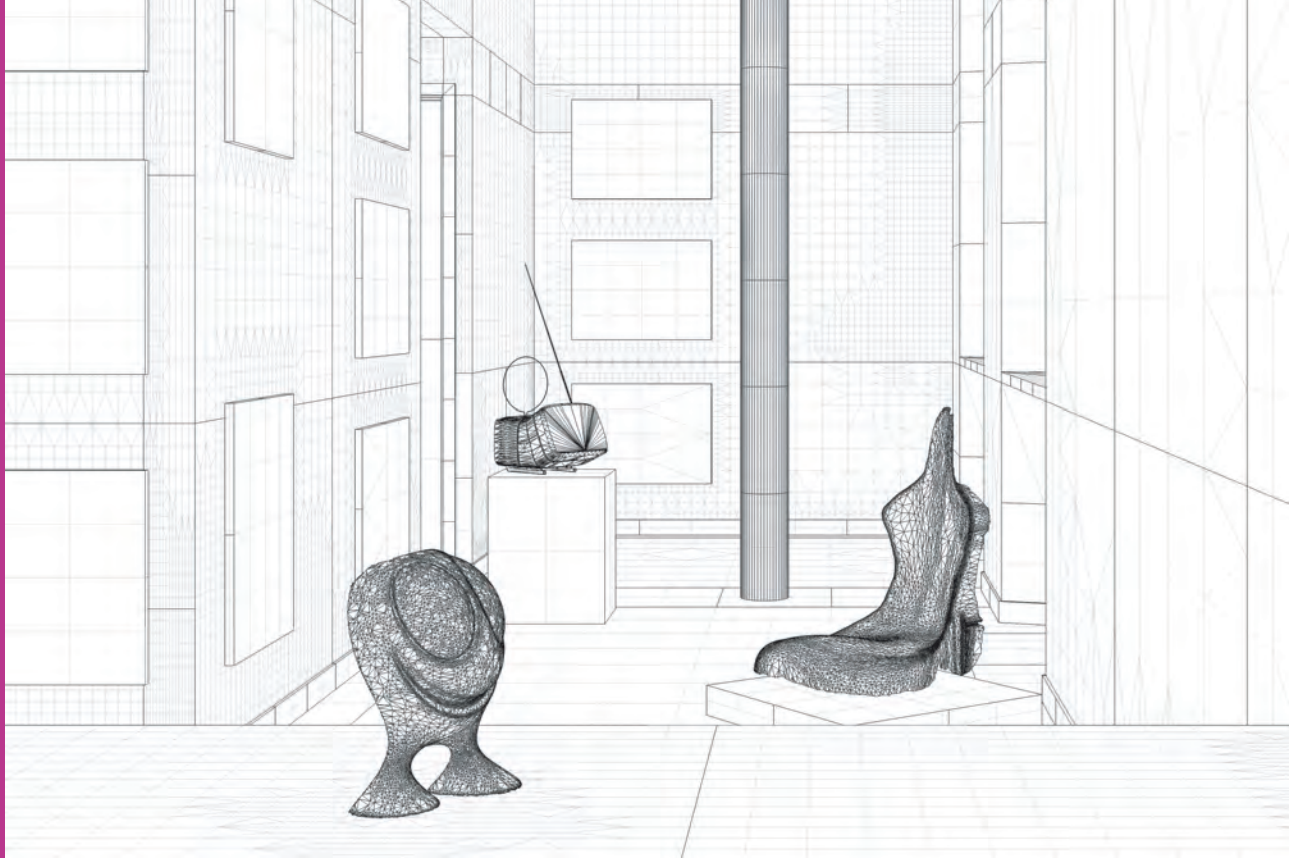




Metodi di prototipazione digitale e visualizzazione per il disegno industriale, l'architettura degli interni e i beni culturali

a cura di **Marco Gaiani** | testi di: **Fausto Brevi** | **Nicolò Ceccarelli** | **Mauro Ceconello** | **Marco Gaiani** | **Valerio Lovecchio** | **Alessandro Rizzi** | **Maurizio Rossi** |

EDIZIONI
POLI.DESIGN

Metodi di prototipazione digitale e visualizzazione per il disegno industriale, l'architettura degli interni e i beni culturali | a cura di **Marco Gaiani** |

ISBN 88-87981-39-6 € 35.00

EDIZIONI
POLI.DESIGN

Il testo si propone di delineare lo stato della ricerca di strumenti e metodi per la rappresentazione del progetto di Disegno Industriale tramite sistemi grafici in tempo reale dotati di livelli di iconicità ed interazione crescenti. Scopo è quello di illustrare i metodi e gli strumenti utili nel processo di progettazione e formazione del prototipo digitale, inteso come simulazione del reale in tutti i suoi aspetti (formali, funzionali, strutturali), d'oggetti di prodotto e d'interni del Disegno Industriale e dei Beni Culturali.

I vari apporti forniscono un approfondimento di uno specifico aspetto cercando di illustrare le metodologie di disegno per rapporto a determinati strumenti software ed hardware e per specifici ambiti di applicazione.

Il testo fornisce oltre che uno stato dell'arte, oltre che un report della ricerca per l'innovazione su strumenti e metodi per la progettazione, anche un resoconto degli studi compiuti per la creazione di un sistema didattico sperimentale per l'insegnamento delle metodologie di formazione del progetto tramite tecniche di visualizzazione digitali ad elevato livello di iconicità.

**| Metodi di prototipazione digitale e visualizzazione
per il Disegno Industriale, l'architettura degli interni
e i beni culturali |** a cura di Marco Gaiani | testi di: Fausto Brevi
| Nicolò Ceccarelli | Mauro Ceconello | Marco Gaiani | Valerio Lovec-
chio | Alessandro Rizzi | Maurizio Rossi |

ISBN: 88 -87981 -39 -6

© 2003 Edizioni POLI.design

via Durando 38/A – 20158 Milano
Tel. 02-2399.7206 Fax 02-2399.5970
e-mail: edizioni.polidesign@polimi.it
internet: www.polidesign.net

Coordinamento redazionale
Michela Pelizzari

Sistema Grafico Editoriale
Artdirection: d.com

Copertina
Alberto Sala, Mauro Ceconello

Redazione e impaginazione
Mauro Ceconello

Si ringrazia la D.ssa Flora Gaetani per la collaborazione nella gestione dell'apparato iconografico.

