

La Realtà Virtuale e il Commercio Elettronico: le tecnologie per portare il 3D sul Web

Andrea Sanna Claudio Zunino

Dipartimento di Automatica e Informatica,
Politecnico di Torino, corso Duca degli Abruzzi 24,
I-10129 Torino

{sanna,c.zunino}@polito.it

ABSTRACT

Questo articolo rivede le principali tecnologie per portare la terza dimensione sul Web, con particolare riferimento alle applicazioni di commercio elettronico (e-commerce). Inoltre, viene presentato un progetto, finanziato dal Consiglio Nazionale delle ricerche (CNR), sviluppato al Politecnico di Torino che consente di creare dinamicamente un negozio virtuale dentro il quale l'utente può muoversi e trovare i prodotti di suo interesse. Nel negozio l'utente troverà un assistente, in grado di aiutarlo per ulteriori ricerche rendendo l'esperienza di navigazione virtuale più realistica e divertente. Lo sviluppo del progetto si basa sul linguaggio VRML che consente di creare mondi virtuali "immersivi" dove è possibile interagire direttamente con gli oggetti come nel mondo reale.

Parole chiave: VRML, commercio elettronico, umani virtuali, realtà virtuale.

1. INTRODUZIONE

Lo sviluppo degli elaboratori e delle tecnologie di interconnessione ha permesso la nascita di una serie di nuove discipline che hanno notevolmente cambiato la vita quotidiana. Il commercio elettronico (e-commerce) è sicuramente una tra le più interessanti novità dell'ultima decade sia dal punto di vista applicativo sia per le implicazioni nella ricerca di base. In particolare, l'interfaccia con l'utente è uno degli aspetti più rilevanti sul quale si è concentrato il lavoro di molti ricercatori.

Siti Web tradizionali di e-commerce presentano all'utente un catalogo on-line nel quale, per ogni prodotto, un'accurata descrizione testuale è affiancata da una o più immagini. Questa soluzione è profondamente diversa da un'esperienza di shopping reale. Un cliente ha spesso la necessità di analizzare un prodotto "innescando" con esso una sorta di interazione; con un semplice catalogo questo non è possibile perché gli oggetti non sono né tridimensionali né interattivi [1][2].

Questo non è l'unico svantaggio; fare shopping implica incontrare altre persone, guardare le vetrine dei negozi e così via. Solo un ambiente realmente tridimensionale dove gli oggetti sono riprodotti in modo realistico e fedele (nelle forme e nei comportamenti) può efficacemente riprodurre un'esperienza di shopping reale.

La realtà virtuale è stata impiegata in molti settori: simulazioni, allenamenti, intrattenimento, medicina virtuale eccetera, però pochi tentativi sono stati fatti per utilizzarla come valore aggiunto al commercio elettronico.

La realtà virtuale offre la possibilità di costruire dei mondi nei quali l'utente è completamente immerso e dove può interagire sia con gli oggetti in esso contenuti sia con le altre persone (rappresentate da avatar) che lo popolano. Inoltre la realtà virtuale consente di ascoltare suoni, vedere immagini e filmati fornendo percezioni molto simili a quelle reali.

Gli strumenti attuali per introdurre la terza dimensione sul Web sono principalmente tre: tecnologie di visualizzazione (spesso definite 2D e 1/2), oggetti 3D interattivi e ambienti immersivi.

Le tecnologie di visualizzazione consentono all'utente di muoversi dentro un ambiente, ma non di interagire con gli oggetti; per contro, gli oggetti 3D interattivi possono offrire rappresentazioni estremamente realistiche, sia nelle forme sia nei comportamenti, dei prodotti, ma non permettono all'utente di muoversi in un ambiente virtuale.

Tra le soluzioni che consentono di progettare ambienti tridimensionali immersivi, il VRML [3][4] è uno strumento freeware largamente usato per descrivere oggetti 3D animati su Internet. Il VRML può essere considerato lo standard per il 3D come il linguaggio HTML è lo standard per la descrizione di pagine Web tradizionali.

Questo articolo presenta l'evoluzione di un progetto iniziato alcuni anni addietro e denominato 3D-dvshop [5]. L'obiettivo è quello di creare dinamicamente un negozio, costituito da un insieme di stanze, dove sono posizionati gli oggetti che l'utente ha chiesto di poter vedere. Sia l'ambiente sia i prodotti sono descritti in VRML; questo permette di inserire in un mondo virtuale immersivo degli oggetti animati ai quali possono essere associate ben precise funzioni.

