

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA' DI
BOLOGNA**

SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA
CON SEDE A CESENA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN INGEGNERIA MECCANICA
Classe LM-33

Sede di Forlì

TESI DI LAUREA

Costruzioni e Strutture Aerospaziali

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

CANDIDATO

Nicola Masotti

RELATORE

Ing. Sara Bagassi

CORRELATORE

Ing. Francesca Lucchi

Anno Accademico 2011-2012

Sessione III

SOMMARIO

Introduzione	11
Capitolo 1	13
Virtual Environments (VE), Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR).....	13
Virtual Environments (VE) e Virtual Reality (VR)	13
Augmented Reality (AR).....	18
Capitolo 2	19
Il CAVE™ (Cave Automatic Virtual Environment).....	19
Il primo Cave™	20
Stato dell'arte dei Cave™	22
Cave™ convenzionali	22
• <i>Il C6 e il CORNEA</i>	<i>22</i>
• <i>Lo StarCAVE.....</i>	<i>24</i>
Next-Generation CAVE™.....	26
<i>Le origini dei CAVE™ Next-Gen: Wall interattivi.</i>	<i>26</i>
• <i>ATT™/AMD Eyefinity</i>	<i>28</i>
<i>I CAVE™ NextGen.....</i>	<i>30</i>
• <i>Il NexCAVE</i>	<i>31</i>
• <i>Il Varrier</i>	<i>32</i>
• <i>Il CAVE2™.....</i>	<i>33</i>
Architettura di un CAVE™ convenzionale.....	35
Il fenomeno dello screen tearing e la sincronizzazione verticale	36
• <i>Lo screen tearing</i>	<i>36</i>
• <i>Il V-sink (sincronizzazione verticale).....</i>	<i>37</i>
Lo screen tearing nelle configurazioni multi-display: Framelock, Genlock, Swap Group e Swap Barrier.....	38
• <i>Framelock (Frame locking) e Genlock (Generator locking)</i>	<i>39</i>
• <i>Swap Group e Swap Barrier.....</i>	<i>41</i>
Capitolo 3	43
RVE (Reconfigurable Virtual Environment).....	43
Scopo della tesi	43

Le basi dell'architettura RVE	45
L'architettura GPU NVIDIA® Kepler.....	46
• NVIDIA® 3D Vision® Surround	48
• NVIDIA® Quadro® Mosaic™	49
L'ecosistema NVIDIA® 3D Vision®	51
• NVIDIA® 3D Vision® e NVIDIA® 3D Vision® Pro	51
La stereoscopia in RVE.....	55
• La stereoscopia attiva.....	55
• La stereoscopia passiva	58
• La stereoscopia nel RVE: scelte progettuali.....	60
Introduzione a RVE.....	61
Architettura di RVE	62
Il telaio	64
Il sistema di visualizzazione	65
Script MATLAB® per il calcolo delle distanze e delle grandezze significative relative al proiettore BenQ W710ST	71
La tecnologia DLP™ (Digital Light Processing)	76
I formati 3D.....	77
Formati single-frame (o frame-compatible).....	77
Formati double-frame	78
Formati frame-incompatible	78
Formati 2D+metadata	79
Formati frame-level interleaved e pixel-level interleaved	79
Formati frame level interleaved	80
• Frame sequential (o page flip)	80
• Field sequential incompatible.....	81
• Side by Side full (o sidefields full)	81
• Side-by-Side half (o sidefields half o sidefields anamorfico)	82
• Top/Bottom full (o over/under full, o above-below full, o subfields full)	82
• Top/bottom half (o over/under half, o above/below half, o subfields half, o subfields anamorfico)	83
• Frame packing	83
Formati pixel level interleaved	84
• Line alternative.....	84
• Line-by-Line (o line interleaved o row-interleaved)	84
• Column interleaved	85
• Checkerboard (o pixel interleaved)	85
• L + depth (o 2D + Z)	86

• <i>L + depth + GFX + GFX-depth</i>	86
<i>Le interfacce video e gli standard di riferimento</i>	87
• <i>VGA (Video Graphics Array)</i>	88
• <i>HDMI® (High-Definition Multimedia Interface)</i>	88
La workstation di controllo	89
Software compatibile	92
<i>Software 3D Vision® Pro-Ready (Quad Buffer OpenGL)®</i>	92
<i>Software 3D Vision®-Ready (Microsoft® DirectX®)</i>	97
Configurazioni e utilizzo di RVE	100
Utilizzo di RVE	100
<i>Gaming & Simulation</i>	100
<i>Scientific Visualization, Data Analysis e Computer Aided Design</i>	102
<i>GIS 3D (Geographic Information System)</i>	103
<i>Configurazione Wall</i>	104
<i>Configurazione Simulator</i>	111
<i>Configurazione Cave</i>	113
Capitolo 4	115
Sviluppi futuri	115
Le configurazioni multi-schermo avanzate e la gestione dei	
<i>frustum</i> asimmetrici	115
<i>Il paradigma Camera View</i>	115
<i>Frustum simmetrico e frustum asimmetrico</i>	117
User tracking e HMI (Human Machine Interaction) in RVE	119
• <i>Microsoft® Kinect™</i>	120
• <i>Leap Motion Controller</i>	124
<i>Nuance® Dragon NaturallySpeaking® (DNS)</i>	125
Conclusioni	129
Appendice A - Datasheets	131
Appendice B - Tavole	151
Bibliografia	157
Pubblicazioni	157
Presentazioni	159
Manuali	159
Documentazione Online	160

Indice delle figure

Figura 1 - Figura 1 - Dispositivi di <i>Virtual Reality</i> . A sinistra, il CAVE™ (<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>). A destra, l'HMD (<i>Head Mounted Display</i>) Sony® HMZ-T2 Personal 3D Viewer [31].	17
Figura 2 - Un esempio di <i>Augmented Reality</i> : lo <i>smartphone</i> utilizzato come strumento interattivo per consultare cataloghi fisici o virtuali.....	18
Figura 3 - Il primo CAVE™, sviluppato all'inizio degli anni '90 presso l'EVL (<i>Electronic Visualization Laboratory</i>), Università dell' Illinois, Chicago.....	21
Figura 4 - Architettura del C6, <i>Cave Automatic Virtual Environment</i> c/o il VRAC (<i>Virtual Reality Applications Centre</i>), Iowa State University, USA.	23
Figura 5 - Il CORNEA <i>Cave Automatic Virtual Environment</i> c/o KAUST (<i>King Abdullah University of Science and Technology</i>), Thuwal, Arabia Saudita.	24
Figura 6 - <i>Lo StarCAVE</i> , <i>Cave Automatic Virtual Environment</i> c/o Calit2 (<i>California Institute for Telecommunications and Information Technology</i>), University of California, San Diego..	25
Figura 7 - AESOP (<i>Almost Entirely Seamless OptIPortal</i>), c/o KAUST (<i>King Abdullah University of Science and Technology</i>), Thuwal, Arabia Saudita.	26
Figura 8 - Esempi di configurazioni ATI/AMD Eyefinity che fanno uso di un'unica scheda video.....	28
Figura 9 - A sinistra, una configurazione Eyefinity/CrossfireX™ a ventiquattro display. A destra, una configurazione Eyefinity che fa uso di una scheda video della famiglia ATI FirePro™.	29

Figura 10 - Il <i>NexCAVE</i> , <i>Next-Generation CAVE™</i> basato su stereoscopia passiva c/o KAUST (King Abdullah University of Science and Technology), Thuwal, Arabia Saudita.	31
Figura 11 - Il <i>Varrier</i> , <i>Next-Generation CAVE™</i> autostereoscopico c/o Electronic Visualization Laboratory (EVL), University of Illinois, Chicago, USA.....	32
Figura 12 - Architettura del <i>CAVE2™</i> <i>Next-Generation CAVE™</i> c/o EVL (Electronic Visualization Laboratory), University of Illinois, Chicago, USA: Settantadue pannelli LCD 3D di tipo <i>Cross-Polarization</i> disposti a 360° con <i>vertical-shift</i> dello spessore polarizzatore.	34
Figura 13 - Il <i>CAVE2™</i> , <i>Next-Generation CAVE™</i> c/o EVL (Electronic Visualization Laboratory), University of Illinois, Chicago, USA.	34
Figura 14 - Esempificazione concettuale del fenomeno dello <i>screen tearing</i>	36
Figura 15 - Una possibile architettura <i>master/slave</i> che utilizza le funzioni <i>Framelock</i> e <i>Genlock</i> per sincronizzare i vari nodi al segnale <i>house sync</i>	40
Figura 16 - Per uniformare il <i>frame rate</i> tra diversi nodi è necessario implementare nell'applicazione le estensioni OpenGL® <i>Swap Group</i> e <i>Swap Barrier</i>	42
Figura 17 - Approccio di NVIDIA® alle configurazioni <i>multi-display</i> prima dell'architettura Kepler.....	46
Figura 18 - Esempio di configurazione <i>triple-screen</i> basata su NVIDIA® 3D Vision® Surround per schede GeForce®.	48
Figura 19 - Possibili configurazioni NVIDIA® Quadro® Mosaic™ con le GPU della famiglia Kepler	49

Figura 20 - Strumenti di gestione <i>desktop</i> avanzata di NVIDIA® Quadro® Mosaic™: NVIDIA® nView® e <i>bezel correction</i>	50
Figura 21 - L'ecosistema di prodotti NVIDIA® 3D Vision® Ready	54
Figura 22 - L'evoluzione degli <i>shutter glasses</i> . Dai primi modelli poco accattivanti ai <i>design</i> più futuristici di oggi.....	56
Figura 23 - Gli <i>shutter glasses</i> NVIDIA® 3D Vision® II dotati di tecnologia NVIDIA® 3D LightBoost™ design NVIDIA® Light Blocker.....	57
Figura 24 - Gli occhiali 3D passivi e la video-proiezione con filtro di polarizzazione attivo utilizzati da RealD™ nei cinema.....	59
Figura 25 - A sinistra, una delle unità movibili di forma parallelepipedica che compongono la struttura modulare di RVE. A destra, la piattaforma sopraelevata di utilizzo, corredata d'impianto audio <i>surround</i> 5.1.	61
Figura 26 - <i>Workstation</i> di controllo e impianto audio <i>Surround</i> 5.1 Techniscs SA-AX530 con Active Subwoofer SB-AS500.	63
Figura 27 - Il supporto a sei GDL pensato per i proiettori BenQ W710ST	64
Tabella 1 - Proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready	68
Figura 28 - Il proiettore DLPTM NVIDIA® 3D Vision® Ready BenQ W710ST	70
Figura 29 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e Distanza di proiezione.....	74
Figura 30 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e Dimensioni dell'immagine	74
Figura 31 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e <i>Vertical Offset</i>	75
Figura 32 - <i>Workstation</i> di controllo di RVE	90

Figura 33 - Delock DVI-D Dual Link to HDMI® High Speed Adapter, Delock DisplayPort™ to HDMI® High Speed Adapter e cavo HDMI® High Speed with Ethernet.	91
Tabella 2 - 3D Vision® Pro-Ready OpenGL® <i>software</i>	96
Figura 34 - NVIDIA® 3D Vision® Video Player e 3dtv Stereoscopic Player, due dei <i>player</i> multimediali più usati per la riproduzione di contenuti 3D stereoscopici.	98
Figura 35 - Il <i>file-browser</i> Cooliris, compatibile con NVIDIA® 3D Vision® e disponibile sotto forma di <i>plug-in</i> per Mozilla® Firefox®, Google® Chrome® e Microsoft® Internet Explorer™	99
Figura 36 - Il software in prova per la categoria <i>Gaming & Simulation</i>	101
Figura 37 - Il software in prova per la categoria <i>Scientific Visualization, Data Analysis e Computer Aided Design</i>	102
Figura 38 - Google® Earth™, il famoso software per l'esplorazione virtuale del globo terrestre, ricostruito a partire immagini satellitari, fotografie aeree, dati topografici e modellazione 3D.	103
Figura 39 - RVE, configurazione <i>Wall</i>	104
Figura 40 - Ubisoft® Tom Clancy's HAWX 2 in configurazione <i>Wall</i>	105
Figura 41 - Microsoft® Flight Simulator X in configurazione <i>Wall</i>	106
Figura 42 - Laminar Research X-Plane® 10 in configurazione <i>Wall</i>	106
Figura 43 - Aliview in configurazione <i>Wall</i>	107
Figura 44 - Codemasters™ F1 2012 in configurazione <i>Wall</i>	107
Figura 45 - Ferrari Virtual Academy 2010 in configurazione <i>Wall</i>	108

Figura 46 - Dassault Systèmes CATIA V5 in configurazione <i>Wall</i>	109
Figura 47 - VSG Amira® in configurazione <i>Wall</i>	109
Figura 48 - Google® Earth™ in configurazione <i>Wall</i>	110
Figura 49 - RVE, configurazione <i>Simulator</i>	111
Figura 50 - Aliview in configurazione <i>Simulator (Pilot View)</i>	112
Figura 51 - RVE, configurazione <i>Cave</i>	113
Figura 52 - Robert McNeel & Associates Rhinoceros® in configurazione <i>Cave</i>	114
Figura 53 - Microsoft® Windows® 8™ in configurazione <i>Cave</i>	114
Figura 54 - Il paradigma <i>Camera View</i> , utilizzato in computer grafica per definire il volume di rendering.	116
Figura 55 - Utilizzo di <i>frustum</i> asimmetrici per la stereoscopia...	117
Figura 56 - Utilizzo di <i>frustum</i> asimmetrici in una configurazione <i>Cave</i> monoscopica.	118
Figura 57 - Microsoft® Kinect™ per Xbox® 360.....	120
Tabella 3 - Confronto tra le specifiche di Microsoft® Kinect™ e Microsoft® Kinect™ 2.0.	123
Figura 58 - Leap Motion Controller.....	124
Figura 59 - Il <i>software</i> di <i>voice recognition</i> Nuance® Dragon NaturallySpeaking®.....	125

Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready	68
Tabella 2 - 3D Vision® Pro-Ready OpenGL® <i>software</i>	96
Tabella 3 - Confronto tra le specifiche di Microsoft® Kinect™ e Microsoft® Kinect™ 2.0.....	123

Introduzione

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), di pari passo con il progresso tecnologico, ha permesso alle interfacce uomo-macchina di evolversi per migliorare l'esperienza d'uso di chi utilizza il calcolatore e la computer grafica per scopi industriali, gestionali, bellici o videoludici. Benché *monitor*, *mouse* e tastiera rimangano ancora i capisaldi di questo settore, si fanno sempre più frequenti scenari d'uso in cui emergono i limiti di queste interfacce, incapaci di sfruttare al meglio le potenzialità dei moderni sistemi di calcolo. Non è possibile, ad esempio, creare simulazioni a elevato grado di realismo, né tantomeno ambienti di lavoro collaborativi adatti alla visualizzazione di modelli complessi o analisi ad alto contenuto informativo. È da queste esigenze che nascono i cosiddetti Virtual Environments (VE), termine che identifica una serie di sistemi e dispositivi, anche molto diversi tra loro, realizzati allo scopo di garantire un'esperienza di realtà simulata migliore rispetto a quella fornita da interfacce più tradizionali.

Oggetto di questa tesi è la progettazione e lo sviluppo in chiave moderna di un VE denominato RVE (Reconfigurable Virtual Environment). RVE nasce dall'idea di un VE flessibile, caratterizzato dall'impiego di componentistica COTS (Commercial Off The Shelf), e compatibile con applicazioni e ambienti di sviluppo già noti sia all'utenza professionale che a quella consumer.

Capitolo 1

Virtual Environments (VE), Virtual Reality (VR) e Augmented Reality (AR)

Virtual Environments (VE) e Virtual Reality (VR)

I termini Virtual Environments (VE) e Virtual Reality (VR) sono utilizzati per indicare rispettivamente un ambiente o un esperienza di simulazione in cui l'utente sperimenta una realtà fittizia che coinvolge uno o più sensi tra vista, udito, tatto, olfatto e gusto. In genere, l'elemento visivo è sempre presente, potendosi considerare la vista, da una parte, il senso dominante per l'uomo, dall'altra, quello relativamente più semplice da simulare tramite le moderne tecniche di computer grafica e visualizzazione stereoscopica. L'elemento sonoro, ugualmente, è considerato di discreta importanza, ed è valorizzato, se possibile, dall'impiego di audio direzionale. Tatto, olfatto e gusto, invece, sono di norma trascurati, sia poiché di difficile implementazione, sia poiché considerati d'importanza secondaria (fanno eccezione i simulatori di volo o di guida nei quali il tatto è riprodotto da una ricostruzione fedele del sistema di pilotaggio).

In passato molti sistemi sono stati realizzati per soddisfare almeno alcuni dei requisiti sopra citati: *Imax[®] theaters [32]*, *Head Mounted*

Displays (HMD), *Binocular Omni Orientation Monitors* (BOOM), *Cave Automatic Virtual Environments* (CAVE), *Flight Simulators*, etc. Tuttavia mai nessuno è stato in grado di ricreare un ambiente virtuale perfetto. Tutt'oggi siamo ancora lontani da questo traguardo, ma la ricerca continua a proporre soluzioni innovative, sempre più raffinate e coinvolgenti.

Un VE può distinguersi dalle interfacce convenzionali per spiccate capacità in termini di *motion tracking*, fedeltà audio, FOV (*Field of View*) o possibilità di riprodurre i diversi *depth cues* [2], cioè gli indizi di profondità, contenuti all'interno di uno scenario reale o virtuale, che permettono una corretta ricostruzione della tridimensionalità dello spazio. Quest'ultimo aspetto, in particolare, è molto importante, poiché la resa finale del VE dipenderà in gran parte da esso. Per l'uomo, i *depth cues* possono essere suddivisi in due categorie principali:

Indizi di visione mono-oculare (brevemente descritti):

- (1) Interpretazione prospettica: capacità di interpretare un'immagine 2D in maniera prospettica.
- (2) Prospettiva atmosferica: minore contrasto e saturazione nei colori di oggetti lontani.
- (3) Prospettiva curvilinea: curvatura delle immagini alle estremità del campo visivo.
- (4) Profondità focale: indizio oculo-motorio indotto dai muscoli ciliari che modificano la geometria del cristallino e di conseguenza la profondità focale.
- (5) Parallasse: fenomeno per il quale un oggetto sembra muoversi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione.

-
- (6) Percezione di profondità cinetica: effetto tridimensionale generato dal cambiamento delle dimensioni di un oggetto che induce nell'osservatore una sensazione di avvicinamento/allontanamento.
 - (7) Dimensioni relative: percezione di tridimensionalità derivante dal confronto tra le dimensioni relative di due oggetti.
 - (8) Dimensione familiare: percezione di profondità derivante dalla conoscenza pregressa delle dimensioni di un oggetto.
 - (9) Occlusione: percezione di profondità derivante dal sovrapporsi di due o più oggetti, tra i quali il più vicino oscurerà gli altri.
 - (10) Illuminazione e ombre: il modo in cui la luce incide su un oggetto, si riflette sulla sua superficie e genera ombre, costituiscono veri e propri indizi per ricostruirne la forma e attribuirgli un corretto posizionamento nello spazio.
 - (11) Gradiente di *texture*: in modo analogo a quanto avviene a causa della prospettiva atmosferica, più un oggetto è lontano più è difficile individuare il suo aspetto e le sue caratteristiche superficiali.
 - (12) De-focalizzazione: tecnica comunemente utilizzata in fotografia o in *computer* grafica per riprodurre in maniera artificiale gli effetti della profondità focale.
 - (13) Elevazione rispetto all'orizzonte: propensione a interpretare gli oggetti vicini all'orizzonte come lontani e viceversa.

Indizi di visione bi-oculare (brevemente descritti):

- (14) Separazione oculare: nell'uomo il cervello triangola la distanza da un oggetto utilizzando due immagini della stessa scena, osservata da punti di vista leggermente diverse grazie alla visione binoculare.
- (15) Convergenza oculare - indizio oculo-motorio derivante dai muscoli extra-oculari che orientano i bulbi facendoli convergere sullo stesso oggetto.

Di questi indizi, solo la convergenza, la profondità focale e la dimensione familiare costituiscono informazioni assolute distanza. Tutti gli altri indizi sono relativi, ossia possono essere utilizzati solo per stabilire quali oggetti siano più vicino o più lontano rispetto ad altri.

Dispositivi di visualizzazione convenzionali (*monitor*, TV e proiettori non stereoscopici) possono fornire al più (1),(2),(3),(6),(7),(9),(10),(11),(12) e (13), non hanno capacità di *motion tracking*, sono caratterizzati da FOV ridotti e da una scarsa fedeltà audio. Gli Imax® theaters garantiscono un elevato FOV, occasionalmente in modalità stereoscopica [(14) e (15)], aggiungono (3) e audio di tipo *surround*, ma non sono interattivi. I *Flight simulators* o i *vehicle simulators* sono interattivi, caratterizzati da *vehicle tracking*, e, nelle migliori implementazioni, da un elevato FOV in stereo [(14) e (15)]. Negli HMD e nei BOOM si parla invece di *user head-tracking*, che avviene tramite la movimentazione del dispositivo stesso, la visione è in stereo [(14) e (15)] ed è possibile aggiungere (5). Questi dispositivi sono molto futuristici e, da anni,

attirano l'attenzione di appassionati e professionisti. Le realizzazioni passate, tuttavia, sono state assai deludenti dal punto di vista del FOV e della latenza nell'*head tracking*. Oggi, l'evoluzione della tecnica e un rinnovato interesse del mercato consumer nei confronti degli HMD fanno ben sperare per la commercializzazione, a breve, di alcuni dispositivi molto più evoluti e performanti di quelli visti in passato [30]. Un CAVE può essere caratterizzato da FOV a 360° (sia in verticale, sia in orizzontale), visione stereoscopica in scala 1:1 di oggetti di medio-grandi dimensioni [(14), (15) e (8)] ed elaborati sistemi di *motion tracking* e audio direzionale.



Figura 1 - Figura 1 - Dispositivi di *Virtual Reality*. A sinistra, il CAVE™ (*Cave Automatic Virtual Environment*). A destra, l'HMD (*Head Mounted Display*) Sony® HMZ-T2 Personal 3D Viewer [31].

Augmented Reality (AR)

Un concetto affine a quello di VR è l'*Augmented Reality* (AR), termine con cui s'indica l'arricchimento della percezione sensoriale umana della realtà mediante informazioni addizionali, generalmente elaborate e gestite con logica di tipo computazionale. Il termine AR può essere inteso anche in senso lato, laddove, piuttosto che un aumento, si abbia una riduzione della quantità d'informazioni, allo scopo di semplificare la cognizione dell'ambiente circostante. In passato utilizzata soprattutto in ambito militare, medico o di ricerca, oggi l'AR trova spazio nella vita di tutti i giorni grazie alle numerose applicazioni sviluppate per *smartphone*, *tablet* e *consolle*. Il numero di dispositivi che fanno uso di questa tecnica è destinato ad aumentare rapidamente, coinvolgendo non solo apparecchiature elettroniche di consumo, ma anche mezzi di trasporto, attrezzature da lavoro e strumenti educativi.



Figura 2 - Un esempio di *Augmented Reality*: lo *smartphone* utilizzato come strumento interattivo per consultare cataloghi fisici o virtuali.

Capitolo 2

Il CAVE™ (*Cave Automatic Virtual Environment*)

I CAVE™ (*Cave Automatic Virtual Environments*) rappresentano storicamente una delle principali implementazioni dei concetti di VE e VR. Nell'accezione più generica un CAVE™ è un ambiente realizzato per la visualizzazione di scenari o modelli virtuali, generato in computer grafica e renderizzato in tempo reale in considerazione della posizione e degli input generati da uno o più utilizzatori. Il più delle volte questa definizione si concretizza in strutture cubiche con pareti retroproiettate, in numero variabile da tre a sei. Non mancano, tuttavia, realizzazioni basate su geometrie e/o soluzioni di visualizzazione differenti. Nei CAVE™ più completi il sottosistema di visualizzazione è di tipo stereoscopico e l'utente, i cui movimenti sono tracciati in tempo reale, può muoversi nel mondo virtuale, osservandolo da diverse prospettive e interagendo con esso.

Il primo Cave™

Il primo CAVE™ fu sviluppato da Carolina Cruz-Neira, Thomas A. DeFanti e Daniel J. Sandin presso l'Electronic Visualization Laboratory, Università dell' Illinois di Chicago [2]. Fu mostrato per la prima volta al SIGGRAPH del 1992. Lo scopo dichiarato degli autori era di realizzare un sistema in grado di fornire, da un lato, una visuale prospettica stereoscopica caratterizzata da un ampio FOV e basata sull'*head-tracking* in tempo reale dell'utilizzatore, dall'altro la possibilità di quest'ultimo di interagire con l'ambiente virtuale. Il sistema era concepito per aiutare centri di calcolo, ingegneri, architetti, archeologi, geologi, artisti e scienziati di ogni genere nella visualizzazione scientifica delle loro attività lavorative e di ricerca, sempre più caratterizzate dall'utilizzo di logica computazionale e software di computer grafica, ma, il più delle volte, non soddisfacenti dal punto di vista comunicativo. A livello strutturale il CAVE™ era sostanzialmente una semi-stanza cubica 3x3x3 m con tre facce retroproiettate (frontale e laterali) e il pavimento generato tramite proiezione dall'alto. I proiettori erano di tipo CRT (*Cathode Ray Tube*) e operavano con *refresh rate* di 120 Hz, rendendo possibile l'utilizzo della stereoscopia attiva mediante *shutter glasses*. Il *tracking* delle mani e della testa dell'utilizzatore avveniva tramite tracciamento magnetico (Polhemus™ o Ascension™ *magnetic wireless tracking system*). È facile notare come molti dei paradigmi introdotti dal primo CAVE™ siano tutt'oggi lo standard di riferimento per i moderni sistemi di VR, valorizzando, di fatto, il lavoro svolto dai ricercatori dell'EVL

(Electronic Visualization Laboratory) [16] nei lontani anni '90, veri e propri pionieri di questo campo.



Figura 3 - Il primo CAVE™, sviluppato all'inizio degli anni '90 presso l'EVL (Electronic Visualization Laboratory), Università dell' Illinois, Chicago

Stato dell'arte dei Cave™

Cave™ convenzionali

Negli anni successivi alla prima realizzazione, molte università, istituti di ricerca e aziende si sono dotate di CAVE™, quali strumenti di indagine scientifica all'avanguardia. L'architettura originaria è stata riadattata in funzione delle diverse esigenze e dell'evolversi delle tecnologie di riferimento per la realizzazione.

- *Il C6 e il CORNEA*

I due CAVE™ più evoluti al mondo si trovano rispettivamente negli Stati Uniti, presso il VRAC (Virtual Reality Applications Centre) [19], Iowa State University e in Arabia Saudita presso il KAUST (King Abdullah University of Science and Technology) [18], Thuwal. Le due installazioni, denominate rispettivamente C6 [19] e CORNEA [18], hanno architetture molto simili poiché sono state realizzate, per conto delle rispettive strutture di riferimento, nel 2007 e nel 2009 dalla Mechdyne Corporation [20].

Come suggerito dal nome, il C6 è un CAVE™ a struttura cubica con sei facce retroproiettate di dimensioni 3x3 m. Il sistema fa uso di ventiquattro proiettori digitali LCD (*Liquid Crystal Display*) Sony® SRX-S105, raggiungendo una risoluzione di 16.7 milioni di *pixel* ogni parete (4096x4096 *pixel*). L'ambiente virtuale è gestito da un *cluster* di quarantotto *workstation dual-CPU* nel quale trovano

spazio 96 GPU (Graphics Processing Unit) NVIDIA®. Come spesso accade in questo tipo di CAVE™ la visione stereoscopica è ottenuta tramite la tecnica della stereoscopia attiva, motivo per il quale il numero di proiettori necessari a ogni faccia è pari a quattro (due proiettori Sony® SRX-S105 sono necessari per generare un'immagine di risoluzione complessiva 4096x4096 pixel con *aspect ratio* 1:1, mentre altri due consentono di “raddoppiare” il *refresh rate*, pari a un massimo di 60 Hz per proiettore). La riproduzione audio è affidata a un sistema *surround* 8.1 e l'utente interagisce con l'ambiente virtuale utilizzando guanti, *controller* o dispositivi aptici *wireless* per una maggiore libertà d'interazione nell'ambiente virtuale.

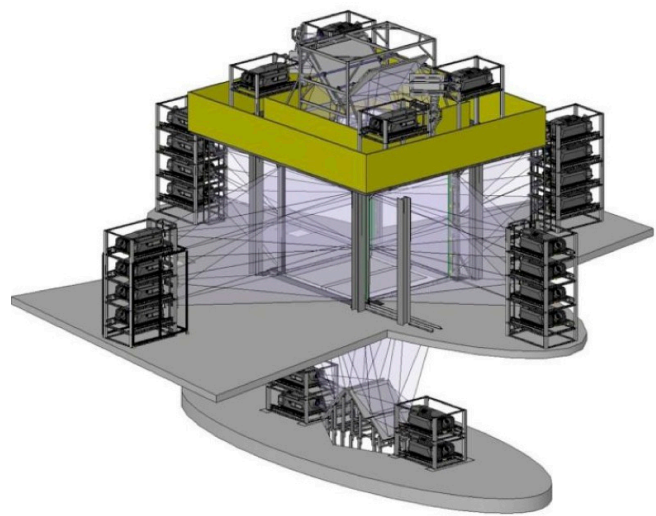


Figura 4 - Architettura del C6, *Cave Automatic Virtual Environment* c/o il VRAC (Virtual Reality Applications Centre), Iowa State University, USA.

