

**AUTORE:** Nicola Masotti

**TITOLO:** Progettazione e Sviluppo di un RVE (Reconfigurable Virtual Environment) per applicazioni nei settori dell'Ingegneria Industriale

**RELATORE:** Ing. Sara Bagassi

## **INQUADRAMENTO DEL TEMA TRATTATO**

Fin dalla nascita delle prime applicazioni di computer grafica l'uomo ha cercato di riprodurre, ricostruire e modellare e la realtà che lo circonda in modo sempre più dettagliato e realistico. Lo studio della HCI (*Human Computer Interaction*)<sup>1</sup>, di pari passo con il progresso tecnologico, ha permesso alle interfacce uomo-macchina di evolversi per migliorare l'esperienza di chi utilizza calcolatore e grafica computerizzata per scopi industriali, gestionali o videoludici. Benché *monitor*, *mouse* e tastiera rimangano ancora i capisaldi di questo settore, sono ormai frequenti gli scenari d'uso che mostrano i limiti di queste interfacce, incapaci di sfruttare al meglio le potenzialità dei moderni sistemi di calcolo. Non è ancora possibile, ad esempio, ricreare simulazioni a elevato realismo, tantomeno ambienti di lavoro collaborativi adatti alla visualizzazione di analisi o modelli digitali complessi. Da queste esigenze nascono i cosiddetti *Virtual Environments*, termine che identifica un insieme di sistemi e dispositivi in cui l'utente sperimenta una realtà fittizia (*Virtual Reality*) che coinvolge uno o più sensi tra vista, udito, tatto, olfatto e gusto. I *Virtual Environments* sono realizzati allo scopo di garantire un'esperienza di utilizzo avanzata e, in generale, migliore rispetto a quella fornita dagli strumenti convenzionali. I CAVE™ (*Cave Automatic Virtual Environments*) rappresentano storicamente una delle principali implementazioni dei concetti di *Virtual Environment* (VE) e *Virtual Reality* (VR). Il primo CAVE™ [2], sviluppato da Carolina Cruz-Neira, Thomas A. DeFanti e Daniel J. Sandin presso l'Electronic Visualization Laboratory [5], Università dell'Illinois di Chicago, fu mostrato in anteprima al convegno SIGGRAPH (*Special Interest Group on GRAPHics and*

---

<sup>1</sup> La *Human Computer Interaction* è la disciplina che studia l'interazione tra uomo e sistemi complessi attraverso l'utilizzo di interfacce uomo-computer e interfacce uomo-macchina. Questa disciplina è fondamentale per lo sviluppo di sistemi usabili, accessibili e affidabili, che l'utente nell'utilizzo del calcolatore e dei dispositivi da esso controllati.

*Interactive Techniques*) nel 1992. Ispirandosi a questo VE molti sistemi sono stati sviluppati negli anni successivi per aiutare centri di calcolo, ingegneri, architetti, archeologi, geologi, artisti e scienziati di ogni genere nella visualizzazione scientifica delle attività lavorative e di ricerca, sempre più caratterizzate dall'utilizzo di logica computazionale e computer grafica.



Figura 1 - Il CAVE™ e il CAVE2™ [4]: l'evoluzione dei *Cave Automatic Virtual Environments* c/o l'EVL [6] (Electronic Visualization Laboratory), Università dell'Illinois, Chicago.

All'interno dell'elaborato sono disponibili diversi approfondimenti su evoluzione e stato dell'arte di tali sistemi.

## LAVORO SVOLTO

La tesi descrive lo sviluppo di un VE non convenzionale per la visualizzazione scientifica ad alto contenuto informativo e la ricerca collaborativa inter o intra disciplinare nei settori dell'ingegneria industriale. Si ripercorre la progettazione e la realizzazione del sistema, dagli studi preliminari fino all'installazione presso il Laboratorio di Realtà Virtuale e Simulazione della Seconda Facoltà di Ingegneria. L'elaborato termina con la presentazione dei risultati e dei possibili sviluppi futuri. Pensato per un utilizzo primario con applicazioni di simulazione, modellazione e prototipazione al calcolatore, il sistema in oggetto si compone di un telaio modulare (tre unità movibili di forma parallelepipedica che sostengono il sistema di visualizzazione basato su retroproiezione), una piattaforma di utilizzo sopraelevata, una *Workstation* di controllo e un impianto audio *surround* 5.1 per un'esperienza sonora più realistica. Caratteristica peculiare del VE è la possibilità di essere riconfigurato, da cui il nome *Reconfigurable Virtual Environment* (RVE). Le possibili configurazioni, denominate rispettivamente *Wall*, *Simulator* e *Cave*, rendono RVE uno strumento flessibile con finalità *multi-purpose*.