La pubblicazione è stata realizzata anche grazie al contributo di:



Sito web: <http://www.tredi.it>



Sito web: <http://www.alias.com>

Prima edizione ottobre 2003
Stampa Litogi – Milano

I paragrafi 2.1, 2.2, 2.6.2, 2.6.3, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 sono stati scritti da Marco Gaiani. I paragrafi 2.4, 2.5, 2.6.1 sono stati scritti da Maurizio Rossi. Il paragrafo 2.3 è stato scritto da Alessandro Rizzi. Il paragrafo 3.2 è stato scritto da Valerio Lovecchio. Il paragrafo 7.3 è stato scritto da Fausto Brevi. I paragrafi 7.1, 7.2, 7.4 sono stati scritti da Mauro Ceconello.

Tutte le immagini riprodotte in questo volume, dove non indicato espressamente, sono © dei rispettivi legittimi proprietari e sono qui utilizzati senza fini di lucro. Si rimane a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare, nonché per eventuali involontarie omissioni o inesattezze nella citazione delle fonti e delle illustrazioni.

Tutti i diritti sono riservati; è vietata la riproduzione non autorizzata, anche parziale o ad uso interno o didattico, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la fotocopia, la memorizzazione elettronica o altro sistema di registrazione.

Indice

- 1 La Realtà Virtuale e il suo uso nella comunicazione del progetto 7**
Nicolò Ceccarelli
 - 1.1 La tecnologia incontra il mercato 7
 - 1.2 Per una definizione di realtà virtuale 9
 - 1.3 Il panorama tecnologico 14
 - 1.4 Realtà Virtuale tra Immersività ed esperienza 19
 - 1.5 Realtà Virtuale in rete 24
 - 1.6 Realtà Virtuale per la comunicazione di progetto, alcuni nuovi scenari applicativi 26
 - 1.6.1 Kitchen planner-IKEA 27
 - 1.6.2 Kenwood KitchenAid, Manuale interattivo 29
 - 1.6.3 Presentazione interattiva di una linea di fotocopiatrici Lexmark 30
 - 1.6.4 Analisi di mercato supportate da presentazioni in realtà virtuale 31
- 2 Percezione delle immagini virtuali 33**
Marco Gaiani, Maurizio Rossi, Alessandro Rizzi
 - 2.1 Percezione-rappresentazione 33
 - 2.2 Elementi per un'interpretazione delle immagini della realtà virtuale 38
 - 2.2.1 Dal virtuale analogico al virtuale digitale 38
 - 2.2.2 Il tempo come dimensione progettuale: rappresentazione

- come progetto di ciò che si vede 45
- 2.2.3 Il tempo come dimensione progettuale: rappresentazione come mezzo per il progetto 48
- 2.2.4 Elementi per una forma interpretativa della rappresentazione digitale 55
- 2.3 La visione e l'adattamento percettivo 71
- 2.4 La percezione dei colori 84
- 2.5 La descrizione del colore 89
- 2.6 Simulazione e percezione 100
 - 2.6.1 Basi illuminometriche e modelli di ombreggiamento 100
 - 2.6.2 Modelli di valutazione della qualità percettiva di un'immagine 115
 - 2.6.3 Modelli metrici di valutazione della qualità percettiva di un'immagine 122
- 2.7 Percezione delle immagini e media 133
- 2.8 Controllo della riproduzione del tono 140
 - 2.8.1 Inquadramento del problema 140
 - 2.8.2 Modelli di riproduzione tonale 145
- 2.9 High Dynamic Range 173
 - 2.9.1 Immagini HDR 173
 - 2.9.2 Implementazione hardware HDR 179
 - 2.9.3 Formati di file HDR 187
- 2.10 Problemi di proiezione 196
 - 2.10.1 Il modello concettuale di vista base della grafica digitale 196
 - 2.10.2 Modelli concettuali completi della grafica digitale 204
 - 2.10.3 Implementazione di modelli concettuali completi della grafica digitale 215
 - 2.10.4 Problemi di valutazione della distanza e di campo inquadrato 223
- 2.11 Percezione delle animazioni 241

3 Metodi di rendering e global illumination 255

Maurizio Rossi, Valerio Lovecchio

- 3.1 Introduzione al rendering 255
- 3.2 Finalità del rendering 259
- 3.3 Rendering e Disegno Industriale di prodotto 263
 - 3.3.1 Modelli di calcolo utilizzati per il rendering real-time 263
 - 3.3.2 Texture e bump mapping 270
 - 3.3.3 La riflettanza dei materiali: BRDF e BSSRDF 275
- 3.4 Il Rendering per il progetto di interni 284
 - 3.4.1 Il rendering per gli interni 287
 - 3.4.2 La global illumination 289
 - 3.4.3 Il metodo Photon Maps 298
- 3.5 Le sorgenti di luce artificiale nel rendering 301

4 Grafica Real Time 307

Marco Gaiani

- 4.1 La complessità nascosta nel semplice 307
- 4.2 Generazione di immagini in *real time* - la *pipeline* grafica del *rendering* 332

- 4.3 Modelli digitali per la grafica real-time 376
- 4.4 Real time texture mapping 394
- 4.5 Shaders 434
 - 4.5.1 SGI OpenGL Shader 449
 - 4.5.2 NVIDIA Cg 453
 - 4.5.3 Effetti di shading nell'hardware 456
- 4.6 Realismo nella grafica in *real-time* 482
 - 4.6.1 Ray-tracing real-time 482
 - 4.6.2 Utilizzo del *real-time ray-tracing* per l'illuminazione globale interattiva 496

5 Strumenti e tecniche di visualizzazione 511

Mauro Ceconello

- 5.1 Modelli e livelli di iconicità 511
- 5.2 Gli strumenti e la loro categorizzazione 515
- 5.3 Strumenti e livelli di visualizzazione 516
- 5.4 Dal disegno classico al visual computing 521
- 5.5 Il virtuale 525
- 5.6 I requisiti del virtuale 529
 - 5.6.1 La stereoscopia 530
 - 5.6.2 Tracking 536
 - 5.6.3 Hardware:pc, workstation, schede grafiche 538
- 5.7 Dispositivi di input 541
 - 5.7.1 Dispositivi 3D 542
 - 5.7.2 Guanti 544
 - 5.7.3 Dispositivi tattili 545
- 5.8 Dispositivi di visualizzazione 548
 - 5.8.1 HMD 549
 - 5.8.2 Monitor 552
 - 5.8.3 Proiettori 557
 - 5.8.4 Tavoli da proiezione 560
 - 5.8.5 Walls 562
 - 5.8.6 Cave 563
- 5.9 Interazione uomo macchina: definizioni e significati 565
- 5.10 Interfacce in realtà virtuale 567
- 5.11 Campi d'applicazione e case studies 573
 - 5.11.1 Industria 574
 - 5.11.2 Edutainment 576
 - 5.11.3 Beni culturali 579
 - 5.11.4 Ambiente e territorio 580

