione di una città virtuale o un museo virtuale, il quale merita una trattazione a parte in quanto rappresenta il metodo di visualizzazione del patrimonio culturale più utilizzato nel Web3D.

1.3. Il Museo Virtuale

Considerato che la maggior parte delle applicazioni Web3D presenti on-line riguarda la pubblicazione di musei virtuali, soprattutto con lo scopo di promuovere musei realmente esistenti oppure per ricreare collezioni virtuali di modelli provenienti da diverse aree geografiche, pare opportuno approfondire tale aspetto della rappresentazione dei beni culturali nel Web.

In Shiode et al, il museo virtuale è definito come “la riproduzione elettronica di una galleria d’arte che contiene una collezione di manufatti elettronici e risorse informative per l’esplorazione pubblica”⁹. In Bertuglia et al è definito come un

⁹ “the electronic reproduction of an art gallery that contains a collection of electronic artifacts and information resources for public exploration and is subject to the spatial perception of the art gallery to the visitors”

“giacimento di informazioni”. Da queste definizioni emerge difatti il principale scopo del museo virtuale che è quello di conservare e divulgare informazioni verso una vasta gamma di utenti. Indipendentemente dalla definizione di “museo virtuale”, le forme, gli scopi e i contenuti del museo virtuale possono variare sensibilmente, costituendosi in varie forme di rappresentazione informativa e tecnologica. In tal contesto la tecnologia deve fungere da strumento di incentivazione per la diffusione e l’aumento dell’informazione, con il compito di produrre, elaborare, diffondere, conservare e organizzare l’informazione come e più che nel museo reale, favorendo l’apprendimento e collaborando inoltre alla duplicazione dell’informazione attraverso gallerie di immagini e integrazioni testuali e iconografiche e, nel Web3D, attraverso i modelli tridimensionali.

Tra i risultati di ricerca su Google per “Virtual Museum”¹⁰, la maggior parte dei siti web intesi come “musei virtuali” sono la presentazione di un museo reale relazionato a un database del quale sono esposte immagini bidimensionali, documentazioni iconografiche e video accompagnati da testo descrittivo delle opere (vedi ad esempio <http://www.guggenheim.org/>). In alcuni casi il sito è la documentazione di un progetto di realtà virtuale, come ad esempio la ricostruzione di un sito archeologico, ma che non dà la possibilità di fruire delle applicazioni tramite web, ovvero su CD-Rom DVD o su applicazioni e tecnologie impiantate in un particolare luogo di fruizione, come ad esempio un museo reale o un laboratorio di ricerca (vedi ad esempio il sito <http://www.museomav.it/> oppure il sito <http://www.vhlab.itabc.cnr.it/flaminia/>). I contenuti mediati in applicazioni Web3D per i beni culturali saranno tipologicamente e quantitativamente differenti rispetto a informazioni che possono essere trasmesse ad esempio in sistemi di rappresentazione virtuale per la guida degli utenti lungo i percorsi della visita dal vivo al museo. Difatti i vantaggi di cui maggiormente possono usufruire i curatori

¹⁰ Ricerca su Google per parole esatte (effettuata in data 1 settembre 2010): “virtual museum”, Google.com 669.000 hits, Google.it 677.000 hits; “museo virtuale”, Google.com 116.000 hits, Google.it 113.000 hits; “3d virtual museum”, Google.com 33.400 hits, Google.it 1.810 hits; “museo virtuale 3d”, Google.com 7.190 hits, Google.it 7.200 hits.

dei musei virtuali riguardano la possibilità di disseminare maggiori informazioni su tutto ciò che possa riguardare una determinata collezione di opere. Nella visita dal vivo le informazioni consisteranno soprattutto in istruzioni su come orientarsi tra le varie esposizioni.

A tutt'oggi le possibilità didattiche e di diffusione dell'informazione che potrebbe offrire questo metodo di rappresentazione digitale non sono state sfruttate al meglio, soprattutto in ambito del Web3D. Raramente il museo virtuale tridimensionale è implementato con fini didattici, ma in genere lo scopo principale è fare pubblicità al museo reale, per invogliare l'utente a farvi visita e per informarlo riguardo le attività. Spesso l'utente medio si interfaccia con tali applicazioni per pura curiosità, per intrattenimento o turismo virtuale, e fare delle brevi ricerche. Più di un decennio fa Cappellini sottolineava come le possibilità di maggiore diffusione culturale del museo virtuale si sarebbero riscontrate soprattutto nell'interconnessione di database e informazioni, ma ad oggi i musei in rete sono pochi e quelli in rete tra di loro quasi nessuno. Dobbiamo considerare inoltre che le informazioni sono raramente aggiornate e le mostre virtuali poco sfruttate. Sta quindi all'utente dover ricostruire l'intero operato di un artista o una corrente storica, usufruendo di motori di ricerca per ricreare le connessioni. Le varie applicazioni presenti in rete potrebbero essere interconnesse in modo da "offrire delle alternative di fruizione artistica o meglio integrazioni (virtuali) rispetto a quanto proprietà dello stesso museo" (Cappellini, 2000). Inoltre un'efficace rete di connessione potrebbe "permettere una ricomposizione virtuale di un particolare patrimonio artistico-storico disperso in più musei o sedi (ad es. di un artista importante o di una epoca specifica). Si parla in questo senso anche di 'Musei Impossibili', cioè di musei virtuali che permettano di realizzare virtualmente delle ricomposizioni praticamente impossibili o estremamente difficili di opere d'arte disperse in varie sedi. Si parla ancora di 'Musei Invisibili', cioè di musei virtuali che permettano di mostrare al pubblico le opere non esposte (conservate ad esempio nei depositi)" (Cappellini, 2000). Il museo "che non c'è", così come definito da Bertuglia, è il risultato dell'aggregazione di informazioni

non provenienti da un museo esistente, che non ha corrispondenza con un museo esistente.

La visita virtuale non potrà mai sostituire quella reale ma nel museo virtuale l'utente può visualizzare l'opera in modo completamente diverso, avvicinandovisi per esaminarne i minimi particolari e usufruendo di una visuale onnicomprensiva, raggiungendo sezioni dell'opera altrimenti irraggiungibili, come per esempio visualizzare dall'alto un'architettura o una città, e avere una visione d'insieme altrimenti inimmaginabile con il contatto diretto tra l'utente e l'opera. La visita virtuale al museo può essere utile sia come preparazione a una visita dal vivo, sia come rielaborazione informativa su una visita già effettuata, sia come pura scelta alternativa di visita museale. Il consumo domiciliare permette di scegliere i tempi e le modalità di fruizione dell'opera desiderata e ridurre i tempi e i costi della fruizione (Bertuglia et al, 1999). Pare dunque necessario che anche i musei virtuali implementati con tecnologie Web3D siano gestiti secondo principi di usabilità e accessibilità tali da rendere la fruizione gradevole e intuitiva al pari delle applicazioni web tradizionali.

1.4. Il procedimento di categorizzazione e valutazione funzionale

Molte sono ancora oggi le motivazioni che hanno in parte frenato l'espansione dell'utilizzo delle tecnologie Web3D per la diffusione e la condivisione del patrimonio culturale. Da una parte i sistemi non sono ancora del tutto accessibili dal punto di vista dell'integrazione con i maggiori browser utilizzati per la navigazione in rete e non sono usabili per la maggioranza degli utenti, ancora inesperti e che hanno difficoltà ad assimilare i nuovi paradigmi di interazione richiesti per accedere alle informazioni tridimensionali. D'altra parte spesso la qualità delle informazioni mediate non è tale da giustificare un impiego di risorse superiore per accedere alle applicazioni Web3D rispetto a quelle richieste per navigare un tradizionale sito web.

Affinché almeno in parte siano superati alcuni limiti di fruizione è stato considerato utile quindi fornire una serie di linee guida che indicassero delle

possibili soluzioni per il miglioramento delle applicazioni esistenti e la corretta implementazione di quelle future. A tal proposito sono state osservate una serie di applicazioni Web3D per la mediazione culturale (e non solo) presenti online al fine di individuarne i principali limiti e vantaggi nei metodi di interazione e presentazione delle informazioni impiegati.

In linea generale il lavoro è stato svolto in due fasi principali: la prima incentrata sulla valutazione qualitativa e funzionale delle applicazioni online con il supporto contemporaneo dei risultati ottenuti da un'intervista agli utenti; la seconda incentrata sulla valutazione di particolari scenari ideali generati a partire dai risultati e dalle considerazioni della fase precedente. I risultati di quest'ultima fase hanno concorso alla formulazione delle ipotesi finali per una buona implementazione di applicazioni Web3D per i beni culturali.

1.4.1. Applicazioni Web3D on-line come campioni d'analisi

Ai fini del supporto teorico alla categorizzazione preventiva di alto livello sono state individuate una serie di applicazioni, ognuna sviluppata a partire da diverse tecnologie e risultante in varie metodologie di rappresentazione e visualizzazione, da sottoporre all'analisi e il giudizio di un campione di utenti con diversi gradi di abilità e conoscenze informatiche incentrate sulle esperienze di fruizione di contenuto per mezzo di rappresentazioni virtuali su web.

A supporto delle valutazioni, sia qualitative che funzionali per ogni campo di analisi, è stato selezionato un gruppo eterogeneo di utenti, sottoposto a un'intervista nella quale si è cercato di individuare le preferenze e le difficoltà maggiormente riscontrate in fase di visualizzazione e interazione con il campione di applicazioni. I punti salienti del questionario per l'intervista sono stati redatti sulla base della categorizzazione preventiva precedentemente effettuata e delle principali componenti comuni riscontrate nella maggior parte delle applicazioni Web3D online. L'indagine non ha valore statistico ma è volta a rilevare le difficoltà e le consuetudini radicate nell'utilizzo degli strumenti di interazione e nel reperimento delle informazioni, cercando di capire cosa si aspetta l'utente

dall'applicazione e come riesce a rispondere ai messaggi inviati dalla stessa. Le risposte hanno permesso di individuare quegli aspetti o errori di progettazione ricorrenti che spesso rendono difficoltoso l'apprendimento delle informazioni per motivi di scarsa usabilità e accessibilità delle interfacce e che impediscono il raggiungimento del task o addirittura scoraggiano l'utente fino a indurlo ad abbandonare l'applicazione prima di iniziare l'effettiva navigazione.

Per individuare le consuetudini instaurate nella progettazione della visualizzazione e dell'interazione in applicazioni Web3D e per valutare la qualità delle informazioni e la loro efficacia nel metodo rappresentativo, è stata osservata una serie di applicazioni rappresentative dei più comuni modelli di trasmissione dei contenuti culturali tramite Web3D, ognuno con diversi obiettivi, diversi target di comunicazione e progettati su diverse metafore di interazione ambientali. A queste sono state aggregate alcune applicazioni con finalità differenti dalla rappresentazione culturale, ma utili da sottoporre all'esame per individuare, oltre alle consuetudini di visualizzazione e interazione, eventuali metodi vantaggiosi e integrabili in applicazioni Web3D per i beni culturali. Come descritto nei successivi paragrafi, queste implementazioni sono state utilizzate come campioni per la valutazione della qualità e dei metodi di rappresentazione delle informazioni a partire dai principi della Carta di Londra e per l'identificazione e il paragone di quegli elementi utili alla descrizione dei limiti e dei vantaggi ricorrenti nelle metafore di interazione per il Web3D.

Le caratteristiche strutturali degli ambienti Web3D scelti per l'osservazione dei metodi di fruizione culturale variano sulla base di diversi livelli di complessità ed estensione, che possono riguardare principalmente riproduzioni virtuali di strutture realmente esistenti, come "Piazza dei Miracoli di Pisa" virtuale, musei virtuali come collezioni di opere e manufatti realmente conservati in un museo reale, come il museo virtuale del "Louvre", musei virtuali che propongono versioni tridimensionali di modelli sparsi in luoghi diversi, come il "Museo delle Pure Forme" e rappresentazioni di singoli oggetti o architetture per fini di ricerca e conservazione, come le implementazioni di CyArk e Vihap3D. Variano anche le

metodologie di acquisizione e presentazione dei modelli, che in alcuni contesti sono su scala bidimensionale o pseudo-tridimensionale, come nel “Virtual Museum of Iraq”¹¹ e nel “Museo Virtuale delle Radici europee”, e in altri implementano realmente modelli tridimensionali, come nel “Virtual Hampson Museum”.

Il “Museo delle Pure Forme”¹² consiste nella riproduzione online dell’esposizione permanente al Museo dell’Opera del Duomo in Pisa, un museo virtuale implementato con obiettivi di esplorazione sensoriale e percettiva in ambito di visione stereoscopica, stimolo tattile e percezione del contatto fisico con le opere virtuali. La collezione di opere include la digitalizzazione di sculture provenienti da diversi musei europei e internazionali, allestite e visualizzabili online con il tool XVR.



Figura 3. Un’opera visualizzata nel “Museo delle Pure Forme”

La riproduzione 3D di “Piazza dei Miracoli di Pisa”¹³ consiste in un progetto di esplorazione virtuale interattiva e diversificata su diversi livelli di apprendimento in relazione alla tipologia di visitatore. La visualizzazione in 4D riguarda la rappresentazione documentaria della Piazza in diversi periodi storici, corredata da ricche informazioni audio. Realizzata e visualizzabile tramite tecnologia XVR, il progetto mira a salvaguardare, disseminare conoscenza, fornendo una base

¹¹ <http://www.virtualmuseumiraq.cnr.it/homeITA.htm>

¹² <http://www.pureform.org/virtualGallery.htm>

¹³ <http://piazza.opapisa.it/3D/index.html>

comune di discussione scolastica e scientifica e condivisione delle informazioni riguardo “Piazza dei Miracoli” e i suoi monumenti.



Figura 4. “Piazza dei Miracoli” di Pisa in 3D

Il “Virtual Hampson Museum”¹⁴ è un museo virtuale rappresentante la riproduzione tridimensionale degli oggetti collezionati nello “Hampson Archeological Museum State Park” di Wilson, in Arkansas (USA). Questi modelli riproducono oggetti appartenuti ai nativi americani tra il quindicesimo e il diciottesimo secolo nell’antico villaggio di Nodena, sono corredati da documentazioni descrittive e visualizzabili con il tool PDF3D. Gli obiettivi principali del sito riguardano la promozione della conoscenza di questi artefatti e invogliare i turisti e gli studenti a visitare la località.

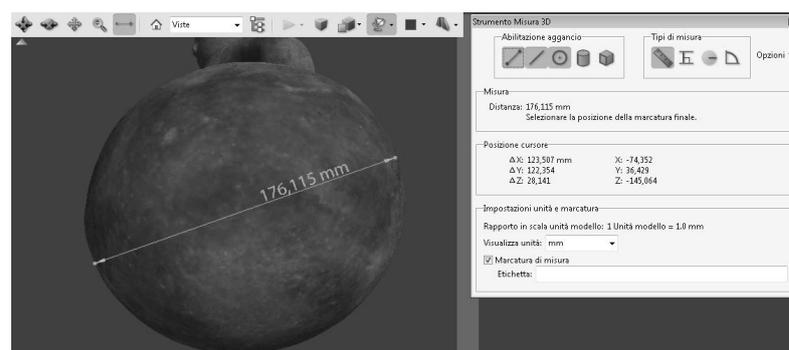


Figura 5. Un esempio di visualizzazione di un oggetto del “Virtual Hampson Museum”

¹⁴ <http://hampsonmuseum.cast.ark.edu/browse.htm>

CyArk¹⁵ è un'entità non-profit che persegue attività di ricostruzione 3D, visualizzazione di modelli archeologici, con l'obiettivo di preservare beni culturali in collezioni digitali, archiviare e permettere il libero accesso ai dati ottenuti con la scannerizzazione laser, la modellazione digitale e altre tecnologie simili. Tramite il sito web è possibile accedere a un archivio di ricostruzioni 3D di antiche architetture acquisite da tutto il Mondo, dalla mappa è possibile scegliere il modello d'interesse. L'applicazione funziona con l'avvio di Java Web Start Launcher.

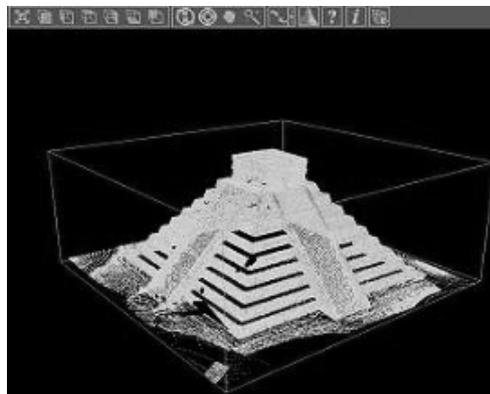


Figura 6. Un'antica architettura acquisita da CyArk

Il Progetto ViHAP3D¹⁶ è stato attivato con l'obiettivo di preservare, rappresentare e promuovere l'accesso e lo studio dei beni culturali attraverso acquisizioni di grafica 3D di alta qualità e un rendering efficiente. Dal sito web è possibile accedere a un database di sculture, architetture e ceramiche visualizzabili tramite il viewer Cult3d.

Alcune delle applicazioni *Web3D* osservate non hanno lo scopo primario di studiare, conservare, diffondere o valorizzare beni culturali, ma sono state ideate e implementate per intrattenere, pubblicizzare o commercializzare prodotti e servizi. Esse sono state selezionate come esempi per l'identificazione dei metodi di gestione della visualizzazione e dell'interazione più consolidati nel *Web3D* e per

¹⁵ <http://archive.cyark.org/project-world>

¹⁶ <http://www.vihap3d.org/3dgallery/sculptures.html>

la selezione di eventuali metodi risultanti particolarmente vantaggiosi e integrabili in contesti di rappresentazione culturale.

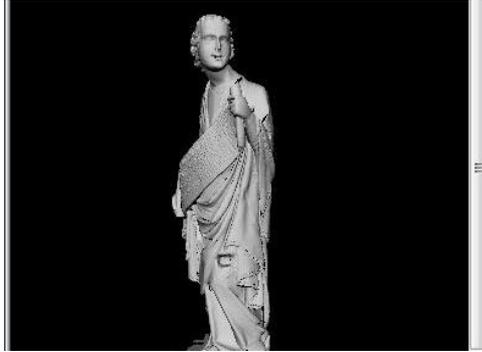


Figura 7. Un'opera conservata dal database di ViHAP3D

La rappresentazione dei beni culturali può riguardare anche la gestione di grandi ambienti o riproduzioni di città antiche o moderne. Per questo sono state inoltre osservate piattaforme autonome non visualizzabili su browser come Google Earth, Second Life (vedi par. 1.1), al fine di ricercare metodi di visualizzazione e orientamento integrabili in contesti culturali che richiedono la gestione di ambienti molto complessi ed estesi.

Capitolo 2. Valutazione dell'integrità dei contenuti mediati: un'implementazione della Carta di Londra

Non è sufficiente saper progettare efficientemente il metodo di rappresentazione dei dati e di interazione con essi, ma è necessario prevedere fin dal principio il modo corretto per comunicare alla comunità degli studiosi e a tutti gli interessati informazioni culturali qualitativamente rilevanti e sostenibili, praticando una selezione mirata dei dati sulla base degli obiettivi dell'azione comunicativa.

Rispetto alla fruizione di contenuti culturali 3D in postazioni fisse come i chioschi interattivi e installazioni virtuali nei musei, la rappresentazione culturale tramite il web comporta maggiori e diverse implicazioni. Queste sono dovute da un lato ai modi in parte consolidati in parte in continua evoluzione della comunicazione via Internet, dall'altro ai problemi che possono insorgere dall'insufficienza di banda necessaria a trasmettere ad una buona frequenza una grande quantità di dati, o ancora alla frequente impossibilità per gli utenti di contestualizzare e verificare l'effettiva provenienza e validità delle informazioni presenti in rete. Se si eccettuano le pubblicazioni elettroniche scientifiche, che seguono percorsi e forme di uscita consolidate, quando si consultano i siti non accademici o comunque non direttamente riferibili ad organizzazioni ufficiali è sovente difficile accertare l'identità dell'autore dei testi e delle immagini, e di conseguenza valutarne l'integrità scientifica. Questa parziale "inaffidabilità" della rete si è percepita anche nel corso della nostra analisi, in cui, nella maggior parte dei casi analizzati non sono fornite documentazioni sufficienti riguardo le motivazioni dei lavori e le metodologie di acquisizione digitale e di produzione delle applicazioni. Ad esempio, nelle collezioni di reperti digitalizzati fruibili dal sito "Vihap3D" non sono ottenibili chiare informazioni riguardo la provenienza delle opere originali e i principi di progettazione e acquisizione dei modelli; il museo virtuale "HCMS Sackville" non è fornito di informazioni sufficienti per una contestualizzazione o per comprendere come i modelli siano stati acquisiti. Di conseguenza ci sembra

opportuno e doveroso formulare una serie di regole relative alla pubblicazione delle informazioni in contesti di Web3D dedicato ai beni culturali, atte a sostenere da un lato il raggiungimento di un determinato obiettivo conoscitivo da parte dell'utente e una conseguente soddisfazione generale e utilità nella fruizione culturale.

Alcuni studi sono già stati condotti al fine di stabilire dei principi d'uso generale dei metodi di visualizzazione digitale nella ricerca e nella comunicazione relativa ai beni culturali. Tra questi è di particolare importanza la pubblicazione della *Carta di Londra*¹⁷, un documento redatto da un'équipe internazionale guidata dal King's Visualisation Lab del *Centre for Computing in the Humanities* (CCH) del King's College di Londra¹⁸, recentemente implementata anche per gli ambienti virtuali multiutente (MUVE) come Second Life da un team italo-britannico formato dal KVL e da alcuni docenti del corso di laurea di Informatica Umanistica dell'Università di Pisa¹⁹. L'attuale versione della Carta di Londra (2.1, febbraio 2009, London Charter, d'ora in poi LC) definisce una serie di principi finalizzati a garantire il rigore tecnico e intellettuale della visualizzazione digitale del patrimonio culturale. In sostanza i principi della Carta obbligano moralmente il modellatore non solo a riportare fedelmente, in scala, nel modello digitale misure, aspetto esteriore e caratteristiche dell'edificio storico reale, ma anche a essere trasparente in tutte le operazioni della modellazione, ossia a chiarire le fonti da cui derivano le informazioni, le motivazioni sulla scelta delle tecniche usate, le ragioni di eventuali esclusioni o semplificazioni, la fondatezza scientifica di eventuali ipotesi ricostruttive o di restauro. La LC insiste sull'affidabilità

¹⁷ <http://www.londoncharter.org> [giugno 2010].

¹⁸ H. Denard, *Visualisation and Performance Documentation Editorial*, «Didaskalia», 6-2, 2005, on line all'indirizzo <http://www.didaskalia.net/issues/vol6no2/editorial.htm>; R. Beacham, H. Denard e F. Niccolucci, *An Introduction to the London Charter*, in *The e-evolution of Information Communication and Technology in Cultural Heritage*, a cura di M. Ioannides et alii, Refereed Proceedings of VAST Conference, Cyprus, November 2006. (Archaeolingua, 2006), 263-269. p. 263, anche online all'indirizzo <http://www.londoncharter.org/introduction.html>. Attualmente la *Carta* è disponibile in Inglese, Italiano, Spagnolo, Tedesco e Giapponese.

¹⁹ Programma di collaborazione italo-britannico per giovani ricercatori 2008-2009 su iniziativa congiunta del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, in collaborazione con la Conferenza dei Rettori delle Università Italiane, e il British Council <http://iu.di.unipi.it/sl/london/> [giugno 2010].

intellettuale dei prodotti e sulla trasparenza nella comunicazione scientifica ad essi relativa, in modo da permettere alle persone o gruppi di ricerca interessati di valutare la scelta consapevole di un determinato metodo di visualizzazione.

La LC si articola in sei principi fondamentali, ciascuno poi articolato in sottosezioni:

Principio 1: Implementazione

I principi della Carta di Londra sono validi ogniqualvolta è applicata la visualizzazione digitale alla ricerca e alla disseminazione relative ai beni culturali.

Principio 2: Scopi e metodi

Un metodo di visualizzazione digitale dovrebbe normalmente essere usato solo quando è il metodo disponibile più appropriato per quello scopo.

Principio 3: Fonti della ricerca

Per assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e dei risultati della visualizzazione digitale, le fonti rilevanti devono essere identificate e valutate in maniera documentata e strutturata.

Principio 4: Documentazione

Sufficienti informazioni dovrebbero essere fornite per permettere ai metodi e ai risultati della visualizzazione digitale di essere compresi e valutati in maniera appropriata rispetto ai contesti e agli scopi nei quali e per i quali sono divulgati.

Principio 5: Sostenibilità

Dovrebbero essere pianificate e implementate strategie per assicurare la sostenibilità a lungo termine della documentazione e dei risultati di visualizzazione digitale riguardante i beni culturali per prevenire perdite di questa parte crescente del patrimonio culturale, economico, sociale, intellettuale dell'umanità.

Principio 6: Accessibilità

Nella creazione e divulgazione delle visualizzazioni digitali si dovrebbero tenere in considerazione i modi in cui i risultati del lavoro possono contribuire allo studio, alla conoscenza, all'interpretazione e alla gestione del patrimonio culturale.

In questa sede, al fine di verificare l'applicazione dei principi della LC un gruppo eterogeneo di dodici utenti è stato sottoposto a un'intervista dettagliata per un totale di cinquanta riscontri su quindici applicazioni diverse (*dati da aggiornare ai prossimi riscontri*). I dati di queste interviste saranno utilizzati anzitutto come punto di riferimento per l'analisi preventiva sulla qualità, l'integrità e le metodologie di presentazione dei contenuti mediati in ambito di applicazioni Web3D per i beni culturali e, successivamente, per l'individuazione dei metodi più vantaggiosi e accademicamente sostenibili di visualizzazione, permettendo la stesura di linee guida ancora più specifiche a eventuale implementazione della LC, per una più funzionale documentazione e selezione dei contenuti, coerente con gli obiettivi della comunicazione.

2.1. Valutazione dei metodi in relazione agli scopi effettivi

Il secondo principio della LC suggerisce che la scelta di un metodo di visualizzazione digitale sia direttamente legato agli scopi che si intendono raggiungere, ovvero dal contenuto e dal tipo di informazione che è inteso veicolare per mezzo dello strumento digitale. La valutazione dell'efficacia comunicativa di un metodo di mediazione culturale parte anzitutto dall'individuazione degli obiettivi e i destinatari principali della visualizzazione, in relazione al raggiungimento dell'obiettivo che ci si propone e all'adeguatezza della rappresentazione rispetto alle presunte competenze/conoscenze del target.

In particolare, esaminando l'affermazione: “un metodo di visualizzazione digitale dovrebbe normalmente essere usato solo quando è il metodo disponibile più appropriato per quello scopo”, si profila in primo luogo uno scenario dove non sempre la “scelta digitale” si configura come la più idonea e soprattutto dove la

tecnologia non ha ancora raggiunto livelli tali nel rapporto efficacia/fruibilità da poter sostituire i tradizionali strumenti di accesso al sapere al fine di garantire la corretta e completa trasmissione del messaggio al destinatario. Questo è vero in particolar modo in riferimento a tecnologie ancora in fase di sperimentazione e perfezionamento come la Virtual Reality e in particolare il Web3D per la mediazione dei beni culturali. Per questo, in relazione alle applicazioni Web3D, si aggiunge un ulteriore livello di complessità nella progettazione e nella valutazione dell'efficacia comunicativa dello strumento impiegato, in quanto oltre ai problemi che possono insorgere dalla digitalizzazione bidimensionale di un'opera, un reperto o un'architettura, si aggiungono le difficoltà nel cercare di ricostruire il modello in versione tridimensionale, trasmetterlo su web e rappresentarlo tramite l'interfaccia desktop.

Difatti, come già emerso dall'indagine precedentemente compiuta in questa sede, rappresentare contenuti culturali tramite applicazioni Web3D comporta maggiori implicazioni nella scelta del metodo di rappresentazione e nella progettazione delle applicazioni rispetto al semplice posizionamento di contenuti multimediali bidimensionali come il testo, le immagini e gli iperlink. La terza dimensione è da utilizzare solo se realmente necessario, in quanto vanno considerati non solo i problemi progettuali e implementativi per la più grande complessità tecnica, ma anche le abilità dell'utente, che potrebbe subire un rallentamento nell'apprendimento dovendo impiegare risorse nell'addestramento, risorse tecnologiche non sempre disponibili sufficienti o compatibili con il sistema implementativo dell'applicazione.

Dalla lettura del secondo principio della LC sono emersi quindi i seguenti quesiti, considerati come punti di riferimento per la valutazione dei metodi utilizzati in relazione agli scopi effettivi delle applicazioni analizzate:

- Questo metodo di visualizzazione è il più appropriato per i fini che si intendevano ottenere?
- È stato necessario utilizzare un metodo di visualizzazione digitale o poteva essere preferibile ricorrere a metodi più tradizionali?

- Nel caso la visualizzazione digitale abbia apportato un incremento della qualità e dell'utilità della rappresentazione, poteva essere preferibile visualizzare le informazioni in 2D?
- La visualizzazione 3D ha reso più difficoltosa la fruizione? I vantaggi sono stati inferiori rispetto ai vantaggi? Quali sono gli svantaggi? (soprattutto in relazione all'interazione in concomitanza con l'accesso remoto).
- Se la visualizzazione in 3D ha apportato un'effettiva integrazione delle informazioni e ha reso la fruizione più semplice o piacevole, quali sono i vantaggi riscontrati?

È chiaro che la visualizzazione di un'opera digitalizzata non potrà mai sostituire la carica espressiva ed emozionale di una visita dal vivo, così come lo studio approfondito di un reperto digitalizzato non potrà sostituire l'analisi del manufatto originale. Ma la riproduzione digitale può fornire un metodo preventivo e di supporto alla ricerca, invogliare l'utente a visitare un museo reale o costituire l'unico metodo di accesso alle informazioni, ma anche fornire una base per un lavoro collettivo a distanza, un metodo di catalogazione e preservazione della fonte originale, o fornire informazioni di completamento alla ricerca. Indubbia è l'utilità del metodo digitale per la costruzione di casi ipotetici in riferimento alla ricostruzione di opere o architetture non più esistenti o danneggiate nel tempo, così come in casi di restauro virtuale.

Sicuramente un altro fattore molto importante per determinare l'effettiva utilità della metodologia di rappresentazione risiede nelle caratteristiche fisiche del modello originale, che principalmente si possono suddividere in bidimensionali o tridimensionali. È appurato che la rappresentazione tridimensionale di una statua, una città o un'architettura ha i suoi vantaggi per la possibilità che offre di visualizzare il modello da angolazioni pressoché infinite. Diversamente avviene per la rappresentazione di elementi bidimensionali, come testo o tele, fotografie, affreschi, mosaici, etc., che può costituire più o meno un vantaggio in base all'obiettivo della comunicazione.

Ad esempio l'implementazione di alcuni ambienti tridimensionali per la

rappresentazione di opere bidimensionali a fine puramente espositivo come nella mostra fotografica di “Organismuseum”²⁰, giudicato dagli utenti un sistema tridimensionale non utile al fine di aggiungere informazioni può rivelarsi completamente inutile e addirittura costituire un forte ostacolo e rallentamento nella fruizione, in quanto l’utente si trova costretto a scaricare e installare un plugin, attendere il caricamento dell’applicazione e impiegare un certo quantitativo di tempo per imparare a utilizzare gli strumenti di interazione e navigare nell’ambiente. La soluzione migliore sarebbe stata creare un semplice sito web in HTML collegato al database delle immagini bidimensionali delle opere, garantendo però all’utente la possibilità di ingrandire le immagini su diversi livelli di risoluzione, come il metodo adottato per l’ispezione del ciclo di affreschi “Le Storie della Vera Croce”²¹ di Piero della Francesca e quelli della Cappella Sistina nel museo virtuale dei “Musei Vaticani”²².

Un risultato diverso è riscontrabile nella fruizione di *Information Landscapes*, ovvero ambienti in cui testi e immagini sono organizzati all’interno di uno spazio tridimensionale per creare connessioni logiche e immediatamente riconoscibili tra i vari elementi informativi. In questo caso gli obiettivi sono completamente diversi e la rappresentazione tridimensionale può effettivamente velocizzare la comprensione del messaggio. Un esempio sottoposto all’osservazione degli utenti è stato la vita di Galileo Galilei in 3D²³, il quale è stato ritenuto un metodo molto intuitivo per la rappresentazione delle informazioni e per l’identificazione delle relazioni tra i vari elementi. La presenza di informazioni complete ha aumentato la soddisfazione dell’utente: «ambiente molto efficiente e ben realizzato. Accesso alle opere veloce ed info esaurienti.»

²⁰ http://www.organismedia.com/virtualmuseum/gallery/3d_gallery.php?lang=1&exhibit=6

²¹ <http://projects.ias.edu/pierotruecross/piero.htm>. Il progetto in XVR della “Storia della Vera Croce” riguarda la ricostruzione 3D della Cappella Maggiore della Basilica di San Francesco in Arezzo, affrescata dall’artista rinascimentale Piero della Francesca. L’implementazione mira alla disseminazione della conoscenza, la documentazione e il supporto all’insegnamento.

²² http://mv.vatican.va/2_IT/pages/MV_Visite.html

²³ <http://brunelleschi.imss.fi.it/pencil/eng/index.html>

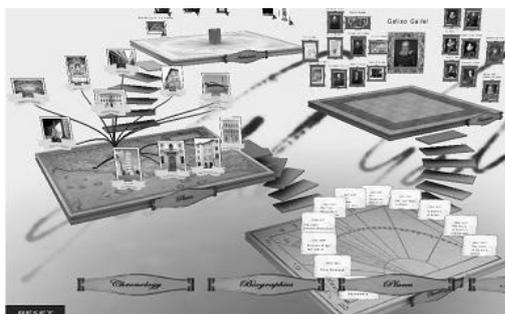


Figura 8. Un Information Landscape per presentare la vita di Galileo Galilei

Possono quindi essere riassunti i principi da seguire per la scelta del metodo sulla base non solo degli scopi effettivi dell'applicazione, ma anche sulla tipologia del modello che è inteso rappresentare e gli interessi e le abilità del target della comunicazione. In linea generale è auspicabile che gli sviluppatori di applicazioni Web3D per la mediazione culturale:

- implementino un ambiente virtuale solamente quando strettamente necessario per la completa riproduzione dell'opera, architettura o manufatto;
- per la rappresentazione di opere bidimensionali, preferiscano soluzioni più semplici.