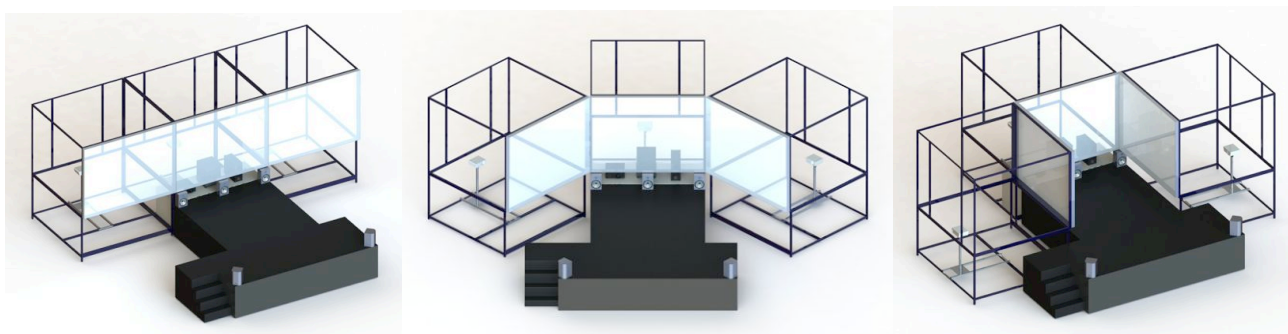


Figura 2 - Possibili configurazioni di RVE: *Wall*, *Simulator* e *Cave*.

## ORIGINALITÀ DEI RISULTATI OTTENUTI

Grazie all'utilizzo di complesse architetture, i più moderni CAVE<sup>TM</sup> raggiungono specifiche tecniche notevoli in termini di risoluzione, luminosità, contrasto, qualità dell'immagine e potenza [1]. Di fatto, questi sistemi rappresentano lo stato dell'arte tra quelli di visualizzazione e riproduzione acustica. Tutto questo si traduce in un'esperienza di utilizzo, da parte dell'utente finale, coinvolgente e senza precedenti. Tuttavia, il prezzo da pagare per il conseguimento di questi risultati è tutt'altro che trascurabile. Le installazioni più performanti (Iowa State University C6 [8], KAUST CORNEA [7], Calit2 StarCAVE [6], etc.) hanno *budget* di realizzazione milionari<sup>2</sup>, richiedono una manutenzione continua nel tempo e vanno gestite in maniera scrupolosa. Il costo e la complessità di queste architetture, sia dal punto di vista strutturale, sia da quello informatico, sono tali che, non solo piccoli laboratori, ma anche realtà industriali o istituti di ricerca di medio-grandi dimensioni non ritengono sostenibile l'idea di realizzare e gestire un CAVE<sup>TM</sup> per soddisfare esigenze di visualizzazione scientifica, preferendo così l'utilizzo di dispositivi più tradizionali. Per questo motivo tali sistemi rimangono spesso confinati all'interno dei centri di ricerca che li hanno sviluppati, per essere utilizzati da terze parti solo in occasione di progetti collaborativi o interdisciplinari. RVE, al contrario, è interamente basata su componentistica COTS (*Commercial Off-The-Shelf*)<sup>3</sup>, combina le funzionalità *multi-display* avanzate dell'architettura GPU (*Graphics Processing Unit*) NVIDIA<sup>®</sup> Kepler [4] con l'ecosistema NVIDIA<sup>®</sup> 3D Vision<sup>®</sup> [9] per l'utilizzo della stereoscopia attiva<sup>4</sup> nella computer grafica e nella fruizione di contenuti 3D stereoscopici. Questo permette di creare una configurazione *multi-display* stereoscopica gestita da una singola *workstation*, con

---

<sup>2</sup> In termini di milioni di dollari

<sup>3</sup> Con l'espressione COTS si fa riferimento a componenti *hardware* e *software* disponibili sul mercato a enti o aziende interessate a utilizzarli nello sviluppo di progetti. Spesso, l'impiego di componentistica COTS è preferibile rispetto a uno sviluppo interno all'azienda, poiché permette di contenere i costi di progettazione e realizzazione.