6 Metodi e strumenti per il design di prodotto 583

Fausto Brevi

- 6.1 Il disegno per il design: il ruolo del modello 583
- 6.2 Modelli a confronto 586
- 6.3 La terza dimensione nel modello digitale 589
- 6.4 La dimensione della visione 591
- 6.5 Interagire con il modello 597
- 6.6 Le possibilità della realtà virtuale 599
- 6.7 La stereoscopia 609

6.8 Proiezioni di grandi dimensioni 614

6.9 Il motion tracking 621

7 Elementi per la formazione di un centro didattico per l'insegnamento delle metodologie di formazione del progetto tramite tecniche di visualizzazione digitali ad elevato livello di iconicità 631

Fausto Brevi, Mauro Ceconello

7.1 Introduzione 631

7.2 Finalità 634

7.3 Strategia generale e scelte tattiche 638

7.4 La scelta del software 652

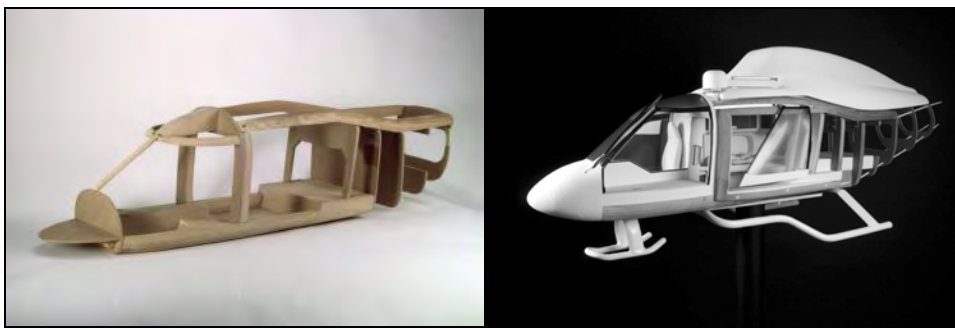
5 **Strumenti e tecniche di visualizzazione**

Mauro Ceconello

5.1 Modelli e livelli di iconicità

Il disegno tradizionale può essere inteso come una lingua esatta che permette di rappresentare un progetto in modo intelligibile e comprensibile da coloro che devono dirigerne l'esecuzione ed eseguirne le parti;¹ si tratta di un metodo di trasposizione dell'idea di realtà dalla rappresentazione tridimensionale a quella bidimensionale. Il passaggio su tavola, necessario per costruire l'oggetto reale, ha due scopi fondamentali: definire gli aspetti metrici e formali attraverso le proiezioni ortogonali e le sezioni, e descrivere l'oggetto nel suo spazio tramite la rappresentazione iconica, utilizzando la prospettiva. Altre tecniche, quali il chiaroscuro, l'utilizzo di differenti cromie, e le ombre, consentono di visualizzare la struttura dell'oggetto, e costituiscono una prima forma di "modellizzazione", tramite una metodologia di rappre-

¹ Monge G., *Géométrie Descriptive, Leçons données aux écoles normales l'an 3 de la République*, Paris, 1796, pp.1-4.



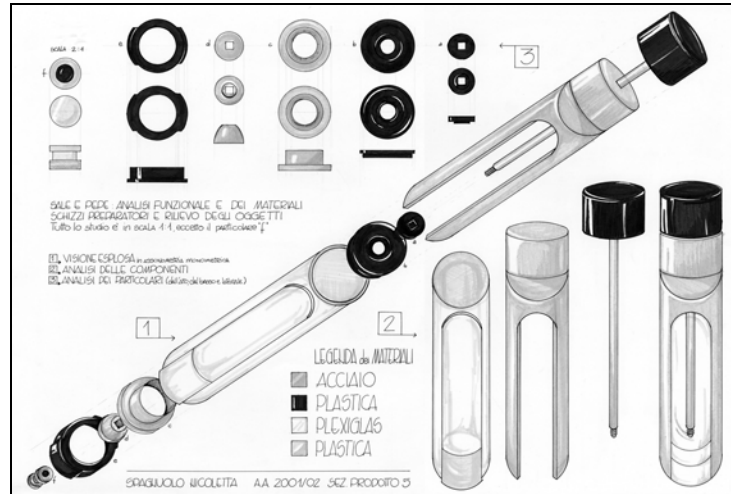
[5 . 1]
Fasi di lavorazione e
modello finale di un
elicottero. Labora-
torio Modelli –
Dipartimento Inda-
co

sentazione percettiva del mondo visuale.² Il concetto di modello, o prototipo, è ampiamente documentato nella storia dell'architettura come fase indispensabile della progettazione: i modelli fisici riportano in miniatura tutte le caratteristiche indicate dal disegno e quindi traducono concretamente l'idea in oggetto, precisandone al meglio la forma definitiva e le particolarità. Storicamente, quindi, il modello si colloca al termine del processo “produttivo”, come tecnica di costruzione dell'esecutivo o diretta realizzazione del manufatto; di fatto queste regole sono

² Cfr. Gaiani M., *Strategie di rappresentazione digitale: modelli per la conservazione e il restauro*, in Gaiani M., Beltramini G., (a cura di), *Dall'analogico al digitale: modelli e metodi per lo studio e la conservazione dell'architettura storica*, Quaderni del Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali, Scuola Normale di Pisa, n. X, 2000, pp. 47-69.