Dall'intervista agli utenti è emerso come i principali vantaggi riscontrati nella visualizzazione di contenuto culturale tramite Web3D rispetto ai metodi tradizionali, ovvero alla fruizione bidimensionale, riguardino anzitutto una maggiore valenza espressiva, una rappresentazione più intuitiva delle informazioni e relazioni più immediate tra gli elementi.

In particolare, soprattutto tra gli utenti che non hanno completato la navigazione, le applicazioni di cui è stato riscontrato un minore apporto di informazioni e un accesso più lento alle informazioni sono state quelle per la rappresentazione di opere bidimensionali come il Museo Virtuale di Architettura e come il museo fotografico di Organismedia, di cui è stata riscontrata più volte anche una minore valenza espressiva.

<i>Quali vantaggi pensi abbia apportato questo metodo di visualizzazione rispetto a quelli tradizionali?</i>		<i>Quali sono stati gli svantaggi?</i>	
Maggiore valenza espressiva	58%	Minore valenza espressiva	10%
Rappresentazione più intuitiva delle informazioni	51%	Rappresentazione meno intuitiva delle informazioni	10%
Relazioni più immediate tra gli elementi	44%	Relazioni meno immediate tra gli elementi	5%
Accesso più veloce alle informazioni	37%	Accesso più lento alle informazioni	34%
Maggiore apporto di informazioni	29%	Minore apporto di informazioni	24%
Personalizzazione della ricerca	7%	Confusione nell'identificazione degli elementi	7%

Tabella 1. Risultati dell'intervista sui vantaggi del Web3D per i BBCC

<i>Pensi che la visualizzazione in 3D abbia reso più difficoltosa la visualizzazione delle informazioni?</i>	
No	58,5%
Solo in parte	29%
Si	12%

Tabella 2. Risultati intervista

Nonostante i numerosi problemi riscontrati dagli utenti in fase di testing delle applicazioni, la maggioranza assoluta dei soggetti intervistati non ha comunque trovato più difficoltosa la visualizzazione di informazioni in ambienti

tridimensionali rispetto alla fruizione bidimensionale. Inoltre non avrebbe preferito all'ambiente virtuale interattivo informazioni testuali o immagini bidimensionali statiche.

<i>Avresti preferito usufruire di informazioni testuali e immagini in due dimensioni statiche anziché in 3D?</i>	
Si	24%
No	76%

Tabella 3. Risultati intervista

2.2. Fonti della ricerca

La validità e l'integrità intellettuale del metodo di acquisizione dei modelli e la riproduzione dell'ambiente virtuale, specialmente in riferimento ad architetture, manufatti od opere antiche, e nella ricostruzione di siti archeologici o di opere parzialmente o interamente distrutte, dipendono dal livello di attenzione prestato nella selezione e nella valutazione delle risorse storiche, ovvero delle fonti che, secondo il terzo principio descritto dalla LC, devono essere "identificate e valutate in maniera documentata e strutturata". Le decisioni devono essere supportate dalla valutazione di varie linee di evidenza, possibile solamente tramite un'attenta comparazione delle fonti e un'obbligata contestualizzazione delle descrizioni rinvenute, non limitandosi al puro dato storico o archeologico, ma tenendo conto delle influenze indotte da fattori politici, economici, ideologici, religiosi o altri ancora.

Sempre secondo l'asserzione riportata dalla LC, le fonti della ricerca sono definite come "tutte le informazioni, digitali e non digitali, prese in considerazione durante la creazione dei risultati della visualizzazione digitale o che vi influiscono direttamente". Perciò nel contesto specifico della VR e del Web3D per i beni culturali, oltre alle fonti della ricerca storiche tradizionali, come la documentazione iconografica, fotografica attuale e del passato, testi, documenti,

certificati o trattati eseguiti successivamente a interpretazione delle fonti originali e i reperti, opere o architetture originali, vanno considerate tutte le informazioni provenienti dalla diretta digitalizzazione dell'oggetto, sia fotografica che basata sulla scannerizzazione tridimensionale.

Nel caso lo scopo dell'applicazione consista semplicemente nel voler visualizzare un'opera al suo stato presente, la rappresentazione è limitata alla trasmissione del documento digitale acquisito dal modello attuale. Nel caso in cui lo scopo dell'applicazione sia quello di rappresentare una ricostruzione ipotetica dello stato passato dell'opera in questione, le informazioni dell'acquisizione proverranno obbligatoriamente dall'interpretazione delle fonti storiche oltre che dallo studio sul reperto originale (nel caso questo sia rintracciabile). Ogni metodologia di confronto tra e con le fonti, e ogni elaborazione di ipotesi non potrà mai condurre alla ricostruzione di una condizione del passato oggettiva, ma produrrà diverse rappresentazioni dell'oggetto d'indagine (Corrao, 2005). Uno dei maggiori vantaggi nell'utilizzo della tecnologia per la visualizzazione di contenuti culturali risiede proprio nella flessibilità degli strumenti hardware e software, che permettono di proporre più versioni di uno stesso ambiente, ricavate dalle molteplici risposte emerse dal confronto tra le evidenze dell'investigazione archeologica e le diverse fonti storiche o tradizionali. Le molteplici interpretazioni possono essere così proposte parallelamente per un confronto e una rielaborazione per successive rappresentazioni o semplicemente per sottolineare maggiormente la differenza tra lo stato ipotetico e quello di evidenza.

Oltre alla selezione, valutazione e interpretazione delle risorse, al momento della pubblicazione di ogni forma di mediazione culturale è importante comunicare la provenienza delle fonti in relazione alle informazioni prodotte e fornire, ove possibile, la relativa bibliografia o sitografia di riferimento. Questo sia per consentire all'utente di riformulare le sue ipotesi sulla base delle informazioni fornite a priori, sia per attestare l'integrità della risorsa pubblicata, permettere di individuare l'innovazione della ricerca e fornire all'utente delle solide basi di comparazione, soprattutto nel caso di ricostruzioni o acquisizioni digitali.

Nell'osservazione delle applicazioni Web3D per la mediazione culturale selezionate si è tenuto conto delle seguenti considerazioni:

- le informazioni veicolate dall'applicazione possono essere considerate attendibili?
- Le fonti delle informazioni sono indicate esplicitamente o possono comunque essere facilmente rintracciabili?
- Nel caso in cui le fonti siano indicate, sarebbe stato preferibile integrare l'applicazione con un metodo di accesso diretto alle fonti o una rappresentazione diretta delle fonti all'interno dello stesso contesto virtuale?

Pochissime applicazioni osservate (circa il diciassette per cento) hanno riportato questo tipo di informazioni e dall'intervista agli utenti è emerso come la netta maggioranza dei soggetti avrebbe apprezzato un metodo di accesso diretto alle fonti integrato all'interno dello stesso contesto virtuale. L'inserimento di hiperlink con collegamento diretto alla sitografia o una bibliografia a corredo delle informazioni avrebbe permesso una più completa fruizione e contestualizzazione, velocizzando notevolmente la ricerca e il confronto analitico delle informazioni e dei reperti digitalizzati.

Sarebbe stato preferibile integrare l'applicazione con un metodo di accesso diretto delle fonti all'interno dello stesso contesto virtuale?

Si	79,4%
No	20,6%

Tabella 4. Risultati intervista

Generalmente, in applicazioni Web3D, e in senso più ampio, in applicazioni improntate sull'interazione e sulla rappresentazione digitale, le fonti delle informazioni, e la bibliografia sono difficilmente indicate. Non sempre sono

fornite le informazioni descrittive dell'opera, che raramente risultano sufficientemente dettagliate per apportare maggiore conoscenza. In alcuni casi la scarsità di dati è dovuta alla finalità della visualizzazione, progettata esclusivamente per l'indagine visuale del modello digitale. Nel sito del "Vihap3D"²⁴ per ogni scultura, architettura o ceramica collezionata è mostrata una scheda indicante le informazioni primarie sul modello originale e i dettagli riguardo l'acquisizione del modello (in questo caso scannerizzato) che danno un'indicazione primaria della fonte di digitalizzazione, ma non forniscono alcun tipo di informazione approfondita.

Name	Announcing Angel #1
Author	Tino da Camaino
Materials	Marble
Date	XIV century
Location	Opera Primaziale Pisana Museum
Scanned by	ISTI - CNR
# Range Maps	272
Sampling Step	0.5 mm
Scanning Time	8h
Fusion Grid Size	0.3 mm
Final model size	25 M faces

Figura 9. Scheda informativa di un'opera scannerizzata

In altri casi la scarsità di dati è dovuta all'inadeguatezza dell'informazione rispetto a obiettivi di comunicazione allargata e promozione culturale. In linea generale, le impressioni finali di un numero considerevole di utenti hanno rilevato tra i problemi principali una mancanza di informazioni descrittive delle opere, didascalie povere e in alcuni casi mancanza di utilità dell'applicazione senza tali dati. Queste sono alcune delle impressioni degli utenti riportate letteralmente: «questa applicazione non è molto interessante perché ha poco contenuto, dà pochissime informazioni sulle opere d'arte»; «mi sembra che le informazioni testuali siano insufficienti e se ci sono distanti dai modelli 3d. Insomma non si legano tra loro agevolmente»; «potevano essere più generosi con le informazioni: le didascalie erano ridicole», in riferimento alle finestre descrittive del museo di

²⁴ <http://www.vihap3d.org/3dgallery/sculptures/angelo1.html>

Leonardo da Vinci²⁵; «non si riescono a vedere le immagini a una buona risoluzione e le informazioni sono povere»; «la mancanza di informazioni è il punto cruciale di questa applicazione».

Nonostante alcune applicazioni siano considerate valide e apprezzate dal punto di vista estetico e della rappresentazione tridimensionale, la mancanza di informazioni sufficientemente esaurienti porta l'utente a considerare addirittura inutile l'implementazione: «software veloce ed efficace ma forse troppo essenziale»; «bello il museo ma ci sono pochi totem»; «non male la realizzazione in 3d ma [...] la descrizione è troppo striminzita»; «rappresentazione degli interni fatta molto bene ma non interagibile. Mancano le descrizioni dei reperti»; «mancano i titoli delle opere e le descrizioni. Così come è ora è piuttosto inutile». Il sito web del “Virtual Hampson Museum”²⁶ è un esempio significativo di consistente documentazione sul reperimento delle fonti nella ricostruzione di ambientazioni del passato ipotetiche. La rappresentazione dei modelli tridimensionali acquisiti attraverso la scannerizzazione dei reperti rinvenuti nell'antico villaggio di Nodena, negli USA, è preceduta da un'ampia contestualizzazione introduttiva con indicazione della provenienza e della datazione della documentazione storica e iconografica. Il testo descrive come sono stati determinati i dettagli di visualizzazione per l'implementazione del villaggio virtuale (non pubblicato su web) e indicato quale contesto territoriale è stato preso in considerazione per la ricostruzione. Sono descritte le motivazioni delle scelte implementative in relazione ai rinvenimenti locali, le dimensioni, le forme e i materiali delle costruzioni originali. Un altro fattore apprezzabile nella descrizione è l'indicazione bibliografica e la sitografia con relativi hiperlink per dei collegamenti diretti alla fonte.

2.3. Documentazione

Oltre a chiarire la provenienza dei dati sui quali è basata la comunicazione,

²⁵ <http://www.esimplestudios.com/it/item/museo-di-leonardo-da-vinci>

²⁶ <http://hampsonmuseum.cast.uark.edu/browse.htm>

attraverso la pubblicazione delle fonti dell'informazione nelle modalità già analizzate, è importante agevolare l'utente nella comprensione e nella valutazione la metodologia di implementazione, informandolo sugli scopi e metodi della rappresentazione e fornendo un'introduzione esaustiva per chiarire il contesto della visualizzazione. Documentare significa anzitutto fornire le informazioni indispensabili a chiarire le finalità del sistema di comunicazione e la natura dell'oggetto della rappresentazione. Il quarto principio della London Charter asserisce che "sufficienti informazioni dovrebbero essere fornite per permettere ai metodi e ai risultati della visualizzazione digitale di essere compresi e valutati in maniera appropriata rispetto ai contesti e agli scopi nei quali e per i quali sono divulgati." Una completa documentazione può chiarire quindi il messaggio e agevolare l'utente nell'immediata comprensione del contenuto mediato, non obbligandolo a basarsi esclusivamente sulle proprie congetture o interpretazioni e guidandolo nel distinguere tra la rappresentazione di una ricostruzione ipotetica e la riproduzione di una condizione realmente esistente. Un esempio di questo tipo è riscontrabile nella descrizione riportata nel sito del "Virtual Hampson Museum", che può essere considerato uno strumento di mediazione culturale completo e attendibile data la chiara distinzione tra modelli ottenuti tramite l'interpretazione dell'evidenza archeologica e le informazioni di visualizzazione ottenute tramite ipotesi, come la descrizione delle scelte d'inserimento della vegetazione nella riproduzione virtuale del villaggio di Nodena.

Nella valutazione dei metodi di documentazione adottati dalle applicazioni online osservate è stato tenuto conto delle seguenti considerazioni:

- Il numero e la qualità delle informazioni rappresentate è sufficiente per permettere all'utente di comprendere lo scopo per cui sono state divulgate?
- Le informazioni presentate sono coerenti con lo scopo per cui sono divulgate?
- La modalità di presentazione delle informazioni è chiara e coerente con gli scopi della rappresentazione e/o il task dell'utente?
- Sarebbe preferibile personalizzazione informazioni a seconda del task e

della tipologia di utente?

- Fino a che livello di complessità è possibile effettuare questa personalizzazione?
- È ben chiara la natura della rappresentazione in riferimento alla sua condizione ipotetica o come studio di una situazione realmente esistente?
- È minimamente disponibile una sorta di documentazione relativa alla progettazione e al procedimento di sviluppo tecnico dell'applicazione in relazione all'interfaccia e all'ambiente virtuale?
- È minimamente disponibile una sorta di documentazione relativa ai procedimenti valutativi, deduttivi, interpretativi o creativi dell'applicazione?
- È chiara la distinzione tra le fonti della ricerca, la conoscenza implicita, i ragionamenti espliciti e i risultati basati sulla visualizzazione?
- Sono documentate le logiche e le motivazioni della scelta del metodo di visualizzazione rispetto ad altri?
- L'esplicazione dei metodi di visualizzazione è ben chiara e accessibile da una vasta comunità di soggetti? Il linguaggio impiegato è comprensibile da chiunque?
- Quali media sono stati utilizzati per la divulgazione della documentazione?
- La documentazione è divulgata secondo gli standard e rispettando le pratiche più consolidate dalle singole comunità di soggetti a cui intende rivolgersi?

Dai riscontri degli utenti in fase di intervista è emerso come molti non abbiano trovato sufficienti informazioni utili per comprendere gli scopi dell'applicazione. Nella Tabella 5 è mostrato che meno della metà degli utenti ha ritenuto pienamente comprensibile lo scopo delle applicazioni osservate. Difatti in circa il ventiquattro per cento dei riscontri non è stato chiaro cosa l'applicazione ha voluto rappresentare e perchè: in più di un'occasione è stato indicato il "Museo Virtuale di Leonardo da Vinci" come un'applicazione atta a presentare le opere al loro stato attuale anziché al loro stato ipotetico; altre applicazioni come

Organismedia, il MUVA e il Museo di storia naturale, sono state considerate di supporto alla ricerca quando il loro scopo principale è di intrattenere, promuovere o rappresentare opere al loro stato attuale.

<i>La quantità e la tipologia di informazioni rappresentate sono sufficienti a comprendere gli scopi dell'applicazione?</i>	
No	9,8%
Solo in parte	43,9%
Si	46,3%

Tabella 5. Risultati intervista

Tutte le applicazioni sono state considerate di intrattenimento anche se scopo principale di alcune, come in Cyark e Vihap3D, non riguardava questo tipo di comunicazione, ma la conservazione e il supporto alla ricerca. Il motivo può essere ricondotto al fatto che la maggioranza degli utenti ha sperimentato per la prima volta questo tipo di mediazione proprio in occasione dell'intervista e, come già affrontato in precedenza, il primo approccio alla Realtà Virtuale e al Web3D suscita nella maggioranza dei casi reazioni di curiosità ludica, inducendo l'utente a sperimentare in primo luogo l'interazione tralasciando la visualizzazione di eventuali elementi informativi e descrittivi.

Nella maggior parte dei contesti Web3D per i beni culturali osservati è stata riscontrata una quasi totale assenza di documentazione che permettesse di comprendere almeno gli obiettivi delle digitalizzazioni e delle stesse divulgazioni. Solamente in siti di appartenenza istituzionale, scientifica o accademica sono state riscontrate descrizioni riguardo almeno gli obiettivi delle divulgazioni, la progettazione e le metodologie di acquisizione digitale. Ad esempio, nel sito dell'Opera Primariale Pisana è resa disponibile la documentazione del progetto intrapreso per la rappresentazione virtuale di Piazza dei Miracoli, con indicazione del target, degli obiettivi e dei motivi che hanno portato ad intraprendere tale

realizzazione. Il sito del “Virtual Museum of Iraq” non può essere considerato appieno uno strumento di rappresentazione tridimensionale dei beni culturali in quanto ha sfruttato le tecnologie Flash e QuickTimeVR per simulare la visualizzazione tridimensionale degli ambienti e si è avvalso della riproduzione video per rappresentare lo scenario virtuale della ricostruzione dell’antica città di Babilonia. Nonostante ciò può essere preso come un esempio significativo di documentazione completa e dettagliata che ha permesso di contestualizzare geograficamente, storicamente e culturalmente lo scenario complessivo. Una serie di video sono a testimonianza delle attività e dei metodi di ricerca e di implementazione intrapresi per la realizzazione delle sale e della ricostruzione della città.

Affinché tali documentazioni siano comprensibili e chiare almeno per la comunità di soggetti cui tendono rivolgersi, è opportuno redigere tali informazioni secondo schemi, strutture e linguaggi riconosciuti e riconoscibili. Anzitutto si prefigge molto utile la pubblicazione di testi in più versioni linguistiche, tra cui indubbiamente l’inglese. In secondo luogo le informazioni vanno selezionate e rappresentate secondo modelli distinti sulla base del target della comunicazione, separando ad esempio dati tecnici di progettazione, acquisizione e implementazione da informazioni descrittive e contestualizzanti.

La completa pubblicazione di tutte le informazioni necessarie a contestualizzare e informare l’utente riguardo gli scopi dell’applicazione Web3D, la provenienza e la metodologia di gestione dei dati, richiede necessariamente uno spazio superiore non del tutto integrabile all’interno dell’ambiente virtuale e quindi documentabile nella pagina HTML. La documentazione riguardo le scelte progettuali, la selezione dei contenuti e l’implementazione sono in genere divulgate attraverso pagine HTML introduttive o descrittive con testi, immagini e iperlink diretti alla provenienza delle fonti, oppure attraverso modelli grafici, riproduzioni audio o video. Quest’ultimo metodo è tra i più apprezzabili in quanto fornisce un mezzo di comunicazione diretta ed efficace riportante un quadro reale delle attività svolte in fase di realizzazione dell’ambiente. Un esempio di testimonianza video delle

attività di acquisizione dei reperti è riportato nella produzione dello “F-MU-S.EU.M”²⁷, dove sono documentate le varie fasi di ritrovamento dei reperti fino al rilevamento fotografico tridimensionale. Una sperimentazione volta alla comprensione dei più opportuni metodi di posizionamento dei vari elementi informativi tra la pagina HTML e l’interfaccia tridimensionale è stata descritta nel quinto capitolo.

2.4. Sostenibilità

La digitalizzazione delle opere e architetture ha tra i principali obiettivi la promozione, la valorizzazione culturale, la preservazione dei beni originali e la conservazione della loro memoria nel tempo. A seconda dello scopo quindi l’acquisizione del modello avviene con metodi, tecnologie e livelli di dettaglio diversi.

Il principio di “Sostenibilità” descritto nella LC prevede che la documentazione del patrimonio culturale ottenuta tramite la digitalizzazione delle opere e dei reperti originali sia generata o acquisita tramite metodologie tecniche e progettuali utili a garantire la conservazione a lungo termine delle informazioni, possibilmente utilizzando metodologie di memorizzazione e catalogazione qualitativamente rinnovabili nel tempo e gestibili anche per mezzo di strumenti diversi tra loro e mutevoli.

È prevedibile che i modelli 3D ottenuti attraverso le tecnologie più sofisticate e i metodi più collaudati risultino essere i più qualitativamente duraturi e valevoli nel corso del tempo, ma non tutte le applicazioni sono progettate per una rappresentazione al massimo grado di dettaglio e, per garantire l’accesso alle applicazioni Web3D, è necessario tener conto della risoluzione massima del modello che la larghezza di banda media degli utenti può supportare. In genere le applicazioni implementate puramente a scopo promozionale, turistico o educativo come i musei virtuali, utilizzano modelli acquisiti mediante sintesi a partire da

²⁷ <http://www.europeanvirtualmuseum.net/index.asp>

documentazione fotografica del soggetto. Questo tipo di acquisizione non ha la pretesa di riprodurre l'oggetto a un alto livello di dettaglio, né lo rende possibile, ma deve essere adatta a una fruizione fluida, che renda piacevole la mediazione del messaggio al visitatore. È quindi prevedibile che questo genere di informazione nella maggior parte delle applicazioni di questo tipo non possa essere considerata utile ai fini della conservazione sostenibile nel lungo periodo, ma anzi, potrebbe essere modificata per venire adattata ai cambiamenti sempre più veloci e frequenti per seguire le esigenze dei consumatori, che in questi ultimi anni si sono evolute a vista d'occhio.

Viceversa, altri ambienti sono creati appositamente per la riproduzione digitale e la conservazione di opere in database teoricamente indistruttibili, che tramite applicazioni Web3D possono essere condivisi da studiosi e ricercatori da tutto il mondo. L'acquisizione in questo caso avviene tramite campionamento direttamente dal modello originale, generalmente utilizzando tecnologie sofisticate di laser-scanning che generano output di milioni di poligoni. I metodi di acquisizione e conservazione, affiancati da una documentazione fotografica professionale e ad alta risoluzione, permettono genericamente il riutilizzo dei modelli in implementazioni con tecnologie anche molto diverse tra loro, sino alla riproduzione delle acquisizioni anche su cartaceo, pellicola, stampa fotografica e per fini educativi.

Dalla lettura del principio di "Sostenibilità" descritto nella LC sono quindi emersi i seguenti quesiti, tenuti come punto di riferimento per l'analisi del campione di applicazioni Web3D per la conservazione di contenuti culturali e la formulazione delle riflessioni successive:

- L'applicazione può essere considerata utile ai fini della conservazione sostenibile nel lungo periodo delle informazioni?
- È prevista la possibilità di una facile e possibile migrazione di visualizzazione o memorizzazione delle informazioni tra diversi supporti digitali?
- L'applicazione può essere modificata nel tempo per garantirne

l'adattabilità alle future evoluzioni tecnologiche?

- I dati possono essere archiviati in database affidabili e duraturi o trasferiti da supporto digitale tridimensionale a quello bidimensionale o cartaceo?
- L'archiviazione digitale dei dati è il metodo migliore o è da preferirsi la documentazione analogica?

Della maggior parte delle applicazioni osservate non è possibile stabilire con certezza quale metodo sia stato utilizzato per acquisire i dati e neanche la metodologia di archiviazione utilizzata per memorizzare le informazioni. Solo in una piccola percentuale di siti web, specialmente di provenienza istituzionale, accademica o con finalità di conservazione e catalogazione dei reperti, è riportata la documentazione fotografica delle procedure di acquisizione delle forme e delle superfici degli oggetti originali, oppure è descritta la progettazione e le metodologie di implementazione del lavoro. Il caso del “Virtual Hampson Museum” è un esempio significativo di documentazione delle procedure per la registrazione della forma tridimensionale del reperto, effettuata tramite *laser scanning*, e il processo di rilevamento fotografico per l'acquisizione ad alta qualità dei colori RGB. Inoltre è possibile scaricare dal sito la mesh dell'oggetto prescelto in diversi formati di file (VRML, OBJ e 3D PDF) a due differenti gradi di risoluzione. Anche nel sito del progetto dell' “European Virtual Museum”, è presentata la documentazione videografica del processo di acquisizione fotografica tridimensionale dei reperti. Nel “Virtual Museum of Iraq” una serie di video testimoniano il metodo di ideazione e realizzazione dell'intero progetto a partire dalla ricerca iconografica sui reperti sino alle scelte tecnologiche e funzionali. In Cyark sono descritte le varie fasi di selezione, collezione, creazione e pubblicazione delle riproduzioni digitali²⁸. Nel sito del Vihap3D, per ogni reperto scannerizzato è allegata una scheda tecnica informativa su tempi, i metodi e i risultati di acquisizione dei modelli²⁹.

²⁸ <http://archive.cyark.org/about>

²⁹ Un esempio alla pagina web <http://www.vihap3d.org/3dgallery/sculptures/angelo1.html>

2.5. Accessibilità

Secondo il principio di “Accessibilità” descritto nella LC, la visualizzazione 3D dovrebbe costituire un metodo per consentire e facilitare l’accesso a quei beni altrimenti irraggiungibili, sia per motivi spaziali e temporali sia per quei soggetti che per motivi fisici, economici o di disabilità non possono raggiungere o visualizzare correttamente l’opera o il reperto di interesse. Gli strumenti dovrebbero essere impiegati per permettere la preservazione, l’interpretazione, una ricerca o uno studio approfondito che altrimenti non sarebbe possibile con strumenti diversi o tradizionali. Purtroppo nella realtà, come già sottolineato, queste finalità spesso non sono perseguite, in quanto la tecnologia non di rado viene impiegata come mezzo fine a sé stesso, che supera l’informazione che intenderebbe veicolare, cosicché la scelta di rappresentare le informazioni in applicazioni tridimensionali o Web3D non si rivela la migliore o non viene sfruttata al meglio. Questo sia per motivi di impiego massiccio di tecnologia a fronte di scarse informazioni o informazioni non tridimensionali, sia per motivi di cattivo impiego delle risorse tecnologiche con conseguente disorientamento e frustrazione dell’utente a fronte della visualizzazione e dell’interazione.

Dalla lettura del sesto principio descritto nella LC emergono quindi i seguenti interrogativi, che sono stati considerati come punti di riferimento per l’analisi del campione di applicazioni Web3D per la mediazione culturale presenti online:

- Le metodologie di divulgazione digitale dei contenuti veicolati dall’applicazione hanno effettivamente migliorato e facilitato l’accesso all’informazione?
- L’applicazione ha effettivamente consentito o può consentire almeno a una minoranza di soggetti l’accesso alle informazioni altrimenti difficoltosa o impossibile?
- L’applicazione ha consentito l’accesso a un’informazione altrimenti irraggiungibile o mutevole nel tempo? In che modo?
- L’applicazione offre dei metodi di accesso all’informazione più

vantaggiosi e completi rispetto al digitale in due dimensioni o al cartaceo?

Questi metodi sono effettivamente utili o comportano un dispendio di risorse?

Indubbi vantaggi sono stati riscontrati nella costituzione di musei virtuali transnazionali, che hanno sfruttato le potenzialità della rete per rappresentare in un unico contesto opere conservate in luoghi anche molto distanti tra loro, progettando visite altrimenti impensabili dal vivo. Un esempio significativo è dato dal “Museo Virtuale delle Radici Europee”³⁰ (F-MU.S.EU.M), per la quale costituzione sono stati acquisiti e catalogati manufatti provenienti dall’antichità europea. La collaborazione tra i diversi enti europei ha permesso la costituzione di un museo unico e impensabile al di fuori del contesto virtuale e della rete.

I vantaggi della transnazionalità della rete non sono riscontrati solamente nella pubblicazione online di musei virtuali, ma anche nella catalogazione e memorizzazione in database a fini di conservazione e analisi ravvicinata. Non pochi siti web hanno sfruttato le potenzialità del Web3D per realizzare delle basi di ricerca e di lavoro collettivo per studiosi, tecnici e appassionati provenienti da differenti aree geografiche. Alcuni esempi sono riscontrabili nei siti di enti e organizzazioni come Cyark³¹, Vihap3D³², che forniscono l’accesso a database di forme di opere e architetture acquisite con tecnologia di scannerizzazione laser.

Un altro lato positivo riscontrato in alcune applicazioni risiede nella visualizzazione di ricostruzioni ipotetiche di antiche costruzioni in parte o completamente distrutte e nella comparazione in tempo reale di monumenti o città nelle loro fasi storiche. Un esempio, frutto della collaborazione internazionale tra le istituzioni iraniane e il CNR e il Ministero degli Affari Esteri italiani, è il “Virtual Museum of Iraq”³³, nel quale sono raccolte riproduzioni di antiche opere e manufatti provenienti dalle diverse civiltà che dalla preistoria e nei millenni

³⁰ <http://www.europeanvirtualmuseum.net/index.asp>

³¹ <http://archive.cyark.org/project-world>

³² www.vihap3d.org

³³ <http://www.virtualmuseumiraq.cnr.it/homeITA.htm>

successivi si sono succedute sul territorio iracheno. Accedendo alla sala babilonese è possibile visualizzare la riproduzione tridimensionale di un'ipotetica antica città di Babilonia. Nella riproduzione di Piazza dei Miracoli di Pisa³⁴ l'utente può scegliere di effettuare una visita guidata virtuale che racconta le varie fasi di costruzione e i cambiamenti apportati nel corso dei secoli ai monumenti del Campo Santo Monumentale. Sempre dall'osservazione del Campo Santo Monumentale emerge un altro beneficio molto importante, inerente il metodo di navigazione nell'ambiente, che permette di visualizzare le architetture da angolazioni e distanze altrimenti impossibili nella visita dal vivo.

Non sempre le interfacce Web3D costituiscono il metodo migliore o semplificato di accesso ai contenuti, ma anzi, l'approccio con le tecnologie hardware e software necessarie alla corretta visualizzazione degli ambienti tridimensionali può spesso costituire un vero ostacolo alla fruizione delle informazioni, sino a causare una forte frustrazione nell'utente e portarlo ad abbandonare prematuramente l'applicazione. Dall'intervista è emerso come meno della metà degli utenti consideri pienamente vantaggiosa la divulgazione dei contenuti culturali tramite Web3D (circa il trentasette per cento), esprimendo il numero maggiore di dubbi specialmente in riferimento ad applicazioni per la rappresentazione di opere bidimensionali, come i musei fotografici.

<i>Pensi che questa metodologia di divulgazione delle informazioni abbia effettivamente migliorato e facilitato l'accesso ai contenuti o che abbia costituito un ostacolo?</i>	
Ha migliorato l'accesso	37,5%
Ha migliorato alcuni aspetti	52,5%
Ha costituito un ostacolo	10%

Tabella 6. Risultati intervista

³⁴ <http://piazza.opapisa.it/3D/index.html>

Inversamente, nonostante una parte considerevole di utenza (circa il trentasette per cento) abbia trovato eccessivo l'impiego di risorse tecnologiche per l'implementazione di alcune applicazioni Web3D, la maggioranza degli utenti (il quarantacinque per cento) ha considerato la visualizzazione tridimensionale uno strumento utile per accedere a informazioni più complete.

<i>Pensi che la visualizzazione in tre dimensioni abbia consentito un accesso più completo alle informazioni o che abbia comportato solo un dispendio di risorse?</i>	
Accesso completo	45%
Accesso completo con dispendio di risorse	37,5%
Solo un dispendio di risorse	17,5%

Tabella 7. Risultati intervista

Difatti uno dei vantaggi e dei motivi principali che spingono gli sviluppatori a pubblicare contenuto culturale sul web e servirsi delle tecnologie Web3D per incrementare la gamma di informazioni, risiede nella possibilità di trasmettere informazioni visive altrimenti irreperibili tramite l'accesso tradizionale digitale, cartaceo o dal vivo. A conferma di questo, nella maggioranza dei riscontri gli utenti hanno affermato di aver avuto la possibilità di accedere a informazioni altrimenti per loro irreperibili grazie alla mediazione delle applicazioni Web3D testate. Gli ostacoli principali al reperimento delle informazioni riscontrati dall'utente risiedono nell'impossibilità fisica di raggiungere l'opera o l'architettura originale dovuta un'eccessiva distanza spaziale e un'insormontabile distanza temporale dovuta a motivi storici, soprattutto perchè alcune opere del passato sono ormai andate perse o distrutte.

Inversamente, in quasi la metà dei riscontri, l'applicazione è stata considerata non necessaria al fine del reperimento delle informazioni visive, soprattutto per la grande quantità di immagini e documentazioni presenti su web e su cartaceo,

considerate sufficienti e più facili da reperire. Alcuni intervistati hanno affermato di poter raggiungere fisicamente il modello originale, ma questo soprattutto in riferimento a riproduzioni digitali di opere e architetture localizzate in aree geografiche attigue alle residenze dei soggetti.

<i>Pensi che l'applicazione ti abbia permesso di accedere a informazioni visive altrimenti per te irreperibili?</i>	
Si	54%
No	46%

Tabella 8. Risultati intervista

Riassumendo, qualità delle informazioni in contesti multimediali con il supporto della rappresentazione tridimensionale significa prima di tutto qualità visiva. Questa è data anzitutto dal livello di risoluzione delle immagini bidimensionali, dal livello di dettaglio dei modelli tridimensionali e il loro grado di fedeltà rispetto all'originale. Succede in alcuni casi che applicazioni destinate alla fruizione ravvicinata e specializzata degli oggetti presentino modelli qualitativamente insufficienti ad uno studio approfondito. La qualità delle informazioni è data ovviamente anche dalla ricchezza di informazioni testuali e dai criteri adottati per la loro selezione e rappresentazione e dal livello di coerenza delle stesse in relazione agli obiettivi e al target del sito. In alcuni casi può risultare che le informazioni testuali non siano idonee ad una pubblicazione esaustiva.

