

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte quelle persone che mi hanno accompagnato nel corso di questi ultimi anni, in particolare:

Luca ed Andrea due splendidi e soprattutto pazienti amici.

Il Dottor Roffilli che mi ha seguito sin dall'esperienza del RadioLab.

Indice

INDICE	I
INDICE DELLE FIGURE.....	IV
INTRODUZIONE.....	1
IL FINE ULTIMO.....	1
GLI OBIETTIVI	2
DETTAGLIO DELLA TESI.....	2
1 L'OCCHIO UMANO	5
1.1 ANATOMIA DELL'OCCHIO UMANO	5
1.1.1 La retina.....	6
1.2 FUNZIONAMENTO DELL'APPARATO VISIVO.....	8
1.3 PERCEZIONE STEREOSCOPICA	8
1.3.1 Percezione stereoscopica fisica	9
1.3.2 Percezione stereoscopica a livello mentale	10
1.4 PRINCIPALI DISFUNZIONI DELL'OCCHIO UMANO	11
1.4.1 Ametropia	12
1.4.2 Ambliopia	12
1.4.3 Daltonismo	12
1.4.4 Diplopia	13
1.4.5 Strabismo	13
1.5 TEST STEREOSCOPICI	13
1.5.1 Test delle due matite.....	14
1.5.2 Test di Lang	14
1.5.3 Test di Titmus o della mosca.....	15
1.6 STEREOGRAMMI	15
1.6.1 Vedere lo stereogramma.....	16
2 TECNICHE STEREOSCOPICHE	19
2.1 STORIA DELLA STEREOSCOPIA	19
2.2 TEORIA DELLA STEREOSCOPIA ARTIFICIALE	21
2.3 STEREOSCOPIA ATTIVA.....	22

2.3.1 Tecnologia shutter.....	22
<i>Page flipping</i>	23
<i>Interlacing</i>	24
<i>Sync doubling</i>	24
2.3.2 Visori 3D.....	25
2.4 STEREOSCOPIA PASSIVA.....	26
2.4.1 Anaglifa	27
<i>Tecnica rosso-blu</i>	29
<i>Tecnica ocra-blu scuro</i>	29
<i>Tecnica rosso-ciano</i>	29
<i>Tecnica anacromatica</i>	29
<i>Tecnica rosso-verde chiaro</i>	30
2.4.2 CromaDepth o stereoscopia cromatica	30
2.4.3 Luce polarizzata lineare	31
2.4.4 Luce polarizzata circolare	32
2.4.5 Filtri polarizzati commutabili	33
2.5 AUTOSTEREOSCOPIA	34
2.6 CRONO STEREOSCOPIA	35
2.7 SISTEMI COMMERCIALI DI REALTÀ VIRTUALE	36
2.7.1 Teatro virtuale del CINECA	37
2.7.2 Cave	38
2.7.3 ImmersaDesk	39
2.7.4 Imax 3D	41
2.7.5 Virtual Room	42
2.7.6 TableTop	43
2.7.7 CRS4	44
3 REALIZZAZIONE DEL LABORATORIO VIRTUALE A BASSO COSTO	47
3.1 HARDWARE NECESSARIO	47
3.1.1 Proiettori	47
3.1.2 Pannello.....	48
3.1.3 Filtri.....	49
3.1.4 Occhiali	50
3.1.5 Computer.....	50
3.1.6 Scheda video	50
3.1.7 Demultiplexer	51
3.2 MONTAGGIO	51
3.3 SOFTWARE	53
3.3.1 OpenGL.....	53
<i>Macchina a stati finiti</i>	54
<i>La pipeline di rendering</i>	55
<i>Visualizzazione della scena</i>	56
<i>Stack</i>	58
<i>Proiezioni prospettiche</i>	58
<i>Glut</i>	59
<i>Glui</i>	60
3.3.2 SceneGraph	60

3.3.3 OpenSceneGraph	63
3.4 CODICE SORGENTE	63
3.5 RISULTATI SPERIMENTALI	66
4 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	69
4.1 CONCLUSIONI	69
4.2 L'EVOLUZIONE	70
4.2.1 Hardware	70
4.2.2 Software	71
4.3 OLOGRAFIA	72
BIBLIOGRAFIA	73

Indice delle figure

FIGURA 1.1: ANATOMIA DELL'OCCHIO.	6
FIGURA 1.2: ASSI VISUALI E CONVERGENZA.	9
FIGURA 1.3: CARTELLINA DEL TEST DI LANG.	14
FIGURA 1.4: TEST DI TITMUS.	15
FIGURA 1.5: STEREOGRAMMA RAFFIGURANTE UN QUADRIFOGLIO.	17
FIGURA 2.1: DISEGNO STEREOSCOPICO.	19
FIGURA 2.2: PAGE FLIPPING.	23
FIGURA 2.3: INTERLACING.	24
FIGURA 2.4: SYNC DOUBLING.	25
FIGURA 2.5: HDM USATO PER RICERCA NELLA AUTOMOBILISTICA.	26
FIGURA 2.6: ANAGLIFO DI UN AUTOMOBILE IN ROSSO E CIANO.	28
FIGURA 2.7: FOTOGRAFIA ALTIMETRICA DEL CONTINENTE NORD AMERICANO.	30
FIGURA 2.8: TRASFORMAZIONE DELLA LUCE IN LUCE POLARIZZATA.	32
FIGURA 2.9: LUCE POLARIZZATA CIRCOLARE.	33
FIGURA 2.10: FENOMENO DI PARALLASSE E ZONA STEREO.	35
FIGURA 2.11: RAPPRESENTAZIONE 3D DEL TEATRO VIRTUALE DEL CINECA.	37
FIGURA 2.12: UN SISTEMA CAVE-LIKE.	39
FIGURA 2.13: IL NUOVO IMMERSADESK R2.	40
FIGURA 2.14: STRUTTURA DI UNA SALA IMAX.	41
FIGURA 2.15: RICOSTRUZIONE ARTIFICIALE DI UNA SCENA NELLA VIRTUAL ROOM.	43
FIGURA 2.16: UTENTI DAVANTI AD UN TABLETOP.	44
FIGURA 2.17: DISPLAY DEL CRS4.	45
FIGURA 3.1: VIDEOPROIETTORI MONTATI SULL'APPOSITO SUPPORTO.	48
FIGURA 3.2: SUPPORTO DEI FILTRI POLARIZZANTI.	49
FIGURA 3.3: OCCHIALI POLARIZZANTI.	50
FIGURA 3.4: RICOSTRUZIONE SCHEMATICA DEL LABORATORIO VIRTUALE.	52
FIGURA 3.5: CREAZIONE DI LINEA DOTATA DI SMOOTH.	54
FIGURA 3.6: LA PIPELINE DI RENDERING DI OpenGL.	55

FIGURA 3.7: DISEGNO DI UN CUBO.....	57
FIGURA 3.8: DISEGNO DI DUE SFERE AFFIANCATE.	58
FIGURA 3.9: PROIEZIONE PROSPETTICA (A DESTRA), PROIEZIONE PARALLELA (A SINISTRA).....	59
FIGURA 3.10: RAPPRESENTAZIONE DELLO SCENEGRAPH.	61
FIGURA 3.11: UTILIZZO DELLO SCENEGRAPH IN OPENSCENEGRAPH.	62
FIGURA 3.12: INIZIALIZZAZIONE DELLA FINESTRA GRAFICA.....	64
FIGURA 3.13: GESTIONE DELLA MATRICE DI PROIEZIONE.....	64
FIGURA 3.14: DISEGNO DELLE DUE VISTE STEREOSCOPICHE.....	65
FIGURA 3.15: SCREENSHOT DEL PROGRAMMA SVILUPPATO CON SOTTO RIPORTATO UN DETTAGLIO.	66
FIGURA 3.16: UNO SCREENSHOT DI OSGVIEWER.	67
FIGURA 4.1: UN SISTEMA CROSSFIRE CON TRE SCHEDE VIDEO.	70
FIGURA 4.2: OLOGRAMMA A CARATTERE PUBBLICITARIO.	72

Introduzione

“Nel mondo della comunicazione, si dice sempre che un’immagine vale più di mille parole, ma se vi dimostrassimo che esiste un modo per andare ben oltre le immagini, allora esse quanto potrebbero valere?”

Il fine ultimo

La storia dell’evoluzione della razza umana è strettamente vincolata da uno dei suoi aspetti più peculiari e tipici: la comunicazione. Sin dai suoi albori, l’uomo ha cercato disperatamente e con ogni mezzo di poter comunicare ad altri suoi simili sentimenti ed informazioni. Col trascorrere del tempo si è passati dai primi graffiti nelle grotte e versi gutturali, a scritture cuneiformi, geroglifici ed opere d’arte come vasi ed utensili fino ad arrivare ai massimi vertici quali sculture tutto tonde, edifici monumentali e i moderni mezzi di comunicazione come la carta stampata ed internet.

L’uomo ha sempre cercato nuovi metodi per esprimere sempre gli stessi concetti affinché ne potesse comunicare via via sempre di più e in modo migliore, esattamente come il telegrafo ha soppiantato i pony express nel vecchio west e la stampa di Gutenberg ha evoluto la tecnica della stampa a blocchi.

Al giorno d’oggi il computer è uno dei mezzi principe attraverso il quale si visualizza dati di qualsiasi tipo. I dati, che possono essere simulazioni, filmati o giochi, sono visualizzati attraverso uno schermo che non è altro che una superficie 2D, anche se spesso la natura dei dati visualizzati è 3D. Visualizzare questi dati tridimensionali in modo tale che non perdano preziose informazioni riguardanti la profondità di campo o le dimensioni è uno degli obiettivi di questa tesi.

La realizzazione di un teatro virtuale rappresenta una delle ultime frontiere nella

rappresentazione di dati o filmati che permette di fornire agli utenti sempre maggiori informazioni rispetto a soluzioni architetture preesistenti. La stereoscopia è uno dei possibili mezzi attraverso i quali ci prefiggiamo il compito di comunicare sempre meglio.

Gli obiettivi

L'obiettivo che questa tesi si prefigge è quello di acquisire le conoscenze necessarie per realizzare un laboratorio virtuale che sfrutti tecniche stereoscopiche tenendo particolare attenzione al costo complessivo dell'impianto affinché sia economicamente fattibile per chiunque realizzare una struttura di questo tipo.

Un laboratorio virtuale rappresenta un punto di partenza per portare la ricerca scientifica o lo sviluppo di applicazioni come videogiochi a nuovi livelli introducendo nuovi gradi di libertà nella visualizzazione dei dati e per permettere agli utenti di “immergersi” letteralmente dentro le loro applicazioni. Un altro obiettivo della tesi è quello di ottenere un software versatile in grado di visualizzare dati tridimensionali sui quali effettuare test di prova, in modo da poter essere una base su cui sviluppare eventuali progetti futuri.

Oggigiorno al mondo esistono numerosi teatri virtuali e la loro importanza è senz'altro evidente, basti ricordare l'ottimo teatro virtuale del CINECA. Oggi quel teatro virtuale non è più un mezzo sul quale far evolvere preesistenti progetti scientifici, ma è diventato una preziosa risorsa sulla quale sperimentare nuove idee.

Dettaglio della tesi

Questo volume di tesi è suddiviso in quattro capitoli che descrivono le fasi e gli aspetti che hanno influenzato questo progetto e rappresenta un cammino teorico che fornisce tutte le conoscenze necessarie per utilizzare visioni stereoscopiche. Il volume di tesi è così suddiviso:

- Nel primo capitolo si parla dell'anatomia dell'apparato visivo umano e delle sue particolari peculiarità che regolano il processo di stereopsi e che quindi influiscono con visioni stereoscopiche artificiali. In seguito si elencano le malattie che influiscono sul processo stereoscopico e si parla

di alcuni efficaci metodi per accertarsi della salute del proprio apparato visivo.

- Nel secondo capitolo si inizia con un breve excursus riguardante la storia dell'evoluzione della stereoscopia arrivando ai giorni nostri elencando con cura tutte le tecniche inventate riguardanti la generazione di visioni stereoscopiche, ed in particolare alle loro principali applicazioni nell'allestimento di teatri virtuali.
- Nel terzo capitolo spieghiamo la realizzazione del progetto di tesi tramite un'esaustiva spiegazione al fine di permettere a chiunque di implementare un laboratorio virtuale a basso costo senza fatica utilizzando strumenti già pronti.
- Nel quarto capitolo analizziamo i risultati ottenuti tramite il nostro progetto di tesi e prevediamo la sua possibile evoluzione alla luce di nuove innovazioni tecniche riguardanti sia l'hardware che il software.

1 L'occhio umano

In questo capitolo si spiega brevemente l'anatomia dell'occhio umano al fine di disporre di un vocabolario minimo di termini da utilizzare nei capitoli successivi. In seguito si parla di alcuni aspetti significativi tipici dell'apparato visivo che influenzano la percezione di immagini binoculari e il loro processo di stereopsi. Per ultimo si parla delle disfunzioni dell'apparato visivo che possono interferire con l'acquisizione di immagini stereoscopiche, sia naturali che artificiali.

1.1 Anatomia dell'occhio umano

L'occhio è parte dell'apparato visivo, ha forma sferoidale ed è assai complesso [ILM07]. E' il principale mezzo di acquisizione d'informazioni del corpo umano, e già Aristotele 2300 anni fa affermava che la vista è il senso più importante di tutti.

Gli occhi sono pari e simmetrici, cioè si trovano alla stessa altezza e sono posizionati nelle *cavità orbitarie*, ben protetti dalle palpebre. Gli occhi sono collegati in modo incrociato tramite il *nervo ottico* direttamente all'emisfero del cervello opposto all'occhio stesso, cioè l'occhio destro invia le sue informazioni all'emisfero sinistro del cervello e viceversa.

L'occhio, semplificando il concetto il più possibile, può in un certo senso essere paragonato ad una macchina fotografica, se non altro perché dispone di una serie di obiettivi (la *cornea*, il *cristallino* ed il *corpo vitreo*), con regolazione dell'apertura (*iride*, *pupilla* e *palpebre*) e di una superficie sensibile alla luce come la pellicola su cui viene messa a fuoco l'immagine (la *retina*). L'occhio nella sua interezza, inoltre, è una vera e propria camera oscura composta di un bulbo oculare annerito all'interno, in modo tale che tutti i raggi luminosi che sfuggono al controllo del cristallino siano totalmente

assorbiti e non influenzino la messa a fuoco sulla retina disturbandola.

La superficie sensibile dell'occhio è, come abbiamo detto in precedenza, la retina costituita da miliardi di ricettori sensibili (i *bastoncelli* e i *coni*), il cui compito è quello di analizzare quantitativamente e qualitativamente la luce da cui sono colpiti e di inviare al cervello, tramite il nervo ottico, i dati ottenuti.

Il bulbo oculare è circondato da uno strato di materiale adiposo di colore bianco chiamato sclera che ha il compito di sostenere la struttura stessa dell'occhio; all'interno della sclera si trova la coroide che è un tessuto di colore nero al cui interno passano i vasi sanguinei e alcuni fasci di muscoli che hanno il compito di manovrare la pupilla, il cristallino e l'iride. Sopra la coroide vi si adagia la retina che è la parte terminale del nervo ottico.

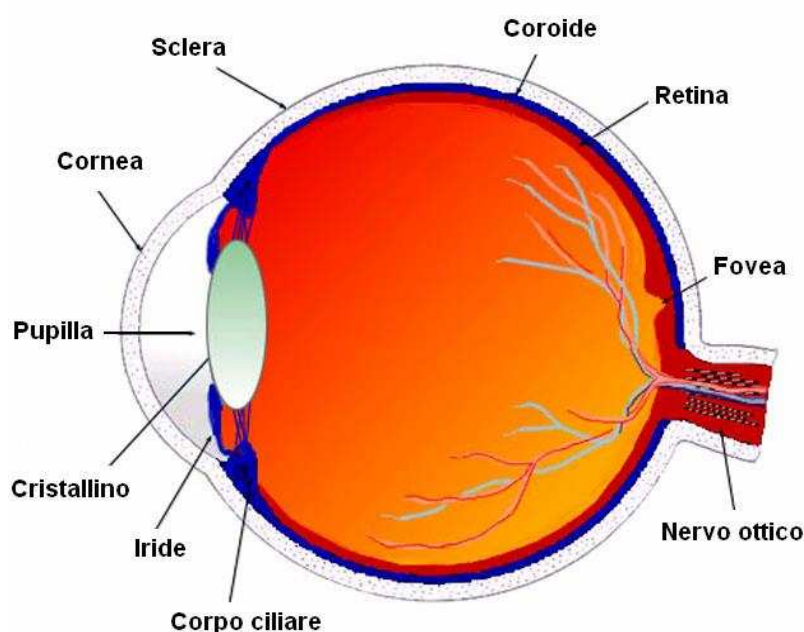


Figura 1.1: Anatomia dell'occhio.

1.1.1 La retina

La retina [RET07] è la parte più complessa dell'occhio e merita perciò un'analisi più dettagliata sul suo funzionamento e sulla sua composizione. La retina è una membrana semitrasparente che riveste l'interno della coroide. Sulla sua parte esterna, rivolta all'interno dell'occhio, sono disposti dei fotorecettori che hanno il compito di analizzare le immagini messe a fuoco; più all'interno della retina ognuno di questi fotorecettori termina in una terminazione nervosa che va a connettersi fin dentro il nervo ottico diretto fino alla corteccia del cervello.

La retina [FOT07] è sensibile alle onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda fra 400 e 700nm (la cosiddetta luce visibile) tramite la presenza di ben tre tipi distinti di coni; ognuno dei quali è in grado di distinguere uno dei tre colori primari (rosso, verde e blu) in tricromia. I coni quindi sono in grado di assorbire i fotoni della luce e trasformare queste informazioni in impulsi chimico-elettrici da inviare tramite nervo ottico.

I bastoncelli invece sono i responsabili della percezione dell'intensità luminosa; e sono in grado assieme ai coni di fornire informazioni suppletive sul contrasto e sui contorni degli oggetti della scena vista. Inoltre i bastoncelli sono gli unici ricettori della retina in grado di funzionare in condizioni di scarsa illuminazione; per questo motivo di notte al buio sembra di vedere quasi in bianco e nero.

I coni e i bastoncelli non sono distribuiti uniformemente sulla superficie della retina, ma sono molto più concentrati nella fovea al centro della retina e diminuiscono di densità mano a mano che ci si allontana dal centro verso l'area esterna della retina. Addirittura all'estremità del campo visivo, in una sottile striscia di pochi micromillimetri i coni scompaiono, rimangono solo i bastoncelli e si può vedere in bianco e nero; però riuscire ad accorgersene è difficilissimo.

La fovea è una piccola zona centrale della retina vicino al nervo ottico che forma un avvallamento al fine di aumentare la superficie a disposizione per i bastoncelli e i coni, come si può vedere in Figura 1.1. In questo modo incrementando considerevolmente il numero dei recettori in quella area si può fornire un maggior dettaglio visivo, che sarà prontamente analizzato dal cervello. Tuttavia tanto per fare un esempio se la visione totale dell'occhio da fermo abbraccia un campo di 140° in senso orizzontale e di circa 120° in senso verticale, la visione della fovea abbraccia un campo di poco più di 1 grado in entrambi gli assi.

Nella corteccia del cervello l'area destinata ad analizzare le informazioni visive ha una sua parte molto consistente atta ad analizzare solo le informazioni provenienti dalla fovea. Si può affermare quindi che nonostante l'ampiezza del campo visivo solo su una sua piccola parte si concentra l'attenzione del cervello, mentre il resto della scena viene analizzato con minore cura. Un tipico esempio che riguarda questo effetto è quello della lettura di una pagina stampata; la parola che si legge è sempre nitida, mentre quelle più distanti perdono di dettaglio.

1.2 Funzionamento dell'apparato visivo

La luce riflessa dal mondo che ci circonda passa attraverso la lente della cornea che ha il compito di concentrare i fasci luminosi e orientarli verso il centro del cristallino. La lente principale dell'occhio, il cristallino, grazie all'azione dell'iride e della pupilla si dilata o si restringe, tramite i muscoli della coroide e delle palpebre, a seconda delle condizioni visive per adattarsi ad osservare un oggetto vicino o lontano tramite una buona messa a fuoco. La luce che passa attraverso il cristallino viene ulteriormente filtrata e depurata di eventuali anomalie dal corpo vitreo e raggiunge infine la retina.

Il procedimento sopra descritto è valido per ciascun occhio. Il cervello riceve quindi attraverso i nervi ottici due immagini della stessa scena ma leggermente differenti l'una dall'altra. Questo avviene perché gli assi visivi dei nostri occhi non sono paralleli, bensì sono leggermente convergenti e permettono di osservare un oggetto da due punti di vista differenti; in un secondo momento il cervello si occuperà di unificare queste due viste diverse e ci fornirà un'immagine tridimensionale completa.

L'apparato visivo umano è caratterizzato quindi da una visione binoculare, che implica la presenza di due occhi allineati i cui assi visivi sono rivolti in una particolare direzione non troppo divergente tra loro (il camaleonte che possiede due occhi indipendenti tra loro non è dotato di visione binoculare). In aggiunta il nostro apparato visivo è anche di tipo stereoscopico che specializza la visione binoculare e che comporta la convergenza degli assi visivi verso un determinato punto di osservazione.

La parte finale dell'apparato visivo è costituito dal cervello, in particolare da una zona della corteccia cranica che ha il compito di unificare le visioni stereoscopiche degli occhi in un'unica immagine fornendo una visione del mondo unica, detta visione ciclopica, infatti, il nostro cervello vede come se avessimo un solo occhio.

1.3 Percezione stereoscopica

La sensazione di profondità e di tridimensionalità che abbiamo, quando si osserva una particolare scena ci è data dal fatto che possediamo non uno, ma due organi in grado di catturare la luce [CAN02]. Gli occhi, essendo distanziati tra loro all'incirca di 6,5cm (fattore che varia a seconda dell'età e della razza), ci permettono di ottenere due immagini bidimensionali piatte, che poi sarà compito del cervello riunire in

un'unica scena tridimensionale che ci permette di ottenere informazioni aggiuntive su profondità, distanza, proporzioni e sui contorni degli oggetti della scena che altrimenti con un occhio solo non saremmo in grado di apprezzare.

1.3.1 Percezione stereoscopica fisica

Le immagini che gli occhi forniscono al cervello non sono uguali come si potrebbe immaginare, bensì sono leggermente diverse. Per scoprire queste piccole differenze che si possono notare osservando un punto fisso di un particolare oggetto presente nella scena, basta chiudere alternamente un occhio dietro l'altro e fare attenzione ai particolari. Tramite questo esperimento si vede che ogni occhio cattura una prospettiva della scena leggermente differente da quella catturata dall'altro occhio; specialmente se l'oggetto in questione è vicino all'osservatore.