<sup>4</sup> La stereoscopia attiva è una delle principali tecniche per la fruizione di contenuti 3D stereoscopici in ambito amatoriale e professionale. Insieme alla stereoscopia passiva rappresenta una delle soluzioni più diffuse tra chi utilizza la computer grafica a scopo lavorativo o videoludico.

un sostanziale abbattimento dei costi di realizzazione, manutenzione e aggiornamento del sistema rispetto a VE di tipo CAVE<sup>TM</sup> convenzionali (tipicamente basati su architetture *cluster* di tipo *master-slave* e ambienti di sviluppo proprietari). RVE costituisce quindi una valida alternativa agli strumenti di visualizzazione scientifica tipicamente impiegati nel campo dell'ingegneria industriale (*monitor* o proiettori in configurazione *single/dual-screen*)<sup>5</sup> e uno strumento flessibile per l'utilizzo di software commerciale o proprietario. La riconfigurabilità è un elemento chiave nell'utilizzo del VE, e costituisce un punto di rottura rispetto a alle architetture CAVE-like convenzionali.



Figura 3 - La *workstation* di controllo, interamente basata su componentistica COTS, combina le funzionalità *multi-display* avanzate dell'architettura GPU NVIDIA<sup>®</sup> Kepler con la tecnologia NVIDIA<sup>®</sup> 3D Vision<sup>®</sup> per gestire autonomamente l'intero VE.

---

<sup>5</sup> Le configurazioni di tipo *single card/dual screen* prevedono la gestione di massimo due schermi (*dual screen*) attraverso una singola scheda grafica (*single card*).

## UTILIZZO, APPLICABILITÀ E RILEVANZA SCIENTIFICA DEL SISTEMA

L'utilizzo del sistema, da parte dell'utente, è semplice e intuitivo, poiché basato su Microsoft® Windows® 8™ Professional e compatibile con il *software* 3D e 3D stereoscopico comunemente utilizzato sia in ambito professionale che amatoriale. All'interno del Laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale sono state configurate e utilizzate con ottimi risultati diverse applicazioni 3D stereoscopiche, tra cui alcuni software professionali largamente impiegati nei settori dell'ingegneria industriale. È possibile evidenziare tre categorie principali:

- *Gaming & Simulation*
- *Scientific Visualization, Data Analysis e Computer-Aided Design*
- GIS 3D (*Geographic Information System 3D*)



Figura 4 - Software utilizzato con RVE c/o Vlab (Laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale della Seconda Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna): Microsoft® Flight Simulator X [18], Laminar Research X-Plane® 10 [17], Codemasters™ F1 2012 [19], Ferrari Virtual Academy 2010 [20], Dassault Systèmes CATIA V5 [13], Robert McNeel & Associates Rhinoceros® [14], Visualization Sciences Group Amira® [15], Google® Earth™.[21]

Si riportano nell'elaborato le impressioni di utilizzo oltre che alcune considerazioni sulla configurazione da prediligere a seconda della tipologia di software utilizzato. In figura 5, ad esempio, è possibile osservare l'utilizzo di Laminar Research X-Plane® 10, noto simulatore di volo, in configurazione *Wall* e Robert McNeel & Associates Rhinoceros®, *software* di modellazione 3D al calcolatore NURBS-*based* (*Non Uniform Rational Basis-Splines based*) largamente impiegato in campo ingegneristico. Alla luce dei risultati ottenuti, le scelte progettuali appaiono corrette e l'utilizzo di RVE rappresenta, per l'utente, un'esperienza coinvolgente e "immersiva". Al contrario delle interfacce convenzionali, il sistema è in grado di sfruttare al meglio quanto messo a disposizione dalla moderna computer grafica. La potenza di calcolo è sufficiente a gestire correttamente la grafica 3D alla



risoluzione nativa di 3840x720 *pixel*, con impostazioni di alto livello, mantenendo il *frame-rate*<sup>6</sup> al di sopra dei 30 FPS (*Frame Per Second*) nelle applicazioni di grafica *real-time*.