Il CORNEA si differenzia dal C6 per l'utilizzo di un *cluster* basato su unità NVIDIA® Quadro® Plex 2100 S4, che permette di ridurre il numero di nodi necessari per la gestione del CAVE™. Inoltre, il sistema è dotato di un *sound system*, sviluppato dai ricercatori del

Calit2 [17] (California Institute for Telecommunications and Information Technology), composto da 20 *speakers* e 4 *subwoofers*, disposti su una gabbia che circonda il VE. Il sistema di audio direzionale 20.4 supporta frequenze di campionamento fino 96kHz, che è più di due volte la frequenza di campionamento tipica di un audio CD (*Compact Disc*) pari a 44.1kHz. Inoltre, grazie a un apposito *audio rendering engine*, CORNEA è in grado di simulare effetti sonori avanzati quali effetto Doppler, assorbimenti, riverberi e rifrazioni sonore. Interfacendosi con lo scenario virtuale l'impianto può generare, ad esempio, il riverbero della voce dell'utilizzatore sugli ostacoli virtuali o l'eco dei suoi passi.

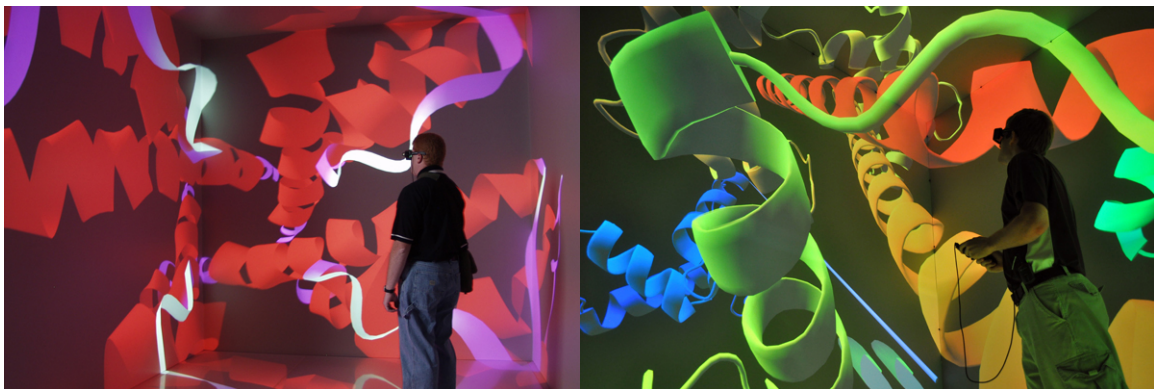


Figura 5 - Il CORNEA *Cave Automatic Virtual Environment* c/o KAUST (King Abdullah University of Science and Technology), Thuwal, Arabia Saudita.

- *Lo StarCAVE*

Un'implementazione più originale del concetto di CAVE™ è rappresentata dallo StarCAVE [4], realizzato dai ricercatori del Calit2 [17] tra cui lo stesso Thomas A. DeFanti, co-inventore del primo CAVE™. Lo StarCAVE è un VE a base pentagonale, costituito da cinque pareti più il pavimento. Ogni parete è composta da tre

schermi retroproiettati, due dei quali inclinati rispetto alla verticale locale. Le dimensioni totali del VE sono di 3.5 m in altezza e 3 m di diametro del cerchio circoscritto. A detta degli autori, l'inclinazione, pari a 15°, degli schermi superiore e inferiore che compongono ciascun lato del CAVE™, migliora l'esperienza di utilizzo dal punto di vista dell'immersività e riduce il *crosstalk* della stereoscopia passiva utilizzata nel sistema. L'interazione dell'utente con il VE avviene tramite *joystick* o *multi-camera wireless tracking system*.

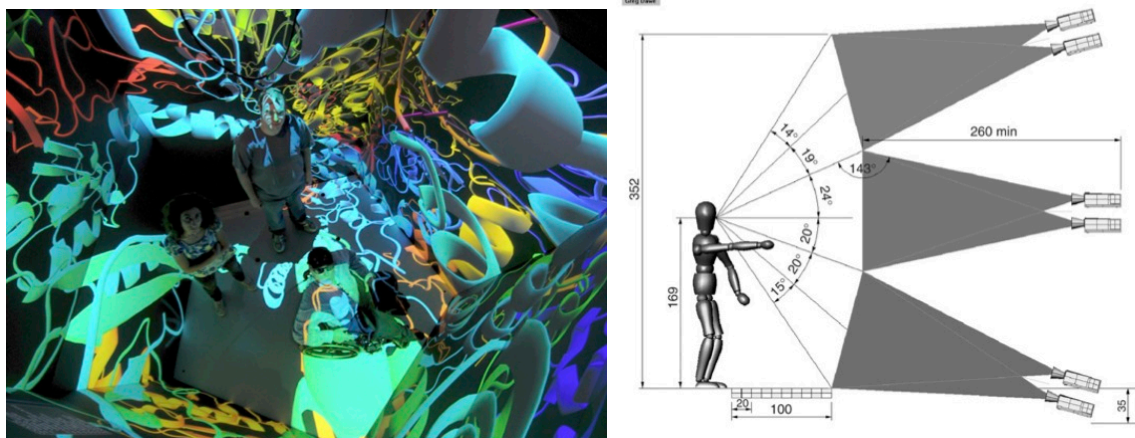


Figura 6 - *Lo StarCAVE, Cave Automatic Virtual Environment* c/o Calit2 (California Institute for Telecommunications and Information Technology), University of California, San Diego

Next-Generation CAVE™

Le origini dei CAVE™ Next-Gen: Wall interattivi.

Parallelamente allo sviluppo di CAVE™ basati su diverse tecniche di proiezione, numerose ricerche sono state portate avanti sui cosiddetti *Wall interattivi* [1], grandi *display* di elevata risoluzione ottenuti tramite un mosaico di pannelli LED/LCD. Tutti i principali centri di ricerca che si occupano di VR e visualizzazione scientifica, si sono adoperati nella realizzazione di questi dispositivi.

Tra i risultati più notevoli, è possibile citare l'AESOP (*Almost Entirely Seamless OptIPortal*) [1], sviluppato presso il KAUST di Thuwal [18], un *array* di quaranta *display* NEC 46" con cornice ultra-sottile di soli 7 mm e risoluzione WXGA di 1360×768 pixel.



Figura 7 - AESOP (Almost Entirely Seamless OptIPortal), c/o KAUST (King Abdullah University of Science and Technology), Thuwal, Arabia Saudita.

Un tempo appannaggio esclusivo di centri di ricerca specializzati e grandi realtà industriali, la realizzazione di *Wall interattivi* basati su *display* LED/LCD o retroproiezione è oggi molto più appetibile,

grazie all'introduzione da parte di ATI™/AMD, noto produttore di processori e schede video, della tecnologia ATI™/AMD Eyefinity [24].

- *ATI™/AMD Eyefinity*

La Tecnologia Eyefinity permette di realizzare configurazioni *multi-display* avanzate, con pieno supporto, per tutti i display, all'accelerazione di flussi video e al *rendering* di scenari 3D, anche in tempo reale. Utilizzando una singola scheda video il numero limite di display che possono essere utilizzati simultaneamente è fissato a sei.



Figura 8 - Esempi di configurazioni ATI/AMD Eyefinity che fanno uso di un'unica scheda video.

Da Febbraio 2010, inoltre, la tecnologia Eyefinity supporta il CrossfireX™, tecnica che permette l'utilizzo di più schede video in parallelo sulla stessa *workstation*, introducendo così la possibilità di realizzare, in maniera molto più semplice ed efficace rispetto al passato, configurazioni fino a ventiquattro periferiche video. Introdotta dapprima nelle schede video *consumer* ATI™ Radeon™ HD, Eyefinity è ora compatibile con le schede professionali della famiglia FirePro™, per far fronte a un'esigenza di maggiore flessibilità, in termini di configurazioni *multi-display*, da parte degli operatori professionali.



Figura 9 - A sinistra, una configurazione Eyefinity/CrossfireX™ a ventiquattro display. A destra, una configurazione Eyefinity che fa uso di una scheda video della famiglia ATI FirePro™.

I CAVE™ NextGen

La ricerca e l'innovazione nell'ambito dei *Wall* interattivi e delle configurazioni *multi-display* hanno portato nel tempo a una rivisitazione dell'idea convenzionale di CAVE™, affiancando alle architetture tradizionali nuove realizzazioni basate su *array* semi-circolari di *display* LCD, vere e proprie evoluzioni dei *Wall* interattivi. Ne sono esempio il NexCAVE realizzato da Greg Dawe presso il KAUST di Thuwal, e il Varrier Autostereoscopic Display sviluppato presso il Calit2.

- *Il NexCAVE*

Il NexCAVE [1] è un CAVE™ *Next-Generation* composto di dieci pannelli LCD JVC® Xpol 46" disposti in configurazione semicircolare su tre righe e sette colonne. NexCAVE utilizza la stereoscopia passiva basata su interlacciamento delle immagini *line-by-line* come tecnica per ottenere l'effetto stereoscopico. I *display* che compongono la parte superiore e inferiore della configurazione sono reclinati verso l'utilizzatore per preservare la polarizzazione delle immagini visualizzate.



Figura 10 - *Il NexCAVE, Next-Generation CAVE™* basato su stereoscopia passiva c/o KAUST (King Abdullah University of Science and Technology), Thuwal, Arabia Saudita.

- *Il Varrier*

Il Varrier [5] è un CAVE™ *Next-Gen* autostereoscopico basato sulla tecnica della barriera di parallasse e sul tracking della posizione oculare dell'utilizzatore. In altre parole, in determinate condizioni, non è necessario utilizzare alcun dispositivo aggiuntivo per ottenere la visione stereoscopica. Tuttavia, l'immagine stereo può essere visualizzata correttamente da un singolo utilizzatore, seduto o in lento spostamento, poiché continuamente rielaborata sulla base della posizione oculare (il *tracking* avviene tramite *markers* e telecamere). Come il NexCAVE anche il Varrier è composto di numerosi *display* disposti su cinque righe e dieci colonne, per un totale di cinquanta schermi autostereoscopici. Poiché il sistema è basato sull'auto-stereoscopia, non è necessario inclinare i display che si trovano all'estremità superiore e inferiore della configurazione.



Figura 11 - Il Varrier, *Next-Generation CAVE™* autostereoscopico c/o Electronic Visualization Laboratory (EVL), University of Illinois, Chicago, USA

-
- *Il CAVE2™*

Lo stato dell'arte dei CAVE™ *Next-Gen* è rappresentato dal CAVE2™ [6], recentemente sviluppato presso i laboratori dell'EVL e definitivamente completato nel 2012.

CAVE2™ è composto di settantadue pannelli LCD-3D disposti su una struttura di forma cilindrica, venti *speaker* Ambisonic Audio e dieci telecamere ottiche per il tracking degli utilizzatori. Dispone, inoltre, di una connessione 100 Gigabit/s per lo scambio di dati in rete. Il tutto è gestito da un cluster di computer a trentasei nodi.

Il sistema combina i vantaggi di un *Wall* interattivo ad architettura scalabile con quelli di un CAVE™ convenzionale, ricreando un ambiente virtuale immersivo a 360° che circonda completamente l'utente. Si segnala, inoltre, l'utilizzo di display con cornice ultrasottile, analogamente a quanto visto nell'AESOP. Per ottenere la visione stereoscopica si utilizza la stereoscopia passiva di tipo *Cross-Polarization*. Nei display posti più in alto o più in basso, lo strato di polarizzazione dei pannelli LCD è traslato verticalmente rispetto alla normale posizione. Tale accorgimento serve a prevenire il *crosstalk* direzionando il ristretto angolo di visione stereoscopica che caratterizza i pannelli 3D di tipo *Cross-Polarization* verso l'utilizzatore.

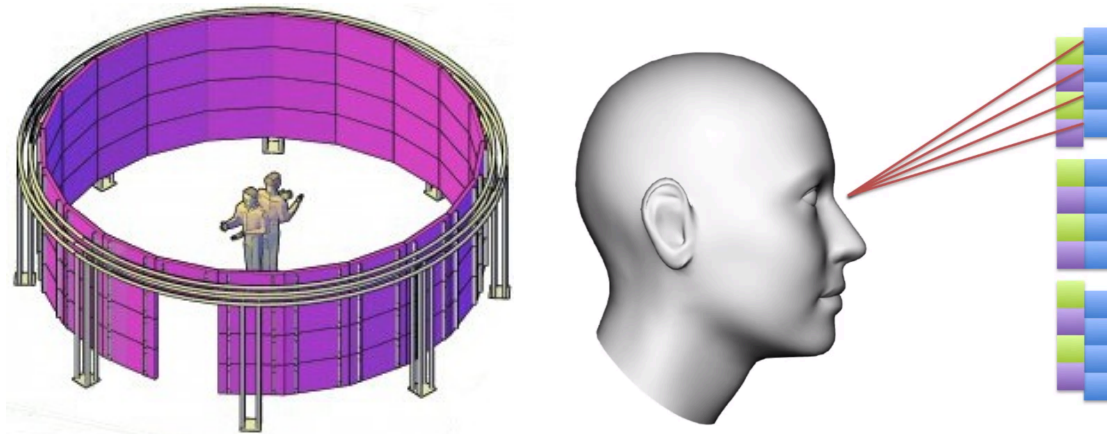


Figura 12 - Architettura del CAVE2™ *Next-Generation* CAVE™ c/o EVL (Electronic Visualization Laboratory), University of Illinois, Chicago, USA: Settantadue pannelli LCD 3D di tipo *Cross-Polarization* disposti a 360° con *vertical-shift* dello spessore polarizzatore.

CAVE2™ è uno strumento collaborativo adatto sia alla visualizzazione di analisi complesse ad alto contenuto informativo, sia a simulazioni virtuali 3D o 3D stereoscopiche a elevata risoluzione (fino a trentasette Megapixel in 3D stereoscopico), con immagini che raggiungono un livello di dettaglio prossimo al limite di acutezza visiva nell'uomo.

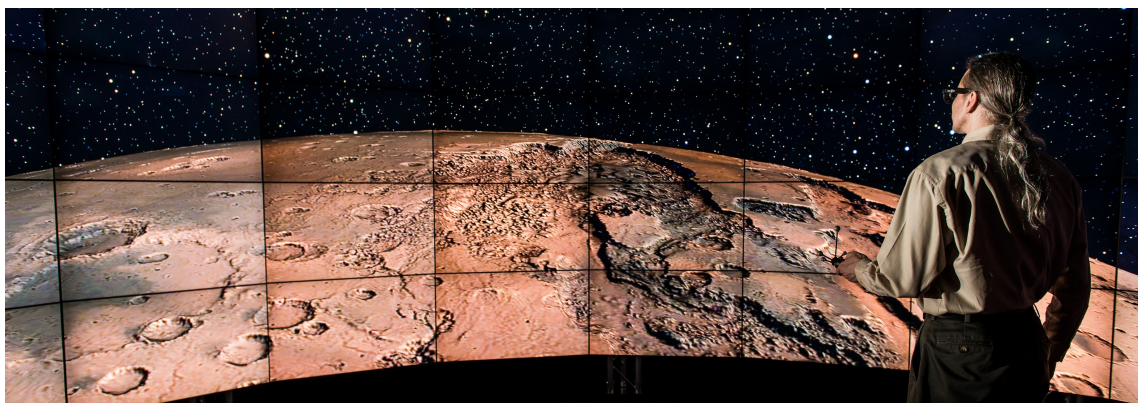


Figura 13 - Il CAVE2™, *Next-Generation* CAVE™ c/o EVL (Electronic Visualization Laboratory), University of Illinois, Chicago, USA.

Architettura di un CAVE™ convenzionale

I CAVE™ di architettura convenzionale utilizzano *cluster* di computer di medio-piccole dimensioni. Questo avviene non solo per ragioni di natura *software* (corretta gestione di una configurazione *multi-display* avanzata) e *hardware* (potenza di calcolo), ma anche a causa delle limitazioni che caratterizzano le schede grafiche in termini di connettività video. Di norma, infatti, solo il supporto a configurazioni di tipo *single-card/dual-screen*¹ può essere dato per scontato, mentre configurazioni *triple-screen* o superiori sono supportate solo da schede video di recente concezione. Le schede più datate, anche se dotate di tre o quattro connettori video, non permettevano di utilizzare più di due *display* in contemporanea. Si osservi, inoltre, che, nel caso in cui si faccia uso della stereoscopia attiva, è necessario trasmettere immagini in alta definizione, con un *refresh-rate* di 120 Hz. Questo introduce ulteriori complicazioni, che variano a seconda dell'interfaccia e dello standard di trasmissione video utilizzati. In passato, l'utilizzo di un *cluster* ha permesso di superare queste e altre problematiche, tuttavia, anche tale approccio non è esente da difetti.

¹ Le configurazioni di tipo *single card/dual screen* prevedono la gestione di due schermi (*dual screen*) attraverso una singola scheda grafica (*single card*).

Il fenomeno dello screen tearing e la sincronizzazione verticale

- *Lo screen tearing*

Chi fa uso di computer grafica *real-time*, ovvero renderizzata in tempo reale (videogiochi, VR, CAD, etc.) ha sicuramente sperimentato, in modo consapevole o inconsapevole, il fenomeno dello *screen tearing*. Il nome indica un artefatto video che può presentarsi durante la decodifica di un film, il *rendering real-time* di un videogioco o anche la manipolazione di un modello CAD. A causa del *tearing* l'immagine appare divisa in due o più parti disgiunte e non coerenti. Questo effetto si manifesta quando, durante il *refresh* del *display*, il frame contenuto nel *frame-buffer* (o *front-buffer*) della scheda video è sostituito da quello successivo (*frame-swap*). In pratica, poiché il refresh del *display* non s'interrompe a causa dello *swap*, si ha la visualizzazione contemporanea di due porzioni d'immagine appartenenti a frame successivi, che descrivono due istanti temporali diversi, con conseguente generazione di un'immagine disgiunta.



Figura 14 - Esempificazione concettuale del fenomeno dello *screen tearing*.

Per via della velocità con cui i fotogrammi si susseguono, lo *screen tearing* non è sempre visibile occhio nudo, ma, in determinate condizioni, la sua presenza può compromettere l'esperienza visiva.

- *Il V-sink (sincronizzazione verticale)*

La soluzione più comune al problema del *tearing* prende il nome di sincronizzazione verticale, nota anche come *V-sync*. Questa tecnica sincronizza il *refresh* del display con lo *swap* del *front buffer*, impedendo, di fatto, la creazione dell'effetto "di taglio". Purtroppo, abilitando il *V-sink*, si limita il *frame-rate* a valori pari o inferiori al *refresh-rate*, in particolare sottomultipli. Supponendo ad esempio di utilizzare un dispositivo con *refresh rate* di 60 Hz, abilitando il *V-sink* si limita il *frame rate* all'insieme discreto di valori 60, 30, 20, 15, 10... Hz in funzione delle capacità di calcolo del sistema.

Soluzione complementare al *V-sink* è il cosiddetto *triple-buffering*, tecnica con gli stessi benefici, ma in grado di evitare la discretizzazione dei valori di *refresh rate* ottenibili. Purtroppo è possibile utilizzare questa tecnica solo con determinate applicazioni.

Lo screen tearing nelle configurazioni multi-display: Framelock, Genlock, Swap Group e Swap Barrier

Si è visto come l'utilizzo della sincronizzazione verticale rappresenti una possibile soluzione al problema dello *screen tearing* nelle configurazioni *single-display*. In questo caso, parlando di *tearing*, si tratta sempre di *tearing* "verticale", cioè visibile osservando l'immagine dall'alto verso il basso o viceversa.

Nelle configurazioni multi-schermo basate su architetture *cluster* di tipo *server/client* un fenomeno analogo al *tearing* verticale può manifestarsi tra un *display* e l'altro a causa del *timing* indipendente con cui ogni nodo esegue il proprio *refresh* (indipendentemente dal fatto che il *refresh rate* dei dispositivi di visualizzazione sia, in senso assoluto, lo stesso). Questo fenomeno, che chiameremo "*tearing orizzontale*"², si manifesta anche se il *V-sink* è abilitato a livello di ogni singolo nodo.

Per ottenere la sincronia di *refresh* tra tutti i dispositivi, è necessario, in questo caso, utilizzare le funzioni *Framelock* e *Genlock*.

² In tal caso si assume che gli schermi siano affiancati in configurazione *landscape*.

-
- *Framelock (Frame locking) e Genlock (Generator locking)*

Framelock (Frame locking) e Genlock (Generator locking) [8] sono due tecniche, comunemente utilizzate in computer grafica, che permettono di fornire un segnale di sincronizzazione comune a diverse schede grafiche. Solo in questo modo l'impulso di *Vertical-sync*, cioè l'impulso che induce il *refresh* dell'immagine visualizzata, sarà emesso a un istante comune da diversi nodi.

La funzione *Framelock* permette di avere un impulso di *Vertical-sync* comune tra diversi nodi, generato da un calcolatore cui è assegnato il ruolo di *master node*. Tutte le workstation collegate al *master node*, tramite cablaggio CAT-5 e interfaccia RJ45, si sincronizzeranno a quest'ultimo.

La funzione *Genlock*, invece, sincronizza uno o più *master node* a un generatore di segnale esterno (*house sync*) tramite interfaccia BNC.

Se utilizzate all'unisono, *Framelock & Genlock* permettono di realizzare architetture *master/slave* come quella mostrata in figura, nelle quali tutti i nodi eseguiranno il *refresh* dell'immagine in sincrono. Il segnale di *house sync*, in genere, è utilizzato anche per la sincronizzazione degli *shutter glasses* necessari per l'utilizzo della stereoscopia attiva.

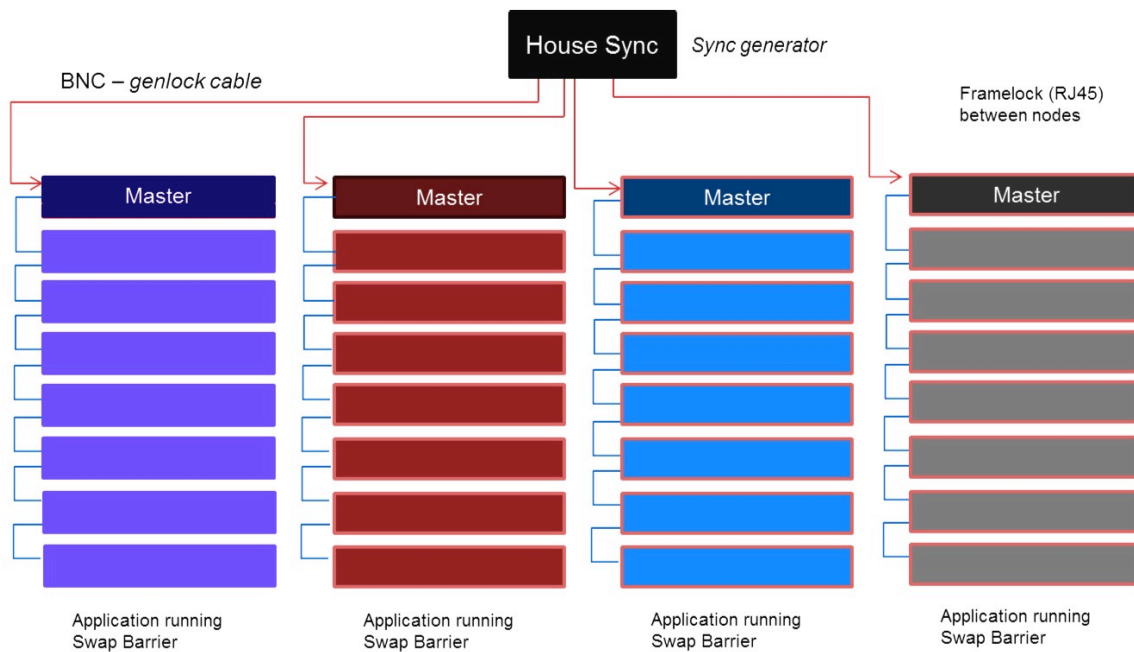


Figura 15 - Una possibile architettura *master/slave* che utilizza le funzioni *Framelock* e *Genlock* per sincronizzare i vari nodi al segnale *house sync*.

Tra gli svantaggi di un'architettura di questo tipo è possibile evidenziare l'utilizzo di hardware dedicato (schede *GSynk-II* con interfacce RJ45 e BNC o analoghe) e cablaggio aggiuntivo tra le *workstation*. Inoltre, l'utilizzo di *shutter-glasses next-gen*, come gli occhiali NVIDIA® 3D Vision, con queste architetture è abbastanza problematico, a causa della presenza di un connettore VESA 5V DC piuttosto che uno BNC sul trasmettitore NVIDIA® 3D Vision® hub.

Un altro svantaggio delle architetture *cluster* di tipo *master/slave* è rappresentato dal fatto che il *frame rate*, anche in presenza di un *refresh rate* comune e *V-sink* abilitato, può assumere valori diversi tra i nodi. Se questo accade, ancora una volta si ottengono immagini che descrivono istanti temporali diversi, producendo, anche in questo caso, artefatti e difetti geometrici. Poiché il raggiungimento di un diverso *frame rate* tra i nodi è una situazione tutt'altro che inusuale, il problema non è affatto trascurabile. Ogni

GPU renderizza, infatti, una porzione d'immagine diversa e la complessità del rendering varia non solo da nodo a nodo, ma anche da istante a istante.

Nel caso di una *render farm* basata su GPU NVIDIA®, per far fronte a questo problema è necessario intervenire dal punto di vista *hardware/software* attraverso le funzioni *Swap Group* e *Swap Barrier*.

- *Swap Group e Swap Barrier*

Swap Group e *Swap Barrier* [8] sono estensioni OpenGL® (*Open Graphics Library*)/DirectX® accessibili tramite NVAPI (NVIDIA® *Application Programmable Interface*), e implementate a livello *software* qualora si voglia ottenere la sincronizzazione del *frame rate*.

Swap Group garantisce la sincronizzazione a livello di *frame rate* tra GPU multiple installate all'interno dello stesso *host*.

Swap Barrier garantisce la sincronizzazione a livello di *frame rate* tra i singoli nodi (anche in questo caso si utilizza l'interfaccia RJ45 e cablaggio di tipo CAT-5).

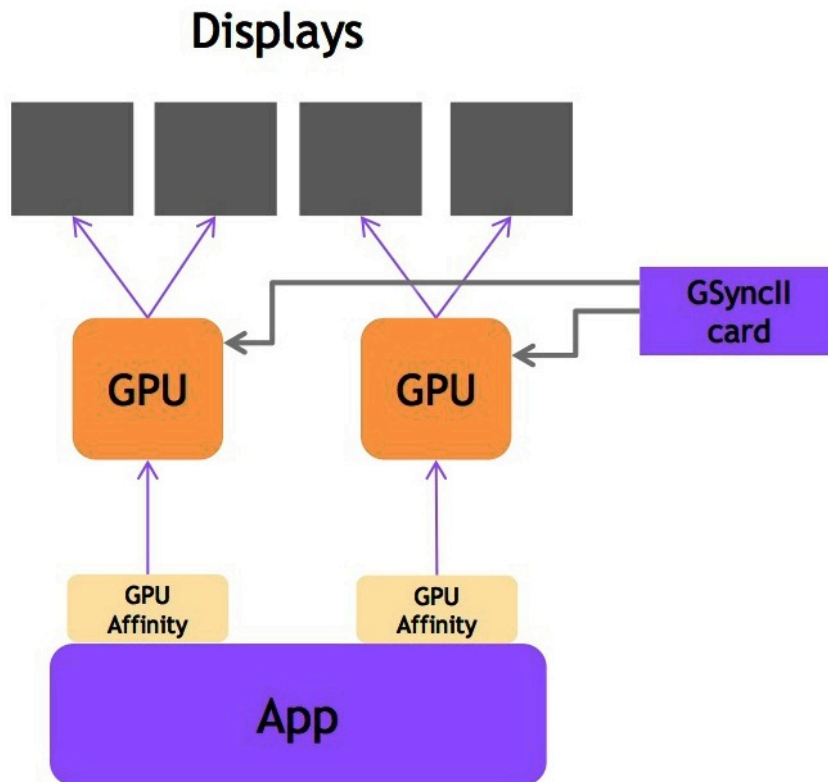


Figura 16 - Per uniformare il *frame rate* tra diversi nodi è necessario implementare nell'applicazione le estensioni OpenGL® *Swap Group* e *Swap Barrier*.

In ultima analisi, quindi, emerge come l'utilizzo di un'architettura *cluster* comporti, da una parte, indubbi vantaggi in termini di scalabilità della potenza di calcolo e delle connessioni video, ma dall'altra, numerose complicazioni per ottenere un'immagine stereoscopica coerente e priva di artefatti.

Capitolo 3

RVE (Reconfigurable Virtual Environment)

Scopo della tesi

Grazie all'utilizzo di complesse architetture strutturali ed elettroniche, i CAVE™ descritti nel precedente capitolo rappresentano lo stato dell'arte dei moderni sistemi di visualizzazione e riproduzione acustica. Le specifiche tecniche, in termini di risoluzione, luminosità, contrasto, qualità dell'immagine e potenza di calcolo sono davvero notevoli. 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.

Installazioni come il C6, il CORNEA o lo StarCAVE hanno *budget* di realizzazione milionari, 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 ritengano sostenibile l'idea di realizzare e gestire un CAVE™ 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.

Obiettivo di questa tesi è lo sviluppo di un VE semplice e flessibile che, facendo uso di tecnologie e componentistica COTS (Commercial Off-The-Shelf), rappresenti una valida alternativa agli strumenti di visualizzazione scientifica tipicamente impiegati nel campo dell'ingegneria industriale (*monitor* o proiettori in configurazione *single/dual-screen*). Requisito primario del sistema è l'utilizzo, ove possibile, di *hardware* e *software* commerciale, che permetta un sostanziale abbattimento dei costi di realizzazione, manutenzione e aggiornamento del sistema. La gestione e l'utilizzo del VE, da parte dell'utente medio, devono essere semplici e intuitive, grazie alla presenza di *software* e ambienti di sviluppo già noti. È necessario, quindi, evitare configurazioni hardware e software complesse e appositamente sviluppate, come *cluster* basati su architettura *master/slave* o ambienti di sviluppo proprietari di chi ha realizzato il VE. Il sistema, infine, è volutamente *multi-purpose*, per ampliare gli ambiti di utilizzo e renderne più appetibile la realizzazione.