Capitolo 3. Strumenti e tecnologie nel Web3D

Attualmente, i linguaggi e le tecnologie utilizzate per creare e visualizzare scenari di modellazione e interazione *Web3D* sono molteplici, diversi tra loro e non integrabili a vicenda. Di fatto non esiste ancora uno standard consolidato che permetta di includere negli attuali web-browser un'unica tecnologia multivalente per la visualizzazione di applicazioni 3D, ma ognuna delle numerose società che offrono servizi 3D per puro scopo commerciale continua a sviluppare un proprio player. In tale contesto l'utente si ritrova spesso scoraggiato e portato a rinunciare a usufruire dell'applicazione di visualizzazione 3D anziché installare una quantità consistente di plugins di varia natura, spesso ideati esclusivamente per un singolo browser.

Un passo avanti è stato fatto con l'istituzione del Web3D Consortium, un'organizzazione senza scopo di lucro che si propone l'obiettivo di definire e sviluppare il formato open standard X3D (Extensible 3D) e il *runtime* per rappresentare le scene 3D. Una più ampia diffusione di questi formati potrebbe portare finalmente ad una standardizzazione e unificazione delle metodologie di sviluppo dei software 3D per il web, con una conseguente semplificazione nella fruizione per tutti gli utenti della rete.

La standardizzazione, in modo simile e ad integrazione degli standard per l'HTML 5.0, costituirebbe un punto fermo di riferimento per chiunque si avvallesse delle tecnologie del Web3D, portando notevoli vantaggi e semplificazioni nella scelta degli strumenti di interazione, lasciando così all'utente la certezza di aver a che fare con uno strumento sicuro, non invasivo, più rapido, semplice nell'utilizzo e davvero utile per una fruizione più completa delle informazioni.

3.1. La realizzazione dell'Ambiente Virtuale

Secondo i più comuni paradigmi di progettazione delle interfacce di qualsiasi tipologia, esistono varie fasi di che concorrono alla gestione del ciclo di

progettazione e sviluppo delle applicazioni, e che sono applicate anche allo sviluppo di siti web (Paternò, 2004). Le varie fasi si susseguono in questo ordine:

- Pianificazione;
- Progettazione;
- Acquisizione del contenuto;
- Implementazione;
- Valutazione;
- Manutenzione.

La progettazione di ambienti Web3D per i beni culturali deve tener conto dei molteplici fattori di accessibilità legati alle prestazioni delle macchine utilizzate maggiormente dal gruppo di utenti cui è rivolta la comunicazione e della rete utilizzata per accedere a tali applicazioni, secondo le implicazioni descritte nel paragrafo 3.2.

Nel Web3D la modalità di acquisizione del contenuto può variare sensibilmente sulla base degli obiettivi dell'applicazione. Il modello o l'ambiente sono ricreati secondo le modalità descritte nel primo capitolo (digitalizzazione, modellazione, sintesi, etc.). Nell'ambito di beni culturali l'acquisizione dell'opera deve essere spesso strettamente fedele all'originale e questo può creare problemi di fruizione remota in quanto la riproduzione a fini di ricerca, conservazione, restauro o comparazione deve essere di alta qualità sia dal punto di vista spaziale, con un adeguato livello di dettaglio e senza deformazioni, che dal punto di vista cromatico in quanto i colori devono essere misurazioni assolute nello spazio cromatico (l'acquisizione delle opere può restituire modelli con risoluzione spaziale molto elevata: anche oltre gli ottomila per ottomila pixel, con risoluzione cromatica di quarantotto bit). La descrizione completa richiede immagini multispettrali in diverse bande ottiche e provenienti da sensori diversi come i raggi infrarossi, i raggi ultravioletti o i raggi X o sensori di tipo fisico-chimico come dati ambientali (Cappellini, 36-39). L'acquisizione tramite la scansione laser è una tecnica di ricostruzione che permette di ottenere dati spaziali con precisione molto alta attraverso l'utilizzo di una lama di luce prodotta appunto da un fascio

laser. La luce coerente propria del raggio laser ha proprietà monocromatica e soggetta a dispersione minima, garantendo un fascio di luce sottile e ben focalizzato. Il profilo della luce proiettata subisce deformazioni proporzionali all'altezza dei punti dell'oggetto (Marini et al, 2001). La nuvola di punti ottenuta può essere così, rielaborata, ripulita e filtrata per ottenere la mesh sulla quale applicare le textures, acquisite tramite rilevazione fotografica digitale ad alta risoluzione. Il modello ottenuto può essere così esportato in diversi formati (VRML, OBJ, Collada, AAM, X3D, etc.) per essere integrato nel sistema di visualizzazione. Gli standard di modellazione di scenari 3D più noti o rinvenuti più di frequente tra le applicazioni osservate comprendono:

- VRML (dall'inglese *Virtual Reality Modeling Language*) è un formato di file progettato per un impiego sul World Wide Web, per rappresentare grafica vettoriale 3D interattiva. È un formato dati universale, leggibile e scrivibile da molti tipi diversi di software;
- X3D è un linguaggio per la descrizione di ambienti virtuali interattivi basato su XML, sviluppato dal Web3D Consortium come evoluzione del VRML;
- COLLADA³⁵, acronimo di COLLABorative Design Activity, si propone di diventare lo standard di interscambio utilizzando uno schema XML. Utilizzato da Google Earth per memorizzare le informazioni 3D, permette di definire anche informazioni relative alla fisica;
- AAM, formato nativo di XVR per la descrizione di mesh triangolari.

Le geometrie dei modelli tridimensionali e delle intere scene operano su un sistema di riferimento di assi cartesiano tridimensionale, la loro esportazione è indispensabile per l'allestimento dello scenario in un altro ambiente di sviluppo per la gestione del comportamento interattivo. Le mesh sono caricate in un framework (come ad esempio, Virtool o XVR) che si fa carico di tutta la gestione dell'infrastruttura di integrazione delle librerie di basso livello come OpenGL o

³⁵ <https://collada.org/>

Direct3D, dei 3D engines e dei driver, per gestire efficacemente l'interazione e il rendering su tutti i canali sensoriali. Nel Web3D l'output riprodotto può essere inserito e visualizzato in real-time in una pagina HTML.

L'allestimento della scena avviene tramite uno *scripting* e prevede il posizionamento dei modelli acquisiti e importati, l'eventuale integrazione di ulteriori modelli procedurali, la gestione dei vari parametri di illuminazione, la gestione dei materiali, degli *shaders*, della camera virtuale e di eventuali animazioni.

Il risultato finale dell'implementazione è visualizzato tramite un processo di produzione dell'immagine finale a partire dal modello matematico del soggetto o scena, secondo la fase denominata *rendering*. Esistono molti algoritmi di *rendering*, ma tutti implicano la proiezione dei modelli 3D su una superficie 2D³⁶. In sostanza, la pipeline di *rendering* consiste nella trasformazione, nell'illuminazione e nella rasterizzazione dell'immagine bidimensionale. La trasformazione determina le coordinate dei pixel tramite operazioni geometriche; l'illuminazione determina il colore dei pixel attraverso operazioni cromatiche; la rasterizzazione è l'elaborazione dei singoli pixel attraverso operazioni bidimensionali.

Anche nella fase di *rendering* è possibile usare diverse tecnologie, dal semplice display visivo (che può consistere in un semplice monitor da computer nel caso della *VR Desktop*, in uno schermo stereoscopico di grandi dimensioni, in un "caschetto" più propriamente detto Head Mounted Display, che, presentando immagini digitali direttamente agli occhi, isola totalmente dal punto di vista visivo l'utente dal mondo reale e lo cala in quello virtuale, o in un CAVE, una stanza interamente costituita da schermi retroproiettati che immergono completamente l'utente nell'ambiente digitale), a sistemi multisensoriali in cui più canali sensoriali vengono stimolati contemporaneamente.

Questa fase di fruizione può avvenire su più livelli: può essere passiva, e in questo

³⁶ http://it.wikipedia.org/wiki/Computer_grafica_3D

caso l'utente è semplice spettatore di una rappresentazione poco più che filmografica, o interattiva, nel quale caso l'utente può intervenire sulla rappresentazione modificandone il corso mediante dispositivi come mouse, sensori, joystick, touch-screen, etc. In quest'ultimo caso è indispensabile che l'applicazione sia gestita tramite un viewer, che permetta all'utente di visualizzare e interagire con la scena 3D. Le tecnologie per la rappresentazione di ambienti tridimensionali o la simulazione degli stessi tramite browser rinvenute più spesso in fase di osservazione di applicazioni online sono le seguenti:

- Cortona3D³⁷;
- QuickTimeVR³⁸, spesso usato in concomitanza dei Adobe Flash Player³⁹;
- Adobe Shockwave Player⁴⁰;
- XVR⁴¹;
- Java Web Start Launcher⁴²;
- Unity3D⁴³;
- 3DVia⁴⁴.

Il vantaggio nell'utilizzo di Java Web Start Launcher risiede nella compatibilità multiplatforma, indipendente dal browser di visualizzazione, il sistema potrebbe essere utilizzato per tutte le applicazioni che richiedono la semplice visualizzazione di un singolo oggetto.

Sfruttando la stereoscopia (tecnica di realizzazione e visione di immagini affiancate, finalizzata a trasmettere un'illusione di tridimensionalità), QuickTimeVR è una tecnologia per la rappresentazione di ambienti in pseudo-3D con una vista panoramica a 360° da un singolo pivot-point. In alcuni musei è possibile spostarsi da un pivot-point a un altro cliccando sull'area di interesse o su

³⁷ <http://www.cortona3d.com/Products/Cortona-3D-Viewer.aspx>

³⁸ <http://www.apple.com/quicktime/technologies/qtvr/>

³⁹ <http://get.adobe.com/it/flashplayer/>

⁴⁰ <http://get.adobe.com/it/shockwave/>

⁴¹ <http://www.vrmedia.it/>

⁴² <http://download.oracle.com/javase/1.5.0/docs/guide/javaws/developersguide/faq.html>

⁴³ <http://unity3d.com/webplayer/>

⁴⁴ <http://dl.3dvia.com/software/3dvia-player/>

altri link, similmente alla versione “street” di GoogleMaps. La vista può essere roteata attorno all’asse y e x ed è possibile zoommare avanti e indietro, ma il maggior svantaggio consiste nel non poter ingrandire troppo la vista sugli oggetti in quanto aumentando lo zoom si ha una perdita di risoluzione dell’immagine bidimensionale (vedi a tal proposito lo “Smithsonian National Museum of Natural History”). QTVR può essere una buona alternativa per quei progetti che non richiedono un alto livello di interazione, anche se per l’utente può risultare frustrante non potersi avvicinare agli oggetti.

XVR è una tecnologia per la creazione di Ambienti Virtuali Web-based, composta da un set di moduli di alto livello.

3.2. Accessibilità e limiti in relazione alle macchine e alla Rete

Uno dei limiti più ricorrenti che hanno impedito a tutt’oggi la diffusione delle tecnologie Web3D tra la maggior parte della popolazione della rete, costituita da soggetti con conoscenze basilari del funzionamento della rete e delle tecnologie informatiche, riguarda proprio la ridotta accessibilità di questa tipologia di applicazioni. Molti di questi sistemi di rappresentazione tridimensionale delle informazioni, oltre ad essere difficili da reperire e da installare correttamente, presentano requisiti tecnici che risultano incompatibili con molte delle macchine utilizzate per accedere alla rete, soprattutto per problemi legati all’eccessivo carico computazionale che tali applicazioni richiedono. Nonostante il notevole aumento delle prestazioni hardware delle nuove macchine a largo consumo le reti ad alta velocità abbiano permesso di introdurre nuovi metodi di rappresentazione delle informazioni in formato tridimensionale, a tutt’oggi non è sempre possibile trasmettere una grossa quantità di dati, necessaria per ottenere sufficienti livelli di realismo nella visualizzazione delle scene. Alcune connessioni sfruttano ancora una larghezza di banda esigua, non sufficiente per sostenere tali ambienti, generando interruzioni o rallentamenti di sistema, oppure impiegando un tempo eccessivo per il caricamento della scena, inducendo l’utente ad abbandonare prematuramente l’applicazione. Difatti, da sempre i provider pubblicano e

promuovono le velocità massime che le proprie Adsl possono toccare in condizioni perfette che quasi mai avvengono per diversi motivi, tra i quali anche la stessa natura strutturale della rete internet, il numero degli utenti connessi in una certa zona o particolare centralina che varia nelle diverse ore delle giornate, il carico che la struttura del provider in quella zona può supportare (solo per citarne alcuni). L'Adsl italiana in particolar modo è stata oggetto di segnalazioni per la sua "lentezza", per la quale spicca a livello europeo secondo diverse ricerche internazionali, le quali hanno dichiarato che la velocità del collegamento broadband in Italia è tra le due e le dieci volte minore di quella pubblicizzata dai provider (in media 4Mbit/s).

Per diminuire lo spreco di risorse computazionali e rendere la fruizione delle applicazioni più fluida sono state introdotte alcune tecniche per la riduzione dei dati trasmessi in tempo reale, per bilanciare i tempi di attesa di caricamento con l'ottenimento di rappresentazioni sufficientemente accurate. I metodi principali per gestire un numero superiore di poligoni rispetto a quello che l'*engine* riuscirebbe normalmente reggere sono il LoD (dall'inglese Level of Detail), il *culling* e l'IBR (dall'inglese Image Based Rendering). Anche l'illuminazione globale *real-time* è onerosa e richiede alti tempi di *rendering*, ma è possibile ovviare al problema conservando le informazioni di illuminazione e riutilizzarle in futuro, come ad esempio le *lightmaps*.

Il LoD riguarda la rappresentazione dei modelli su diversi livelli di dettaglio, denominati appunto LOD. La tecnica LoD si basa sul fatto che oggetti lontani dalla vista non necessitano di una rappresentazione particolareggiata. Quindi possono essere create più alternative per una stessa mesh con un grado crescente di complessità in termini di numeri di vertici. Maggiore è la distanza che intercorre tra la visuale e il modello, più questo risulterà semplificato. Per la fruizione in rete sono adottati dei LoD dinamici con sistema di attivazione in *run-time*. Un esempio di utilizzo diverso del LoD è stato osservato in ScanView, un'applicazione non dipendente da browser. Il modello semplificato in questo caso è utilizzato in fase di rotazione orbitale della vista attorno allo stesso. Al

termine dell'interazione la mesh è sostituita con una molto più dettagliata.

Il *culling* è un sistema di semplificazione conservativa che non fa giungere alla pipeline di rendering i poligoni non visibili. Alcuni poligoni della scena possono non essere visibili perchè nascosti da altri poligoni (si parla in questo caso di *backface culling*), perchè fuori dal volume di vista (si parla in questo caso di *viewfrustum culling* o *clipping*) o perchè nascosti da altri oggetti (si parla in questo caso di *occlusion culling*).

L'IBR è un metodo di semplificazione della complessità del modello basato sulla sostituzione di poligoni con immagini bidimensionali o textures che danno un effetto tridimensionale al modello. Queste immagini possono essere ottenute con metodo statico o dinamico. Con il metodo statico le immagini sono ottenute precedentemente attraverso la renderizzazione di molteplici punti di vista del modello tridimensionale, oppure si ha una simulazione di un oggetto tramite il posizionamento di un billboard, una semplice geometria texturizzata sempre rivolta verso il punto di vista attraverso una rotazione del poligono verso l'osservatore. Gli impostori sono poligoni semitrasparenti su cui è mappata l'immagine opaca di un oggetto ottenuta attraverso una renderizzazione del modello tridimensionale. In tempo reale è possibile ricostruire dinamicamente l'impostore attraverso la renderizzazione del modello. L'immagine è riutilizzata finché la differenza tra questa e l'oggetto reale supera una certa soglia.

Ulteriori tecniche di compressione riducono la quantità di dati archiviati e aumentano l'efficienza di scambio per via telematica. La trasmissione può essere attuata a differenti livelli di risoluzione e differenti gradi di fedeltà all'oggetto originale (in riferimento alla risoluzione spaziale e cromatica) in modo da non sovraccaricare le reti di telecomunicazione pur garantendo l'adeguata qualità del servizio. Per utenti di formazione specializzata culturale o scientifica è indispensabile che la compressione dei dati avvenga senza perdita di informazione (lossless), in quanto necessitato di dati originali inalterati. Per la fruizione di massa è accettabile un certo livello di degradazione come risultato della compressione dei dati (Cappellini, 2000).

Ulteriori metodi possono permettere all'utente di personalizzare la risoluzione dei modelli su richiesta, attraverso la scelta del livello di dettaglio della scena. Un esempio è stato osservato in "Livio 3D Virtual Museum"⁴⁵, un'applicazione che permette di scegliere tra quattro livelli di risoluzione della scena. In "Tadky" è possibile attivare l'opzione HD per ottenere un maggiore qualità nella visualizzazione.

Indipendentemente dalla complessità della scena, è opportuno comunque informare preventivamente l'utente riguardo il formato e la dimensione dell'applicazione che sta per visualizzare, indicando una stima sul tempo impiegato per il caricamento dei files e i requisiti tecnici della macchina richiesti per un'interazione sufficientemente fluida.

L'accesso agli ambienti virtuali dovrebbe essere garantito in ogni condizione di utilizzo degli strumenti di accesso alla rete, quindi oltre a tenere conto della larghezza di banda della connessione dell'utente, è opportuno considerare l'ipotetico punto d'accesso alla rete (la zona geografica, casa, scuola, ufficio, biblioteche, laboratori), le caratteristiche tecniche dei sistemi operativi e delle stazioni multimediali più utilizzati e la compatibilità con la vasta gamma di browser disponibili. Le stazioni multimediali più comunemente utilizzate per accedere alla rete e alle applicazioni web sono costituite prevalentemente da sistemi di output come lo schermo e gli altoparlanti e da sistemi di input come il mouse, la tastiera, la webcam e il microfono.

Ivan Sutherland definì lo schermo come "una finestra attraverso la quale si vede un mondo virtuale"⁴⁶, sottolineando l'importanza di rendere tale mondo il più realistico possibile. Nel Web3D non è ancora possibile raggiungere sufficienti livelli di realistica per evidenti limiti fisici imposti dagli strumenti hardware

⁴⁵ <http://www.livio3d.com/3dart/virtualmuseum/virtualmuseum.html>. Non è un vero e proprio museo virtuale, ma un portfolio di immagini, disegni e modelli 3D di un artista che ha sfruttato la grafica tridimensionale per esporre on-line i suoi lavori. L'allestimento è fruibile con *Unity Web Player*.

⁴⁶ "The screen is a window through which one sees a virtual world. The challenge is to make that world look real, act real, sound real, feel real."

impiegati per accedere ad applicazioni basate su questa tecnologia. Nello specifico, il *monitor* è spesso di dimensioni notevolmente ridotte rispetto ai pannelli delle tecnologie CAVE e simili⁴⁷. Nonostante ad oggi le nuove prestazioni e tecnologie abbiano contribuito ad ottimizzare la risoluzione dello schermo, che con l'iMac ha raggiunto una HD di duemilacinquecentosessanta per millecentoquaranta pixel, bisogna tener conto della maggioranza dei consumatori di computer, che nel 2009 hanno acquistato un PC o un desktop con sistema operativo Windows, costituendo circa l'ottantotto per cento del totale⁴⁸. Con il display desktop il campo di vista è limitato ad un massimo di novanta gradi massimi; questo determina una prospettiva di proiezione in una larghezza di schermo limitata nel rendering 3D e questo rende la fruizione molto meno realistica rispetto ad un dispositivo HMD (Head Mounted Display) che, tuttavia, per un funzionamento significativo impone anche la presenza di sensori di posizione e orientazione per consentire il ricalcolo dinamico del punto di vista in relazione ai movimenti della testa dell'utente.

I dispositivi di input quali il mouse e la tastiera sono stati prettamente ideati per un'interazione in due dimensioni, perciò l'utente non esperto spesso può trovarsi disorientato nel gestire metafore di visualizzazione e navigazione completamente diverse da quelle tradizionali. Le soluzioni adottate e i limiti imposti dalle consuetudini instaurate in questo tipo di interazione saranno affrontati nel successivo capitolo.

Un altro limite nell'interazione in ambito di *VR desktop* sta proprio nello scarso e perlopiù impossibile utilizzo di ulteriori strumenti quali ad esempio i *tracker* per inseguire la locazione spaziale dell'utente e permettergli così di interagire in modo più immediato, fluido e naturale con l'ambiente di visualizzazione.

⁴⁷ In media le dimensioni degli schermi dei PC portatili sono comprese tra i quattordici e i diciassette pollici; gli schermi desktop più grandi raggiungono i venticinque pollici e mezzo; quelli degli iMac possono raggiungere i ventisette pollici in formato sedici noni.

⁴⁸ Dati aggiornati al 2009, tratti da L. Annunziata, *Uno su dieci è Mac, gli altri PC*, in "PuntoInformatico.it", <http://punto-informatico.it/2540186/PI/News/uno-dieci-mac-altri-pc.aspx>, Febbraio 2009.

3.3. Il Plugin e il viewer: gli effetti sulle scelte dell'utente

In fase di implementazione lo sviluppatore deve tener conto la scelta del plugin e del relativo viewer su cui basare l'applicazione, considerandolo come un fattore determinante sulle scelte di fruizione dell'utente finale.

Tra i principali motivi che possono spingere lo sviluppatore a scegliere di sfruttare un plugin anziché un altro anzitutto figura la tecnologia impiegata per implementare l'ambiente 3D. Esistono infatti *framework* come XVR che consentono l'allestimento della scena 3D e dispongono del relativo viewer che permette di renderizzare l'ambiente sul browser. Inoltre alcune tecnologie sono molto più semplici da utilizzare per creare e visualizzare ambienti tridimensionali o simulazioni (ad esempio QuickTimeVR) e alcune, proprio per la struttura della stessa interfaccia del viewer, dispongono di barre di navigazione o manipolazione degli oggetti predefinite (vedi ad esempio il viewer Cortona3D), che possono semplificare e velocizzare notevolmente la progettazione del sistema di interazione e visualizzazione. Altri plug-in sono più conosciuti e multipiattaforma, e per questo già presenti sulla maggior parte delle macchine degli utenti medi (vedi Flash Player e Quick TimeVR) e degli sviluppatori medi; oppure sono la versione 3D di strumenti già utilizzati per l'interattività e le animazioni 2d sul web (vedi PDF3D). Alcuni plugin sono utilizzati strettamente da ricercatori e appassionati che cercano di trovare soluzioni innovative per l'integrazione degli ambienti nel web, ma spesso questo si risolve in una complicazione delle processo di integrazione per lo sviluppatore e una complicazione delle procedure di installazione e visualizzazione per l'utente medio, senza contare l'impiego di maggior tempo di attesa che può scoraggiare anche l'utente esperto (vedi Minefield).

La scelta del viewer può condizionare significativamente il successo o il fallimento di una rappresentazione Web3D tra i fruitori delle informazioni. È molto importante in primo luogo che l'applicazione sia accessibile tramite un viewer multipiattaforma, ovvero che sia visualizzabile indipendentemente dal

sistema operativo dell'utente e almeno sui tre principali browser di navigazione Mozilla Firefox, Internet Explorer e Safari. Il ventidue per cento degli utenti intervistati ha dichiarato di aver abbandonato l'applicazione prima di aver completato la navigazione. I risultati in Tabella 10 mostrano come la causa principale sia da ritrovarsi in un'incompatibilità del plugin con il browser di navigazione.

Hai abbandonato l'applicazione prima di completare la navigazione?

Si	22%
No	78%

Tabella 9. Risultati intervista

Se si per quali motivi?

I tempi di scaricamento dell'applicazione erano troppo lunghi	12,5%
Non sono riuscito a installare il plugin	12,5%
Il mio browser non è compatibile col plugin	25,0%
I tempi di navigazione all'interno del mondo erano troppo lunghi	18,7%
Non sono riuscito a muovermi all'interno dell'ambiente virtuale	12,5%
Non ho capito come utilizzare gli strumenti di interazione	12,5%
Non sono riuscito a visualizzare correttamente i modelli	6,3%

Tabella 10. Risultati intervista

In secondo luogo si prefigge indispensabile dover considerare le competenze

medie del gruppo di soggetti cui la mediazione culturale intende rivolgersi. Difatti l'utente deve essere facilitato in ogni momento della fruizione, a partire dal download e dall'installazione del plugin sino all'utilizzo del viewer per visualizzare l'ambiente virtuale. L'applicazione dovrebbe essere progettata affinché sia sufficiente installare un solo plugin per visualizzare correttamente l'ambiente (nel "Progetto Villa Imperiale di Pompei"⁴⁹ è necessario dover installare sia Adobe Flash Player che il plugin Cortona3D) e il viewer dovrebbe essere scelto tenendo conto delle implicazioni a livello delle possibili limitazioni che esso potrebbe comportare nella visualizzazione e nell'interazione. I tempi di scaricamento ed eventuali errori o rallentamenti che possono insorgere durante l'avvio dell'installazione o del viewer sono altresì un fattore determinante riguardo la volontà dell'utente di abbandonare prematuramente la fruizione (Vedi Tabella 10) e il livello di gradimento dell'esperienza virtuale (vedi Tabelle 12 e 13).

Hai riscontrato problemi nell'installazione del plugin e/o browser e/o viewer?

No	84%
Alcuni	12%
Molti	4%

Tabella 11. Risultati dell'intervista agli utenti

Consideri l'attesa di download del plugin eccessiva?

No	86%
Un po'	14%
Molto	0%

Tabella 12. Risultati dell'intervista agli utenti

⁴⁹ <http://www.noreal.it/vimp/VIMPita/indexv2.htm>

Consideri l'attesa di download dell'applicazione eccessiva?

No	64%
Un po'	34%
Molto	2%

Tabella 13. Risultati dell'intervista agli utenti

In ogni caso, indipendentemente dalla complessità e dai tempi richiesti per l'installazione è opportuno indicare al destinatario per ogni applicazione:

- La compatibilità del plugin in relazione ai browser di navigazione e ai sistemi operativi attualmente disponibili;
- I tempi stimati di scaricamento e installazione del plugin;
- Eventuali errori di scaricamento o di avvio che potrebbero incorrere;
- Il link diretto alla pagina di download del plugin, per permettere all'utente di rintracciarlo facilmente;
- Un set di istruzioni su come installare e avviare il plugin e il relativo viewer.

Capitolo 4. Analisi strutturale e funzionale di applicazioni Web3D per la mediazione culturale

L'analisi intrapresa nei precedenti capitoli ha costituito in primo luogo una categorizzazione e una valutazione riguardo la tipologia e la qualità dei contenuti mediati dalle applicazioni Web3D e come queste hanno contribuito o possono contribuire a migliorare e facilitare la comunicazione dei beni culturali, oppure a costituirne un ostacolo. Successivamente è stato descritto quali tecnologie hardware e software sono generalmente impiegate per l'implementazione di questi sistemi tridimensionali e come avviene la loro integrazione nei vari browser attualmente disponibili. Dalla struttura rappresentata nello schema di Figura 10 emergono i due principali filoni dell'analisi affrontata finora, che consiste nell'identificazione e nella valutazione della tipologia di contenuti rappresentati in applicazioni Web3D per i beni culturali e nell'indagine sullo stato dell'arte nell'impiego delle tecnologie per la loro implementazione e come queste condizionino le scelte degli sviluppatori e degli utenti che intendono interfacciarsi.

Per sfruttare al meglio le potenzialità di tali strumenti e garantire così un'efficace rappresentazione dei contenuti, si prefigge indispensabile una buona progettazione del metodo di visualizzazione e interazione con l'ambiente virtuale, mirata alla gestione semplificata e personalizzata dell'interfaccia sulla base delle capacità e conoscenze del target. È difatti emerso dall'intervista agli utenti e dall'osservazione dell'interazione tra essi e le varie applicazioni Web3D presenti on-line, come molti abbiano trovato ingenti difficoltà nel gestire l'interfaccia tridimensionale e ottenere le informazioni di loro interesse. Per comprendere come tale interfaccia debba essere progettata sulla base degli obiettivi e del metodo implementativo che è inteso impiegare per rappresentare nella maniera più efficace i contenuti culturali, si è cercato anzitutto di individuare e categorizzare i vari metodi di visualizzazione e interazione nel Web3D e le

consuetudini di gestione lato utente in essi instaurate, identificandone i principali limiti nella intuitività delle funzionalità hardware e nell'interpretazione del feedback e dei vari elementi che vanno a comporre le Interfacce Utente tridimensionali. Questa categorizzazione, come descritta nei successivi paragrafi, è basata sulle relazioni che intercorrono tra le tipologie dei contenuti mediati, gli obiettivi e gli strumenti di visualizzazione e interazione con l'ambiente virtuale per la rappresentazione di tali informazioni. L'analisi dettagliata del comportamento dei diversi elementi che vanno a comporre le varie applicazioni Web3D per la fruizione culturale, affiancata da una osservazione ravvicinata dell'approccio degli utenti alle interfacce e un'intervista mirata a individuare le loro preferenze e perplessità, ha permesso di comprendere almeno in parte come questi possono essere integrati o migliorati e come tali informazioni di natura visuale, testuale e sonora debbano essere rappresentate nella maniera più idonea ed efficace, al fine di permettere all'utente di raggiungere con più facilità il task e ottenere così un feedback più soddisfacente.

Come mostrato in Figura 10, la categorizzazione prevede la descrizione delle due componenti principali che vanno a costituire la struttura dell'Interfaccia Utente 3D e in generale di ogni UI, la visualizzazione e l'interazione. La descrizione dei vari metodi di visualizzazione procede con il riconoscimento delle caratteristiche ambientali e contenutistiche, classificate sulla base degli obiettivi della comunicazione e del soggetto che è inteso rappresentare. La descrizione dei metodi di interazione impiegati è anch'essa legata al confronto tra applicazioni con gli stessi obiettivi comunicativi ed è stata oggetto di valutazione, insieme alla recupero dei contenuti, delle procedure corrette di interazione tramite dei test, descritti nel capitolo successivo, ideati per l'osservazione dal vivo dei comportamenti e delle preferenze di una serie di utenti con diversi gradi di esperienza.

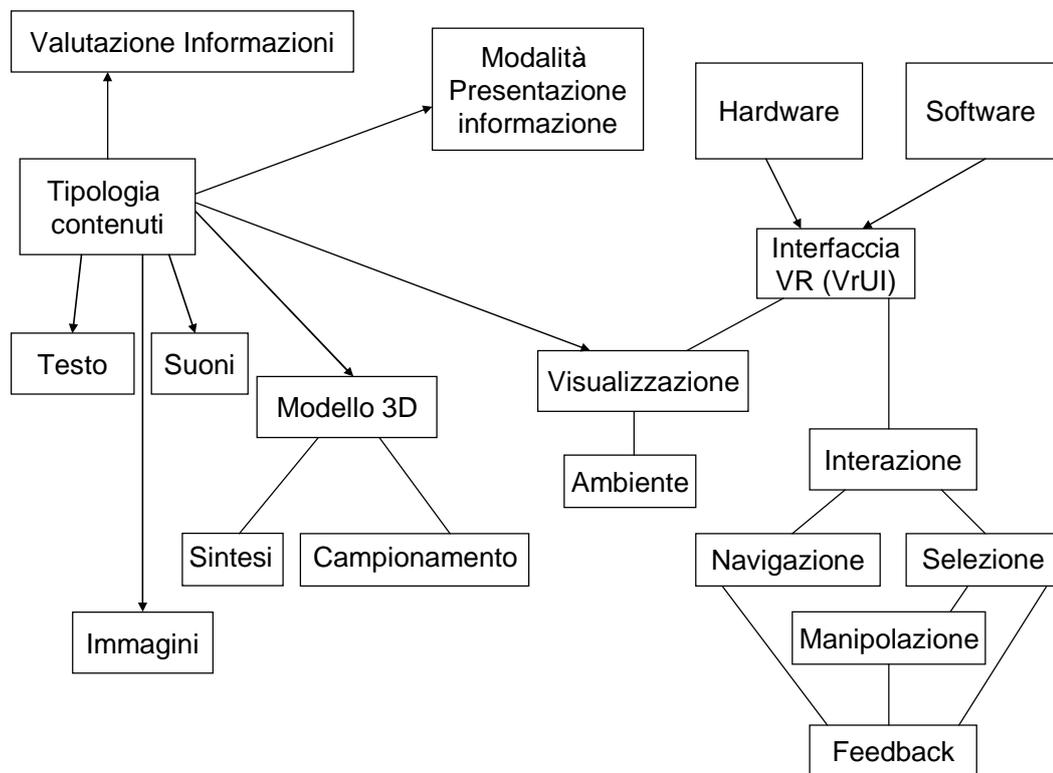


Figura 10. La struttura di un'interfaccia Web3D per contenuti culturali

4.1. Usabilità in interfacce Web3D

Nel contesto di interazione con l'elaboratore, l'interfaccia può essere definita come "l'insieme dei dispositivi materiali e concettuali mediante i quali entriamo in relazione con il computer" (Marini et al, 2001). Questa relazione è costituita principalmente dal processo di comunicazione che avviene in output tra lo schermo del computer, gli altoparlanti e le percezioni visuali e uditive dell'utente e in input tra quest'ultimo e i dispositivi di puntamento, la tastiera ed eventuali sensori come camere digitali, microfoni, tracker. L'interfaccia di una comune applicazione *Web3D* può disporre di una propria console o barra di interazione e informazione sullo stato del sistema, o ricevere input e inviare dati tramite funzionalità integrate nella pagina HTML. Difatti, le UI nel Web3D sono costituite principalmente da un sistema di visualizzazione e un sistema di interazione tra questo e l'utente. La visualizzazione comprende l'output

dell'ambiente virtuale e può includere informazioni di natura testuale, sonora, video o immagini, in un contesto di rappresentazione delle informazioni anche esterno all'ambiente tridimensionale. Il grado di interazione con questo tipo di ambienti può rivelarsi molto elevato e in genere le azioni principalmente eseguibili sono comuni a tutti i sistemi di visualizzazione 3D, configurandosi in varie metafore di navigazione, selezione e manipolazione degli elementi.