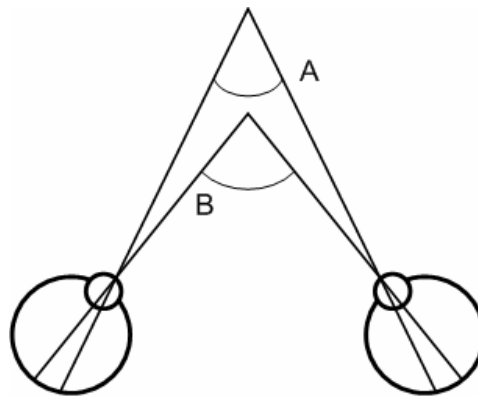


Figura 1.2: Assi visuali e convergenza.

Questo effetto percettivo che prende il nome di stereoscopia o stereopsi è legato all'angolo di convergenza degli assi visivi che partono dalle fovee degli occhi, attraversano il centro del cristallino e si incontrano sull'oggetto della scena osservata (punto di fissazione). La vicinanza o l'eccessiva lontananza del punto di fissazione rispetto all'osservatore può rendere inefficace questo meccanismo.

L'angolo formato dall'incrocio degli assi visivi prende il nome di *parallasse stereoscopica angolare*, o *angolo della parallasse stereoscopica*, ed è tanto più piccolo quanto più distante è il punto che si sta osservando, e viceversa; proprio come si vede in Figura 1.2, dove l'angolo A è minore dell'angolo B perché il punto di fissazione è più lontano. Da ciò si evince che la stima sarà tanto più precisa quanto più grande è lo stesso angolo, dunque quanto più vicino è l'oggetto. Se però il punto osservato è molto vicino (meno di 15cm), ovvero l'angolo suddetto supera un certo limite, si ha maggiore

difficoltà a far convergere gli assi visivi con il conseguente sdoppiamento dell'immagine; se invece il punto osservato è molto lontano (oltre 30m), l'angolo in questione è molto piccolo e i due occhi catturano immagini molto simili tra loro rendendo inutile il processo di stereopsi.

Deduciamo quindi che il processo stereoscopico è utile per analizzare solamente il mondo che ci circonda da vicino.

1.3.2 Percezione stereoscopica a livello mentale

La visione stereoscopica vera e propria non si origina nella retina, anche se lì affonda le sue radici, ma si forma a livello della corteccia, dove le due immagini stereoscopiche vengono fuse in un'unica immagine creando una visione tridimensionale completa della scena.

Una volta ottenuta questa immagine tridimensionale si attiva una zona chiamata corteccia striata all'interno della corteccia in cui dei neuroni specializzati analizzano le differenze delle immagini provenienti da ogni retina e le confrontano con l'immagine tridimensionale unificata e si ottengono informazioni sulla posizione degli oggetti presenti nella scena che si osserva. Questa fase del processo di stereopsi si chiama *stereopsi primaria*, ed avviene inconsciamente in tempo reale senza alcuna possibilità di accorgersi di questo fenomeno, solo nell'area di visione in cui il processo stereoscopico può avvenire, dai 15 cm di distanza dall'osservatore fino ai 30m.

Un'ulteriore fase di raccolta di informazioni si genera in un secondo momento e si chiama *stereopsi secondaria* e differisce molto dalla stereopsi primaria. Mentre dalla prima fase si ottengono solo informazioni precise e corrette, nella seconda fase interviene l'intelligenza umana che interpreta a seconda della propria esperienza l'immagine tridimensionale; a volte fornendo anche informazioni sbagliate.

La stereopsi secondaria quindi è un processo indipendente dalla visione binoculare, che può quindi funzionare anche osservando la scena con un solo occhio, oppure osservando oggetti presenti nella scena molto distanti, nei casi in cui la stereopsi primaria non è in grado di funzionare.

Gli elementi di valutazione della profondità e dei contorni della stereopsi secondaria sono essenzialmente sette [STE07] e [VIN84], e sono gli stessi utilizzati per valutare la profondità in un'immagine bidimensionale, come potrebbe essere una cartolina, un disegno od un film al cinema:

1. Conoscenza dell'oggetto in questione: se si conoscono le dimensioni se ne può valutare l'area che occupa nella scena e capire qual è la distanza.
2. Sovrapposizione degli oggetti: se un'immagine è parzialmente coperta da un'altra, la seconda, logicamente, è più vicina della prima;
3. Prospettiva lineare: le linee parallele, come quelle dei binari, tendono a convergere con la distanza; tanto maggiore è la convergenza, tanto maggiore è la distanza degli oggetti nella scena in cui avviene la convergenza stessa.
4. Distribuzione delle ombre e della illuminazione: le macchie di colore più luminose tendono ad essere viste come più vicine.
5. Movimento di parallasse: se si muove la testa o il corpo da una parte all'altra, le immagini degli oggetti presenti nel campo visivo si muovono sulla retina. Gli oggetti più vicini sembrano muoversi più velocemente ed in senso inverso ai nostri movimenti, gli oggetti più lontani sembrano muoversi più lentamente.
6. La prospettiva aerea: è dimostrabile che l'atmosfera influenza il contrasto ed il colore degli oggetti situati più lontano facendoli sembrare ancora più lontani di quello che sono.
7. Visione notturna: di notte i coni che formano la retina non funzionano bene e il senso di contrasto che è fornito dall'azione combinata di bastoncelli e coni ne risente causando una diminuzione di acutezza della stereopsi.

Questi sette metodi nella realtà funzionano molto bene, tuttavia ci sono situazioni particolari o insolite che portano il cervello a fornirci informazioni sbagliate perché il processo di analisi del mondo che ci circonda non è mai sufficientemente preciso.

1.4 Principali disfunzioni dell'occhio umano

L'occhio si sa non è uno strumento perfetto ed è spesso soggetto ad anomalie o malattie che possono essere attribuite a svariate cause, sia genetiche oppure legate alla vecchiaia. Le tecniche stereoscopiche che tratteremo nel capitolo successivo si basano su determinati presupposti di funzionamento dell'occhio. Analizzeremo di seguito alcune disfunzioni che possono impedire alle persone di usare tecniche di stereoscopia.

1.4.1 Ametropia

L'ametropia o errore di rifrazione [WIK07s] è una condizione dell'occhio nella quale si ha un'errata messa a fuoco della luce sulla retina. La conseguenza primaria è la riduzione di acutezza visiva, che può essere accompagnata da una sintomatologia che dipende dal tipo di ametropia.

Questa condizione costringe la persona che ne è soggetta a portare occhiali con lenti correttive per garantire un'ottimale messa a fuoco della luce sulla retina. L'anomalia in questione non pregiudica la capacità dell'apparato visivo di percepire immagini stereoscopiche in quanto l'uso di occhiali non influenza tale processo. Le tecniche di stereoscopia richiedono l'uso di particolari occhialini stereoscopici che per persone che già portano un paio d'occhiali possono procurare un certo grado di fastidio, dovuto alla sovrapposizione di due paia di occhiali che non garantisce una perfetta visione, né stabilità. Esistono in commercio occhialini stereoscopici progettati ad hoc in grado di sovrapporsi ai normali occhiali da vista ma non sono molto diffusi.

Si possono distinguere quattro tipi di ametropia: *miopia*, *astigmatismo*, *anisometropia* ed *ipermetropia*; tutte caratterizzate dal fatto che è necessario portare occhiali o lenti correttive.

1.4.2 Ambliopia

L'ambliopia [CAP04] è un'alterazione della visione dello spazio che viene a manifestarsi inizialmente durante i primi anni di vita; ma può anche essere visto come un caso particolare di ametropia. Un altro termine tipico con il quale si identifica questa alterazione è detto occhio pigro. L'effetto principale è un comune deficit dell'acutezza visiva (miopia o anisometropia) e si considera ambliope un occhio che ha almeno una differenza di 3/10 rispetto all'altro. Questa disfunzione porta una diminuzione della capacità stereoscopica tale che il soggetto vede meglio con il solo occhio sano piuttosto che con l'utilizzo di entrambi gli occhi. L'uso di lenti correttive può ridurre il gap tra i due occhi e ripristinare la visione stereoscopica del soggetto.

1.4.3 Daltonismo

Il daltonismo [DAL07] consiste nella perdita di sensibilità verso certi colori. Forme comuni di daltonismo includono la difficoltà a distinguere tra rosso e verde o tra giallo e blu. A volte il daltonismo può avere come conseguenza l'impossibilità di

distinguere un particolare tipo di colore [PRO07a].

Le tecniche di stereoscopia ed in particolare l'anaglifa si basano sulla divisione delle immagini stereoscopiche utilizzando filtri colorati, e questo può creare seri problemi all'apparato visivo di una persona daltonica specie se i colori dei filtri corrispondono ai colori mal interpretati dalla persona stessa.

Altre tecniche di stereoscopia funzionano su principi tecnici diversi che non comportano particolari problemi alle persone daltoniche che possono quindi vedere queste immagini stereoscopiche correttamente.

1.4.4 Diplopia

La diplopia [NUC07] è un'alterazione dell'apparato visivo che porta alla mancata fusione delle immagini fornite dalle due retine al cervello tramite il nervo ottico; e quindi causa uno sdoppiamento dell'immagine negando perciò alle persone che ne sono soggette la visione binoculare, e quindi anche la visione stereoscopica.

Questa condizione fortunatamente non è né ereditaria né causata da malattia, ma è causata da traumi o lesioni agli occhi, in particolare al nervo ottico.

1.4.5 Strabismo

Lo strabismo [STR07] rappresenta una deviazione di allineamento degli assi visivi, causati da un malfunzionamento dei muscoli che governano il movimento dei bulbi oculari, in genere solo un occhio è interessato. Questa condizione pregiudica la normale convergenza degli assi visivi e a seconda di quanto è grande questa disparità nella convergenza distinguiamo due tipi diversi di strabismo.

Se la disparità di convergenza rientra nell'area di Panum, ovvero in quella porzione di spazio in cui sussiste una tolleranza nel processo di convergenza, si parla di *eteroforia* che garantisce nei casi più lievi la visione stereoscopica, anche se leggermente distorta. Nell'altro caso si parla, invece, di *eterotrofia*, quando la disparità di convergenza fuoriesce dall'area di Panum; la visione stereoscopica è compromessa e in particolari casi i soggetti coinvolti vedono immagini sovrapposte.

1.5 Test stereoscopici

Molti disturbi dell'apparato visivo negano o rendono difficile la visione

stereoscopica, e in alcuni casi il disturbo è tanto lieve che il soggetto affetto neanche se ne rende conto. Esistono alcuni test [UNT07] che forniscono una stima più o meno precisa della capacità stereoscopica delle persone.

1.5.1 Test delle due matite

Questo test in genere è lampante ed i suoi risultati sono immediati e non richiede strumenti specifici come stereoscopi o strumenti di oculistica.

Un operatore si pone di fronte al soggetto e infila una penna nel suo cappuccio tenendola davanti alla faccia del soggetto ad una trentina di centimetri di distanza. Sempre mantenendo il cappuccio nella propria mano, l'operatore chiede al soggetto di infilare la penna dentro al cappuccio schermando prima un occhio poi l'altro, ed infine in visione binoculare. In visione monoculare il test richiede più tentativi, mentre in visione binoculare dovrebbe bastare un unico deciso movimento.



Figura 1.3: Cartellina del Test di Lang.

1.5.2 Test di Lang

Questo test [LAN07a] è formato da una cartolina di plastica di notevole spessore formata da due strati. Sul primo strato c'è uno stereogramma pseudo-aleatorio di Julesz; ovvero una serie di punti bianchi e neri distribuiti con pari probabilità. All'interno di questo stereogramma ci sono delle figure particolari dove la probabilità della distribuzione dei punti bianchi e neri non è paritaria. Sul secondo strato disposto sopra al primo sono posizionati dei prismi “biforcuti” che indirizzano la luce in due direzioni

divergenti verso ciascun occhio del soggetto.

In visione monoculare questi stereogrammi non rivelano alcun contorno, mentre in visione binoculare le aree che producono una disparità orizzontale vengono viste in rilievo.

1.5.3 Test di Titmus o della mosca

Ha grande diffusione il test di Titmus [TIT07], basato sull'utilizzo di un paio di occhiali rossi e verdi dove su una serie di schede è raffigurata una mosca in anaglifa.

Ognuna di queste schede è via via sempre più opaca e sfumata in modo da rendere difficile la visione stereoscopica; in questo modo si stima abbastanza bene la capacità stereoscopica del soggetto che è tanto più elevata tanto è maggiore il numero di schede che si riescono a riconoscere.



Figura 1.4: Test di Titmus.

1.6 Stereogrammi

Lo stereogramma [FRA07] è un'illusione ottica creata da particolari immagini che affiancate e ripetute inducono chi guarda lo stereogramma a vedere una particolare figura in rilievo.

Per creare uno stereogramma sono necessarie due immagini; la prima è l'immagine tridimensionale in bianco e nero che si vuole celare e la seconda è la texture dietro alla quale si vuole nascondere la prima immagine.

Lo stereogramma finale è costituito da una successione di strisce verticali composte dalle texture larghe diversi millimetri che differiscono tra loro leggermente. Quando l'osservatore tenta di mettere a fuoco non la figura piana, ma un punto immaginario dietro il disegno, il suo cervello è ingannato ed interpreta due strisce affiancate come se fossero la stessa attribuendo quindi alle piccole differenze tra le strisce stesse una realtà tridimensionale. In genere si usa un particolare software per realizzare gli stereogrammi; farli a mano è difficilissimo.

1.6.1 Vedere lo stereogramma

Per vedere le immagini tridimensionali nascoste nello stereogramma occorre rilassare la muscolatura degli occhi, scegliendo una posizione tranquilla e ben illuminata, sedendosi con la schiena dritta e cercando di avere lo stereogramma a livello degli occhi; mai avere il centro dello stereogramma sopra o sotto il livello degli assi visivi degli occhi.

Al fine di vedere l'immagine nascosta dentro uno stereogramma è necessario fissarlo per qualche istante e tentare di mettere a fuoco l'immagine cose se si stesse osservando in realtà un oggetto che si trova dietro allo stereogramma. Ad un certo punto l'immagine nascosta dentro allo stereogramma sarà visibile.

Un altro modo per vedere gli stereogrammi; consiste nell'appoggiare la punta del naso sullo stereogramma e aspettare che la vista si annebbi leggermente, poi si allontana lo stereogramma e lentamente si dovrebbe vedere l'immagine nascosta.

Un'altra tecnica chiamata l'incrocio degli occhi richiede l'interposizione di un dito o una penna tra l'immagine e gli occhi. Una volta che si è fissata la penna, l'immagine dietro si sfuoca, poi lentamente si diminuisce gradualmente la distanza tra dito e immagine. Al raggiungimento della posizione corretta, cioè il dito tocca l'immagine, apparirà l'immagine tridimensionale.

Non è consigliabile dedicare a questo passatempo più di dieci minuti in modo da non sforzare la vista e rischiare lo strabismo.

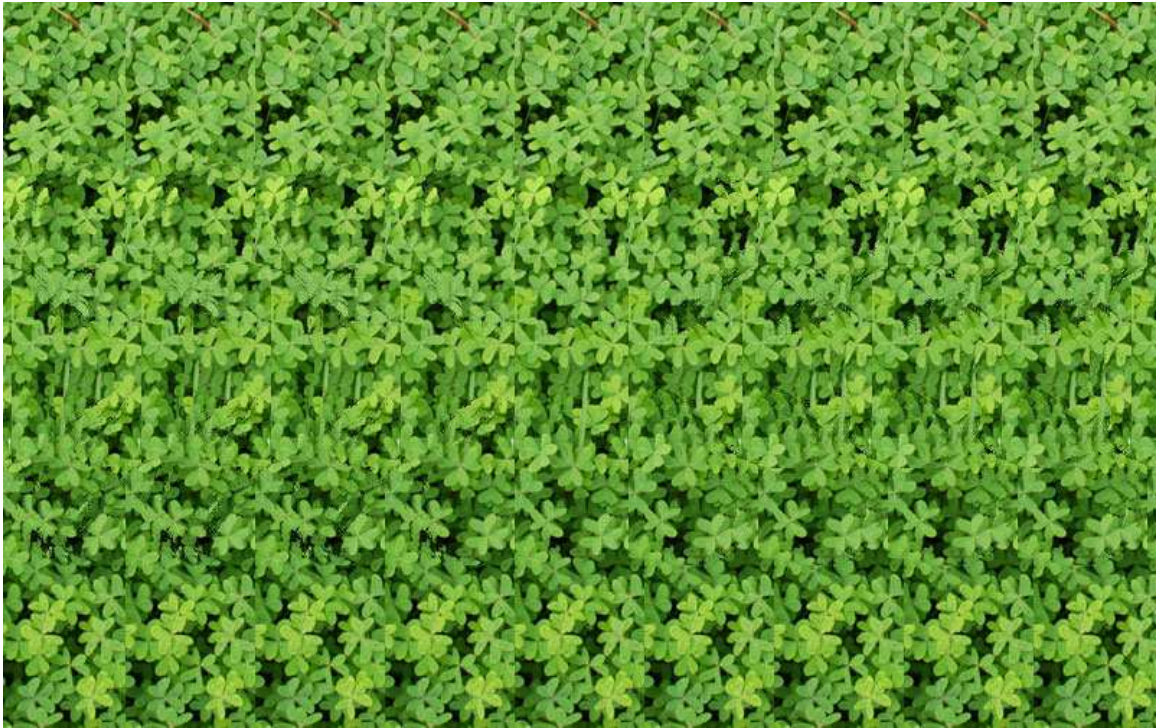


Figura 1.5: Stereogramma raffigurante un quadrifoglio.

2 Tecniche stereoscopiche

In questo capitolo trattiamo la storia della stereoscopia dai suoi albori fino ai giorni nostri elencando con cura tutte le principali tecniche di visione stereoscopica e molte delle più importanti installazioni di realtà virtuale che adottano tali tecniche.

2.1 Storia della stereoscopia

La stereoscopia è stata scoperta da Euclide (matematico greco vissuto a cavallo del 300 a.c.) quando capì i principi della visione stereoscopica e li trattò nell'opera chiamata "L'ottica" [EUC07]. Questo concetto fu utilizzato a quei tempi per il disegno e la progettazione di edifici e templi; tenendo conto di come l'occhio umano vede e distorce il mondo che lo circonda.

Le teorie di Euclide furono riprese nel 1584 da Leonardo da Vinci in uno studio sulla percezione della profondità (Trattato sulla pittura) [VIN84]. Jacopo Chimenti da Empoli, su ispirazione del sommo maestro, realizzò nel 1600 disegni affiancati che chiaramente dimostrano la comprensione della visione stereoscopica come si può vedere nella Figura 2.1. Nel 1613 il padre gesuita Francois d'Aguillion coniò in un suo trattato il nuovo termine "stéréoscopique", e da allora lo si è sempre utilizzato.

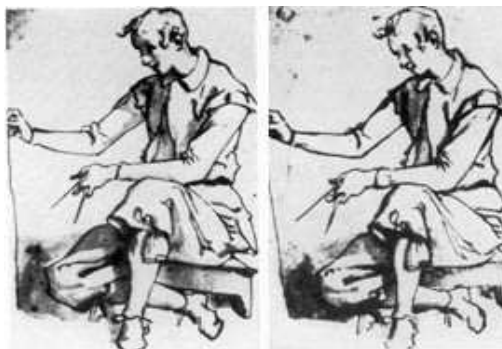


Figura 2.1: Disegno stereoscopico.

Nel 1838 il Professor Sir Charles Wheatstone dimostrò che, piazzando due disegni leggermente diversi l'uno accanto all'altro e osservandoli attraverso un sistema di specchi prismi e lenti, è possibile produrre in modo artificiale l'effetto della visione tridimensionale; venne così costruito il primo stereoscopio. Nel 1849, Sir David Brewster, sull'onda del successo dello stereoscopio, inventò il caleidoscopio e anni più tardi riuscì a costruire una versione meno complessa e più economica dello stereoscopio.

Il boom del successo della stereoscopia dovette aspettare l'invenzione della macchina fotografica da parte di Henry Fox Talbot e Louis Jacques Mandé Da Guerre nel 1839, che permise di produrre immagini stereoscopiche molto più precise dei disegni fatti a mano sino a quel momento, garantendo una sensazione e una percezione di profondità mai vista fino a quel momento.

Il successo della tecnica della stereoscopia tramite i suoi due strumenti più importanti: lo stereoscopio e la macchina fotografica stereoscopica, portò entro la metà del secondo secolo dell'ottocento alla vendita di oltre mezzo milione di stereoscopi.

Agli inizi del novecento il procedimento della fotografia stereoscopica fu esteso anche all'ambito dell'allora appena nato cinematografo. I fratelli August e Louis Lumière produssero nel 1903 il primo film stereografico (*L'arrivée du train*) che si basava sulla tecnica dell'anaglifa (vedi Paragrafo 2.4.1).

Nel 1921, in America, fu presentato uno spettacolo chiamato Teleview. Esso utilizzava un nuovo sistema di stereografia, messo a punto da Laurens Hammond e William F. Cassidy. Il procedimento consisteva nella rapida proiezione di immagini in bianco e nero che si alternavano su uno schermo. Ogni spettatore aveva un particolare visore, al cui interno c'era un otturatore sincronizzato con il proiettore. Quando veniva proiettata l'immagine destinata all'occhio destro l'otturatore copriva la vista al sinistro e viceversa; una tecnica precursore degli attuali occhiali shutter (vedi Paragrafo 2.3.1).

L'introduzione della stereografia nel cinema ha portato a svilupparsi tutte le attuali tecniche stereografiche che vedremo nei successivi paragrafi [PIC01a], e che oggi si sono diffuse negli ambiti televisivi, ludici e scientifici.

Dopo gli anni trenta l'interesse per il cinema tridimensionale scemò al punto tale che oramai nessuno investiva più in quel tipo di pellicole; il costo di sviluppo di un film del genere era ancora troppo alto, così per i successivi cinquant'anni a parte qualche novità a scopo pubblicitario, non ci fu alcun sostanziale cambiamento nel mondo della

stereoscopia a livello commerciale.

Dagli anni novanta la tecnologia si è evoluta al punto tale che l'uso della stereoscopia ha incominciato a diffondersi sempre più in numerosi settori tecnologici permettendo la realizzazione di impianti sempre più perfezionati ed economici. Canali satellitari specializzati nella proiezione di film tridimensionali, cinema stereoscopici nei principali parchi divertimenti, musei di ogni parte del mondo, centri di ricerca e scuole utilizzano sempre di più queste tecnologie.