Gli attributi del VE, quindi, possono essere così riassunti:

- Utilizzo di componentistica COTS
- Semplicità di realizzazione, gestione e utilizzo
- Flessibilità

Le basi dell'architettura RVE

L'architettura *hardware/software* alla base di RVE (Reconfigurable Virtual Environment), è sostanzialmente diversa da quella di un CAVE™ convenzionale. Essa si basa sui seguenti presupposti:

- Commercializzazione, da parte di NVIDIA®, delle prime soluzioni GPU basate su architettura NVIDIA® Kepler (schede grafiche delle serie GeForce® 600 e Quadro® serie K), con funzionalità *multi-display* avanzate [21].
- Sviluppo dell'ecosistema di prodotti NVIDIA® 3D Vision® Ready [22], con lo scopo di rendere l'utilizzo della stereoscopia attiva un'esperienza "*plug&play*" per l'utente finale.

L'architettura GPU NVIDIA® Kepler

L'architettura GPU NVIDIA® Kepler, oltre che introdurre benefici prestazionali rispetto alla precedente architettura Fermi, rivoluziona l'approccio di NVIDIA® alle configurazioni *multi-display*. In passato, l'approccio di NVIDIA® a queste configurazioni seguiva il paradigma riportato in figura:

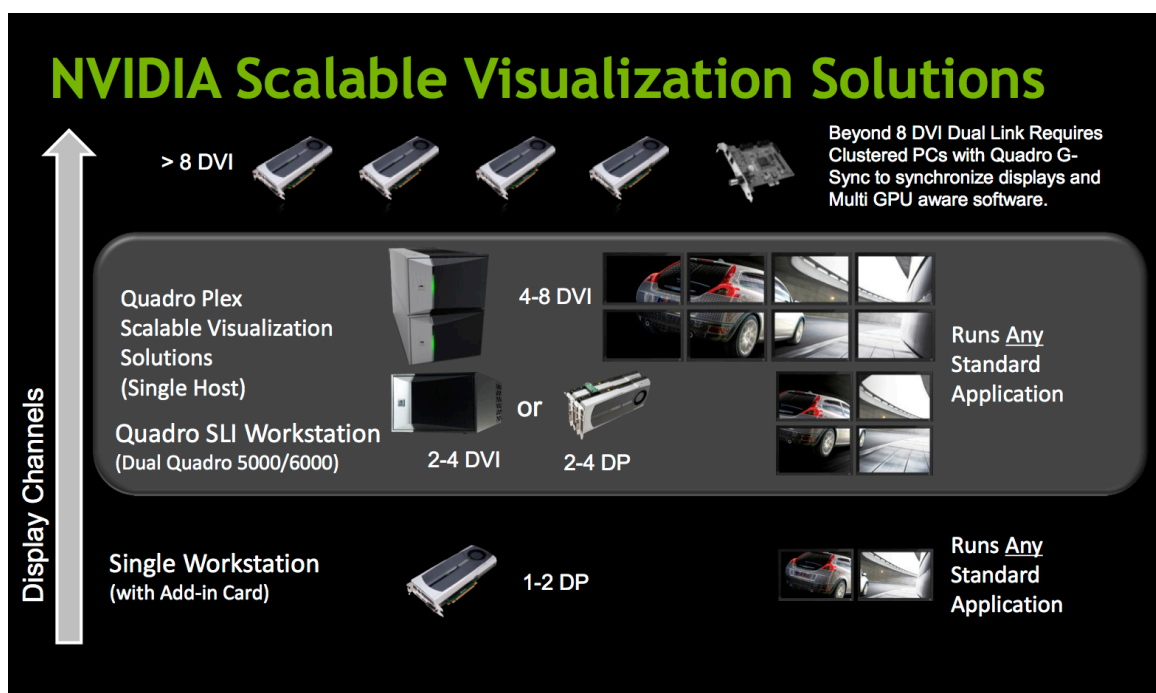


Figura 17 - Approccio di NVIDIA® alle configurazioni *multi-display* prima dell'architettura Kepler

Con l'architettura GPU Kepler, NVIDIA® introduce un nuovo motore di visualizzazione in grado di gestire fino a quattro *display* simultaneamente. In questo modo è possibile realizzare configurazioni NVIDIA® Surround o NVIDIA® 3D Vision® Surround con una singola scheda NVIDIA® GeForce®, o, analogamente,

configurazioni NVIDIA® Quadro® Mosaic™ con una singola scheda NVIDIA® Quadro®.

- *NVIDIA® 3D Vision® Surround*

NVIDIA® 3D Vision® Surround per schede GeForce® [23] permette di realizzare configurazioni *triple-screen* stereoscopiche, e di aggiungere, eventualmente, un display accessorio che operi in modalità 3D monoscopica. La tecnologia NVIDIA® 3D Vision® Surround ha il difetto di non essere scalabile, cioè, indipendentemente dal numero di GPU impiegate, il tetto massimo di *display* che possono essere utilizzati contemporaneamente è pari a quattro.



Figura 18 - Esempio di configurazione *triple-screen* basata su NVIDIA® 3D Vision® Surround per schede GeForce®.

- *NVIDIA® Quadro® Mosaic™*

La tecnologia NVIDIA® Quadro® Mosaic™ [11] è più flessibile di NVIDIA® Surround, poiché permette lo *scaling* del *desktop* e delle applicazioni su configurazioni fino a sedici display gestiti da quattro GPU in *Quad-SLI™* (Scalable Link Interface) installate su singola *workstation*. Più nel dettaglio, se si utilizza una singola GPU, il limite è fissato a quattro *display*, ma, in questo caso, con pieno supporto al 3D stereoscopico anche per il quarto *device*. Architetture fino a otto *display* possono essere realizzate tramite *Dual-SLI™* semplice, mentre per configurazioni superiori è richiesto l'utilizzo di una scheda NVIDIA® Quadro® Sync [12], con funzionalità analoghe a quelle delle schede G-Sync II (*Framelock/Genlock*).

Number of synchronized displays/projectors from a single system with NVIDIA® Mosaic technology:

Up to 4	Up to 8	Up to 12	Up to 16
1 GPU	2 GPUs + SLI or 2 GPUs + Quadro Sync	3 GPUs + Quadro Sync	4 GPUs + Quadro Sync



Figura 19 - Possibili configurazioni NVIDIA® Quadro® Mosaic™ con le GPU della famiglia Kepler

NVIDIA® Quadro® Mosaic™, inoltre, fornisce all'utente strumenti di gestione *desktop* avanzati come NVIDIA® nView®, *bezel correction*³, e *image blending*. Tutti i *display* godono di pieno supporto al 3D stereoscopico, con immagini prive di artefatti grazie a un ambiente di visualizzazione perfettamente sincronizzato.

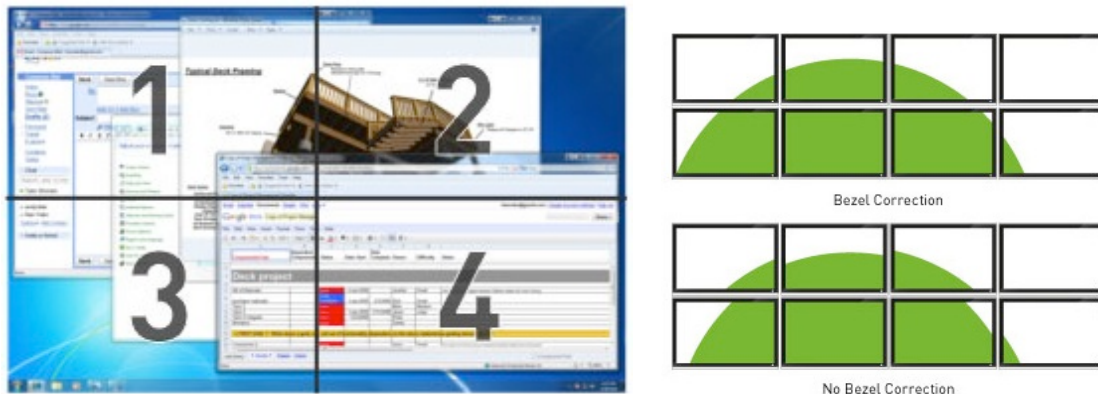


Figura 20 - Strumenti di gestione *desktop* avanzata di NVIDIA® Quadro® Mosaic™: NVIDIA® nView® e *bezel correction*.

³ *Bezel correction* permette di tenere conto della presenza di cornici. *Image blending* permette di sovrapporre diverse proiezioni per evitare la formazione di bande oscure tra un'immagine e l'altra.

L'ecosistema NVIDIA® 3D Vision®

3D Vision® è un marchio commerciale che identifica una serie di elementi *hardware* e *software* certificati da NVIDIA® per entrare a far parte del proprio ecosistema di prodotti dedicati alla stereoscopia attiva. La certificazione è pensata per agevolare consumatori e professionisti nella fruizione di contenuti 3D.

- *NVIDIA® 3D Vision® e NVIDIA® 3D Vision® Pro*

NVIDIA® distingue tra 3D Vision® e 3D Vision® Pro (*Professional*), per differenziare due ambiti distinti nei quali impiegare le proprie tecnologie: *gaming* da una parte e utilizzo di applicazioni professionali dall'altra. A questi si aggiunge, in entrambi i casi, la possibilità di visualizzare film, filmati e fotografie stereoscopiche.

In realtà 3D Vision® Pro è pienamente compatibile con le specifiche 3D Vision® e le differenze si limitano, per lo più, a un aggiornamento dei *driver* 3D Vision® Pro in differita rispetto a quelli 3D Vision®. Da un po' di tempo, in ogni caso, entrambi i driver si trovano integrati all'interno dei normali *driver* GeForce® e Quadro® WHQL (*Windows Hardware Quality Labs*). La compatibilità, tuttavia, non è reciproca. Grazie all'utilizzo di schede NVIDIA® Quadro®, infatti, con supporto alla stereoscopia *Quad Buffer OpenGL®*, è possibile utilizzare 3D Vision® Pro con una serie di applicazioni professionali che fanno capo all'ingegneria industriale, alle scienze naturali, alla medicina e altro ancora. 3D Vision®, al contrario, supporta solo videogiochi, alcuni simulatori di volo, di guida, lettori multimediali e Google® Earth™.

Un'altra differenza è legata alla tipologia di *shutter glasses* utilizzati per ottenere la visione stereoscopica. Gli occhiali NVIDIA® 3D Vision® II⁴ (come anche gli occhiali NVIDIA® 3D Vision® I) utilizzano, infatti, un emettitore a infrarossi (IR) per la sincronizzazione dello *shuttering* con le immagini a schermo. Il raggio d'azione dell'emettitore IR è limitato a circa 10 m, ed è necessario un collegamento *in line of sight*, ovvero privo di ostacoli, con gli occhiali. Gli occhiali NVIDIA® 3D Vision® Pro⁵, invece, si avvalgono di una sincronizzazione in radio frequenza (segnali radio a 2,4 GHz), garantendo:

- Portata fino a 30 m.
- Nessuna necessità di un collegamento in linea d'aria tra occhiali ed emettitore (*out line of sight*).
- Comunicazione bi-direzionale tra occhiali ed emettitore (le installazioni possono verificare che gli occhiali siano operativi e il livello della batteria).
- Collegamento robusto tra ciascun occhiale e il display corrispondente che minimizza le interferenze (anche tra diverse installazioni NVIDIA® 3D Vision® Pro).

NVIDIA® 3D Vision® Pro supporta i sistemi operativi Microsoft® Windows® XP™, Microsoft® Windows® Vista™, Microsoft® Windows® 7™ e Microsoft® Windows® 8™, indipendentemente dalla versione utilizzata (Home, Business, Professional, Ultimate, etc., 32 o 64 bit). NVIDIA® 3D Vision®, invece, richiede Microsoft® Windows® Vista™ o successive *release* di Microsoft® Windows®.

⁴ NVIDIA® 3D Vision® II *datasheet* in appendice A

⁵ PNY NVIDIA® 3D Vision® Pro *datasheet* in appendice A

Fatta eccezione per queste differenze, che penalizzano 3D Vision® nei confronti di 3D Vision® Pro, l'ecosistema alla base delle due soluzioni è strutturato in modo analogo, e può essere così schematizzato:

- Scheda video della famiglia NVIDIA® GeForce® per NVIDIA® 3D Vision® o scheda video della famiglia NVIDIA® Quadro® per NVIDIA® 3D Vision® Pro. (In alternativa, PC o *workstation* certificati 3D Vision® Ready o 3D Vision® Pro Ready).
- *Monitor*, TV, DLP™ TV, ricevitore *Home Theater* o proiettore NVIDIA® 3D Vision® Ready.
- Occhiali NVIDIA® 3D Vision® I, 3D Vision® II o 3D Vision® Pro per NVIDIA® 3D Vision® Pro. Occhiali NVIDIA® 3D Vision I o 3D Vision II per 3D NVIDIA® Vision®.
- *Driver* GeForce® WHQL (*full driver*) per 3D NVIDIA® Vision® o *driver* Quadro® WHQL per NVIDIA® 3D Vision® Pro
- NVIDIA® 3DTV Play™ *software* per l'utilizzo di NVIDIA® 3D Vision® con televisori NVIDIA® 3D Vision® Ready o altri dispositivi HDMI® 1.4/1.4(a) (principali ambiti di utilizzo: *gaming*, Blu-ray Disk™ 3D *playback*, *stereoscopic movies* & *photos playback*, Youtube™ 3D *playback*)

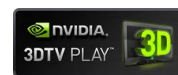


Figura 21 - L'ecosistema di prodotti NVIDIA® 3D Vision® Ready

La stereoscopia in RVE

- *La stereoscopia attiva*

La stereoscopia attiva è una tecnica nella quale le immagini, che rappresentano i due punti di vista della visione binoculare umana, sono visualizzate alternativamente a frequenza molto elevata (tipicamente 120 Hz), per mezzo di un proiettore, di un monitor, o di una TV. Lo spettatore indossa un paio di occhiali attivi, detti *shutter glasses*, dotati di lenti a cristalli liquidi che cambiano velocemente da trasparenti a opache, in sincrono con le immagini a schermo. In questo modo ogni occhio visualizza solo i fotogrammi ad esso dedicati, ed è possibile ottenere l'effetto 3D stereoscopico. La stereoscopia attiva è una tecnica ormai nota da tempo, ma, sia per le sue qualità, sia per i difetti delle tecniche concorrenti, rappresenta ancora la soluzione più diffusa per la fruizione di contenuti 3D stereoscopici nel mercato consumer. NVIDIA®, RealD™, XPAND™, Bit Cauldron e tutte le principali case produttrici di TV e video-proiettori, commercializzano soluzioni basate su questa tecnica. Anche se l'utilizzo di occhiali attivi garantisce un'ottima separazione delle immagini e, quindi, un efficace effetto stereoscopico, la tecnica non è esente da difetti. Gli occhiali devono integrare lenti LCD, elettronica di controllo, ricevitore a onde radio o a infrarossi e, infine, batteria di alimentazione. Tutto questo a svantaggio di peso, costo e semplicità di realizzazione. Inoltre, durante l'utilizzo, si riscontra un abbattimento della luminosità percepita variabile approssimativamente dal 25% al 50%. La visione prolungata può

essere fastidiosa per certi utilizzatori, soprattutto se alle prime esperienze. Ciò premesso, occorre rilevare che, negli ultimi anni, l'ergonomia degli occhiali è molto migliorata, sia in termini di comfort, che di funzionalità.



Figura 22 - L'evoluzione degli *shutter glasses*. Dai primi modelli poco accattivanti ai *design* più futuristici di oggi.

Alcuni produttori hanno introdotto tecniche per minimizzare la perdita di luminosità dovuta agli *shutter glasses*. Ad esempio, gli occhiali NVIDIA® 3D Vision® II, tra i più diffusi in commercio, sono sia ergonomici che funzionali. Infatti, oltre ad essere venduti con una serie di naselli intercambiabili per adattarsi a diverse fisionomie del viso, pesano circa 50 g e incorporano una batteria ricaricabile con autonomia dichiarata di quaranta ore. Per migliorare la qualità dell'immagine, gli occhiali fanno uso della tecnologia NVIDIA® 3D LightBoost™, che incrementa la luminosità percepita, mentre il particolare design Light Blocker isola l'utente dalla luce diffusa.

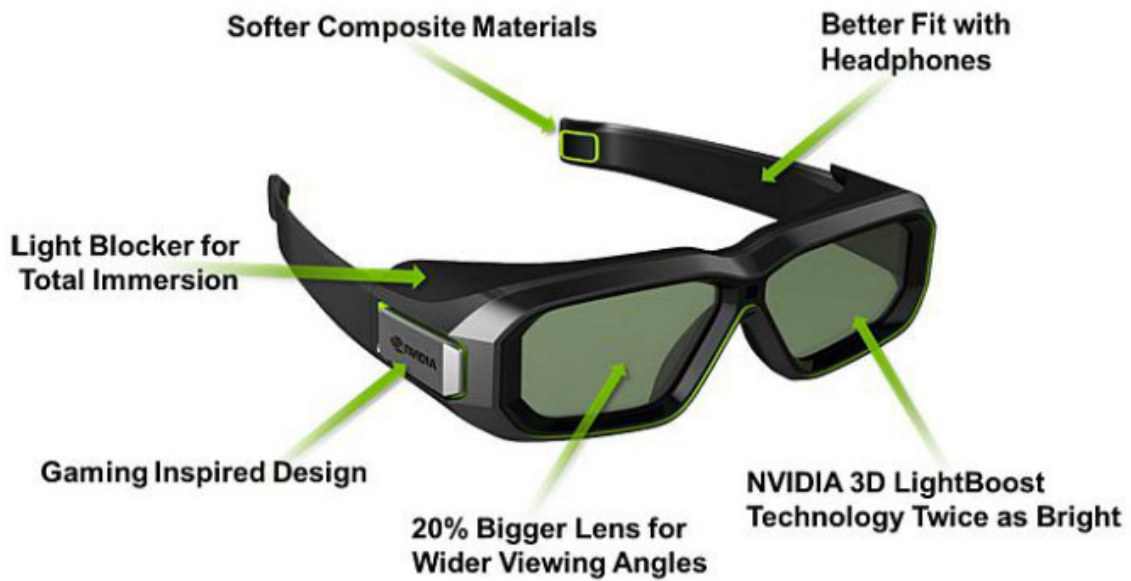


Figura 23 - Gli *shutter glasses* NVIDIA® 3D Vision® II dotati di tecnologia NVIDIA® 3D LightBoost™ design NVIDIA® Light Blocker.

Così come in ambito videoludico/multimediale, anche nella realizzazione di VE CAVE™-like la stereoscopia attiva è la tecnica storicamente più utilizzata. L'utilizzo di tecniche innovative, infatti, come l'auto-stereoscopia, trova spazio solo su pannelli LED/LCD, che possono essere impiegati, al più, su CAVE™ di tipo *Next-Gen* e comunque solo in via sperimentale. Nessuna tecnica auto-stereoscopica è stata proposta finora per riadattare le moderne tecnologie di fronte/retro proiezione alla visione 3D. Per questo motivo, fatta eccezione per l'Anaglifo, tecnica obsoleta e dai risultati piuttosto deludenti, nella realizzazione di VE CAVE™-like l'unica vera alternativa alla stereoscopia attiva resta la stereoscopia passiva.

- *La stereoscopia passiva*

La stereoscopia passiva si basa sulla diversa polarizzazione della luce che compone le immagini stereoscopiche generate da uno o più dispositivi. In questo caso l'utente indossa occhiali passivi, nei quali ciascuna lente, diversamente polarizzata, lascia passare solo la luce con lo stesso tipo di polarizzazione. Questo sistema, a differenza dell'Anaglifo, mantiene inalterati i colori, ma determina una riduzione di luminosità percepita, pari al 50% circa, a causa dei filtri polarizzatori utilizzati. Inoltre, se si usa una polarizzazione di tipo lineare, è necessario che lo spettatore eviti di inclinare la testa, altrimenti si ha il passaggio della luce polarizzata in direzione ortogonale, con l'apparizione di fastidiosi sdoppiamenti nell'immagine (*ghosting*) e conseguente riduzione dell'effetto tridimensionale. Il problema è facilmente risolvibile utilizzando filtri e occhiali a polarizzazione circolare anziché lineare. Se si utilizzano tecniche di proiezione, la generazione della coppia stereoscopica comporta, in genere, l'utilizzo di due o più proiettori. In alternativa, è possibile utilizzare un unico proiettore, che operi a una frequenza di *refresh* doppia, munito di un filtro polarizzatore attivo, che inverte la polarizzazione a ogni fotogramma. Questa tecnica è utilizzata ad esempio da RealD™, compagnia il cui standard per il cinema tridimensionale si è affermato a livello mondiale.



Figura 24 - Gli occhiali 3D passivi e la video-proiezione con filtro di polarizzazione attivo utilizzati da RealD™ nei cinema.

In ogni caso, lo schermo di proiezione deve mantenere la polarizzazione della luce, per questo motivo spesso si utilizzano pannelli metallici o a ricopertura metallica.

La stereoscopia passiva è da tempo utilizzata anche nei televisori o nei *monitor* per PC, per i quali sono stati sperimentati diversi approcci. Una possibilità è quella di utilizzare due display LCD sovrapposti, nei quali i cristalli liquidi siano in grado di polarizzare l'immagine proiettata. Su questo principio si basano i monitor commercializzati dalla compagnia iZ3D, che hanno riscosso, però, un discreto insuccesso, finendo con l'essere ritirati dal commercio. Un'altra tecnica consiste nel riprodurre la coppia stereoscopica interlacciando le immagini per righe o per colonne (formato *column-interleaved* o *row-interleaved*). Sulla parte anteriore del pannello LCD è posta una speciale pellicola, che imprime una diversa polarizzazione a ogni riga (o colonna) di pixel, e quindi, a ogni immagine. Questa tecnica, detta *Cross-Polarization* o *X-pol*, è utilizzata, ad esempio, dai principali produttori di *monitor* e televisori, in particolare da LG Electronics per quanto riguarda quest'ultima categoria. Il principale difetto di questa tecnica è la

perdita di risoluzione dell'immagine, che si dimezza orizzontalmente o verticalmente, a seconda del tipo di interlacciamento utilizzato.

- *La stereoscopia nel RVE: scelte progettuali*

Vista l'impossibilità di utilizzare una tecnica analoga a quella brevettata da *RealD™*, l'utilizzo della stereoscopia passiva in un VE basato su retro-proiezione comporta l'impiego di numerosi proiettori, con conseguenti problematiche di collimazione delle immagini e aumento dei segnali video da gestire e trasportare. In passato, queste problematiche non hanno scoraggiato alcuni ricercatori, che, come nel caso dello StarCAVE [4], sono riusciti a ottenere risultati convincenti anche con questa tecnica. Nel caso di RVE, tuttavia, la stereoscopia attiva è sicuramente la scelta migliore contribuendo, in maniera non trascurabile, alla realizzazione di un'architettura semplice ed economicamente sostenibile.

Introduzione a RVE

RVE (*Reconfigurable Virtual Environment*) è un VE a struttura modulare, composto di unità movibili di forma parallelepipedica (2,5x2,5x1,9 m)⁶ e da una piattaforma sopraelevata⁷ che delimitano lo spazio a disposizione dell'utilizzatore. Il sistema combina le funzionalità *multi-display* avanzate messe a disposizione dell'architettura GPU NVIDIA® *Kepler* con l'ecosistema NVIDIA® 3D Vision® per creare un ambiente virtuale riconfigurabile gestito da una singola *workstation*. RVE è corredato di un impianto audio *surround* 5.1 per un'esperienza sonora più realistica.

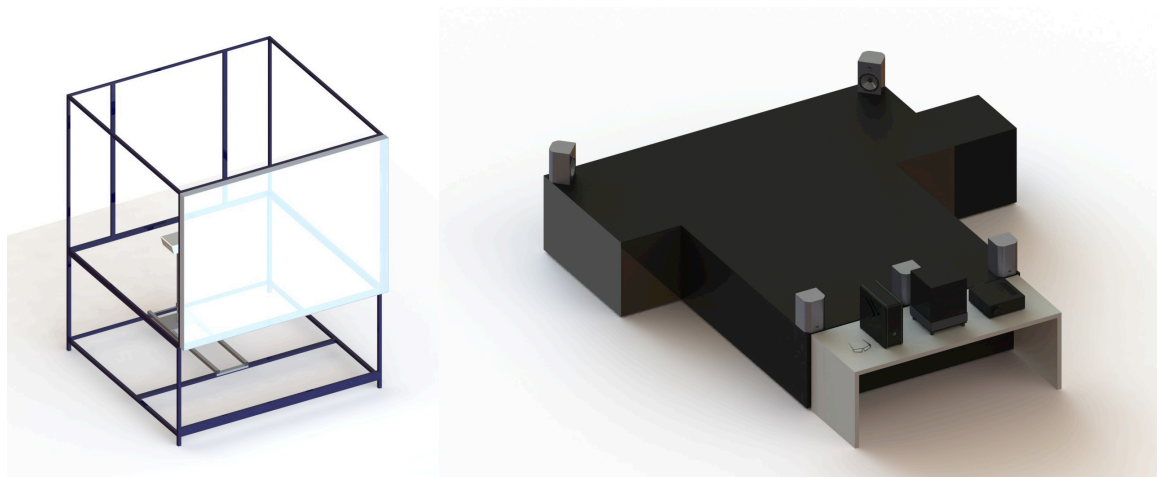


Figura 25 - A sinistra, una delle unità movibili di forma parallelepipedica che compongono la struttura modulare di RVE. A destra, la piattaforma sopraelevata di utilizzo, corredata d'impianto audio *surround* 5.1.

⁶ Tavole in Appendice B

⁷ Tavole in Appendice B

Architettura di RVE

RVE si trova all'interno del *Vlab*, Laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale dell'Università di Bologna, Seconda Facoltà di Ingegneria con sede a Cesena, Polo di Forlì. Il sistema è collocato in una stanza di dimensioni 10 x 10 m, che occupa solo in parte.

Gli elementi che lo compongono sono i seguenti:

- Telaio di plastica dura (tre moduli 2,5x2,5x1,9 m).
- Piattaforma sopraelevata con scaletta di accesso.
- Tre teli per retroproiezione 2580x1935 mm.
- Tre proiettori DLP™ a corto raggio BenQ W710ST⁸ NVIDIA® 3D Vision® Ready.
- Tre staffe telescopiche Sopar SKY 203⁹ a quattro GDL (Gradi Di Libertà).
- Tre supporti a due GDL per staffe telescopiche.
- *Workstation* di controllo NVIDIA® 3D Vision® Ready.
- Impianto audio *Surround* 5.1 (Amplificatore Techniscs SA-AX530 + Active Subwoofer System SB-AS500)
- Cablaggio: quattro cavi di alimentazione, tre cavi HDMI® *High Speed with Ethernet* (340 MHz/10Gbps, 4K, 3D) 10 m.
- Adattatori video: due *Delock DVI-D Dual Link to HDMI® High Speed adapter*, un *Delock Display Port to HDMI® High Speed adapter*.
- *Mouse*, tastiera e *Logitech® T650 wireless touchpad multi-touch*.

⁸ BenQ W710ST *datasheet* in appendice A

⁹ Sopar SKY 203 *datasheet* in appendice A

-
- *Shutter Glasse NVIDIA® 3D Vision® I*
 - *Shutter Glasse NVIDIA® 3D Vision® II*
 - *Trasmettitore NVIDIA® 3D Vision® Hub*
 - *Software NVIDIA® 3D Vision® Ready.*

Le dimensioni della *workstation* di controllo e dell'impianto audio (Amplificatore e Subwoofer) sono tali da poter collocare il tutto su di un tavolo alloggiato all'interno del modulo base centrale di RVE.



Figura 26 - *Workstation* di controllo e impianto audio *Surround 5.1 Techniscs SA-AX530* con *Active Subwoofer SB-AS500*.

Il telaio

Poiché la struttura di RVE deriva da una precedente installazione [3], è stato necessario apportare alcune modifiche per adattare il vecchio telaio al nuovo sistema di proiezione. In particolare, dopo aver ricostruito in SolidWorks® il telaio già esistente, si è realizzato un supporto che garantisce a ogni proiettore sei GDL per una migliore regolazione in fase di montaggio. Il supporto è stato ottenuto combinando una staffa telescopica per proiettori e una guida assiale¹⁰.

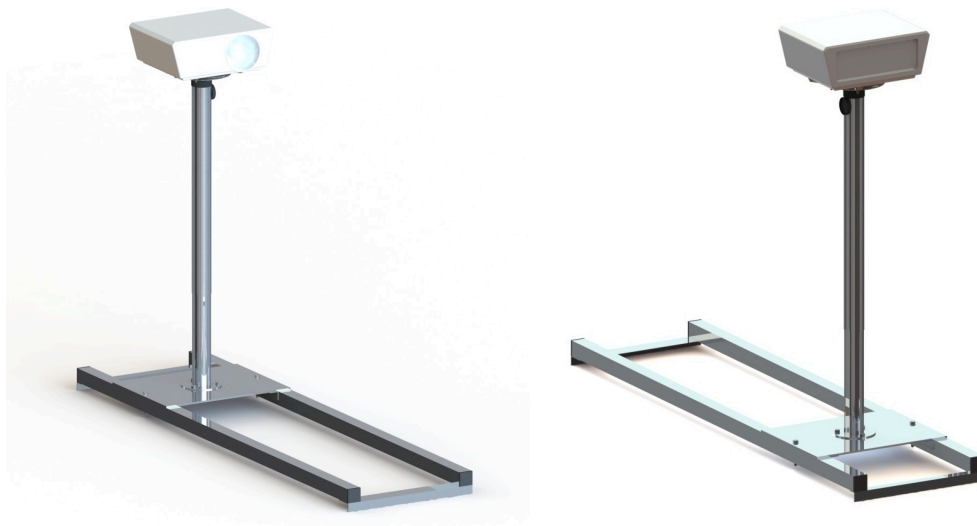


Figura 27 - Il supporto a sei GDL pensato per i proiettori BenQ W710ST

¹⁰ Tavole in Appendice B

Il sistema di visualizzazione

Il sistema di visualizzazione costituisce la parte più importante di RVE, come del resto accade in quasi tutti i VE. In fase di progettazione, quindi, una particolare attenzione è stata riposta nella scelta dei componenti con l'obiettivo di:

- Massimizzare la qualità dell'immagine in termini di risoluzione, contrasto, luminosità e assenza di *aliasing*.
- Semplificare e ridurre il più possibile il cammino ottico del fascio di proiezione.
- Assicurare la compatibilità di proiettori, interfacce e adattatori con NVIDIA® 3D Vision®.