Data la sempre più crescente complessità funzionale delle applicazioni e i sempre più lunghi periodi necessari per l'addestramento dell'utente al loro utilizzo, la progettazione delle Interfacce Utente (spesso abbreviato in *UI*, dall'inglese *User Interface*), è divenuto un fattore significativo del processo di design del software. Negli ultimi anni le UI sono state al centro di numerose formulazioni teoriche e pratiche, che hanno cercato di definire i metodi più efficaci per fornire una visualizzazione e un'interazione uomo-macchina (HCI, dall'inglese *Human-Computer Interaction*) sempre più intuitiva e coerente, che permetta a tutti gli utenti di gestire un grande apporto di informazioni simultanee e caratterizzate da una forte multimedialità. Tra queste linee-guida, specificatamente come base per una buona progettazione di web design, sono di particolare rilevanza le dieci euristiche di usabilità per il design delle interfacce, proposte da Jakob Nielsen, e le *Web Content Accessibility Guidelines*⁵⁰, iniziativa intrapresa dal progetto *Web Accessibility Initiative* del W3C⁵¹.

L'interazione e la visualizzazione in pagine web tradizionali sono ormai consolidate, ma le interfacce utente nel Web3D, e più in generale le 3DUI, possono essere considerate come uno degli esempi più significativi di ambiente complesso e ricco di informazioni multimediali e multisensoriali, e la loro progettazione deve tener conto di ulteriori contesti e metafore d'uso. In linea generale, sia nello sviluppo di interfacce tradizionali che tridimensionali, valgono delle regole comuni per una buona progettazione orientata all'utente, classificate e descritte in varie formulazioni inerenti in particolare principi di usabilità e

⁵⁰ <http://www.w3.org/TR/WAI-WEBCONTENT/>

⁵¹ <http://www.w3.org/WAI/>

accessibilità. Un limite comunemente riscontrato in fase di osservazione di molte applicazioni Web3D presenti online riguarda la non applicazione di tali principi, che dovrebbero altresì essere tenuti in considerazione in contesti di Realtà Virtuale tridimensionale, ma applicati perlopiù per la rappresentazione di informazioni in siti web statici e bidimensionali.

Nella norma ISO 9241-11 “Ergonomics of human-system interaction - Guidance on usability” (Requisiti ergonomici per lavoro di ufficio con terminali), l’usabilità viene definita come “la misura in cui un prodotto può essere usato da specifici utenti per raggiungere specifici obiettivi con efficacia, efficienza e soddisfazione in uno specifico contesto di uso”. Con efficacia è intesa l’accuratezza e completezza con cui gli utenti possono raggiungere i loro obiettivi; l’efficienza è l’insieme di risorse spese in relazione all’accuratezza e completezza degli obiettivi raggiunti; la soddisfazione è il comfort e l’accettabilità del sistema per gli utenti e le altre persone influenzate dal suo uso (Paternò, 2004). L’implementazione di sistemi interattivi secondo principi di usabilità può facilitare notevolmente l’apprendimento dell’utente, diminuendo i tempi di addestramento, riducendo gli errori e la necessità di supporto all’utente, e aumentando così e la soddisfazione nell’utilizzo e l’accettazione delle tecnologie informatiche, soprattutto quelle ancora di uso limitato come le applicazioni Web3D.

Partendo da due importanti principi riguardanti l’usabilità delle interfacce, quali la *trasparenza* e l’*intuitività*, è ribadito come queste debbano essere progettate consentendo un’interazione il meno possibile interferente con gli obiettivi dell’utente, affinché egli possa concentrarsi su quello che desidera ottenere dall’applicazione anziché sul come possa ottenerlo. In Marini et al sono elencati i principali principi di progettazione dell’interfaccia mirata a un’interazione efficace ed efficiente, qui di seguito sono descritti quelli che maggiormente andrebbero tenuti in considerazione in ambito di sviluppo web e Web3D:

- il *principio di affordance*;
- il *principio di feedback*;
- il *principio di annullamento*;

– il *principio di libertà*.

Secondo il *principio di affordance*, introdotto da Donald A. Norman, un sistema ben progettato deve essere utilizzabile limitando al minimo il ricorso ai manuali d'uso: molte sono le applicazioni Web3D online che, al cospetto della poca esperienza dell'utente, presentano punti oscuri o elementi difficilmente interpretabili. Le GUI (Graphical User Interface) in tre dimensioni, proprio per le loro caratteristiche strutturali, dovrebbero avere il vantaggio, rispetto alle tradizionali in due dimensioni, di poter sfruttare una maggior intuitività nell'utilizzo dovuta a una forte similarità nell'interazione con le convenzioni del mondo reale e quindi offrire grossi quantitativi di informazioni con cui poter interagire. Nonostante ciò, dall'osservazione delle molteplici applicazioni Web3D presenti on-line è emerso come raramente questo vantaggio sia sfruttato al meglio e anzi, spesso l'utente non solo di scarsa esperienza, si ritrova a interfacciarsi con situazioni poco gestibili e difficilmente intuitive. L'utente medio non è a conoscenza delle modalità consolidate nell'interazione in ambienti virtuali di questo tipo, per questo è necessario anzitutto informarlo chiaramente sugli strumenti e le modalità di utilizzo degli stessi per accompagnarlo all'interno dell'ambiente e consentirgli di sfruttare al meglio le possibilità di visualizzazione e informazione offerte dall'applicazione, garantendo così maggiori probabilità di successo nel raggiungimento del task e un maggior grado di soddisfazione generale. Per velocizzare l'addestramento dell'utente è molto utile dotarlo una serie di indicazioni atte a determinare quali strumenti utilizzare per muoversi all'interno dell'ambiente, fornendogli una chiara guida all'uso degli strumenti hardware di interazione e visualizzazione, con istruzioni sia testuali che grafiche. Anzitutto dovrebbe essere indicato quali strumenti, tra il mouse, la tastiera o l'eventuale joystick, utilizzare e come utilizzarli per muoversi, selezionare gli elementi, imporre comandi o personalizzare l'interfaccia; quali pulsanti del mouse utilizzare per muoversi nell'ambiente, ruotare la camera, zoommare, selezionare, ottenere informazioni aggiuntive. Dall'intervista compiuta sul campione eterogeneo di utenti e riportata nelle Tabelle 14 e 15, è emerso come buona parte

di essi non sia riuscito a comprendere chiaramente come utilizzare gli strumenti per visualizzare l'ambiente e selezionare gli oggetti. Difatti in circa la metà delle applicazioni analizzate non sono state riscontrate istruzioni o indicazioni sulle modalità di interazione.

<i>È indicato in modo sufficientemente chiaro quali strumenti utilizzare per muoversi all'interno dell'ambiente virtuale?</i>	
Non è indicato	25,5%
È indicato ma non è chiaro	10,6%
È indicato chiaramente	63,8%

Tabella 14. Risultati intervista

<i>È indicato in modo sufficientemente chiaro quali strumenti utilizzare per selezionare gli oggetti e/o modificarli?</i>	
Non è indicato	36,8%
È indicato ma non è chiaro	10,6%
È indicato chiaramente	50,4%

Tabella 15. Risultati intervista

Il *principio di feedback* è applicabile in seguito a determinate azioni per consentirne la verifica: nella maggior parte delle applicazioni osservate, all'attivazione di un elemento o di una particolare area dell'ambiente non vi è una risposta dal sistema visibile o facilmente interpretabile, come invece potrebbero essere segnali sonori, testuali o basati sul colore. In alcune applicazioni la selezione di un elemento o una porzione di esso, può comportare l'attivazione di un'animazione della camera o del modello stesso o di schede riportanti informazioni aggiuntive o di approfondimento. In ogni caso è importante che l'applicazione restituisca un feedback come conseguenza del passaggio del mouse

su di un elemento o dell'avvenuta selezione, per informare l'utente riguardo le conseguenze delle sue azioni. Nel rispetto degli standard di progettazione dell'interazione in ambito del web in due dimensioni, lo stato dell'interfaccia del sito subisce variazioni grafiche e/o strutturali in risposta a particolari azioni dell'utente, come il passaggio del mouse su un link o un'immagine "cliccabile", oppure come conseguenza della selezione di un'area sensibile. Nonostante nel *Web3D* si riveli ancora più opportuno implementare output visivi o sonori per informare dell'avvenuta ricezione di un comando o dell'attivazione di un oggetto, non sempre è stata riscontrata l'integrazione di questi metodi. Tali segnali risulterebbero molto utili specialmente per ovviare ai problemi derivanti dall'eventuale sparizione del cursore del mouse dall'interfaccia, o dai lunghi tempi di attesa che spesso intercorrono tra l'azione dell'utente e il download dei dati necessari alla ricostruzione dell'ambiente tridimensionale dando l'impressione di un blocco o di una mancata risposta del sistema. Il feedback potrebbe consistere nell'evidenziazione tramite la colorazione di un'area attivabile al passaggio del mouse, come in "Charles le Brun's Drawings"⁵²; nel cambiamento dell'immagine del cursore del mouse; nell'attivazione di una targa testuale a indicazione del titolo dell'oggetto selezionato, come nella riproduzione degli affreschi di Piero della Francesca o nel "Museo delle Arti Tessili"⁵³; oppure in un segnale sonoro come conseguenza della selezione di un elemento.

Secondo il *principio di annullamento* deve essere possibile annullare una determinata azione senza interrompere drasticamente l'interazione, ritornando allo stato precedente: nelle applicazioni Web3D difficilmente esistono strumenti o metodi di annullamento delle operazioni effettuate, come invece può essere il link di ritorno alla pagina precedente in un sito web tradizionale, e spesso questo comporta il drastico abbandono dell'applicazione da parte dell'utente, che si

⁵² <http://musee.louvre.fr/expo-imaginaire/escalierdesambassadeurs/en/index.html>

⁵³ <http://www.museocaprai.it>. L'implementazione tridimensionale del MU.VI "Museo Virtuale delle Arti Tessili" ha lo scopo di contestualizzare gli oggetti nel particolare periodo storico di provenienza.

ritrova disorientato o costretto a compiere un percorso non di suo interesse.

Secondo il *principio di libertà* deve essere possibile interrompere l'interazione senza generare errori e senza rendere impossibile la sua ripresa in un momento successivo: anche in questo caso in applicazioni Web3D, specialmente tra quelle per i beni culturali in cui i modelli tridimensionali possono essere costituiti da milioni di poligoni, sarebbe molto utile il poter interrompere l'operazione di caricamento del modello e riprendere la navigazione o la manipolazione dal punto desiderato.

Sostanzialmente, la qualità dell'interazione e la soddisfazione dell'utente dipendono dal grado di libertà nella gestione della navigazione nell'ambiente virtuale e dalle risposte dell'implementazione alle azioni dell'utente rispetto a quelle da lui attese. La qualità dell'esperienza virtuale è altresì dipendente dal grado di reperibilità delle informazioni, le quali, oltre ad essere coerenti rispetto al linguaggio del target della comunicazione e selezionate secondo i criteri descritti nel secondo capitolo di questo testo, devono essere rappresentate nella maniera più chiara e intuitiva. A questo proposito, nei successivi paragrafi saranno descritti nel dettaglio i vari aspetti caratterizzanti la visualizzazione e l'interazione in ambienti Web3D per i beni culturali, con lo scopo di individuarne i principali limiti e vantaggi.

4.2. La visualizzazione in ambienti Web3D per i beni culturali

Lo scopo di ogni visualizzazione è di trasmettere informazione attraverso una rappresentazione visiva. Nell'informatica, tali elementi costituiscono un insieme di metafore concettuali mediante le quali sono rappresentate le informazioni in output, e che vanno a determinare l'aspetto dell'interfaccia. Nel Web3D questa è determinata da più elementi di natura sia bidimensionale che tridimensionale integrati più o meno tra loro. Questo genere di interfacce tridimensionali sono costituite principalmente dalla finestra del browser di navigazione; la pagina generata dal codice HTML ospitante; il viewer specifico, che può essere integrato nella pagina HTML nelle varie modalità descritte nel terzo capitolo. Come

osservabile in Figura 10, nell'ambiente virtuale delle UI per il Web3D, oltre al modello tridimensionale, possono essere rappresentati altri elementi informativi bidimensionali come testo, immagini e video. A seconda della tecnologia impiegata, della quantità e della tipologia di informazioni o delle scelte implementative dello sviluppatore, le informazioni bidimensionali e l'ambiente virtuale possono essere integrati in posizioni e dimensioni diverse e complementari della pagina HTML e del viewer 3D. Le caratteristiche fisiche dell'ambiente di visualizzazione tridimensionale di cui fanno parte gli stessi modelli oggetto di visualizzazione, sono dipese sostanzialmente dagli strumenti e tecnologie messi a disposizione dal viewer o dal browser, come valori di scripting o proprietà dei tag HTML, come ad esempio il colore di sfondo degli ambienti in tecnologia XVR in assenza di texture, ma soprattutto dagli obiettivi dell'applicazione (o il target) e dalle caratteristiche fisiche del modello stesso.

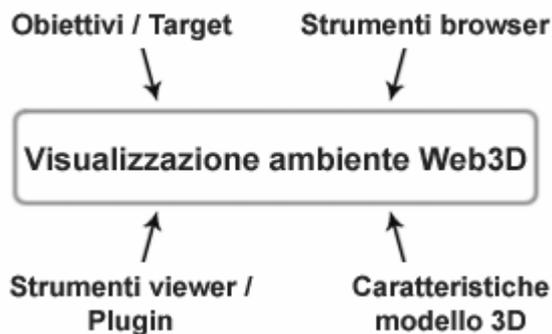


Figura 11. I fattori che caratterizzano la struttura dell'ambiente Web3D

Per descrivere operazioni e contesti complessi sono utilizzate situazioni familiari che riflettono metafore di realtà quotidiana, per essere meglio comprese dall'utente. “Le metafore riproducono concetti, conosciuti dall'utente in un contesto, al fine di trasferire questa conoscenza in un nuovo contesto legato all'esecuzione di un certo task” (Carrozzino, 2009), perciò una buona metafora deve essere rappresentativa del task e compatibile con la conoscenza dell'utente. Uno degli esempi più consolidati e utilizzati è quello della metafora della

scrivania come rappresentazione standard dei sistemi operativi. Nel caso di rappresentazioni Web3D per i beni culturali, sulla base degli obiettivi dell'applicazione, dei soggetti verso i quali questa è indirizzata, della dimensione e natura dell'oggetto rappresentato e di altri fattori caratterizzanti descritti precedentemente, l'acquisizione e la riproduzione dell'ambiente può assumere diverse caratteristiche visuali e strutturali come metafore di fruizione culturale o azioni dell'utente su diversi livelli di astrazione, più o meno avvicinano l'esperienza virtuale alla simulazione di quella reale:

- Ambiente irreale, astratto;
- Ambiente neutro, monocromatico;
- Metafora del laboratorio;
- Metafora del museo;
- Metafore di architettura;
- Metafora della città;
- Metafora del Mondo;

Esempi più significativi di ambiente irreale, astratto, sono gli **Information Landscapes (IL)** “paesaggi di informazione”. Sono particolari ambienti virtuali che non hanno una chiara corrispondenza con una controparte reale ma sfruttano lo spazio tridimensionale per mappare le relazioni semantiche fra i dati in relazioni spaziali. Il lettore si muove virtualmente in mezzo a strutture testuali che sono poste all'interno di un ambiente digitale 3D più o meno astratto. Nel tempo gli IL si sono evoluti in MIL (*Multimedia Information Landscapes*) i quali permettono l'esplorazione di diversi tipi di contenuto (inclusi video, foto, musica etc.) usando la stessa metafora di navigazione dell'IL.

L'ambiente neutro o monocromatico è spesso impiegato per la visualizzazione di un singolo oggetto. In simili casi l'ambiente virtuale è spesso costituito solamente da uno sfondo neutro e dall'oggetto della visualizzazione, dotato di una barra degli strumenti per la manipolazione nel caso la tecnologia utilizzata lo permetta. I soggetti che in genere usufruiscono di questi tipo di rappresentazione sono studiosi, storici, archeologi e per questo l'interfaccia dovrebbe permettere un

recupero più dettagliato e completo delle informazioni riguardanti l'oggetto digitalizzato. La **metafora del laboratorio** è un ambiente simile, ma con lo scopo di ricreare un contesto di restauro virtuale, per cui dovrebbero essere disponibili ulteriori strumenti per ricreare una vera e propria manipolazione delle caratteristiche fisiche dell'oggetto. Questo tipo di metafora non è stata rinvenuta tra le più comuni applicazioni Web3D.

Nella **metafora del museo** in genere le varie sezioni o gruppi di opere tridimensionali sono suddivisi tramite la metafora della stanza del museo, che può essere la riproduzione di un museo reale o un'ideazione originale. I passaggi da una sezione all'altra sono rappresentati da porte di collegamento o archi. Alcuni ambienti sono molto vasti e necessitano per questo una progettazione su più livelli o "piani" collegati tra loro da scale, corridoi virtuali o porte per il "teletrasporto". Questo genere di rappresentazione richiede un impiego più complesso e articolato della tecnologia per l'ottenimento di maggiori livelli di realismo in relazione all'illuminazione, shaders, modellazione e textures.

La **metafora di architettura** e quella della **città** sono simili alla metafora del museo reale. Sono le caratteristiche fisiche della stessa architettura o della città rappresentata a determinare la struttura e le proprietà cromatiche dell'ambiente virtuale. In genere nel Web3D non sono rappresentate intere città ma aree limitate come piazze o complessi architettonici, questo perchè sono preferite piattaforme indipendenti come **metafora del globo terrestre** o di un **mondo irreale** come Google Earth e SecondLife, le quali sono progettate per la gestione di grandi quantitativi di dati su superfici estese.

Nel web tradizionale tutti gli elementi sono posizionati secondo standard ormai consolidati per cui, similmente a come accade per esempio nella produzione di testate giornalistiche, determinate posizioni sono riservate a precisi elementi fondamentali, come il logo e il menu del sito, e il percorso di navigazione è sviluppato secondo una struttura ad albero per cui ogni elemento è raggiungibile attraverso l'apertura di sottosezioni. L'utente sa come selezionare un iperlink per accedere ad un'altra pagina, sa dove trovare il menu principale per accedere alle

varie sezioni del sito e dove trovare il menu secondario per approfondire l'argomento di interesse, sa distinguere gli elementi interattivi come hiperlink, form, video e piccole animazioni flash da quelli statici come il semplice testo e le immagini. Nel Web3D, proprio perchè le metafore di visualizzazione sono più rappresentative dei modelli della realtà, è molto difficile, se non in alcuni casi impossibile, cercare di definire degli schemi di posizionamento delle informazioni comuni e validi per la maggior parte di siti di questo tipo. Ogni ambiente virtuale, specialmente se volto a simulare un museo o un complesso architettonico reale, sarà articolato su un sistema di gestione delle informazioni a sé stante, ma che comunque può essere implementato seguendo delle regole generali di coerenza e chiarezza nell'esposizione dei contenuti tridimensionali e non solo.

In linea generale, soprattutto nel museo virtuale, le proprietà fisiche dell'ambiente non dovrebbero in alcun modo interferire con la corretta visualizzazione dei modelli oggetto di osservazione. Alcuni limiti alla libera visualizzazione degli oggetti possono infatti essere indotti da particolari porzioni dell'architettura circostante, la quale può intromettersi tra il campo visuale della camera e l'oggetto, come muri, colonne, porte e simili, oppure "appesantire" eccessivamente il rendering complessivo dell'ambiente, rendendo l'interazione più lenta e meno fluida. Altri limiti di interferenza visuale possono derivare dalla gestione dell'avatar, non necessario soprattutto in ambito di fruizione culturale monoutente e che può anzi limitare notevolmente il campo visivo, oppure dall'inserimento di immagini ed elementi testuali in posizioni troppo ravvicinate o fluttuanti: è importante progettare il posizionamento di tali elementi considerando il supporto della pagina HTML. La qualità della fruizione può essere inoltre contrastata dalla scelta di un'illuminazione ambientale non idonea, la quale può alterare la percezione del tono delle superfici dei modelli o non garantire la completa visualizzazione di alcune aree del modello per effetti di ombreggiature o eccessiva specularità delle superfici, oppure la distinzione della forma dell'oggetto può essere alterata dalla scelta di uno sfondo a basso contrasto o poco neutrale. Spesso è stata riscontrata un'ampiezza insufficiente dell'interfaccia, di

cui le dimensioni del quadro di visualizzazione ridotte possono impedire un'utile visione d'insieme di tutto l'ambiente. Un'alternativa, specialmente per ambienti vasti o complessi dove è indispensabile ottenere la massima estensione della visuale, consiste nella possibilità di scegliere tra la modalità fullscreen o finestra, come in alcune applicazioni quali Cortona3D. Per ottenere maggiore spazio di visualizzazione, alcune come applicazioni come ad esempio quelle utilizzate nelle rappresentazioni virtuali del Louvre, permettono di nascondere il pannello delle istruzioni di interazione su richiesta dell'utente. Riassumendo le principali limitazioni alla libera e corretta visualizzazione in ambienti Web3D per i beni culturali possono configurarsi per i seguenti motivi:

- Architettura invasiva;
- Utilizzo di un avatar;
- Immagini e testo troppo vicini al modello;
- Tonalità e intensità dell'illuminazione inadeguate;
- Colori di sfondo non neutri;
- Scarsa ampiezza della visuale.

L'architettura e/o l'illuminazione dell'ambiente aggiungono informazione o rendono più difficile la corretta visualizzazione dell'oggetto?

Nessuna delle due	42%
Aggiungono informazione	56%
Rendono difficile l'interazione	2%

Tabella 16. Risultati intervista

Viceversa, come mostrato anche dai risultati dall'intervista agli utenti nella Tabella 16, una particolare architettura o illuminazione, o l'inserimento di ulteriori oggetti e immagini in musei virtuali possono notevolmente aumentare l'informazione e contribuire ad una più chiara contestualizzazione del periodo

storico di riferimento o del luogo reale di provenienza di un reperto, o ancora fornire informazioni biografiche e critiche sull'autore di un'opera. In alcuni casi elementi architettonici come pareti e porte sono necessari per impedire l'interferenza tra gli oggetti o creare un contesto di visualizzazione, nonostante questo riduca la libertà di navigazione.

4.2.1. Il recupero delle informazioni

Nel Capitolo 2 sono state valutate le informazioni trasmesse in contesti Web3D per i beni culturali dal punto di vista della qualità e l'integrità delle stesse, verificando come queste possano essere comprese dall'utente e come possa essere documentato il processo di generazione e selezione di tali informazioni sulla base degli obiettivi e della tipologia di contenuto del messaggio che è inteso trasmettere. Abbiamo visto come queste consistano nella scena tridimensionale e nei modelli tridimensionali in essa contenuti, ma spesso anche in immagini, testi, video e audio. Nel "Museo Virtuale delle Radici europee" ad esempio, l'applicazione 3D è accessoria e di approfondimento per una rappresentazione con ampie descrizioni testuali e fotografie dei dettagli degli oggetti.

La quantità e la tipologia di informazioni mediate dipendono soprattutto dal target dell'applicazione, ma in generale tutti gli utenti intervistati sono concordi nel fatto che il testo e le immagini bidimensionali aggiungano informazioni utili anziché rendere difficile la visualizzazione, indipendentemente dallo scopo dell'applicazione, e che almeno in parte velocizzino il raggiungimento degli obiettivi. In un museo virtuale, i visitatori saranno nella maggioranza curiosi o turisti virtuali, per i quali i modelli non dovranno essere rappresentati al massimo della risoluzione ottenibile, ma mantenere comunque un certo grado di fedeltà senza rallentare la navigazione. Differentemente da sistemi di realtà virtuale per l'introduzione di visite in musei dal vivo, in cui la rappresentazione virtuale è utile per introdurre ai contenuti generali e spiegare come muoversi all'interno dell'ambiente, la rappresentazione interamente virtuale sostituisce la visita dal vivo e per questo dovrà fornire più informazioni per una maggiore

contestualizzazione, soprattutto di natura testuale, ma anche sotto forma di guide audio, come ad esempio la voce narrativa attivabile nella Piazza dei Miracoli virtuale. Dati diversi dovranno essere rappresentati per specialisti e studiosi. Ad esempio, un archeologo necessiterà di dati relativi alle volumetrie degli oggetti visualizzati, vorrà poter misurare le varie parti del modello e sezionarlo per osservare chiaramente anche le zone interne, vorrà ottenere informazioni sui materiali e i colori e posizionare varie etichettature in corrispondenza di porzioni dell'oggetto ritenute interessanti. In tal caso il modello dovrà essere riprodotto al massimo della fedeltà all'originale ottenibile tramite scansione e anche le texture dovranno essere ad alta risoluzione e ottenute tramite ripresa fotografica panoramica. Ulteriori informazioni molto utili potranno essere ottenute nell'allegare immagini bidimensionali ad alta risoluzione che permettano di confrontare a distanza il modello originale e quello digitalizzato.

La tecnologia utilizzata per l'implementazione determina significativamente il livello di personalizzazione del modello di visualizzazione ottenibile. Spesso alcune tecnologie utilizzate, se da una parte sono molto più semplici da gestire per realizzare e gestire le applicazioni, dall'altra risultano molto limitanti per la visualizzazione. Per esempio QuickTimeVR impone l'utilizzo di immagini bidimensionali in una visuale a 360° gradi molto semplice da realizzare ma altrettanto limitante per l'interazione e la corretta visualizzazione degli elementi, che sono molto realistici perchè ottenuti direttamente dalle foto scattate sui soggetti reali ma non tridimensionali e non adatti per un'analisi ravvicinata o la manipolazione degli oggetti. Viceversa, il viewer PDF3D, utilizzato per la visualizzazione e la manipolazione di un singolo oggetto, è dotato di una vasta gamma di strumenti che consentono la personalizzazione dell'ambiente su vari livelli di visualizzazione:

- Scelta dei colori di sfondo;
- Scelta dei toni di illuminazione sul modello;
- Impostazione del colore di evidenziazione modello;
- Impostazione del colore del riquadro di ritaglio del modello;

- Visualizzazione del modello 3D in prospettiva oppure ortogonale;
- Rendering del modello 3D da uniforme a nuvola di punti (reticolo, opaco, solido, etc.).

Ulteriori funzionalità integrate nel viewer PDF3D permettono di ottenere informazioni descrittive e specifiche sulle qualità fisiche degli oggetti come la misurazione. In Figura 12 è mostrato il tool dotato di molteplici metodi di misurazione.

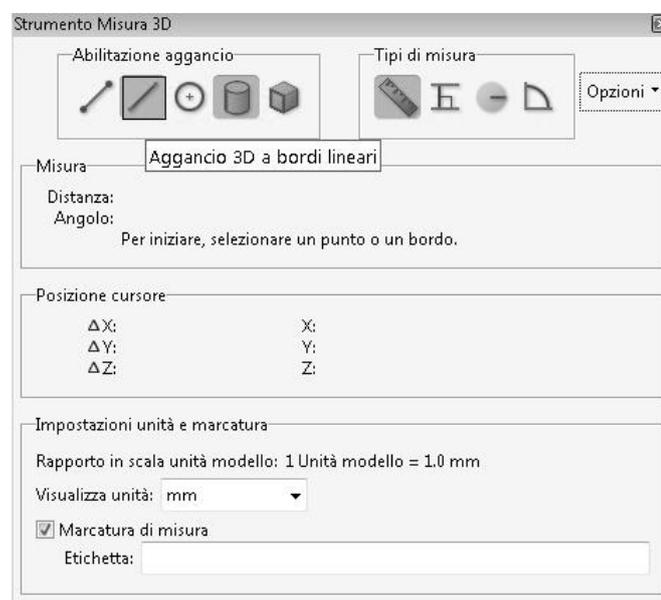


Figura 12. Il tool di misurazione del viewer PDF3D

Per assicurare visibilità a queste informazioni e renderle più facilmente raggiungibili e ottenibili è indispensabile che queste siano posizionate e costruite secondo attributi che incrementino la visibilità dei modelli tridimensionali, dei testi, delle immagini e siano ben integrate nell'ambiente virtuale o nella pagina HTML. Le regole di base per creare una gerarchia delle informazioni sono le stesse sia per ambienti 2D che 3D: i colori, le dimensioni, le posizioni e le forme sono riconosciuti e valutati dall'utente in ordine di priorità. Per questo un elemento più vicino, più grande o con un colore più evidente sarà riconosciuto dall'utente come più importante. Per attirare la sua attenzione verso le zone più

rilevanti e creare percorsi logici narrativi, oppure per agevolarlo nei processi cognitivi al fine di garantire una più solida memoria del percorso e delle vie di fuga in caso di smarrimento, può rivelarsi utile inserire dei landmarks all'interno dell'ambiente virtuale, che possono essere costituiti da oggetti con colori distintivi o di dimensioni maggiori, oppure puntatori costituiti da fasci di luce che illuminano determinate aree.

Nonostante la maggioranza degli utenti preferirebbe visualizzare testi e immagini direttamente all'interno dell'ambiente virtuale, i testi di approfondimento e documentazione sulla progettazione e le fonti devono necessariamente essere posizionati all'esterno dell'ambiente 3D per evitare interferenze o caos visivi, ma comunque all'interno dello stesso contesto web. La gestione dei testi e delle immagini deve seguire le regole di usabilità e accessibilità del web tradizionale. Come ausilio al rintracciamento di queste informazioni, possono essere adottate tecniche di ricerca basate sull'accesso per contenuto (tecniche tipo *object oriented* o morfologico) o sulla navigazione (tecniche ipermediali).

L'accesso a queste informazioni, può avvenire tramite un premezza HTML all'interno del sito stesso, come "True Cross", o come nel sito del "Vihap3D"⁵⁴, nel quale per ogni scultura, architettura o ceramica collezionata è mostrata una scheda indicante le informazioni primarie sul modello originale e i dettagli riguardo l'acquisizione del modello (in questo caso scannerizzato). Un caso di sito web completo e riportante informazioni molto dettagliate è il "Virtual Hampson Museum", dove le descrizioni approfondite sulla storia degli oggetti, sulla contestualizzazione, sull'acquisizione modelli e la progettazione sono separate dal 3D. Oppure l'interfaccia può disporre contemporaneamente di una sezione dedicata alla scena virtuale e di una sezione con approfondimento testuale e immagini, come nelle rappresentazioni virtuali del Louvre, dove le informazioni descrittive e la storia dell'opera sono poste accanto alla scena 3D. Possono inoltre essere integrati links a pagine esterne HTML, o tramite l'apertura di finestre di

⁵⁴ <http://www.vihap3d.org/3dgallery/sculptures/angelo1.html>

approfondimento come nel “Museo delle Arti Tessili”, dove le informazioni sono ottenibili cliccando sull’oggetto (in tal caso è aperta una finestra con immagini 2d ad alta risoluzione e testo descrittivo), oppure come in Organismuseum, dove le informazioni sono ottenibili su selezione del tasto “I” accanto all’opera.

Similmente ai contesti rappresentativi degli Information Landscapes, immagini e informazioni testuali possono essere integrati all’interno dell’ambiente tridimensionale. I dati possono essere affiancati al modello tridimensionale o posizionati in punti di accesso della scena sotto forma di totem informativi o testi fluttuanti. Tali informazioni dovrebbero consistere in genere in dettagli riferiti all’intero oggetto o ad alcuni particolari di esso, quali i materiali, le tecniche di acquisizione, un particolare episodio storico, etc. Al passaggio del mouse sui modelli dovrebbero apparire i titoli degli stessi, similmente all’attributo *alt* dei tag di immagine HTML. Un metodo di posizionamento delle immagini non riscontrato nelle applicazioni osservate, ma che potrebbe risultare utile nella visualizzazione ravvicinata dei modelli, potrebbe consistere nell’integrazione all’interno della scena 3D delle immagini ottenute da fotografie sull’opera originale, le quali apparirebbero al passaggio del mouse su particolari punti del modello e permetterebbero così un confronto immediato tra l’oggetto reale e quello digitalizzato. Un test per valutare l’efficacia e il gradimento di tale metodo da parte dell’utente è descritto nel capitolo successivo.

Un buon sistema di rappresentazione Web3D per i beni culturali deve quindi saper collegare nella maniera più diretta e meno invasiva i vari elementi multimediali all’oggetto tridimensionale. Un modello 3D è la base di partenza per una documentazione dello stato dell’opera e per la sua presentazione visiva; tale modello è uno strumento di grande importanza per lo studio, la conservazione e la promozione del bene. Affinché sia mantenuta una coerenza comunicativa che possa giustificare l’impiego della forma tridimensionale per la mediazione del contenuto culturale è indispensabile che il modello 3D riproduca soddisfacentemente il soggetto originale. Il livello di fedeltà è dato principalmente dal numero e dal posizionamento dei poligoni che vanno a comporre la forma del

modello e dalla qualità della texture che va a rivestirne la superficie. Come già ricordato, il maggior livello di dettaglio di entrambe le componenti è ottenibile attraverso la scansione laser e la ripresa panoramica rispettivamente sull'oggetto originale. Le proprietà speculari e di diffusione della luce sia del modello che dell'ambiente vanno a determinare ulteriormente il livello di realistica della scena virtuale. Vi sono alcuni casi in cui la coerenza comunicativa viene meno, ovvero casi in cui applicazioni finalizzate all'osservazione ravvicinata e dettagliata del modello non dispongono di scenari comparabili con opere reali, per cui risulta addirittura preferibile usufruire di immagini bidimensionali per ottenere informazioni sufficientemente esaustive. Oppure casi in cui nonostante il modello sia costituito da migliaia di poligoni, questi non sono sfruttati nella maniera più efficace, perché senza una rispettiva texture o perché ottenuti con tecnologie improprie. È il caso, ad esempio, delle rappresentazioni dell'archivio di architetture di "CyArk", nel quale i modelli sono costituiti da nuvole di punti (o vertici) complesse ma non visualizzabili in modalità uniforme, impedendo la corretta interpretazione delle geometrie del modello e della qualità delle superfici. In Tabella 17 è osservabile come solamente poco più della metà dei riscontri ha evidenziato una completa soddisfazione dell'utente rispetto alla riproduzione digitale del soggetto originale.