[5 . 2]

Analisi dei componenti ed esploso di un macina-sale.
Laboratorio del Disegno Sez. P5
A.A. 2001-2002.
Elaborato di Nicoletta Spagnolo



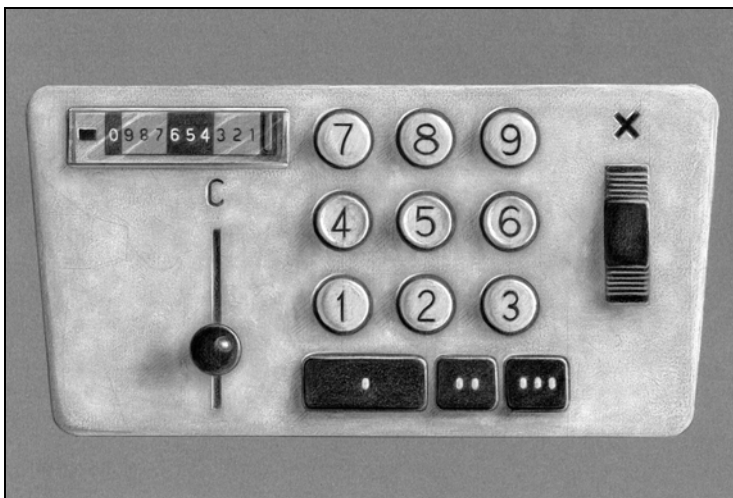
state completamente ribaltate dalla modellazione computerizzata perché il modello diventa oggetto diretto di progettazione, è sottoposto ad analisi, a continue verifiche, a simulazioni, coincide in buona sostanza il prodotto finito. Il modello perde la sua funzione di maquette utile per una verifica dei tratti espressi dal disegno e assume invece quella di vero e proprio prototipo digitale che, una volta raggiunta la completezza progettuale, viene avviato alla fase di produzione. Oggi il progettista può scegliere tra dispositivi di visualizzazione diversi, veri e propri strumenti di supporto operativo, dallo sviluppo del concept fino alla definizione ultima del progetto.

Il problema del progetto è cercare di definire quale sia la forma di rappresentazione più appropriata per ideare, comunicare ed eseguire. Un punto di vista forse parziale, ma utile per le nostre considerazioni è quello proposto oltre trent'anni fa da Abraham Moles; la distinzione tra i vari tipi di rappresentazione si può operare rispetto alla rassomiglianza del modello al suo referente, seguendo in questo senso la teoria dei 13 gradi di iconicità.³

L'Enciclopedia di Semiotica dell'Università di Lund⁴ illustra questo sistema di classificazione basato sulle definizioni di Peirce e Morris: se per il primo l'icona rappresenta qualcosa perché gli

³ Moles A., *L'image – communication fonctionnelle*, Casterman, Bruxelles, 1981.

⁴ *The Internet Semiotics Encyclopaedia*, Department of Semiotics, Lund University, www.arthist.lu.se/kultsem/encyclo/iconicity.html.



[5 . 3]
Particolare della
tastiera della calco-
latrice Olivetti
Summa Prima 20.
Laboratorio del
Disegno Sez. P5
A.A. 2001-2002.
Elaborato di
Claudio Titone.

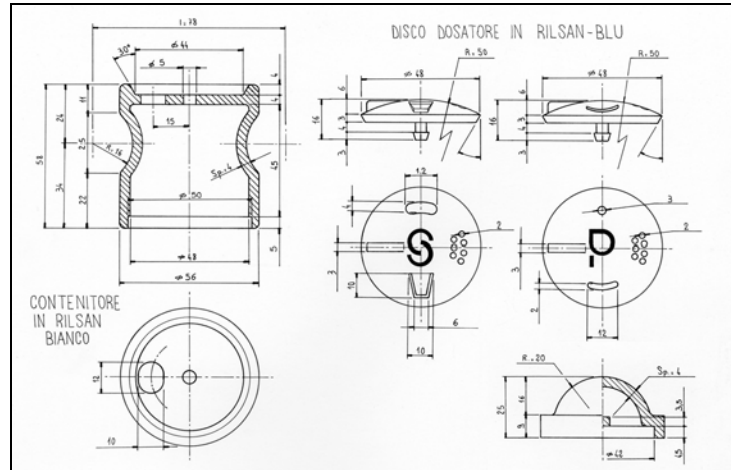
rassomiglia, il secondo invece ritrova nel segno iconico addirittura le stesse proprietà del referente e di conseguenza definisce il rimando tra icona e referente secondo una scala graduata che tiene conto della maggiore o minore condivisione di tali proprietà. In questo senso Moles, riprendendo tale concetto di graduazione, elabora una scala composta da diversi livelli di iconicità⁵ che vanno dal massimo grado di iconicità, cioè l'oggetto stesso, via via a diminuire fino al grado zero, che è la semplice descrizione verbale dell'oggetto e che quindi, con questo, non ha proprietà condivise. Tra il primo e l'ultimo livello si possono collocare tutte le possibilità di rappresentazione, a seconda del grado di dettaglio, e quindi del proprietà possedute; nell'esempio di Morris, rispetto a una persona, un filmato ha un grado di iconicità maggiore di una fotografia, che ha a sua volta un grado di iconicità maggiore di un dipinto, che ha sua volta ha un grado di iconicità maggiore di uno schizzo a matita, e così via fino alla semplice descrizione verbale o grado zero di iconicità.

Lo stesso approccio lo si può utilizzare per la classificazione delle diverse modalità di rappresentazione collegate all'elaboratore elettronico che, in base alla scelta di apparecchiatura o di sistema, può fornire differenti livelli di visualizzazione e di dettaglio

⁵ Moles A., in Richaudeau F., *Conception et production de manuels scolaires*, Paris, Retz/UNESCO, 1979/1981.

[5 . 4]

Progetto di un dosatore per sale e pepe. Disegno quotato e particolari. Laboratorio del Disegno Sez. E A.A. 2001-2002. Elaborato di Moris Teani.



secondo le caratteristiche dell'oggetto, fino ad arrivare se necessario alla creazione di un modello virtuale che per le sue caratteristiche complesse può considerarsi identico ad un oggetto reale. Come vedremo in seguito, il progettista ha a disposizione un'ampia gamma di strumenti con livelli di definizione crescente, e che consentono differenti gradi di dettaglio e di livelli di rappresentazione.