2.2 Teoria della stereoscopia artificiale

Stereoscopia significa “visione spaziale”, e deriva dalle parole greche “stereo”che significa “spazio”e “skopein”che vuol dire “vedere” [BER07]. Le tecniche di stereoscopia inventate negli ultimi decenni mirano a riprodurre, in sede di visualizzazione, la stessa configurazione fisica, che si ha durante l'osservazione di una scena da parte di un osservatore reale. Posto quindi che il sistema di ripresa simuli un osservatore medio, con tutte le sue caratteristiche fisiche, e che quindi produca una coppia di immagini con una data geometria, il problema fondamentale dei sistemi di visualizzazione consiste nel veicolare ciascuno dei segnali visivi all'occhio corrispondente e solo a quello, senza influenzare la ricezione del segnale dell'altro occhio.

Il problema di inviare l'immagine corretta all'occhio corrispondente non è stato risolto in maniera definitiva. Negli ultimi decenni sono state inventate decine di tecniche ognuna delle quali è sicuramente valida in una determinata situazione. Tuttavia oggi non esiste una tecnica chiaramente superiore alle altre, soprattutto se si vuol far coincidere la qualità della visione stereoscopica e l'esigenza di spendere poco.

Sfruttare le varie proprietà della luce visibile, cioè luminosità, frequenza d'onda e polarizzazione e le capacità dell'apparato visivo umano, cioè visione stereoscopica e i limiti fisici dell'occhio, rappresentano l'unica parte della ricerca sulla stereoscopia artificiale sulla quale è possibile lavorare per rendere l'esperienza più realistica possibile. Nei paragrafi successivi si prenderanno in considerazione le principali tecniche utilizzate ai giorni nostri e il loro funzionamento.

Un altro problema da risolvere per generare visioni stereoscopiche al computer è quello di possedere l'hardware adatto. Tuttavia al giorno d'oggi con l'evoluzione della

componentistica del computer poter renderizzare simulazioni scientifiche o visualizzare dati in real-time non è più un problema come in passato. Le schede video odierne sono in grado di provvedere alle pressanti richieste di risorse che le varie tecniche stereoscopiche richiedono; inoltre l'abbassarsi dei costi dei video proiettori permette di visualizzare i risultati delle simulazioni su schermo o su muro per ottenere una visualizzazione grafica assai più accattivante e che coinvolga più utenti.

2.3 Stereoscopia attiva

Con stereoscopia attiva tendiamo a raggruppare tutte le tecniche stereoscopiche che fanno ricorso all'utilizzo di occhialini 3D contenenti parti elettroniche che intervengono nel processo di visione stereoscopica. Questa famiglia di tecniche stereoscopiche è caratterizzata da un alto grado nella qualità delle immagini ottenute, tuttavia l'uso di questi occhialini è costoso, infatti, possono arrivare a costare fino a 100 euro e più. Se si vuole allestire un teatro virtuale tramite l'utilizzo di questa famiglia di tecniche si dovrà tenere conto del numero di utenti che si vorrà coinvolgere nel progetto, poiché più persone partecipano più elevato sarà il costo dell'impianto.

Un altro fattore importante da considerare in questa tecnologia è che spesso le immagini proiettate sullo schermo sono alternate, un frame è dedicato all'occhio sinistro e nell'istante successivo un frame per l'altro occhio, quindi è necessario un ulteriore dispositivo hardware che metta in sincronia la trasmissione delle immagini stereoscopiche e gli occhialini 3D, questo per evitare che l'immagine captata dall'occhio destro sia quella proiettata per l'occhio sinistro e viceversa.

2.3.1 Tecnologia shutter

Si tratta della più antica tecnologia di stereoscopia attiva il cui nome, "shutter", deriva da otturatore. Al giorno d'oggi non c'è più un otturatore all'interno del paio di occhiali come avveniva, invece, nel 1921, ora l'otturatore è sostituito da un circuito che si attiva sulla base di un apposito segnale di sincronizzazione.

Questi occhialini [WIK07a] e [ENG99], al posto delle lenti, sono dotati di due piccoli schermi LCD che, a seconda del valore di un apposito segnale di controllo, sono trasparenti od opachi. Il segnale di controllo è generato da un circuito posizionato nella montatura degli occhiali che riceve il segnale di sincronizzazione proveniente da un

trasmettitore direttamente collegato al computer o al proiettore che si occupa di generare la proiezione stereoscopica.

Al giorno d'oggi questo segnale viene trasmesso tramite protocollo wireless [WIK07b] o segnale ad infrarosso e non più tramite un filo come avveniva anni fa, rendendo l'allestimento di teatri virtuali molto semplice e rapido. L'apparato hardware in questione in genere è una presa che si attacca all'uscita del segnale della scheda video, analizza il traffico dei dati ed ad ogni frame diverso invia il segnale di sincronizzazione.

Una volta garantita la sincronia tra occhialini e mezzo di proiezione è possibile finalmente vedere la visione stereoscopica. Tuttavia se si utilizzano dei proiettori o degli schermi piuttosto vecchi o logorati dall'utilizzo può generarsi un cosiddetto effetto *ghost*: la lente del proiettore o il fosforo di uno schermo crt potrebbero non reggere l'elevato refresh che questa tecnica stereoscopica richiede e proiettare un'immagine sbiadita del vecchio frame mentre si proietta quello attuale.

Questi occhiali utilizzano diverse tecniche di alternamento delle immagini stereoscopiche dirette verso ciascun occhio [3DG07a]. Si possono distinguere fino a tre modi diversi di alternare le immagini stereoscopiche ognuno adatto per un particolare campo di utilizzo e che presenta pregi e difetti a seconda dell'impiego per cui lo si utilizza.

Page flipping

Tramite questa tecnica le immagini per l'occhio destro e quelle sinistro sono proiettate alternamente una dietro l'altra. Quando il frame per l'occhio destro è pronto e visualizzato sullo schermo, il pannello LCD degli occhialini oscurerà l'occhio sinistro e viceversa in accordo con il segnale di sincronizzazione.

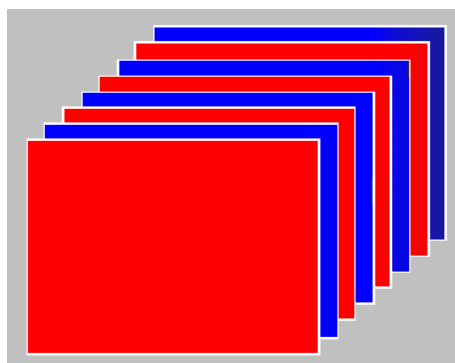


Figura 2.2: Page Flipping.

Questa tecnica garantisce il massimo della qualità video in quanto ogni immagine ha la stessa qualità e risoluzione; tuttavia il punto dolente della tecnica è che richiede di essere visualizzata tramite un elevato refresh di almeno 60Hz in caso di trasmissioni di tipo cinematografico o di 120Hz in caso di trasmissione sullo schermo di un computer. E' quindi necessario utilizzare un hardware di prima scelta per l'utilizzo di questa modalità di trasmissione delle immagini; anche se la qualità così ottenuta è decisamente molto alta.

Interlacing

Con questa tecnica ogni frame della trasmissione stereoscopica è diviso in due parti; le linee pari sono dedicate all'occhio destro, mentre le linee dispari sono dedicate all'occhio sinistro. Ogni volta le immagini sono proiettate tramite le linee pari e poi quelle dispari alternamente, gli occhialini shutter si occuperanno poi di far visualizzare correttamente i frame ai corrispettivi occhi.

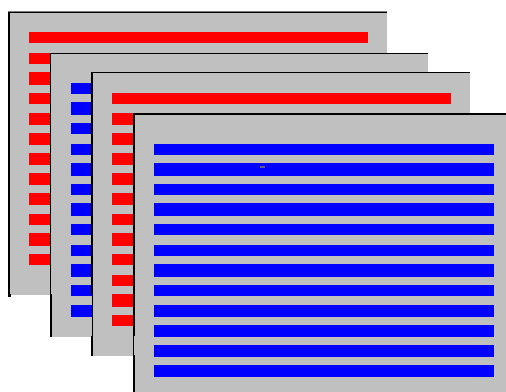


Figura 2.3: Interlacing.

Questo tipo di trasmissione dei dati è tipico delle trasmissioni televisive quali PAL, NTSC e SECAM [PAL07] le cui trasmissioni di immagini in movimento avvengono proiettando prima le righe pari e poi quelle dispari, cioè in modo interlacciato.

La qualità di questo tipo di trasmissione non è elevata come il page flipping, tuttavia è più che sufficiente per soddisfare l'occhio umano ed è praticamente obbligatoria da utilizzare se si vogliono ricreare visioni stereoscopiche nell'ambito di trasmissioni televisive.

Sync doubling

Questa tecnica funziona dividendo lo schermo in due parti, la metà superiore e la

metà inferiore, all'interno di una di queste parti viene visualizzata una delle immagini della coppia di immagini stereoscopiche. Nella parte superiore viene visualizzata l'immagine per l'occhio destro e in quella inferiore viene visualizzata l'immagine per l'occhio sinistro.



Figura 2.4: Sync Doubling.

Utilizzando un sync doubler in aggiunta a questa tecnica si possono estendere le immagini in modo tale che occupino lo schermo intero; cioè a dimensione naturale. La qualità delle immagini così ottenute non è elevata in quanto la risoluzione verticale rispetto ad una tecnica di page flipping è dimezzata, tuttavia il costo computazionale da eseguire sul computer è assai minore e si può utilizzare anche su hardware datato.

2.3.2 Visori 3D

I visori 3D [CHO99] [WIK07c] o meglio noti come *Head Mounted Display* (HMD), sono dei caschi od elmetti dotati di un consistente apparato hardware in grado di fornire visioni stereoscopiche e sonoro ad elevatissima immersività, sono utilizzati come strumenti di realtà virtuale.

Gli HMD sono stati inventati negli anni sessanta come strumento a supporto di simulazioni di carattere militare [KAI95] e solo nell'ultimo decennio il loro utilizzo è stato esteso in ambiti ludici [WEL95] [WIK07d] e scientifici.

Un HMD [HMD07] dispone di una camera oscura posizionata di fronte agli occhi dell'utente dove al suo interno sono posizionati due schermi LCD (uno di fronte a ciascun occhio) con una risoluzione che varia da 320x200px fino a 1024x768px e una profondità di campo orizzontale da 25° fino a 65°. E' inoltre dotato di delle cuffie stereo, una batteria ed un dispositivo tracker (opzionale) [HEA07] che fornisce informazioni riguardanti l'orientamento della testa dell'utente al computer che si occupa di creare la visione stereoscopica. Un HMD può essere o meno collegato tramite cavi

all'alimentazione e al computer. Il costo di questo dispositivo varia dai 250\$ fino a 10.000\$ e oltre, rendendoli poco appetibili per usi domestici.

Gli HDM di ultima generazione sono degli ottimi strumenti per la visione stereoscopica e come sistemi di realtà virtuale, tuttavia l'unica loro pecca rimane la profondità di campo che possono fornire: quella umana rasenta i 180° orizzontali, mentre gli HDM faticano ad arrivare a 50°, quindi restringono di molto la capacità visiva dell'apparato visivo umano. Un altro importante fattore che rende gli HDM molto utilizzati è la possibilità di usarli insieme con altri strumenti come i guanti immersivi (wired gloves) o dispositivi trackball per muoversi o manipolare oggetti all'interno del mondo tridimensionale creato dal computer.

Bisogna specificare che molti HDM, specialmente quelli più economici, non sono in grado di fornire la visione stereoscopica avendo un unico pannello LCD che funziona per entrambi gli occhi.



Figura 2.5: HDM usato per ricerca nella automobilistica.

2.4 Stereoscopia passiva

Con il termine di stereoscopia passiva tendiamo ad indicare tutta quella famiglia di tecnologie che utilizzano occhialini 3D di tipo semplice, cioè senza alcuna dotazione di hardware complesso, atti a fornire visioni stereoscopiche. In questa famiglia di tecniche non è l'occhialino 3D che si occupa attivamente di generare la visione

stereoscopica, bensì utilizzando dei filtri polarizzati o particolari proprietà della luce visibile si riesce a far veicolare ogni immagine della coppia di immagini stereoscopiche verso il giusto occhio. In questo modo gli occhialini 3D sono di semplice fabbricazione e sono economicissimi; si va dai 0,5\$ fino a 30\$ [3DG07b] di costo e si possono allestire dei teatri virtuali di grandi dimensioni con poca spesa e grande resa.

Un altro particolare che contraddistingue la stereoscopia passiva è che entrambe le immagini della coppia stereoscopica sono fornite all'apparato visivo dell'utente contemporaneamente, cioè entrambi gli occhi ricevono la corrispettiva immagine nello stesso istante, e la sincronizzazione delle immagini non è gestita da un hardware ad hoc, bensì se ne occupa il software che genera la visione stereoscopica.

La qualità delle immagini ottenute tramite queste tecniche non è elevata come le immagini ottenute tramite tecniche di stereoscopia attiva, tuttavia il rapporto tra qualità, costo e soprattutto numero di utenti che si possono coinvolgere nella visione stereoscopica è molto elevato.

2.4.1 Anaglifia

L'anaglifia è la più antica tecnica utilizzata per le visioni stereoscopiche fin dal 1903 [PIC01b] (vedi Paragrafo 2.1). Realizzare una proiezione stereoscopica in questa maniera è molto semplice ed economico.

Ogni singolo frame della proiezione stereoscopica è chiamato con il nome particolare di anaglifo. Sullo stesso anaglifo sono impresse sovrapposte sia l'immagine destra che l'immagine sinistra della coppia di immagini stereoscopiche con due diversi colori; ad esempio il rosso per l'immagine destra e il blu per l'immagine sinistra, che idealmente rappresentano il punto di vista dei due occhi dell'osservatore della scena. In questo modo osservando l'immagine tramite lenti di colori analoghi (rosso per l'occhio destro e blu per l'occhio sinistro), si ottiene che l'occhio destro veda la sola immagine destra e l'occhio sinistro la sola immagine sinistra. Questo avviene perché ogni occhio vede solo l'immagine colorata con lo stesso colore del filtro postogli di fronte, mentre il colore complementare viene annullato poiché assorbito dal filtro.

I colori dei filtri utilizzati che si possono utilizzare con questa tecnica sono molti: rosso-ciano, rosso-verde, rosso-blu, giallo-ciano, giallo-blu, eccetera. Questa varietà di colori disponibili per i filtri dipende dal fatto che nel passato ogni compagnia cinematografica o casa editrice ha adottato una propria tecnica basata sulla

combinazione di colori diversi, a volte invertendo anche i colori nelle coppie sopra citate, ciò ha portato molta confusione in questo particolare segmento del mercato delle visioni stereoscopiche, anche se gli occhialini basati sulla coppia rosso-dx e ciano-sx sono i più largamente utilizzati.

Questa tecnica ha il vantaggio che entrambi i canali stereoscopici, sinistro e destro, possono venire rappresentati su un singolo anaglifo con grande risparmio e semplicità nei campi cinematografici, televisivi, della carta stampata e dei computer.

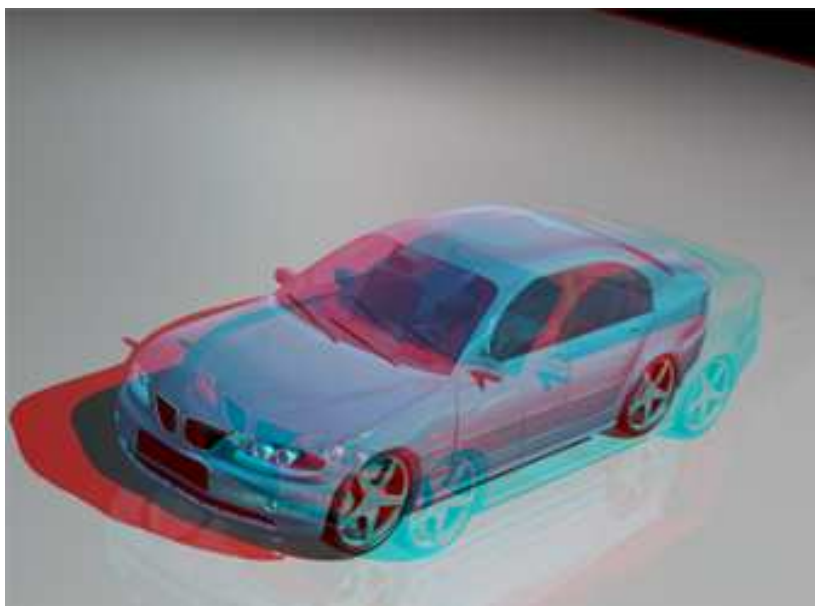


Figura 2.6: Anaglifo di un'automobile in rosso e ciano.

La qualità delle immagini [WAT07] purtroppo non è elevata, all'apparato visivo pervengono solo i due colori utilizzati dal filtro più le componenti additive dei colori dei filtri, cioè tutti i colori che si possono ottenere mischiando diverse quantità dei colori dei filtri. Gli anaglifi in genere mancano leggermente di contrasto, inoltre ogni anaglifo deve essere completamente saturo nei due colori utilizzati altrimenti l'immagine tridimensionale che si viene ad ottenere sarà leggermente indefinita. I due colori utilizzati negli anaglifi inoltre devono avere lo stesso grado di luminosità altrimenti c'è il rischio che la retina di uno dei due occhi rimanga leggermente accecata falsando così l'intera visione stereoscopica. A volte si possono generare delle immagini ghost, quando in un qualche modo una componente di colore destinato ad un determinato occhio riesce a filtrare anche nell'altro occhio, questo accade quando la qualità degli occhialini 3D non è elevata. Un altro fattore che influenza la percezione degli anaglifi è il tipo di occhialini utilizzati, se una delle due lenti è molto più scura rispetto all'altra interviene

l'effetto chiamato fenomeno di Pulfrich (vedi Paragrafo 2.6) che interferisce con la percezione delle immagini stereoscopiche inserite nell'anaglifo. Per tenere conto di tutte le proprietà della luce visibile nella produzione di anaglifi vedere [3DG07c].

Nonostante la qualità dell'immagine, che è solo sufficiente, questa tecnica è la più utilizzata al mondo, specialmente nel campo della stampa, della cinematografia e delle trasmissioni televisive, per via del suo bassissimo costo di produzione.

Esistono svariati tipi di occhialini 3D per vedere gli anaglifi, ognuno dei quali presenta una serie di vantaggi e svantaggi ben precisi e pensati per un particolare campo di utilizzo. Qui di seguito è presentato un elenco dettagliato.

Tecnica rosso-blu

Questi occhialini 3D hanno il pregio di diminuire al minimo gli effetti ghost nelle immagini, in quanto questi due colori sono molto distanti tra loro in termini di lunghezza d'onda e perciò sono facilmente distinguibili. Tuttavia la gamma di colori che sono in grado di riprodurre non è elevata.

Tecnica ocra-blu scuro

Dal punto di vista della qualità dell'immagine questa è la tecnica migliore in grado di visualizzare la maggior gamma di colori possibili con un anaglifo. Tuttavia entrambi questi filtri risultano essere scuri quindi la luminosità dell'immagine tende a diminuire un po', ma per diminuire questo disagio si può stare al buio per un quarto d'ora per adattare gli occhi. Questa tecnica è nota anche con il nome di ColorCode.

Tecnica rosso-ciano

Questa è senz'altro la tecnica più utilizzata al mondo produce una buona gamma di colori, anche se la qualità del rosso non è elevata, tuttavia funziona molto bene sia con immagini dotate di una propria luminosità come un monitor o su immagini che riflettono la luce come la carta stampata. Può generarsi a volte un minimo effetto ghost.

Tecnica anacromatica

Si utilizzano degli occhialini con un filtro rosso scuro ed un filtro ciano che migliorano la qualità dell'immagine migliorando soprattutto la qualità del rosso e diminuendo gli effetti ghost, al prezzo di rendere appena un po' più scura l'immagine. Comunque sia questa tecnica che quella basata sul rosso e sul ciano sono compatibili, cioè gli anaglifi in rosso e ciano possono essere visti con i due tipi di occhialini 3D.

Tecnica rosso-verde chiaro

Nella visualizzazione di immagini stampate questa tecnica riproduce delle buone immagini stereoscopiche, tuttavia nella riproduzione di immagini in movimento si tende a generare molti effetti ghost, poiché come frequenze d'onda rosso e verde chiaro sono abbastanza vicine.

2.4.2 CromaDepth o stereoscopia cromatica

Questa tecnica è particolare e sfrutta per ricreare l'effetto di tridimensionalità la stereopsi secondaria [BAI05], evitando di utilizzare qualsiasi tecnica che possa influire sulla stereopsi primaria.

Gli occhialini utilizzati in questa tecnica sono composti da una lente formata da tanti prismi affiancati che hanno il compito di creare un effetto di diffrazione [WIK07q] sulla luce visibile. Per funzionare bisogna creare una singola immagine utilizzando una palette di colori ben precisa e studiata. Questa tecnica si basa sul fatto che certi colori se affiancati ad altri sembrano essere più vicini o lontani.

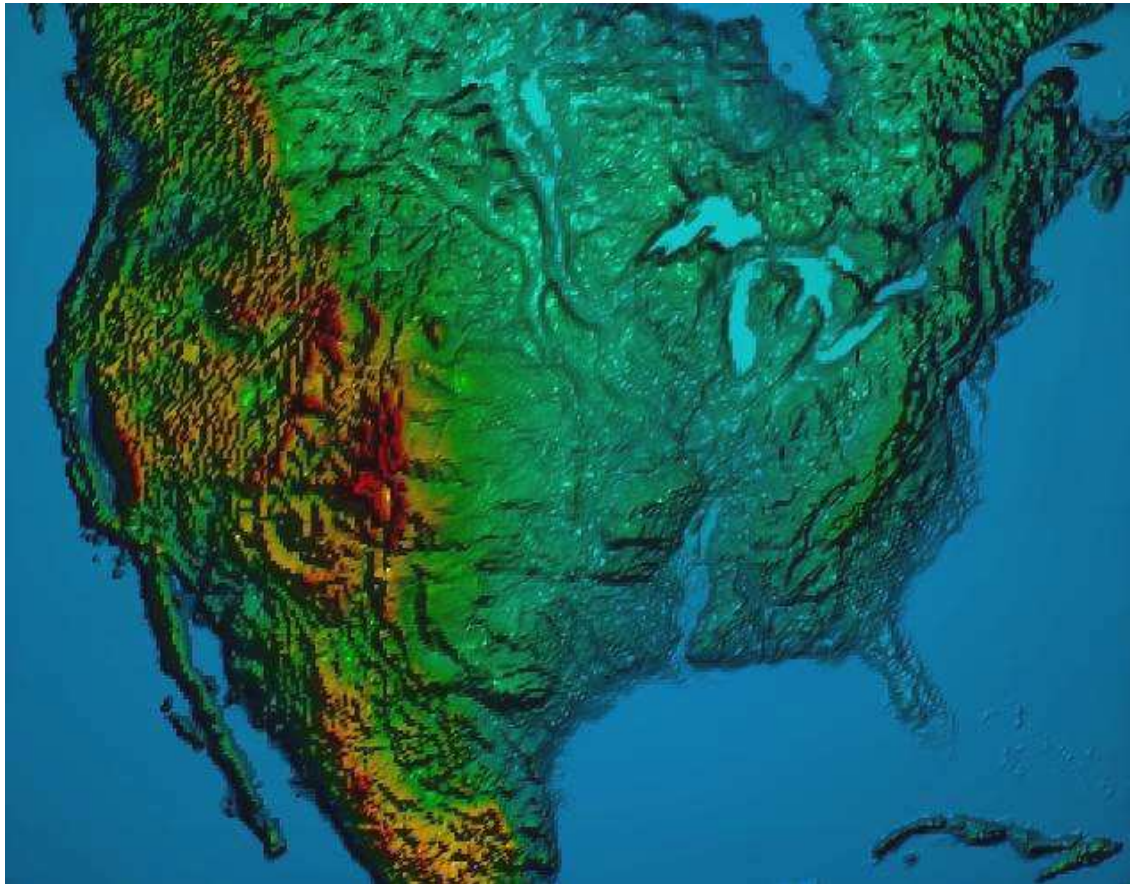


Figura 2.7: Fotografia altimetrica del continente nord americano.