Inoltre, un assistente virtuale è posizionato in ogni stanza del negozio in modo da rendere più semplice, realistica e divertente l'esperienza di shopping.

L'articolo è organizzato come segue: la Sezione 2 rivede le soluzioni principali per inserire la terza dimensione sul Web, la Sezione 3 descrive sia l'architettura nel negozio virtuale proposto in questo progetto sia la figura dell'assistente virtuale. Infine, le Sezioni 4 e 5 forniscono dettagli realizzativi, esempi e annotazioni conclusive.

2. DESCRIZIONE DEL CONTESTO

Solo recentemente un insieme di nuove tecnologie è stato proposto per portare la terza dimensione sul Web, in particolare per progettare siti di e-commerce 3D più realistici e divertenti.

In generale, possono essere identificate tre soluzioni diverse: tecnologie di visualizzazione, oggetti 3D interattivi e mondi virtuali immersivi. Le tecnologie di visualizzazione descritte in dettaglio in Sezione 2.1, costruiscono panorami a 360° dove l'utente può muoversi, ma dove l'interazione con l'ambiente stesso non è possibile. Si può ottenere l'interattività usando diversi approcci descritti in Sezione 2.2, mentre solo poche tecnologie permettono di progettare mondi virtuali immersivi (Sezione 2.3).

2.1 Tecnologie di visualizzazione

PanoramIX [6] fornisce delle viste foto-realistiche di scene 3D complesse. PanoramIX permette di includere nelle scene oggetti animati e effetti sonori, nonché link ad altri panorami. Inoltre, PanoramIX permette di disporre di tool collaborativi come chat o lavagne condivise. PanoramIX necessita di un plug-in disponibile per i browser e per i sistemi operativi più diffusi.

Simile a PanoramIX è Photovista [7] che permette di ottenere rappresentazioni molto compatte delle scene; infatti i file ottenuti con Photovista sono, mediamente, tre o quattro volte più piccoli di quelli prodotti da QuickTime VR [8][9] e raramente superano i 100KB. A differenza di PanoramIX, Photovista non necessita di alcun plug-in e i panorami generati possono essere direttamente visualizzati da Internet Explorer o Netscape Navigator.



Figura 1 Un esempio di panorama generato con Photovista.

La Figura 1 mostra un esempio di panorama generato con Photovista.

Con la tecnologia iPIX [10] l'utente può guardare in tutte le direzioni (alto, basso, destra e sinistra) eseguire operazioni di zoom in e zoom out, nonché ruotare a 360°. Un panorama iPIX consiste di due immagini emisferiche, ottenute mediante un obiettivo fish-eye che può catturare fotografie a 180°, che unite insieme forniscono "l'illusione" di essere immersi in un mondo virtuale.

QuickTime VR (QTVR) riunisce tre distinte caratteristiche:

- Vista dei panorami: ovvero la vista da un punto nello spazio di tutto l'ambiente circostante.
- Vista degli oggetti: ovvero la vista da più punti nello spazio verso un singolo oggetto.
- Vista delle scene: in QTVR una scena è definita come l'unione di due o più panorami ottenuta mediante appositi link detti hot spot.

Un plug-in è necessario per visualizzare panorami/oggetti/scene ottenute con QTVR.

2.2 Oggetti 3D interattivi

Questo tipo di tecnologie permette al progettista del sito Web di integrare all'interno delle tradizionali pagine HTML oggetti 3D estremamente realistici. Alcuni software creano oggetti che possono essere direttamente visualizzati dai browser, mentre altri richiedono l'adozione di appositi plug-in.

3DAnywhere [11] è un programma interamente scritto in Java e può quindi essere eseguito su qualunque sistema sia stata installata una Java Virtual Machine. L'utente non è quindi vincolato all'utilizzo di uno specifico browser né è necessaria l'installazione di plug-in. Chi progetta un oggetto 3Danywhere può abilitare l'utente ad eseguire ogni sorta di operazione sull'oggetto stesso mediante un'applet Java. Sono possibili operazioni come: rotazione, zoom, cambiamento del punto di vista, modifica di colori e texture e il caricamento di un nuovo oggetto 3D. 3Danywhere può importare modelli descritti nel formato VRML.