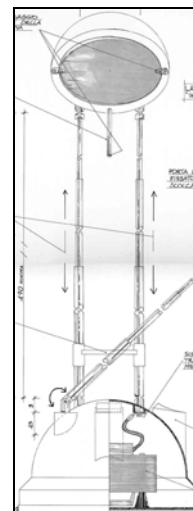
5.2 Gli strumenti e la loro categorizzazione

Appare in questo modo evidente la necessità di individuare strumenti e tecniche che si adattino alle modalità di rappresentazione ad alto livello di iconicità caratteristiche del disegno per il disegno industriale, cioè all'espressione di un'idea in maniera rapida ma allo stesso tempo molto precisa e alla definizione immediatamente comprensibile di tutti i contenuti. A secondo del livello di comunicabilità che ci si propone di raggiungere, si individueranno i livelli di iconicità più appropriati, sulla scala delle visualizzazioni progressive. Non esiste la tecnica di visualizzazione tridimensionale migliore, esiste quella più indicata per il tipo di comunicazione; tutte sono efficaci e permettono di comprendere e analizzare grosse quantità di dati e tutte le relazioni che intercorrono tra di loro. Software per la modellazione digitale sono molto diffusi e utilizzati in modo sempre crescente da progettisti e modellisti, se un tempo erano riservati solo agli addetti ai lavori, oggi la possibilità di interpretare in modo interattivo dei modelli tridimensionali di prodotti fisici viene utilizzata da

tutti coloro che concorrono al processo produttivo; basti pensare alla verifica d'assemblaggio tra le componenti delle varie parti di un oggetto, o alle prove di manutenibilità, alla simulazione delle fasi di montaggio e smontaggio, fino al supporto alla vendita del prodotto per mostrare virtualmente al cliente ciò che sta comprando e dargli quelle informazioni che il semplice possesso dell'oggetto non può garantirgli. Data la grande varietà degli strumenti finalizzati alla visualizzazione virtuale di un modello, si può legare il processo rappresentativo ai diversi gradi di iconicità e quindi rapportare diverse tecniche e strumenti in base al risultato e al dettaglio proposto, dall'immagine statica del modello sul monitor, all'animazione che risulta da un batch rendering cioè dal calcolo delle immagini in sequenza, fino alla visualizzazione stereoscopica in tempo reale all'interno di un ambiente immersivo. La scelta del tipo di visualizzazione, e quindi in sostanza della strumentazione hardware da utilizzare, dipende come ovvio dalle finalità che si vanno ad attribuire via via ai modelli tridimensionali, visto che si tratta sempre della resa in un linguaggio coordinato in comandi. Nella storia del disegno architettonico già all'inizio dell'Ottocento gli strumenti per il disegno sono stati definiti come *outils* se legati a un tipo di lavoro meccanico, e al contrario, *instruments* quando il mezzo per il disegno assume caratteristiche in un certo senso più appropriate alle nostre capacità percettive, razionali e soprattutto di scelta.⁶ Il livello di iconicità-dettaglio necessario alla comprensione della forma o delle caratteristiche proprie dell'oggetto fornirà indicazioni sul tipo di strumento e quindi il maggiore o minore livello di approssimazione alla realtà necessario.

5.3 Strumenti e livelli di visualizzazione

La disponibilità di un'ampia gamma di dispositivi consente differenti approcci: da un uso singolo per lo sviluppo del progetto, alla condivisione con due o tre persone, fino ad ambienti che permettono la fruizione ad un numero elevato di utenti. Oltre alla dimensione, la differenza risiede nel grado di inserimento e partecipazione dell'osservatore nella scena. Grande importanza ha la scelta del dispositivo di visualizzazione appropriato, in



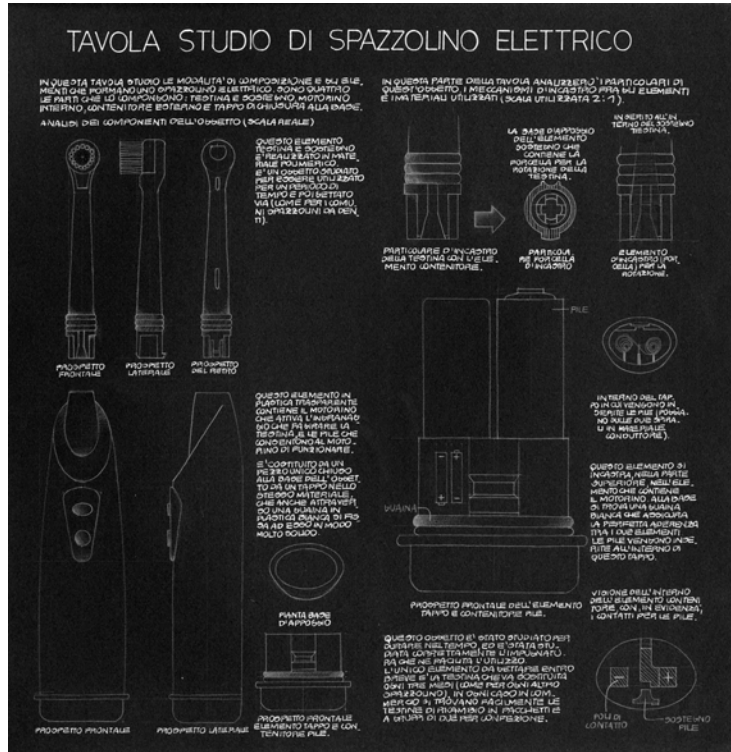
[5 . 5]

Rilievo e disegno di una lampada da tavolo. Disegno quotato, particolari e sezione. Laboratorio del Disegno Sez. E.A.A. 2003-2004. Elaborato di Davide Soldarini

⁶ Gaiani M., *Software, cioè linguaggio coordinato in comandi*, in *Paesaggio Urbano*, Maggiori, n. 3, maggio-giugno 1997.

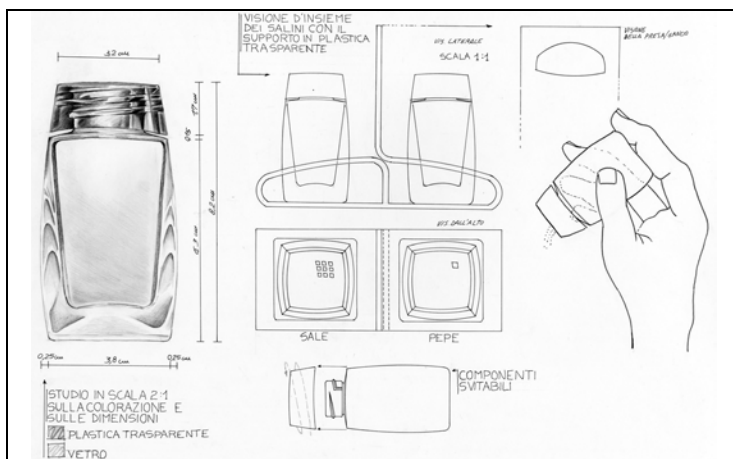
[5.6]

Laboratorio del
Disegno Sez. E -
A.A. 2002-2003.
Elaborato finale:
Studio di un ogget-
to di uso comune:
uno spazzolino
elettrico. Tavola di
Dania Ergoli.



quanto non esiste un unico strumento adattabile di volta in volta al tipo di sperimentazione.