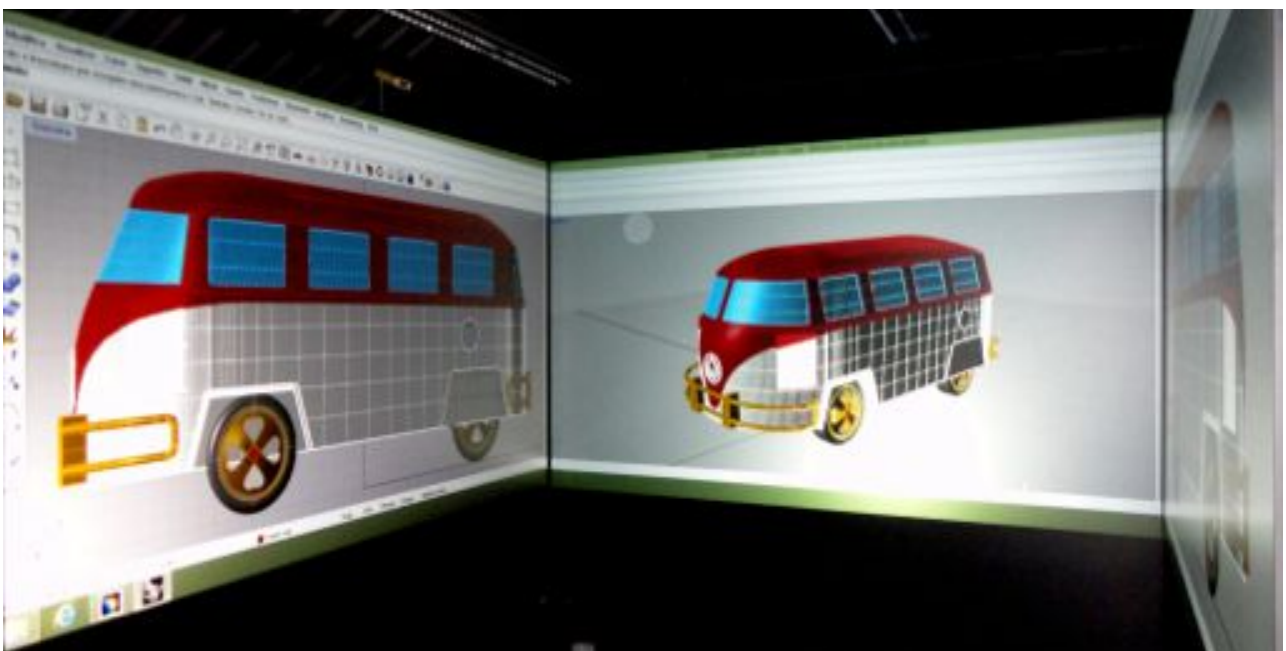


Figura 5 - Utilizzo di RVE: sopra, Laminar Research X-Plane® 10 in configurazione *Wall*, sotto, Robert McNeel & Associates Rhinoceros® in configurazione *Cave*.

<sup>6</sup> Il *frame-rate*, o frequenza di aggiornamento, è il numero di *frame* calcolati, al secondo, dal sottosistema grafico in un'applicazione di grafica *real-time*. È importante che questo valore non scenda sotto la soglia simbolica dei 30 FPS (*Frame Per Second*) per garantire un'adeguata fluidità delle immagini visualizzate.

## SVILUPPI FUTURI

Alcuni studi preliminari sono stati svolti per dotare RVE di un'interfaccia uomo-macchina avanzata, che garantisca all'utente un controllo di tipo *tool-free*<sup>7</sup> grazie all'utilizzo sinergico di *user-tracking* e *voice recognition*<sup>8</sup>. A tale scopo, sempre nell'ottica di utilizzare componentistica COTS, si è ipotizzato l'utilizzo di periferiche di *motion-tracking* come Microsoft® Kinect™ [10] [11] e Leap Motion Controller [12], unitamente al *software* di riconoscimento vocale Nuance® Dragon NaturallySpeaking® [16] per facilitare l'utente nell'esecuzione dei *task* incompatibili con un controllo di tipo gestuale.



Figura 6 - A sinistra, Microsoft® Kinect™ for Windows® e Leap Motion Controller, due noti dispositivi di *motion-tracking*. A destra, Nuance® Dragon NaturallySpeaking®, *software* di *voice recognition* per la conversione *Speech-to-text* e l'interazione vocale.

---

<sup>7</sup> Nei sistemi di tipo *tool-free* l'utente interagisce utilizzando il proprio corpo come interfaccia uomo-macchina, libero da strumenti d'interazione complementari come *mouse*, tastiere, *joystick* o altri dispositivi di *tracking*. I sistemi *tool-free* utilizzano, quindi, combinazioni di *motion-tracking* a corpo libero, *speech/voice recognition* ed, eventualmente, BCI (*Brain Computer Interface*) per garantire all'utilizzatore determinate capacità di controllo.