Un esempio può essere fatto scrivendo una pagina di testo alternando una riga di colore rosso ad una riga di colore blu, l'apparato visivo umano tende ad interpretare le righe di colore blu più lontane rispetto alle altre e le righe di colore rosso più vicine. Quindi un'immagine ricostruita con tutte le sfumature di colore dal rosso al blu (rosso, arancione, giallo, verde e blu), tenderà ad assumere una certa parvenza di tridimensionalità persino senza utilizzare gli occhialini, ma con essi l'effetto risulta maggiorato. Inoltre l'immagine tridimensionale è facile da gestire e da stampare.

Ovviamente questa tecnica ha lo svantaggio che difficilmente si può ricreare artificialmente una qualsiasi scena del mondo reale con i giusti colori. Questa tecnica è più mirata alla rappresentazione scientifica di dati o pubblicità, con la possibilità di fornire informazioni aggiuntive su concetti come la profondità e la distanza anche senza usare gli occhialini 3D come avviene in Figura 2.7.

Per creare un software in grado di realizzare proiezioni in stereoscopia cromatica è necessario colorare gli oggetti presenti nella scena a secondo della loro lontananza rispetto alla telecamera. Un esempio in OpenGL si può trovare qui [BAI99].

2.4.3 Luce polarizzata lineare

Questa tecnica si basa sull'impiego di alcune caratteristiche delle onde elettromagnetiche che valgono anche per le onde luminose che ne rappresentano un sottoinsieme. La luce è l'agente fisico responsabile che rende visibili gli oggetti, ed in particolare per luce visibile intendiamo sempre quella banda di frequenze dello spettro elettromagnetico che l'occhio umano è in grado di vedere.

Innanzitutto riepiloghiamo le caratteristiche che contraddistinguono un'onda della luce visibile che si muove nello spazio [WIK07e]. Ogni onda si muove sempre in un'unica direzione che non cambia mai fino a quando l'onda non è assorbita o riflessa. Ogni onda è dotata di un'intensità che indica quanto essa è luminosa e di una certa frequenza d'onda che indica il colore della luce. La luce normale inoltre ruota o vibra sull'asse della direzione di movimento sempre in modo casuale: questa condizione indica che la luce non è polarizzata, poiché la luce polarizzata lineare non ruota. Un tipico esempio di luce polarizzata è la luce riflessa; per questo motivo esistono in commercio degli occhiali con filtri polarizzati che fanno passare tutta la luce normale, mentre quella dannosa (riflessa) che può creare problemi di visione viene bloccata.

Per trasformare la luce non polarizzata in luce polarizzata lineare è necessario

utilizzare un filtro polarizzante. Un filtro polarizzante è una lente piana composta di lunghe file di molecole tra loro parallele e un filtro può essere verticale od orizzontale a seconda di come sono orientate queste catene di molecole. Quando un fascio di luce non polarizzato passa ad esempio attraverso un filtro polarizzante orizzontale; quest'ultimo bloccherà la componente orizzontale della luce non polarizzata e lascerà passare la componente verticale della luce che ora è diventata polarizzata.

Utilizzando questa tecnica è possibile visualizzare contemporaneamente le immagini stereoscopiche purché queste abbiano una polarizzazione diversa tra loro, e l'utente sia dotato di un paio di occhiali polarizzati in grado far ricevere ad ogni occhio la corrispettiva immagine.

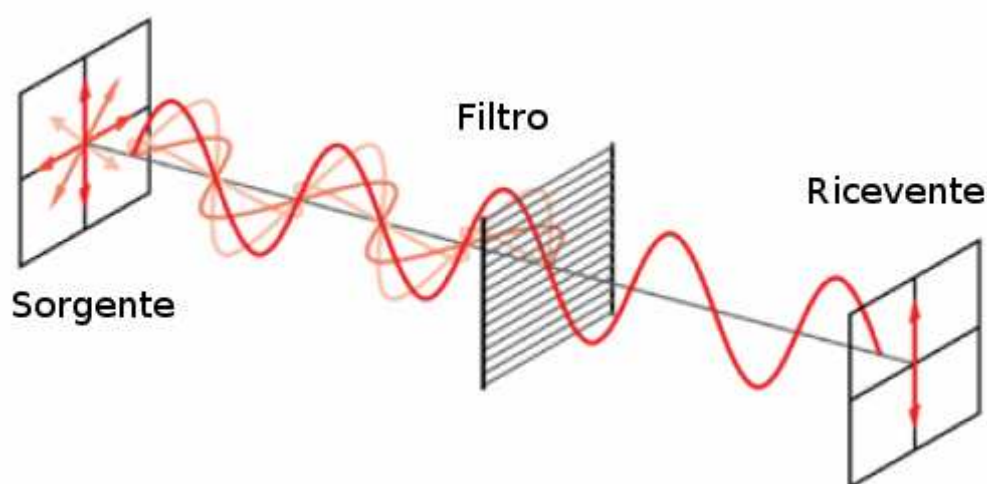


Figura 2.8: Trasformazione della luce in luce polarizzata.

Gli inconvenienti di questa tecnica consistono nel fatto che le immagini così visualizzate tendono a perdere un po' di luminosità, poiché i due filtri che si utilizzano anche se lavorano solo sulla polarizzazione della luce rendono più scura l'immagine. L'utente inoltre non può chinare la testa a destra o sinistra in quanto i filtri che indossa negli occhiali devono mantenere lo stesso allineamento dei filtri posti davanti ai proiettori delle immagini stereoscopiche, altrimenti l'effetto tridimensionale diminuisce di molto fino a scomparire.

2.4.4 Luce polarizzata circolare

Un'evoluzione della tecnica spiegata nel Paragrafo precedente è quella che utilizza la luce polarizzata circolare. Questa tecnica riesce ad evitare il difetto che si

presenta quando l'utente china la testa a destra o sinistra e non riesce a vedere più nessuna immagine tridimensionale. Infatti utilizzando dei filtri circolari non c'è il bisogno che i filtri posti davanti ai proiettori e quelli dell'utente debbano essere allineati. C'è quindi la massima libertà.

Alcune sostanze sono in grado di ruotare il piano di polarizzazione di un fascio di luce con polarizzazione rettilinea. Un'onda polarizzata circolarmente è un'onda che non ruota attorno al suo asse di direzione casualmente ma ruota a velocità uniforme, come se fosse una lancetta di un orologio. Ovviamente c'è la possibilità di determinare in quale senso (orario od antiorario) la luce polarizzata possa ruotare, quindi parleremo di filtri destri e sinistri per indicare i due possibili metodi in cui la luce polarizzata circolare ruota sul suo asse di direzione.

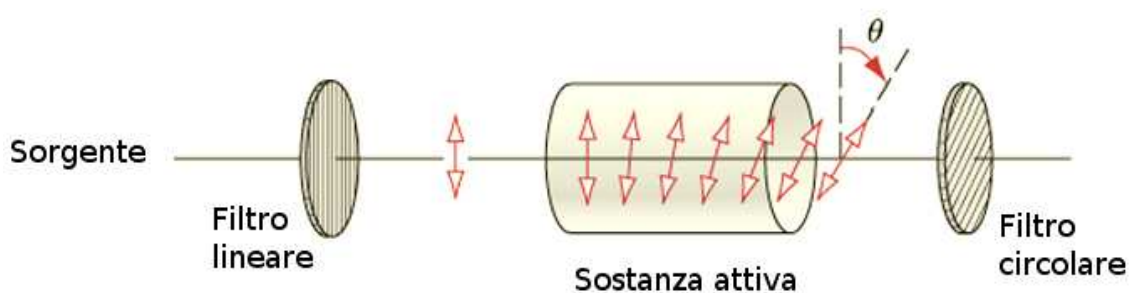


Figura 2.9: Luce polarizzata circolare.

2.4.5 Filtri polarizzati commutabili

Questa tecnica si basa sempre sull'utilizzo della luce polarizzata circolare, tuttavia non si tratta di una tecnica di stereoscopia passiva, ma di un misto fra la stereoscopia attiva e quella passiva; perché si utilizzano tecniche hardware e software comuni ad entrambi i tipi di stereoscopia.

Sopra ad un normale monitor di un computer si applica un filtro LCD commutabile, cioè capace di trasformarsi in un filtro polarizzato circolare destro o sinistro in base ad un apposito segnale di controllo. La frequenza dei frame che devono essere visualizzati su quello schermo deve raddoppiare, mentre l'utente indossa solo un paio di occhialini 3D polarizzati passivi. Il segnale di controllo è fornito da un dispositivo hardware collegato alla scheda video.

Quando il sovraschermo LCD produce una polarizzazione circolare destra, essa arriva all'apposito occhio, mentre l'altro occhio non vede altro che uno schermo nero,

quando il sovraschermo LCD cambierà polarizzazione per il frame successivo succederà il contrario. In questo modo gli occhialini 3D polarizzati passivi funzionano come gli occhialini shutter visti nel Paragrafo 2.3.1 e la proiezione delle visioni stereoscopiche deve avvenire ad una frequenza doppia rispetto a quella normale.

L'unico inconveniente di questa tecnica riguarda le dimensioni e la forma del sovraschermo che potrebbe non adattarsi a tutti i normali schermi per computer tutt'ora in commercio, altrimenti si potrebbe montare il sovraschermo anche davanti alla lente di un proiettore per visualizzare la proiezione stereoscopica in più grande stile. Questa tecnica non è facilmente adattabile a produzioni televisive o a qualsiasi altro apparato tecnologico non in grado di visualizzare immagini ad una frequenza doppia rispetto al normale.

2.5 Autostereoscopia

Questa tecnica si basa sull'utilizzo di monitor particolari che permettono di ottenere visioni stereoscopiche senza l'utilizzo di occhialini 3D o di altro hardware particolare. Semplicemente lo schermo o il monitor in questione dispongono di una tecnologia che li rende in grado di proiettare essi stessi le immagini stereoscopiche direttamente ai corrispettivi occhi dell'apparato visivo di un utente.

Nel caso di questa tecnologia, l'effetto è ottenuto con un normale monitor LCD, meglio se di tipo TFT [THI07], a cui è stata aggiunta una *lens plate* progettata e costruita per quello specifico modello. La *lens plate* è una lente che riflette la luce in maniera tale che ogni occhio dell'utente possa vedere una serie di righe di pixel prefissate. Per esempio, l'occhio sinistro vedrà le righe pari, mentre l'occhio destro vedrà quelle dispari.

La *lens plate* funziona quindi tramite il fenomeno che si chiama barriera di parallasse. Si fa in modo che l'immagine percepita dipenda dall'angolo con cui si guarda il monitor. In questo modo gli occhi di un osservatore ben posizionato al centro dello schermo vedranno due immagini diverse che se opportunamente calcolate daranno vita alla visione stereoscopica.

Purtroppo anche questa tecnica stereoscopica presenta degli svantaggi. La risoluzione orizzontale è dimezzata e comporta una diminuzione della qualità visiva. Un altro grosso problema riguarda la dimensione della zona stereo; ovvero l'area in cui

L'utente è in grado di vedere l'immagine tridimensionale. la Lens plate è in grado di proiettare solo in certe direzioni le immagini stereoscopiche e quindi solo in certe posizione frontali allo schermo l'apparato visivo sarà in grado di vedere immagini tridimensionali, come avviene in Figura 2.10. La lens plate inoltre influisce notevolmente sulla luminosità delle immagini prodotte.

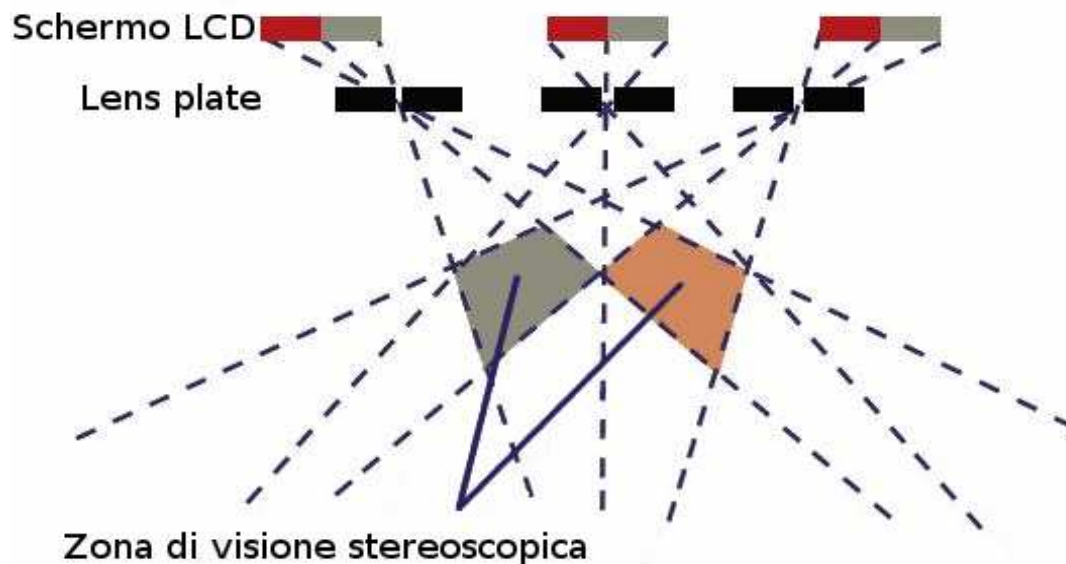


Figura 2.10: Fenomeno di parallasse e zona stereo.

Recentemente [PRO07b] sono state portate alcune modifiche alla lens plate di questi tipi di schermi che permettono di riposizionarla in accordo alla posizione della testa e degli occhi dell'utente. Utilizzando una piccola telecamera dotata di un software in grado di trovare e poi tracciare di continuo la posizione degli occhi dell'utente è possibile costruire uno schermo autostereoscopico con una zona stereo mobile che segue lo spostamento della testa dell'utente.

Per ovviare al fatto che gli schermi autostereoscopici realizzati fino adesso sono fruibili da un utente alla volta è stato sviluppato uno schermo che consente la visione tridimensionale verso più utenti utilizzando una tecnologia hardware e software di ultima generazione [BET05a].

2.6 Crono stereoscopia

Questa tecnica si basa sul principio del fenomeno di Pulfrich (Carl Pulfrich noto fisico tedesco) [MUR04]. Si tratta di un'illusione ottica che si manifesta solamente se la luce visibile che raggiunge un occhio si muove più lentamente rispetto alla luce visibile

che raggiunge l'altro occhio; questo differenziale temporale viene chiamato latenza e si ottiene interponendo un filtro scuro di fronte ad un occhio dell'utente.

Bisogna ricordare, però, che questo effetto o illusione ottica non è proprio pertinente alla visione stereoscopica. L'apparato visivo dell'utente non viene stimolato utilizzando una coppia di immagini stereoscopiche che coinvolge la stereopsi primaria, piuttosto si sfrutta una debolezza del processo di stereopsi secondaria dell'utente che porta ad intravedere un'immagine tridimensionale ricreata con l'effetto di Pulfrich.

Nello specifico l'effetto di Pulfrich dice che se un oggetto guardato con due occhi mentre si muove lungo un piano parallelo posto di fronte al volto dell'utente sembra muoversi al di fuori di tale piano se uno dei due occhi è oscurato. Questo effetto [WIL04] si ottiene perché la luce che passa attraverso un ostacolo fisico viene impercettibilmente rallentata, e perché in condizioni di scarsa illuminazione la retina impiega un tempo leggermente maggiore per trasformare la luce in un impulso chimico-elettrico da inviare alla corteccia. Il cervello riceve così la stessa immagine dai due occhi, ma con una leggera sfasatura temporale che crea appunto l'effetto di tridimensionalità.

Da quanto detto sopra si può evincere che un oggetto fermo o che non si muove di un moto parallelo frontale nella scena non rievoca nessun effetto tridimensionale rimanendo bidimensionale e piatto; è chiaro che se si volesse realizzare qualunque tipo di produzione che sfrutti tale tecnica bisognerebbe adottare tecniche di regia e di sceneggiatura per gestire la scena in modo tale che l'effetto di pulfrich sia sempre manifesto.

Questa tecnica, che funziona solo in determinati casi, tuttavia è molto efficace nell'ambito di trasmissioni televisive in quanto con degli occhiali costruiti in casa è possibile ottenere un effetto tridimensionale durante la proiezione di talune scene della trasmissione televisiva, senza alcuna spesa o acquisto di materiale particolare. La Rai in questo campo di trasmissioni ha prodotto alcuni documentari trasmessi in seconda serata [EFF07] su Raidue.

2.7 Sistemi commerciali di realtà virtuale

Le tecniche spiegate nei paragrafi precedenti sono alla base di tutti i principali teatri e laboratori virtuali esistenti al giorno d'oggi. La realizzazione di queste

infrastrutture è importante in quanto permettono di comunicare con un livello maggiore di dettaglio in grado di rendere l'utente maggiormente partecipe e coinvolto a ciò che si sta facendo. Dal punto di vista scientifico e progettuale le visioni stereoscopiche forniscono quel tocco in più di realismo necessario per comprendere meglio l'esito di alcune simulazioni oppure per apprezzare meglio il design di un oggetto creato con un qualsiasi software di CAD. Commercialmente parlando le visioni stereoscopiche sono un incentivo molto utile ed appetibile in campi come la pubblicità, cinema e televisione, dove l'immagine e la capacità di stupire sono fondamentali per coinvolgere il pubblico.

2.7.1 Teatro virtuale del CINECA

Il CINECA, nel 1999, è stato il primo ente pubblico in Italia a installare un teatro virtuale [GUI07], risorsa di eccellenza per la realtà virtuale di tipo semi immersivo nonché supporto di fondamentale importanza alla ricerca e allo sviluppo in campo scientifico, dei beni culturali e della produzione industriale.



Figura 2.11: Rappresentazione 3D del teatro virtuale del CINECA.

Il teatro virtuale realizzato è un ambiente integrato di visualizzazione tridimensionale semi immersivo con percezione del senso di presenza, mediante lo

sviluppo di applicazioni e di tecniche di realtà virtuale: indossando appositi occhiali, gli spettatori possono sperimentare ambienti di Realtà Virtuale grazie alla visione stereoscopica.

Il Teatro virtuale dispone di una sala con quindici posti a sedere per gli spettatori; uno schermo di proiezione cilindrico di quasi 10x3 metri che copre un angolo di 120° ed è stato realizzato interamente in fibra di vetro. Per poter proiettare immagini su questo schermo gigante si utilizzano ben tre videoproiettori; c'è un software di controllo automatico della convergenza e della sovrapposizione dei bordi delle immagini visualizzate dai tre proiettori. Esistono una serie di workstation grafiche della SGI che si occupano della generazione delle proiezioni stereoscopiche; una di queste è SGI Altix 3700. Gli utenti possono vedere le proiezioni stereoscopiche utilizzando occhialini 3D che sfruttano la tecnologia shutter messi in sincronia con la workstation.

Essendo il CINECA un consorzio interuniversitario questa sua infrastruttura è a disposizione di qualsiasi università, ministero od azienda ne faccia richiesta.

2.7.2 Cave

Il CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) è un laboratorio di forma cubica le cui pareti, il soffitto ed a volte il pavimento sono costituiti da enormi schermi che mostrano visioni stereoscopiche ad alta definizione, negli angoli sono posizionate casse acustiche che riproducono il suono stereo e tutta una serie di sensori effettuano il tracking degli utenti che si trovano all'interno del CAVE.

Le pareti del CAVE mostrano alternamente le immagini della coppia stereoscopica e degli occhiali LCD di tipo shutter in sincronia mostrano la visione stereoscopica agli utenti. E' importante ricordare che la visione stereoscopica è generata sulla base del tracking degli occhiali shutter dell'utente root, mentre gli altri utenti possono assistere solo come spettatori. Interagire con la scena tridimensionale che circonda gli utenti è possibile tramite vari dispositivi come joystick, wired gloves [WIK07f] o wand [CHR06]. All'utente è quindi riservata la massima libertà di movimento e può persino muoversi camminando all'interno della scena tridimensionale.

Il CAVE è stato sviluppato nel 1992 presso l'EVL (Electronic Visualization Laboratory) come strumento per la visualizzazione di dati scientifici e la modellazione di apparati complessi come motori o altre opere di ingegneria avanzata.