Shout3D [12][13] è sostanzialmente una collezione di applet Java; tra queste, le più importanti sono Shout3DApplet, ExamineApplet, e WalkApplet. La prima è il motore di rendering che consente di visualizzare la grafica 3D, mentre le altre due consentono all'utente le operazioni sull'oggetto e sul punto di vista. Shout3D è in grado di supportare alcune caratteristiche del VRML 2.0 come gli oggetti animati e i link.

La Figura 2 mostra un'applicazione di Shout3D ad un sito Web di commercio elettronico di sfilate di moda [14].



Figura 2 Sfilata di moda 3D.

Janet3D [15] è un'altra soluzione basata su Java per creare oggetti 3D interattivi sul Web; le due componenti base sono netMarker e 3Dcatalog. La prima è un sistema di comunicazione, mentre la seconda è un catalogo 3D.

Cult3D [16] è una tecnologia che permette ai progettisti di creare oggetti 3D interattivi estremamente realistici. Cult3D è costituito da tre componenti: Cult3D designer che permette di importare modelli disegnati con Maya [17][18] o 3DS Max [19][20], Cult3D exporter che converte i modelli in formato per Cult3D designer e Cult3D viewer che permette all'utente di visualizzare gli oggetti Cult3D all'interno delle pagine Web, in applicazioni Microsoft Office e file Adobe Acrobat.

2.3 Ambienti immersivi

Un approccio completamente differente è quello di realizzare mondi virtuali immersivi dove l'utente può muoversi; come detto in precedenza, uno standard per il progetto di ambienti realmente tridimensionali è il VRML.

La versione 1.0 del VRML permetteva di descrivere solo mondi statici, mentre con il VRML 2.0 [3][4] è diventato possibile includere un sistema di eventi tra oggetti VRML, programmi Java o Javascript e stabilire una connessione tra mondi VRML e programmi esterni. Con il VRML 2.0, l'utente può interagire con gli oggetti, vedere animazioni, ascoltare suoni e molto altro ancora. Per esplorare mondi VRML sono necessari plug-in come CosmoPlayer [21] e Cortona [22] o applicazioni stand-alone come VRwave [23].

Un esempio di utilizzo del VRML per sviluppare applicazioni orientate all'e-commerce è il progetto VRCommerce [24].

VRCommerce consiste di un editor per creare negozi 3D e un insieme di strumenti per garantire una navigazione fluida e continua all'interno del negozio stesso. Una versione demo di VRCommerce è reperibile da [25]. La Figura 3 mostra l'interfaccia di VRCommerce; in particolare, si può notare in basso a destra una mappa di navigazione che consente all'utente di orientarsi con facilità anche all'interno di negozi di notevoli dimensioni. L'utente può anche attivare una modalità di autopilota per una visita guidata all'interno dell'ambiente.



Figura 3 L'interfaccia di VRCommerce.

Altri esempi di mondi immersivi realizzati in VRML sono DeepMatrix [26] e 3D-dvshop [5]. Il sistema DeepMatrix è un'applicazione VRML multi-utente nella quale è possibile saltare da un ambiente ad un altro attraverso appositi link. Il sistema è costituito da un modulo server in esecuzione con il Web server (che contiene i modelli VRML degli oggetti e dei mondi) e un modulo client realizzato in Java che interagisce con il plug-in VRML del browser. DeepMatrix fornisce anche un supporto client per navigare mondi Shout3D senza bisogno di plug-in.

3D-dvshop costruisce negozi virtuali a seconda di quelle che sono le esigenze del cliente. Un form HTML permette di scegliere prodotti e le categorie merceologiche di interesse, dopodiché gli oggetti reperiti dalla base dati sono posizionati sugli scaffali. Invece di costruire ambienti molto grossi, 3D-dvshop crea un insieme di piccole stanze connesse da porte di prossimità; questo approccio ha il vantaggio di consentire all'utente una facile esplorazione della merce che ha richiesto, evitando problemi di orientamento e navigazione. Inoltre, gestire ambienti di piccola dimensione permette di trasmettere al client le informazioni sul mondo 3D in modo incrementale, garantendo buone prestazioni anche su connessioni relativamente lente.