NVIDIA® fornisce una lista periodicamente aggiornata dei dispositivi con certificazione 3D Vision® Ready. I proiettori con questa certificazione sono i seguenti¹¹:

¹¹ Dati aggiornati a fine 2012.

Proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready

Modello	Marca	Risoluzione nativa
----------------	--------------	---------------------------

Acer	
X1261P	1024x768
X1261-3D	1024x768
X1130P	1024x768
X1111	1024x768
H5360	1280x720
X1110	1024x768
Optoma	
GT360	800x600
GT720	1280x800
HD67	1280x720
HD66	1280x720
HW536	1280x800
IS500	1280x800
XE149	800x600

Viewsonic	
PJD6531w	1280x800
PJD6220-3D	1024x768
PJD6210-3D	1024x768
PJD5351	1024x768
PJD5111	800x600
PJD6381	1024x768
PJD6211	1024x768
PJD6241	1024x768
PJD6251	1024x768
PJD5112	1024x768
BenQ	
W700	1280x720
W710ST	1280x720
MS612ST	800x600
Nec	
V300X	1024x768
V300W	1280x800
NP216	1024x768

Sanyo	
PDG-DXL2000	1024x768
PDG-DWL2500	1280x720
Panasonic	
PT-CW230	1280x800
PT-CX200	1024x768
Canon	
LV-8235UST	1280x800

Tabella 1 - Proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready

In tabella, sono stati evidenziati in verde i proiettori con ottica di tipo *short throw* e in arancione quelli con ottica di tipo *ultra short throw*. È facile osservare come la disponibilità di modelli con ottica a corto raggio sia piuttosto limitata. Da un'analisi più critica delle specifiche emerge che tutti i proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready sono basati su tecnologia DLP™ (*Digital Light Processing*) *Single Chip* e hanno una risoluzione nativa massima di 1280x800 *pixel*.

Nella realizzazione di un RVE, l'utilizzo di proiettori a corto raggio è sicuramente da preferire, poiché consente di ridurre notevolmente la distanza tra gruppo ottico e superficie di retro-proiezione, evitando, ove possibile, l'utilizzo di specchi di riflessione che introdurrebbero:

- maggiore complessità nella progettazione del sistema.
- maggiore complessità nella collimazione delle immagini in fase di set-up.
- peggioramento qualitativo dell'immagine come conseguenza sia della riflessione, sia della correzione del *keystone*.

Per la realizzazione di RVE, l'utilizzo di modelli *ultra short throw* non è stato possibile, poiché le dimensioni massime del *frame* ottenibile con ottiche di questo tipo sarebbero state inferiori a quelle necessarie. Questi modelli restano comunque appetibili per VE di dimensioni più ridotte (anche nell'ottica di utilizzare la fronte proiezione). La scelta è ricaduta, quindi, sul BenQ W710ST [14], che tra i modelli *short throw* è quello con la massima risoluzione nativa (1280 x 720 *pixel*) e supporta le specifiche HDMI® (*High Definition Multimedia Interface*) 1.3.



Figura 28 - Il proiettore DLP™ NVIDIA® 3D Vision® Ready BenQ W710ST

Rielaborando le specifiche fornite nel *datasheet* del produttore è stato possibile, in fase di progettazione, sviluppare un breve codice MATLAB® per il corretto dimensionamento dei supporti, ottenendo così un posizionamento grossolano del gruppo ottico, da perfezionare in fase di set-up tramite i GDL a disposizione.

Script MATLAB® per il calcolo delle distanze e delle grandezze significative relative al proiettore BenQ W710ST

```
clear
```

```
clc
```

```
close all
```

```
% Datasheet BenQ W710ST
```

```
Diag = [871 1016 1270 1524 2032 2540 3048 3801 4788];
```

```
L = [759 886 1107 1328 1771 2214 2657 3321 4173];
```

```
H = [427 498 623 747 996 1245 1494 1868 2347];
```

```
Dmin = [637 796 955 1273 1592 1910 2388 3000];
```

```
Dmed = [668 835 1022 1336 1670 2004 2505];
```

```
Dmax = [600 700 874 1049 1399 1749 2099 2623];
```

```
Voffset = [77 90 112 134 179 224 269 336 423];
```

```
% Calcolo delle grandezze caratteristiche
```

```
D = input('inserisci la diagonale che desideri ottenere:')
```

```
Distanza_di_proiezione_minima = round(interp1(Diag(2:9),Dmin,D))
```

```
Distanza_di_proiezione_media = round(interp1(Diag(2:8),Dmed,D))
```

```
Distanza_di_proiezione_massima =
```

```
round(interp1(Diag(1:8),Dmax,D))
```

```
Larghezza_immagine = round(interp1 (Diag,L,D))
```

```
Altezza_immagine = round(interp1(Diag,H,D))
```

```
Vertical_offset = round(interp1(Diag,Voffset,D))
```

```

% Distanza_di_proiezione_minima prevede lo zoom impostato al
valore massimo)
% Distanza_di_proiezione_massima prevede lo zoom impostato al
valore minimo

% Grafici BenQ W710ST

plot (Diag(2:9),Dmin,'b.-')
hold on
plot (Diag(2:8),Dmed,'g.-')
hold on
plot (Diag(1:8),Dmax,'r.-')
hold on
plot (D,Distanza_di_proiezione_minima,'bo')
plot (D,Distanza_di_proiezione_media,'go')
plot (D,Distanza_di_proiezione_massima,'ro')
title ('Diagonale - Distanza di proiezione')
xlabel('Diagonale (mm)')
ylabel('Distanza di proiezione (mm) ')
legend ('Distanza di proiezione minima (zoom massimo)', 'Distanza di
proiezione media', 'Distanza di proiezione massima (zoom minimo)')

figure
plot (Diag,L,'c.-')
hold on
plot (Diag,H,'m.-')
hold on
plot (D,Larghezza_immagine,'co')
hold on

```

```
plot (D, Altezza_immagine, 'mo')
title ('Diagonale - Dimensioni immagine')
xlabel('Diagonale (mm)')
ylabel('Altezza e Larghezza (mm)')
legend ('Larghezza immagine','Altezza immagine')
```

```
figure
plot (Diag,Voffset,'k.-')
hold on
plot (D,Vertical_offset,'ko')
title ('Diagonale - Vertical Offset')
xlabel('Diagonale (mm)')
ylabel('Vertical offset (mm)')
legend ('Vertical offset')
```

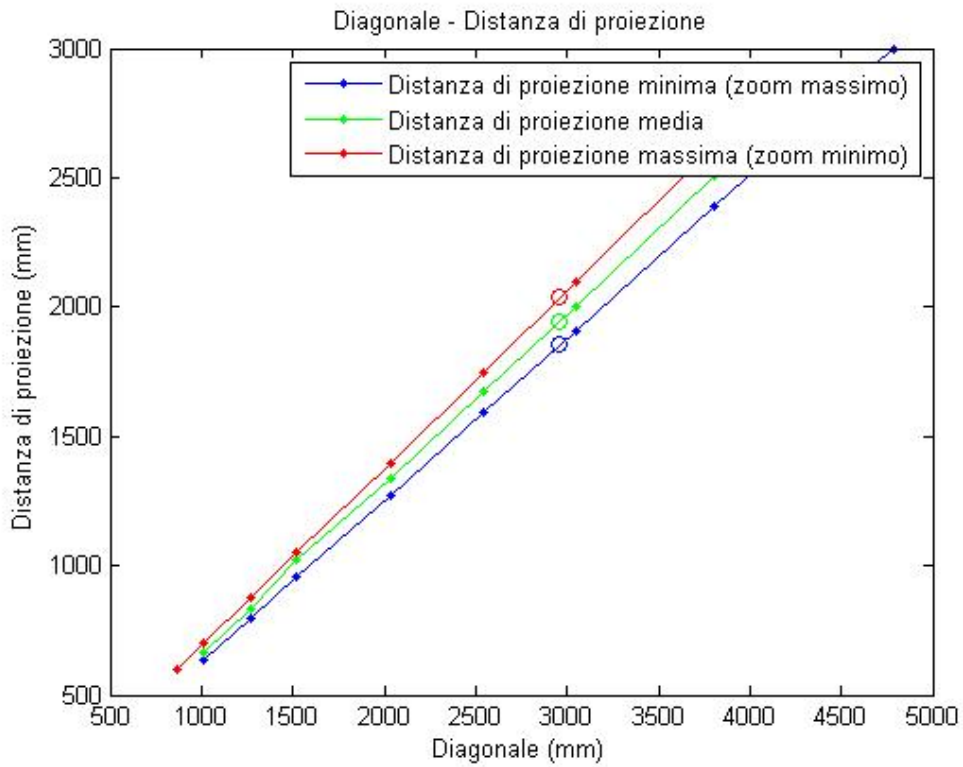


Figura 29 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e Distanza di proiezione.

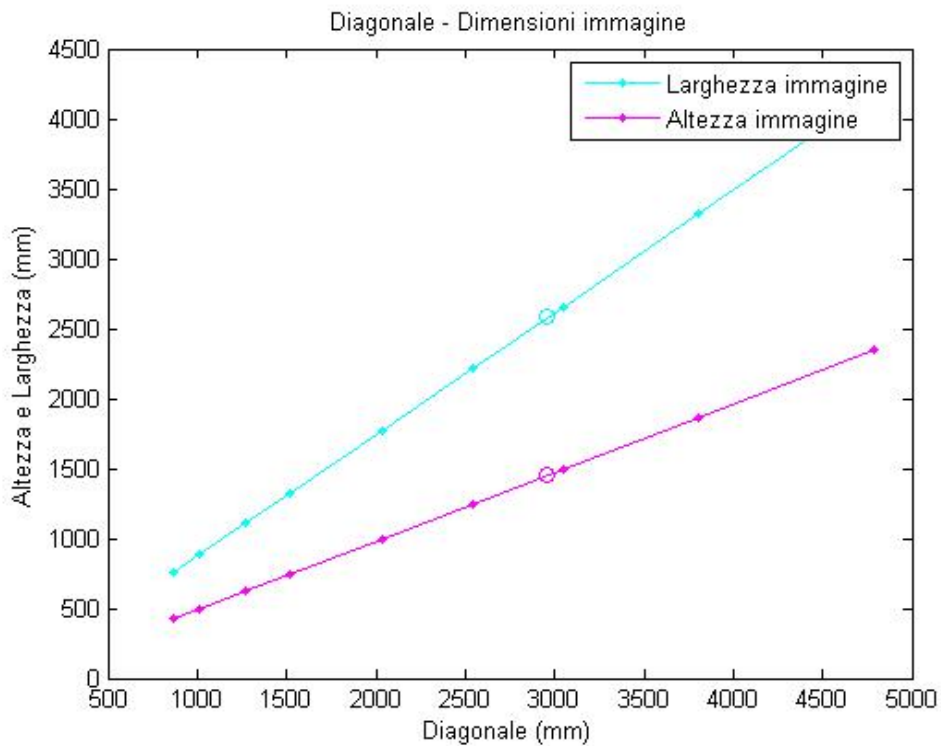


Figura 30 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e Dimensioni dell'immagine

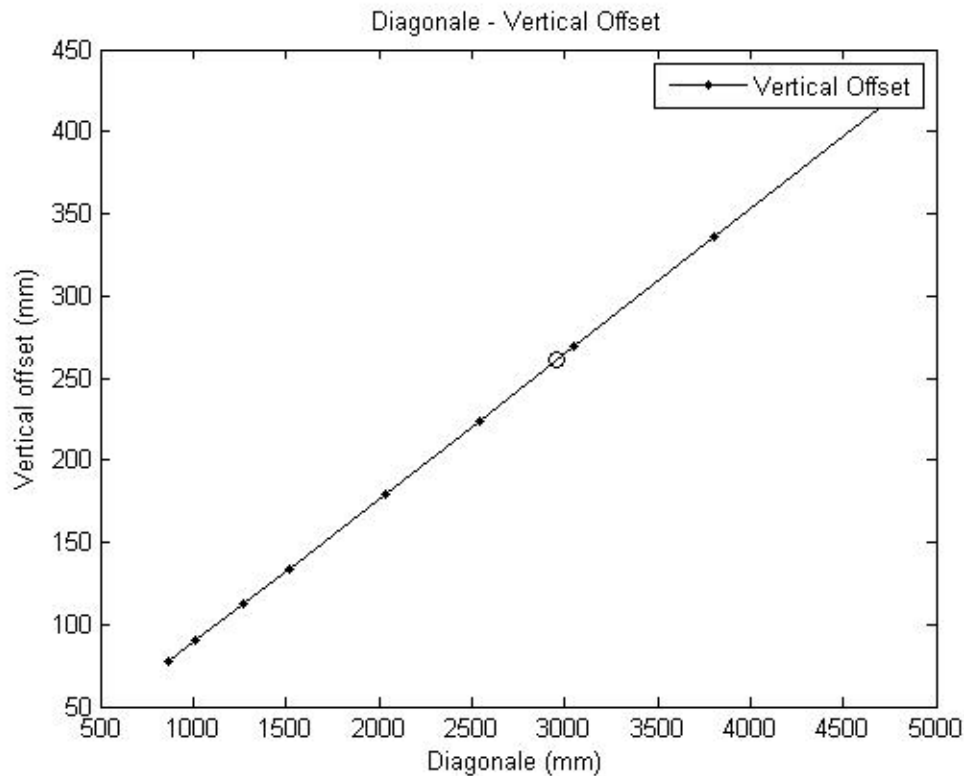


Figura 31 - BenQ W710ST: rapporto tra Diagonale e *Vertical Offset*

Dallo *script* si deduce che per ottenere un'immagine di 2580x1451 mm con diagonale (D) pari a 2960 mm è necessario disporre l'ottica del proiettore a 2038 mm dalla superficie di proiezione (nel caso di *zoom* impostato al minimo) con un *vertical_offset* di 261 mm.

D = 2960 mm

- Distanza_di_proiezione_minima = 1855 mm
- Distanza_di_proiezione_media = 1946 mm
- Distanza_di_proiezione_massima = 2038 mm
- Larghezza_immagine = 2580 mm
- Altezza_immagine = 1451 mm
- Vertical_offset = 261 mm

La tecnologia DLP™ (Digital Light Processing)

La tecnologia DLP™, sviluppata sin dal 1987 da Texas Instruments, sfrutta un microchip semiconduttore, chiamato DMD (*Digital Micromirror Device*), ricoperto da un *array* di microscopici specchi che, muovendosi indipendentemente l'uno dall'altro, riflettono la luce incidente o verso l'ottica del proiettore, o contro un dissipatore di calore. Tra i principali vantaggi di questa tecnologia l'ottimo contrasto, la profondità del nero e un effetto *screendoor* (detto anche effetto "rete" o "zanzariera") molto limitato. DLP™ trova impiego nel cinema digitale, nelle sale conferenze, negli studi professionali, nelle aule scolastiche, negli impianti *home theater* e, più recentemente, anche nei dispositivi dotati di sorgente luminosa LED (*Light Emitting Diode*) o Laser, rappresentando, di fatto, la tecnologia più diffusa nel mercato consumer dei proiettori e in quello professionale. Benché siano già disponibili in commercio proiettori DLP™ con risoluzione nativa di tipo Ultra HD (4K), le capacità stereoscopiche di molti dispositivi di fascia medio-bassa sono limitate dalle interfacce video adottate (VGA e HDMI®) e dai rispettivi standard di riferimento. Per questo motivo, NVIDIA® non ha ritenuto indispensabile introdurre nell'ecosistema NVIDIA® 3D Vision® proiettori con risoluzione nativa Full HD, tantomeno i *partner* dell'azienda di Santa Clara hanno forzato la mano in questo senso.

I formati 3D

La diffusione del 3D stereoscopico su larga scala ha portato in pochi anni a una vera e propria proliferazione delle tecniche stereoscopiche utilizzate e dei formati video di riferimento per questo tipo di contenuti. Le tecniche più diffuse sono basate, per lo più, su principi di funzionamento già noti e collaudati, ma non mancano esempi di realizzazioni innovative rese possibili dal progredire della tecnica. Incapaci di raggiungere uno standard comune per il mercato professionale, videoludico, cinematografico e televisivo, i produttori di dispositivi 3D e gli sviluppatori di *software*, hanno alimentato la confusione generata da una materia già intrinsecamente complessa, complice anche l'opera insoddisfacente degli enti internazionali di standardizzazione. Il risultato è un panorama dei formati 3D esistenti caotico e in continua evoluzione, spesso in conflitto con quanto messo a disposizione dalle moderne interfacce video e dalle reali capacità dei dispositivi stereoscopici.

Nel tentativo di fare chiarezza sui principali formati di *stream*, *storage* e *broadcasting* di contenuti 3D fino ad ora sviluppati si rimanda alla seguente classificazione:

Formati single-frame (o frame-compatible)

I formati *single-frame* immagazzinano la coppia stereoscopica in un unico *frame*. Rispetto a una trasmissione 2D di *bandwidth* e *frame rate* equivalente forniscono una risoluzione di tipo “*half*”, ovvero

dimezzata (orizzontalmente, verticalmente o in altro modo). Esempi di formati *single-frame* sono il *Side-by-Side*, il *Top/Bottom*, il *Line/Column interleaved*, il *Checkerboard* e l'*Anaglyph*. Sono utilizzati principalmente per lo *streaming* e il *broadcasting* di contenuti video o per la fruizione di immagini stereoscopiche. DirectTV negli USA, BS11 in Giappone e Sky in Europa hanno scelto di utilizzare il formato *single-frame* di tipo *Side-by-Side* per il *broadcasting* delle loro trasmissioni.

Formati double-frame

I formati *double-frame* o *frame-sequential* trasmettono la coppia stereoscopica in due *frame* consecutivi, mantenendo inalterate la risoluzione e la composizione dell'immagine destra e sinistra. I formati *double-frame* sono utilizzati principalmente in ambito videoludico, oltre che in applicazioni professionali che fanno uso della stereoscopia attiva su calcolatore. *Frame-sequential*, ad esempio, è il formato scelto da NVIDIA® per la fruizione di contenuti 3D videoludici e applicazioni professionali 3D tramite tecnologia NVIDIA® 3D Vision® o NVIDIA® 3D Vision® Pro.

Formati frame-incompatible

I formati *frame-incompatible* sono stati appositamente creati nel tentativo di standardizzare il “3D over HDMI®” a partire dalla *release* 1.4 delle specifiche HDMI®. Essi “impacchettano” la coppia stereoscopica in uno speciale *frame* e non sono compatibili con nessun *broadcaster* o *device* pre-HDMI® 1.4 che non abbia subito

almeno un aggiornamento *firmware*, inclusi lettori BD (Blu-ray Disk™), AVR (*Audio Video Recorder*) e AVP (*Audio Video Player*), *decoder* e *consolle*. La BDA (Blu-ray Disk™ Association) ha scelto per il Blu-ray Disk™ 3D un formato di tipo *frame-incompatible* denominato *frame-packing*, introdotto con le specifiche HDMI® 1.4.

Formati 2D+metadata

I formati 2D con metadata utilizzano due *stream* separati per ricostruire la coppia stereoscopica. Il primo *stream* trasporta l'immagine sinistra in un formato 2D compatibile, mentre il secondo immagazzina i metadata aggiuntivi che permettono di risalire all'immagine destra. Questi formati sono compatibili con i *broadcaster* e i *device* esistenti solo per quanto riguarda l'immagine 2D, ma richiedono nuovi *device* per interpretare correttamente i metadata. MVC (*Multiview Video Coding*), standard di compressione dei Blu-ray Disk™ 3D, evoluzione di H.264/MPEG-4 AVC (*Advanced Video Coding*), può essere considerato una forma di 2D con metadata. I formati *2D+metadata* possono essere anche di tipo *single-stream frame-incompatible*, nei quali i metadata aggiuntivi sono impacchettati assieme all'immagine sinistra in un unico *stream*. In questa forma sono riconosciuti dalle specifiche HDMI® 1.4 come formati facoltativi.

Formati frame-level interleaved e pixel-level interleaved

Un'ulteriore distinzione può essere fatta tra formati *frame-level interleaved* e formati *pixel-level interleaved*. Nei formati *frame-level*

interleaved i *pixel* dell'immagine destra e sinistra sono circondati esclusivamente da *pixel* della stessa immagine, mentre nei formati *pixel-level interleaved* i *pixel* dell'immagine destra sono circondati anche da *pixel* dell'immagine sinistra e viceversa. Sui formati *pixel-level interleaved* non è possibile eseguire operazioni di compressione o modifiche senza prima separare l'immagine 3D nei due *frame* 2D, riassembrandoli solo successivamente. I formati *double-frame* sono sempre di tipo *frame-level interleaved* mentre i formati *frame-compatible/incompatible* possono essere sia di tipo *frame-level interleaved*, sia *pixel-level interleaved*.

Formati frame level interleaved

- *Frame sequential (o page flip)*

Questo formato alterna un *frame* dell'immagine destra con uno dell'immagine sinistra.

Categoria: *double frame*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo

Usi: gaming, 3D *photo* e *video playback*, *streaming* 3D

- *Field sequential (o field alternative)*

Questo formato alterna un campo (*field*) dell'immagine destra con uno dell'immagine sinistra. Ciascun campo è costituito dalle linee pari o dalle linee dispari di un'immagine 2D.

Categoria: *single frame*

Risoluzione: *full* (interlacciata)

Scanning: interlacciato

Usi: 3D DVD *field sequential*; *monitor* e TV CRT; usi professionali.

- *Field sequential incompatible*

I campi (*fields*) pari e dispari dell'immagine destra e sinistra (4 campi in totale) sono impacchettati in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale uguale alla corrispondente immagine 2D e risoluzione verticale doppia. Ciascun *frame* contiene, quindi, tutte le linee dell'immagine destra e sinistra separate in due campi.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: interlacciato o progressivo (deinterlacciato)

- *Side by Side full (o sidefields full)*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono impacchettate una accanto all'altra in un *frame* speciale con risoluzione verticale corrispondente all'immagine 2D e risoluzione orizzontale doppia. Ciascun *frame* contiene, quindi, tutte le righe e le colonne dell'immagine destra e sinistra.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo o interlacciato

- *Side-by-Side half (o sidefields half o sidefields anamorfico)*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono impacchettate una accanto all'altra in un *frame* speciale con risoluzione verticale e orizzontale corrispondente all'immagine 2D. A questo scopo le immagini sono compresse orizzontalmente di un fattore due (ad esempio, la risoluzione 1920x1080 diviene 960x1080). Ciascun *frame* contiene, quindi, metà delle colonne delle immagini destra e sinistra.

Categoria: *single-frame*

Risoluzione: *half* (orizzontale)

Scanning: progressivo o interlacciato

Usi: *broadcasting 3D, streaming 3D, 3D photo e video playback*

- *Top/Bottom full (o over/under full, o above-below full, o subfields full)*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono impacchettate una accanto all'altra in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale corrispondente all'immagine 2D e risoluzione verticale doppia. Ciascun *frame* contiene, quindi, tutte le righe e le colonne dell'immagine destra e sinistra.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo o interlacciato

-
- *Top/bottom half (o over/under half, o above/below half, o subfields half, o subfields anamorfico)*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono impacchettate una accanto all'altra in un *frame* speciale con risoluzione verticale e orizzontale uguale a quella della corrispondente dell'immagine 2D. A questo scopo le immagini sono compresse verticalmente di un fattore due (ad esempio, la risoluzione 1920x1080 diventa 1920x540). Ciascun *frame* contiene, quindi, metà delle linee dell'immagine.

Categoria: *single frame*

Risoluzione: *half* (verticale)

Scanning: progressivo o interlacciato

- *Frame packing*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono impacchettate una sopra l'altra in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale uguale a quella della corrispondente immagine 2D e risoluzione verticale doppia. Le immagini sono separate da una banda di *pixel* denominata *active space*. Ciascun *frame* speciale contiene, quindi, tutte le righe e le colonne delle corrispondenti immagini destra e sinistra.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo

Formati pixel level interleaved

- *Line alternative*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono interlacciate in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale uguale alla corrispondente immagine 2D e risoluzione verticale doppia. Ciascun frame contiene, quindi, tutte le righe e le colonne delle corrispondenti immagini destra e sinistra.

Frame: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo (deinterlacciato)

- *Line-by-Line (o line interleaved o row-interleaved)*

Le linee dispari dell'immagine sinistra e quelle pari dell'immagine destra sono interlacciate in un unico *frame* con risoluzione orizzontale e verticale pari a quella dell'immagine 2D. Ciascun *frame* contiene, quindi, metà delle righe delle immagini 2D corrispondenti.

Categoria: *single frame*

Risoluzione: *half* (verticale)

Scanning: progressivo

Usi: nativo per pannelli Xpol.

-
- *Column interleaved*

Le colonne dispari dell'immagine sinistra e quelle pari dell'immagine destra sono interlacciate in un unico *frame* con risoluzione pari a quella dell'immagine 2D. Ciascun *frame* contiene, quindi, metà delle colonne delle immagini 2D corrispondenti.

Categoria: *single frame*

Risoluzione: *half* (orizzontale)

Scanning: interlacciato orizzontalmente

Usi: nativo per *display* auto-stereoscopici.

- *Checkerboard (o pixel interleaved)*

Le immagini che compongono la coppia stereoscopica sono interlacciate a scacchiera: i *pixel* corrispondenti ai quadrati bianchi della scacchiera contengono l'immagine sinistra, mentre quelli corrispondenti ai quadrati neri l'immagine destra. Il *frame* ha risoluzione corrispondente a quella dell'immagine 2D, e contiene, quindi, la metà dei *pixel* corrispondenti alle immagini 2D. Poiché l'occhio umano sembra essere meno sensibile alla risoluzione diagonale rispetto a quelle orizzontale e verticale, questo formato è ritenuto migliore rispetto agli altri formati con risoluzione *half*.

Categoria: *single-frame*

Risoluzione: *half* (diagonale);

Scanning: n.a.

-
- *L + depth (o 2D + Z)*

L'immagine sinistra e le informazioni sulla profondità sono impacchettate una sopra l'altra in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale uguale a quella della corrispondente immagine 2D ma risoluzione verticale doppia. Le immagini sono separate da una banda di *pixel* denominata *active space*. Da ciascun *frame* è possibile ricostruire tutti i *pixel* dell'immagine 3D.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo (dopo ricostruzione)

Usi: *gaming*, applicazioni professionali.

- *L + depth + GFX + GFX-depth*

L'immagine sinistra, le informazioni sulla profondità, le informazioni GFX (*Graphics Controller Module*) e le informazioni *GFX-depth* sono impacchettate una sopra l'altra, in un *frame* speciale con risoluzione orizzontale uguale a quella della corrispondente immagine 2D e risoluzione verticale quadrupla. L'immagine e le informazioni sono separate da una banda di *pixel* denominata *active space*. Da ciascun *frame* è possibile ricostruire tutti i *pixel* dell'immagine 3D.

Categoria: *frame incompatible*

Risoluzione: *full*

Scanning: progressivo (dopo ricostruzione)

Usi: applicazioni grafiche professionali.

Le interfacce video e gli standard di riferimento

Con il graduale passaggio dagli standard d'interconnessione video analogici a quelli digitali si è assistito a una vera e propria diversificazione delle interfacce implementate dai produttori di *hardware* grafico. L'interfaccia analogica VGA (Video Graphics Array), dopo essere stata per anni uno dei principali standard di riferimento per la computer grafica, si trova oggi a competere con DVI (Digital Visual Interface), HDMI® (High-Definition Multimedia Interface), DP (DisplayPort™), e Thunderbolt™, declinate nelle loro diverse implementazioni. Anche in questo caso, quindi, lo scenario è caotico, soprattutto in considerazione del fatto che gli standard più recenti (HDMI®, DP e Thunderbolt™) sono in continua evoluzione, per far fronte a nuove esigenze in termini di *bandwidth* e standardizzazione.

Con riferimento al mercato dei proiettori 3D *mainstream*, in particolare a quello dei proiettori NVIDIA® 3D Vision® Ready, è possibile affermare che l'utilizzo delle interfacce HDMI® e VGA, tipicamente presenti su questi dispositivi, è limitativo in termini di capacità 3D stereoscopiche degli stessi.

-
- *VGA (Video Graphics Array)*

L'interfaccia analogica VGA, oltre che rappresentare uno standard analogico puro, non dispone di banda sufficiente a sostenere una trasmissione video di tipo *frame sequential* - *Full HD* a 120 Hz, tantomeno altri formati 3D di pari *bandwidth*.

- *HDMI® (High-Definition Multimedia Interface)*

Nonostante le specifiche HDMI® 1.3 e successive *release* prevedano una *bandwidth* teorica massima di 340 MHz, l'utilizzo di chip HDMI® poco performanti fa sì che, nella pratica, non sia supportato il *Full HD 3D* di tipo *frame-sequential* neanche tramite HDMI®. L'introduzione delle specifiche HDMI® 1.4(a) non ha portato a miglioramenti significativi in questo senso, in quanto, per la fruizione di contenuti 3D, i formati obbligatori introdotti sono:

- *Frame packing* 720p50Hz e 1080p24Hz, o 720p60Hz e 1080p24Hz.
- *Side-by-side horizontal* a 1080i50Hz o 1080i60Hz.
- *Top/bottom* a 720p50Hz e 1080p24Hz, o 720p60Hz e 1080p24Hz.