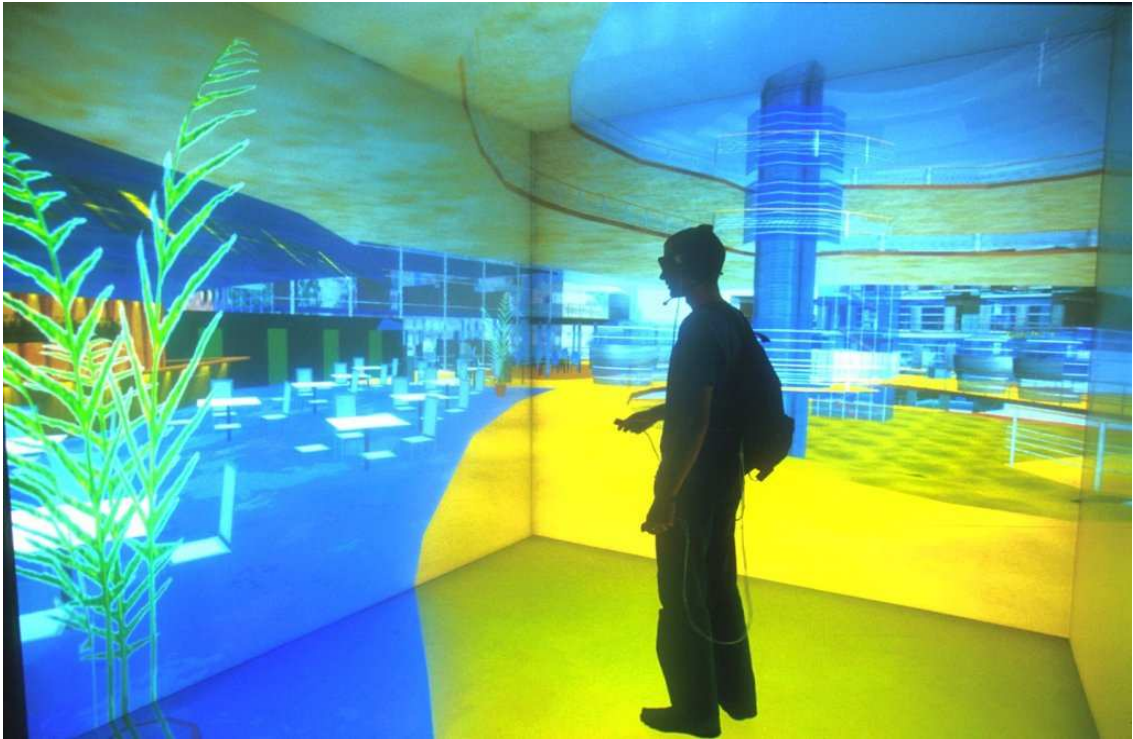


Figura 2.12: Un sistema CAVE-Like.

Per gestire un sistema tanto complesso come il CAVE è stata scritta appositamente una libreria chiamata *CAVE library* [PAP97] che è stata sviluppata all'ELV ed è scritta in C, C++, OpenGL e Performer. Il grosso pregio di questa libreria è la scalabilità; semplicemente essa non si occupa di fornire un modello in grado di gestire solo il CAVE, ma è programmabile in modo tale da gestire qualsiasi tipo di teatro virtuale con n-schermi che possono essere in parte sovrapposti e che utilizzino diversi tipi di tecniche stereoscopiche o diversi tipi di hardware come sistemi multimonitor per la realizzazione di una parete o l'utilizzo di proiettori. Tra le altre funzioni che la libreria è in grado di supportare ricordiamo l'audio stereo, il tracking degli utenti, la gestione dei dispositivi di input e il supporto di rete. Attualmente la libreria è distribuita dalla VRCO [VRC07]. Questa libreria viene utilizzata come base per la realizzazione di altri sistemi stereoscopici realizzati dall'ELV come ImmersaDesk (vedi Paragrafo successivo) e IWall [LAN07b]. L'alta configurabilità di questa libreria permette di potersi costruire da sé dei piccoli teatri virtuali come il CAVE dell'ELV che vengono comunemente chiamati Virtual Room o sistemi CAVE-Like.

2.7.3 ImmersaDesk

L'ImmersaDesk [OTT99] è stato sviluppato all'Electronic Visualization

Laboratory della University of Illinois di Chicago [EVL07] nel 1994. L'ImmersaDesk è un display stereoscopico di grandissime dimensioni che fornisce un ambiente di realtà virtuale di tipo immersivo, cioè totale, atto allo sviluppo ed alla prototipazione di componenti meccaniche e può coinvolgere nel lavoro fino a 5 diverse persone. Si può paragonare l'ImmersaDesk ad un enorme tavolo da lavoro.



Figura 2.13: Il nuovo ImmersaDesk R2.

Gli utenti di questo sistema indossano occhiali a cristalli liquidi di tipo shutter messi in sintonia con lo schermo dell'ImmersaDesk; un software di tracking rileva la posizione e l'orientamento del visore dell'utente root in modo da creare una visione stereoscopica che si accorda con la posizione della sua testa. I restanti utenti invece devono condividere la visuale scelta dall'utente root. Per poter interagire con la scena visualizzata sullo schermo gli utenti dispongono di guanti con sensori (wired gloves) [WIK07f] che possono essere utilizzati per i movimenti, per impartire comandi, digitare su tastiere virtuali, ecc.

L'ImmersaDesk utilizza una workstation grafica SGI su cui gira un software sviluppato all'EVL che è il CAVE Library visto nel Paragrafo precedente.

Recentemente è stata sviluppata una nuova e più economica versione

dell'ImmersaDesk chiamata ImmersaDesk R2 [IMM07] che dispone di uno schermo LCD anziché del vecchio monitor CRT della versione precedente oppure di una superficie piana su cui visualizzare la proiezione stereoscopica tramite proiettori, un sistema stereo per l'audio 3D, ed una più vasta gamma di strumenti per la navigazione compresi i classici wired gloves, wand o più economici joystick.

2.7.4 Imax 3D

L'Imax 3D (Image Maximun 3D) è una sala cinematografica di ultimissima concezione sviluppata dalla Imax Corporation [IMA07a] per la visualizzazione di film tridimensionali sfruttando tecniche stereoscopiche.

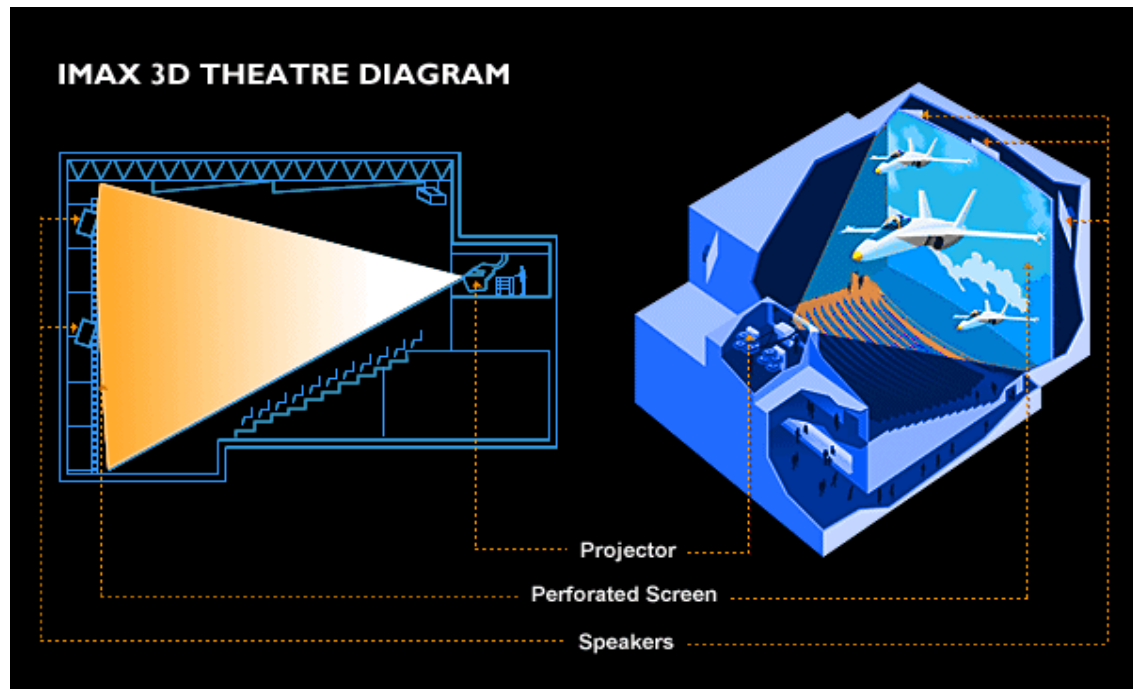


Figura 2.14: Struttura di una sala Imax.

L'Imax 3D [IMA07b] e [WIK07g] deriva nella sua struttura dalla sala di tipo Imax dalla quale si distingue per l'uso di un particolare proiettore stereoscopico. Questo è dotato di due lenti distanziate tra loro di 64mm, ovvero la distanza media interpupillare umana, ognuna delle quali proietta in sincrono le immagini della coppia stereoscopica proveniente da due diverse “pizze” che contengono le due viste (destra e sinistra) dello stesso film. Gli utenti per poter essere in grado di vedere il film tridimensionale dispongono di due modi diversi entrambi previsti per le sale Imax 3D; la polarizzazione circolare passiva o l'utilizzo di occhialini shutter messi in sincronia con il proiettore con una frequenza di 96 frame al secondo anziché 24 frame al secondo.

Le caratteristiche tecniche di una sala Imax riguardano innanzi tutto il formato grafico dei film che è stampato su una pellicola da 70mm di dimensioni pari a 70x48,5mm contro il tradizionale standard degli schermi in formato da 16:9 che supportano pellicole da 35mm di dimensioni pari a 21,95x18,6mm. In termini informatici un film in formato Imax raggiunge la risoluzione di 10.000x7.000pixel che scorrono ad una velocità di 24 frame al secondo. La dimensione dello schermo cinematografico è enorme e misura 27x20m. La struttura della sala è stata progettata per concedere ad ogni spettatore la migliore situazione visiva e sonora possibile: le poltrone, sono disposte su gradinata affinché la visuale sia la migliore per ognuno. Il sonoro è composto da sei canali in formato digital surround, e otto canali per le sale Imax 3D per un totale di 20.000watt di potenza.

2.7.5 Virtual Room

La Virtual Room [VIR07] è un laboratorio di visualizzazione di dati per fini scientifici, didattici e di intrattenimento. Il primo esemplare di questo laboratorio è situato presso il museo di Melbourne nello stato di Vittoria in Australia [SCI07] nella galleria della scienza e della vita.

Il concetto di visualizzazione dei dati della Virtual Room è opposto a quello del sistema CAVE (Paragrafo 2.7.2); mentre nel secondo caso l'utente si immerge dentro all'ambiente tridimensionale, nella Virtual Room l'utente si muove come un osservatore esterno alla scena tridimensionale.

Il particolare più interessante ed innovativo di questo laboratorio riguarda l'aspetto del sistema di visualizzazione dei dati che permette agli utenti di cambiare la prospettiva di vista semplicemente passeggiando attorno agli otto schermi di visualizzazione dei dati. Gli otto schermi sono posizionati al centro della stanza e mostrano i dati della scena 3D a 360°; quindi, quando l'utente gira attorno a questi schermi e vede da diverse angolazioni lo stesso oggetto della scena 3D ha l'illusione che ciò che vede sia reale e sia "fisicamente" contenuto dentro alla stanza formata dagli otto schermi. Questa sensazione di presenza della scena tridimensionale è data anche dal fatto che gli schermi sono trasparenti e che l'utente vede attraverso di essi.

La tecnica stereoscopica utilizzata per questo tipo di teatro virtuale è quella della stereoscopia passiva della polarizzazione circolare della luce. Sopra ad ognuno degli otto schermi sono posizionati due proiettori che visualizzano la coppia delle immagini

stereoscopiche sullo schermo postogli di fronte. In totale quindi bisogna generare un qualcosa come sedici diverse viste della stessa scena tridimensionale per far funzionare questo tipo di teatro. Tutt'ora la Virtual Room visualizza al suo interno solo dei filmati pre-renderizzati, tuttavia, quando si vorranno visualizzare dei dati in real-time si dovrà utilizzare una workstation grafica di elevatissima potenza di calcolo.

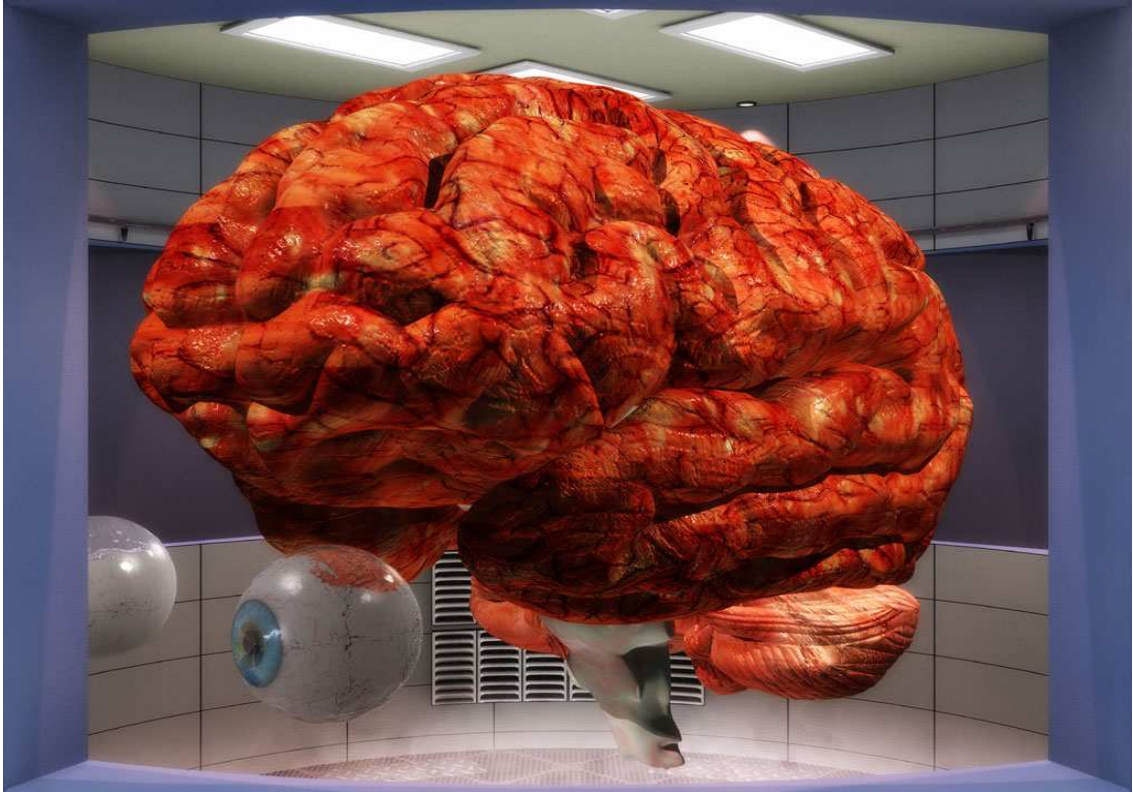


Figura 2.15: Ricostruzione artificiale di una scena nella Virtual Room.

2.7.6 TableTop

Il TableTop è un sistema per la proiezione di immagini tridimensionali su un piano orizzontale costituito da un vetro speciale che può trasformare la scrivania in un ambiente di lavoro tridimensionale ed interattivo. Le immagini della coppia stereoscopica vengono proiettate da due proiettori su di uno specchio che poi riflette le due immagini sulla superficie della scrivania evitando l'illuminazione diretta del volto degli utenti. Il sistema si basa sull'utilizzo della tecnica della stereoscopia passiva della polarizzazione circolare della luce.

Sistemi virtuali come il TableTop possono essere visti come una scrivania virtuale dove più utenti possono interagire su questo desktop 3D, la realizzazione di un interfaccia grafica che svolga questo compito è qui spiegata [ØRB07].

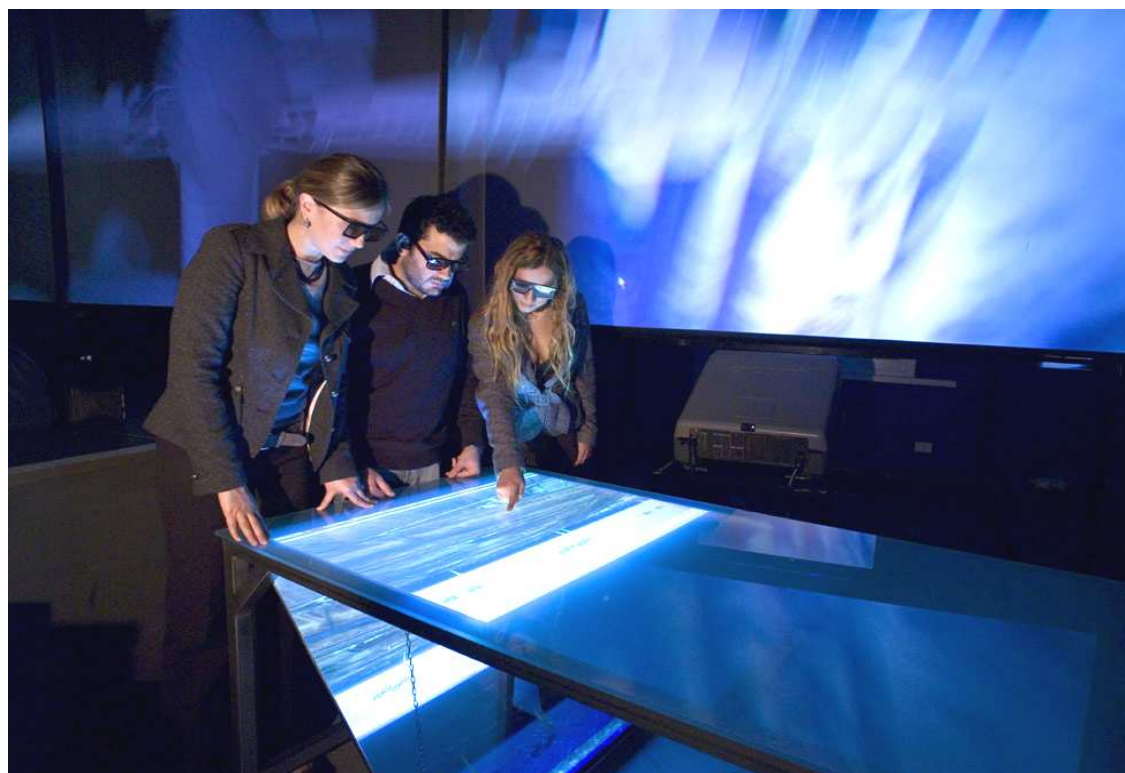


Figura 2.16: Utenti davanti ad un TableTop.

2.7.7 CRS4

Come già affermato nel Paragrafo 2.5; uno dei maggiori inconvenienti nell'utilizzo di display autostereoscopici è la limitazione al loro utilizzo da parte di un unico utente alla volta. Il gruppo di lavoro del CRS4 [BET05a] è riuscito a rimediare a questo svantaggio collaborando alla realizzazione di un nuovo tipo di display tridimensionale in grado di visualizzare immagini tridimensionali verso più persone senza l'uso di occhiali 3D, rendendo molto più semplice l'uso di questa apparecchiatura. Questo display è stato ideato per fornire a medici specialisti [BET05b] un ambiente interattivo tridimensionale che permetta la collaborazione per lo sviluppo di una diagnosi tra più utenti senza il disagio di indossare occhiali 3D.

Il display per creare la visione tridimensionale utilizza uno schermo olografico che invia fasci di luce che si propagano in differenti direzioni a seconda di come ogni pixel dello schermo viene eccitato. Dietro allo schermo olografico ci sono novantasei moduli ottici che riescono ad illuminare i singoli pixel dello schermo olografico da ben sessanta angolazioni diverse. Il fascio di luce che emette il singolo pixel dello schermo olografico ha un'ampiezza di $0,8^\circ$, quindi se ogni pixel riesce ad emettere fino a

sessanta di questi fasci di luce gli utenti possono vedere immagini tridimensionali sullo schermo olografico con un'ampiezza di campo di 50°. E' chiaro che dietro questo schermo c'è una potente workstation grafica dotata di un sistema con due schede video GeForce 6800 che lavorano in tandem grazie alla tecnologia SLI. Per poter interagire con gli oggetti della scena tridimensionale si utilizza uno speciale mouse 3D della Logitech che interagisce con la workstation tramite wireless.

Con uno speciale software creato ad hoc in OpenGL i fasci di luce creati dallo schermo si propagano in determinate direzioni come se fossero riflessi da un oggetto fisico vero e proprio.

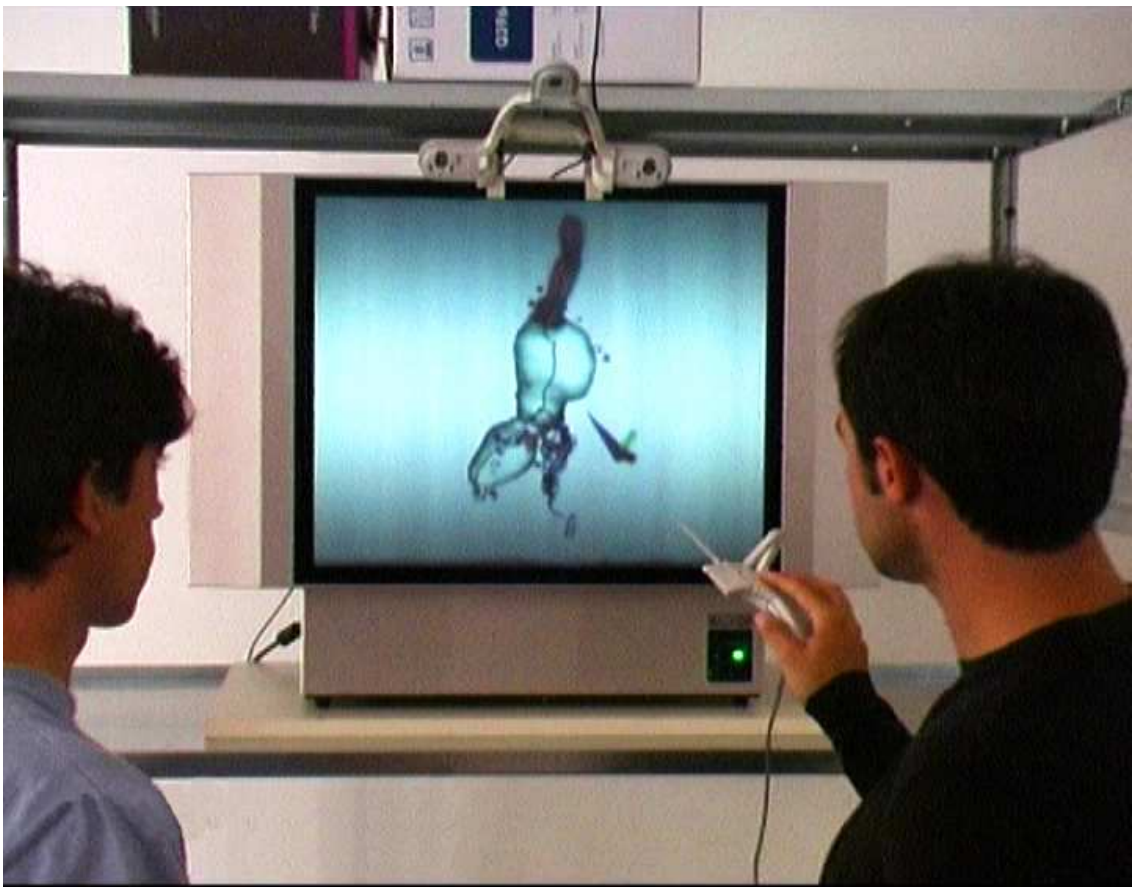


Figura 2.17: Display del CRS4.