<i>Il modello riproduce in modo soddisfacente il soggetto originale?</i>	
No	9%
In parte	31%
Si	60%

Tabella 17. Risultati intervista

In altri casi può verificarsi che l'eccessiva complessità computazionale richiesta dall'ambiente virtuale costituisca un ostacolo alla fluidità della navigazione,

soprattutto in ambienti non destinati allo studio approfondito di un particolare modello, ma alla visita del turista virtuale. Una soluzione può essere un sistema che permetta la visualizzazione di modelli complessi non solo sfruttando diversi LOD, ma su diversi gradi di risoluzione, consentendo all'utente di scegliere quella a lui più gradita. Un metodo di personalizzazione della visualizzazione simile è stato osservato nel "Livio3D", dove è possibile modificare la qualità dell'ambiente su quattro livelli di dettaglio. Circa la metà degli utenti intervistati avrebbe preferito usufruire di un metodo di personalizzazione simile tra le applicazioni online testate, soprattutto per ottenere un'interazione più fluida. Una soluzione diversa è stata implementata in "ScanView", un modello applicativo su piattaforma indipendente, ScanView, che sfrutta un modello semplificato in fase di manipolazione dell'oggetto, ed effettua una richiesta al server del modello ad alta risoluzione al termine di ogni operazione, inviando in output una rappresentazione molto più dettagliata.

4.3. Strumenti e modalità di interazione nella VR desktop e nel Web3D

L'interazione consiste nella possibilità dell'utente di modificare l'ambiente e, da parte dell'ambiente, di rispondere alle azioni dell'utente. Indipendentemente dalla tipologia di interfaccia e dagli elementi multimediali in essa contenuti e rappresentati, l'interazione deve permettere il controllo dello svolgimento degli eventi e la scelta delle azioni da compiere e dei tempi di consultazione. Il modo più adatto e collaudato per raggiungere tali scopi consiste nel progettare l'interazione secondo i modelli mentali comuni o specifici delle esperienze dell'utente, utilizzando metafore che permettano di riconoscere il contesto di interazione, supportando l'utente nelle difficoltà relative a impedimenti fisici o ambientali e rispettando gli standard di sviluppo (Marini et al, 2001).

La VR è un ambiente ancora universalmente inesplorato: i soggetti che hanno sperimentato l'interazione con questo tipo di ambienti sono pochi e comprendono soprattutto i *player* di videogiochi per console o PC. I fruitori del *Web3D* appartengono a una popolazione ancora più ridotta di sperimentatori in quanto a

tutt'oggi sono ancora pochi i siti web che sfruttano questo tipo di tecnologia per la mediazione dei contenuti. Proprio perchè questi sistemi sono ancora sconosciuti per molti, le prime reazioni di chi si interfaccia per la prima volta con un'applicazione Web3D sono di curiosità e interesse specialmente ludico. L'utente prova a misurarsi con il nuovo contesto aspettandosi in primo luogo di poter navigare all'interno dello spazio tridimensionale per esplorare l'ambiente e valutarne il livello di realismo, e di poterlo fare sfruttando le metafore e gli strumenti normalmente a sua disposizione per navigare nel web e interagire con le classiche pagine Html o Flash. Quando ciò non è possibile, ovvero quando la pressione dei pulsanti della tastiera o principalmente il movimento del mouse non provocano alcun feedback del sistema o azioni non convenzionali, il soggetto percepisce un'immediata frustrazione che comporta inevitabilmente all'abbandono dell'applicazione per navigare altrove. In fase di esplorazione delle varie applicazioni Web3D per i beni culturali si sono presentati spesso vari limiti di interazione, evidenziando che molte interfacce riportano metafore di interazione non immediatamente comprensibili e ostiche anche per utenti esperti. Inoltre, è stata riscontrata una carenza di segnali visivi o sonori che permettano di distinguere agevolmente gli oggetti interagibili da quelli statici o inattivi. Per questo è necessario anzitutto individuare e classificare le tipologie e i metodi di interazione utilizzati nei vari contesti per identificare le attività più consolidate e comprenderne le motivazioni, i limiti e i vantaggi, affinché possano essere redatte delle considerazioni e linee guida utili allo sviluppo di applicazioni più intuitive, efficienti e flessibili in relazione agli obiettivi e al target della comunicazione, e migliorare quelle già esistenti.

Il tipo di interazione nella VR può assumere diverse forme e modalità dipendenti dal livello di mediazione tra l'utente e l'ambiente virtuale. Solitamente vengono distinti due metodi di interazione principali: l'*interazione diretta*, e l'*interazione mediata*. Nell'*interazione diretta* l'utente ha uno scambio di input immediato con l'ambiente virtuale, che può avvenire per esempio in ambienti CAVE, per mezzo di occhiali stereoscopici e *Virtual Hands*. Nell'*interazione mediata* l'utente

interagisce con l'ambiente per mezzo di un *avatar*; la simulazione del campo visivo dell'utente determina una partecipazione in prima persona, la simulazione di una figura umana appena più avanti del campo visivo dell'utente e che interagisce per conto di quest'ultimo determina una partecipazione in terza persona. In ambienti Web3D l'interazione può essere molto forte e attiva, ma risulta esclusivamente mediata, questo per restrizioni imposte dalle periferiche hardware, limitate e quasi del tutto prive di sistemi di input sensoriali. Gli obiettivi dell'applicazione influenzano la scelta degli sviluppatori nel dotare o meno le applicazioni di un *avatar* personalizzabile con il quale l'utente può muoversi all'interno dell'ambiente e selezionare gli oggetti. Difatti, in applicazioni Web3D per la mediazione culturale spesso il soggetto si ritrova a interagire in prima persona con l'ambiente per l'ottenimento di una visuale sgombra da interferenze con gli oggetti di studio. Viceversa, in applicazioni Web3D a scopo commerciale, pubblicitario, di intrattenimento e soprattutto multi-utente, l'*avatar* è utilizzato come alter ego dell'utente, che così può sentirsi più immerso nell'ambiente virtuale e imporre la sua individualità al cospetto degli altri utenti.

A differenza di applicazioni web tradizionali, ormai adattate e facilmente manipolabili ed esplorabili attraverso dispositivi portatili e comprensivi di touchscreen, la visualizzazione di ambienti Web3D può avvenire esclusivamente in contesti di *VR Desktop* necessitando dell'utilizzo di un monitor per visualizzare e di una tastiera e di un mouse per interagire. Nell'ultimo anno le tecnologie touchscreen hanno iniziato a espandersi a ritmo esponenziale tra i consumatori di massa, grazie alla commercializzazione di strumenti portatili come iPhone e, ultimamente, iPad. Gli utenti stanno imparando a selezionare, trascinare e manipolare immagini e applicazioni semplicemente facendo scorrere le dita sullo schermo del dispositivo, quest'ultimo sempre più sensibile e dalla precisione millimetrica. Sul mercato stanno cominciando ad affacciarsi tecnologie touchscreen per piattaforme desktop e PC portatili, e questo potrebbe costituire un punto di svolta per la sperimentazione di queste nuove metodologie di interazione

per cercare di migliorare e rendere più intuitive ed accessibili le implementazioni Web3D.

Comunque, ad oggi, gli strumenti di controllo disponibili alla maggioranza degli utenti della rete, sia utenti avanzati che di scarse conoscenze informatiche, comprendono sostanzialmente il monitor, la tastiera, il mouse e il joystick, quest'ultimo raramente impiegato e mai integrato nelle applicazioni osservate. Come già accennato, il monitor è utilizzato esclusivamente come dispositivo di output per la visualizzazione dell'ambiente. La tastiera è in genere utilizzata per spostare la camera o muovere l'*avatar* avanti, indietro, a destra o a sinistra all'interno dell'ambiente, per mezzo delle frecce o alcune lettere, in genere *w*, *a*, *s*, *d* corrispondenti alle quattro direzioni; la barra spaziatrice è utilizzata per far saltare l'*avatar* nel caso esso sia presente. La tastiera non è mai utilizzata per selezioni rapide e comandi veloci, come invece accade per i link in pagine Html, strumenti utili per l'accessibilità.

Il mouse è uno strumento di puntamento prettamente ideato per l'interazione in due dimensioni, nel web tradizionale è impiegato principalmente per la visualizzazione di semplici pagine Html o animazioni Flash, selezionare gli hyperlink e spostarsi così tra le varie pagine web, oppure interagire con le forms per personalizzare la visualizzazione e recuperare specifiche informazioni. Il puntatore indica esattamente la posizione in cui l'utente sta interagendo e alcuni segnali visivi spesso restituiscono un feedback del sistema a indicazione dell'avvenuta selezione dell'oggetto o dell'attivazione di una funzione (colori, stili dei link e dei pulsanti, effetti sonori e altro); con la rotella del mouse la pagina Html è trascinata dall'alto in basso e viceversa; premendo il tasto sinistro è possibile selezionare testi e immagini, attivare un link, una form, uno script o un'animazione, secondo il metodo denominato "point-and-click", che descrive appunto l'azione dell'utente di muovere il cursore del mouse in direzione di un punto determinato e premere il tasto sinistro del mouse; in genere il tasto destro del mouse non è utilizzato per navigare nel web, ma per attivare funzioni indipendenti. In contesti di *VR Desktop* e Web3D, questo dispositivo è adattato

all'ambiente tridimensionale, divenendo spesso un unico strumento multifunzionale con cui gestire il campo visivo, per muoversi e navigare all'interno dell'ambiente tridimensionale, ruotare e posizionare la camera, selezionare e manipolare gli oggetti oppure impartire comandi e recuperare le informazioni. Il puntatore del mouse spesso sparisce dall'interfaccia e altri segnali devono essere integrati nella visualizzazione per informare l'utente riguardo l'area in cui sta interagendo e quali elementi sono attivati. In alcuni *viewer* è disponibile il *pannello degli strumenti predefiniti* o *tool bar*, che fornisce un menu elencante le modalità di visualizzazione e navigazione all'interno dell'ambiente. Le funzionalità del mouse ritornano così allo stato di interazione in due dimensioni e l'utente può selezionare le icone per modificare in tempo reale lo stato della navigazione o la modalità di visualizzazione degli oggetti.

Queste nuove metodologie di utilizzo degli strumenti di interazione in tre dimensioni richiedono un certo grado di addestramento iniziale per essere comprese e assimilate, e spesso risultano non del tutto agevoli, accessibili o usabili per gran parte degli utenti, come sottolinea inoltre Jakob Nielsen nel suo "Web usability", affermando che "la tridimensionalità non avrà mai un gran ruolo nelle interfacce finché non disporremo di uno strumento di controllo che sia realmente tridimensionale." Per questo si rivela opportuna un'analisi e una categorizzazione delle consuetudini, dei vantaggi e dei limiti presenti in ambito dei tipici task e metafore di interazione della VR desktop e del Web3D, che dall'osservazione effettuata sulle principali funzioni e metodi di utilizzo degli strumenti di interazione, sono risultate essenzialmente in tre tipi: navigazione, selezione e manipolazione di oggetti.

4.3.1. Navigazione e orientamento

Affinché l'obiettivo della rappresentazione venga raggiunto, ovvero affinché le informazioni siano mediate correttamente e in tempi accettabili per l'utente, è importante che il sistema di navigazione e gli strumenti di supporto all'orientamento agevolino l'utilizzatore nel raggiungimento del task,

garantendogli un adeguato grado di libertà nella scelta dei movimenti e delle azioni da compiere.

Nel gergo informatico, con il termine “navigazione” è intesa un’operazione atta a “consultare un ipertesto, e in particolare le pagine di un sito Internet, attivando le varie connessioni logiche” (Sabatini Coletti, 2010), quindi “muovendosi all’interno di una rete informatica” esplorando diverse pagine web collegate tra loro attraverso collegamenti ipertestuali appartenenti ad uno stesso sito, o attraverso *hyperlink* a siti diversi. Nel Web3D il significato di “navigazione” ha un’accezione più estesa intendendo non solo la modalità ipertestuale di recupero delle informazioni, ma il metodo di interazione impiegato per esplorare l’ambiente virtuale, che non avviene solamente per collegamenti selezionabili con un click del mouse, ma necessita di ulteriori strumenti e input per muoversi all’interno dell’ambiente tridimensionale, secondo paradigmi differenti come i più comuni *walk, fly, examine*, i quali richiedono a loro volta ulteriori metodi di gestione specifici come il ruotare la vista, ruotare gli oggetti, spostarli o teletrasportarsi (Zara, 2004). Difatti, in questo contesto, la digressione sulle modalità di navigazione e orientamento nel Web3D verterà sia sulla gestione della navigazione e dell’orientamento intesa come recupero delle informazioni e come feedback sullo stato della visualizzazione in termini di posizionamento all’interno dell’ambiente virtuale, sia sui metodi di interazione tra le interfacce hardware e software per la gestione dei movimenti della camera o dell’avatar all’interno dello stesso.

Così come nelle pagine web tradizionali, la gestione della navigazione intesa come collegamento diretto ai contenuti può avvenire tramite l’implementazione di un menu con voci testuali o immagini selezionabili, che riassumono la struttura e il contenuto globale del sito e danno la possibilità di raggiungere istantaneamente l’oggetto della visualizzazione desiderato. Il menu può essere inoltre esteso in sottosezioni che permettono di raggiungere su selezione specifiche aree di una singola opera per una visualizzazione più dettagliata. Purtroppo solamente una piccola percentuale delle applicazioni osservate ha utilizzato il menu come

strumento di gestione e collegamento diretto ai contenuti. Tra queste, il “Museo delle Arti Tessili”, nel quale ogni stanza del museo e ogni oggetto della collezione è raggiungibile tramite la selezione della relativa voce di menu; la “Piazza dei Miracoli” virtuale, dove il menu è sfruttato per la visualizzazione in 4D delle diverse riproduzioni della Piazza differenziate in base a differenti periodi storici; il “Museo delle Pure Forme”, nel quale ogni opera è raggiungibile solamente attraverso la selezione del relativo link dal menu di immagini; “Storia della Vera Croce”, dove la vista sugli affreschi è riposizionabile e ridirezionabile in corrispondenza dell’area selezionata dal menu.

Nel corso d’osservazione della navigazione adottata in molte applicazioni come “OrganisMuseum”, “Storia della Vera Croce” o le ricostruzioni virtuali del Louvre, quali ad esempio “Villa Borghese in 1807”⁵⁵, “The Bawit Monastery”⁵⁶ e “Charles le Bruns Drawings Louvre”, è stata riscontrata una resa più semplice e veloce della navigazione tramite la selezione diretta dell’opera, che provoca l’avvicinamento della camera in direzione della stessa. Paragonabile al metodo ipertestuale di recupero delle informazioni, la possibilità di selezionare direttamente un’intera opera o una parte di essa in fase di navigazione all’interno dell’ambiente virtuale provoca l’immediato avvicinamento della camera in direzione dell’elemento desiderato, secondo la tecnica POI (dall’inglese *point-of-interest*, letteralmente “punto d’interesse”) utilizzata soprattutto in ambito di applicazioni GIS. Un’ulteriore forma di navigazione tridimensionale paragonabile al modello ipertestuale è riscontrabile nella metafora della “porta”, ovvero nel passaggio da una stanza all’altra del museo virtuale tramite selezione diretta di una porta virtuale. L’unico esempio di questa metafora di interazione è stato individuato nel “Museo delle Arti Tessili”.

Nei casi in cui l’ambiente sia particolarmente vasto o intricato e senza chiari punti di riferimento, o nel caso in cui le diverse aree dello stesso siano molto simili tra loro per la stessa struttura e per le opere installate, possono insorgere limiti e

⁵⁵ http://musee.louvre.fr/expo-imaginaire/borghese/introduction_en.html

⁵⁶ <http://musee.louvre.fr/expo-imaginaire/baouit/en/index.html>

difficoltà di “orientamento”, inteso come la facoltà dell’utente di saper identificare la posizione corrente all’interno dell’ambiente virtuale e saper ricordare il percorso precedentemente intrapreso, e l’utente può ritrovarsi disorientato al punto da abbandonare l’applicazione. Per ovviare a tali limiti, l’orientamento in siti web tradizionali, intesi come rappresentazione in due dimensioni delle informazioni, è facilitato attraverso la titolazione delle pagine e il supporto delle cosiddette *breadcrumbs* o “briciole di pane”, una tecnica di navigazione che aiuta l’utente a tenere traccia della posizione corrente all’interno del sito. Nel *Web3D* queste possono essere sostituite da alcuni strumenti per la facilitazione della navigazione e dell’orientamento, che possono essere integrati sotto forma di metafore, corrispondenti ad oggetti utilizzati in contesti reali come mappe interattive, navigatori, cartelli, bussole. Tre esempi significativi di utilizzo di mappe interattive sono stati rinvenuti in occasione dell’osservazione dei tool implementati in piattaforme autonome ad accesso browser-indipendente come *SecondLife* e *GoogleEarth*, i quali devono gestire ambienti estremamente estesi, e nella rappresentazione virtuale dello “Smithsonian National Museum of Natural History”⁵⁷.

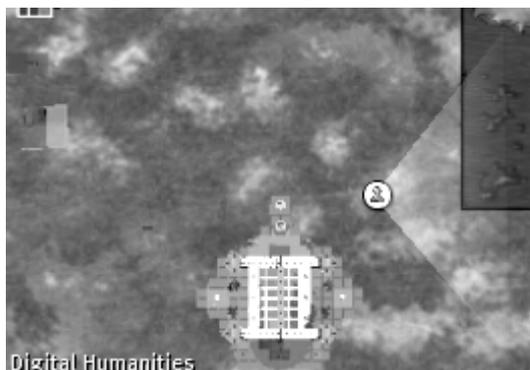


Figura 13. Mappa interattiva fornita dal viewer di SecondLife

Come mostrato in Figura 13, la prima applicazione dispone di una mappa interattiva di orientamento con un indicatore della posizione corrente all’interno

⁵⁷ <http://www.mnh.si.edu/panoramas/#>

dell'ambiente virtuale e della direzione di marcia (identificata da un fascio di luce), le diverse aree dell'interfaccia possono essere selezionate per permettere all'utente di teletrasportarsi istantaneamente da un luogo all'altro, riducendo drasticamente i tempi di navigazione. La seconda applicazione ha come scopo principale la gestione di una vera e propria mappa tridimensionale del globo terrestre, utilizzando un sistema di riferimento tramite coordinate e una mappatura testuale delle località. La visuale può essere avvicinata istantaneamente al luogo desiderato con un doppio clic del mouse sull'area relativa della mappa, secondo il sistema POI. L'integrazione di una bussola virtuale può rivelarsi utile per l'orientamento in quegli ambienti particolarmente estesi come SecondLife e Google Earth, ma superflua nel museo virtuale o applicazioni simili, costituendo anzi un overload informativo che potrebbe indurre per utente confusione nella gestione dell'interfaccia.

In Figura 14 è mostrato un interessante esempio di *mappa interattiva* utilizzata per facilitare la navigazione e l'orientamento dell'utente nella visita virtuale allo "Smithsonian National Museum of Natural History". La mappa rappresenta la corretta planimetria dell'edificio reale, riportando titoli e rappresentazioni iconografiche utili al riconoscimento delle diverse sale, raggiungibili istantaneamente selezionando con il tasto sinistro del mouse i relativi cerchi blu. Similmente all'indicatore di posizione in SecondLife, un fascio di luce restituisce la direzione di visualizzazione corrente e in più la dimensione dello stesso varia all'aumento o alla diminuzione dello zoom sull'area di vista.

Oltre al supporto della *mappa interattiva*, l'inserimento di indicazioni testuali nello spazio tridimensionale come metafora di "cartelli stradali" potrebbe rivelarsi molto utile al riconoscimento della posizione corrente della vista all'interno dell'ambiente virtuale, similmente ai titoli delle pagine Web Html, o per indirizzare la navigazione verso l'oggetto di interesse tramite frecce e tramite l'attivazione del teletrasporto su selezione, il quale ridurrebbe notevolmente i tempi di navigazione, ma non permetterebbe la visualizzazione di eventuali elementi informativi posizionati lungo i percorsi.



Figura 14. La mappa interattiva dello “Smithsonian National Museum of Natural History”

Per incentivare inoltre la memorizzazione del percorso intrapreso, potrebbe essere implementata una sorta di “carrello della spesa” simile a quello dei siti di e-commerce, ovvero un output testuale rappresentante l’elenco delle opere o degli ambienti visitati dall’utente. Sempre in Figura 14 è mostrato come questo sistema sia stato integrato nella mappa interattiva attraverso la colorazione diversa delle aree visitate (“visited”, di colore chiaro) rispetto a quelle non ancora visitate (“unvisited”, di colore scuro).

<i>Web in due dimensioni</i>	<i>Web3D</i>
Menu	Menu
Iper testo	Porta o POI
Titolo pagina	Cartello stradale
Breadcrumbs	Mappa interattiva con indicatori di posizione e direzione e/o bussola
Mappa del sito	
Carrello della spesa	Carrello della spesa

Tabella 18. Elementi di supporto alla navigazione e all’orientamento nel Web e nel Web3D

Come mostrato nella Tabella 18, la navigazione e l'orientamento in ambienti *Web3D* potrebbero essere facilitati attraverso l'integrazione di diverse metafore di interazione derivanti dai modelli di supporto alla navigazione consolidati in siti web per la mediazione di contenuti in forma bidimensionale e da metafore d'interazione dal mondo reale. Dai test condotti da Haik et al è emerso come alcuni di questi elementi di supporto migliorino effettivamente l'interazione facilitando l'utente nelle azioni e velocizzando il raggiungimento del task. In particolar modo l'ausilio della mappa interattiva ha più che dimezzato i tempi di completamento del task (dai 273.08 secondi impiegati senza nessun tool di supporto, ai 101.41 secondi impiegati con la mappa di navigazione) e aumentato l'abilità dell'utente nel ricordare la posizione delle informazioni.

Oltre al menu e alla navigazione POI, già individuati in alcune applicazioni nelle modalità precedentemente descritte anche se in una piccola percentuale, gli altri tool di supporto non sono stati rinvenuti praticamente in nessuna delle applicazioni *Web3D* osservate. In particolare, l'interazione con una mappa e l'inserimento di cartelli avrebbe velocizzato la navigazione e facilitato l'orientamento dell'utente in un ambiente particolarmente esteso e non differenziato come "OrganisMuseum", dove la struttura del museo è suddivisa su più piani identici e con installazioni di opere molto simili tra loro. Allo stesso modo l'integrazione di una mappa avrebbe facilitato il riconoscimento delle aree con strutture simili nelle architetture rappresentate in "3D Ancient Wonders", guidando l'utente tra i corridoi e le stanze delle ricostruzioni. L'efficacia di tali elementi di supporto è stata testata sugli utenti in fase di sperimentazione delle microapplicazioni specifiche, le cui modalità e risultati sono descritti nel capitolo successivo.

Per quanto riguarda il metodo di gestione dei movimenti all'interno dell'ambiente virtuale, dall'osservazione delle applicazioni selezionate sono stati identificati principalmente due metodi di navigazione, dipendenti dalle azioni imposte alla camera di visualizzazione e che in questa sede saranno denominati *navigazione statica* e *navigazione attiva*. Nella modalità di *navigazione statica* è l'oggetto

stesso della rappresentazione a essere roteato, al cospetto di una camera in posizione e direzione fissa, oppure la camera orbita attorno all'oggetto simulando una rotazione di quest'ultimo. Nella modalità di *navigazione attiva* avviene lo spostamento della camera o dell'*avatar* all'interno dell'ambiente virtuale, con conseguente rotazione e/o avanzamento della visuale, che può essere libero o avvenire lungo percorsi obbligati.

Il metodo di navigazione impiegato in ogni applicazione Web3D è legato in primo luogo all'obiettivo dell'applicazione, che influenza la struttura dell'ambiente e, conseguentemente, le modalità di esplorazione dello stesso. Quando lo scopo dell'applicazione risiede nel presentare esclusivamente un soggetto ai fini di studio, ricerca o conservazione, spesso è impiegata la modalità di *navigazione statica*, più semplice da gestire e libera da interferenze visuali e orientative. Alcuni esempi di *navigazione statica* sono stati riscontrati nella visualizzazioni di collezioni di singoli oggetti tridimensionali in siti web come il "Virtual Hampson Museum", "CyArk", "ViHAP3D" e "HCMS Sackville", in cui le applicazioni sono dedicate all'osservazione ravvicinata e dettagliata dei reperti, acquisiti in modalità di campionamento tramite scansione laser e fotografica. Questo tipo di interazione è da considerarsi più una manipolazione dell'oggetto anziché una vera e propria forma di navigazione, per questo le modalità e gli strumenti utilizzati saranno descritti e valutati nel paragrafo successivo.

Non tutti gli ambienti delle applicazioni osservate sono stati riprodotti tridimensionalmente, ma alcuni sono stati ricreati attraverso simulazioni fotografiche prospettiche, con tecnologie come QuickTime3D. Considerato che in tali casi in cui non esiste una vera e propria camera virtuale, questa modalità di interazione può essere definita come *navigazione simulata*, che può riguardare sia la *navigazione attiva* che la *navigazione statica*, e configurarsi rispettivamente in una ripresa panoramica di un intero ambiente come nella rappresentazione delle stanze dello "Smithsonian National Museum of Natural History" e dei "Musei Vaticani", o in una visualizzazione di un singolo oggetto ruotabile come per le collezioni del "Museo delle Radici Europee" e il "Virtual Museum of Iraq". Nel

caso di una rappresentazione che sfrutti la *navigazione attiva simulata*, in genere la rotazione della visuale è dipesa dalla rotazione del mouse o dalla pressione dei pulsanti relativi alle quattro direzioni principali; lo zoom su particolari aree dell'ambiente è dipeso dallo scorrimento della rotella, ma questo può provocare una perdita della qualità per immagini a bassa risoluzione. Nel caso in cui la rappresentazione sfrutti la *navigazione statica simulata*, l'interazione può avvenire in maniera molto simile alla *navigazione statica* ma con un inferiore grado di libertà dovuto all'impossibilità di roteare l'oggetto su tutti gli assi x, y, z e all'impossibilità di attivare lo zoom ravvicinato per osservare i dettagli dell'opera. La modalità di *navigazione attiva* è impiegata quando l'oggetto della visualizzazione consiste in un ambiente complesso che necessita di spostamenti tra punti più o meno distanti, come una città, un museo virtuale, o un'architettura della quale è necessario visualizzarne anche l'interno. Questo tipo di visualizzazione richiede una progettazione più complessa per gestire i movimenti della camera e/o dell'avatar all'interno dell'ambiente virtuale. In particolare le principali azioni che l'utente deve intraprendere per esplorare l'ambiente riguardano il direzionamento e l'avanzamento della camera con il mouse e/o la tastiera e/o una barra di navigazione. Ognuna delle applicazioni osservate ha riportato metodi tra loro diversi di gestione dell'interazione, ma è stato comunque possibile riscontrare molti punti in comune che hanno portato a definire quelle che in questa sede sono considerate le consuetudini generali di navigazione instaurate nel Web3D. In contesti di *navigazione attiva*, la *libertà percepita* è dipesa soprattutto dalla modalità di gestione della rotazione e dell'avanzamento della camera, valutabile sulla base di molteplici parametri, tra cui i principali sono elencati qui di seguito:

- Gestione del direzionamento della camera con mouse e/o tastiera;
- Gestione del direzionamento della camera con *toolbar*;
- Modalità di direzionamento della camera sulla base del *pivot-point* e dell'asse di rotazione;
- Velocità di rotazione della camera;

- Gestione dell'avanzamento della camera con mouse e/o tastiera;
- Gestione dell'avanzamento della camera con eventuale *toolbar*;
- Velocità d'avanzamento della camera;
- Gestione dello zoom della camera con il mouse ed eventuale *toolbar*;
- Comportamento della camera in prossimità di oggetti;
- Comportamento della camera in prossimità di muri e angoli;
- Attivazione automatica o manuale di eventuali animazioni predefinite.

Per valutare l'effettivo livello di libertà consentito dai metodi impiegati per la gestione dei movimenti della camera nell'ambiente virtuale è stato considerato il sistema DOF (dall'inglese *Degrees of Freedom*, gradi di libertà), ovvero la valutazione dell'abilità di un corpo di muoversi e roteare attorno agli assi x, y, z. Una camera che può avanzare avanti/indietro e destra/sinistra ha solamente 2-DOF, una camera che può anche avanzare su/giù ha 3-DOF, una camera che può inoltre roteare la vista in tutte le direzioni ha 6-DOF, come mostrato in Figura 15 .

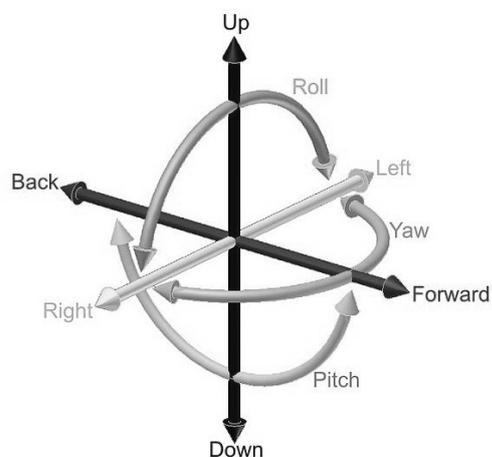


Figura 15. Sistema di navigazione a 6-DOF

Nel web tradizionale è previsto che il mouse sia utilizzato dall'utente per compiere la quasi totalità delle interazioni: selezionare link, testo, immagini e campi di forms; avviare o interrompere video e animazioni. Nel *Web3D* queste funzionalità sono estese alla navigazione in ambienti tridimensionali, i quali richiedono che il mouse, un'interfaccia a 2-DOF in quanto traslabile solamente

lungo due assi, sia inoltre impiegato per direzionare, spostare la vista o zoommare sui particolari aree d'interesse. Ad esempio l'utente può esplorare l'ambiente muovendo il mouse avanti o indietro, tenendone premuto il tasto sinistro, e può roteare la vista muovendolo in senso orizzontale, come nella riproduzione virtuale di Piazza dei Miracoli, secondo un metodo a 2-DOF. La vista può essere roteata inoltre tenendo premuto il tasto destro del mouse e muovendolo in tutte le direzioni, come nelle riproduzioni virtuali del Louvre. La rotazione della camera con il mouse è stata rinvenuta solamente in alcune delle applicazioni osservate, ma circa un quarto degli utenti intervistati avrebbe aggiunto questa funzionalità ove essa non sia stata implementata. Una sorta di controllo aptico può essere dato dalla velocità con cui l'utente sposta il mouse e può risultare in un movimento della camera o dell'avatar nell'ambiente più o meno veloce. Lo zoom della camera su particolari aree di interesse tramite la rotella del mouse renderebbe l'ispezione più accurata e gestibile permettendo una regolazione degli spostamenti della camera su distanze ridotte e con movimenti più lenti. Purtroppo, nonostante il trentanove per cento degli utenti intervistati avrebbe attribuito questa ulteriore funzione al mouse, in nessuna delle applicazioni osservate è stata rinvenuta questa possibilità, ad eccezione di applicazioni di realtà tridimensionale simulata, dove l'avvicinamento della vista provoca in molti casi una perdita di qualità delle immagini.

Con le frecce direzionali della tastiera o i pulsanti *w*, *a*, *s*, *d* non è possibile ottenere lo stesso tipo di risposta a livello di libertà nella rotazione della vista e attivazione dello zoom ma può rivelarsi più semplice gestire i movimenti della camera. Difatti, in molte applicazioni Web3D l'uso della tastiera ha acquisito più importanza, divenendo strumento alternativo o complementare al mouse nella gestione della visuale, secondo i metodi di navigazione derivati dalla progettazione dell'interazione nei videogiochi per PC, in molti casi presi come riferimento preferenziale da molti utenti intervistati. Nella maggioranza delle interfacce osservate la camera è gestita su 2-DOF, uno per avanzare in profondità e uno per direzionare la marcia, come nel museo virtuale di "Leonardo da Vinci",

in cui le frecce *su* e *giù* o i pulsanti *w* ed *a* sono utilizzati rispettivamente per avanzare o arretrare con la camera e le frecce *destra* e *sinistra* o i pulsanti *a* e *s* per ruotare la vista sull'asse *y*. In alcuni casi le frecce *destra* e *sinistra* sono utilizzate per spostare la camera verso le rispettive direzioni, come nelle applicazioni del Louvre. Per spostare la camera lungo l'asse *y* sono in alcuni casi utilizzati i pulsanti *pag su* e *pag giù*.

Tra le soluzioni più confortevoli, e maggiormente proposte dagli utenti, potrebbe essere considerata l'integrazione complementare di entrambi gli strumenti di interazione, ottenendo così un livello di gestione della camera su 5-DOF tramite il direzionamento della vista e il puntamento degli oggetti con il mouse (grazie al quale è possibile gestire la rotazione della camera anche sull'asse *x*), la traslazione lungo l'asse *su/giù* premendo uno o entrambi i pulsanti del mouse, e l'avanzamento/arretramento e la traslazione trasversale rispettivamente con i pulsanti *w* ed *s*, *a* e *d* o le frecce direzionali della tastiera. Nel caso l'utente sia mancino, la libertà di gestire il mouse con la mano sinistra potrà essere garantita tramite la sostituzione dei pulsanti con le frecce direzionali, poiché poste nella parte destra della tastiera. Il mouse non permette la rotazione della vista lungo l'asse *z* ma questo è un elemento trascurabile in quanto l'effetto di una vista disallineata orizzontalmente potrebbe risultare fastidioso o problematico. Un esempio on-line di ottenimento di 4-DOF nella gestione complementare della navigazione con mouse e tastiera è il "Livio 3D Virtual Museum", un portfolio personale implementato in un ambiente tridimensionale navigabile tramite i movimenti della camera sugli assi *x* e *z* con le lettere *w a s d* o le frecce direzionali, e la rotazione della vista sugli assi *x* e *y* con il movimento del mouse.

A parte brevi forme di animazione automatica della camera dipese dall'attivazione di voci di menu o dalla navigazione in modalità POI, in alcune applicazioni può verificarsi l'attivazione automatica di animazioni predefinite, le quali possono risultare molto utili come overview o come introduzione ai contenuti mediati dall'applicazione, specialmente per utenti che incontrano difficoltà nella gestione della navigazione. Ad esempio, nella riproduzione virtuale di "Piazza dei

Miracoli” l’utente può scegliere tra la “navigazione libera”, ovvero la gestione manuale della vista, e l’attivazione del “viaggio nel tempo”, una visita guidata da una voce narrante che descrive l’evolversi nel corso dei secoli dei monumenti e delle architetture di Piazza del Duomo, rappresentata attraverso una panoramica automatica sui modelli tridimensionali. Nel caso del “Museo delle Pure Forme” l’overview automatica sulle singole opere costituisce l’unico metodo messo a disposizione dall’applicazione per visitare il museo virtuale. In alcuni casi questo ha portato gli utenti ad abbandonare l’applicazione prima di terminare la navigazione, perché non sono riusciti a muoversi agevolmente nello spazio tridimensionale o a comprendere come utilizzare gli strumenti di interazione. Da questo emerge come si riveli opportuno affiancare ad un’animazione predefinita un metodo di navigazione manuale per permettere all’utente di personalizzare la propria visualizzazione e gestire liberamente l’esplorazione dell’ambiente virtuale.