Un altro ambiente immersivo è Active Worlds [27]; gli utenti possono navigare milioni di chilometri di territorio virtuale mediante un'applicazione stand-alone. In Active Worlds l'utente può: fare acquisti da un supermercato virtuale, navigare oltre 1000 mondi virtuali e costruirsi la propria "casa" virtuale. Blaxxun3D [28] permette di creare mondi virtuali immersivi (ad

esempio Cybertown [29]). Blaxxun3D è basato su Extensible 3D (X3D - un sotto insieme del VRML), che è un progetto coordinato dal Consorzio Web3D [30]. Le caratteristiche principali di Blaxxun3D sono:

- Applet Java molto compatte (mediamente 55KB).
- Facile integrazione con pagine HTML preesistenti.
- Indipendenza dalla piattaforma (PC, Mac, Linux).
- Compatibilità con VRML / X3D e aderenza al 60% con lo standard MPEG-4.
- Supporto per oggetti 3D animati e interattivi.
- Estensibilità mediante apposite API.

La navigazione di mondi Blaxxun avviene mediante un plug-in chiamato Blaxxun Contact.

VREng (Virtual Reality Engine) [31] è un'applicazione 3D interattiva e distribuita che permette la navigazione di mondi virtuali connessi attraverso Internet. Oltre alla visita dei mondi virtuali VREng permette anche l'interazione tra gli utenti attraverso gli avatar.

Una panoramica completa di tutte le tecnologie usate per portare il 3D sul Web è riportata in [32].

3. L'ARCHITETTURA DEL NEGOZIO

L'architettura del progetto descritto in questo articolo si basa su tre componenti principali: un database server, un Web server e una o più postazioni client.

Il database server è Oracle 8i installato su un sistema operativo Linux. La scelta di Oracle deriva dalla possibilità di gestire i BLOB (Binary Large Object) per memorizzare i modelli 3D. Il Web server è Apache [33]. OpenSSL è usato insieme ad Apache per gestire connessioni Web sicure: con OpenSSL è possibile gestire transazioni finanziarie sicure come l'acquisto con carta di credito. Sul Web server è stato sviluppato un programma ad-hoc per la generazione dinamica del negozio virtuale. Questo programma è basato sulla tecnologia Java Servlet ed è eseguito dall'Apache Servlet Engine.

Il negozio virtuale è creato da una servlet principale che riceve la query dall'utente e interroga il database dei prodotti. La servlet conosce il numero dei prodotti da visualizzare e genera un insieme di stanze adatte a contenere gli oggetti.

Il client può essere eseguito su qualunque piattaforma equipaggiata con un browser e un plug-in VRML. Il solo vincolo è la presenza di una scheda video acceleratrice per garantire una navigazione fluida. Lo schema dell'architettura è mostrato in Figura 4.

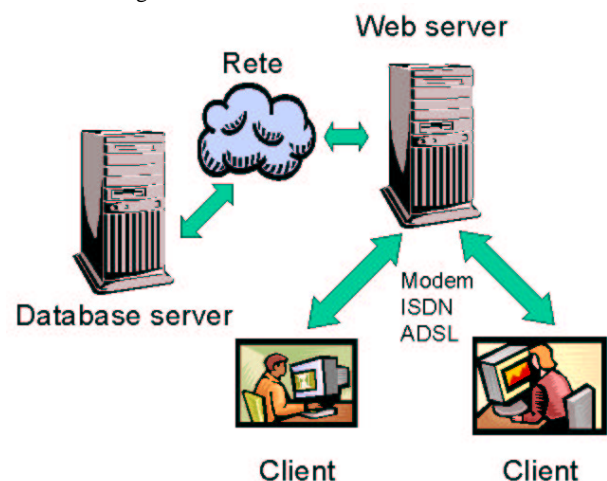


Figura 4 L'architettura HW e di rete del sistema.

3.1 I commessi del negozio virtuale

Gli assistenti virtuali collocati nel negozio sono realizzati mediante modelli VRML del corpo umano; l'applicativo consente di scegliere tra un assistente donna e uno uomo. I modelli sono conformi allo standard H-ANIM [34]. Nello standard H-ANIM, il corpo umano consiste di un certo numero di segmenti (mani, piedi, avambracci, e così via) che sono connessi gli uni agli altri mediante giunti (gomito, polso, anca eccetera). Il prototipo VRML *Joint* è usato per descrivere le articolazioni dell'umanoide. Ogni giunto contiene informazioni sulla mobilità (limiti sui movimenti o centro di rotazione) e un nome specifico per le funzioni di animazione. Questo nome è usato per animare l'umanoide. A meno di specifiche differenti, ogni nodo ha tre gradi di libertà e le applicazioni animano l'umanoide accedendo ai nodi *Joint*.