<sup>8</sup> L'espressione *voice recognition* sta a indicare sistemi di riconoscimento vocale addestrati a identificare il timbro di voce dell'utilizzatore, a differenza dei sistemi di *speech recognition* nei quali il riconoscimento vocale è generico.



## **BIBLIOGRAFIA (estratto)**

### ***Pubblicazioni***

[1] Thomas A. DeFanti, Daniel Acevedo<sup>3</sup>, Richard A. Ainsworth<sup>5</sup>, Maxine D. Brown<sup>3</sup>, Steven Cutchin<sup>3</sup>, Gregory Dawe<sup>1</sup>, Kai-Uwe Doerr<sup>1</sup>, Andrew Johnson<sup>2</sup>, Chris Knox<sup>3</sup>, Robert Kooima<sup>4</sup>, Falko Kuester<sup>1</sup>, Jason Leigh<sup>2</sup>, Lance Long<sup>2</sup>, Peter Otto<sup>1</sup>, Vid Petrovic<sup>1</sup>, Kevin Ponto<sup>1</sup>, Andrew Prudhomme<sup>1</sup>, Ramesh Rao<sup>1</sup>, Luc Renambot<sup>2</sup>, Daniel J. Sandin<sup>2</sup>, Jurgen P. Schulze<sup>1</sup>, Larry Smarr<sup>1</sup>, Madhu Srinivasan<sup>3</sup>, Philip Weber<sup>1</sup>, Gregory Wickham<sup>3</sup>:

The Future of the CAVE. *Central European Journal of Engineering* 1, 16–37 (2010)

California Institute for Telecommunications and Information Technology (Calit2), University of California San Diego (UCSD), San Diego, California, USA

<sup>2</sup> Electronic Visualization Laboratory (EVL), University of Illinois at Chicago (UIC), Chicago, Illinois, USA

<sup>3</sup> King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) Visualization Laboratory, Thuwal, Saudi Arabia

<sup>4</sup> Center for Computation & Technology (CCT), Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA

<sup>5</sup> Ainsworth & Partners, Inc., Ridgeway, Wisconsin, USA

[2] Carolina Cruz-Neira<sup>†</sup>, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. Electronic Visualization Laboratory (EVL) The University of Illinois at Chicago

[3] Alessandro Febretti, Arthur Nishimoto, Terrance Thigpen, Jonas Talandis, Lance Long, JD Pirtle, Tom Peterka, Alan Verlo, Maxine Brown, Dana Plepys, Dan Sandin, Luc Renambot, Andrew Johnson, Jason Leigh. CAVE2: A Hybrid Reality Environment for Immersive Simulation and Analysis. *Information Electronic Visualization Laboratory, University of Illinois at Chicago (UIC)*

## **Presentazioni**

- [4] Doug Traill. See the Big Picture: Scalable Visualization Solutions for System Integrators. Gpu Tecnology Conference

## **Documentazione Online**

- [5] EVL website: [www.evl.uic.edu](http://www.evl.uic.edu)
- [6] Calit2 website: <http://www.calit2.net>
- [7] KAUST Visualization Laboratory website: <http://kvl.kaust.edu.sa/Pages/Home.aspx>
- [8] VRAC website: <http://www.vrac.iastate.edu>
- [9] NVIDIA® Global Website: <http://www.nvidia.com/content/global/global.php>
- [10] Microsoft® Kinect for Windows® website: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [11] Microsoft® Kinect™ for Xbox™ website: [www.xbox.com/kinect](http://www.xbox.com/kinect)
- [12] Leap Motion website: <https://www.leapmotion.com>
- [13] Catia online documentation:  
[http://catiadoc.free.fr/online/cfyugvr\\_C2/cfyugvrut0102.htm](http://catiadoc.free.fr/online/cfyugvr_C2/cfyugvrut0102.htm)
- [14] Rhinoceros® online documentation: <http://wiki.mcneel.com/rhino/stereomode>
- [15] VSG® Amira™ website: <http://www.vsg3d.com/amira/overview>
- [16] Nuace® website: <http://italy.nuance.com/index.htm>
- [17] Laminar Reasearch® Xplane™ website: <http://www.laminarresearch.com>
- [18] Microsoft Fight Simulator™ X website:  
<http://www.microsoft.com/games/fsinsider/>
- [19] Codemasters® F1 2012 website: <http://www.codemasters.com/it/f12012/pc/>
- [20] Ferrari Virtual Academy website:  
<http://www.ferrarivirtualacademy.com/game/en/index.jsp>
- [21] Google Earth website: <http://www.google.it/intl/it/earth/>

*Nicola Morotti*