Alcune applicazioni sono implementate per mezzo di *viewer* o linguaggi di programmazione che permettono di personalizzare le interfacce tramite l’integrazione di *toolbar* o “barre degli strumenti” utili per la gestione e la personalizzazione della navigazione senza l’utilizzo diretto della tastiera e del mouse, in questo caso impiegato solamente per l’attivazione delle varie funzionalità della barra. Un esempio di barra di navigazione è quella rinvenuta nel “Museo delle Arti Tessili” e mostrata in Figura 16. In questo caso la barra riporta tre metodi di spostamento e ridirezionamento specifici. Il primo set di pulsanti a partire da sinistra è ideato per la rotazione della vista sull’asse x, il punto tra le due frecce riposiziona la camera alla direzione originale. Il secondo set di pulsanti ha le stesse funzionalità delle frecce direzionali della tastiera e serve a muovere la camera avanti e indietro nell’ambiente e a ruotarla sull’asse y. Il terzo set di pulsanti serve a muovere la vista a destra o sinistra mantenendo la stessa inclinazione della camera. Il vantaggio di questo metodo consiste in un controllo della vista più specifico, che può essere di aiuto a quell’utente inesperto che non riesca a gestire soprattutto il direzionamento della camera con il mouse, ma allo

stesso tempo questo può rallentare la navigazione non consentendo un'immediata gestione della vista a 360 gradi, non sfruttando contemporaneamente la rotazione della camera su entrambi gli assi x e y.

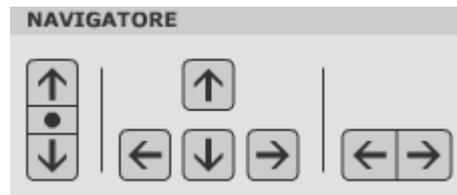


Figura 16. La barra di navigazione nel Museo delle Arti Tessili

Un altro esempio di barra di navigazione è implementato nelle applicazioni “Tradky”. Come mostrato in Figura 17, la camera viene contemporaneamente ruotata e traslata tramite la rotazione del cerchio posto al centro della barra. Questo sistema risulta difficoltoso anche per utenti esperti in quanto l’eventuale allontanamento del cursore del mouse dall’area sensibile provoca l’arresto della navigazione, distraendo l’utente dall’esplorazione e obbligandolo a ricontrollare continuamente la posizione del mouse. Nella parte destra della barra è possibile notare come alcuni campi di ricerca siano stati utilizzati a sostituzione di un menu delle opere contenute nell’ambiente virtuale. Questo sistema è risultato inutile in quanto l’utente spesso non può avere una conoscenza preventiva delle opere contenute nell’applicazione e dei nomi ad esse riferiti, per questo una ricerca per titolo raramente produrrebbe risultati. Risultati inversi si ottengono ad esempio con l’utilizzo del motore di ricerca di SecondLife, anzi indispensabile per cercare in tempi brevi l’area o la costruzione di interesse, considerata la notevole vastità dell’ambiente virtuale.



Figura 17. La barra di navigazione in “Tradky”

Sulla parte sinistra della stessa barra è implementato uno *slider* titolato “Speed”, uno strumento molto utile che permette di personalizzare della velocità di navigazione su un *range* esteso di valori. Un altro esempio di personalizzazione della velocità e della libertà di navigazione è mostrato in Figura 18, nella quale sono mostrate tre tipologie principali di navigazione, selezionabili nella parte sinistra dalla barra implementata nel viewer Cortona3D: “Walk”, “Fly”, “Examine”. Dai risultati dell’intervista mostrati in Tabella 19 è evidente come circa un quarto degli utenti non abbia trovato adeguato il settaggio della velocità di navigazione, e come quindi potrebbe rivelarsi sempre e comunque utile l’integrazione di un sistema di personalizzazione della velocità di gestione della camera.

<i>I movimenti dell’avatar o della camera sono adeguati, troppo veloci o troppo lenti?</i>	
Ingestibili	3,45%
Adeguati	75,86%
Troppo veloci	3,45%
Troppo lenti	17,24%

Tabella 19. Risultati intervista utenti

Oltre alla regolazione della velocità di navigazione, i successivi quattro pulsanti della barra del viewer Cortona3D sono impiegati per la personalizzazione della modalità di rotazione e avanzamento della camera sui diversi assi x, y, z dell’ambiente virtuale e su diversi DOF. A differenza delle barre descritte in precedenza, la pressione dei pulsanti di questa non determina l’automatico aggiornamento della vista ma va a modificare l’effetto dello spostamento del mouse o della pressione delle frecce direzionali della tastiera.



Figura 18. La barra di navigazione in Cortona3D

4.3.2. *La selezione e la manipolazione degli oggetti*

In pagine web tradizionali la selezione di un elemento con il puntatore del mouse implica in genere l'attivazione di aree sensibili come links, pulsanti o immagini, con il fine di approfondire un dato argomento o avviare animazioni bidimensionali. Nel Web3D per i beni culturali la "selezione" di un elemento può essere inoltre intesa come l'atto di focalizzazione dell'interazione su una particolare area o modello tridimensionale dell'ambiente virtuale, finalizzata alla visualizzazione approfondita e all'eventuale manipolazione dell'oggetto stesso, il quale in genere intende simulare una singola statua, un monumento o un reperto archeologico, spesso acquisiti tramite campionamento per scansione laser e/o fotografica. In fase di osservazione delle applicazioni Web3D online non sono state individuate funzionalità utili alla modifica degli oggetti tridimensionali con operazioni che potrebbero riguardare ad esempio il restauro virtuale o la ricostruzione di opere o architetture, per questo in questa sede, con "manipolazione" è da intendersi piuttosto la personalizzazione della visualizzazione in ambito di applicazioni finalizzate all'osservazione dettagliata e ravvicinata di oggetti singoli, provenienti in genere da collezioni acquisite tramite campionamento ad alta risoluzione.

Come descritto nel paragrafo precedente, questo tipo di interazione può essere definito come una modalità di *navigazione statica*, impiegata quando lo scopo dell'applicazione risiede nel presentare esclusivamente un soggetto ai fini di studio, ricerca o conservazione. Alcuni esempi di *navigazione statica* sono stati riscontrati nella visualizzazioni di collezioni di singoli oggetti tridimensionali in siti web come il "Virtual Hampson Museum", "CyArk", "ViHAP3D" e "HCMS Sackville". Più semplice da gestire e libero da interferenze visuali e orientative, questo genere di interazione è mirato alla visualizzazione ravvicinata di un dato

modello tridimensionale per poterne comprendere in maniera più dettagliata le caratteristiche della forma e dei materiali. Per poter osservare il modello da ogni angolazione, altezza, e distanza possibile è indispensabile fornire gli strumenti per poter manipolare l'oggetto, che in genere consentono solamente operazioni di rotazione, traslazione e zoom su particolari aree di interesse, indipendentemente che a essere effettivamente cambiata sia la posizione dello stesso modello o della camera virtuale. La consuetudine instaurata nelle applicazioni Web3D prevede che questo tipo di interazione avvenga principalmente premendo un tasto del mouse e muovendolo nelle quattro direzioni principali. L'oggetto può essere traslato o roteato per 360° in ogni direzione ma con target definito secondo un metodo visualizzazione orbitale semplice, oppure solamente in riferimento al piano xy o l'asse z con pivot-point solitamente centrale, secondo un metodo di rotazione orbitale limitato. Lo zoom su particolari aree dell'oggetto può essere attivato mediante la pressione o la rotazione della rotellina del mouse, oppure tramite la pressione di uno dei due pulsanti e il trascinamento avanti o indietro del dispositivo. Nei viewer di "Vihap3D" e "H.M.C.S. Sackville" ad esempio, la rotazione dell'oggetto è attivabile premendo il pulsante sinistro del mouse, premendo la rotellina o il tasto centrale è possibile traslare l'oggetto e tramite la pressione del pulsante destro è attivabile lo zoom sul modello.

Ad eccezione del viewer utilizzato da "CyArk", nel quale alcuni pulsanti della tastiera sono sfruttati per orbitare attorno all'oggetto e traslarlo, in nessun'altra delle applicazioni osservate è stato riscontrato l'utilizzo della tastiera per effettuare rotazioni, traslazioni o selezionare rapidamente alcune aree dell'oggetto. Tra i riscontri ottenuti dall'intervista agli utenti riguardo quali funzionalità essi avrebbero aggiunto all'interazione, il venticinque per cento ha evidenziato una preferenza sull'utilizzo di tale funzionalità per impartire comandi più velocemente e il venticinque per cento per selezionare rapidamente gli oggetti. Nonostante l'obiettivo di visualizzazione sia comunque quasi sempre raggiunto, spesso alcuni dei sistemi di gestione integrati nelle applicazioni osservate non sono completamente agevoli e non permettono di raggiungere in tempi rapidi e

nella maniera più diretta il punto di osservazione desiderato. Questo spesso è dovuto, oltre che ad una mancanza di istruzioni di interazione, ad una progettazione nella gestione del mouse e della tastiera non adatta o non adattabile alle esigenze dell'utente, il quale trova spesso disagi e non assimilabile il metodo di utilizzo dei dispositivi.

Quali strumenti e funzionalità avresti aggiunto per interagire con l'applicazione?

Selezione degli oggetti col mouse	30%
Selezione rapida degli oggetti da tastiera	25%
Comandi da tastiera	25%
Selezione rapida degli oggetti con touchscreen	15%
Spostamento degli oggetti col mouse	5%

Tabella 20. Risultati intervista utenti

Alcune applicazioni come PDF3D e il viewer utilizzato per la visualizzazione dei modelli depositati in “CyArk”, implementato in Java Web Start, si servono di barre degli strumenti che offrono ulteriori sistemi di gestione dell'interazione oltre a quelli già descritti. In Figura 19 e 20 sono mostrate entrambe le barre degli strumenti implementate nelle due applicazioni.



Figura 19. La barra degli strumenti implementata nel viewer dei modelli CyArk



Figura 20. La barra degli strumenti implementata nel viewer PDF3D

Ogni tipologia di funzionalità è raggruppata in sottoinsiemi. Anzitutto entrambi i

visualizzatori offrono all'utente la possibilità di scegliere tra un set predefinito di punti di vista, che corrispondono ai quattro principali lati dell'oggetto e alla posizione superiore e inferiore. In CyArk le varie posizioni sono elencate nel primo gruppo sotto forma di icone; in PDF3D sono elencate nel secondo gruppo in forma testuale selezionabile da un menu a tendina, inoltre attivando l'icona adiacente "attiva/disattiva albero modello" è possibile accedere alla vista di sottoinsiemi di mesh appartenenti allo stesso modello. Similmente al web tradizionale, è possibile ripristinare la posizione iniziale selezionando l'icona "home". Questo set di funzionalità rende l'interazione molto più rapida, precisa e intuitiva, soprattutto per quegli utenti che trovano difficoltà nel ruotare l'oggetto con il mouse, e dà la possibilità di ripristinare la vista dell'oggetto alla posizione iniziale senza dover "ricaricare" il modello; un ulteriore vantaggio è riscontrabile in una resa in tempo reale del modello molto più veloce, soprattutto per i modelli presentati in "CyArk", i quali sono costituiti da uno o più milioni di punti. Il set potrebbe essere esteso con posizioni non convenzionali, ma corrispondenti a rilevanti punti del modello ed estendibili in sottolivelli corrispondenti a porzioni sempre più dettagliate. I vari punti del modello di una statua potrebbero essere raggiunti tramite la selezione della corrispondente immagine, che ad esempio potrebbe raffigurare la testa di una statua. I particolari della testa, come gli occhi, la bocca o una crepatura della superficie, potrebbero a loro volta essere raggiunti tramite la selezione da un sottomenu di immagini, secondo il modello rappresentato in Figura 21. I test per valutare l'efficacia di questa metodologia di interazione sono descritti nel capitolo successivo.

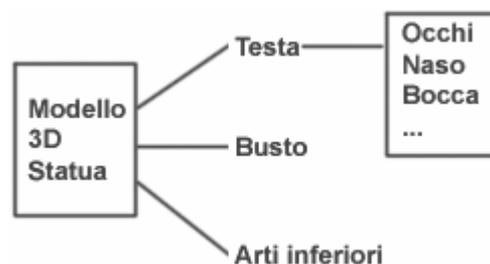


Figura 21. La struttura del menu di immagini per la selezione di zone del modello

Un buon sistema di personalizzazione della vista è implementato nel viewer PDF3D. Settando i valori di posizionamento e direzionamento dell'inquadratura dal pannello delle proprietà mostrato in figura 22, è possibile salvare un set di inquadrature personalizzate, riutilizzabili in qualsiasi momento.

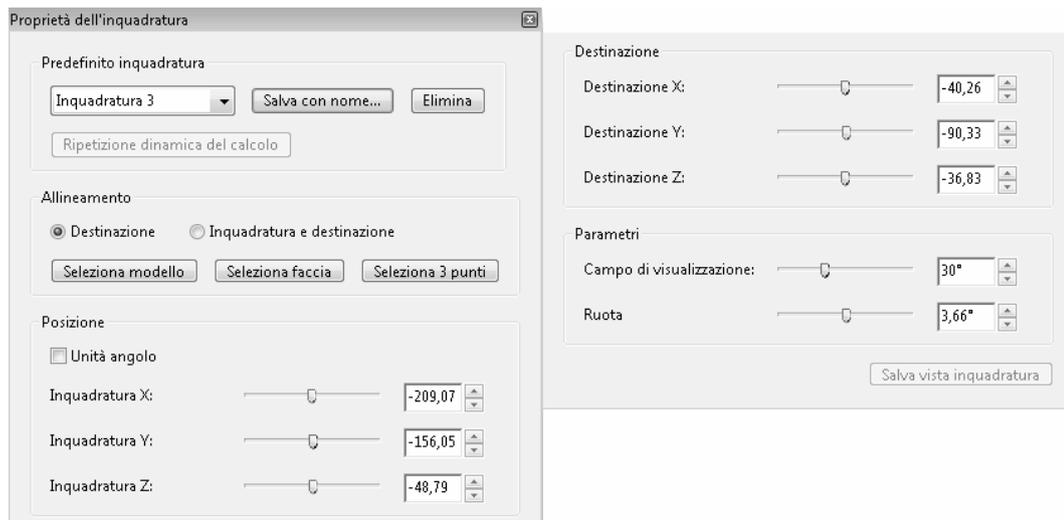


Figura 22. Il pannello di personalizzazione di inquadrature predefinite in PDF3D

Come già descritto, le principali azioni che possono essere compiute in fase di manipolazione degli oggetti consistono nella rotazione e nella traslazione dell'oggetto. Queste operazioni in genere sono attivabili di default tramite la pressione di determinati pulsanti del mouse, ma in presenza della barra degli strumenti la funzionalità selezionata è attribuita al tasto sinistro del mouse, lasciando le funzioni predefinite di zoom, traslazione o rotazione ai pulsanti destro e centrale. In Figura 19 queste funzionalità sono riconoscibili nel secondo set di icone, lo zoom è attivabile selezionando la lente di ingrandimento, la traslazione o "pan" selezionando la mano e la rotazione dell'oggetto selezionando il cerchio con le frecce. In Figura 20 sono rappresentate le stesse funzionalità nel primo set di icone della barra del viewer PDF3D, con simbologia molto simile. In entrambe le applicazioni è disponibile un sistema di personalizzazione della posizione pivot point nella rotazione dell'oggetto, che può essere ottenuto tramite il posizionamento specifico nel primo caso o tramite la traslazione del modello nel

secondo.

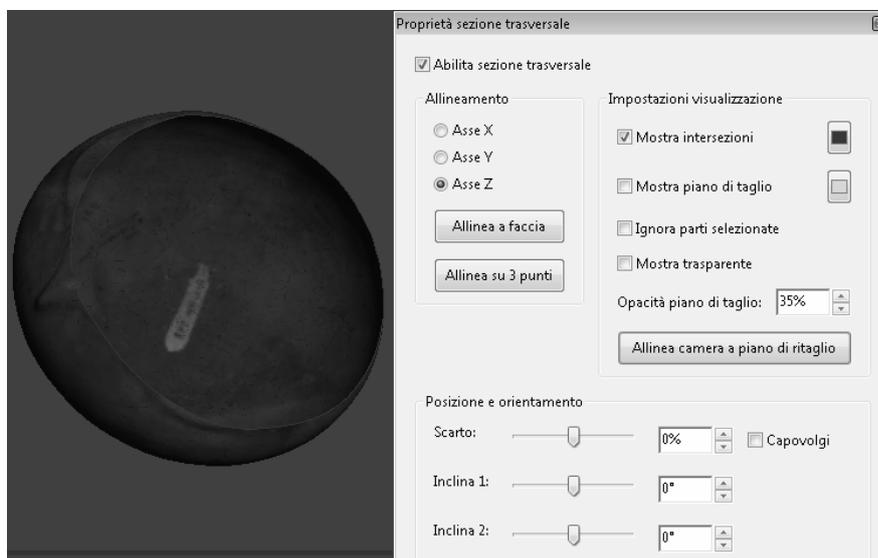


Figura 23. La sezione trasversale sull'asse z di un modello 3D in PDF3D

Per alcune tipologie di oggetti come reperti archeologici quali vasi, urne e simili e per determinati osservatori come archeologi o studiosi può rivelarsi indispensabile visualizzare l'interno stesso del modello tridimensionale. Altri oggetti come statue e monumenti presentano una superficie più estesa, che necessita di maggiori tempi e azioni per poter raggiungere e osservare punti distanti tra loro. Entrambe le soluzioni sono state rinvenute nell'applicazione PDF3D, osservata in concomitanza del suo utilizzo per la rappresentazione dei reperti conservati nell'"Hampson Museum". Come mostrato in Figura 23, la visualizzazione interna degli oggetti è resa possibile da uno strumento di sezionamento trasversale del modello sull'asse x, y, o z, del quale la posizione e l'orientamento del piano di taglio sono regolabili tramite il relativo pannello. Nel secondo caso è adottato un sistema simile alla navigazione POI, nel quale è possibile selezionare una porzione dell'area di visualizzazione per avvicinare la vista alla sezione corrispondente, con zoom automatico.

Capitolo 5. Creazione di microapplicazioni per testare e individuare le più appropriate modalità di visualizzazione e interazione in ambienti Web3D

Come osservato nei capitoli precedenti, navigare all'interno di un mondo virtuale e, in particolar modo, all'interno di un ambiente tridimensionale particolarmente esteso come la riproduzione virtuale di un intero museo o la simulazione di una città, implica l'utilizzo di una serie di strumenti e metafore di interazione che vanno a determinare la qualità globale della interazione stessa, misurabile tramite specifici parametri più o meno influenzabili tra di loro.

Per ottenere il maggior grado di intuitività, usabilità e sostenibilità nell'interazione con una grossa quantità di informazioni, la progettazione della visualizzazione e dell'interazione devono tener conto di una serie di fattori: come posizionare e collegare tra loro i vari elementi multimediali, quali strumenti di interazione utilizzare, come utilizzarli, il grado di complessità richiesto nella loro gestione, etc. La misurazione del tempo che l'utente impiega al raggiungimento del task, il grado di libertà percepito, la facoltà di orientarsi, le preferenze e le difficoltà riscontrate in fase di test e una serie di altri fattori specifici per ogni metafora di interazione (Haik et al, 2002), possono essere molto utili per comprendere come poter usufruire appieno e in modo agevole di tutte le informazioni visuali contenute nell'ambiente virtuale e come adattare l'utilizzo questi strumenti alle effettive esigenze dell'utente e raggiungere così gli obiettivi prefissati.

La valutazione empirica dell'usabilità dell'interfaccia basata sul test utente figura tra i metodi più efficaci per ottenere dei riscontri immediati che conducano ad un progressivo perfezionamento nell'adattamento degli ambienti virtuali alle effettive esigenze dei visitatori virtuali. La sperimentazione di condizioni ipotetiche su un campione di utenti eterogenei può permettere l'individuazione di soluzioni alternative al fine di migliorare la visualizzazione in ambienti Web3D per i beni culturali e garantire così il recupero delle informazioni. Sulla base dell'analisi e

della categorizzazione di scenari Web3D per la mediazione culturale e dalle informazioni precedentemente ricavate dal dialogo con gli utenti, sono state progettate quindi delle microapplicazioni specifiche per la valutazione di specifici sistemi di visualizzazione e interazione tra l'utente e l'ambiente virtuale. Al termine del compimento di ogni test, è stata effettuata un'intervista al fine di ottenere un feedback informale dell'utente per valutare le sue impressioni in merito al livello generale di libertà percepita e per identificare le difficoltà riscontrate, gli elementi considerati utili al fine della facilitazione dell'interazione, gli elementi considerati non utili o limitanti e gli elementi che avrebbe aggiunto. Per la progettazione degli ambienti sono stati anzitutto definiti gli obiettivi specifici per ogni test, relativi in particolar modo alla ricerca dei migliori metodi di posizionamento e recupero delle informazioni, di gestione e personalizzazione della navigazione e della manipolazione degli oggetti e di supporto all'orientamento.

Il software utilizzato per l'implementazione delle microapplicazioni è basato sulla tecnologia XVR. È stato scelto questo sistema perchè permette di sviluppare e integrare tra loro contenuti multimediali avanzati senza limitazioni; è un sistema molto flessibile, efficiente, "leggero" e completamente gratuito, che interagisce direttamente con la pagina HTML tramite semplici input/output JavaScript. Gli oggetti tridimensionali possono essere modellati in Blender 2.48 (un software di modellazione completamente gratuito ed efficiente) ed esportati in formato AAM per poter essere inclusi nel progetto XVR. Il software impiegato per i test comprende Internet Explorer 8 e il viewer di XVR Studio 1.4.8. L'hardware messo a disposizione di ogni utente per visualizzare e interagire con l'applicazione comprende esclusivamente lo schermo, la tastiera e il mouse. Il motivo è dovuto al fatto che questi sono gli unici strumenti utilizzati dalla quasi totalità dell'utenza del web e quindi anche delle applicazioni Web3D. Il notebook utilizzato per i test è un HP Pavilion dv6500 con i seguenti requisiti tecnici:

- Processore Intel Centrino Duo T7250 2.00GHz;
- Memoria RAM 2038 MB;

- Schermo 15 pollici di dimensioni, adattato a una risoluzione di 1280 x 800 pixel e una frequenza di aggiornamento a 60 Herz;
- Scheda grafica condivisa Mobile Intel 965 Express Chipset Family;
- Sistema operativo Windows Vista Home Premium a 32 bit.

5.1. Gli utenti

Gli utenti selezionati da sottoporre ai test sono stati scelti sulla base della differenziazione nel livello di addestramento iniziale e le capacità di interagire con gli strumenti informatici e la VR. Per ogni utente è stata presa nota delle conoscenze informatiche generali e quelle relative alla VR desktop o al Web3D. In particolare l'attività lavorativa del soggetto, il titolo di studio o la qualifica professionale possono determinare in modo significativo il livello di conoscenza, la frequenza e il grado di addestramento nell'utilizzo degli strumenti informatici, intendendo in senso ampio l'uso di PC, smartphone e le abilità con il mouse, ad esclusione di semplici telefoni cellulari, lettori mp3 o simili. Ovviamente la misura delle conoscenze informatiche di un soggetto possono dipendere esclusivamente dalle sue passioni, attitudini o riguardare soprattutto l'intrattenimento personale, considerando soprattutto che la VR desktop è utilizzata principalmente per il gaming e il gaming online. Le informazioni ricavate sono molto importanti per comprendere quali siano le difficoltà riscontrate più frequentemente dagli utenti soprattutto in relazione alle singole abilità e al livello di addestramento di ciascuno. In questo modo risulta più semplice distinguere tra quei limiti imposti oggettivamente dall'applicazione e quegli impedimenti riguardanti solamente di una particolare categoria di soggetti. Inoltre questi dati sono utili per estendere la progettazione ipotetica della migliore interfaccia su livelli ulteriormente personalizzabili, aumentando o diminuendo per ciascun gruppo il grado di dettaglio ed esplicitezza più o meno a favore della chiarezza dell'interazione o della complessità della visualizzazione.

Nella seguente tabella sono elencate le informazioni ricavate per ciascun utente selezionato. Ai fini dell'ottenimento di risultati tangibili e coerenti nell'esecuzione

dei test, non sono stati presi in considerazione soggetti con conoscenze informatiche generali di IV° e V° livello.

<i>Nome utente</i>	<i>Conoscenze informatiche generali</i>	<i>Familiarità con la VR desktop o il Web3D</i>
Matteo	I° livello	I° livello
Raffaello	I° livello	I° livello
Simone	I° livello	I° livello
Francesco	I° livello	I° livello
Andrea	I° livello	I° livello
Antonio	I° livello	II° livello
Giulia	II° livello	III° livello
Silvia	II° livello	III° livello
Cecilia	III° livello	III° livello
Stefania	III° livello	III° livello

Tabella 21. Caratteristiche e abilità del gruppo di utenti selezionati per i test

Ciascun livello di “Conoscenze informatiche generali” corrisponde alle seguenti caratteristiche nella frequenza di utilizzo e nelle abilità di gestione degli strumenti informatici:

- I° livello. Sa effettuare operazioni complesse (es. programmazione, scripting) e conosce approfonditamente il funzionamento degli strumenti informatici;
- II° livello. Utilizza gli strumenti informatici quotidianamente per lavoro,

studio o ricerca ma non sa effettuare operazioni complesse (es. al massimo sa installare un programma);

III° livello. Si serve spesso degli strumenti informatici solamente per svago o per effettuare acquisti on-line;

IV° livello. Si serve raramente degli strumenti informatici;

V° livello. Non ha mai utilizzato strumenti informatici.

Ciascun livello di “Familiarità con la VR desktop o il Web3D” corrisponde alle seguenti caratteristiche nella frequenza di utilizzo di applicazioni VR e Web3D:

I° livello. Utente esperto. Ne usufruisce spesso per lavoro, studio, svago o turismo virtuale;

II° livello. Utente medio. Ha provato raramente;

III° livello. Utente inesperto. Non ha mai provato.

5.2. Le ipotesi

Ogni test è creato a partire da un’ipotesi di fruizione, ovvero dalla ricostruzione di una situazione specifica con la quale l’utente può interfacciarsi. Le ipotesi sono generate a partire dai quattro principali obiettivi dei test, i cui risultati complessivi concorreranno ad individuare i limiti e alcune possibili soluzioni per le metodologie di visualizzazione e interazione nel Web3D. Il primo obiettivo è incentrato sulla valutazione di alcune ipotesi di posizionamento di informazioni testuali e immagini all’interno e all’esterno dell’ambiente virtuale, dipendente soprattutto dalle preferenze degli utenti; il secondo obiettivo è incentrato sulla valutazione dell’efficacia di alcune ipotesi di personalizzazione dei metodi di navigazione; il terzo obiettivo è incentrato sulla valutazione di alcune ipotesi strumenti di supporto all’orientamento; il quarto obiettivo è incentrato sulla valutazione di alcune ipotesi di semplificazione e velocizzazione di metodologie di manipolazione degli oggetti.

Durante ogni fase dei test è stato osservato il grado di addestramento di ogni utente per comprendere quali sono le consuetudini nell’utilizzo degli strumenti di interazione sulla base dei diversi livelli di conoscenze della VR. Considerato che

non tutti i soggetti hanno le competenze sufficienti a intuire come debbano essere utilizzati gli strumenti hardware di interazione, si è rivelato necessario fornire un elenco permanente di istruzioni per supportare, in fase di addestramento, gli utenti con conoscenze informatiche generali di secondo o terzo livello.

Per ogni ipotesi di fruizione è indicato:

- La descrizione del test: la generazione delle ipotesi tramite l'indicazione del livello di astrazione, la metafora che descrive l'ambiente, il target ipotetico e la metodologia di interazione. Questi sono dipesi dalla tipologia di fruizione e dagli obiettivi comunicativi delle applicazioni maggiormente impiegati, che riguardano appunto il museo virtuale, la digitalizzazione ai fini della conservazione e della ricerca. Di conseguenza sono selezionati anche i target più usuali, tra cui gli studenti, i ricercatori e i “turisti virtuali”;
- I *task* che l'utente deve raggiungere e la formazione dei gruppi di utenti sulla base di questi;
- I risultati raggiunti per ciascun utente, con la media matematica dei risultati complessivi in termini di tempo in secondi, la media del numero di task andati a buon fine per ogni gruppo di utenti e il feedback sulle difficoltà e preferenze dell'utente;
- I fattori per i quali considerare la preferenza degli utenti;
- La proposta delle possibili soluzioni sulla base dei risultati.

Le valutazioni quantitative di usabilità nella valutazione empirica basata sul test utente sono misurate in generale a partire dai seguenti parametri:

- Il tempo che l'utente ha impiegato per completare un compito;
- Il numero di compiti che l'utente ha completato in un intervallo di tempo;
- Il numero di funzionalità che sono stati utilizzati dall'utente;
- Il numero di funzionalità non utilizzati dall'utente;
- Le consuetudini nell'addestramento iniziale dell'utente;
- La frequenza di uso di manuali o sistemi di help;
- Il rapporto tra commenti positivi e negativi durante l'uso del sistema;

- Il numero di volte che l'utente è stato distratto.

5.3. Primo set di ipotesi: testare strumenti e metodologie di visualizzazione e navigazione

Per comprendere quali tra i metodi di utilizzo del mouse e della tastiera classificati nel capitolo precedente siano più usabili ed efficienti per la navigazione dell'utente e quali strumenti possono essere integrati per estendere le funzionalità e permettere di facilitare e personalizzare l'interazione, è stata creata un'applicazione specifica da sottoporre al giudizio preferenziale dell'utente e per misurare in termini di tempi e task completati l'effettiva efficacia degli strumenti e metafore implementate. La struttura dell'ambiente ripropone la metafora di un museo virtuale su una superficie non particolarmente estesa o complicata in quanto scopo principale di questo set di task non è valutare il livello di orientamento dell'utente, ma semplicemente permettergli di raggiungere determinate aree del museo per osservare l'agilità con cui egli riuscirebbe a gestire gli strumenti e i tool di interazione. In Figura 24 è mostrata la planimetria dell'ambiente, suddivisa in quattro sale contenenti ciascuna una forma tridimensionale differente, unite da un unico grande spazio centrale e distinguibili da billboard indicanti il numero delle stesse.

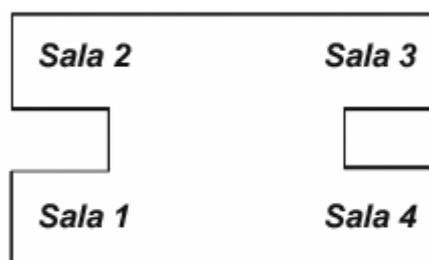


Figura 24. La struttura del museo virtuale per il test navigazione

I tool di personalizzazione della navigazione sono stati sviluppati principalmente secondo cinque paradigmi di interazione, ognuno valutato separatamente:

- Personalizzazione nell'utilizzo del mouse e della tastiera per ruotare e

- traslare la vista nell’ambiente virtuale;
- Personalizzazione della velocità di navigazione;
- Navigazione sfruttando la barra con funzionalità di direzionamento e traslazione della vista;
- Navigazione secondo il modello *point-of-interest*, attivabile su selezione dell’opera di interesse;
- Modalità *examine*, per roteare la vista in modalità orbitale attorno all’opera selezionata.

Considerato che la quasi totalità degli utenti intervistati riguardo le proprie preferenze nell’utilizzo del mouse e della tastiera per gestire la navigazione ha dichiarato di preferire la rotazione della camera con il mouse e l’avanzamento della camera con la tastiera, come default è stato implementato questo paradigma di interazione. Da questo punto di vista la prima parte del test è stata proprio incentrata sulla verifica dell’utilità di un pannello di personalizzazione della gestione del mouse e della tastiera per ruotare e traslare la vista nell’ambiente virtuale.



Figura 25. Il pannello di personalizzazione della navigazione

In Figura 25 è mostrato il pannello riportante le diverse possibilità di scelta, selezionabili tramite dei radio-button:

- Ruotare la vista attorno l'asse y con le frecce della tastiera o trascinando orizzontalmente il mouse e traslare la camera avanti e indietro con le frecce su/giu della tastiera o trascinando avanti e indietro il mouse;
- Ruotare la vista sugli assi x e y trascinando il mouse verticalmente e orizzontalmente e traslare la vista lungo gli assi x e z con le quattro frecce direzionali;
- Ruotare la vista attorno gli assi x e y con le frecce direzionali o il pulsante destro del mouse e navigare trascinando il mouse tenendo premuto il pulsante sinistro.

Un secondo pannello è stato implementato per la personalizzazione della velocità di navigazione. Questo metodo è stato testato per verificare se l'utente meno esperto avrebbe potuto trarre giovamento da questo strumento di personalizzazione, che permette di adattare la velocità di interazione alle sue effettive capacità di gestione. L'utente esperto potrebbe ugualmente trarne vantaggio potendo velocizzare la navigazione e quindi anticipare il raggiungimento del task. In questo caso, come mostrato in Figura 26, l'utente può trascinare lo slider (generato con librerie jQuery) per scegliere la velocità tra un range di interi compresi tra zero e cento.



Figura 26. Lo slider per la personalizzazione della velocità

In Figura 27 è mostrata la barra di navigazione con la quale l'utente può spostare e direzionare la vista selezionando con il mouse i vari pulsanti. Questo sistema è stato integrato per verificare quanto effettivamente può risultare d'aiuto come strumento alternativo di navigazione per un utente con scarsa esperienza nell'interazione con ambienti tridimensionali. Il primo set di pulsanti serve a

trascinare il mouse sugli assi x e z; il secondo set di pulsanti serve a ruotare la vista attorno agli assi x e y; il terzo set di comandi serve a traslare la camera lungo l'asse delle y. Premendo il tasto centrale contrassegnato da un cerchio nelle sezioni "Direzione" e "Altezza", l'utente può settare la direzione e l'altezza della camera ai valori iniziali. Un ulteriore tasto reset permette di tornare al punto di partenza all'interno della scena. Per comprendere se l'aggregazione delle varie funzionalità sia facilmente intuibile e se permetta un ulteriore grado di libertà è stato richiesto un feedback dell'utente alla fine del test.