3 Realizzazione del laboratorio virtuale a basso costo

In questo capitolo saranno elencate le componenti necessarie per la realizzazione di un teatro virtuale a basso costo e il loro relativo assemblaggio. Nel dettaglio, nella prima parte ci si soffermerà sulla scelta e il montaggio delle componenti hardware, mentre nella seconda parte ci concentreremo sul lato software.

3.1 Hardware necessario

La scelta dell'hardware adatto all'esigenza di creare un laboratorio virtuale a basso costo ha molto influito sulle scelte tecniche. Nel capitolo precedente abbiamo visto come certi tipi di teatri virtuali possano essere di notevoli dimensioni e richiedano dell'hardware particolarmente costoso come workstation SGI o schermi LCD di notevoli dimensioni. Uno degli obiettivi di questa tesi è quello di dimostrare che con una spesa contenuta (meno di cinquemila euro) chiunque può realizzare un teatro virtuale in grado di mostrare i propri dati su una superficie di diversi metri quadri, di sicuro impatto visivo.

Nei seguenti paragrafi esponiamo le caratteristiche tecniche dei componenti hardware che sono stati acquistati.

3.1.1 Proiettori

I proiettori sono la componente fondamentale che garantisce la qualità visiva della visione su schermo di grandi dimensioni. Per la realizzazione del nostro teatro virtuale sono stati scelti due proiettori ACER PD521, in base a precise supposizioni

riguardanti la struttura che il laboratorio virtuale avrebbe avuto una volta completato. L'ACER PD521 è in grado di proiettare un'immagine con una luminosità di 2000 lumens che è più che sufficiente per creare un'immagine sullo schermo in grado di essere vista senza alcun problema ad oltre dodici metri di distanza, il livello del contrasto pari a 2000:1 che garantisce immagini nitide e la possibilità di leggere bene anche del testo scritto in piccolo da lontano. Si sarebbe potuto utilizzare un video proiettore più performante e costoso, tuttavia si sarebbe ottenuta della qualità in più che difficilmente in un ambiente così piccolo si sarebbe potuta sfruttare ed apprezzare. I video proiettori si montano su un apposito supporto che ne garantisce la facilità d'uso come si può vedere in Figura 3.1, anche se nel nostro progetto abbiamo fatto il ricorso ad un supporto in compensato.



Figura 3.1: Videoproiettori montati sull'apposito supporto.

3.1.2 Pannello

Per la realizzazione del laboratorio virtuale si è utilizzata la tecnica stereoscopica della polarizzazione circolare della luce. Quindi è necessario usare un pannello su cui visualizzare le simulazioni stereoscopiche e che preservi la polarizzazione della luce. Per il nostro laboratorio abbiamo utilizzato un pannello della Da-Lite Screen Company di dimensioni di 2,5x2m e di tipo a superficie argentata, o silver screen [SEL07]. Il colore della superficie di questo pannello è grigio o argento opaco e impedisce

l'insorgere di riflessi dovuti alla luce ambientale. Come abbiamo detto nel Paragrafo 2.4.3 la luce ambientale che si riflette negli oggetti si trasforma in luce polarizzata e quindi potrebbe influire con la tecnica della polarizzazione della luce, ma con un pannello di questo tipo il rischio è scongiurato e si può quindi lavorare anche con la luce accesa senza problemi. Un pannello di questo tipo è leggermente più costoso di un normale pannello bianco riflettente, ma i suoi pregi sono evidenti e utili.

3.1.3 Filtri

I filtri passivi polarizzanti sono di tipo circolare e sono da porre di fronte alle lenti dei proiettori in modo tale che la luce non polarizzata emessa dai proiettori possa diventare polarizzata. I filtri in questione sono dei piccoli pannelli quadrati di vetro o plastica [3DF07] in grado di cambiare la polarizzazione della luce.



Figura 3.2: Supporto dei filtri polarizzanti.

L'unico problema nel gestire questi filtri consiste nel montarli perpendicolarmente alla direzione dei raggi luminosi emessi dai proiettori e non troppo vicini alle lenti dei proiettori per evitare che l'accumulo di calore fonda entrambe le ottiche. Per evitare questo tipo di incidenti si può utilizzare un supporto metallico progettato ad hoc come si può vedere in Figura 3.2 in grado di posizionare i filtri nel modo corretto. I filtri acquistati per il laboratorio virtuale sono due, uno destro e uno

sinistro (vedi Paragrafo 2.4.4): sono venduti in coppia e il loro costo è superiore ai normali filtri polarizzanti lineari, ma la qualità che forniscono in più è molto elevata.

3.1.4 Occhiali

Questi occhialini 3D, Figura 3.3, dispongono di un filtro polarizzato destro per una lente e di un filtro polarizzato sinistro per l'altra lente (vedi Paragrafo 2.4.4). Il loro costo è piuttosto basso e ne possono essere comprati molti per le esigenze di un pubblico numeroso, tuttavia gli occhialini polarizzati circolarmente sono leggermente più costosi degli occhialini polarizzati linearmente, però la loro resa grafica è superiore.



Figura 3.3: Occhiali polarizzanti.

3.1.5 Computer

Il computer utilizzato per questo progetto di laboratorio virtuale è un Pentium 4 a 3.2 GHz, con un 1 GB di memoria RAM con sopra installato Windows XP e gli ultimi driver grafici Catalyst dell'ATI. Si può affermare che una qualsiasi workstation grafica sia adatta per questo scopo.

3.1.6 Scheda video

La scheda video utilizzata per il progetto è un'ATI X300 SE DUAL HEAD con 128 MB RAM. La doppia uscita video è necessaria, poiché la tecnica della stereoscopia passiva della polarizzazione della luce prevede che all'utente siano fornite contemporaneamente le due immagini della coppia stereoscopica.

Nell'ambito del nostro progetto ha dimostrato essere di grande importanza capire il funzionamento del frame buffer della scheda video in modo da manipolarlo nel modo più corretto. Il frame buffer è una zona della memoria RAM residente nella scheda video in cui sono memorizzate le informazioni da visualizzare sullo schermo: si tratta di una matrice che contiene il colore dei pixel dello schermo. Per far funzionare

uno schermo di computer ad una risoluzione di 1024x768pixel ad una profondità di colore di 32bit, è quindi necessario allocare un frame buffer di 3MB ma questo è eseguito in automatico dalla scheda video.

In una scheda video DUAL HEAD si avrebbe da pensare che ci siano due frame buffer, uno per ogni uscita video; invece il frame buffer è singolo e serve entrambe le uscite video. Con due monitor ad una risoluzione di 1024x768pixel e profondità di 32bit ognuno, la scheda video utilizza un frame buffer di dimensioni pari a 2048x768pixel a 32bit, dove la metà destra di questa matrice si riferisce ad un'uscita video e l'altra metà si riferisce all'altra uscita video.

3.1.7 Demultiplexer

Il demultiplexer [DEM07] è un piccolo dispositivo che riceve in input un qualsiasi tipo di segnale elettrico, e poi è in grado di rinviare quello stesso segnale elettrico verso due o più uscite senza alcuna perdita di dati. Nell'ambito del progetto di realizzazione del laboratorio virtuale i demultiplexer che utilizziamo sono quelli che demultiplexano il segnale DVI della scheda video DUAL HEAD e lo reinstradano contemporaneamente verso i dispositivi video dei monitor del computer e dei video proiettori.

3.2 Montaggio

I componenti del laboratorio virtuale descritti nei paragrafi precedenti sono numerosi e complessi nell'assemblaggio: verrà fornito uno schema per il montaggio. In Figura 3.4 si vede una versione schematica del progetto in questione utile per capire come le componenti interagiscono tra loro.

L'installazione del computer è un fatto di routine, si può utilizzare una qualsiasi workstation grafica, purché quest'ultima sia in possesso di una scheda video DUAL HEAD con una buona capacità di calcolo della GPU e memoria grafica a sufficienza, come si può vedere nel punto A della Figura 3.4.

I cavi del segnale video che escono dalla scheda video possono essere VGA o DVI, quindi è necessario che le prese dei demultiplexer, dei proiettori, dei monitor e delle prolunghe dei cavi siano dello stesso tipo, a meno che non si disponga di appositi dispositivi convertitori dei segnali video da VGA a DVI o viceversa.

I cavi del segnale video che chiameremo d'ora in poi destro e sinistro per riferirci all'immagine della coppia stereoscopica che veicolano si vanno a connettere nei rispettivi demultiplexer del punto B in Figura 3.4. Ogni demultiplexer sia quello sinistro che quello destro hanno il compito di raddoppiare il segnale video che ricevono in input e di fare uscire due segnali video ciascuno. Ciascun demultiplexer invia uno dei suoi segnali video ai videoproiettori (punto C di Figura 3.4) e l'altro ai monitor della postazione di controllo (punto D di Figura 3.4).

I video proiettori ricevono l'immagine che gli inviano i demultiplexer e la visualizzano sul pannello (punto F di Figura 3.4). Di fronte ai proiettori vengono applicati i filtri passivi polarizzanti circolari (punto E di Figura 3.4) che hanno il compito di polarizzare la luce emessa dai proiettori sullo schermo di tipo silver che ha il pregio di mantenere correttamente la polarizzazione della luce. Alla fine gli utenti (punto G di Figura 3.4) che indossano gli occhialini 3D possono assistere alla visione stereoscopica.

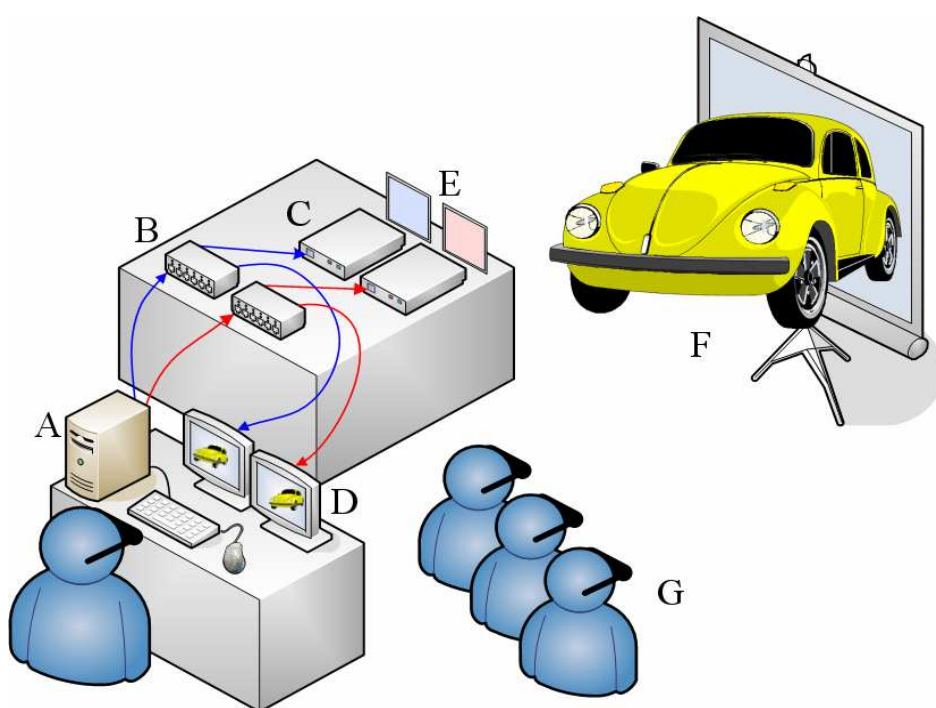


Figura 3.4: Ricostruzione schematica del laboratorio virtuale.

E' importante che i proiettori e i filtri polarizzanti (punti C ed E di Figura 3.4) siano correttamente posizionati. I proiettori in genere sono montati uno sopra all'altro e devono proiettare le loro immagini in modo tale che compaiono sovrapposte nel pannello di proiezione, quindi è necessario anche che i vari settaggi grafici relativi a luminosità, contrasto e zoom siano uguali per entrambi i proiettori. Il processo di

sovrapposizione delle immagini è piuttosto lungo e richiede continui settaggi manuali fino a quando le immagini non sono perfettamente sovrapposte. I filtri si possono piazzare davanti ai proiettori tramite il supporto mostrato in Figura 3.2.

L'allestimento di questo laboratorio virtuale dovrebbe essere effettuato in una stanza in cui sia possibile bloccare ogni possibile fonte di luce esterna per garantire una corretta visione dei dati visualizzati. I videoproiettori dovrebbero essere disposti davanti al pannello in modo tale che gli utenti non ne ricevano disagio, la collocazione dei filtri polarizzanti invece dovrebbe avvenire ad almeno quindici centimetri di distanza dalle lenti del videoproiettore per evitare che a causa dell'elevato calore possano fondersi.

3.3 Software

Esistono molti software e librerie che permettono agli utenti di avere un programma o costruirsi uno per la generazione di visioni stereoscopiche tramite un computer al fine di gestire l'intero apparato hardware di cui si compone il teatro virtuale. Si tratta per lo più di software per la pura visualizzazione dei dati, spesso solo per immagini 2D quali PokeScope o WallView; ma ci sono anche software che permettono la visualizzazione e manipolazione stereoscopica di oggetti 3D quali MatLab o Immersaview.

Per la realizzazione del nostro progetto abbiamo deciso di scrivere un nuovo programma al fine di capire come si possa implementare la generazione di visioni stereoscopiche su computer e per l'eventualità in futuro che si voglia aggiungere altre feature a supporto di altri progetti di ricerca. Il software è stato scritto in C++ e OpenGL utilizzando il compilatore Microsoft Visual Studio 2003 perfettamente aggiornato di tutti gli update.

3.3.1 OpenGL

OpenGL, versione 2.0, (Open Graphics Library) [OPE07a] è uno standard industriale che definisce una API (Application Programming Interface) per vari linguaggi di programmazione e per più sistemi operativi per scrivere applicazioni di computer grafica 2D e 3D. L'interfaccia pubblica di questa libreria consiste in circa 250 diverse chiamate di funzione che si possono usare per disegnare complesse scene tridimensionali a partire da semplici primitive quali punti, linee e poligoni. È usato per

sviluppare software nell'industria ludica, per applicazioni di CAD (Computer Aided Design), realtà virtuale, e CAE (Computer Aided Engineering).

Più nello specifico OpenGL è una specifica, ovvero, si tratta semplicemente di un documento che descrive un insieme di funzioni ed il comportamento preciso che queste devono assumere. Da questa specifica, i produttori di hardware creano implementazioni, ovvero librerie di funzioni software o integrate in hardware create rispettando quanto riportato sulla specifica OpenGL. I produttori devono comunque superare dei test specifici per poter fregiare i loro prodotti della qualifica di implementazioni OpenGL.

Macchina a stati finiti

OpenGL è una macchina a stati finiti [WIK07h] dotata di molte opzioni che possono essere attivate o disattivate per ottenere un cambiamento nel programma in esecuzione. Ogni cambiamento comporta un'evoluzione dello stato della macchina che rimarrà tale fino alla terminazione del programma stesso o di un altro cambiamento da parte dell'utente. Un tipico esempio riguardante il cambiamento degli stati è quello che viene utilizzato per creare primitive con antialiasing in OpenGL come accade nella Figura 3.5, in questo caso la creazione di una linea.

```
glEnable(GL_LINE_SMOOTH);  
glEnable(GL_BLEND);  
glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);  
glHint(GL_LINE_SMOOTH_HINT, GL_DONT_CARE);  
glLineWidth(3.0);  
.  
.  
.  
glBegin(GL_LINES);  
glVertex2f(-0.5, 0.5);  
glVertex2f(0.5, -0.5);  
glEnd();
```

Figura 3.5: Creazione di linea dotata di smooth.

Esistono altri stati in OpenGL molti dei quali rappresentati da valori booleani che influenzano certi tipi di operazioni oppure che riguardano il modo in cui certe primitive sono disegnate nel frame buffer e tutte possono essere abilitate o disabilitate tramite funzioni quali *glEnable()* e *glDisable()*.

La pipeline di rendering

La pipeline di rendering è il percorso che deve seguire il codice e i dati forniti dal programmatore prima di essere scritti nel frame buffer. Durante questo processo le informazioni vengono analizzate e trasformate in base ai valori dei parametri di stato interni di OpenGL definiti come spiegato nel Paragrafo precedente.

I dati in input sono principalmente di due tipi: coordinate, vertici e punti (Vertex data), oppure immagini, pixels e texture (Pixel data) come si vede in Figura 3.6.

L'operazione Display List [CHA07] che si vede tra i due flussi principali di dati non è obbligatoria e non influisce sulla visualizzazione dei dati bensì sulle loro prestazioni. Grazie alle Display List, infatti, si possono salvare una serie di valori pre-calcolati in modo da saltare alcuni passi della pipeline e snellire il lavoro.

Il percorso dei Vertex Data passa per Evaluators, dove alcuni tipi di primitive grafiche che rappresentano delle curve come Bezier, Spline e NURBS che sono descritte da alcuni punti di controllo sui quali vengono eseguiti calcoli di derivazione per trovare i vari vertici che le compongono.

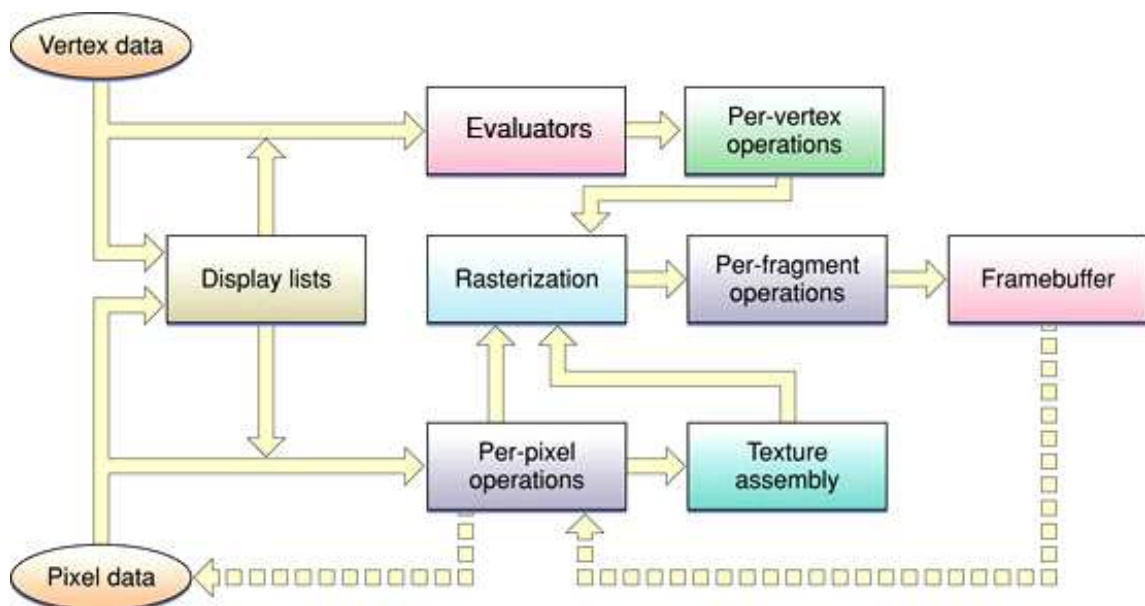


Figura 3.6: La pipeline di rendering di OpenGL.

Il passo successivo (Per-Vertex Operation) è senza dubbio quello più pesante dal punto di vista computazionale, infatti qui le coordinate di tutti i vertici sono trasformate in matrici 4x4 e sono sottoposte alle matrici di trasformazione che hanno il compito di eseguire traslazioni, rotazioni e ridimensionamenti. Successivamente viene eseguito il clipping dei poligoni nascosti e il calcolo delle profondità.

Per quanto riguarda il percorso delle immagini (Per-Pixel Operation) innanzitutto vengono attivate le procedure di decompressione dai vari buffer di memoria corrispondenti ad immagini compresse indicati dal programma, poi le immagini vengono ruotate, ridimensionate e passate alla Texture Assembly o direttamente alla fase di rasterization. Nella Texture Assembly si presta particolare attenzione ai calcoli per il texture mapping.

Infine i due flussi si combinano nel processo detto di rasterization e sia i vertici sia le immagini vengono trasformati in fragments, ognuno dei quali rappresenta un pixel del frame buffer. Qui vengono riempiti i poligoni ed eseguite le operazioni di antialiasing, ad ogni fragments viene associato un colore e una profondità nello Z-buffer.

Prima che i fragments vengano scritti sul framebuffer viene eseguita su di essi la copia dei pixel delle texture, che in base ai parametri adottati possono sovrascrivere o modificare i colori dei poligoni, ed inoltre vengono eseguiti i test in base ai parametri di trasparenza e in base ai valori contenuti nello stencil buffer e nel depth buffer. Quando, dopo tutte le operazioni di disegno, il frame buffer è finalmente completo esso verrà visualizzato sullo schermo.

Visualizzazione della scena

La scena in OpenGL è una determinata porzione di volume di uno spazio virtuale che in un qualche modo attraverso operazioni matematiche viene visualizzata su una superficie piana come può essere lo schermo di un computer. La scena può contenere tutta una serie di primitive grafiche OpenGL o una serie di oggetti o immagini inserite dagli utenti e può essere visualizzata in modi diversi.

Il modo in cui OpenGL processa la scena è analogo al modo in cui un fotografo usa la macchina fotografica per fare delle foto professionali. Innanzitutto ci sono gli oggetti presenti nel mondo virtuale ognuno dei quali possiede una propria serie di coordinate che ne esplicitano la posizione. Successivamente bisogna posizionare la macchina fotografica e poi bisogna scegliere la giusta lente per inquadrare l'obiettivo, fare la foto digitale scegliendo una data risoluzione e poi stampare.

Ovviamente OpenGL non segue questo schema nell'apposito ordine tuttavia è un'ottima analogia, ne vediamo giusto un esempio in Figura 3.7, dove vediamo intervenire tutte e quattro le trasformazioni necessarie alla creazione di una scena

OpenGL. Queste trasformazioni sono rappresentate da delle matrici di dimensione 4x4 che immagazzinano al loro interno il valore della trasformazione in atto.

Quando tutte le trasformazioni necessarie sono state definite e il mondo virtuale è stato caricato si può disegnare la scena. La scena si crea prendendo la matrice 4x4 corrispettiva di ogni vertice e moltiplicandola con la matrice di modellazione e quella di vista, ottenendo così le coordinate reali degli oggetti presenti nella scena. A questo punto i vertici che sono al di fuori della scena vengono tagliati fuori dalla trasformazione di proiezione tramite un'operazione di clipping e poi i vertici rimanenti (quelli dentro la scena) vengono adattati al tipo di trasformazione di proiezione che viene scelta. I rimanenti vertici trasformati vengono poi mappati tramite la trasformazione di viewport su una superficie piana che verrà visualizzata sul monitor.

```
void display(void){
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);      /*pulizia del buffer*/
    glLoadIdentity();                  /*pulizia matrice attuale*/
    /*trasformazione di vista*/
    gluLookAt(0.0, 0.0, 5.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0);
    /*trasformazione di modellazione*/
    glScalef(1.0, 2.0, 1.0);
    glRotatef(45.0, 0.0, 1.0, 0.0);
    glTranslatef(0.1, 0.2, -0.1);
    /*l'oggetto nella scena*/
    glutSolidCube(1.0);
    glFlush();
}

void reshape (int width, int height){
    /*trasformazione di viewport*/
    glViewport(0, 0, (GLsizei) width, (GLsizei) height);
    /*trasformazione di proiezione*/
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();                  /*pulizia matrice attuale*/
    glFrustum(-1.0, 1.0, -1.0, 1.0, 1.5, 20.0);
    /*trasformazione di modellazione e vista*/
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}
```

Figura 3.7: Disegno di un cubo.