Il nodo *Segment* è usato per descrivere gli attributi dei link fisici tra i nodi dell'umanoide. Ogni parte del corpo dell'umanoide è rappresentata da un nodo *Segment*. Ogni nodo *Segment* è tipicamente definita mediante una mesh di poligoni. Un file H-ANIM contiene un insieme di nodi *Joint* che sono organizzati in modo gerarchico come mostrato in Figura 5, dove è visibile una tipica descrizione del corpo umano usando nodi *Joint* (cerchi) e segmenti.

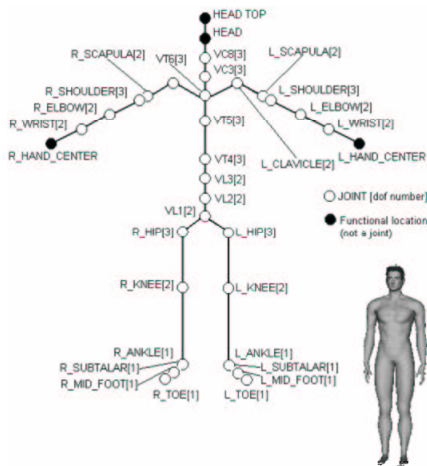


Figura 5 Descrizione H-Anim del corpo umano.

Ogni nodo *Joint* può, a sua volta, contenere altri nodi *Joint* e può anche contenere un nodo *Segment* descrivente la parte del corpo associata a quel giunto. Ogni nodo *Segment* può anche avere un certo numero di nodi *Site* che definiscono le locazioni relative al segmento. I nodi *Site* possono essere usati per aggiungere al modello vestiti e altri oggetti come gioielli. Un tipico file H-ANIM contiene un singolo nodo *Humanoid* che racchiude i riferimenti a tutti i nodi *Joint*, *Segment* e *Site*. Sul nodo *Humanoid* vengono applicate tutte le trasformazioni per posizionare l'umanoide nell'ambiente.

Le principali animazioni realizzate usando lo standard H-ANIM sono la camminata e l'animazione facciale. Mentre la camminata è realizzata considerando un diagramma a stati che modella la cinematica del movimento, l'animazione facciale viene realizzata mediante un prototipo connesso ad una superficie tridimensionale

Questo prototipo, un *Displacer*, è composto da due matrici: la prima contiene un insieme di vertici che definiscono la superficie, la seconda (per ogni vertice della prima matrice) contiene i movimenti associati ai cambiamenti della superficie. Un insieme di *Displacer* è usato per ogni animazione facciale per ottenere effetti realistici; in questo modo, si possono applicare animazioni differenti contemporaneamente. In questo progetto gli assistenti virtuali sono animati per aiutare l'utente nelle operazioni di ricerca; quando l'utente clicca sul corpo dell'assistente, questo si dirige verso il cliente facendo apparire il form di ricerca.

4. REALIZZAZIONE E RISULTATI

Il sito del negozio virtuale è composto da cinque pagine. La prima pagina (Figura 6) ha la funzione di presentazione del negozio e visualizza i due assistenti virtuali. Sulla destra è presente un menù che consente di: visualizzare l'intero catalogo, registrare un nuovo utente e connettersi al sistema per effettuare acquisti.



Figura 6 La pagina iniziale.

La seconda pagina (Figura 7) consente la ricerca ed è generata da una servlet.

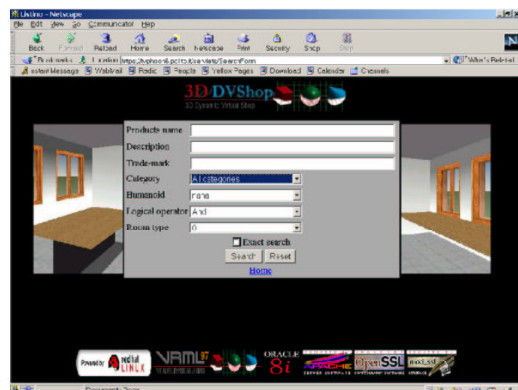


Figura 7 La pagina di ricerca.