Figura 27. La barra di navigazione

Oltre alla barra di navigazione e i pannelli di personalizzazione sono stati implementati due sistemi di navigazione attivabili come conseguenza della selezione delle opere all'interno dello stesso ambiente virtuale. Il primo metodo riguarda la navigazione POI, che determina un avvicinamento progressivo della camera in prossimità dell'opera selezionata. Il secondo metodo è denominato "examine" e dipende dal precedente in quanto attivabile successivamente all'avvicinamento della camera. Selezionando la sfera che ruota accanto all'oggetto è possibile attivare la rotazione della camera attorno alla statua, per poterla osservare da ogni angolazione in maniera più agevole e senza interferenze strutturali del museo, in quanto l'attivazione di questa modalità di navigazione orbitale prevede che tutti gli elementi circostanti siano messi in secondo piano rispetto al modello visualizzato tramite l'assegnazione di un materiale dalla diffusione color grigio scuro.

5.3.1. Descrizione dei task di navigazione

Ognuna delle metafore di interazione descritte è stata implementata con l'auspicio di una diminuzione dei tempi di navigazione e un sufficiente supporto all'interazione soprattutto per quegli utenti con un livello di addestramento iniziale insufficiente.

La prima ipotesi è volta a indagare su come l'utente riesca a raggiungere le varie aree dell'ambiente virtuale e visualizzare le varie parti dell'oggetto tridimensionale con solo l'utilizzo del mouse e della tastiera, senza utilizzare la barra di navigazione e senza sfruttare il sistema POI. Il test prevede la misurazione temporale per il raggiungimento del task e l'osservazione delle abilità dell'utente nella gestione dei dispositivi hardware e nel superamento degli ostacoli all'interno dell'ambiente. Contemporaneamente è osservata l'eventuale scelta dell'utente di servirsi o meno del pannello di personalizzazione della gestione della navigazione con mouse e tastiera e della barra per regolare la velocità, per verificare quanto questo possa facilitare l'interazione e quale sia l'opzione con preferenza maggiore. Il primo set di task è così descritto:

- Raggiungi la sala n.1;
- Visualizza il retro dell'opera rossa;
- Raggiungi la sala n.3;
- Visualizza il retro dell'opera verde.

La seconda ipotesi è volta a indagare su come l'utilizzo della barra di navigazione possa facilitare e rendere più agevole la navigazione rispetto all'utilizzo del mouse e della tastiera per traslare e direzionare la vista. Il secondo set di task è così descritto:

- Raggiungi la sala n.4;
- Visualizza il retro dell'opera blu;
- Raggiungi la sala n.2;
- Visualizza il retro dell'opera grigia.

La terza ipotesi è volta a indagare sull'efficacia nell'utilizzo dei metodi di

navigazione su sistema *point-of-interest* e orbitale per raggiungere l'opera e visualizzarne il retro. È chiesto all'utente di ripetere i task precedenti e indicare se questo metodo gli ha permesso di percepire più libertà di movimento.

5.3.2. Risultati e possibili soluzioni

Dai risultati mostrati nelle Tabelle 22 e 23 emerge in primo luogo come la barra di navigazione non abbia minimamente supportato gli utenti nella gestione della navigazione, portandoli anzi a impiegare un tempo maggiore per completare i task. Nonostante la maggioranza dei soggetti abbia trovato la progettazione e il raggruppamento delle funzionalità coerente e intuitivo, nessuno ha affermato di preferire tale metafora di interazione rispetto alla navigazione libera con mouse e tastiera o alla navigazione nella modalità POI. Soprattutto gli utenti con scarse esperienze di fruizione di applicazioni di Realtà Virtuale sono parsi impacciati e distratti nella visualizzazione dalla scelta dei pulsanti di iterazione. L'unica funzionalità considerata utile è stata la traslazione della camera sull'asse y, soprattutto per gli utenti inesperti che possono trovare difficoltà nel visualizzare la parte superiore di un oggetto con la rotazione orbitale tramite il trascinamento del mouse. Un altro strumento di supporto all'interazione risultato superfluo è lo slider di personalizzazione della velocità di navigazione, inutilizzato soprattutto dagli utenti inesperti. Altri risultati hanno dato il pannello di personalizzazione della gestione del mouse e della tastiera per navigare lo spazio tridimensionale, la modalità di navigazione POI e la modalità di ispezione orbitale.

		Solo mouse e tastiera	Con barra di navigazione	Con POI e orbiting
Tempo (sec.)	Utente esperto	67,6	72	55,8
	Utente inesperto	75,75	100,5	71,5
N° task completati	Utente esperto	4/4	4/4	4/4
	Utente inesperto	3/4	2/4	3/4

Tabella 22. Risultati del test di navigazione

	Regolazione velocità	Barra di navigazione	POI	Examine
Utente esperto	2	0	5	4
Utente inesperto	0	0	2	1
Totale	2	0	7	5

Tabella 23. Preferenze tools dell'utente

Il confronto con un sistema di personalizzazione della modalità di navigazione secondo le preferenze specifiche di ogni utente ha permesso di comprendere anzitutto quali tra i paradigmi di gestione dell'interazione sono i più familiari e in che percentuale. Anzitutto è risultato evidente come la maggioranza dei soggetti che ha avuto a che fare precedentemente con la VR Desktop, soprattutto in contesti di gioco sullo stile degli "sparatutto", abbia trovato più familiare e adatto alla proprie esigenze il sistema incentrato sulla traslazione della camera sugli assi x e z con le frecce della tastiera e il direzionamento della vista attorno agli assi x e y con il trascinamento del mouse nelle quattro direzioni principali. Gli utenti inesperti hanno trovato più semplice da utilizzare il sistema incentrato sulla rotazione e navigazione con le frecce direzionali della tastiera (il primo in Figura 25). Da questi risultati si evince quanto sia importante dotare ogni sistema di interazione Web3D per in beni culturali di strumenti di personalizzazione della gestione dei dispositivi per la navigazione, al fine di permettere alle diverse categorie di utenti di accedere alle informazioni nella maniera più agevole possibile. Nel caso l'integrazione di tali sistemi induca ad una eccessiva riduzione dello spazio di visualizzazione, potrà rivelarsi opportuno consentire la disattivazione di tali funzionalità su richiesta dell'utente.

Anche il feedback dei soggetti sottoposti al test riguardo le preferenze nell'utilizzo di metodi automatizzati di navigazione e ispezione degli ambienti rispetto alla libera interazione, è risultato su due fronti opposti sulla base del livello di competenza nella visualizzazione in ambienti di VR Desktop. Una formazione

non tecnica dei soggetti spesso induce ad una visione più tradizionale della fruizione culturale e ad una sorta di “pigrizia” nel voler sperimentare nuovi paradigmi di interazione. Gli utenti inesperti hanno dichiarato di non preferire la modalità di navigazione POI e la modalità di ispezione orbitale perché l’attivazione di tali sistemi può indurre in loro un certo disorientamento e insicurezza nel controllo dell’ambiente dovendo gestire più strumenti contemporaneamente. Viceversa, la totalità degli utenti esperti ha apprezzato la possibilità di poter velocizzare e semplificare l’interazione con tali sistemi di automazione. In particolare, la metafora POI è considerata utile per ridurre i tempi di raggiungimento di particolari aree in ambienti semplici, dove è presente un ridotto numero di informazioni visive. In ambienti più complessi e ricchi di informazioni è invece preferita la navigazione libera, la quale permette una fruizione più completa e interessata.

5.4. Secondo set di ipotesi: testare alcuni metodi di supporto all’orientamento

Considerato che non sempre è possibile progettare un’ambientazione simmetrica e considerata la scarsità di strumenti di supporto all’orientamento e alla navigazione (come mappe o menu) negli scenari Web3D osservati online, è stato considerato utile testare alcune metodologie per la velocizzazione e la semplificazione della navigazione in ambienti particolarmente estesi come potrebbero essere i musei virtuali, soprattutto per quegli utenti che hanno scarsa familiarità con la visualizzazione tridimensionale.

Per il test è stato progettato un ambiente tridimensionale complesso e asimmetrico, che per la sua struttura è più assimilabile a un museo virtuale o un’architettura, costituito da sei sale di dimensioni variabili collegate tra loro da corridoi attraverso i quali l’utente deve muoversi utilizzando mouse e tastiera. Per differenziare ogni area sono stati utilizzati dei *billboard*, ovvero quadrilateri texturizzati che fronteggiano sempre la visuale dell’osservatore, riportanti il numero della sala relativa e raffiguranti un’opera diversa per ogni sala.



Figura 28. Un esempio di billboard utilizzati per identificare una sala

Si è cercato di creare un ambiente di navigazione sufficientemente complesso per sottoporre l'utente a un problema di orientamento il più possibile reale e per verificare quanto questo effettivamente sia agevolato dai tool di supporto, escludendo per una buona percentuale l'abilità mnemonica del soggetto. Nella realtà, a parte i casi in cui si riveli necessario costruire un ambiente complesso nell'intento di riprodurre fedelmente un'architettura reale, sarebbe largamente preferibile progettare ambienti il più possibile simmetrici, con poche sale di grandi dimensioni e adiacenti tra loro senza corridoi di collegamento.

Considerato che il target principale di questo tipo di ambiente è generalmente il "turista virtuale", quindi un utente dalle abilità informatiche mediamente basilari, si prefigge l'utilità dei tool di supporto alla navigazione. Un utilizzo eccessivo di tool potrebbe generare un effetto inverso rispetto a quello sperato in quanto l'utente si ritroverebbe a dover gestire una quantità eccessiva di informazioni che potrebbero confonderlo. Nel test già stato compiuto da Haik et al per investigare sui problemi riguardanti l'orientamento in interfacce VR desktop utilizzando degli strumenti di supporto, l'applicazione per il test era stata dotata di frecce indicative e una mappa di supporto all'orientamento per indirizzare l'utente verso le aree più rilevanti dell'ambiente. La mappa consisteva sostanzialmente in una riproduzione 3D in miniatura dell'ambiente di navigazione, che in una seconda versione

diveniva cliccabile per indirizzare la navigazione verso un punto specifico dell'ambiente. Cliccando sulle frecce presenti lungo il percorso, l'utente poteva usufruire di una guida ulteriore alla navigazione. I risultati finali dimostrarono che l'utilizzo delle frecce non aveva facilitato significativamente l'utente nel velocizzare il compimento del task, ma forse l'integrazione delle frecce con il testo, ovvero la conversione al "cartello stradale interattivo" avrebbe potuto invertire i risultati del test progettato in questo contesto. In questo caso si è deciso di testare nuovamente l'interazione i con tool di supporto alla navigazione e all'orientamento, riproponendo la mappa, ma in versione bidimensionale per ridurre lo spreco di risorse computazionali, e sostituendo le frecce con i "cartelli stradali interattivi".

In questo contesto la mappa interattiva è stata progettata in due dimensioni rappresentante la pianta del museo in scala ridotta. Sono inclusi dei landmarks a identificazione della posizione delle singole sale (con evidenziazione di quelle visitate) e l'indicatore di posizione è aggiornato in tempo reale per il punto in cui si trova la camera e la direzione di visuale in stile SecondLife. Cliccando su un'area l'utente può teletrasportarsi da una sala all'altra. È stata preferita una versione bidimensionale ed esterna all'area di visualizzazione tridimensionale per ottenere il maggior grado di visibilità dell'ambiente.

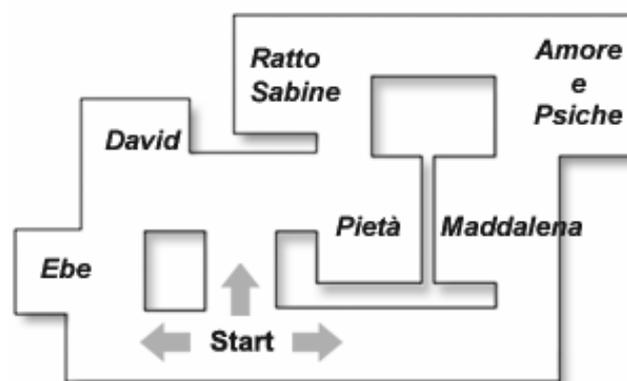


Figura 29. La mappa dell'ambiente per il test d'orientamento

Oltre alla mappa interattiva è stato inserito un menu per verificare la preferenza

dell'utente tra i due elementi.

I cartelli stradali interattivi sono stati posizionati al punto di partenza dell'ambiente virtuale e ad ogni incrocio. Ogni cartello riporta delle frecce e il testo per indicare le direzioni di ciascuna opera. Cliccando su una determinata sezione del cartello l'utente può teletrasportarsi all'area di interesse.



Figura 30. Il cartello interattivo indica le direzioni delle opere

5.4.1. Descrizione dei task

Il primo set di istruzioni è comune a tutti gli utenti ed è stato compiuto senza il supporto della mappa interattiva, del menu e dei cartelli, per verificare quanto tempo gli utenti impiegano in media a effettuare un determinato percorso senza aiuti. Il primo set di task è così descritto:

- Raggiungere la sala con Ebe;
- Raggiungere la sala con la Pietà;
- Raggiungere la sala con il Ratto delle Sabine.

Il secondo set di istruzioni è eseguito con l'ausilio della mappa interattiva per la prima metà di utenti e con l'ausilio dei cartelli interattivi per la seconda metà di utenti. La suddivisione dei compiti è stata attuata per verificare quanto tempo in media gli utenti impiegano a raggiungere le sale con solo l'aiuto della mappa o solamente con l'aiuto dei cartelli, cercando di escludere un ulteriore

addestramento mnemonico dovuto alla ripetizione consecutiva dei tour tra le sale.

Il secondo set di task è così descritto:

- Raggiungere la sala con la Maddalena;
- Raggiungere la sala con il David;
- Raggiungere la sala con Amore e Psiche.

Il terzo set di istruzioni è volto a indagare, in fase di test e come feedback successivo, quali strumenti di supporto all'orientamento siano considerati più efficienti ed agevoli nell'utilizzo lasciando il maggior grado di libertà nella navigazione e permettendo la focalizzazione dell'attenzione sugli elementi dell'ambiente virtuale piuttosto che sui tool di supporto stessi. Il terzo set di task è quindi svolto invertendo il gruppo di utenti del secondo set di istruzioni per permettergli di testare entrambi gli strumenti di supporto. Il set è così descritto:

- Raggiungere la sala con la Pietà;
- Raggiungere la sala con Ebe;
- Raggiungere la sala con Amore e Psiche.

Oltre al calcolo dei tempi medi impiegati per il compimento di ciascun set di task è stato tenuto conto del rapporto tra i task andati a buon fine e quelli non completati. In fase di test è stato osservato e tenuto conto delle preferenze degli utenti rispetto all'utilizzo del menu, della mappa o i cartelli per orientarsi e teletrasportarsi.

Un'ulteriore ipotesi consiste nel capire se l'utilizzo di tali strumenti, in primis della mappa di orientamento, possa provocare un'eccessiva distrazione dell'utente, impedendogli di visualizzare completamente i dettagli della scena. Alla fine di ogni test è stato quindi ottenuto un feedback per comprendere quanto questi abbiano influito nella memorizzazione dei particolari tra le varie sale e le preferenze dell'utente tra il teletrasporto e la navigazione completa dell'ambiente. Precedentemente rispetto al compimento dei test è stato presupposto che la navigazione senza tool di supporto restituisse il riscontro peggiore in termini di orientamento e raggiungimento dei task. È stato inoltre presupposto che la navigazione con la mappa interattiva restituisse il riscontro migliore in termini di

orientamento e raggiungimento del task, questo anche in base ai risultati ottenuti dal precedente studio di Haik et al, dove l'utilizzo della mappa di navigazione ha ridotto i tempi di raggiungimento del task a quasi un terzo.

5.4.2. Risultati e possibili soluzioni

Inversamente rispetto alle previsioni e alle preferenze espresse dagli utenti, il supporto all'orientamento con i cartelli è stata la metafora di interazione che ha restituito in media i tempi più brevi di completamento del task. Difatti la quasi totalità dei soggetti ha dichiarato di preferire la mappa ai cartelli per orientarsi nell'ambiente in quanto questa restituisce una visione d'insieme dello scenario virtuale. I cartelli sono posizionati all'interno dello stesso mondo virtuale e questo ha consentito una visualizzazione più immediata senza forzare lo spostamento dello sguardo, condizionando favorevolmente il tempo complessivo richiesto per completare il percorso assegnato. Alcuni utenti esperti hanno espresso una preferenza differenziata sulla base del contesto di visualizzazione: i cartelli sono stati considerati utili per il compimento di tragitti brevi, soprattutto se sempre visibili e presenti in numero sufficiente; la mappa è stata considerata utile per il compimento di tragitti più lunghi.

		Set 1° <i>Senza tool di supporto</i>	Set 2° <i>Con la mappa interattiva</i>		Set 3° <i>Con i cartelli</i>	
			I°*	II°	I°*	II°
Tempo (sec.)	Utente esperto	103,2	65	38,5	50,7	47
	Utente inesperto	122,25	102,5	82,5	84,5	67
N° task completati	Utente esperto	3/3	3/3		3/3	
	Utente inesperto	2/3	2/3		3/3	

Tabella 24. Risultati del test di navigazione e orientamento.

*Gruppo al primo test con tool

	Orientamento con mappa	Orientamento con cartelli	Tele- trasporto	Libera navigazione
Utente esperto	5	2	0	6
Utente inesperto	2	1	1	3
Totale	7	3	1	9

Tabella 25. Risultati sulle preferenze di orientamento degli utenti

Indipendentemente dal livello di esperienza del soggetto, tutti sono concordi sul fatto che la navigazione libera sia preferibile al teletrasporto in quanto necessaria per una visita virtuale dell'ambiente completa e piacevole. Per alcuni il teletrasporto può risultare utile in una fase successiva per velocizzare il raggiungimento di determinate zone del museo senza dover ripercorrere percorsi già battuti.

5.5. Terza ipotesi: testare strumenti e metodologie di selezione e manipolazione degli oggetti

Nel capitolo precedente è stato visto come i metodi di manipolazione degli oggetti osservati online non sempre risultino facilmente utilizzabili dalla maggioranza degli utenti. Per questo è stata ideata un'ulteriore ipotesi di interazione che preveda la visualizzazione di un menu di screenshot predefiniti su particolari zone del modello rappresentato, oltre al classico riferimento a posizioni convenzionali quali i principali punti di vista, che permetta all'utente di raggiungere istantaneamente l'area di suo interesse senza dover effettuare operazioni di rotazione o traslazione della vista con il mouse. Inoltre è stato implementato un ulteriore menu che permette all'utente di salvare alcune posizioni personalizzate e poterle raggiungere successivamente. In Figura 31 in alto a sinistra è visibile il menu di posizioni convenzionali predefinite, il menu sottostante prevede il raggiungimento di ulteriori zone del modello secondo un sistema di sottomenu, per cui, ad esempio è possibile selezionare il volto della statua oppure alcuni

particolari dello stesso come gli occhi o la porzione retrostante. Il pannello posto sulla destra mostra un menu nel quale è possibile su un modello semplificato salvare alcune viste personalizzate sul modello originale.

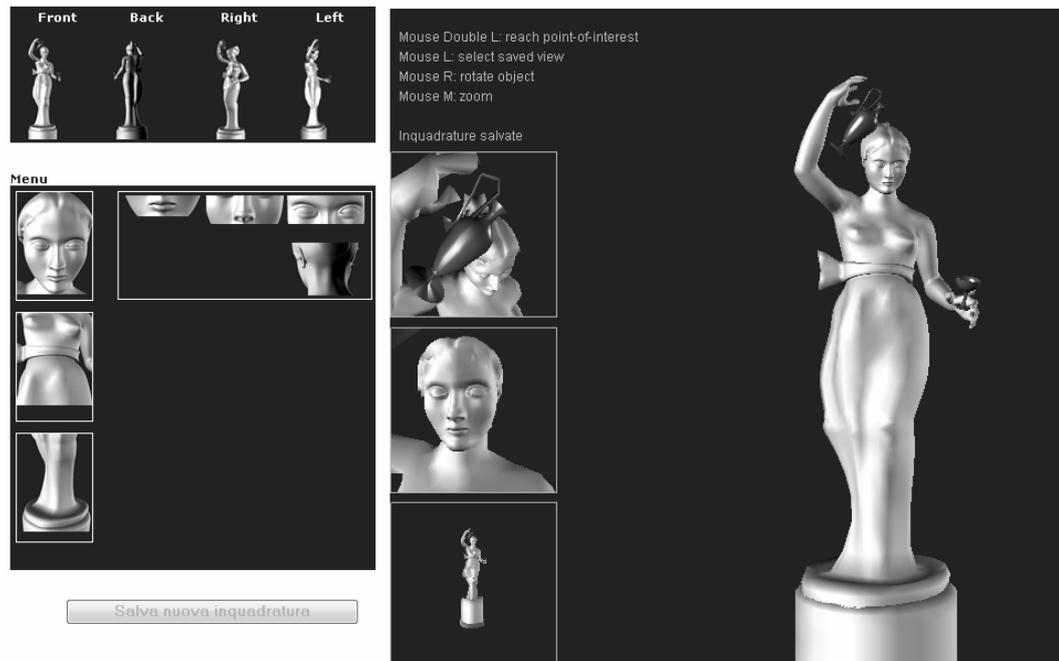


Figura 31. L'interfaccia di manipolazione degli oggetti

Per testare la selezione e la manipolazione degli oggetti è stato considerato più idoneo creare un ambiente semplice costituito da una vista su di un unico modello, con il quale l'utente può interagire ruotando la camera attorno agli assi x, y, z, e selezionandone le varie aree per effettuare un esame ravvicinato. La scelta di questo tipo di ambiente è dovuta anche al fatto che questo tipo di interazione viene effettuata principalmente da utenti appartenenti a categorie di esperti, ricercatori o studiosi che comunque accedono alle applicazioni per esaminare in modo ravvicinato singole opere, spesso con alti livelli di dettaglio, e che quindi necessitano di una visualizzazione il più possibile neutra e snella, ma al tempo stesso ricca di strumenti che facilitino e rendano possibile un'analisi approfondita. La gestione del strascinamento della vista sull'oggetto, lo zoom e la rotazione orbitale è stata implementata assegnando ad ogni pulsante del mouse la rispettiva

funzionalità al tasto sinistro, la rotella e il tasto destro.

Un'alternativa al controllo dell'ambiente con la rotazione orbitale attorno all'oggetto, lo zoom e il trascinamento, è stata introdotta con il metodo di navigazione *point-of-interest*, attivabile con un doppio click del mouse sull'oggetto. Il punto di vista viene spostato sugli assi x y e z in corrispondenza della normale del punto di intersezione tra il modello tridimensionale e una retta, la quale ha origine dal posizionamento nel mondo del puntatore del mouse, più una certa distanza. L'ipotesi consiste nel verificare se effettivamente l'interazione dell'utente potrebbe essere facilitata e velocizzata tramite la selezione e il raggiungimento diretto della porzione del modello di interesse piuttosto che la traslazione manuale della vista mediante il trascinamento del mouse.

5.5.1. Descrizione dei feedback

La prima ipotesi è volta a valutare il gradimento dell'utente rispetto all'utilizzo del menu di viste predefinite e personalizzate, per comprendere se le sue azioni tendano a uno spostamento della visuale per via manuale o sfruttando i menu. Alla fine del test è richiesto un feedback dell'utente per valutare il livello di intuitività del sistema a icone del menu.

La seconda ipotesi è volta all'osservazione dell'utilizzo del mouse per verificare come la maggioranza degli utenti tenda a maneggiarlo per gestire la visualizzazione dell'oggetto. Alla fine del test è stato chiesto a ciascun utente quali funzionalità avrebbe aggiunto all'interazione e quali strumenti oltre al mouse avrebbe utilizzato e come per gestire più in libertà la manipolazione dell'oggetto (ad esempio il touchscreen).

La terza ipotesi è volta a comprendere quale metafora di interazione l'utente preferisce tra la manipolazione manuale con il mouse, il metodo POI, il menu predefinito e il menu personalizzato.

In fase di test è chiesto all'utente di compiere una serie di semplici operazioni utilizzando i vari paradigmi di interazione. Alcuni esempi di istruzioni possono essere le seguenti:

- Visualizza il retro della testa della statua;
- Visualizza gli occhi della statua;
- Visualizza la bocca della statua;
- Visualizza il basamento della statua.

Nella fase precedente al compimento dei test è stato presupposto che il metodo di gestione della manipolazione tramite POI fosse compresa anche da utenti non esperti e che facilitasse l'interazione. Inoltre è stato presupposto che il metodo di manipolazione con il mouse fosse ben compreso e di facile utilizzo sia per utenti esperti che inesperti.

5.5.2. Risultati e possibili soluzioni

In fase di osservazione del comportamento degli utenti in relazione all'utilizzo del dispositivo di puntamento è parsa evidente, soprattutto per gli utenti non esperti, una certa difficoltà nel comprendere come utilizzare il mouse per effettuare le singole operazioni di rotazione e zoom. Come descritto nel Paragrafo 5.5.1, il sistema è basato su una suddivisione dei compiti assegnati in maniera fissa ai vari pulsanti del mouse per disporre immediatamente delle varie funzioni di selezione, trascinamento, zoom e rotazione senza dover selezionare il metodo desiderato da una barra di manipolazione. Questa progettazione non è parsa in linea con le necessità degli utenti inesperti in quanto essi avrebbero compiuto ogni metafora di interazione per mezzo del tasto sinistro del mouse, eccetto lo zoom della vista, per il quale è stato spesso utilizzato lo scorrimento della rotellina. Da tale risultato si evince la necessità di mantenere l'implementazione della barra di manipolazione per la personalizzazione delle funzionalità del tasto sinistro del mouse, lasciando alla rotella la funzione di zoom e al tasto destro quella di rotazione per gli utenti esperti.

Un'ulteriore difficoltà nell'utilizzo del mouse comune allo stesso gruppo di utenti è emersa in quanto i soggetti non hanno compreso immediatamente come trascinare il mouse per ottenere la rotazione orbitale della vista, ma semplicemente si sono limitati a premere il pulsante del dispositivo attendendo

che il sistema ritornasse una qualche sorta di output. Considerato che la maggioranza degli utenti sottoposti ai test non ha letto le istruzioni testuali anche se poste in maniera visibile, per supportare i soggetti nella gestione della visualizzazione dei modelli tridimensionali può essere incoraggiante integrare nell'interfaccia un pannello di istruzioni animato che mostri visivamente come la manipolazione del mouse restituisca determinate modificazioni dell'ambiente.

	Selezione da Menu	Rotazione + Zoom + Trascinamento	POI	Viste personalizzate
Utente esperto	1	5	3	5
Utente inesperto	2	2	4	5
Totale	3	7	7	10

Tabella 26. Le preferenze degli utenti nella manipolazione

Dai risultati mostrati in Tabella 21, emerge come anche in questo caso il livello di familiarità con i paradigmi di interazione in ambienti tridimensionali abbia determinato risultati diversi. Gli utenti non esperti hanno preferito interfacciarsi con il menu piuttosto che provare a selezionare e ruotare l'oggetto. La possibilità di scegliere tra un set predefinito di punti di vista ha costituito una sorta di "ancora di salvezza" per chi ha trovato difficoltoso gestire la visualizzazione per mezzo del mouse, soprattutto la rotazione premendo del tasto destro.

La totalità degli utenti ha trovato molto utile il poter salvare alcune posizioni preferite per poterle recuperare successivamente e il sistema POI è stato preferito dalla maggioranza indipendentemente dal livello di esperienza. Il metodo è stato preferito soprattutto nei casi in cui la vista sia distanziata dall'oggetto per rendere l'avvicinamento ad una particolare zona del modello più veloce e immediato. In fase di vista ravvicinata è stato preferito il drag dell'oggetto.

5.6. Quarta ipotesi: testare i metodi di recupero delle informazioni

In questo ultimo set di test è progettata la gestione dell'informazione a livello di

posizionamento e rappresentazione formale dei dati, per permettere all'utente di individuare tutti i punti di recupero degli stessi, più velocemente e senza interferenze nel campo visivo.

L'ipotesi di fruizione è volta a indagare su dove l'utente preferirebbe visualizzare le informazioni. In primo luogo è indispensabile capire le preferenze nella rappresentazione delle informazioni all'interno dello stesso ambiente virtuale o al di fuori di questo, come contenuto della pagina HTML. Nell'applicazione per il test le informazioni più corpose, quali le descrizioni e aneddoti storici dell'opera, sono state presentate nella pagina HTML per motivi di chiarezza, per sfruttare maggiore spazio e per non interferire con la rappresentazione tridimensionale. Le informazioni riferite ai dati identificativi dell'opera sono state posizionate in primo piano nell'interfaccia tridimensionale sotto forma di console di testo, per permettere un'immediata memorizzazione e comprensione dell'identità del modello. Si è scelto di non inserire un totem informativo per non interferire con la visualizzazione del modello. Tali informazioni riguardano il nome dell'opera, l'autore, il periodo di creazione, la tipologia, e le misure. Altre informazioni riguardano nello specifico il modello tridimensionale, con indicazione delle dimensioni in termini di vertici, lati e facce.

Come mostrato in Figura 32, l'ambiente da sottoporre alla valutazione dell'utente è costituito da un unico modello tridimensionale con un sistema di manipolazione simile al precedente, con annesse varie tipologie di informazioni presentate in modalità diverse. Difatti posizionando il cursore del mouse su determinate zone dell'opera appare un billboard raffigurante l'immagine originale relativa a quella porzione del modello, premendo due volte il tasto destro del mouse in corrispondenza della selezione è possibile ottenere un pannello con ulteriori informazioni descrittive e immagini ottenute dall'opera originale. È stato preferito un pannello sotto forma di finestra HTML per permettere all'utente di poterlo spostare in qualsiasi posizione dell'intera interfaccia e perchè tale soluzione consente l'inserimento di grossi quantitativi di informazioni senza interferire con la visuale. Nel museo virtuale tali informazioni potrebbero far riferimento alle

diverse opere presenti nelle sale, selezionando le quali l'utente potrebbe ottenere un pannello informativo simile a quello mostrato in Figura 32.

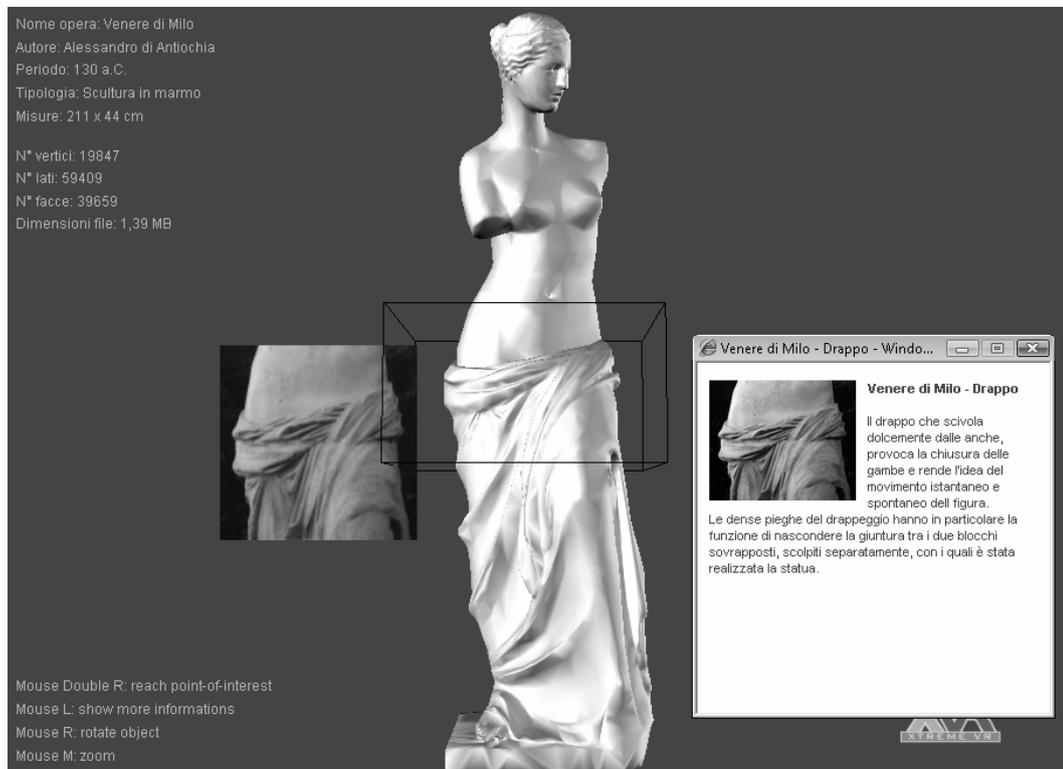


Figura 32. L'interfaccia per testare il recupero delle informazioni

5.6.1. Descrizione dei feedback

Durante il compimento del test è stato chiesto all'utente provare a interagire con l'ambiente cercando di esprimere le proprie preferenze riguardo al posizionamento e alle caratteristiche morfologiche di ogni gruppo informativo, oltre all'indicazione della tipologia di informazioni che vorrebbe aggiungere alla visualizzazione. In particolar modo si è cercato di ottenere informazioni riguardo alle caratteristiche dei seguenti elementi informativi:

- Posizionare il testo descrittivo nella finestra popup, nella pagina HTML oppure nell'ambiente virtuale;
- Posizionare il testo identificativo nella finestra popup, nella pagina HTML oppure nell'ambiente virtuale;

- Posizionare le immagini nella finestra popup, nella pagina HTML oppure nell'ambiente virtuale;
- Se posizionate nell'ambiente virtuale, capire se le immagini vanno posizionate in corrispondenza del cursore del mouse oppure in posizione fissa;
- Ingrandire o diminuire la dimensione delle immagini;
- Eliminare la bounding box di selezione;
- Avere la possibilità di aprire il testo descrittivo da un pulsante per ottenere un maggiore spazio di visualizzazione.