L'utilizzo di chip HDMI® più performanti, con *bandwidth* di 300 MHz, in grado di trasmettere formati come *frame-sequential* 1080p a 120Hz o *frame-packing* 1080p60, è previsto durante il 2013.

La workstation di controllo

Nella realizzazione di molti VE CAVE™-like si è soliti utilizzare piccoli *cluster* di computer basati su *workstation* pre-assemblate da OEM (*Original Equipment Manufacturer*) come HP®, Dell, Olidata, etc.

La gestione centralizzata di RVE, invece, prevede un'unica *workstation* di controllo, motivo per il quale, è stato possibile assemblare il calcolatore personalmente, selezionando i componenti ad uno ad uno sulla base di specifiche esigenze, con notevoli vantaggi dal punto di vista del rapporto prezzo/prestazioni. La *workstation* è così composta:

- Case Cooler master CM 690 II NVIDIA® Edition
- Alimentatore XFX PSU 80+ 550W
- Scheda madre ASUS M5A99FX PRO R2.0 (UEFI BIOS1503) [13]
- CPU AMD FX 8350
- CPU *Cooler* Arctic Freezer A30
- Memorie DDR3 Corsair Vengeance CMZ16GX3M2A1866C9
- Scheda Video PNY Quadro® K5000¹²
- SSD OCZ Vertex 4 256 GB
- HDD Western Digital RED 1 TB
- Masterizzatore CD/DVD +RW Samsung SH-224BB/BEBE
- *Card Reader* Scythe Kama Reader Jr.
- Aerocool Funbus F4XT
- Ventole PWM (*Pulse With Modulation*) 140 mm (2), 120 mm (3)

¹² PNY Quadro® K5000 *datasheet* in Appendice A



Figura 32 - Workstation di controllo di RVE

L'elemento centrale della configurazione è chiaramente la scheda video NVIDIA® Quadro® K5000 con GPU NVIDIA® Kepler. Per connettere i proiettori BenQ W710ST alla K5000 si utilizzano le due interfacce DVI (rispettivamente DVI-I Dual Link e DVI-D Dual Link) e una delle due DP messe a disposizione dalla scheda, il tutto tramite adattatori Delock DVI-D Dual Link to HDMI® High Speed Adapter, Delock DisplayPort™ to HDMI® High Speed Adapter e cavi HDMI® High Speed with Ethernet 10 m.



Figura 33 - Delock DVI-D Dual Link to HDMI® High Speed Adapter, Delock DisplayPort™ to HDMI® High Speed Adapter e cavo HDMI® High Speed with Ethernet.

Per un corretto funzionamento del sistema è necessario predisporre i proiettori in configurazione NVIDIA® Mosaic™ *landscape* 3x1 ed eseguire la configurazione guidata del 3D stereoscopico tramite NVIDIA® 3D Vision®. È possibile eseguire queste operazioni dal pannello di controllo NVIDIA® [10].

Software compatibile

RVE è basato su sistema operativo Microsoft® Windows® 8™, caratteristica che lo rende pienamente compatibile con il software comunemente utilizzato sia in ambito professionale, sia *consumer*. Il sistema esprime al meglio le sue potenzialità se utilizzato in modalità stereoscopica con le applicazioni NVIDIA® 3D Vision® Ready.

Software 3D Vision® Pro-Ready (Quad Buffer OpenGL)®

Un elenco periodicamente aggiornato del software NVIDIA® 3D Vision® Pro-Ready è reperibile *online* all'indirizzo:

<http://www.nvidia.com/object/3d-vision-professional-apps.html>

3D Vision® Pro-Ready Software

Software House

Software

DCC (Digital Content Creation)

The Foundry	Nuke
Adobe - Cineform	Premiere Pro CS5 + Neo HD/3D
Iridas	SpeedGrade FrameCycler
Vizrt	Viz Engine
Sony	Vegas Pro
McNeel	Rhinoceros
Eyeon	Fusion
Cinesoft	Cerebro

Natural Sciences

3Mensio	3Viseon
---------	---------

Open Source	3D Slicer
PyMOL (Python molecules)	PyMOL
SenseGraphics	H3DAPI
Vertual	VERT
VMD (Visual Molecular Dynamics)	VMD
Accelrys	Discovery Studio
OpenEye Scientific Software	VIDA
Schrodinger	Maestro
StereoWizard	Tytec
Visage Imaging	Amira
UCSF (University of California San Francisco)	Chimera
Medical	
CambridgeSoft	ChemBio3D Ultra
Chemical Computing Group	MOE (Molecular Operating Environment)
Siemens	Syngo.fourSight
Tripes	SYBYL-X
CAD/CAE (Computer Aided Design/Engineering)	
Autodesk	Navisworks
Siemens	NX (Nastran) Teamcenter
CEI (Computational Engineering International, Inc.)	EnSight

Dassault Systèmes	CATIA v5 & v6
Advanced Visualization	
Autodesk	Showcase
Siemens	DeltaGen
TechViz	TechViz XL
Dassault Systems	3DVIA
Tree C Technology BV	VR4MAX
RTT (Real Time Tecnology)	DeltaGen
VSG (Visualization Sciences Group)	Avizo
GIS (Geographic Information System)	
AGI (Analytical Graphics, Inc.)	STK
SimWright	StereoGIS Spidar
BAE Systems (British Aerospace and Electronics Systems)	SOCET GCP SOCET SET
DAT/ EM Systems	Summit Evolution
Textron	RemoteView
ERDAS (Earth Resources Data Analysis System)	Imagine LPS (Leica Photogrammetry Suite) Stereo Analyst
I.S.M. (International Systemap Corp.)	Purview

Intergraph	ImageStation Stereo Display ImageStation Stereo for GeoMedia GeoMedia Professional ImageStation Digital Mensuration
Oil and gas analysis	
ffA (Foster Findlay Associates) Software	SEA 3D Pro SVI Pro
Schlumberger	Petrel GeoFrame
Baker Hughes	JewelSuite
Halliburton	GeoProbe
Seismic Micro Technology	Kingdom Software
Paradigm	VoxelGeo GoCAD
Landmark	DecisionDesktop
Tripes	SYBYL

Tabella 2 - 3D Vision® Pro-Ready OpenGL® software.

In realtà, poiché tutte le applicazioni che fanno uso di stereoscopia Quad Buffer OpenGL® nativa sono supportate da NVIDIA® 3D Vision® Pro, la tabella è da considerarsi meramente indicativa. Ad esempio, è stata verificata la compatibilità di RVE con Aliview, *software di debriefing* virtuale, sviluppato interamente al laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale della Seconda Facoltà di Ingegneria, a seguito di una collaborazione con Alitalia per l'utilizzo della computer grafica nell'analisi di sequenze di volo e incidenti aerei.

Software 3D Vision®-Ready (Microsoft® DirectX®)

Poiché NVIDIA® 3D Vision® Pro è pienamente compatibile con le specifiche NVIDIA® 3D Vision®, inoltre, sono supportati tutti i principali videogiochi in commercio, i simulatori di guida e di volo basati su Microsoft® DirectX® e applicazioni GIS (*Geographic Information System*) come Google® Earth™.

Per la fruizione di contenuti multimediali stereoscopici è possibile utilizzare NVIDIA® 3D Vision® Video Player , NVIDIA® 3D Vision® Photo Viewer o molti altri software disponibili gratuitamente o a pagamento in rete (DepthQ® Player™, 3dtv Stereoscopic Player, Movavi™ 3D movie player, sView, Cyberlink® PowerDVD™ 10 e successive *release*, Roxio® Cineplayer®, Corel® WinDVD® Pro, Arcsoft® TotalMedia™ Theater, Stereoviewer, etc...).

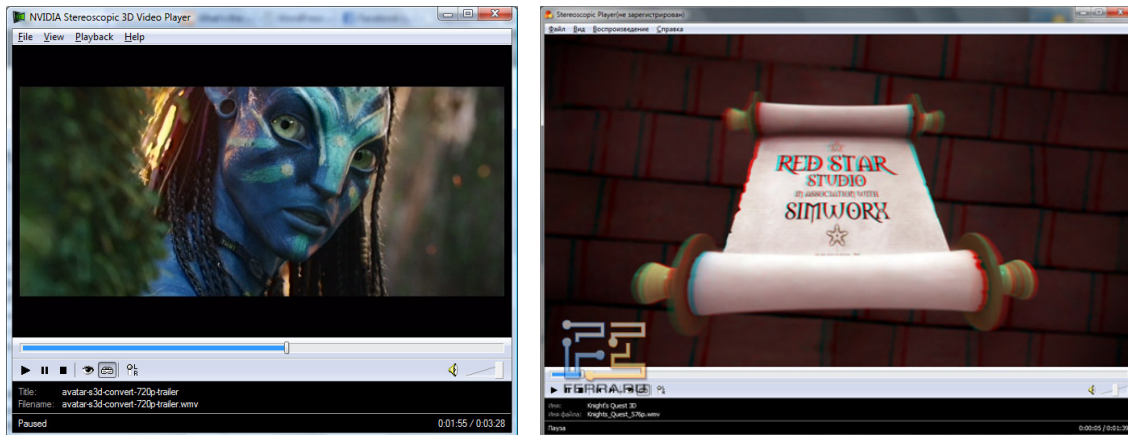


Figura 34 - NVIDIA® 3D Vision® Video Player e 3dtv Stereoscopic Player, due dei *player* multimediali più usati per la riproduzione di contenuti 3D stereoscopici.

Anche per quanto riguarda il *photo/video-editing* la scelta è ampia. Tra le applicazioni compatibili citiamo: Phereoshop, StereoPhotoMaker e StereoMovieMaker, Gadget Stereoscopic Preview per Adobe® After Effects®, Roxio® Creator®, Magix Movie Edit, 3DMedia 3DComposer, Sony® Vegas™ 11 e release successive.

Si segnalano, infine, il *browser* per modelli 3D Mirye Shade 3D Browser e il *file-browser* Cooliris, entrambi compatibili con NVIDIA® 3D Vision®.

Mirye Shade 3D Browser è un'applicazione per la visualizzazione di modelli 3D che fa uso di accelerazione DirectX® ed è, quindi, compatibile con GeForce® 3D Vision® a differenza della maggior parte dei software di modellazione che necessitano una scheda NVIDIA® Quadro®.

Cooliris è un *plug-in* compatibile Mozilla® Firefox®, Google® Chrome® e Microsoft® Internet Explorer™, che permette di navigare tra i *files*

Configurazioni e utilizzo di RVE

Utilizzo di RVE

All'interno del laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale, della Seconda Facoltà di Ingegneria RVE è utilizzato principalmente con applicazioni di tipo:

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

Gaming & Simulation

Fanno parte di questa categoria le applicazioni:

- Codemasters™ F1 2012
- Ferrari Virtual Academy 2010
- Ubisoft® Tom Clancy's HAWX 2
- Microsoft® Flight Simulator X (Acceleration pack)
- Laminar Research X-Plane® 10



Figura 36 - Il software in prova per la categoria *Gaming & Simulation*.

Questi *software* spaziano dai videogiochi di tipo *arcade* (*F1 2012* e *Tom Clancy's HAWX 2*) ai simulatori di volo e di guida (*Ferrari Virtual Academy 2010*, *Microsoft® Flight Simulator X* e *X-Plane 10®*). Anche se la distinzione tra queste due categorie si fa sempre più complessa, è possibile affermare che nei *videogame* la fisica del gioco è fortemente semplificata con lo scopo di rendere l'esperienza di guida più soddisfacente e di liberare risorse di calcolo da destinare al comparto grafico (si osservi come, ad esempio, molti videogiochi di guida non simulino i movimenti delle sospensioni o le sollecitazioni subite dai pneumatici). Al contrario, i simulatori hanno l'obiettivo di riprodurre il più fedelmente possibile, il comportamento del veicolo/velivolo tramite modelli fisico-matematici accurati. Da una parte i videogiochi rappresentano, quindi, il punto di riferimento per quanto riguarda lo stato dell'arte della computer grafica, dall'altro, invece, i simulatori garantiscono un'esperienza di guida molto più realistica.

Tra i *software* in prova l'unico a non supportare la stereoscopia attiva di tipo *NVIDIA® 3D Vision®* è *X-Plane® 10*; il resto delle applicazioni si è dimostrato pienamente compatibile fornendo ottimi risultati in termini di qualità visiva.

Scientific Visualization, Data Analysis e Computer Aided Design

Alla categoria *Scientific Visualization, Data Analysis e Computer Aided Design* appartengono il CAD parametrico Dassault Systèmes CATIA V5 [33], il software di modellazione 3D NURBS-based (*Non Uniform Rational Basis-Splines based*) Robert McNeel & Associates Rhinoceros® [34], e il software di *scientific visualization, data processing & analysis* VSG (Visualization Sciences Group) Amira® [15].



Figura 37 - Il software in prova per la categoria *Scientific Visualization, Data Analysis e Computer Aided Design*.

Questi *software*, supportano in modo nativo la stereoscopia attiva, e permettono di impostare manualmente parametri quali separazione oculare e parallasse per un'esperienza di utilizzo più personalizzata. Tuttavia, poiché basati su librerie grafiche di tipo OpenGL®, è indispensabile la versione Pro di NVIDIA® 3D Vision® per un utilizzo in modalità stereoscopica.

GIS 3D (Geographic Information System)

In ambito GIS 3D, RVE fa uso di Google® Earth™, il famoso software della casa di Mountain View che permette l'esplorazione virtuale del globo terrestre, ricostruito a partire immagini satellitari, fotografie aeree, dati topografici e modellazione 3D. Il *software*, se impostato per operare in modalità Microsoft® DirectX®, è compatibile con NVIDIA® 3D Vision®. Per abilitare la stereoscopia è sufficiente agire sul pannello di controllo NVIDIA® e avviare l'applicazione. La risoluzione e il FOV scalano in maniera trasparente all'utente, adattandosi automaticamente quando si modificano le dimensioni del *frame* all'interno del quale è contenuta l'applicazione.



Figura 38 - Google® Earth™, il famoso software per l'esplorazione virtuale del globo terrestre, ricostruito a partire immagini satellitari, fotografie aeree, dati topografici e modellazione 3D.

Configurazioni di RVE

In qualità di VE riconfigurabile, RVE può essere utilizzato in diverse configurazioni:

Configurazione Wall

In configurazione *Wall* i tre moduli base che compongono RVE si trovano allineati tra loro generando un unico *display* di dimensioni 7740x1451 mm con *aspect ratio* 16:3. Rispetto a un *display* convenzionale questa configurazione permette di triplicare il FOV a disposizione dell'utente, inoltre, le dimensioni della superficie di proiezione sono sufficienti a visualizzare in scala 1:1 modelli CAD di dimensioni relativamente grandi come automobili o piccoli UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*).

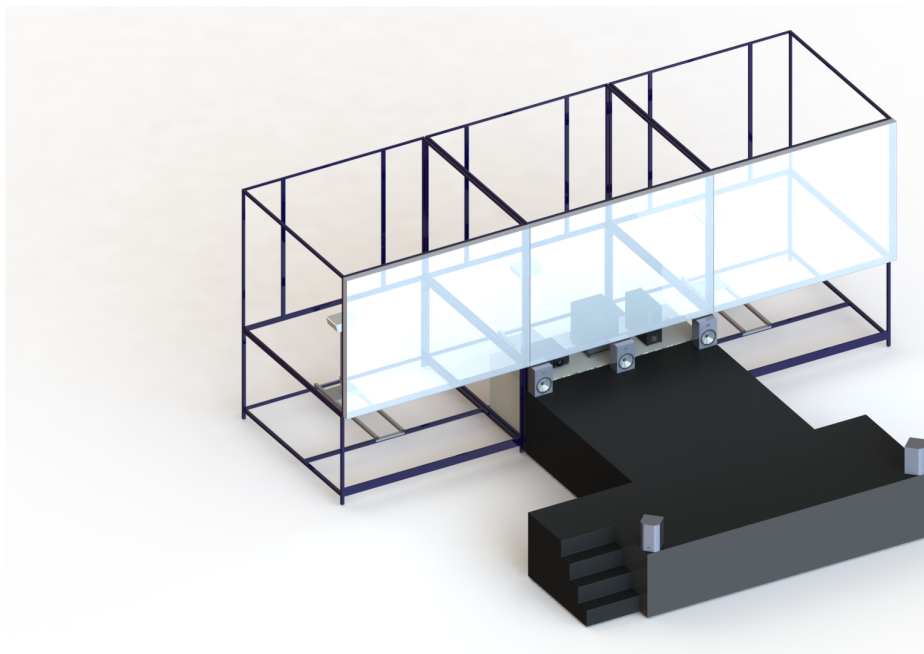


Figura 39 - RVE, configurazione *Wall*.

È possibile sfruttare queste caratteristiche anche nella realizzazione di DMU (*Digital Mock-Up*), ovvero una forma di prototipazione al computer che permette di simulare complessi assemblaggi e verificare le interazioni tra i componenti prima che questi vengano effettivamente realizzati. La configurazione *Wall*, infine, si addice anche all'utilizzo simultaneo di diverse applicazioni (o diverse istanze di una stessa applicazione), alla visualizzazione di immagini panoramiche e filmati a elevato contenuto informativo (fino a 3840x720 pixel in risoluzione nativa) e alle applicazioni di GIS.



Figura 40 - Ubisoft® Tom Clancy's HAWX 2 in configurazione *Wall*.



Figura 41 - Microsoft® Flight Simulator X in configurazione *Wall*.



Figura 42 - Laminar Research X-Plane® 10 in configurazione *Wall*.



Figura 43 - Aliview in configurazione *Wall*.

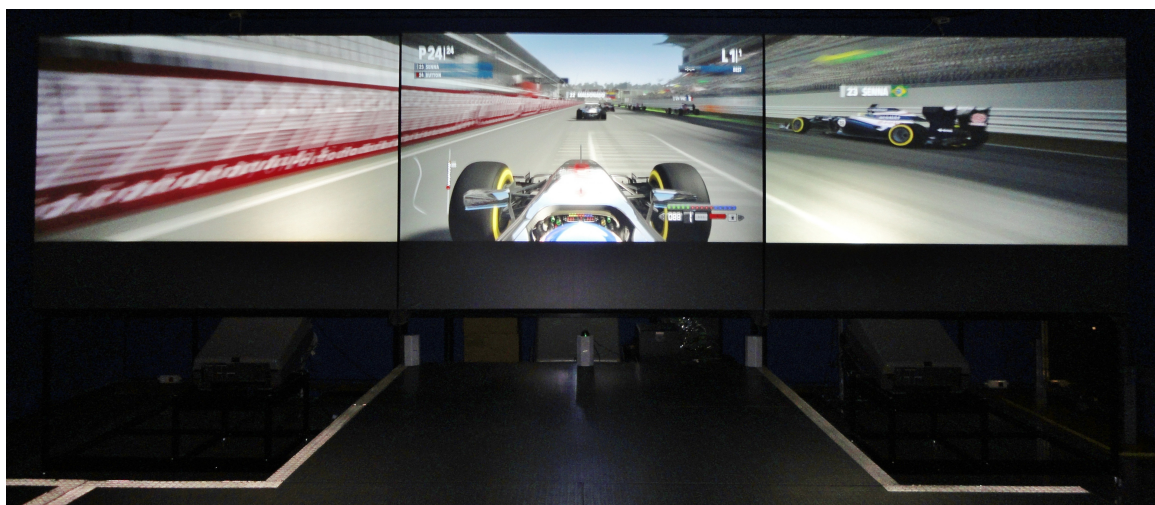


Figura 44 - Codemasters™ F1 2012 in configurazione *Wall*.

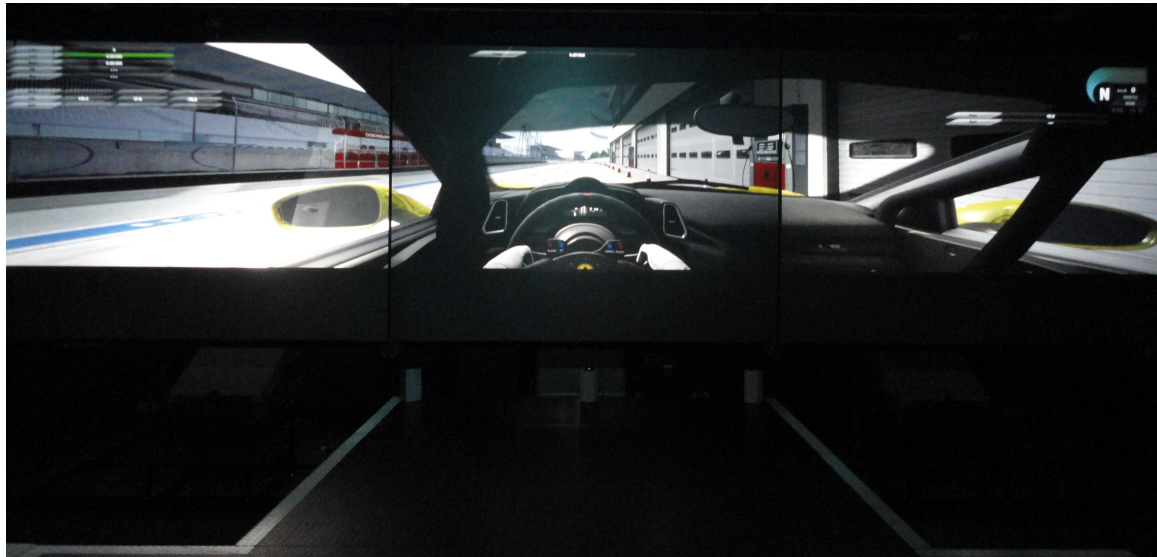


Figura 45 - Ferrari Virtual Academy 2010 in configurazione *Wall*.



Figura 46 - Dassault Systèmes CATIA V5 in configurazione *Wall*.

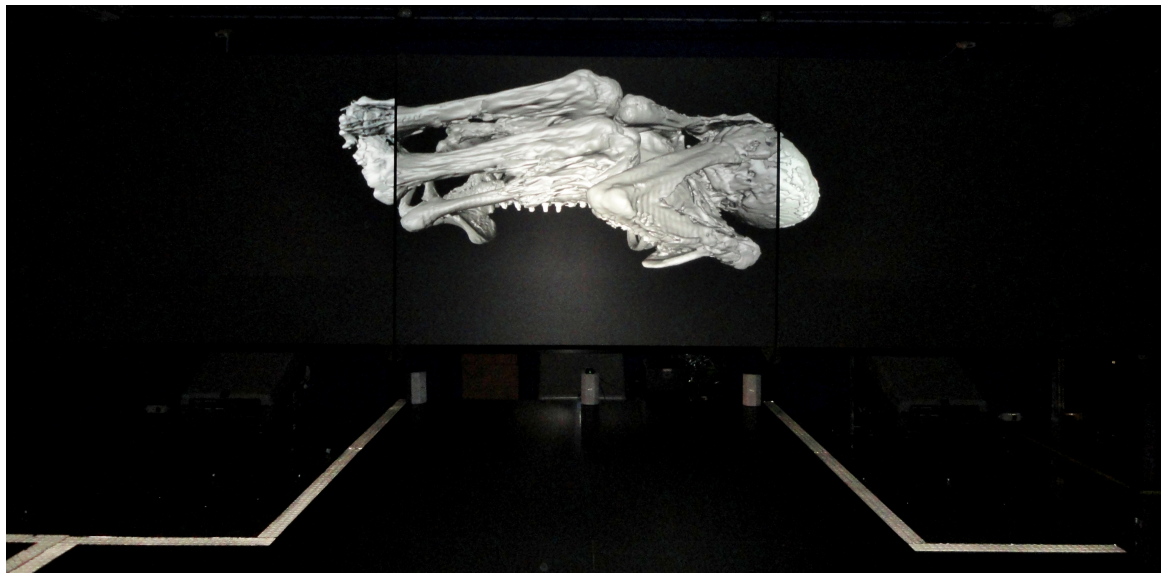


Figura 47 - VSG Amira® in configurazione *Wall*.



Figura 48 - Google® Earth™ in configurazione Wall.

Configurazione Simulator

In configurazione *Simulator* le superfici di proiezione possono essere disposte in modo tale da formare tra loro un angolo compreso tra 0° e 90° . Questa configurazione approssima un profilo curvo con una poligonale a tratti ed è indicata, quindi, per simulatori di volo, di guida o applicazioni di *debriefing* virtuale. La posizione degli schermi laterali rende il sistema più immersivo rispetto alla configurazione *Wall* e permette all'utilizzatore di percepire a colpo d'occhio l'intera immagine facendo coincidere la risoluzione totale percepita in stereo con quella dell'immagine visualizzata, anche a distanza relativamente breve dalle superfici di proiezione. Si osservi, infatti, che il FOV binoculare umano (ovvero il FOV coperto da una visione di tipo stereoscopica) è di circa 120° , motivo per il quale è necessario osservare l'immagine a debita distanza se si vuole fruire dell'effetto 3D in maniera corretta sull'intera superficie di visualizzazione.

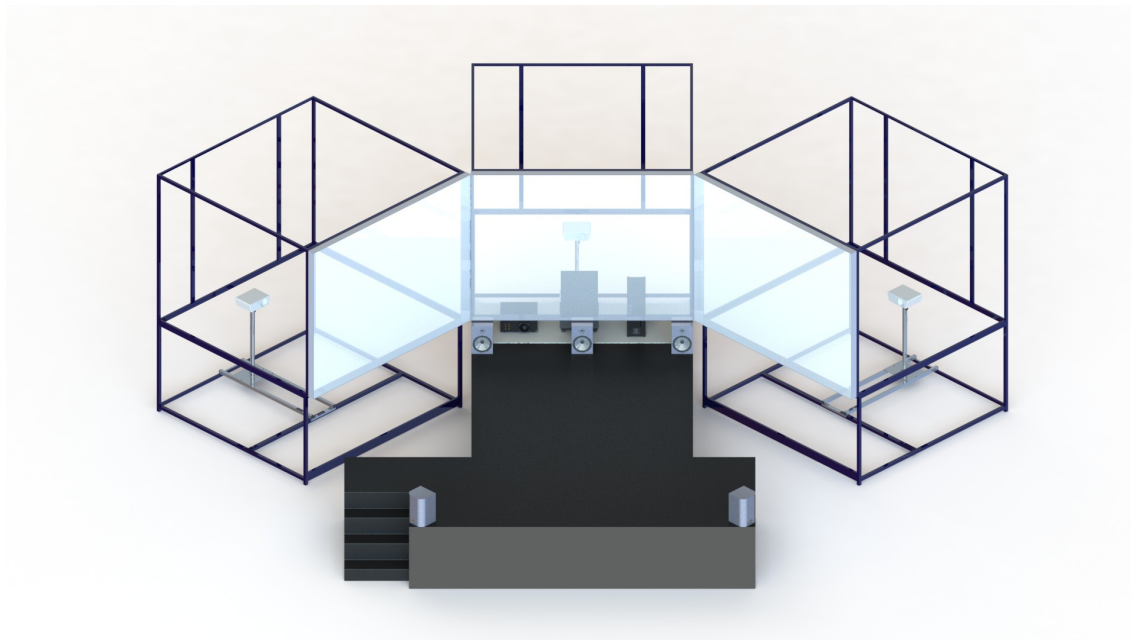


Figura 49 - RVE, configurazione *Simulator*.

Per l'utilizzo della configurazione *Simulator* è necessario, in linea teorica, predisporre il software a una visualizzazione multi-schermo di tipo non planare. Tuttavia, per piccoli scostamenti dalla configurazione *Wall*, l'incoerenza geometrica dell'immagine visualizzata può, talvolta, essere trascurata.



Figura 50 - Aliview in configurazione *Simulator (Pilot View)*.

Configurazione Cave

In configurazione *Cave* le superfici di proiezione formano tra loro un angolo di 90°. Questa disposizione crea un ambiente particolarmente immersivo e si presta, quindi, a simulazioni di realtà virtuale più coinvolgenti, nelle quali l'utente si senta completamente circondato dallo scenario virtuale.

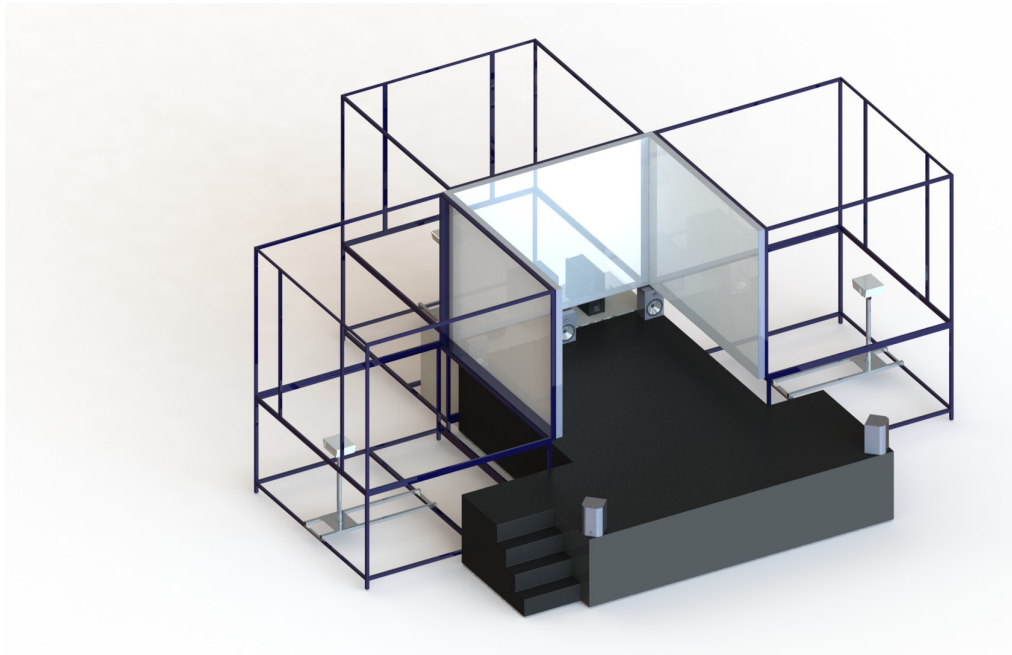


Figura 51 - RVE, configurazione *Cave*

La configurazione *Cave* richiede una gestione avanzata della grafica da parte dell'applicazione in uso.