Utilizzare questi strumenti, al di là della maggiore o minore complessità d'uso, non sempre tuttavia è giustificato: la natura altamente specializzata, o meglio dedicata, delle diverse modalità di proiezione mette in evidenza come la scelta di un tipo piuttosto che un altro dipenda dall'applicazione e dalle finalità che si desiderano raggiungere. Sembra evidente che, per i piccoli oggetti, non sia davvero necessario ricorrere a tecnologie particolarmente avanzate: possono bastare degli schizzi, un disegno tecnico, un modello e delle immagini per descriverli e rappresentarli. Mano a mano che aumenta la complessità dell'oggetto, e aumentano le sue dimensioni – anche se non sempre piccolo equivale a poco complesso - si potranno utilizzare strumenti di supporto per migliorarne la definizione: sarà necessario in questo caso ricorrere ad un modello 3D, e inserirlo in un contesto per meglio analizzarlo in rapporto ad altri oggetti o comunque verificarne tutte le funzionalità.

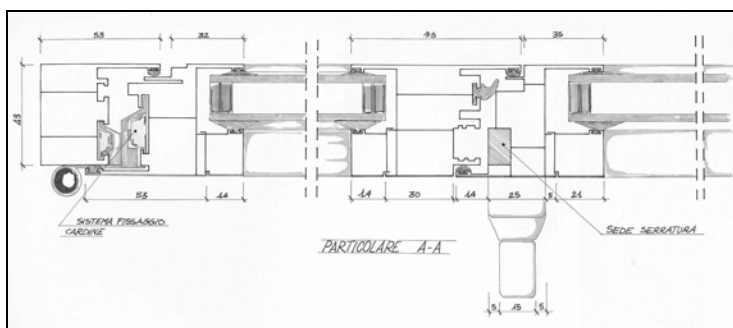


[5 . 7]

Progetto di un dosatore per sale e pepe. Tavola di studio per restyling. Laboratorio del Disegno Sez. P5 A.A. 2001-2002. Elaborato di Tommaso Verdesca

Per meglio identificare lo strumento da utilizzare e indicarne le caratteristiche può essere interessante ricostruire uno schema che classifichi i vari dispositivi in base ai livelli di iconicità e immersività, cioè alla completezza della componente rappresentativa che si desidera raggiungere. A tale scopo, partendo alla scala di iconicità (Tab. 5.1) definita all'inizio degli anni '60, abbiamo elaborato una tabella (Tab. 5.2) che metta in relazione tanto gli strumenti di interazione e i software con le modalità di visualizzazione: incrociando i dati oltre a dedurre una scala di immersività si possono identificare dei valori di percettività, utili per una scelta degli strumenti e delle tecnologie.

Come risulta chiaro, il livello di percettività cresce in stretta relazione con la tecnologia utilizzata ma soprattutto con la tecnica di visualizzazione, mentre l'immersività, anche nel caso di precisione del dettaglio e di software avanzati, si determina soltanto in presenza di visione stereoscopica e tridimensionale.



[5 . 8]

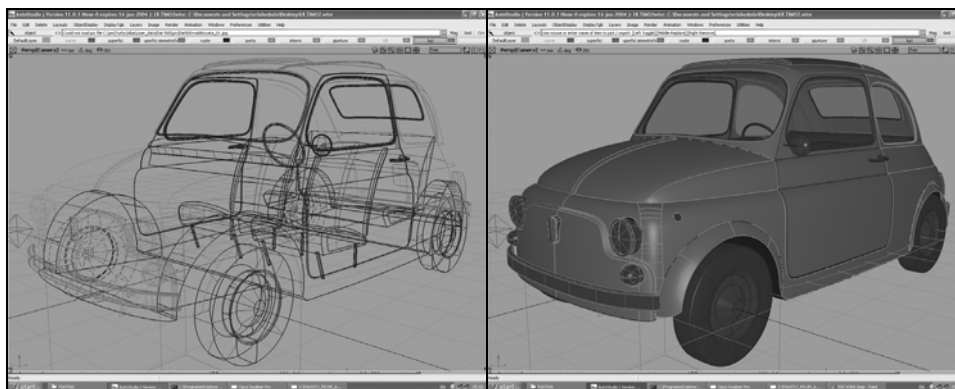
Rilievo e disegno di un serramento. Disegno quotato e particolari. Laboratorio del Disegno Sez. E A.A. 2003-2004. Elaborato di Davide Soldarini

[Tab. 5.1]
Scala di Iconicità di
A. Moles (*Fonte:
Moles A., in Richau-
deau F., Conception
et production de
manuels scolaires,
Paris,
Retz/UNESCO,
1979/1981*)

Iconicità	Abstrazione	Definizione	Criteri	Esempi vari
12	0	L'oggetto lui - stesso <i>Iconicità massima</i>	Messa eventuale tra parentesi al senso di Huserl	La vetrina del negozio, l'esposizione
11	1	Modello bi o tri dimensionale a l'ecelle	Colori e materiali arbitrariamente scelti	Esposizioni facili
10	2	Schema bi o tri dimensionale ridotto o ingrandito	Colori e materiali scelti secondo i criteri logici	Carta a 3 dimensioni: globo terrestre, carta geologica
9	3	La fotografia o proiezione realista su un piano	Proiezione prospettica rigorosa, semi-tinte, ombre	Cataloghi illustrati, affiche
8	4	Dessino o fotografia diti "detturati" - Profili in disegno	Criteri di continuit� del contorno e di chiusura della forma	Affiche, cataloghi, prospetti, impiego dell'acropia per detturare o regolarizzare le superfici.
7	5	Schema anatomico o di costruzione	Respetto della topografia. Arbitrario dei valori, quantificazione degli elementi e semplificazione.	Cutpo anatomico - cutpo di un motore - piano di cablaggio di un ricevitore di radio - Carta geografica.
6	6	Vista "eclettica"	Disposizione prospettica degli pezzi secondo i loro rapporti di vicinanza topologica	Dessini di apparecchi o di istruzioni di smontaggio per detturare.
5	7	Schema di principio (elettricit� e elettronica)	Rimpiazzamento degli elementi per simboli normalizzati. Passaggio dalla topografia alla topologia Geometria degli angoli. Prevalenza dell'angolo retto.	Piano schematico del metro. Piano di cablaggio di un ricevitore di TV o di una parte di radar. Schema unifilare in eletrotecnica.
4	8	Organigramma o Blocco schema	Gli elementi sono delle scatole nere funzionali, relati per dei collegamenti logici; analisi dei funzio logici.	Organigramma di una impresa - Serie di operazioni chimiche,
3	9	Schema di formulazione	Relazione logica e topologica in un spazio non geometrico tra elementi astratti. Le relazioni sono simboliche, tutti gli elementi sono visibili.	Formule chimiche sviluppate. Sociogrammi. Grafi
2	10	Schema in spazi complessi	Combinazione in un stesso spazio di rappresentazione di elementi schematici (freccia, retto, piano, oggetto) appartenenti a dei sistemi differenti.	Forze e posizioni geometriche su una struttura metallica; schemi di statica grafica.
1	11	Schema in spazio puramente astratto e schema vettoriale.	Rappresentazione grafica in un spazio metrico astratto, di relazioni tra grandi vettoriali	Grafici vettoriali in eletrotecnica. Diagramma degli oggetti sonori. Triangolo delle vocali.
0	12	Descrizione in termini normalizzati o in formula algebrica. <i>Iconicit� nulla.</i>	Segni puramente astratti senza connessione immaginabile con il significato.	Equazioni e formule. Testi