Stack

Lo stack rappresenta il modo attraverso il quale il programmatore gestisce mondi virtuali complessi dove ci sono molti oggetti grafici che si muovono nello spazio. Se ad esempio ci fossero due oggetti grafici uno fermo e l'altro che ruota su se stesso in OpenGL dovremmo incapsulare frammenti di codice relativo ad oggetti grafici diversi tramite le chiamate *glPushMatrix()* e *glPopMatrix()*. Queste funzioni permettono di creare uno stack dove ogni livello è relativo solo agli oggetti grafici che contiene e tutte le trasformazioni matematiche applicate per quel livello dello stack influenzano solo quegli oggetti grafici.

```
Void display(void){
    glClearColor(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
    glPushMatrix();          /*creazione di un livello di stack*/
    glRotatef(5.0, 0.0, 1.0, 0.0);
    glutSolidSphere(10, 10, 10);
    glPopMatrix();          /*uscita dal livello di stack attuale*/
    glPushMatrix();          /*creazione di un livello di stack*/
    glTranslatef(10.0, 0.0, 0.0);
    glutSolidSphere(10, 10, 10);
    glPopMatrix();          /*uscita dal livello di stack attuale*/
    glutSwapBuffers();
}
```

Figura 3.8: Disegno di due sfere affiancate.

Senza l'utilizzo dello stack la prima chiamata di *glRotatef()* farebbe ruotare su se stessi tutte e due gli oggetti grafici creati nel mondo virtuale, mentre l'intenzione iniziale era di farne ruotare solo uno. Con lo stack invece è possibile creare movimenti ed interazioni complesse senza che le trasformazioni matematiche applicate ad un oggetto grafico in particolare influenzino anche gli altri oggetti grafici. In OpenGL esistono diversi stack uno per le operazioni matematiche, uno per gli attributi e un altro per gli stati e ognuno funziona tramite la stessa logica.

Proiezioni prospettiche

Le matrici di proiezione sono il meccanismo utilizzato da OpenGL per costruire una vista bidimensionale di un mondo prettamente tridimensionale. Ne abbiamo già

visto un esempio in Figura 3.7 che ha il compito di specificare alla pipeline di rendering di OpenGL in quale modo le coordinate dei vertici di un oggetto presente nella scena debbano essere mappate su un teorico piano di proiezione. Esistono due tipi di matrici di proiezione: quelle prospettiche e quelle parallele.

La proiezione di un punto 3D è definita come l'intersezione di una linea retta, detta raggio proiettore, che parte dal centro di proiezione (un punto che può essere posizionato anche all'infinito), passa attraverso il piano di proiezione e raggiunge il punto da proiettare. Nel caso di un centro di proiezione posto all'infinito i raggi proiettori sono perpendicolari al piano di proiezione. In Figura 3.9 vediamo un esempio di come un segmento composto da due vertici A e B sia proiettato su di un piano di proiezione grazie ai raggi proiettori in due differenti tipi di proiezioni. I punti A' e B' rappresentano ciò che l'utente finale vedrà nella scena.

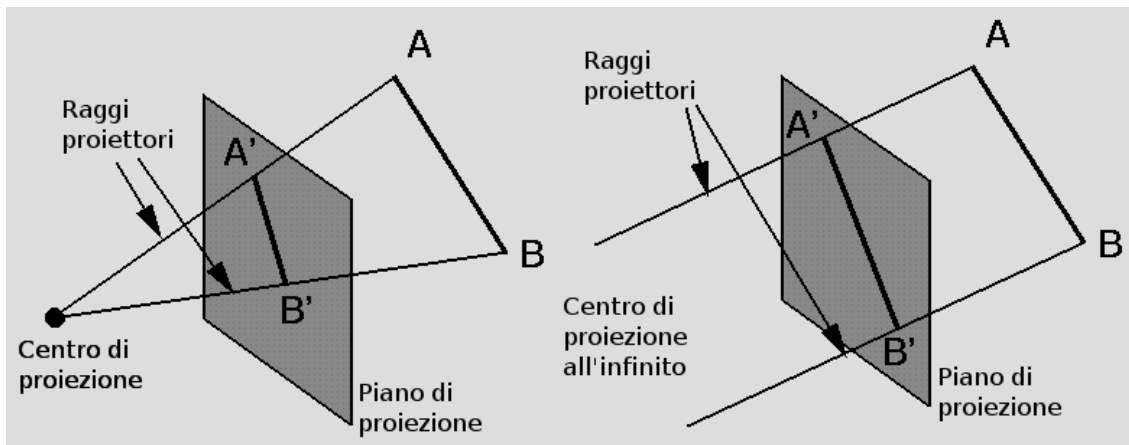


Figura 3.9: Proiezione prospettica (a destra), proiezione parallela (a sinistra).

A seconda di come l'utente sceglie la matrice di proiezione l'aspetto che la scena assumerà sarà piuttosto differente, questo avviene perché la matrice di proiezione parallela mantiene le proporzioni degli oggetti della scena 3D ed è molto utilizzata in applicativi CAD o CAE, mentre le matrici di proiezione prospettica producono una scena simile a quella che percepisce l'occhio umano e sono di maggiore impatto visivo.

In OpenGL standard le matrici di proiezione parallele sono introdotte da `glOrtho()`, mentre le matrici di proiezione prospettica sono introdotte da `glFrustum()`.

Glut

Glut, versione 3.7, [GLU07] è una GUI (Graphical User Interface) per la gestione di finestre e di eventi per programmi scritti in OpenGL. Glut è una libreria portabile su tutti i sistemi operativi in quanto essa è una libreria minimale; cioè

implementa tutte quelle funzioni grafiche per gestire un programma comuni ad ogni sistema operativo. Quindi Glut non fornisce dispositivi di interazione sofisticati con l'utente quali bottoni, campi di testo, pannelli, ecc.

Una finestra Glut prevede un certo numero di eventi che possono essere catturati associandovi delle funzioni di tipo callback. La funzione callback associata ad un certo tipo di evento scatterà automaticamente al verificarsi di quel evento stesso, ad esempio il premere di un tasto sulla tastiera o il movimento del mouse.

Glut prevede la possibilità di associare un menu pop-up alla finestra, che appare quando l'utente preme il mouse all'interno della finestra. C'è anche la possibilità di usare un ridotto set di fonts e di creare viste multiple all'interno della finestra principale. L'interattività di questa libreria è quindi minima.

Glui

La GLUI, versione 2.2, [RAD07] è una libreria di oggetti C++ costruita utilizzando le GLUT e mette a disposizione tutta una serie di oggetti grafici per rendere l'interfaccia di un programma di più user-friendly, si può dire che essa integra la mancanza da parte della Glut di tutti quei costrutti grafici tipici delle altre GUI grafiche come QT, MFC, wxWidget, ecc.

Glui basandosi sulle Glut ne mantiene l'estrema portabilità e l'alta integrazione con le OpenGL, inoltre Glui prevede la possibilità di creare delle finestre secondarie utili per interazione con l'utente. Un programma scritto con le OpenGL e Glut è facilissimo da aggiornare aggiungendovi la libreria delle Glui in quanto la sintassi delle funzioni Glui è simile a quella delle Glut.

3.3.2 SceneGraph

Lo SceneGraph [WIK07i] è una tecnica di programmazione rappresentante un albero informatico che basandosi sulla tecnica della polimorfia dei linguaggi di programmazione ad oggetti riesce a renderizzare una scena del mondo virtuale in modo diverso rispetto alle OpenGL come visto nel Paragrafo 3.3.1. In OpenGL per ottenere una scena bisogna scrivere il codice in una certa maniera introducendo nel posto adeguato le varie trasformazioni matematiche degli oggetti della scena ed adoperando con cura lo stack per la creazione di scene complesse. OpenSceneGraph (vedi Paragrafo 3.3.3) è una delle librerie d'alto livello che si basa sull'utilizzo dello SceneGraph e

grazie a ciò si gestisce una scena in modo più semplice; un'altra libreria basata sull'utilizzo della tecnica dello SceneGraph è OpenGL Performer [OVE07].

In OpenSceneGraph ogni oggetto grafico, operazione matematica, texture o effetto speciale è rappresentata da una classe specifica, ognuna di queste classi tramite il meccanismo dell'ereditarietà eredita da un'unica classe padre. Lo SceneGraph è un albero i cui nodi sono puntatori alla classe base e quindi creare degli algoritmi che navigano e analizzano tale struttura dati è piuttosto semplice. Per renderizzare la scena non si deve fare altro che inserire le istanze degli oggetti grafici in questione dentro allo SceneGraph e chiamare il metodo *setSceneData()* della classe Viewer.

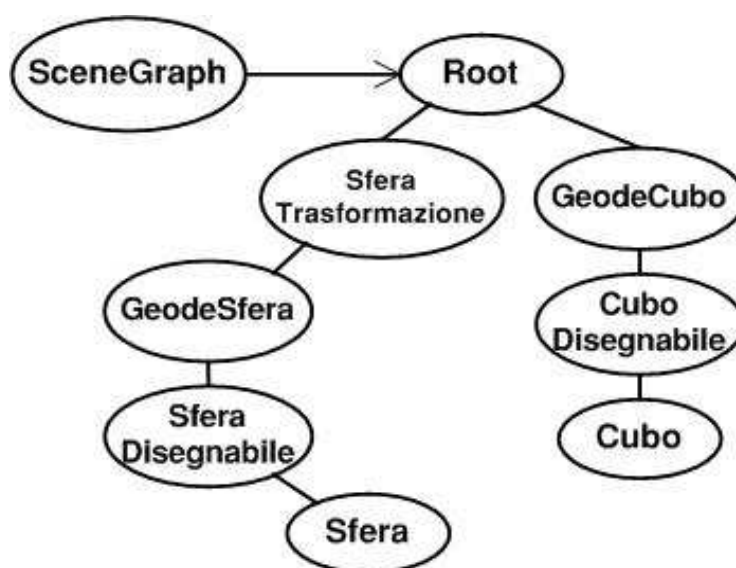


Figura 3.10: Rappresentazione dello SceneGraph.

In pratica lo SceneGraph rappresenta il mondo virtuale creato dall'utente ordinato in modo pratico, su cui diventa semplice fare in automatico operazioni come il rendering, il culling, ecc. In Figura 3.11 vediamo un esempio di codice in OpenSceneGraph che visualizza un cubo ed una sfera utilizzando il metodo dello SceneGraph.

Lo SceneGraph può facilmente essere rappresentato anche graficamente come un albero informatico in modo da rendere più chiara la struttura del mondo virtuale creato dagli utenti. Nella Figura 3.10 si può vedere uno spaccato dello SceneGraph del codice riportato in Figura 3.11.

Lo SceneGraph libera il programmatore dal doversi preoccupare di gestire uno stack in stile OpenGL e più in generale dalla gestione di una scena complessa. Dove prima in OpenGL c'erano centinaia di linee di codice in perfetto ordine all'interno dello

stack e dove una modifica comporta il doversi rileggere l'intero codice per capire l'ordine dello stack, ora grazie allo SceneGraph basta rintracciare il nodo relativo alla modifica da apportare e le modifiche saranno apportate solo a quel nodo, evitando che linee di codice successive appartenenti però a nodi diversi siano influenzati.

```
//Creazione dei nodi dell'albero dello SceneGraph
Group* root      = new Group();
Geode* GeodeCubo  = new Geode();
Geode* GeodeSfera = new Geode();
//Creazione cubo e sfera: coordinate(0,0,0) e raggio 1
Box*   Cubo   = new   Box(Vec3(0,0,0), 1.0);
Sphere* Sfera = new Sphere(Vec3(0,0,0), 1.0);
//Creazione oggetti disegnabili contenenti i nostri oggetti
ShapeDrawable* CuboDisegnabile  = new ShapeDrawable(Cubo);
ShapeDrawable* SferaDisegnabile = new ShapeDrawable(Sfera);
//Inserimento del cubo nel geode
GeodeCubo->addDrawable(CuboDisegnabile);
//Inserimento del geode nel raccoglitore
root->addChild(GeodeCubo);
//Creazione oggetto per le trasformazioni matematiche
PositionAttitudeTransform* SferaTrasformazione =
    new PositionAttitudeTransform();
//Impostazione della trasformazione matematica
SferaTrasformazione->setPosition(Vec3(2.5,0,0));
//Inserimento della trasformazione matematica nel nodo
root->addChild(SferaTrasformazione);
//Inserimento del geode nella trasformazione matematica
SferaTrasformazione->addChild(GeodeSfera);
//Inserimento della sfera nel geode
GeodeSfera->addDrawable(SferaDisegnabile);
. . .
//Lo SceneGraph
Viewer viewer;
viewer.setSceneData(root);
return viewer.run();
```

Figura 3.11: Utilizzo dello SceneGraph in OpenSceneGraph.

3.3.3 OpenSceneGraph

OpenSceneGraph [OPE07b] è un API (Application Programming Interface) OpenSource multi piattaforma creata per lo sviluppo di applicazioni grafiche 2D, 3D ad alte prestazioni quali simulatori di volo, giochi, realtà virtuale e visualizzazione scientifica di dati. Questa libreria ad alto livello è basata sul concetto dell'utilizzo dello SceneGraph [WIK07i], è scritta interamente basandosi sul C++ e sulle OpenGL e fornisce allo sviluppatore un ambiente di sviluppo completo di numerosi strumenti che in OpenGL non sono forniti, quali supporto a formati di file 3D, database, motori di rendering e altro ancora.

OpenSceneGraph è una libreria altamente portatile perché innanzitutto è scritta in standard C++ e in OpenGL, ma anche perché essa è indipendente dall'utilizzo di interfacce grafiche lasciando all'utente la possibilità di integrarla con una particolare GUI di preferenza quale QT, wxWidget, ecc, tuttavia c'è la possibilità di utilizzare una classe chiamata *osgViewer* che fornisce un supporto minimale di gestione di finestre grafiche e di periferiche di input.

Un dei principali problemi nella produzione di software di tipo ludico o scientifico è il supporto riguardante i formati di file grafici, software di grafica 3D o 2D come PhotoShop, TheGimp, 3DS MAX, Maya o software di CAD o CAE gestiscono file di formati diversi. La possibilità di poter gestire oggetti salvati in questi formati di file è fornita dal package osgDB che permette l'importazione di tali oggetti nel software per poter permettere all'utente di utilizzarli come meglio crede.

In OpenGL la gestione di effetti grafici complessi è lasciata interamente sulle spalle dell'utente che deve scrivere da solo gli effetti grafici di cui necessita o appoggiarsi su librerie esterne rendendo la programmazione lenta e frammentata, OpenSceneGraph, invece, include in numerosi package molte classi che implementano effetti grafici complessi quali sistemi particellari, testo con antialiasing, librerie per la gestione di ombre, LOD (Level Of Details) [WIK07i] e altro ancora che permette agli utenti di scrivere codice complesso in poche righe.

3.4 Codice sorgente

E' stato scritto un software in OpenGL che implementasse le visioni stereoscopiche come base per la realizzazione del progetto di tesi. Nel corso di questo

Paragrafo riportiamo i frammenti di codice più significativi. Il primo passo per realizzare il programma usato è quello di interfacciarsi con la scheda grafica e il frame buffer per carpire le risoluzioni dei due monitor.

Grazie al codice riportato in Figura 3.12 la libreria GLUT è in grado di creare una finestra a tutto schermo in cui sarà possibile disegnare tramite le OpenGL le nostre visioni stereoscopiche. E' stato necessario settare per ben due volte di fila la posizione e la dimensione della finestra grafica in quanto GLUT dopo la creazione della finestra tramite *glutCreateWindow()* esegue in automatico un evento di ridimensionamento della finestra stessa, e per non correre il rischio che la finestra sia riposizionata in un punto dello schermo non congeniale viene riposizionata di nuovo manualmente.

```
//Get the size of a single monitor
SCREEN_WIDTH=(HALF_WIDTH=glutGet(GLUT_SCREEN_WIDTH))*2;
SCREEN_HEIGHT=glutGet(GLUT_SCREEN_HEIGHT);
//Set the starting dimension of the windows
glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH,SCREEN_HEIGHT);
//Set the entire window to starting (0,0) coordinates
glutInitWindowPosition(0,0);
//The window is not created before the glut loop
main_window=glutCreateWindow("Maga3DView");
//Set the dimension of the windows
glutReshapeWindow(SCREEN_WIDTH,SCREEN_HEIGHT);
//Set the active window to (0,0) coordinates
glutPositionWindow(0,0);
```

Figura 3.12: Inizializzazione della finestra grafica.

```
glMatrixMode( GL_PROJECTION );
glLoadIdentity( );
    if (orthocheck)
        gluPerspective( 60, ratio, 1, 256 );
    else
        glOrtho( -ratio, ratio, -ratio, ratio, 1, 256 );
glMatrixMode( GL_MODELVIEW );
glLoadIdentity( );
```

Figura 3.13: gestione della matrice di proiezione.

In Figura 3.13 è riportato il codice per eseguire le trasformazioni matematiche relative alla trasformazione di proiezione che riguarda i piani di clipping della scena, e il tipo di proiezione da utilizzare. L'utilizzo di una variabile booleana come *orthocheck* permette far scegliere all'utente tramite una piccola interfaccia grafica se utilizzare una proiezione prospettica o parallela (vedi Paragrafo 3.3.1). Successivamente riportiamo le restanti trasformazioni grafiche che la scena subisce per ricreare una visione stereoscopica.

```
/*Draw the left eye*/
glViewport(0, 0, HALF_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
gluLookAt(-eye_separation,0.0,distance,
          0.0,0.0,0.0, 0.0,1.0,0.0);
// Draw the graphical objects . . .
. . .
/*Draw the right eye*/
glViewport(HALF_WIDTH, 0, HALF_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
gluLookAt(eye_separation,0.0,distance,
          0.0,0.0,0.0, 0.0,1.0,0.0 );
// Redraw the graphical objects . . .
. . .
glutSwapBuffers( );
```

Figura 3.14: Disegno delle due viste stereoscopiche.

All'interno della funzione che si occupa di renderizzare la scena (vedi Figura 3.14) inseriamo il codice delle trasformazioni necessarie affinché attraverso le periferiche di output grafico siano visualizzate le corrette immagini della coppia stereoscopica.

La variabile *eye_separation* (vedi Paragrafo 1.3) viene utilizzata nella trasformazione di vista per ricreare l'effetto di convergenza dell'apparato visivo umano. La variabile *distance* rappresenta la distanza delle telecamere rispetto al centro della scena. Infine al termine della pipeline di rendering relativa a ciascun occhio vengono inseriti i modelli da visualizzare che subiranno il processo di trasformazione e questo avviene quindi due volte.

3.5 Risultati sperimentali

In Figura 3.15 abbiamo catturato un frame del programma scritto in OpenGL dal quale si può notare la presenza delle due immagini della coppia stereoscopica, sotto nel dettaglio è riportato un breve riepilogo della scena visualizzata che mostra alcuni dati come la distanza media interpupillare (vedi Paragrafo 1.3), la distanza dell'osservatore dal centro della scena, il calcolo dei frame al secondo per l'analisi delle prestazioni, se l'oggetto è in movimento e su quali assi si sta interagendo con il mouse.

Durante l'esecuzione del software nel laboratorio virtuale si è raggiunto sempre un buon grado di fluidità nella visualizzazione dei dati e la qualità delle immagini visualizzate dai proiettori sul pannello cinematografico era sempre molto buona. Chi era presente nel laboratorio ed era dotato degli occhialini 3D provava il caratteristico impulso di tentare di toccare gli oggetti visualizzati che ai loro sensi stavano fluttuando davanti ai loro occhi. L'unica pecca del progetto riguarda il corretto allineamento e messa a fuoco dei due proiettori che costringe a perdere alcuni minuti per allinearli manualmente.



Figura 3.15: Screenshot del programma sviluppato con sotto riportato un dettaglio.

Il software scritto in OpenGL supporta e riproduce file con estensione 3DS, tuttavia uno dei fini del progetto di tesi è quello di creare un visualizzatore di dati stereoscopici versatile e per far ciò bisognerebbe fornire un supporto a tutti i principali formati di file grafici in commercio, gestirne l'animazione, il picking, i bounding box e altro ancora. Per far ciò bisognerebbe trovare le giuste librerie ed integrarle nel software o scriverle da zero visto che OpenGL lascia agli utenti la responsabilità di gestire gli effetti grafici di tipo avanzato; per questo motivo per la visualizzazione di dati si è

ricorsi ad OpenSceneGraph che già nativamente fornisce questo tipo di supporto, senza la necessità di re-implementare daccapo alcun effetto grafico particolare.

Uno degli applicativi forniti insieme alle distribuzioni di OpenSceneGraph, *osgviewer*, supporta la riproduzione di immagini stereoscopiche, per questo motivo visto che OpenSceneGraph è una libreria gratuita ed open source dalle innumerevoli risorse si ritiene opportuno utilizzare *osgviewer* come software base da utilizzare nel laboratorio virtuale. In Figura 3.16 si può vedere un frame di *osgviewer* mentre visualizza un oggetto 3D caratterizzato da un'animazione e da un effetto di multitexturing.



Figura 3.16: Uno screenshot di osgviewer.

4 Conclusioni e sviluppi futuri

In questo capitolo analizziamo i risultati ottenuti tramite il nostro progetto di tesi analizzandone i punti di debolezza e di forza. In seguito analizzeremo la possibile evoluzione di questo progetto e gli usi che se ne potranno fare in un prossimo futuro.

4.1 Conclusioni

In questa tesi è stato affrontato il problema della realizzazione di un laboratorio virtuale con un budget contenuto. In commercio esistono molte soluzioni che si sarebbero potute adottare, quale ad esempio il GeoWall System, per ottenere uno strumento utile alla ricerca come un laboratorio virtuale. Tuttavia il costo di questi sistemi già assemblati e testati è piuttosto elevato (sui 8.000 12.000\$) [DAN07] e costruendoselo da sé si può risparmiare molto. E' comunque difficile fornire stime attuali del costo sostenuto a causa della continua evoluzione dei modelli e dei prezzi nel mercato informatico. In ogni caso il nostro laboratorio è stato costruito con una spesa inferiore ai 5.000 euro.