Figura 52 - Robert McNeel & Associates Rhinoceros® in configurazione *Cave*

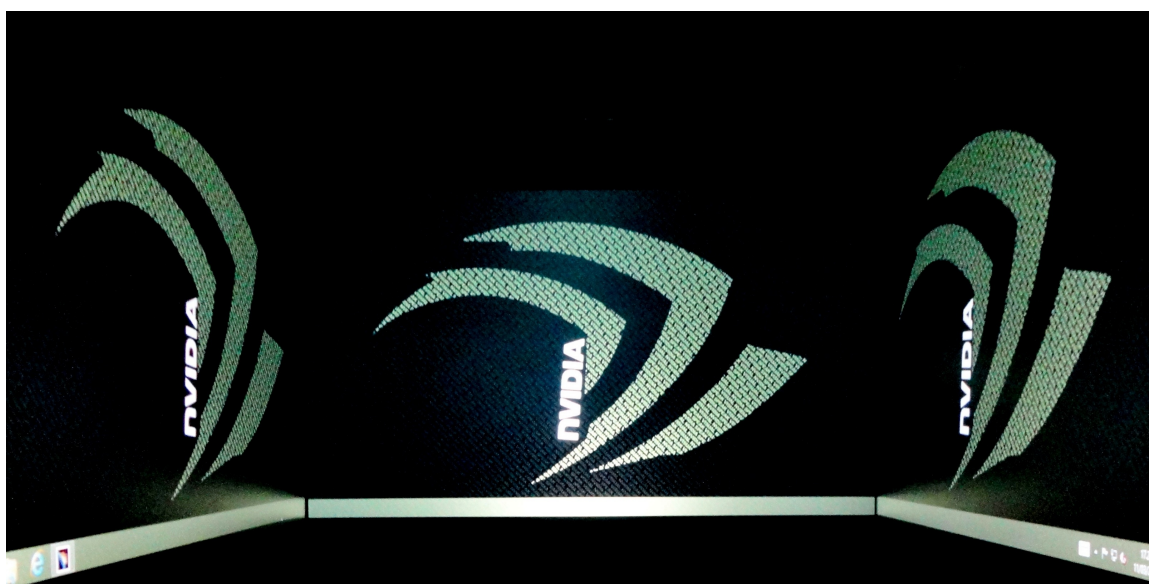


Figura 53 - Microsoft® Windows® 8™ in configurazione *Cave*

Capitolo 4

Sviluppi futuri

Le configurazioni multi-schermo avanzate e la gestione dei *frustum* asimmetrici

Il paradigma Camera View

In computer grafica il processo di generazione di un'immagine bidimensionale, a partire da uno scenario virtuale descritto in grafica vettoriale, prende il nome di *rendering*. Il paradigma più utilizzato per definire posizione, dimensione, orientamento e forma del volume di *rendering* è solitamente indicato con il termine *Camera View*, tecnica che consiste nell'utilizzare una telecamera virtuale per "riprendere" lo spazio 3D e generare l'immagine bidimensionale desiderata in proiezione.

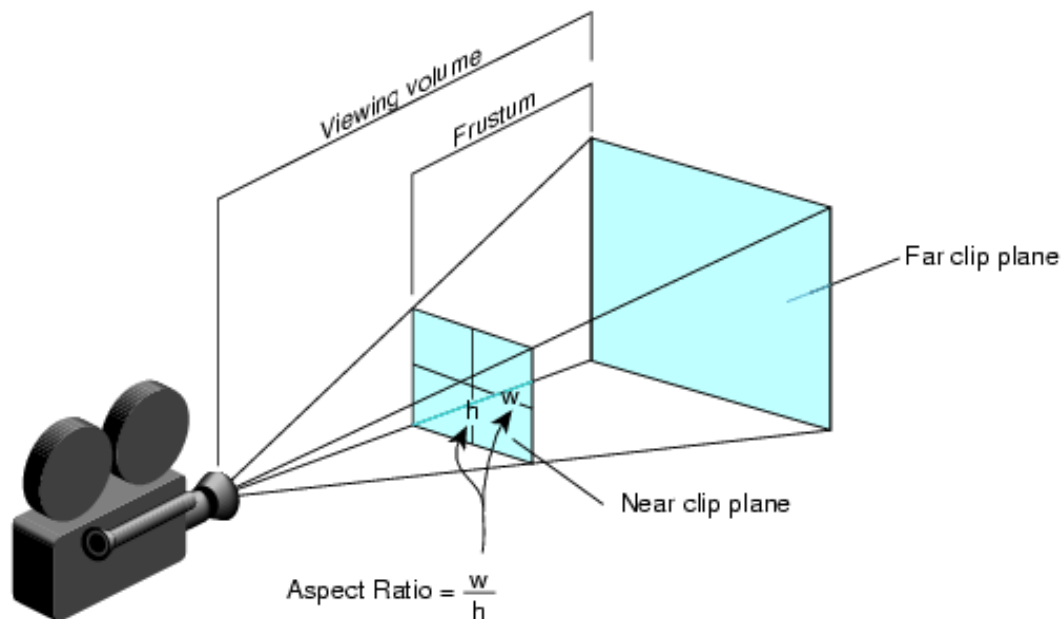


Figura 54 - Il paradigma *Camera View*, utilizzato in computer grafica per definire il volume di rendering.

Tale approccio è valido anche nel caso in cui si voglia ottenere un'immagine stereoscopica. A questo scopo, con l'intento di simulare la visione binoculare caratteristica dell'uomo, si utilizzano due telecamere. Le telecamere generano coni di vista distinti e possono essere orientate nello spazio in maniera indipendente. Delimitando con due piani di taglio (*clipping planes*) il cono di vista delle telecamere virtuali (*view volume*) si genera un volume di *rendering* comunemente indicato con il termine anglosassone *frustum*. Ogni *view volume*, e di conseguenza ogni *frustum*, è caratterizzato da due angoli di apertura, orizzontale e verticale, che concorrono a definirne l'*aspect ratio*. Solo gli oggetti che si trovano all'interno del volume di *rendering* contribuiranno a definire l'immagine rasterizzata. Il piano di *rendering* dell'immagine 2D, sul quale sono proiettati i modelli 3D racchiusi all'interno del *view volume* prende il nome di *view plane*.

Frustum simmetrico e frustum asimmetrico

Quando il *view plane* è perpendicolare ai due piani di simmetria del *view volume* si parla di *frustum* simmetrico, altrimenti di *frustum* asimmetrico.

Frustum simmetrici sono adatti a dispositivi di visualizzazione convenzionali non stereoscopici, che prevedono un utilizzo di tipo “*on axis*”, nel quale l’utente si dispone all’incirca in corrispondenza dell’intersezione tra i piani di simmetria del display con lo sguardo perpendicolare ad esso. Nelle configurazioni multi-schermo non planari tipiche dei VE o nei dispositivi stereoscopici, invece, è necessario l’utilizzo di *frustum* asimmetrici che tengano conto della posizione dell’utilizzatore rispetto ai dispositivi di visualizzazione.

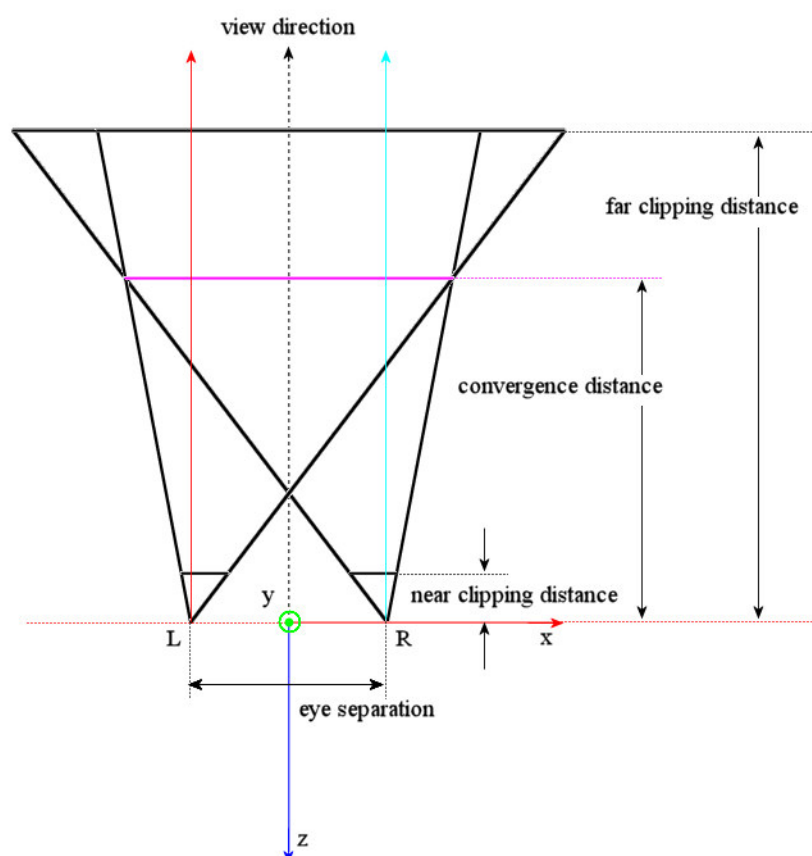


Figura 55 - Utilizzo di *frustum* asimmetrici per la stereoscopia.

Per esempio, per utilizzare le configurazioni *Cave* o *Simulator* di RVE è necessaria un'attenta gestione dei coni di vista che faccia uso di *frustum* asimmetrici. Maggiori studi e ricerche sono necessari per determinare quale sia il migliore approccio a queste problematiche. L'utilizzo di apposite librerie o di un motore grafico con supporto a configurazioni *multi-display* avanzate possono rappresentare una strada da perseguire.

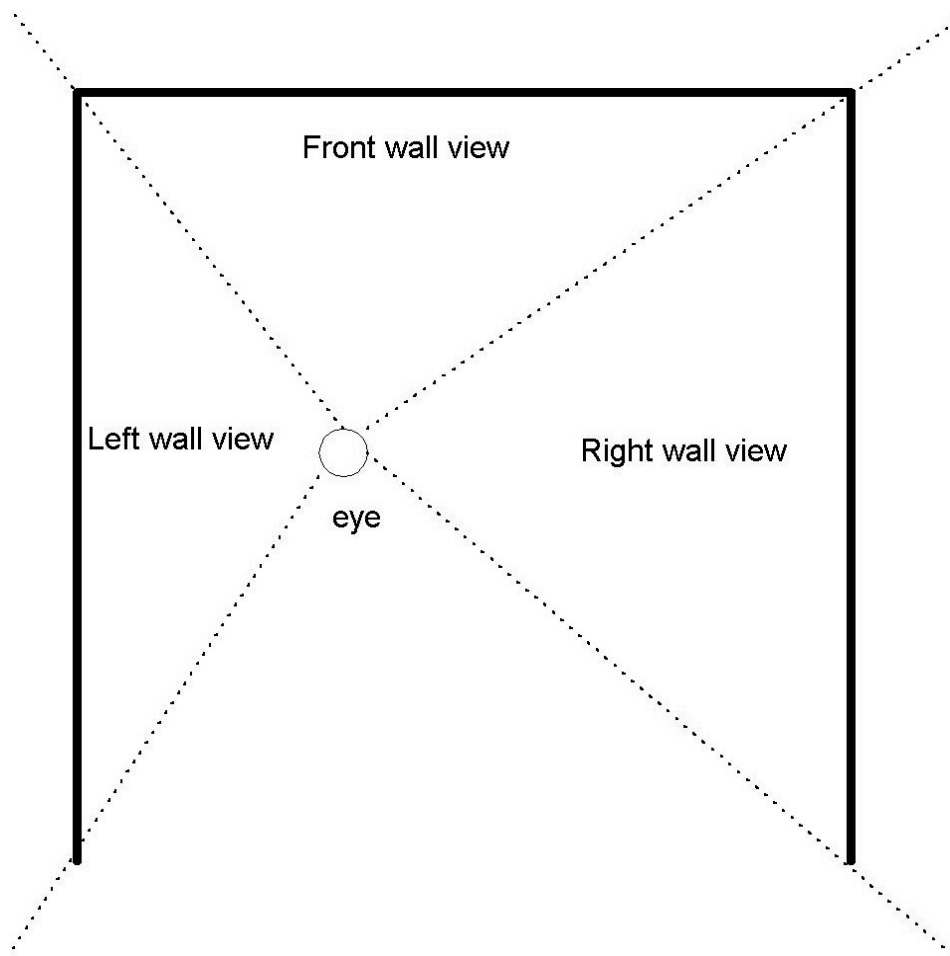


Figura 56 - Utilizzo di *frustum* asimmetrici in una configurazione *Cave* monoscopica.

User tracking e HMI (Human Machine Interaction) in RVE

Lo studio dei sistemi di *user-tracking* e *user-interaction* in RVE non è oggetto diretto di questa tesi. Tuttavia, basandosi su esperienze pregresse e sul panorama delle tecnologie e dei dispositivi che sono, o saranno disponibili a breve, sul mercato, è possibile tracciare le linee guida dello sviluppo futuro di RVE in questo senso.

Sempre nell'ottica di utilizzare tecnologie e componentistica COTS è possibile ipotizzare l'utilizzo di una o più periferiche Microsoft® Kinect™ per il *tracking* "macroscopico" dell'utente e di un nuovo dispositivo, denominato Leap Motion Controller [29], per quanto riguarda l'interazione vera e propria. Entrambe le periferiche utilizzano vari tipi di sensori per catturare i movimenti corporei dell'utente e fanno affidamento sulla potenza di calcolo del dispositivo con cui sono interfacciate per interpretare questi dati e tradurli in determinati comandi di *input*.

-
- *Microsoft® Kinect™*

Microsoft® Kinect™, inizialmente conosciuto con il nome *Project Natal*, è un *controller* originariamente pensato per Microsoft® Xbox® 360 [28]. A differenza dei *controller* di Nintendo® Wii® e Nintendo® Wii® U e del *controller* Move di Sony® PlayStation® 3, Microsoft® Kinect™ rende il giocatore stesso, con il suo corpo, una periferica di *input* vivente. Nel Febbraio del 2012 Microsoft® ha reso disponibile una versione speciale della periferica Kinect™ compatibile con PC dotati di sistema operativo Windows® Windows® 7™ e Windows® 8™.

Kinect™ integra una camera RGB (*Red, Green and Blue*) con risoluzione 640×480 *pixel*, un sensore di profondità a raggi infrarossi con matrice 320×240 *pixel* e un microfono *multi-array* (cioè formato da più sensori che lavorano in parallelo per l'acquisizione del suono) in grado di riconoscere comandi vocali distinguendoli dal rumore di fondo o da altri suoni. La barra portante del Kinect™ è motorizzata lungo l'asse verticale e la periferica segue i giocatori, orientandosi nella direzione migliore per il riconoscimento dei movimenti.

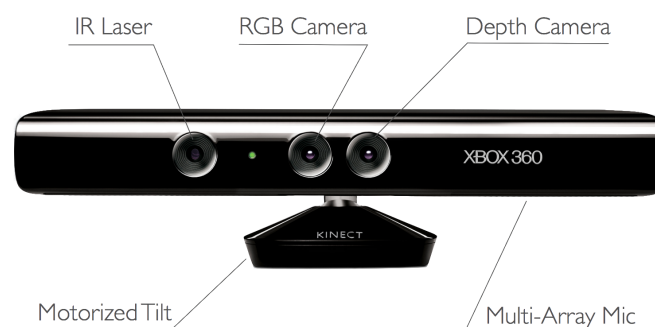


Figura 57 - Microsoft® Kinect™ per Xbox® 360

Di fatto, la periferica permette all'utente di interagire con la *console* senza l'utilizzo di alcun *controller* fisico, ma solo attraverso i movimenti del corpo, i comandi vocali o gli oggetti presenti nell'ambiente circostante. Il limite massimo di utilizzatori simultanei assegnato da Microsoft® alla periferica è pari a quattro, in piedi o seduti.

Nel corso degli anni sono stati sviluppati *driver* non-ufficiali per utilizzare Kinect™ su PC [27]. Esistono *driver* per Windows®, Mac OS X e Linux. Nel Dicembre 2010 la società Prime Sense, una compagnia israeliana da tempo impegnata nella ricerca e nello sviluppo di sistemi di controllo di tipo *air-touch* e responsabile della tecnologia implementata nel sistema di telecamere di Microsoft® Kinect™, ha rilasciato *driver open source* compatibili con Microsoft® Windows®, Ubuntu 10.10 e *release* successive. Questi *driver*, basati su API (*Application Programming Interface*) OpenNI (*Open Natural Interactions*) consentono di accedere alle funzioni audio, video e ai sensori di profondità di Kinect™ e integrano, inoltre, un "analizzatore di scena", che rileva le figure in primo piano e le separa dallo sfondo. Il codice sorgente e la relativa documentazione sono disponibili sul sito del progetto OpenNI. Il primo febbraio 2012 i *driver* non ufficiali sono stati sostituiti dal Kinect™ for Windows® SDK (*Software Development Kit*) di Microsoft®, disponibile agli sviluppatori con licenza non commerciale. Microsoft® Kinect™ for Windows® SDK supportata i sistemi operativi Windows® 7™ e Windows® 8™ e i linguaggi di programmazione C++/CLI, C#, e Visual Basic .NET.

Con l'imminente commercializzazione della nuova *console* Xbox™ 720, Microsoft® si appresta a rilasciare una nuova versione di

Kinect™ denominata semplicemente Kinect™ 2.0. La nuova periferica sarà in grado di gestire fino a un massimo di sei utenti e, a detta di Microsoft®, garantirà nuovi livelli prestazionali in termini di capacità d'interazione. In effetti, Kinect™ 2.0 porta con sé una serie di miglioramenti a livello di specifiche *hardware*, come emerge chiaramente dal confronto in tabella:

Specifica	Xbox 360 Kinect	Xbox 720 Kinect
Campo visivo (FOV)	57.5° orizzontali 43.5° verticali	70° orizzontali 60° verticali
Profondità di rilevamento	da 80 a 400 cm	da 80 a 400 cm
<i>Stream</i> colore	640x480x24bpp 4:3 RGB @ 30fps 640x480x16bpp 4:3 YUV @ 15fps	1920x1080x16bpp 16:9 YUY2 @ 30 fps
<i>Stream</i> profondità	320x240x16bpp 13 bits <i>depth</i> <i>information</i> 3-bit <i>segmentation</i> <i>mask</i>	512x424x16bpp 13 bits <i>depth</i> <i>information</i> 3-bit <i>segmentation</i> <i>mask</i>
<i>Stream</i> infrarosso	Assente	512x424 11-bit <i>dynamic range</i>
Registrazione	Colore	Colore

	Profondità	Profondità Infrarosso
Acquisizione Audio	<i>Array</i> di 4 microfoni 48KHz	<i>Array</i> di 4 microfoni 48KHz
Connessione	USB 2.0	USB 3.0
Latenza	~90 ms	~60 ms
Asse motore	Verticale	Assente

Tabella 3 - Confronto tra le specifiche di Microsoft® Kinect™ e Microsoft® Kinect™ 2.0.

- *Leap Motion Controller*

Leap Motion Controller, a differenza di Microsoft® Kinect™, è un dispositivo *air-touch* pensato per un utilizzo a corto raggio. Questa periferica USB (*Universal Serial Bus*) di dimensioni molto contenute va posizionata pochi centimetri sotto le mani dell'utente, dove, grazie a micro videocamere con FOV di 150°, "genera" uno spazio d'interazione 3D di circa 1 m³. All'interno di questo volume, il dispositivo è in grado di tracciare in tempo reale non solo i movimenti delle mani, ma anche quelli delle dita e di alcuni piccoli oggetti, con una precisione dichiarata di 0,01 mm.



Figura 58 - Leap Motion Controller

Ancora in fase di ottimizzazione, Leap Motion Controller è disponibile come prototipo a sviluppatori selezionati, ma la commercializzazione è prevista dal 13 maggio 2013 ad un prezzo di mercato molto competitivo. Le prime *demo* dimostrative disponibili online sono davvero notevoli, e mostrano il *controller* alle prese con applicazioni di *virtual design*, *virtual drawing*, *web browsing*, *gaming* e *space exploration*.

Nuance® Dragon NaturallySpeaking® (DNS)

Per facilitare l'utente nell'esecuzione di *task* incompatibili con un controllo di tipo *motion tracking* è possibile affiancare a dispositivi come Microsoft® Kinect™ e Leap Motion Controller, un *software* di *speech* o *voice recognition* per l'interazione vocale. *Speech recognition* è un termine generico che indica la possibilità di riconoscere la voce di qualunque individuo, come avviene per esempio in un *call center* automatizzato. Quando il sistema, invece, può essere addestrato a riconoscere il timbro vocale dell'utilizzatore, si parla più propriamente di *voice recognition*. Se implementata in modo efficace, l'interazione vocale garantisce indubbi vantaggi in termini di accessibilità e immediatezza d'uso, senza precludere, d'altronde, l'utilizzo sinergico di altre forme di controllo. Nel caso in cui si utilizzino microfoni *wireless* o remoti, inoltre, l'utente è libero di muoversi dentro e fuori del VE, senza le restrizioni tipiche di altre metodologie di controllo.

Nel panorama dei *software* di *speech* e *voice recognition* uno dei più apprezzati è sicuramente Dragon NaturallySpeaking® (DNS), prodotto dalla *software house* Nuance®.

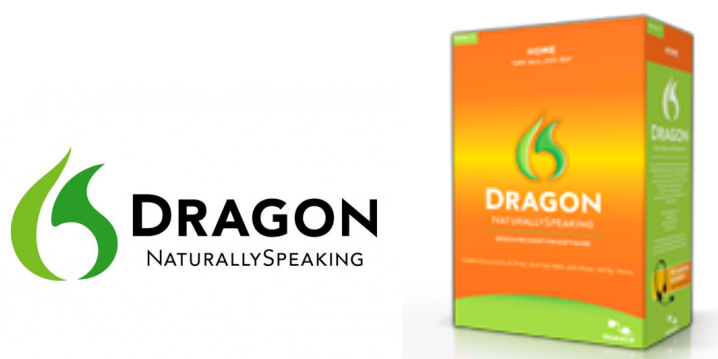


Figura 59 - Il *software* di *voice recognition* Nuance® Dragon NaturallySpeaking®.

Dragon NaturallySpeaking® è un software per ambienti Microsoft® Windows® pensato, in primo luogo, per una conversione *speech-to-text*, finalizzata ad elaborare documenti tramite *word processor*. Più in generale DNS può essere utilizzato con vari programmi di videoscrittura e si presta, quindi, non solo all'elaborazione di documenti, ma anche alla scrittura di e-mail, appunti o altro materiale. Inoltre, il *software* integra un proprio editor di testo, chiamato Dragonpad, del tutto simile al blocco note di Windows®. I possibili utilizzi di Dragon NaturallySpeaking®, però, non si limitano alla trascrizione di un testo dettato al microfono, è anche possibile controllare applicazioni, navigando, tramite comandi vocali, fra i vari menù. Sono consentite, inoltre, l'esecuzione di file, l'apertura di cartelle e la navigazione internet tramite comandi vocali. Questi possibili utilizzi, che per la maggior parte degli utilizzatori di DNS sono di scarso interesse, rappresentano, nel caso in esame, il punto focale della sua utilità. All'interno del Laboratorio di Simulazione e Realtà Virtuale della Seconda Facoltà di Ingegneria DNS è stato utilizzato in sinergia con Aliview. Poche modifiche al *software* hanno reso possibile impartire comandi vocali e navigare tramite riconoscimenti vocale tra i menù dell'applicazione. Complessivamente, le prestazioni del software sono ottime: il livello di riconoscimento è alto e, in ogni caso, migliorabile tramite l'addestramento vocale da perpetuare nel tempo. Inoltre, è sempre possibile aggiungere nuovi vocaboli personalizzati e utilizzare dispositivi di acquisizione di elevata qualità (microfono, scheda di acquisizione audio).

Nell'attesa di dare seguito alle attività finora sviluppate, RVE è controllato tramite mouse, tastiera e *wireless touchpad multi-touch*

Logitech® T650 con supporto alle *gesture* Microsoft® Windows® 8™
User Interface.

Conclusioni

Alla luce dei risultati ottenuti la maggior parte delle scelte progettuali compiute in fase di *design* appaiono corrette. Dal punto di vista *hardware* e *software* la potenza di calcolo del sistema è sufficiente a gestire correttamente la grafica 3D, con impostazioni di alto livello alla risoluzione nativa di 3840x720 *pixel* e senza che il *frame-rate* scenda sotto i 30 FPS (*Frame Per Second*) nelle applicazioni di grafica *real-time*.

Come richiesto, il software in prova si è dimostrato pienamente compatibile con la stereoscopia attiva di tipo NVIDIA® 3D Vision® Pro. Il livello qualitativo dell'immagine, inoltre, è eccellente, e in ambiente parzialmente o completamente oscuro, la riduzione di luminosità tipica dei sistemi 3D basati su stereoscopia attiva è trascurabile.

Per quanto riguarda l'aspetto strutturale, pur essendo stato possibile collocare correttamente il sistema di retro-proiezione, si evidenzia una certa instabilità della configurazione, che potrebbe costringere, di tanto in tanto, a eseguire una messa a punto della collimazione dei proiettori. In futuro, è possibile intervenire su tale aspetto per migliorare la rigidità del sistema.

Infine, RVE è quasi interamente basato su componentistica di tipo COTS, scelta che ha permesso un sostanziale abbattimento dei costi di realizzazione.

Nel complesso, l'utilizzo del sistema è 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 informatica e computer grafica. I possibili utilizzi spaziano

dalla simulazione, al *design* assistito al calcolatore, all'impiego di applicazioni GIS o altro *software* professionale, rendendo RVE un VE flessibile e interdisciplinare al servizio della ricerca collaborativa e della visualizzazione scientifica ad alto contenuto informativo.

Appendice A - Datasheets

- PNY Quadro® K5000 *datasheet*
- PNY NVIDIA® 3D Vision® Pro *datasheet*
- NVIDIA® 3D Vision® II *datasheet*
- Sopar SKY 203 *datasheet*
- BenQ W710ST *datasheet*



NVIDIA® Quadro® K5000

VCQK5000-PB

Professional Graphics Perfected

The NVIDIA® Quadro® K5000 graphics card takes advantage of the NVIDIA Kepler™ architecture to dramatically accelerate professional applications. With the NVIDIA Quadro K5000 you can count on superior interaction when designing with the most complex models, richer scene details and effects for content creation, and faster results when processing massive datasets for scientific exploration. The Quadro K5000 features a range of innovative features, including SMX for increased per-clock throughput of key graphics operations and bindless textures that enable the GPU to reference textures directly in memory. Plus, it supports up to four displays—ideal for driving large-scale visualization solutions.

Designed and built specifically for professional workstations, NVIDIA Quadro GPUs power more than 150 professional applications across a broad range of industries including manufacturing, media and entertainment, sciences, and energy. Professionals trust them to deliver the best possible experience with applications such as Autodesk Inventor, Dassault Systems CATIA and SolidWorks, Siemens NX, PTC Creo and many more.

Package includes:

- NVIDIA Quadro K5000 professional graphics board
- Stereo connector bracket
- Two DisplayPort to DVI-D SL adapters
- DVI-I to VGA adapter
- 6-pin auxiliary power cable
- Driver DVD for Windows 8, 7, Vista, and XP SP3 (32- and 64-bit)
- Printed QuickStart Guide

PNY Advantage:

- 3 year warranty
- Support for NVIDIA Quadro in any system brand
- Pre-and post sales assistance
- Toll-free professional technical support
- Dedicated Field Application Engineers



PNY provides unsurpassed service and commitment to its professional graphics customers. In addition, PNY delivers a complete solution including the appropriate adapters, cables, brackets, driver CD and documentation to ensure a quick and successful install.

PRODUCT SPECIFICATIONS:

GPU Memory	4GB GDDR5
Memory Interface	256-bit
Memory Bandwidth	173 GB/s
CUDA™ Cores	1536
System Interface	PCI Express 2.0 x16
Maximum Power Consumption	122W
Idle Power	18W
Energy Star Enabling	Yes
Thermal Solution	Ultra-quiet active fansink
Physical Dimensions	4.376" H x 10.50" L, Dual Slot
Display Connectors	DVI-I DL + DVI-D DL + DP 1.2 + DP 1.2 + Stereo
DisplayPort 1.2	Yes
DisplayPort with Audio	Yes
DVI-D Single-Link Connector	Via included adapters
VGA Support	Via included adapter
Number of Displays Supported	4
Maximum DP 1.2 Resolution	3840 x 2160 at 60Hz
Maximum DVI-I DL Resolution	2560 x 1600 at 60Hz
Maximum DVI-I SL Resolution	1920 x 1200 at 60Hz
Maximum VGA Resolution	2048 x 1536 at 85Hz
HDCP Support	Yes
Professional 3D Support	Yes, via included stereo connector bracket
Quadro Sync Compatible	Yes
HD SDI Capture/Output Compatible	Yes
NVIDIA GPU Direct Compatible	Yes
Graphics APIs	Shader Model 5.0, OpenGL 4.3, DirectX 11
Compute APIs	CUDA, DirectCompute, OpenCL
NVIEW	Yes
Mosaic Mode	Yes (Windows 8, 7, and Linux)
NVIDIA 3D Vision and 3D Vision Pro	Yes
Warranty	3 Years
PNY Part Number	VCQK5000-PB

For more information visit: www.pny.com/quadro



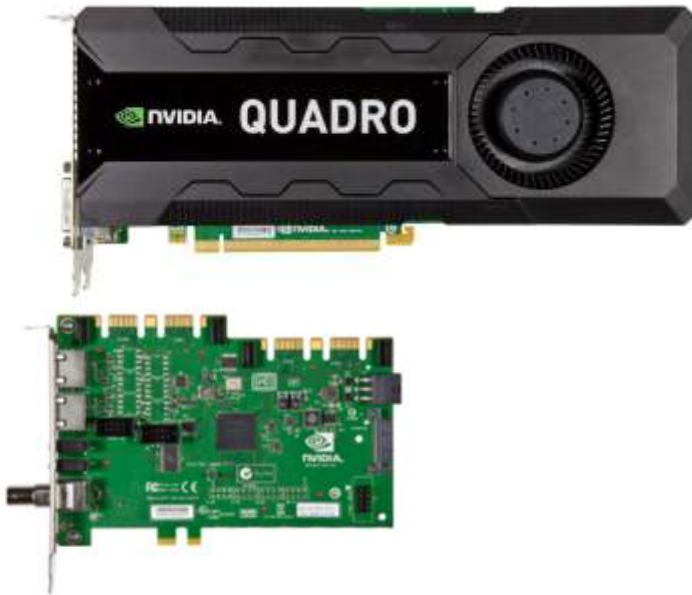
PNY Technologies, Inc. 100 Jefferson Road, Parsippany, NJ 07054 | Tel 408 567 5500 | Fax 408 855 0680

Features and specifications subject to change without notice. The PNY logo are registered trademarks of PNY Technologies, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners. © 2012 PNY Technologies, Inc. All rights reserved.