INTERAZIONE		SOFTWARE		VISUALIZZAZIONE		DIMENSIONE		IMMERSIVITA'		PERCETTIVITA'		PRODOTTO - APPLICABILITA'	
MOUSE + TASTIERA	TABLET + PENNA	VIDEOSCRITTURA		MONITOR	MONO	2-D	0	0	TESTO				
		STRUM. OFFICE						1	SCHEMI, GRAFICI, DIAGRAMMI				
		PAINT - FOTORITOCOCO						2	IMMAGINI				
CAD		3	DISEGNI										
MOUSE 3 TASTI +TASTIERA	OCCHIALI STEREO + TRACKING	MODELLATORI		TAVOLI DA PROIEZIONE	STEREO	3-D	1	4	PICCOLI OGGETTI IN SCALA, STUDIO E VERIFICA INDIVIDUALE				
MOUSE 4D JOYSTICK							5	6	MODELLI DI MEDIA GRANDEZZA, POSSIBILITA' DI INTERAZIONE COLLABORATIVA				
							6	7					
WAND		SOFTWARE VR					SCHERMI PORTATILI	CADWALL	3	4	8	GRANDI MODELLI IN SCALA 1:1, TERRITORIO, BENI CULTURALI	
				CAVE	5	9	RICOSTRUZIONI AMBIENTI, INTERNI						
GUANTI				HMD		6	6	10	AMBIENTI, AUGMENTED REALITY SENZA INTERAZIONE CON ALTRI UTENTI				

[T a b . 5 . 2]
 Tabella che mette
 in relazione stru-
 menti, software, e
 modalità di visualiz-
 zazione per dedurre
 i livelli di percettivi-
 tà



a

b

[5 . 9]

Modello di Fiat 500: a. visualizzazione wire-frame e b. shaded. Software Alias AutoStudio

5.4 Dal disegno classico al visual computing

Il classico processo di creazione parte da uno schizzo e da una serie di appunti necessari a fissare su carta l'idea, che viene poi meglio definita secondo i canoni del disegno tecnico. Per valutarne volumi e dimensioni risulta necessario ricorrere a proiezioni assonometriche e prospettiche, cercando cioè di rappresentare il tridimensionale in uno spazio bidimensionale. Con l'introduzione del computer per disegnare, inizialmente la tendenza è quella di cercare di trasporre il processo di rappresentazione tradizionale nel nuovo strumento, senza modificare in alcun modo le modalità operative. I primi software infatti si limitano a "ricalcare" gli strumenti usuali ed sono quindi ridotti a semplici tecnigrafi elettronici. I vantaggi sono costituiti dalla rapidità di modifica, dalla facilità di archiviazione, e dalla possibilità di riproduzione "in serie" grazie all'uso di periferiche come stampanti o plotter che trasferiscono su carta l'insieme delle descrizioni vettoriali degli elementi codificati in sequenze di bit. Tuttavia le modalità operative risultano da subito molto differenti: il primo scoglio è costituito dagli strumenti di lavoro, mouse e tastiera non vengono sempre accettati di buon grado, e dal monitor.

Quest'ultimo costituisce il mezzo di visualizzazione del disegno, cioè lo strumento rappresentativo che permette di osservare e interagire con il modello, anche se con qualche piccola difficoltà: bisogna infatti abituarsi a vedere il proprio lavoro attraverso una finestra o comunque uno spazio molto limitato attraverso cui osservare le varie parti del disegno.



[5 . 1 0]

Modello di Fiat
500: visualizzazione
con luci e environ-
ment mapping.
Software Opticore
Opus Realizer

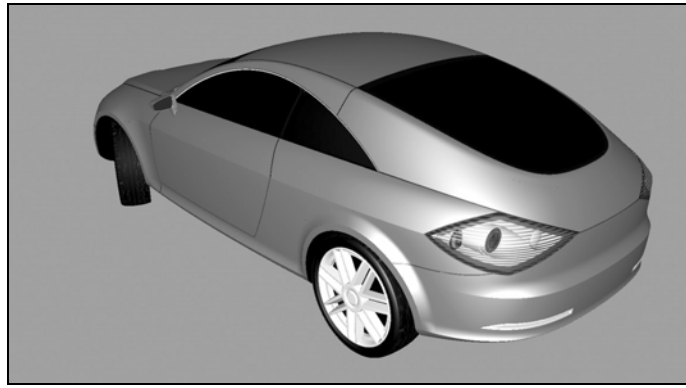
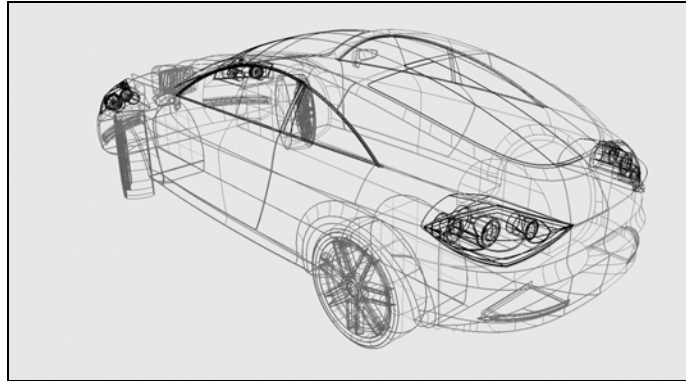
Ciò è dovuto ovviamente alle dimensioni dello schermo stesso che può contenere interamente l'estensione del lavoro, ma ad una scala ridotta. Un ulteriore problema è dato dalla modalità di visualizzazione che si origina sullo schermo e che è dovuta proprio alla natura dello schermo stesso: questo è infatti costituito da pixel o, semplificando, da una serie di quadratini luminosi e talvolta mostra delle “scalature” per rappresentare elementi dritti come ad esempio una linea. Infine anche nel caso del monitor, specialmente per viste diverse da quelle ortogonali, si ha la difficoltà legata alla trasposizione dello spazio da tridimensionale a bidimensionale, e quindi a distinguere, soprattutto per un occhio poco allenato, cosa sta davanti e cosa sta dietro, specialmente per viste al tratto di tipo *wire-frame*. Con questi primi software gli oggetti sono descritti matematicamente per identificare delle forme di base, le cosiddette primitive, come poligoni, sfere, cilindri: a partire da questi oggetti e tramite rotazioni, traslazioni, ed estrusioni si creano i nuovi tipi di oggetti.