La scelta della polarizzazione circolare (vedi Paragrafo 2.4.4) come mezzo per proiettare immagini stereoscopiche si è rilevata essere la migliore possibilità in quanto sta incominciando ad avere grande diffusione nei campi cinematografici e delle simulazioni scientifiche. Le tecniche di polarizzazione rappresentano il giusto compromesso al fine di realizzare teatri virtuali di grosse dimensioni ad un prezzo molto economico salvaguardando la qualità della visione, inoltre non c'è hardware particolare di cui dover far manutenzione.

Per quanto riguarda la visualizzazione dei dati, OpenSceneGraph è un'ottima soluzione che permette, tramite le sue numerose utility, la gestione di scene

tridimensionali di grandi dimensioni. Il supporto di numerosi formati grafici ne rende per l'appunto un visualizzatore di dati tridimensionali eccellente supportato da una comunità di sviluppatori di livello internazionale. Inoltre sono molti i progetti presentati in questo Corso di Laurea di Scienze dell'Informazione che si basano su questa libreria [NOR04] [ZAN05].

4.2 L'evoluzione

L'evoluzione di questo progetto di tesi riguarda sia il lato hardware che il lato software del progetto, su entrambi questi fronti è possibile realizzare nuove implementazioni del laboratorio virtuale aumentandone la capacità computazionale pur mantenendo un profilo basso di costo.

4.2.1 Hardware

Nel corso degli ultimi anni sono state introdotte da AMD e NVIDIA diverse soluzioni d'ingegneria che riguardano il mondo della grafica e che influiscono sulla possibilità di costruire workstation grafiche a basso costo o che si possono facilmente upgradare nel corso del tempo con spese molto limitate. Le tecnologie SLI e Crossfire [WIK07m] permettono di collegare due o più schede video uguali per produrre un unico segnale video in uscita all'interno di un unico computer esattamente come fanno le workstation SGI ma ad un prezzo molto più conveniente.



Figura 4.1: Un sistema Crossfire con tre schede video.

Recentemente SLI e Crossfire sono state sviluppate affinché possano funzionare con schede video di diverso tipo calcolando dinamicamente in quale percentuale ripartire il carico computazionale del rendering sulle schede video. Questa tecnologia fa sì che si possa costruire una workstation per la generazione di visioni stereoscopiche che può essere upgradata nel corso degli anni aggiungendo via via sempre più schede video all'interno della workstation stessa. Queste tecnologie sono fin da adesso altamente supportate dai chipset delle schede madri ed esistono numerosi articoli sul loro montaggio per garantire la corretta dissipazione del calore generato [COM07].

AMD e NVIDIA recentemente hanno iniziato a mettere in commercio schede video con integrate sopra due GPU [WIK07n] rendendo teoricamente possibile creare sistemi SLI estremamente scalabili, anche se il costo di queste schede video è ancora estremamente alto.

Riguardo alle GPU si sta sviluppando una florida comunità [GEN07] di programmatori GP-GPU (General-Purpose computation on GPU) che usa in modo combinato GPU e CPU per il calcolo scientifico. In [ROF06] viene presentata un'applicazione di questa tecnica all'analisi di immagini mediche.

4.2.2 Software

Il software scritto in OpenGL, che ci ha permesso di implementare visioni stereoscopiche, purtroppo è limitato (vedi Paragrafo 3.5) e vista la completezza della libreria OpenSceneGraph (vedi Paragrafo 3.3.3) sarebbe opportuno e soprattutto comodo se chi volesse lavorare nel ambito della stereoscopia utilizzasse quest'ultima libreria per scrivere il proprio codice. E' in corso di sviluppo un software basato su OpenSceneGraph che ha lo scopo di creare presentazioni stereoscopiche unite alla proiezione di filmati stereo e navigazione in ambienti virtuali chiamato Present3D [PRE06].

Esistono, però, altri tool altrettanto validi quali OpenDX [VIS07], OpenMAF [WEL07] e VTK [THE07] che si possono sfruttare per motivi di ricerca scientifica e visualizzazione di dati dalle interessanti potenzialità, anche perché essi supportano tipi di dati particolari come oggetti grafici basati su voxel [WIK07r] tipico di isosuperfici di esami medici come la tomografia o l'ecografia [PIL07], oppure sono stati sviluppati per visualizzare simulazioni scientifiche in real-time.

4.3 Olografia

L'olografia [WIK07p] è stata ideata nel 1947 e fu sviluppata negli anni '60. Si tratta di una delle più affascinanti scoperte del dopoguerra, tanto che il suo scopritore Denis Gabor ha ricevuto il Premio Nobel per la Fisica nel 1971. L'olografia è un metodo che consente di registrare immagini fotografiche tridimensionali. Quando l'ologramma viene illuminato con un fascio di luce monocromatica l'immagine contenuta dentro l'apposito supporto diventa visibile: l'immagine ha profondità, e l'osservatore in certi casi può anche girarvi attorno per guardarla da dietro.

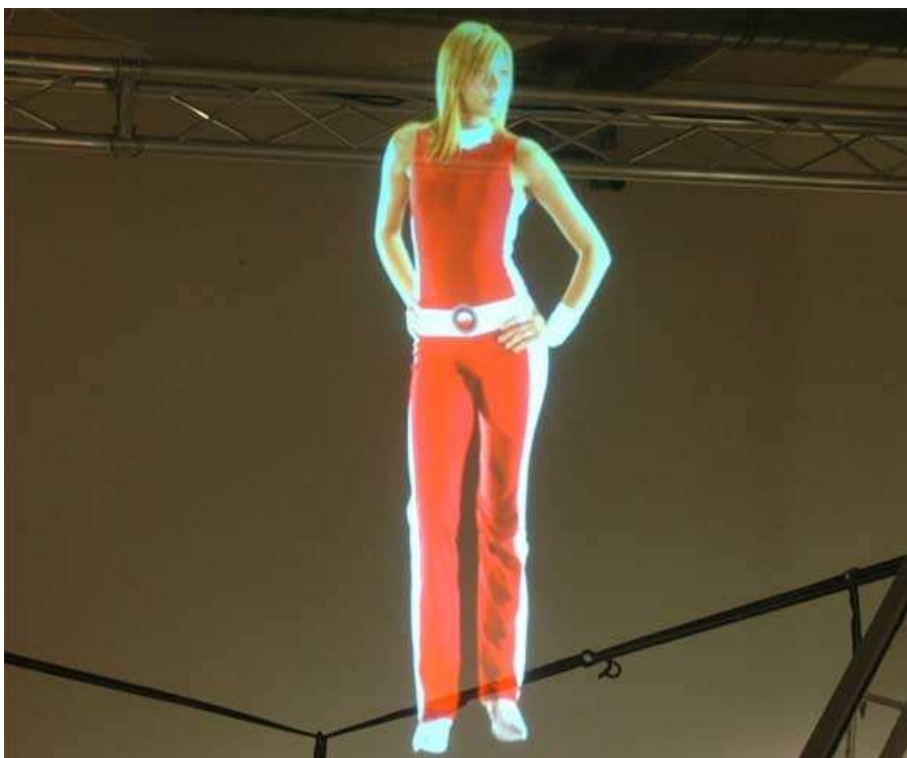


Figura 4.2: Ologramma a carattere pubblicitario.

Nel Paragrafo 2.7.7 abbiamo mostrato uno schermo che impiega questa tecnologia nel campo della diagnosi medica. Al giorno d'oggi questa tecnica ha già prodotto dei buoni risultati ed esistono in commercio avanzati prototipi utilizzati per campagne pubblicitarie [CHE07] come si può vedere in Figura 4.2. Grazie all'utilizzo di questa tecnica la generazione di visioni stereoscopiche diventerà obsoleta, anche se tuttavia bisognerà aspettare ancora molti anni affinché i costi di questa nuova tecnologia possano abbassarsi e la rendano facilmente concorrenziale.

Bibliografia

- [KAI95] Kaiser Electro-Optics Inc., “Display system”, http://www.rockwellcollins.com/content/pdf/pdf_7498.pdf, 2005
- [WIK07e] Wikipedia, “Polarizzazione della radiazione elettromagnetica”, http://it.wikipedia.org/wiki/Polarizzazione_della_radiazione_elettromagnetica, 2007
- [3DF07] <http://www.berezin.com/3d>, “3d Filters holder”, <http://www.berezin.com/3d/filterholder.htm>, 2007
- [3DG07a] <http://www.3dgw.com>, “3D Glasses - How They Work”, <http://www.3dgw.com/Articles/articlepage.php3?id=1>, 2007
- [3DG07b] <http://www.3dglases.net/index.htm>, “3D glasses”, <http://www.3dglases.net/3D%20Glasses.htm>, 2007
- [3DG07c] <http://www.magia.it/Alfa23/3DGugle/NewGugHlp.htm>, “3D Gugle Manuale Operativo”, <http://www.magia.it/Alfa23/3DGugle/ProcDocITA.htm>, 2007
- [BAI05] Mike Bailey, “OSU ChromaDepth Scientific Visualization Gallery”, <http://web.engr.oregonstate.edu/~mjb/chromadepth>, 2005
- [BAI99] Michael Bailey, Dru Clark, “Using ChromaDepth to obtain Inexpensive single-image Stereovision for Scientific Visualization”, <http://web.engr.oregonstate.edu/~mjb/chromadepth/chromapaper.pdf>, 1999
- [BER07] Andrea Bernardi, Stefano Cacciaguerra, “Proiezione Stereoscopica”, http://www.cs.unibo.it/~scacciag/home_files/teach/stereovisione.pdf, 2007
- [BET05a] Fabio Bettio, Francesca Frexia, Enrico Gobbetti, Giovanni Pintore, Gianluigi Zanetti, Tibor Balogh, Tamás Forgács, Tibor Agocs, and Eric Bouvier, “Collaborative immersive visualization without goggles - experiences in developing a holographics display system for medical applications”, <http://www.crs4.it/vic/data/papers/mimos2005-holo.pdf>, 2005
- [BET05b] Fabio Bettio, Francesca Frexia, Enrico Gobbetti, Giovanni Pintore, Gianluigi Zanetti, Tibor Balogh, Tamás Forgács, Tibor Agocs, and Eric Bouvier, “Collaborative immersive visualization without goggles - experiences in developing a holographics display system for medical applications”, <http://www.crs4.it/vic/cgi-bin/multimedia-page.cgi?id='132'>, 2005
- [CAN02] Tiziana Canziani, Sonela Spasse, “Visione stereoscopica”, <http://fc.units.it/ppb/visione>, 2002

- [CAP04] Salvatore Capobianco, “L’ambliopia”,
<http://xoomer.alice.it/salcapob/ambliopia.htm>, 2004
- [CHA07] <http://glprogramming.com/red/index.html>, “Chapter 7: Display Lists”,
<http://glprogramming.com/red/chapter07.html>, 2007
- [CHE07] <http://3dscreen.ramboll.dk>, “Cheoptics360 XL”,
<http://3dscreen.ramboll.dk/default.asp>, 2007
- [CHO99] W.C. Chou, J.N. Chen, T.S. Huang, H.J. King, C.H. Chen, S.M. Wang, “Head Mounted Display(HMD) Commercialized Product Practice Research”,
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6176/16498/00762776.pdf>, 1999
- [CHR06] Chrisitan De Poorter, “Il gesto del comando”,
http://www.cartabianca.com/christian/e_il_gesto_che_conta.pdf, 2006
- [COM07] <http://slizone.com>, “Come assemblare il proprio sistema SLI”,
http://it.slizone.com/object/slizone_howtobuild_1_it.html, 2007
- [DAL07] <http://www.iapb.it>, “Daltonismo”,
<http://www.iapb.it/news2.php?ozim=49&id=177>, 2007
- [DAN07] Daniel R. Steinwand, Brian Davis, and Nathan Weeks, “Geowall: Investigations into Low- Cost Stereo Display Technologies”,
<http://geowall.geo.lsa.umich.edu/papers/Geowall.pdf>, 2007
- [DEM07] <http://www.scuolaelettrica.it>, “Demultiplexer”,
<http://www.scuolaelettrica.it/superiore/tecnologico/informatico/parte1/lezione3.shtml>, 2007
- [EFF07] <http://www.crit.rai.it>, “Effetto tridimensionale a Futura city”,
<http://www.crit.rai.it/eletel/2005-1/51-7.pdf>, 2007
- [ENG99] Tomi Engdahl, “3D glasses and other 3D display devices”,
<http://www.epanorama.net/documents/pc/3dglass.html>, 1999
- [EUC07] Euclide, “L’ottica”,
<http://www.istitutomaserati.it/prospettiva/Storia/Ottica.html>, 2007
- [EVL07] <http://www.uic.edu> , “EVL electronic visualization laboratory”,
<http://www.evl.uic.edu/index2.php>, 2007
- [FOT07] <http://fc.units.it>, “Fototrasduzione ed analisi delle informazioni nella retina”,
<http://fc.units.it/ppb/visione>, 2007
- [FRA07] Francesco Franceschi, “Stereogrammi”
<http://www.ffranceschi.com/midima/ffita005.html>, 2007
- [GEN07] <http://www.gpgpu.org>, “General-Purpose Computation Using Graphics Hardware”, <http://www.gpgpu.org>, 2007
- [GLU07] <http://www.OpenGL.org>, “GLUT - The OpenGL Utility Toolkit”,
<http://www.OpenGL.org/resources/libraries/glut>, 2007
- [GUI07] Antonella Guidazzoli, “Grafica Immersiva per il Virtual Cultural Heritage”,
http://www.storiaeinformatica.it/nume/italiano/nrealta_a.html, 2007
- [HEA07] <http://www.vrealities.com>, “Head tracker”,
<http://www.vrealities.com/headtrackers.html>, 2007
- [HMD07] <http://www.vrealities.com>, “Head mounted display”,
<http://www.vrealities.com/hmd.html>, 2007
- [ILM07] <http://www.vedo.net>, “Il meccanismo della visione”,
<http://www.vedo.net/src/anatomia.html>, 2007

- [IMA07a] <http://www.imax.com>, "IMAX theatre types",
http://www.imax.com/ImaxWeb/theatres.do?param_section=imax3d¶m_submenuSelect=introSelect¶m_subLeftSelect=imax3dSelect, 2007
- [IMA07b] <http://www.laregiacomperfezione.it>, "IMAX EXPERIENCE by Imax Corporation! L'ultima frontiera cinematografica",
<http://www.1aait.com/larovere/imaxexpe.htm>, 2007
- [IMM07] <http://users.rowan.edu>, "ImmersaDesk R2",
http://users.rowan.edu/~shreek/share/MRI02/FS_IDeskR2.pdf, 2007
- [LAN07a] <http://fc.units.it>, "Anatomia della visione stereoscopica",
<http://fc.units.it/ppb/visione/Stereopsi/Stereopsi2.html>, 2007
- [LAN07b] Marco Lanzagorta, Larry Rosenblumy, Eddy Kuoz, and Rob Rosenbergx, "Using Virtual Reality to Visualize Scientific, Engineering, and Medical Data",
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9741/30725/01423113.pdf?arnumber=1423113>, 2007
- [MUR04] Mauro Muratori, "Televisione stereoscopica",
<http://www.crit.rai.it/eletel/2004-3/43-4.pdf>, 2004
- [NOR04] Mattia Nori, "Visualizzazione e controllo remoto di agenti in ambienti virtuali tramite libreria Open Scene Graph", Scienze dell'Informazione, 2003-2004
- [NUC07] Paolo Nucci, "Lo Strabismo Paralitico e la Diplopia",
<http://www.paolonucci.it/Diplopia.htm>, 2007
- [OPE07a] <http://www.OpenGL.org/>, "OpenGL overview",
<http://www.OpenGL.org/about/overview>, 2007
- [OPE07b] <http://www.OpenSceneGraph.org>, "OpenSceneGraph introduction",
<http://www.OpenSceneGraph.org/projects/osg/wiki/About/Introduction>, 2007
- [ØRB07] Peter Ørbæk, "A Multi-Sided Tabletop Interface",
<http://www.daimi.au.dk/~poe/tabletop.pdf>, 2007
- [OTT99] George Otto, "ImmersaDesk",
<http://css.psu.edu/news/nlsp99/immersadesk.html>, 1999
- [OVE07] <http://www.sgi.com>, "Overview",
<http://www.sgi.com/products/software/performer/overview.html>, 2007
- [PAL07] <http://www.michaeldvd.com.au/>, "PAL vs NTSC",
<http://www.michaeldvd.com.au/Articles/PALvsNTSC/PALvsNTSC.asp>, 2007
- [PAP97] Dave Pape, Carolina Cruz-Neira, Marek Czernuszenko, "CAVE User's Guide", <http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/prog/CAVEGuide.html>, 1997
- [PIC01a] Fabio Piccione, "La stereografia",
<http://noemalab.org/sections/specials/tetcm/2001-02/stereografia/main.html>, 2001
- [PIC01b] Fabio Piccione, "Prima fase del cinema stereografico (1900-1925)",
http://noemalab.org/sections/specials/tetcm/2001-02/stereografia/fase_cinema_stereografico.html, 2007
- [PIL07] Piero Pili, Riccardo Scateni, "Il medical imaging: la nuova frontiera della diagnostica per immagini",
http://www.crs4.it/Multimedia_Reports/medimg.html, 2007
- [PRE06] <http://www.OpenSceneGraph.org>, "Present3D",
<http://www.OpenSceneGraph.org/projects/osg/wiki/Community/Applications/Present3D>, 2007

- [PRO07a] <http://www.opticien-lentilles.com>, “Prova della vostra visione dei colori”, http://www.opticien-lentilles.com/daltonien_beta/nuevo_test_daltonien_italiano.php, 2007
- [PRO07b] <http://www.tomshw.it>, “Produttori di display 3D”, http://www.tomshw.it/guide.php?guide=20050502&page=3d_stereo-06, 2007
- [RAD07] Paul Rademacher, “Glui User Interface Library”, <http://glui.sourceforge.net>, 2007
- [RET07] <http://www.occhioallaretina.it>, “Retina”, <http://www.occhioallaretina.it/anatomia/retina2.asp>, 2007
- [ROF06] Roffilli Matteo, “Advanced Machine Learning Techniques for Digital Mammography”, <http://www.cs.unibo.it/pub/TR/UBLCS/2006/2006-12.pdf>, 2006
- [SCI07] <http://melbourne.museum.vic.gov.au>, “Science and Life Gallery”, http://melbourne.museum.vic.gov.au/exhibitions/exh_science.asp?ID=561324, 2007
- [SEL07] <http://www.dalite.com>, “Selecting the right screen”, <http://www.dalite.com/products/selecting.php>, 2007
- [SRT07] <http://www.oftal.it/Oftalmologia.htm>, “Lo strabismo”, <http://www.oftal.it/strabismo.htm>, 2007
- [STE07] <http://fc.units.it>, “Stereopsi”, <http://fc.units.it/ppb/visione/blocco8.html>, 2007
- [THE07] <http://www.vtk.org>, “The visualization toolkit”, <http://www.vtk.org/what-is-vtk.php>, 2007
- [THI07] Wikipedia, “Thin Film Transistor”, http://it.wikipedia.org/wiki/Thin_Film_Transistor, 2007
- [TIT07] <http://fc.units.it>, “Anatomia della visione stereoscopica”, <http://fc.units.it/ppb/visione/Stereopsi/Stereopsi2.html>, 2007
- [UNT07] <http://www.meduni-graz.at>, “Untersuchung”, <http://www.meduni-graz.at/schielambulanz/ambulanz/untersuchung.html>, 2007
- [VIN84] Leonardo Da Vinci, “Trattato sulla pittura”, http://it.wikisource.org/wiki/Trattato_della_Pittura_%28da_Vinci%29, 2007
- [VIR07] <http://www.vroom.org.au/index.asp>, “The Virtual room; journey into another reality”, <http://www.vroom.org.au/index.asp>, 2007
- [VIS07] <http://www.opendx.org>, “Visualization and imagery solutions”, <http://www.opendx.org/projects.html>, 2007
- [VRC07] <http://www.vrco.com>, “VRCO, visualize your world”, <http://www.vrco.com>, 2007
- [WAT07] John Wattie, “Anaglyphs for computer stereoscopy”, <http://nzphoto.tripod.com/sterea/anaglyphs.htm>, 2007
- [WEL07] <http://www.cineca.it>, “Welcome to MAF”, <http://openmaf.cineca.it>, 2007
- [WEL95] <http://www.vr32.de>, “Welcome to planet virtual boy”, <http://www.vr32.de/modules/news>, 1995
- [WIK07a] Wikipedia, “LCD shutter glasses”, http://en.wikipedia.org/wiki/LCD_shutter_glasses, 2007
- [WIK07b] Wikipedia, “Wireless”, <http://it.wikipedia.org/wiki/Wireless>, 2007

- [WIK07c] Wikipedia, "Head-mounted display", http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display, 2007
- [WIK07d] Wikipedia, "Virtual boy", http://en.wikipedia.org/wiki/Nintendo_Virtual_Boy, 2007
- [WIK07f] Wikipedia, "Wired glove", http://en.wikipedia.org/wiki/Wired_glove, 2007
- [WIK07g] Wikipedia, "Imax", <http://en.wikipedia.org/wiki/IMAX>, 2007
- [WIK07h] Wikipedia, "Finite state machine", http://en.wikipedia.org/wiki/Finite_state_machine, 2007
- [WIK07i] Wikipedia, "Scene graph", http://en.wikipedia.org/wiki/Scene_graph, 2007
- [WIK07l] Wikipedia, "Level of detail", [http://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_detail_\(programming\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_detail_(programming)), 2007
- [WIK07m] Wikipedia, "Scalable Link Interface", http://it.wikipedia.org/wiki/Scalable_Link_Interface, 2007
- [WIK07n] Wikipedia, "Two GPUs on one PCI-E slot", http://en.wikipedia.org/wiki/Scalable_Link_Interface, 2007
- [WIK07p] Wikipedia, "Holography", <http://en.wikipedia.org/wiki/Holography>, 2007
- [WIK07q] Wikipedia, "Diffrazione fisica", [http://it.wikipedia.org/wiki/Diffrazione_\(fisica\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Diffrazione_(fisica)), 2007
- [WIK07r] Wikipedia, "Voxel", <http://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>, 2007
- [WIK07s] Wikipedia, "Ametropia", <http://it.wikipedia.org/wiki/Ametropia>, 2007
- [WIL04] John Michael Williams, "The Pulfrich effect", <http://www.siu.edu/~pulfrich>, 2004
- [ZAN05] Rocco Filippo Zanni, "Realizzazione di un ambiente virtuale distribuito per la progettazione di nuovi spazi architettonici", Scienze dell'Informazione, 2005