5.6.2. Risultati e possibili soluzioni

Ogni utente ha espresso le proprie preferenze riguardo il posizionamento e la metodologia di rappresentazione dei vari tipi di informazioni. In linea generale molti lascerebbero ogni tipo di informazione all'interno della stessa finestra per poter avere sotto controllo tutti i dati a disposizione. La maggioranza degli utenti inesperti avrebbe preferito visualizzare ogni tipo di informazione testuale e le immagini in maniera tradizionale, all'esterno dell'ambiente tridimensionale. Viceversa, alcuni utenti esperti avrebbero preferito un sistema altamente interattivo dove ogni tipo di informazione fosse integrato completamente all'interno dell'ambiente virtuale.

Comunque la maggioranza dagli utenti esperti ha apprezzato il posizionamento delle informazioni testuali descrittive nella porzione della pagina HTML esterna al viewer 3D e la maggioranza dei soggetti non ha espresso la necessità di nascondere il testo descrittivo con un sistema di richiesta automatico, ma anzi, avrebbe aumentato lo spazio di visualizzazione di quest'ultimo.

Le immagini che appaiono nell'ambiente 3D al trascinarsi del mouse su particolari aree del modello sono state considerate molto utili per un raffronto con l'opera originale e delle dimensioni adatte. Il posizionamento sarebbe stato preferito altresì in una posizione fissa che non seguisse il movimento del cursore del mouse, ma comunque sempre in corrispondenza dell'altezza dell'area

sensibile. La maggioranza degli utenti esperti avrebbe nascosto la visualizzazione dell'immagine in fase di rotazione orbitale o trascinamento della vista, o comunque avrebbe integrato il sistema con la possibilità di disattivare tale funzionalità su richiesta.

La finestra popup che appare su selezione dell'area attiva non è stata considerata un metodo di presentazione delle informazioni approfonditive preferibile per la stessa natura del sistema, non apprezzato in linea generale dalla maggioranza degli utenti. Una soluzione alternativa altrettanto efficace consisterebbe nella presentazione dei dati in una posizione dedicata e fissa all'interno della pagina HTML, oppure le informazioni potrebbero essere integrate in un box HTML attivabile su selezione e posizionato in primo piano rispetto a tutto il resto.

Dal tema affrontato nel capitolo precedente è emerso come per alcune tipologie di utenti come storici o archeologi sia importante poter ottenere informazioni ulteriori riguardo anche le misurazioni e le informazioni volumetriche degli oggetti. Il viewer PDF3D ad esempio, ha integrato un sistema di misurazione personalizzato degli oggetti tridimensionali molto efficiente, che permette di rilevare la lunghezza di un segmento ottenuto dall'ancoraggio di due punti qualsiasi del modello. Un ulteriore sistema di misurazione proposto e richiesto da alcuni utenti esperti potrebbe consistere nella visualizzazione di un righello posizionato accanto e sotto al modello indicandone le dimensioni dell'intero o porzioni di esse.

Capitolo 6. Conclusioni e proposta di nuovi elementi applicativi

Nel corso dell'analisi affrontata in questo contesto è stata appurata la presenza di una forte complessità richiesta nella progettazione di applicazioni Web3D affinché siano accessibili, supportabili e sufficientemente usabili. Rispetto allo sviluppo di siti web tradizionali, l'implementazione e la gestione di informazioni in ambienti virtuali integrati nei browser di navigazione determina una maggiore serie di implicazioni su tutti i livelli di azione, dalle tecnologie hardware e software utilizzate per creare e usufruire degli ambienti, alla qualità delle informazioni rappresentate e ai metodi impiegati per gestire e visualizzare tali informazioni.

L'osservazione delle applicazioni Web3D per i beni culturali presenti online e il testing degli utenti su particolari contesti di interazione e visualizzazione creati appositamente hanno permesso di comprendere buona parte dei vantaggi e dei limiti di questi sistemi rispetto ai metodi di fruizione culturale via web tradizionali. La raccolta di questi dati è stata considerata quindi molto utile per stilare un elenco di linee guida come proposta per un miglioramento implementativo, formale e contenutistico di applicazioni già esistenti e di produzioni successive. Un riassunto complessivo di tali suggerimenti sarà quindi redatto con l'auspicio di una più rapida diffusione e pubblicizzazione di simili strumenti di divulgazione del sapere tra la maggioranza della popolazione di Internet, al pari di tecnologie bidimensionali o di simulazione tridimensionale come Adobe Flash o QuickTimeVR, oppure le più conosciute piattaforme autonome di *VR Desktop*, come ad esempio il social network SecondLife o il sistema di navigazione geografica Google Earth. Le linee guida sono classificate sulla base delle fasi di sviluppo disaminate in questo lavoro e sono così elencate:

- Selezione e produzione delle informazioni;
- Scelta del metodo e degli strumenti di implementazione;
- Progettazione della visualizzazione e dell'interazione.

6.1. Selezione e produzione delle informazioni

Le regole generali che i progettisti e gli sviluppatori di ogni applicazione Web3D per la mediazione culturale dovrebbero seguire affinché il messaggio sia mediato nel più completo e corretto dei modi possono essere indicate come le seguenti:

Contestualizzazione e finalità

- Indicare quali sono gli scopi principali della pubblicazione o la funzione che dovrebbe svolgere;
- Descrivere, almeno in formato introduttivo, a cosa si riferiscono sono gli oggetti rappresentati, la loro provenienza e per quale motivo sono stati digitalizzati;
- Le informazioni devono essere coerenti rispetto agli obiettivi e alle competenze del destinatario della comunicazione;
- Preparare l'utente alla visita virtuale contestualizzando chiaramente i reperti riprodotti e l'ambiente rispetto al periodo storico e alle condizioni (con lo stesso ambiente 3D e/o con l'aiuto di video introduttivi, fotografie, testi descrittivi, etc);
- Nella progettazione del sistema di mediazione culturale, scegliere di sfruttare sempre il metodo più semplice;
- Scegliere di rappresentare le informazioni con sistemi tridimensionali solamente se tali metodi possono apportare maggiore conoscenza.

Certezza e completezza delle informazioni

- Nella produzione delle informazioni basarsi sempre sul confronto tra le fonti storiche e archeologiche e fornire strumenti di accesso a tali dati;
- Fornire una chiara distinzione tra l'evidenza e l'ipotesi, ovvero indicare quali modelli sono costruiti sulla base di documentazioni certe o acquisiti direttamente dall'originale, e indicare quali modelli o ambienti sono generati a partire da formulazioni ipotetiche;
- Rendere chiara la distinzione tra gli elementi informativi, semplificati, ipotetici ed eventualmente aggiuntivi;

- Indicare la data o il periodo dell'ultimo aggiornamento delle informazioni;
- Indicare l'attuale stato e luogo di conservazione degli oggetti o del sito archeologico;
- Descrivere la progettazione, le regole, le metodologie e le procedure di acquisizione dei modelli e della creazione dell'ambiente tridimensionale;
- Differenziare su più livelli le informazioni sulla base della tipologia e le competenze del destinatario della mediazione.

Consentire l'accesso alle informazioni e garantirne la sostenibilità

- Tenere sempre conto del rapporto tra i vantaggi e il dispendio di risorse richiesto per la fruizione della rappresentazione;
- La tecnologia non deve superare l'informazione;
- Fornire metodi di accesso alternativo ai modelli fruibili tramite l'interfaccia tridimensionale, come una buona documentazione fotografica o la possibilità di scaricare una versione più o meno dettagliata del modello;
- Adeguare il linguaggio e la rappresentazione dei contenuti alle effettive conoscenze del target;
- Posizionare le informazioni secondo una struttura chiara e ben visibile;
- Indicare il livello di risoluzione del modello e la modalità di acquisizione;
- Affiancare alla memorizzazione digitale la documentazione analogica;
- Utilizzare diverse metodologie di memorizzazione e catalogazione qualitativamente rinnovabili nel tempo e gestibili anche per mezzo di strumenti diversi tra loro e mutevoli;
- Progettare il sistema affinché possa essere riutilizzabile su dispositivi diversi.

Facilitare l'approfondimento

- Fornire sempre in ogni caso la documentazione iconografica dell'opera originale;
- Elencare le fonti su cui si basano le ricostruzioni e le informazioni e

possibilmente fornire degli hiperlink di accesso immediato;

- Fornire la documentazione testuale e iconografica sulla base del quale è stato ricostruito l'ambiente;
- Fornire di un corredo di informazioni approfonditive o descrittive;
- Fornire la bibliografia di riferimento.

6.2. Scelta del metodo e degli strumenti di implementazione

Le regole generali che i progettisti e gli sviluppatori di ogni applicazione Web3D per la mediazione culturale dovrebbero seguire affinché l'accessibilità ai sistemi sia garantita nella maniera più efficiente possono essere indicate come le seguenti:

Garantire l'accessibilità

- Implementare l'applicazione tenendo conto di un viewer che sia visualizzabile su almeno i due più usati browser di navigazione e installabile su tutti i sistemi operativi (Mozilla Firefox e Internet Explorer);
- In fase di progettazione e implementazione dell'applicazione tenere conto dei requisiti di banda e delle macchine necessari per la corretta visualizzazione degli ambienti, affinché la maggioranza degli utenti possa disporre dei mezzi necessari per accedere a tali sistemi di mediazione culturale;
- Progettare l'applicazione affinché sia sufficiente installare un solo plugin per visualizzare correttamente l'ambiente;
- In fase di progettazione scegliere il viewer tenendo conto delle implicazioni a livello delle possibili limitazioni che esso può comportare nella visualizzazione e nell'interazione;
- Sviluppare l'implementazione impiegando sistemi idonei di compressione e rendering basato su diversi LoD;
- Fornire l'applicazione di un sistema di accesso alternativo alla visualizzazione consentendo inoltre di scaricare modelli tridimensionali

- con un minor numero di poligoni;
- Fornire l'implementazione di un metodo di personalizzazione della qualità del rendering dell'ambiente virtuale;
 - Indicare al destinatario dell'applicazione la compatibilità del plugin in relazione ai browser di navigazione e ai sistemi operativi attualmente disponibili;
 - Indicare al destinatario della rappresentazione i requisiti di banda di rete e delle macchine necessari per visualizzare correttamente e fluidamente l'applicazione;
 - Permettere all'utente di rintracciare facilmente il plugin da scaricare tramite l'indicazione del link diretto a questo;
 - Fornire l'applicazione di un set di istruzioni su come installare e avviare il plugin e il relativo viewer;
 - Indicare all'utente anticipatamente i tempi stimati di scaricamento e installazione del plugin;
 - Indicare all'utente anticipatamente i tempi stimati di scaricamento dell'ambiente virtuale.

6.3. Progettazione della visualizzazione e dell'interazione

Le regole generali che i progettisti e gli sviluppatori di ogni applicazione Web3D per la mediazione culturale dovrebbero seguire affinché l'interazione con i sistemi sia garantita nella maniera più efficiente possono essere indicate come le seguenti:

Garantire l'usabilità dell'interfaccia

- Adottare principi di usabilità con il fine di aumentare l'apprendimento dell'utente, diminuire i tempi di addestramento, ridurre gli errori e la necessità di supporto all'utente, e aumentare così e la soddisfazione nell'utilizzo e l'accettazione delle tecnologie informatiche;
- Permettere la visualizzazione e l'interazione semplificata e personalizzata sulla base delle competenze del destinatario della mediazione;

- Scegliere il metodo di visualizzazione e interazione più adatto in base alla competenze del target della rappresentazione;
- Progettare sistemi che mantengano un certo grado di libertà per far sì che l'utente si concentri su quello che desidera ottenere piuttosto che su come ottenerlo;
- Fornire istruzioni grafiche e/o animate per mostrare il funzionamento del sistema e come debbano essere maneggiati i dispositivi di interazione;
- Prevedere uno specifico feedback sonoro o grafico del sistema per ogni tipologia di azione;
- Permettere di annullare l'azione senza interrompere l'interazione e potendo tornare allo stato precedente;
- Permettere di interrompere l'interazione senza generare errori e permettere una ripresa successiva.

Visualizzare correttamente le informazioni

- Le metafore impiegate per la rappresentazione dell'ambiente virtuale devono essere coerenti rappresentative degli obiettivi e compatibili con le conoscenze dell'utente;
- Cercare di mantenere un certo equilibrio nella qualità e quantità delle informazioni (fedeltà del modello 3D, testo, immagini) sulla base del target e degli obiettivi della visualizzazione;
- Considerare la possibilità di impiegare tecnologie meno sofisticate dove non sia richiesto uno studio approfondito, ma cercando di mantenere un certo grado di qualità nei dati rappresentati;
- Nella rappresentazione dell'ambiente devono essere seguiti principi di semplicità per evitare caos visivi, un sovraccarico di informazioni inutili o una limitazione alla libertà di navigazione;
- Deve essere garantita una certa armonia e gerarchia nel posizionamento degli elementi affinché tutto sia facilmente visibile e raggiungibile, servendosi anche di *landmarks* per segnare le posizioni più importanti;

- Le proprietà fisiche dell’ambiente quali l’architettura, l’illuminazione, gli *shaders* e lo sfondo non debbono interferire con la corretta visualizzazione degli oggetti della visualizzazione e non appesantire il *rendering* finale;
- Ulteriori elementi quali il testo e le immagini devono essere inseriti se apportanti informazioni utili e in posizioni e dimensioni che non interferiscano con la corretta visualizzazione dell’ambiente;
- Evitare l’impiego di un *avatar* per l’interazione in quanto di interferenza alla visualizzazione e non recante informazioni aggiuntive;
- L’ampiezza del viewer deve essere sufficientemente grande al fine di permettere una visione d’insieme e ridurre il numero di interazioni necessarie alla visualizzazione di parti diverse di un modello o un intero ambiente;
- Consentire all’utente di poter scegliere tra una visualizzazione a pieno schermo o in finestra, permettendo la disattivazione di pannelli non utili alla visualizzazione di informazioni;
- Consentire all’utente esperto di poter personalizzare l’ambiente di visualizzazione al fine di ottenere un piano di lavoro e un rendering ottimale;
- Consentire all’utente esperto di poter usufruire di maggiori strumenti per l’ottenimento di informazioni dettagliate (ad esempio la misurazione);
- Permettere un confronto attraverso l’inserimento di dati ottenuti direttamente dall’originale (come le fotografie).

Garantire efficienza nell’interazione

- Consentire agli utenti il pieno controllo dello svolgimento degli eventi;
- Consentire sempre la possibilità di ripristinare lo stato iniziale della navigazione senza dover riavviare l’applicazione;
- Progettare l’interazione secondo modelli mentali comuni basati sulle esperienze degli utenti;
- Consentire la chiara distinzione tra oggetti inattivi e interagibili;

- Disporre l'applicazione di strumenti per agevolare l'utente nel raggiungimento del task, garantendogli un adeguato grado di libertà nella scelta dei movimenti e delle azioni da compiere;
- Disporre l'applicazione di vari sistemi per il raggiungimento facilitato e velocizzato degli elementi in modo tale che l'utente possa scegliere quello più adatto alle sue esigenze;
- Disporre l'applicazione di un set predefinito di punti di vista o posizioni sotto forma di menu;
- Disporre l'applicazione di strumenti ed elementi (mappe, cartelli, *landmarks*) che facilitino e supportino l'orientamento dell'utente in fase di navigazione;
- Progettare la navigazione, la selezione e la manipolazione degli oggetti secondo criteri di semplicità e libertà, scegliendo modelli facilmente riconoscibili dal gruppo di soggetti cui è destinata la comunicazione;
- Progettare la navigazione consentendone la gestione su un sufficiente numero di DOF, ma sempre secondo criteri di semplicità;
- Progettare i percorsi di navigazione in modo tale da consentire la visualizzazione immediata di tutti gli elementi di interesse oppure disporre la manipolazione di strumenti che permettano la visualizzazione di ogni parte del modello tridimensionale, comprese le sezioni interne;
- Affiancare all'eventuale animazione predefinita sempre un metodo di navigazione manuale;
- Affiancare all'eventuale barra di navigazione sempre un metodo di navigazione manuale;
- Raggruppare e rappresentare le varie funzionalità della barra secondo criteri logici di funzionalità.

I risultati ottenuti dai test sugli utenti hanno dimostrato come alcune metafore e strumenti siano indispensabili per una buona riuscita dell'interazione tra l'utente e l'interfaccia e come altri siano eliminabili o addirittura d'intralcio nella corretta

esecuzione delle attività o nel recupero delle informazioni. Dai dati raccolti è stato possibile quindi ideare un'ipotetica interfaccia di navigazione e una di manipolazione integrante tutti quei criteri considerati utili per una buona fruizione visuale e interattiva e per il corretto e completo recupero delle informazioni.

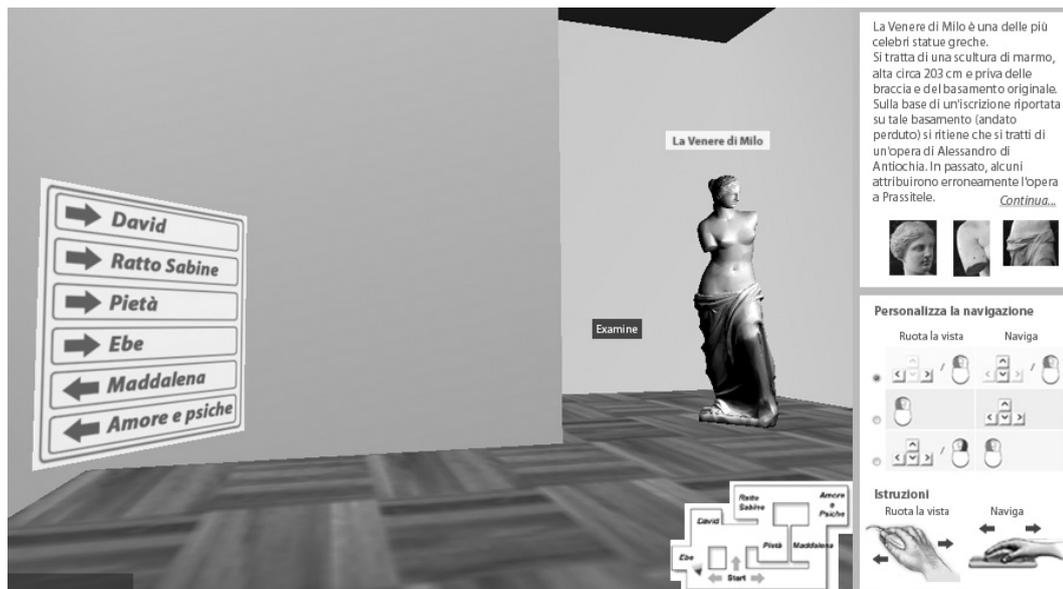


Figura 33. Un'ipotetica interfaccia di navigazione ideale

In Figura 33 è mostrata un'ipotetica interfaccia di navigazione ideale, basata sui risultati dei test sugli utenti. La prima porzione della finestra del browser è impiegata per la visualizzazione dell'ambiente tridimensionale, la seconda porzione è suddivisa a sua volta in due sezioni, la prima dedicata alla descrizione testuale dell'opera selezionata e la seconda è dedicata alla gestione della navigazione.

I feedback degli utenti hanno dimostrato una preferenza nella visualizzazione delle informazioni testuali e iconografiche all'interno della stessa finestra del browser. Considerato che la quantità delle informazioni facilmente supera lo spazio dedicato loro (è preferibile ottenere più spazio di visualizzazione per l'ambiente tridimensionale), l'ulteriore testo approfonditivo e l'ingrandimento delle immagini possono essere posizionati in un più grande box HTML attivabile

tramite la selezione di un link o degli stessi elementi.

Abbiamo visto come anzitutto sia indispensabile dotare ogni applicazione di un sistema di personalizzazione della gestione de navigazione e come in particolar modo sia molto utile fornire delle istruzioni grafiche o animate per mostrare agli utenti inesperti come effettivamente i dispositivi di interazione quali il mouse e la tastiera debbano essere maneggiati per ottenere una corretta risposta dal sistema. Le istruzioni dovrebbero indicare inoltre come attivare e utilizzare la navigazione in modalità POI e l'ispezione dell'oggetto in modalità di rotazione orbitale. Le due metafore di interazione infatti sono state considerate utili al fine di velocizzare la frizione .

L'implementazione deve essere fornita di entrambi i metodi di orientamento testati, ovvero della mappa interattiva e dei cartelli, in quanto è emerso dai test sugli utenti come entrambi i sistemi siano apprezzati e utili per velocizzare il raggiungimento del task ed avere un controllo sullo stato del sistema. La mappa interattiva dovrebbe essere posizionata sulla porzione in basso a destra del viewer per ridurre al minimo la necessità di spostamento dello sguardo dall'ambiente 3D. Un eventuale pulsante di chiusura della mappa sarebbe preferibile per dare la possibilità all'utente di ottenere un maggior campo si visualizzazione. Le istruzioni dovrebbero fornire inoltre una spiegazione sulle modalità di attivazione del teletrasporto con i due sistemi.

In Figura 34 è mostrata un'ipotetica interfaccia di manipolazione degli oggetti ideale, la cui progettazione è basata anch'essa sui risultati dei test sugli utenti. La finestra del browser è suddivisa in quattro sezioni principali, di cui quella centrale è dedicata alla visualizzazione dell'ambiente virtuale.

La colonna di sinistra è dedicata principalmente agli strumenti di supporto alla visualizzazione velocizzata e semplificata dell'opera, indirizzati soprattutto agli utenti non esperti. La prima sezione presenta un menu di punti di vista predefiniti e la seconda sezione un menu di viste personalizzabili su scelta dell'utente. La terza sezione presenta tre pulsanti che attivano e disattivano il righello per la comparazione delle dimensioni, le immagini che appaiono per la comparazione di

particolari aree del modello con l'opera originale e la modalità fullscreen.

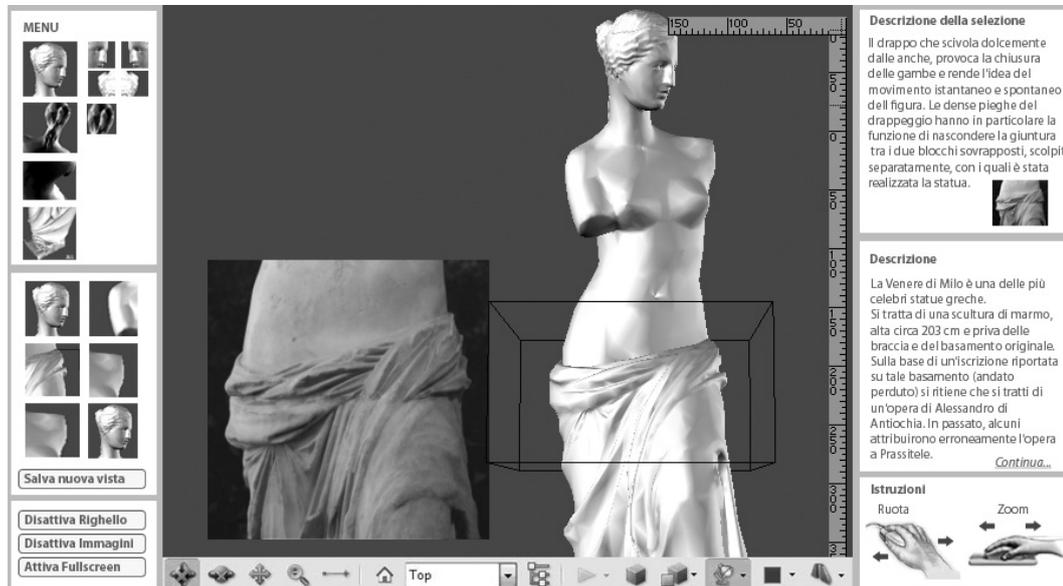


Figura 34. Un'ipotetica interfaccia di manipolazione ideale

La colonna di destra presenta principalmente le descrizioni testuali dell'opera originale. La prima sezione è dinamica e dedicata all'esposizione delle informazioni specifiche per la particolare sezione del modello selezionata. Oltre al testo è consentita la visualizzazione ingrandita delle immagini relative. La seconda sezione è dedicata alla narrazione storico-artistica dell'opera in generale. La terza sezione comprende le istruzioni animate che mostrano come gestire l'interazione e recuperare le informazioni. Il sistema di fatti può risultare al primo approccio da gestire in quanto l'ambiente virtuale è fortemente interattivo. Le istruzioni quindi devono descrivere, oltre ai metodi di gestione della manipolazione dell'oggetto con il mouse e il paradigma POI, come ottenere le informazioni dal passaggio del mouse sul modello e dalla selezione della relativa area.

Centralmente, nella parte inferiore del browser, è posta la barra di manipolazione, che consente la personalizzazione delle funzionalità del pulsante sinistro del mouse, assegnandovi la rotazione, la traslazione oppure lo zoom. In questo caso è

stata presa come esempio la barra implementata nel viewer PDF3D in quanto, da come già descritto nel quarto capitolo, in fase di comparazione e valutazione delle diverse implementazioni è stato considerato il metodo di gestione e personalizzazione della visualizzazione e della manipolazione degli oggetti più completo ed efficiente, e quindi da tenere in considerazione come modello di riferimento per gli sviluppi successivi.

6.4. Futuri elementi applicativi

Abbiamo visto come spesso risulti complicato poter progettare un'interazione che permetta a tutti gli utenti con qualsiasi livello di esperienza con la VR Desktop di poter agevolmente interfacciarsi con l'ambiente virtuale, raggiungendo e visualizzando fluidamente i modelli tridimensionali senza incappare in errori od ostacoli difficili da evitare.

Tra le soluzioni di interazione non browser che potrebbero rivelarsi utili per la gestione semplificata e velocizzata della visualizzazione di modelli tridimensionali è parso di particolare rilievo Navidget, un'interfaccia 3D che sfrutta una metafora del movimento della camera attorno all'oggetto, la quale dovrebbe permettere di evitare interferenze visuali all'interno di musei virtuali e garantire il pieno controllo da parte dell'utente. Il sistema rappresenta un'evoluzione del paradigma *point-of-interest*, permettendo di prevedere esattamente la destinazione della camera virtuale attraverso la generazione di una preview ottenuta dal rendering preventivo basato sulla vista perpendicolare alla normale della faccia di una sfera virtuale posizionata in corrispondenza del punto del modello focalizzato. Questo paradigma consente di prevedere il punto di vista anche da distanze significative tra la camera e il modello, evitando quelle limitazioni che possono incorrere ad esempio in ambienti museali, dove l'architettura può fraporsi tra la vista e l'oggetto. È auspicabile che in un prossimo futuro simili metafore di interazione siano sfruttate anche in contesti Web3D.

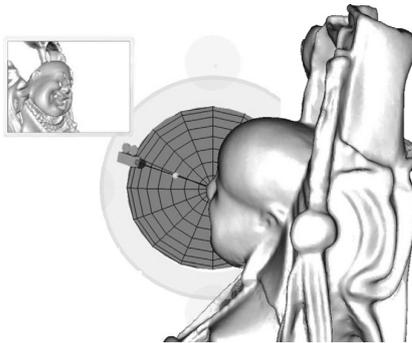


Figura 35. Un esempio di utilizzo del sistema di controllo della visualizzazione Navidget

Negli ultimi anni si sono affacciati sul mercato di largo consumo nuovi dispositivi hardware, i quali hanno introdotto nuovi paradigmi di interazione assimilati con successo dalla maggioranza degli utilizzatori. Primo fra tutti il touchscreen, impiegato soprattutto nella produzione dei nuovi apparecchi di telefonia mobile come l'iPhone, ma che, sulla scia degli iPad, sta cominciando ad essere integrato anche nelle nuove stazioni desktop. La maggioranza degli utenti sta cominciando ad imparare a selezionare, spostare testi e immagini semplicemente trascinando le dita sullo schermo di questi dispositivi ed è plausibile immaginare che in un futuro prossimo il mouse e la tastiera saranno in buona parte sostituiti da questi strumenti. Molti degli utenti sottoposti ai test hanno espresso un particolare interesse nella possibilità di poter sostituire il mouse con la manipolazione diretta dei modelli 3D e la navigazione POI per puntamento diretto. Il trascinamento del dito sullo schermo del PC ad esempio, avrebbe reso la metafora di rotazione e traslazione dell'oggetto molto più intuitiva e soggetta a meno limiti. L'introduzione del sistema *touchscreen* e la sempre più crescente capacità di ricezione di dati dalla rete nei dispositivi portatili lascia inoltre pensare che potrà essere possibile una migrazione degli ambienti Web3D dalle stazioni desktop e PC a tali strumenti.

Considerato come non sia possibile ottenere neanche con l'utilizzo simultaneo di mouse e barra una gestione della navigazione a 6-LOF altre soluzioni sono state ideate con lo scopo di cercare di migliorare la maneggevolezza e incrementare le funzionalità del mouse. Il mouse 3D ad esempio è stato progettato specificamente

per navigare all'interno di ambienti tridimensionali attraverso una vasta gamma di comandi che è possibile impartire attraverso questo strumento molto flessibile. Purtroppo i prezzi poco accessibili non hanno ancora consentito una valutazione del successo di tale dispositivo tra i più comuni utilizzatori e quindi rimarrebbe preferibile l'utilizzo di un comune joystick, anche se con funzionalità limitate.



Figura 36. Esempio di funzioni gestibili con il mouse 3d

Alcune sperimentazioni sono state già avviate per verificare l'efficacia di dispositivi come il *wiimote* della Nintendo per trovare soluzioni alternative che potrebbero rendere più intuitiva e libera l'interazione *wireless* in ambienti di *VR Desktop* e non solo. Il sistema implementato per il *wiimote* consiste in una rilevazione della direzione di puntamento del telecomando a infrarossi e in una rilevazione dei movimenti tramite accelerometri. Il risultato sullo schermo è abbastanza preciso e il dispositivo potrebbe essere utilizzato non solo come strumento di selezione e manipolazione di oggetti, ma anche come sostituto volto a simulare l'oggetto stesso come se fosse realmente gestito con le mani dell'utente.

Un ulteriore auspicio per il prossimo futuro del Web3D è che possa effettivamente consentire la collaborazione intra-settore tra specialisti e ricercatori nella condivisione dei beni culturali, ad esempio attraverso la costituzione di piani di lavoro comuni per lo studio o il restauro virtuale. Tali propositi potrebbero anche essere estesi oltre il puro scopo di indagine e allargarsi in una fruizione collettiva attraverso la costituzione di una sorta di Wikipedia in tre dimensioni, dove tutti gli utenti potrebbero contribuire all'inserimento, all'arricchimento e alla correzione delle informazioni, incentivando notevolmente la diffusione dei contenuti culturali.

Bibliografia

Karoulis A., Sylaiou S., White M. (2006) *Usability Evaluation of a Virtual Museum Interface*, In *Informatica*, vol. 17, 363–380.

Acidini C., Cappellini V. (2008) *Reale e Virtuale nei Musei, Due visioni a confronto*, Pitagora Editrice, Bologna.

Bauer C. (1999) *Proceedings, VRML 99, Fourth Symposium on the Virtual Reality Modeling Language*, Paderborn, Germany, 23-26, February.

Bertuglia C.S., Bertuglia F., Magnaghi A. (1999) *Il museo tra reale e virtuale*, Roma, Editori Riuniti, pp. 147-150.

Marini D., Bertolo M., Rizzi A. (2001) *Comunicazione visiva digitale. Fondamenti di eidomatica*, Milano, Addison Wesley Longman Italia Editoriale S.r.l., pp. 453-505.

Churchill E., Reddy M. (2000) *CVE 2000: Proceedings of the Third International Conference on Collaborative Virtual Environments*, 10-12, September.

Haik E., Barker T., Sapsford J., Trainis S. and Beitler M.T. (2002) *Investigation into Effective Navigation in Desktop Virtual Interfaces*, In *Proceedings, Web3D 2002 Symposium*, pp. 59-66.

Paternò F. (2004) *Interazione uomo-computer. Un'introduzione*, In *Mondo Digitale*, n.4.

Zara J. (2004) *Virtual Reality and Cultural Heritage on the Web* In *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence*, Limoges, pp. 101-112.

Nielsen J. (2000) *Web usability*, Milano, pp. 150-170.

D'Uva I. (2007) *L'evoluzione non rivoluzione: come conciliare la tecnologia con le esigenze del pubblico dei musei*, In *Lu.Be.C. 2007: Valorizzazione dei Beni Culturali e Innovazione*, Lucca, pp. 128-133.

Bergamasco M., Avizzano C.A., Ghedini F., Carrozzino M. (2007) *Le interfacce aptiche per i beni culturali*, In *Lu.Be.C. 2007: Valorizzazione dei Beni Culturali e Innovazione*, Lucca, pp. 47-51.

Bergamasco M., Frisoli A., Radesca M. (2003) *Il museo delle Pure Forme* In S. Vassallo et. Al (2003) *Arte tra azione e contemplazione*, Pisa, ETS, pp. 243-264.

Corrao P., Viola P. (2005) *Introduzione agli studi di storia*, Roma, Donzelli Editore, pp. 35-36.

Sylaiou S., Liarokapis F., Sechidis L., Patias P., Georgoula O. (2005) *Virtual Museums: First results of a survey on methods and tools* In *CIPA 2005 XX International Symposium*, Torino, 26,September -01,October.

Cappellini V. (2000), *La Realtà Virtuale per i Beni Culturali*, Bologna, Pitagora Editrice,pp. VII-VIII, 24-26.

Sitografia

London Charter, <http://www.londoncharter.org/>

VRMedia, voce XVR, <http://www.vrmedia.it/>

Flasar J. (2000), *3D Interaction in Virtual Environment*, Central European Seminar on Computer Graphics for students, <http://www.cescg.org/CESCG-2000/JFlasar/index.html>

Wikipedia, voce Web3D, http://it.wikipedia.org/wiki/Web_3D

Wikipedia, voce VRML, <http://it.wikipedia.org/wiki/VRML>

Wikipedia, voce X3D, <http://it.wikipedia.org/wiki/X3D>

<http://www.3dmma.projects.supsi.ch>

Archives & Museums Informatics, *Piero della Francesca On-line: Story of the True Cross*, <http://www.archimuse.com/mw2009/papers/lavin/lavin.html>

Carrozzino M., Evangelista C., Ruffaldi E., Neri V., Bergamasco M. (2009) , *Web dissemination of Cultural Content through Information Landscapes*, <http://www.archimuse.com/mw2009/papers/carrozzino/carrozzino.html>