NVIDIA® Quadro® K5000 with NVIDIA Quadro Sync
PNY Part Number: VCQK5000SYNC-PB

User Guide



NVIDIA Quadro K5000 with NVIDIA Quadro Sync Hardware Components

The NVIDIA Quadro K5000 with NVIDIA Quadro Sync consists of the following hardware components:

- 1) NVIDIA Quadro K5000 graphics board
- 2) NVIDIA Quadro Sync board
- 3) 4 ribbon connector cables
- 4) 6 cable retentions clips

NVIDIA Quadro K5000 with NVIDIA Quadro Sync Overview

The NVIDIA Quadro K5000 with NVIDIA Quadro Sync delivers Frame Lock/Genlock and sophisticated programmable graphics for industrial, visualization and collaborative applications, by providing features for advanced multi-system visualization and multi-device film and video environments. This sophisticated professional visualization solution is GPU-driven by the NVIDIA Quadro K5000, while features such as Frame Lock, Genlock, and synchronized Frame Buffer Swap and refresh rate are supported by a companion NVIDIA Quadro Sync board.

The Quadro K5000 requires an open x16 PCIe interface slot with an adjacent open slot (double-width board). The NVIDIA Quadro Sync board is designed to fit into any available expansion slot within 6 inches of the NVIDIA Quadro K5000. The Quadro Sync requires power via a 6-pin power connector or SATA power connector. The Quadro Sync card can host up to four (4) NVIDIA Quadro K5000 boards.

Frame Lock allows the display channels from multiple workstations to be synchronized, creating one large “virtual display” that can be driven by a multi-system cluster for performance scalability.

Genlock allows the graphics output to be synchronized to an external source, typically for film and broadcast video applications.

The NVIDIA Quadro K5000 and NVIDIA Quadro Sync will synchronize up to four displays simultaneously (2 DVI-DL and 2 DisplayPort), provided they are all in same display mode, which means the same resolution and refresh rate on all four displays.

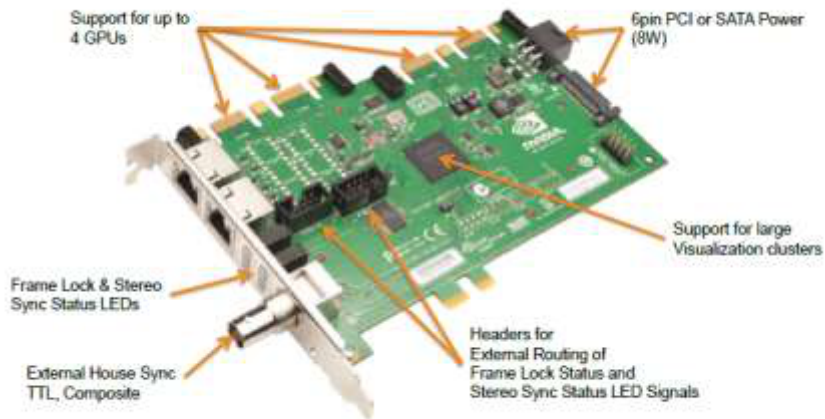
NVIDIA Quadro K5000 Overview

The NVIDIA Quadro K5000 graphics board is a PCI Express full-height form factor (4.376 inches by 10.5 inches) graphics add-in card based on the NVIDIA Quadro K5000 graphics processing unit (GPU). It is targeted as a high-performance desktop graphics solution for PCI Express systems. The NVIDIA Quadro K5000 graphics board offers 4GB of GDDR5 GPU memory and supports display types ranging from analog CRTs to the latest digital flat panels.

NVIDIA Quadro K5000 Photo



NVIDIA Quadro Sync Photo



NVIDIA Quadro K5000 Specifications and Features

- GPU: NVIDIA Quadro K5000
- Maximum core clock: 706 MHz
- CUDA cores: 1536
- GPU memory: 4GB GDDR5
- Memory clock: 2700 MHz
- Memory interface: 256-bit
- Memory bandwidth: 173GB/s
- GPU memory: 4GB GDDR5
- PCI Express: PCIe Gen 2.0 x16
- Auxiliary power: 6-pin connector
- Maximum power consumption: 122 W
- Physical dimensions 4.376 x 10.5 inches, dual slot

Display Connectors

- One Dual Link DVI-I connector
- One Dual Link DVI-D connector
- Two DisplayPort 1.2 connectors
- Stereo connector (via supplied stereo connector bracket)

Internal Connectors and Headers

- 6-pin auxiliary power connector
- SDI/Sync connector
- SLI connector
- Stereo header

Display Support

- Maximum VGA resolution: 2048 x 1536 x 32 bpp at 85Hz
- Maximum DVI Dual Link resolution: 2560 x 1600 x 32 bpp at 60Hz
- Maximum DisplayPort 1.2 resolution: 3840 x 2160 x 36 bpp at 60Hz
- High-bandwidth digital content protection (HDCP) support

NVIDIA Quadro Sync Specifications and Features

Board

- Six layer printed circuit board (PCB)
- Physical dimensions: 6.15" inches x 4.37" inches
- Power: 6-pin PCI or SATA power connector
- Maximum power consumption: 12 W

Connectors and Status Indicators

- 4 SLI-style edge fingers for connection to compatible GPUs
- BNC house sync
- RJ45 1st Frame Lock sync (using CAT5 straight-through cable)
- RJ45 2nd Frame Lock sync (using CAT5 straight-through cable)
- Frame Lock and Stereo Sync Status LEDs

Key Feature of Quadro Sync

- Synchronization of up to four Kepler G PU's and up to 16 display or projector per system.
 - Increasing the density of GPU and displays per system reduce the total number of system in a visualization cluster and minimizes operation complexity.

- Enable Mosaic technologies on up to 16 displays or projectors in any system
 - Scale any application across synchronized displays or projectors from any system. Future like Projector Overlap and an integrated geometry and intensity adjustment give you pixel-accurate display surface
- A research lab can create a stereoscopic 3D 3x3 or 4x4 display wall with just one system, instead of three or four.
- A flight simulator can move from HD resolution to four-input 4K projectors with the same size visualization cluster.
- A broadcaster can power 16HD –display video wall for on air display with just one system.

BNC House Sync Connector Video Format Support

- 720 x 486_59.94i NTSC
- 720 x 576_50i PAL
- 1280 x 720_59.94p
- 1280 x 720_60i
- 1920 x 1035_59.54i
- 1920 x 1080_60i
- 1920 x 1080_59.94i (same as 1929 x 1080_29.97 psf)
- 1920 x 1080_50i (same as 1920 x 1080_25 psf)
- 1920 x 1080_24psf
- 1920 x 1080_23.976psf
- TTL level sync pulse

NVIDIA Quadro K5000 Auxiliary Power by Rail

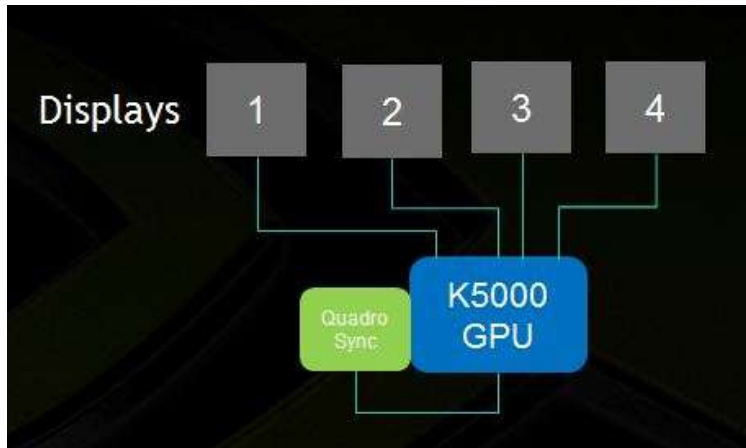
6-Pin PCIe Power Connector	Result
Connected	Full power -
Not connected	Message on display will alert the user to connect the auxiliary PCI Express power cable.

Driver Support:

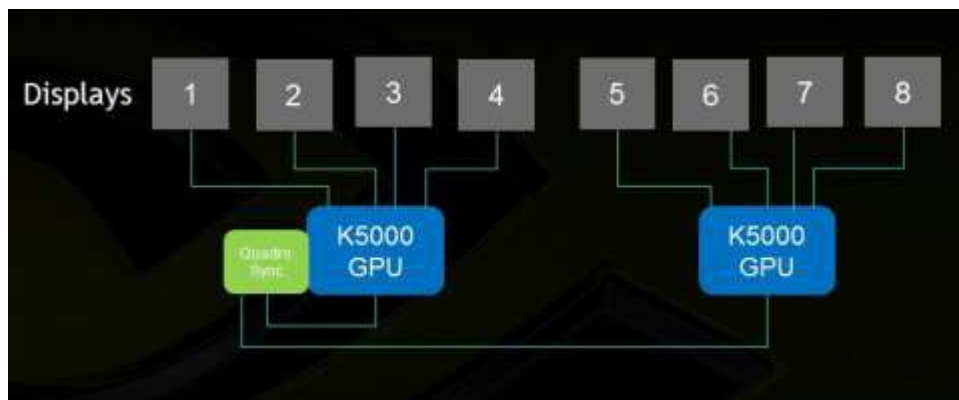
- Windows 7, Vista, and Linux 32- and 64-bit
- Windows 8 64-bit support at initial release
- Windows XP SP3 32- and 64-bit driver supports only two GPUs, and only the Frame Lock and Swap Lock features offered by the NVIDIA Quadro G-Sync II are available

Quadro K5000, Quadro Sync & Mosaic configuration options

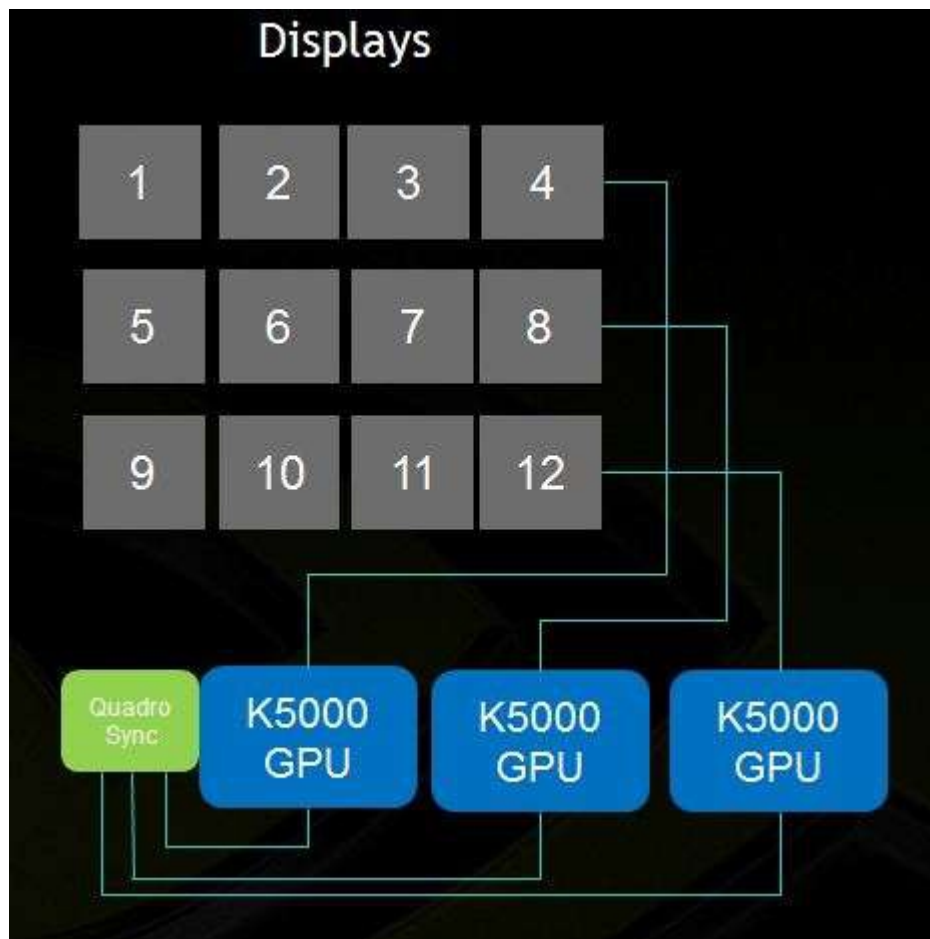
- 1) Four displays configuration with Quadro K5000 and Quadro Sync



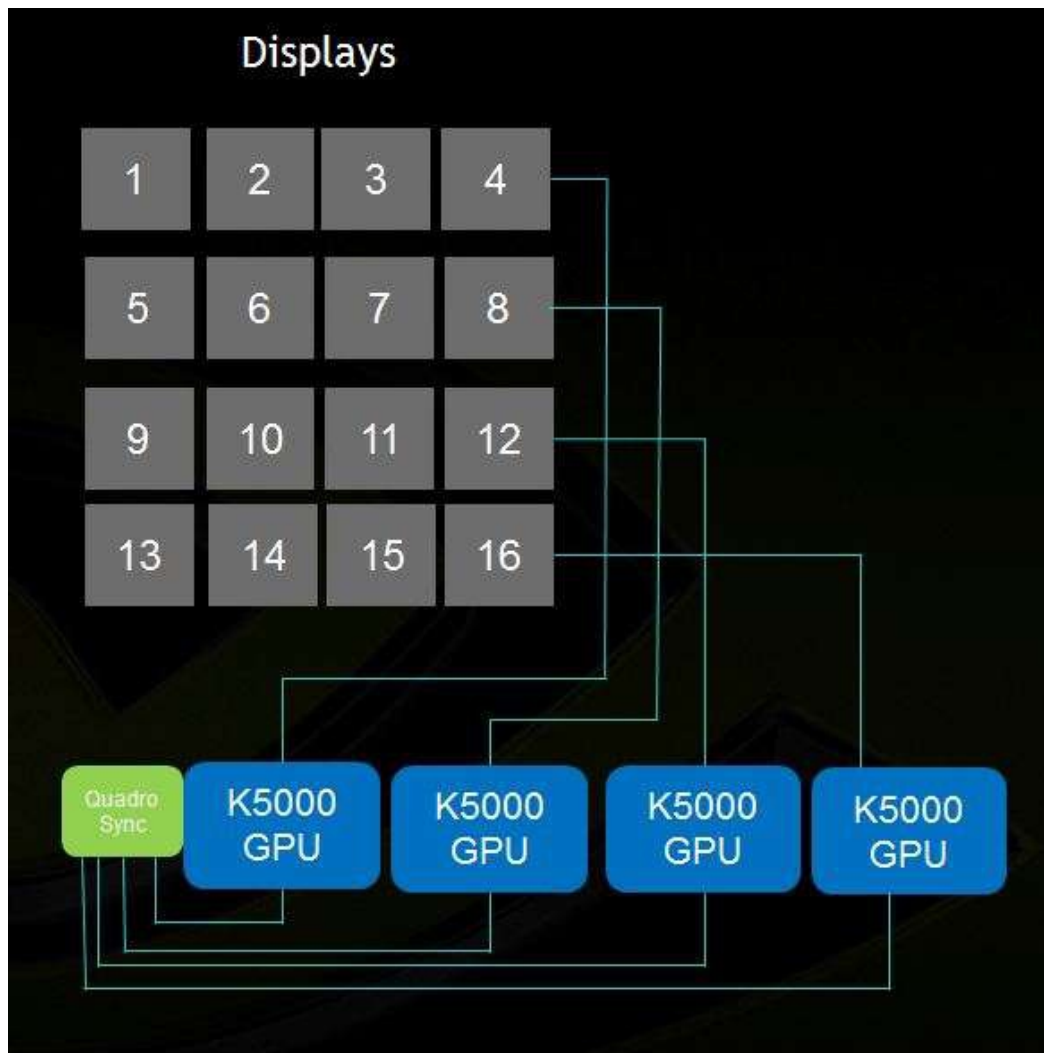
- 2) Eight (1x8 or 2x4) displays configuration with two Quadro K5000 and Quadro Sync.



- 3) Twelve (4x3) displays configuration with three Quadro K5000 and Quadro Sync.



- 4) Sixteen (4x4) displays configuration with four Quadro K5000 and Quadro Sync.



PNY



DESIGN, CREATE AND EXPLORE IN A NEW DIMENSION NVIDIA® 3D VISION™ PRO

Immerse yourself in a true 3D, collaborative visualization experience, and see detail that was never possible before.

NVIDIA® 3D Vision™ Pro and NVIDIA® Quadro® professional graphics solutions deliver the highest quality and most advanced stereoscopic 3D environment, enabling designers, engineers, digital artists and scientists to see and share their work in true 3D.

3D Vision Pro glasses and Quadro graphics provide an easy to use, scalable solution for driving 3D visualization across a range of display options, from a single desktop panel, to massive multi-projector power walls or CAVEs.

This unique 3D solution combines 3D Vision Pro active shutter glasses and a robust radio-based control hub with 120Hz panels and projectors. Professionals can design, create and explore in stereoscopic 3D enabling collaborative workflows that dramatically speed up time to insight.

PNY Part Number

3D Vision Pro Glasses and Hub	3DVIZPRO-GLASSES+EMT
3D Vision Pro Glasses	3DVIZPRO-GLASSES
3D Vision Pro Hub	3DVIZPRO-EMITTER

Reliable Multi-Display 3D Ready Solution

- Tested for compatibility with 3D Vision Ready LCD panels and projectors
- Compatible with NVIDIA Quadro Plex Scalable Visualization Solutions and Quadro SDI and G-Sync solutions for flexible display options
- Extensive product development and qualification ensures reliable system performance

3D Vision Pro for Professional Applications

A range of applications take advantage of 3D Vision Pro and Quadro professionals graphics.

Minimum System Requirements

- Windows 7, Vista, XP or Linux
- Compatible Quadro graphics board
- 1GB or more of system memory, 2GB recommended
- 200MB of available disk space for full driver installation
- Blu-ray, DVD-ROM or CD-ROM drive
- DisplayPort or DVI compatible display(s)

For more information visit www.PNY.com/3DVISIONPRO

What You Need

Running 3D Vision Pro is simple. Requirements include:

Compatible NVIDIA GPU



"3D Vision-Ready" Display or Projector



3D Vision Pro glasses and hub

- Microsoft Windows 7, Vista, XP or Linux (32- or 64-bit)

- Application supporting Quad Buffered Open GL stereo or NVIDIA Stereoscopic 3D driver

PNY

PNY Technologies, Inc. 299 Webro Rd. Parsippany, NJ 07054-0218 | Tel 408.567.5500 | Fax: 408.855.0680
Features and specifications subject to change without notice. The PNY logo is a registered trademark of PNY Technologies, Inc.
All other trademarks are the property of their respective owners. © 2011 PNY Technologies, Inc. All rights reserved.



PART NUMBER:

3D VISION for QUADRO	
3DV-IR-GLASSEMIT-PB	3D VISION IR - GLASS + TRANSMITTER
3DV-IR-GLASS-PB	3D VISION IR - GLASS ONLY
3DV-IR-KITUPGR-PB3D	VISION IR - UPGRADE KIT FOR QUADRO
3D VISION PRO	
3DV-PRO-GLASSEMIT-PB	3D VISION PRO - RF - GLASS + TRANSMITTER
3DV-PRO-GLASS-PB 3DV-PRO-GLASS-PB	3D VISION PRO - RF - GLASS ONLY
3DV-PRO-EMIT-PB	3D VISION PRO - RF - TRANSMITTER ONLY

NVIDIA[®] 3D Vision Pro
 DESIGN, CREATE AND EXPLORE
 IN A NEW DIMENSION

Immerse yourself in a true 3D, collaborative visualization experience, and see detail that was never possible before.

NVIDIA 3D Vision[®] Pro and NVIDIA[®] Quadro[®] professional graphics solutions deliver the highest quality and most advanced stereoscopic 3D environment, enabling designers, engineers, digital artists and scientists to see and share their work in true 3D.

3D Vision Pro glasses and Quadro graphics provide an easy to use, robust solution for driving 3D visualizations on a range of display options, from a single desktop panel to massive, multi-projector power wall or CAVE.

This unique 3D solution combines 3D Vision Pro active shutter glasses and a robust radio-based control hub with 120Hz panels and projectors. Professionals can design, create and explore in stereoscopic 3D enabling collaborative workflows that dramatically speed up time to insight.

Reliable Multi-Display 3D Ready Solution

- > Tested for compatibility with 3D Vision Ready LCD panels and projectors
- > Compatible with NVIDIA[®] Quadro[®] Plex Scalable Visualization Solutions and Quadro[®] Digital Video Pipeline¹ for flexible display options
- > Extensive product development and qualification ensures reliable system performance 3D Vision Pro for Pro Apps

A range of applications take advantage of 3D Vision Pro and Quadro professionals graphics.

¹ Requires application support

NVIDIA® 3D VISION PRO - ENVIRONMENTS

STUDIO FLOOR PLAN OFFICES	>> Explicit connection between glasses and panel eliminates cross talk >> Operate multiple hubs in the same space simultaneously
CONFERENCE OR REVIEW ROOM	>> Easily add and remove glasses to a 3D Vision Pro Hub >> Use the same glasses with desktop LCD panels, projectors and DLP HDTV's
INDIVIDUAL WORKSPACE	>> Delivers True HD quality stereo to desktop LCD panels >> Work with multiple 2D or 3D panels from one Quadro graphics board
AUDITORIUMS/SCREENING ROOM	>> 3D Vision Pro hub has up to 100 foot range for easy deployment throughout a large work area or theater environment >> Easy to use control panel identifies connected glasses and monitors battery life

NVIDIA® 3D VISION PRO - MINIMUM SYSTEM REQUIREMENTS

QUADRO BASED SOLUTIONS	Microsoft Windows XP 32/64 bit, Vista 32/64-bit or Windows 7 32/64-bit, Linux 32/64 bit
	DirectX stereo support (NVIDIA Stereoscopic 3D) available on Windows Vista or Windows 7 only
GEFORCE BASED SOLUTIONS	Microsoft Vista 32/64-bit or Windows 7 32/64-bit
	DirectX stereo support (NVIDIA Stereoscopic 3D) only
	Intel Core 2 Duo or AMD Athlon X2 CPU or higher

NVIDIA® 3D VISION PRO - APPLICATIONS

DCC			CAD / CAE		
Autodesk	Iridas	McNeel	Autodesk	CEI	Dassault Systems
Maya (2009 and later)	SpeedGrade FrameCycler	Rhinoceros	Navisworks	EnSight	CATIA (v5 and later)
The Foundry	VizRT	eyeon	Siemens	NX Teamcenter	
Nuke	Viz Engine	Fusion			
Adobe / Cineform	Sony	Cinesoft			
Premiere Pro CS5 + Neo HD/3D	Vegas Pro	Cerebro			

To learn more, go to www.pny.eu/quadro

1 Raw throughput number calculated by graphics processing clusters, GPU clock rate, and triangle throughput.

2 6GB is supported on Win7 and Linux64 (4GB memory limit on Windows XP64) via Rel 256 driver.







**NVIDIA® 3D VISION™ 2
EXPERIENCE 3D
THAT'S UP TO 2X BRIGHTER**

Upgrade your PC to a fully immersive stereoscopic 3D experience with NVIDIA® 3D Vision™.

NVIDIA 3D Vision 2 active shutter glasses deliver an immersive, brighter 3D, and better gaming experience. With 20% larger lenses, 3D Vision 2 glasses give you more viewing area with less light leakage. The innovative NVIDIA® 3D LightBoost™ technology makes your screen and environment lighting – including your keyboard – up to 2x brighter¹ for better 3D gaming and video viewing. Plus, 3D Vision 2 glasses are built from state of the art, softer materials designed to deliver more comfort and better fit with gaming headphones.

NVIDIA 3D Vision supports the richest array of 3D content available, including more than 600 3D games, Blu-ray 3D movies, 3D photos and streaming YouTube 3D videos. Upload, view, and share 3D photos and videos on NVIDIA's **3DVisionLive.com**, the world's first 3D Vision online community.

Better Gaming	Brighter 3D	More Immersive	Stream and Share
 <p>Play over 600 PC games in 3D including the latest titles like Batman: Arkham City, Crysis 2, and L.A. Noire</p>	 <p>Get up to 2x monitor and keyboard brightness with NVIDIA 3D LightBoost technology</p>	 <p>Try new 27" 3D monitors from ASUS and Acer for Full HD 1080p 3D and ghost-free image quality</p>	 <p>Get the most diverse ecosystem of content-including 3D photo sharing and browsing-on 3DVisionLive.com</p>

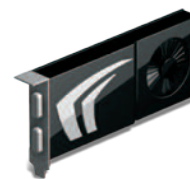
What you need



NVIDIA 3D Vision 2 Glasses (Wireless)



NVIDIA 3D Vision-Ready Monitor or projector



NVIDIA GeForce GPU

NVIDIA® 3D VISION™ PRODUCT LINEUP

3D Vision 2 Wireless Glasses Kit	3D Vision 2 Wireless Extra Glasses	3D Vision Wired Glasses
		

Features

3D LightBoost™ 2	✓	✓	✓
Play over 600 games in 3D	✓	✓	✓
Watch Blu-ray 3D movies ³	✓	✓	✓
Stream 3D movies and photos from 3DVisionLive.com	✓	✓	✓
Supports full HD 1080p 3D monitors	✓	✓	✓
Wearable over prescription glasses	✓	✓	✓
3D Vision Photo Viewer	✓	✓	✓
3D Vision Video Player	✓	✓	✓
Includes free copy of 3DTV Play Software	✓	✓	✓
Easily adjust in-game 3D depth	Via IR emitter or Keyboard Shortcuts	Keyboard Shortcuts	Keyboard Shortcuts

Specifications

Connectivity	Wireless, 15ft range	Wireless, 15ft range	USB Wired
Weight	56g	56g	49g
Battery	Rechargeable battery 60hrs of charge	Rechargeable battery 60hrs of charge	Powered over USB
HDMI 1.4a 3D support for use with PlayStation™ 3 or Blu-ray 3D player	✓ ³	✓ ⁴	✓

Kit Contents

3D Glasses	✓	✓	✓
USB IR Emitter	✓		
USB cables	One 6ft, one 10ft	One 6ft	10ft attached
VESA 3-pin cable for use with DLP HDTVs and Quadro GPUs	✓		
Storage pouch / cleaning cloth	✓	✓	✓
Two interchangeable nose pieces	✓	✓	✓
Localization	English, French, Spanish, Brazilian Portuguese	English, French, Spanish, Brazilian Portuguese	English, French, Spanish

3D Vision 2 Part Numbers

Standard Kits	942-11431-0007-001	942-11431-0003-001	942-10864-0003-100
---------------	--------------------	--------------------	--------------------

1 Requires NVIDIA 3D LightBoost equipped monitor

2 3D LightBoost technology available in new monitors & notebooks from ASUS, Acer, BENQ, and Toshiba – see OEM for more details

3 Blu-ray 3D playback requires compatible Blu-ray 3D player software from companies such as ArcSoft, Corel, CyberLink and Roxio.

Please continue to check the 3D Vision product home page for more details on Blu-ray 3D support.

4 Requires purchase of 3D Vision monitor with built-in emitter. Please visit www.nvidia.com/get3D for a list of supported 3D Vision monitors.