La ricerca dei prodotti può essere effettuata in diversi modi: l'utente può specificare il nome o la descrizione di un prodotto e specificare la categoria merceologica usando anche gli operatori booleani (AND/OR). È anche possibile, mediante una combobox, selezionare l'assistente virtuale.

Con la pagina di login l'utente inizia una connessione sicura, mentre la pagina di registrazione permette di aggiungere i dati

di un nuovo utente alla base dati usando una connessione sicura. La pagina principale introduce il negozio virtuale ed è generata dalla *SceneServer* servlet che:

- Riceve i dati necessari per la ricerca.
- Estrae i modelli VRML dalla base dati.
- Crea l'esposizione virtuale.
- Crea le pagine e le invia all'utente.

La pagina finale è composta da due frame: sulla sinistra c'è la lista dei prodotti reperiti dalla base dati e un link per l'ordinazione, mentre sulla destra è visualizzata la scena VRML vera e propria. Quando l'utente si avvicina ad un oggetto, tutte le informazioni relative all'oggetto stesso vengono visualizzate nel frame di sinistra (Figura 8).



Figura 8 Esempio di prodotti visti dall'utente.

L'utente può interagire con un oggetto muovendolo e ruotandolo e, se sono definite, attivando una serie di animazioni associate con l'oggetto stesso.

Le scene VRML sono state generate dalla classe Java *SceneGenerator*. Questa classe, usando i dati inseriti dall'utente nel form di ricerca, interroga la base dati facendo una query al Database Server, inoltre, calcola le posizioni degli oggetti e il numero necessario di stanze, salva i file VRML sul Web server e infine crea il frame della scena.

Un assistente virtuale può essere inserito nelle stanze; se l'utente clicca sul corpo dell'umanoide, quest'ultimo si avvicina presentando il form di ricerca (Figura 9).

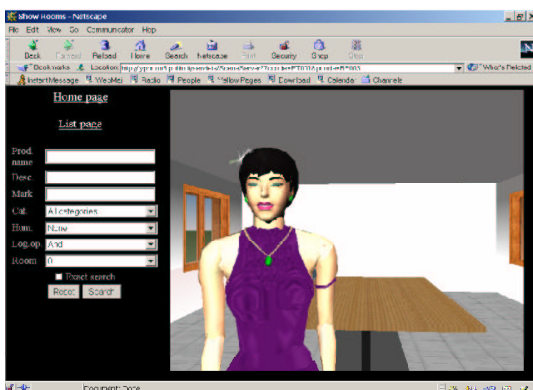


Figura 9 Il commesso virtuale.

5. ANNOTAZIONI

Questa architettura è indipendente dalla piattaforma; una macchina con elevata capacità di storage è necessaria per il database server, mentre dal lato client è consigliato disporre di una scheda grafica 3D dell'ultima generazione per garantire una navigazione fluida del mondo VRML. La rete di comunicazione non è un collo di bottiglia del sistema, in quanto le descrizioni VRML sono generalmente di dimensioni ridotte e alcuni VRML browser (come CosmoPlayer) possono gestire dati in forma compressa riducendo i tempi di latenza del download.

Le stanze e gli oggetti sono creati "al volo" per soddisfare le esigenze dell'utente: solo i prodotti di interesse, invece dell'intera base dati, sono presentati sugli scaffali. Questo permette di ridurre la dimensione del mondo VRML che deve essere trasmesso e agevola l'operazione di ispezione dei dati da parte dell'utente.

Gli oggetti sono allocati in una o più stanze a seconda del loro numero; le stanze sono connesse sequenzialmente da porte di prossimità. Gli oggetti sono interattivi e il sistema non è limitato a postazioni di Desktop Virtual Reality, ma può essere usato per creare ambienti fisicamente immersivi come i CAVE.

Al momento il sistema presenta ancora alcuni svantaggi dovuti principalmente all'impossibilità di condividere il negozio virtuale tra più clienti e alla limitata capacità funzionale degli assistenti virtuali.

6. CONCLUSIONI

Questo articolo rivede le principali tecnologie per portare il 3D su Web e presenta un lavoro interamente basato sul VRML per generare dinamicamente un negozio virtuale ad-hoc per le esigenze dell'utente. Un insieme di camere, connesse sequenzialmente da porte di prossimità, contiene i prodotti estratti dalla base dati; ogni oggetto è descritto in VRML e può essere animato mediante script Java o VRML.