For more information, go to www.nvidia.com/get3D

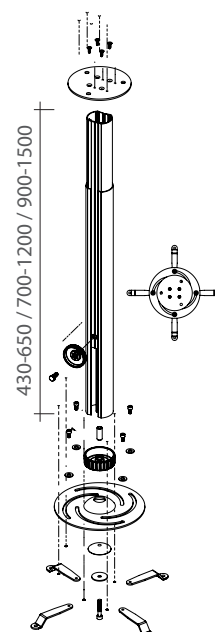


SKY 201 - 202 - 203

SKY 201 - 202 - 203 PROJECTOR CEILING MOUNT

- Progettazione economica e di facile installazione
- Proiettore inclinabile a 360° / 20°
- Inclinazione del proiettore ed altezza regolabile in modo semplice
- Piastra del proiettore universale, kit di strumenti e viti per cambiare l'altezza sono incluse
- Per tutti i tipi di Videoproiettori
- Max peso del Videoproiettore 15 kg.
- Differenti colori

- Economic design and easy installation
- Projector tiltable at 360°/ 20°
- Possibility for easy changing of height and slope of projector
- Universal projector plate, tool kit and screws for changing the height are included
- For all types of Data Video Projectors
- Max. weight of the projector: 15 kg
- Different colours



mod.	h min	h max
201	mm 430	mm 650
202	mm 700	mm 1200
203	mm 900	mm 1500

MOD.	CODE	COLOR	EAN CODE
201	20100	white	8012195201003
201	20101	silver	8012195201010
201	20102	black	8012195201027
202	20200	white	8012195202000
202	20201	silver	8012195202017
202	20202	black	8012195202024
203	20301	silver	8012195203014

DIGITAL
PROJECTOR

W710ST



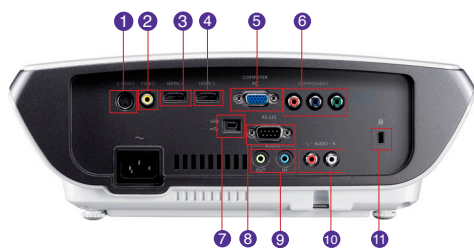
Features

- Native HD 720P (1280x720) Resolution
- 2500 ANSI Lumens, 10000:1 Contrast Ratio
- 0.7 Short Throw Ratio, 10W Speaker,
- Dual HDMI, DLP & nVidia 3D Ready
- Auto Keystone, Quick Cooling

Top / Front View



Input and Output Terminals



- | | |
|---------------|-----------------|
| 1 S-Video | 7 USB |
| 2 Video | 8 RS-232 |
| 3 HDMI-1 | 9 Audio In/Out |
| 4 HDMI-2 | 10 Audio L/R |
| 5 Computer PC | 11 Security Bar |
| 6 Component | |

Specifications

Projection System	DLP
Native Resolution	720p(1280x720)
Brightness	2200 ANSI lumens
Contrast Ratio	10000:1
Display Color	1.07 Billion Colors
Lens	F=2.77~2.86, f=10.16~11.16mm
Aspect Ratio	Native 16:9 (5 aspect ratio selectable)
Throw Ratio	0.719-0.79 (63" @ 3.28ft)
Image Size (Diagonal)	35" to 300"
Zoom Ratio	1.10:1
Lamp Type	220W
Lamp (Nor/Eco Mode)*	4000/6000 hours
Keystone Adjustment	Auto & Manual, Vertical +/- 40 degrees
Projection Offset	136%+-5%
Resolution Support	VGA(640 x 480) to UXGA(1600 x 1200)
Horizontal Frequency	31K~90KHz
Vertical Scan Rate	48~120Hz
Compatibility	HDTV Compatibility: 480i, 480p, 576i, 576p, 720p, 1080i, 1080p Video Compatibility: NTSC, PAL, SECAM 3D Compatibility: PC: 120Hz Frame Sequential 3D for resolutions up to WXGA, PC: 60Hz Top-bottom 3D for resolutions up to SXGA+, PC: 60Hz Frame Sequential 3D resolutions up to WXGA, Video: 60Hz Frame Sequential 3D for resolutions up to 480i
Interface	Computer in (D-sub 15pin) x 1 Composite Video in (RCA) x 1 S-Video in (Mini DIN 4pin) x 1 Component Video in x 1 (RCA x 3) Audio in (Mini Jack) x 1 Audio L/R in (RCA) x 2 Audio out (Mini Jack) x 1 Speaker 10W x 1 HDMI V1.3 x 2 USB (Type Mini B) x 1 (USB Download & Page up/down) RS232 (DB-9pin) x 1
Dimensions(W x H x D)	12.99 x 4.7 x 9.72 inches (330 x 119.5 x 247 mm)
Weight	7.9lbs (3.6 kg)
Power Supply	100 to 240 VAC, 50 to 60 Hz
Power Consumption	300W, Standby<1W
Audible Noise	31/28 dBA (Normal/Economic mode)
On-Screen Display Languages	Bulgarian/ Croatian/ Czech/ Danish/ Dutch/ English/ Finnish/ French/ German/ Greek/ Hungarian/Italian/ Indonesian/ Japanese/ Korean/ Norwegian/ Polish/ Portuguese/ Romanian/ Russian/ Simplified Chinese/Spanish/ Swedish/ Turkish/ Thai/ Traditional Chinese (26 Languages)
Picture Modes	Bright/Living Room/Gaming/Cinema/User 1/User 2
Accessories (Standard)	Remote Control w/ Battery, Power Cord (by region), User Manual CD, Quick Start Guide, Warranty Card (by region), VGA(D-sub 15pin) Cable, Carry Bag
Accessories (Optional)	Spare Lamp Kit P/N: 5J.J5105.001 Ceiling Mount P/N: 5J.J2K01.001 3D Glasses P/N: 5J.J0T14.011
Limited Warranty	1-Year Parts & Labor / 1-Year or 2000 hours of lamp life

*Lamp life results will vary depending on environmental conditions and usage. Actual product's features and specifications are subject to change without notice.

W710ST 10-12-11-US



BenQ America Corp.

15375 Barranca Parkway, Suite A-205, Irvine, CA 92618 ☎ Tel: (949) 255-9500 🌐 www.BenQ.us

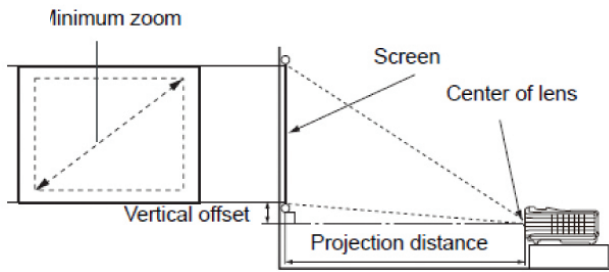
BenQ is a registered trademark of BenQ Corp. DLP is a registered trademark of Texas Instruments. All rights reserved. Corporate and trademarks are the property of their respective companies. Specifications subject to change without notice.



Enjoyment Matters

W710ST Digital Projector

Distance Chart

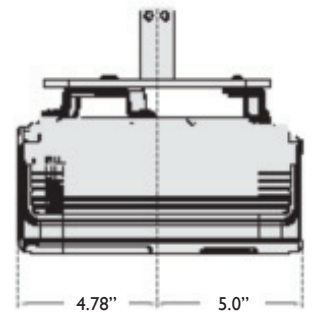
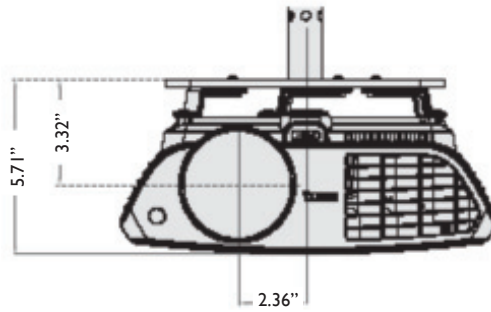
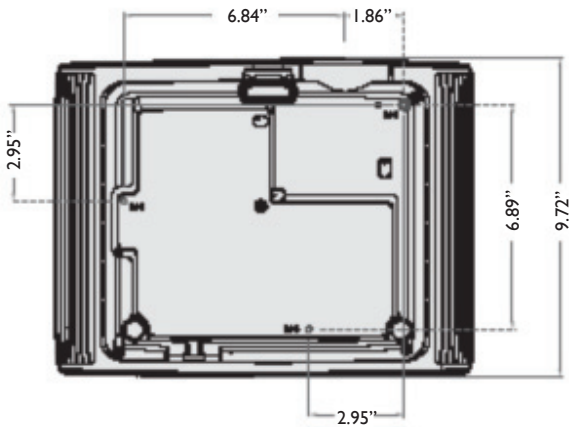


16:9 screen				Recommended projection distance from screen in mm			Vertical offset in mm
diagonal		Width	Height	Min length (with max. zoom)	Average	Max length (with min. zoom)	
Inches	mm	mm	mm				
34.30	871	759	427	-	-	600	77
40	1016	886	498	637	668	700	90
50	1270	1107	623	796	835	874	112
60	1524	1328	747	955	1002	1049	134
80	2032	1771	996	1273	1336	1399	179
100	2540	2214	1245	1592	1670	1749	224
120	3048	2657	1494	1910	2004	2099	269
150	3810	3321	1868	2388	2505	2623	336
188.5	4788	4173	2347	3000	-	-	423

Wall/Ceiling Mount Chart

Ceiling mount screws:

M4 x L8 (Max. L = .47", Min. L = .31")



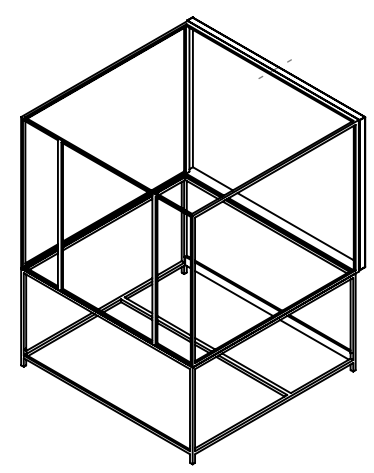
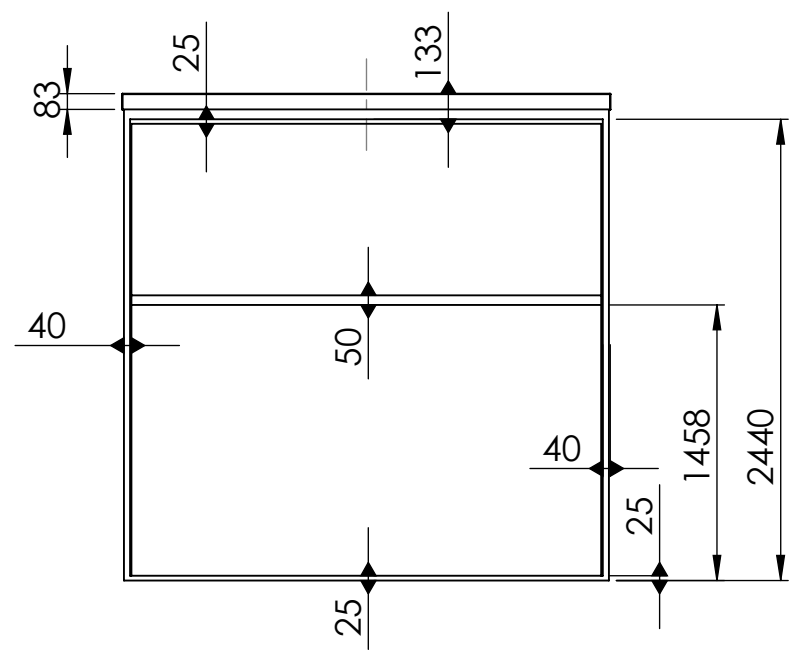
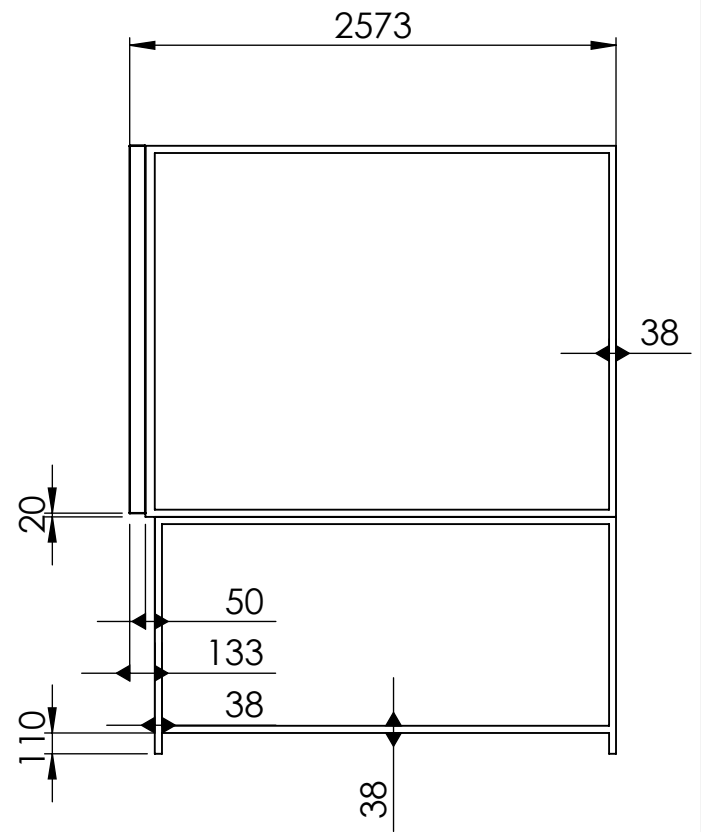
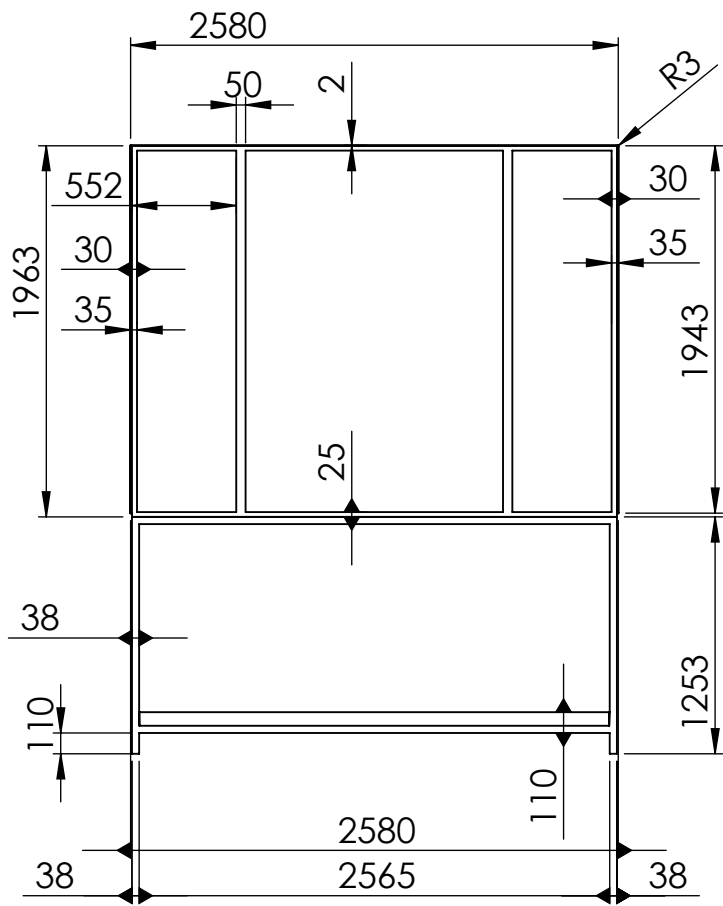
Unit: inch

Dimensions

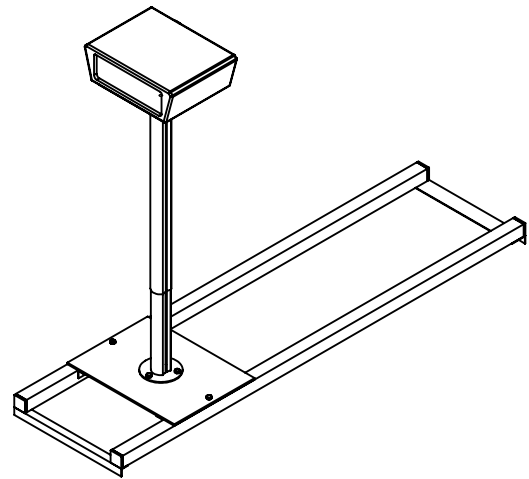
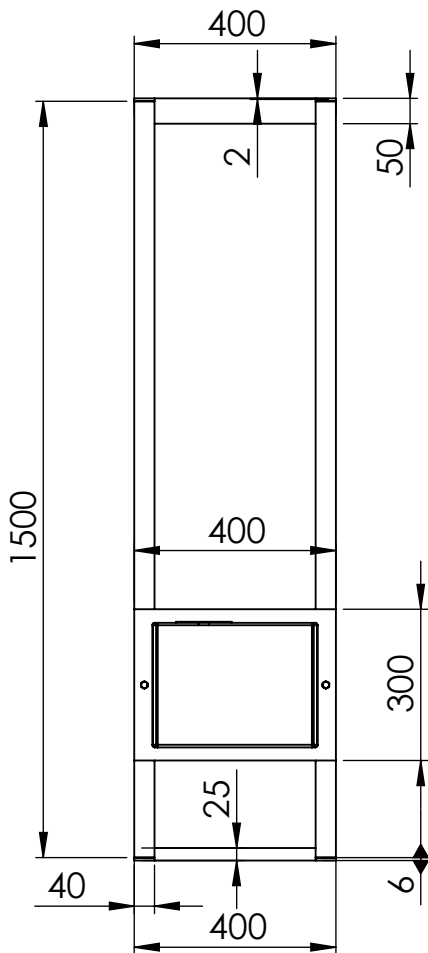
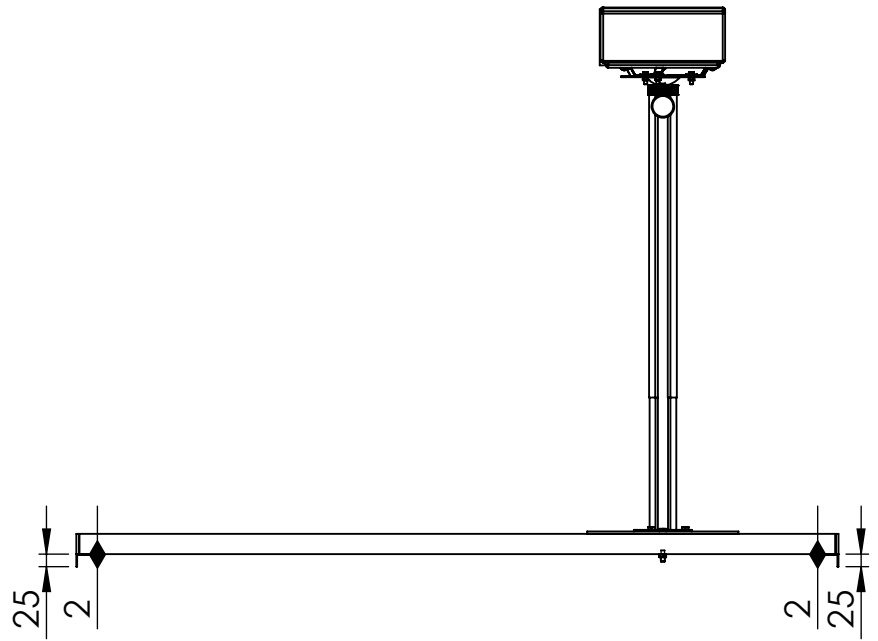
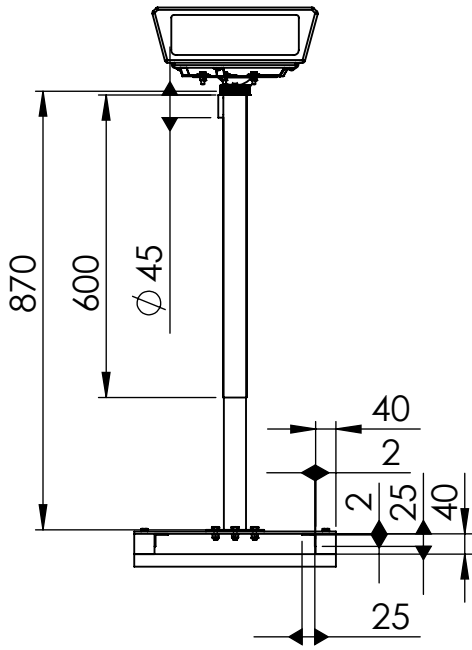


Appendice B - Tavole

- Modulo base
- Supporto BenQ W710ST
- Piattaforma di utilizzo



SE NON SPECIFICATO: QUOTE IN MILLIMETRI FINITURA SUPERFICIE: TOLLERANZE: LINEARE: ANGOLARE:		FINITURA:		SBAVATURA E INTERRUZIONE DEI BORDI NETTI		REVISIONE	
NOME		FIRMA		DATA		TITOLO:	
DISEGNATO		VERIFICATO		APPROVATO		RVE struttura modulo base	
FATTO		MATERIALE:		N. DISEGNO		Assieme 01	
QUALITA'		PESO:		SCALA:1:40		A4	
				FOGLIO 1 DI 2			



SE NON SPECIFICATO:
QUOTE IN MILLIMETRI
FINITURA SUPERFICIE:
TOLLERANZE:
LINEARE:
ANGOLARE:

FINITURA:

SBAVATURA E
INTERRUZIONE DEI
BORDI NETTI

REVISIONE

	NOME	FIRMA	DATA		
DISEGNATO					
VERIFICATO					
APPROVATO					
FATTO					
QUALITA'				MATERIALE:	
				Alluminio	
				PESO:	

TITOLO:

Supporto BenQ W710ST

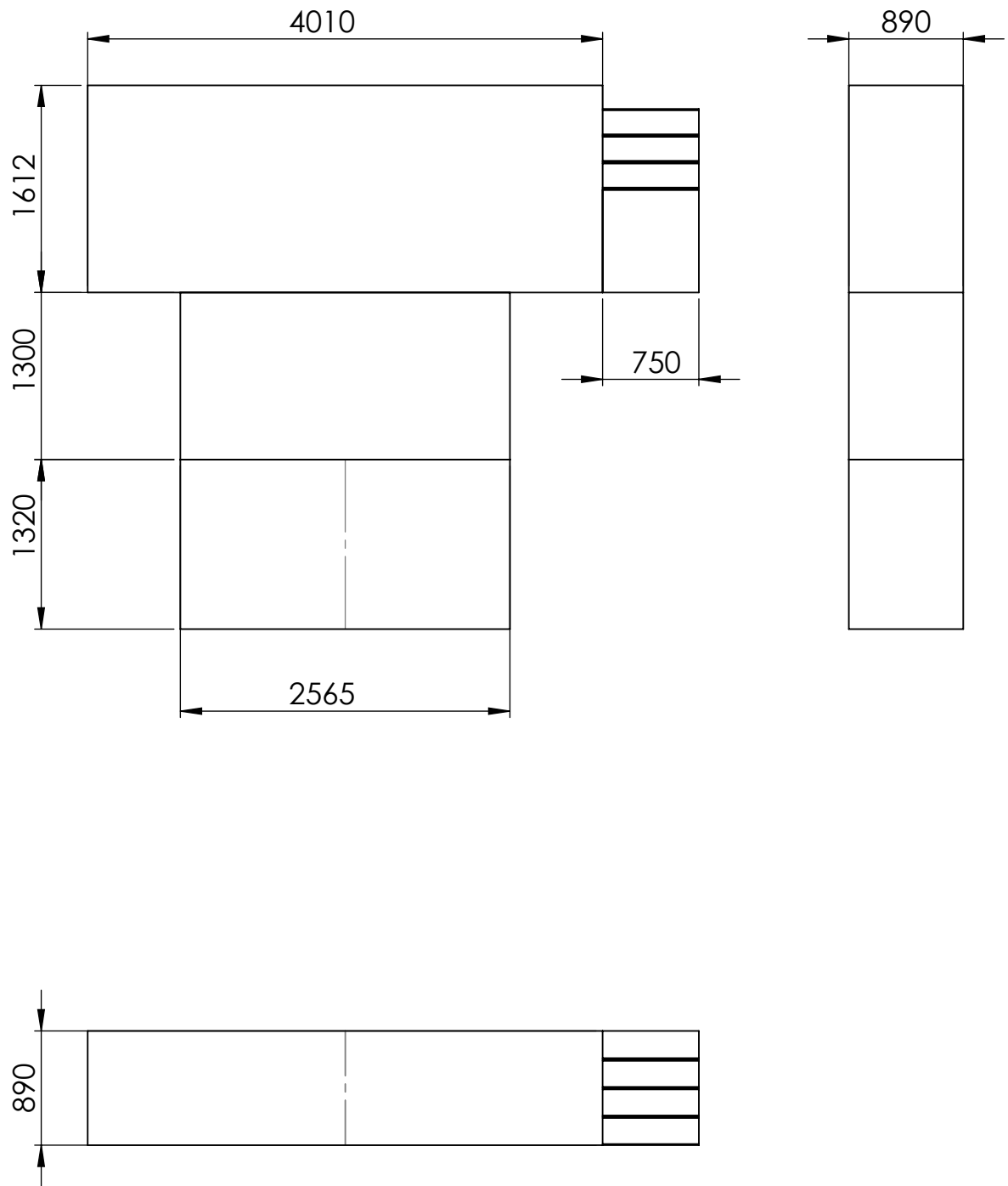
N. DISEGNO

Assieme 02

A4

SCALA:1:20

FOGLIO 2 DI 2



SE NON SPECIFICATO:
 QUOTE IN MILLIMETRI
 FINITURA SUPERFICIE:
 TOLLERANZE:
 LINEARE:
 ANGOLARE:

FINITURA:

SBAVATURA E
 INTERRUZIONE DEI
 BORDI NETTI

NON SCALARE IL DISEGNO

REVISIONE

	NOME	FIRMA	DATA		
DISEGNATO					
VERIFICATO					
APPROVATO					
FATTO					
QUALITA'				MATERIALE:	
				Legno ricoperto	

TITOLO:

RVE Piattaforma di utilizzo

N. DISEGNO

Assieme 03

A4

SCALA:1:50

FOGLIO 1 DI 1

Bibliografia

Publicazioni

- [1] Thomas A. DeFanti, Daniel Acevedo³, Richard A. Ainsworth⁵, Maxine D. Brown³, Steven Cutchin³, Gregory Dawe¹, Kai-Uwe Doerr¹, Andrew Johnson², Chris Knox³, Robert Kooima⁴, Falko Kuester¹, Jason Leigh², Lance Long², Peter Otto¹, Vid Petrovic¹, Kevin Ponto¹, Andrew Prudhomme¹, Ramesh Rao¹, Luc Renambot², Daniel J. Sandin², Jurgen P. Schulze¹, Larry Smarr¹, Madhu Srinivasan³, Philip Weber¹, Gregory Wickham³:
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
- ² Electronic Visualization Laboratory (EVL), University of Illinois at Chicago (UIC), Chicago, Illinois, USA
- ³ King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) Visualization Laboratory, Thuwal, Saudi Arabia
- ⁴ Center for Computation & Technology (CCT), Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA
- ⁵ Ainsworth & Partners, Inc., Ridgeway, Wisconsin, USA
- [2] Carolina Cruz-Neira[†], 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] Liverani, F. Persiani, F. De Crescenzo. An Immersive Reconfigurable Room (I.R.R.) for Virtual Reality Simulation. DIEM - University of Bologna, v.le Risorgimento, 2, 40136 Bologna

[4] Thomas A. DeFanti^a, Gregory Dawe^a, Daniel J. Sandin^b, Jurgen P. Schulze^a, Peter Otto^a, Javier Girado^c, Falko Kuester^a, Larry Smarr^a, Ramesh Rao^a.

The StarCAVE, a third-generation CAVE and virtual reality OptIPortal.

^a California Institute for Telecommunications and Information Technology (Calit2), University of California San Diego (UCSD), United States

^b Electronic Visualization Laboratory (EVL), University of Illinois at Chicago (UIC), United States

^c Qualcomm, Inc., United States

[5] Tom Peterka, Robert L. Kooima, Javier I. Girado, Jinghua Ge, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti: Evolution of the Varrier™ Autostereoscopic VR Display: 2001-2007. Electronic Visualization Laboratory University of Illinois at Chicago, Chicago IL 60607

[6] 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)

[7] Fabio Solari, Manuela Chessa, Matteo Garibotti, Silvio P. Sabatini. Natural perception in dynamic stereoscopic augmented reality environments. Department of Informatics, Bioengineering, Robotics and System Engineering – DIBRIS, University of Genoa, Via all’Opera Pia 13, 16145 Genova, Italy

Presentazioni

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

[9] Shalini Venkataraman. Warping &-Blending for Multi-Display Systems. Gpu Tecnology Conference

Manuali

[10] NVIDIA® Control Panel for Quadro Professional Drivers User’s Guide, DU-05524-310_v01 | October 24, 2012

[11] NVIDIA® Mosaic Technology User’s Guide, DU-05620-001_v03 | February 9, 2012

[12] NVIDIA® Quadro Sync User Guide, DU-06574-001_v01 | October 2012

[13] BenQ W700 / W710ST Digital Projector User Manual

[14] Visage Imaging Amira® 5.4 User's Guide

Documentazione Online

[15] EVL website: www.evl.uic.edu

[16] Calit2 website: <http://www.calit2.net>

[17] KAUST Visualization Laboratory website:
<http://kvl.kaust.edu.sa/Pages/Home.aspx>

[18] VRAC website: <http://www.vrac.iastate.edu>

[19] Mechdyne Corporation website: <http://www.mechdyne.com>

[20] NVIDIA® Global Website:
<http://www.nvidia.com/content/global/global.php>

[21] NVIDIA® GeForce® website:
<http://www.geforce.com/hardware/technology/3d-vision>

[22] NVIDIA® GeForce® website:
<http://www.geforce.com/hardware/technology/3dvision-surround>

[23] AMD® Eyefinity website:
<http://www.amd.com/us/products/technologies/amd-eyefinity-technology/Pages/eyefinity.aspx>

[24] Audio Video Magazine forum:
<http://www.avmagazine.it/forum/71-discussioni-generalisuhdtv/164056-panoramica-3d>

[25] 3D Vision Blog: <http://3dvision-blog.com>

-
- [26] Microsoft® Kinect for Windows® website:
<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [27] Microsoft® Kinect for Xbox website: www.xbox.com/kinect
- [28] Leap Motion website: <https://www.leapmotion.com>
- [29] Oculus VR™ Website: <http://www.oculusvr.com>
- [30] Sony® Personal 3D Viewer HMZ-T2:
<http://www.sony.it/hub/personal-3d-viewer>
- [31] IMAX® website: <http://www.imax.com>
- [32] Catia online documentation:
http://catiadoc.free.fr/online/cfyugvr_C2/cfyugvrut0102.htm
- [33] Rhinoceros® online documentation:
<http://wiki.mcneel.com/rhino/stereomode>