I prodotti possono essere analizzati e una connessione sicura, basata sui certificati, garantisce l'acquisto mediante carta di credito.

Un assistente può essere posizionato in ogni stanza del negozio per aiutare il cliente nelle operazioni di ricerca.

Il lavoro futuro sarà mirato ad aumentare le capacità dell'assistente virtuale considerando algoritmi di intelligenza artificiale per il controllo della camminata. Inoltre, si aggiungerà la possibilità di condividere il negozio tra più utenti aggiungendo realismo all'esperienza di shopping.

7. RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è supportato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) nell'ambito del progetto: *Strumenti e Tecniche per la Realizzazione di Negozi Virtuali Distribuiti*.

Gli autori desiderano ringraziare Giampiero Alberelli e Luca Buseti per il loro apporto allo sviluppo di questo progetto.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Messmer E-comm yet to embrace virtual reality. *Network World* 05.08.2000; also available at: http://www.idg.net/english/crd_online_174702.html
- [2] J. Hollander A Glimpse into the Future of E-Commerce. *E-Commerce Times* 04.02.1999; also available at: <http://www.ecommercetimes.com/news/articles/990204-4.shtml>
- [3] The Virtual Reality Modeling Language International Standard ISO/IEC 14772-1:1997, <http://www.vrml.org/Specifications/VRML97>
- [4] R. Carey and G. Bell G *The Annotated Vrml 2.0 Reference Manual*. Addison-Wesley, 1997.
- [5] A. Sanna, B. Montrucchio, P. Montuschi, and C. Demartini. 3D-dvshop: a 3D dynamic virtual shop. *Proceedings of the 6th Eurographics Workshop on Multimedia* pp. 23-32, 2001.
- [6] PanoramIX, <http://www.software.ibm.com/net.media/solutions/panoramix>
- [7] Photovista, <http://www.mgisoft.com/webtools>
- [8] Quicktime VR, <http://www.apple.com/quicktime/qtvr/>
- [9] R. Monigold QuickTime/QuickTime VR Training CD - Vol 1 of 2 - Macintosh/Windows.
- [10] iPIX, <http://www.ipix.com>
- [11] 3DAnywhere, <http://www.3danywhere.com>
- [12] Shout3D, <http://www.shout3d.com>
- [13] R. Polevoi *Interactive Web Graphics with Shout3D*. Sybex, 2000.
- [14] 3D fashion show, <http://www.excitextreme.com/fashion>
- [15] Janet3D, <http://www.janet.de>
- [16] Cystore Cult3D, <http://www.cult3d.com>
- [17] Maya, <http://www.aliaswavefront.com>
- [18] J. Kundert-Gibbs, P. Lee, P. Harovas *Mastering Maya 3*. Sybex, 2001.
- [19] 3D Studio Max, <http://www2.discreet.com/products/>
- [20] K. Lee *Inside 3ds max 4*. New Riders Publishing, 2001.
- [21] CosmoPlayer VRML browser, <http://www.cai.com/cosmo>
- [22] Cortona VRML browser, <http://www.parallelgraphics.com>
- [23] VRwave VRML browser, <http://www.iicm.edu/vrwave>
- [24] Y. Mass and A. Harzberg VRCommerce - Electronic Commerce in Virtual Reality. *ACM Conference on Electronic Commerce (EC-99)* 1999.
- [25] Demo version of VRCommerce, <http://www.hrl.il.ibm.com/VRCommerce>
- [26] DeepMatrix system, <http://www.geometrek.com/products/deepmatrix.html>
- [27] Active Worlds, <http://www.activeworlds.com>
- [28] Blaxxun3D, <http://www.blaxxun.com>
- [29] Cybertown, <http://www.cybertown.com>
- [30] Web3D Consortium, <http://www.web3d.org>
- [31] VREng, <http://www.infres.enst.fr/net/vreng>
- [32] A. Sanna and B. Montrucchio, 3D technologies for e-commerce on the Web, *Software Focus*, Vol. 2 No.4, pp 157-163, 2001.
- [33] The Apache Software Foundation, <http://www.apache.org/>
- [34] H-ANIM, <http://h-anim.org/>