Per descrivere le superfici che non possono essere riconducibili agli elementi di base vengono utilizzate delle mesh poligonali, cioè una sorta di maglia di poligoni che descrive in maniera approssimata l'aspetto geometrico.

Con l'introduzione dei modellatori viene instaurata una modalità che consente di focalizzare l'attenzione sul progetto

[5 . 1 1]

Modello e immagini realizzate da Mathieu Lesage, Blaire Brenot, Paul Deyo e Christopher Cheung con software Alias Autostudio (Fonte: Alias Systems)



piuttosto che sulla matematica che lo descrive; gli oggetti vengono creati mediante interfacce grafiche e modificati in maniera diretta per ottenere forme complesse. Per migliorare l'interpretazione delle forme vengono introdotti algoritmi, che in parte eliminano gli equivoci, proponendo delle superfici opache che permettono di visualizzare esclusivamente le parti in vista.⁷

Il processo di perfezionamento continuo degli strumenti software e hardware produce delle condizioni che via via hanno migliorato la possibilità di interazione con lo strumento e un adattamento degli applicativi alle procedure per implementare l'integrazione nel processo lavorativo.

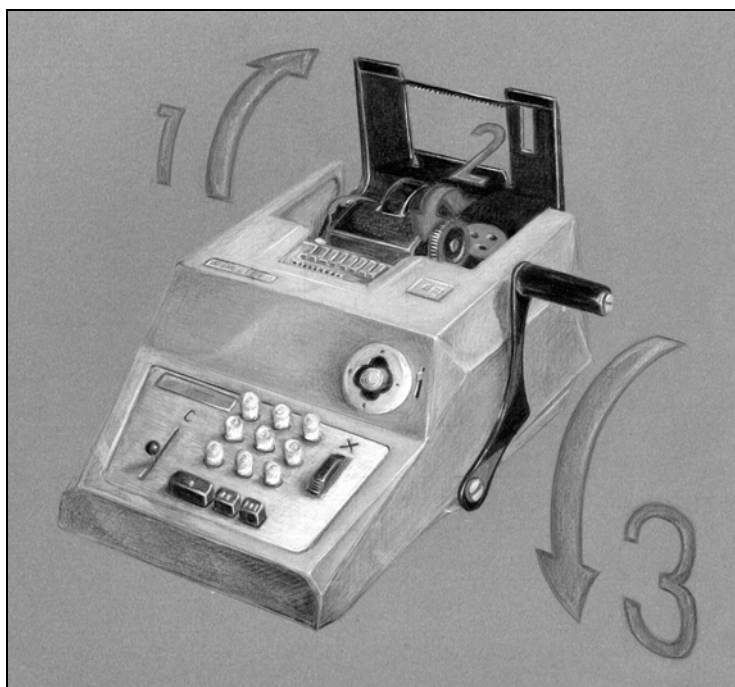
Con il visual computing,⁸ che consente di effettuare simula-

⁷ Watt A., *3D Computer Graphics*, Addison Wesley, 2000.

⁸ Friedhoff R.M., Percy M.S., *Visual Computing*, Scientific American Library, New York, 2000.

zioni tridimensionali complesse e rappresentarle in modo dettagliato, si sviluppa una nuova metodologia che si distacca completamente dalla tradizione e instaura un *modus operandi* innovativo che non implica semplicemente l'uso delle tecnologie informatiche come supporto all'attività progettuale ma un reale ambiente di lavoro che incorpora tutte le fasi di sviluppo del progetto. L'interazione in un ambiente di sintesi permette di rappresentare in modo dinamico i dati tridimensionali utilizzando tecniche di visualizzazione complesse e mediante materiali, luci e colori, tende a riprodurre in modo adeguato le caratteristiche del mondo reale. Da queste premesse e grazie alle tecnologie informatiche è quindi possibile ottenere prodotti e regole che consentono di visualizzare gli oggetti e interagire in ambienti sempre più "veri" o, facendo riferimento alla teoria dell'iconicità, che si avvicinano a un livello pari all'identità.

Si può in definitiva, plasmare, visualizzare e muovere un manufatto come se esistesse veramente: il virtuale.



[5 . 1 2]

Laboratorio del
Disegno Sez. P5 -
A.A. 2001-2002.
Elaborato finale:
Studio di un oggetto:
Calcolatrice
Olivetti Summa
Prima 20. Analisi e
rendering. Elaborato
di Claudio Titone



[5 . 1 3]
HMD (Sword of
Damocles), svilup-
pato nel 1966
(Fonte: Vedi nota
n.10)

5.5 Il virtuale

La realtà virtuale affonda le sue radici nella ricerca bellica per la simulazione di volo della seconda guerra mondiale e nella ricerca degli anni '60. Una delle prime definizioni di realtà virtuale si trova in un paper pubblicato nel 1965 dove Ivan Sutherland illustra "The Ultimate Display", un dispositivo collegato al computer che dà la possibilità di creare e visualizzare ambienti che non appartengono al mondo reale.⁹ Sempre Sutherland negli anni seguenti crea il primo casco immersivo (HMD Head Mounted Display).¹⁰

Oggi con realtà virtuale si indica una vasta gamma di tecnologie che vanno dalle semplici immagini generate sullo schermo di un personal computer al più complesso sistema di apparecchiature atte a ricostruire in modo sintetico il mondo reale, e naturalmente il risultato migliore si ha quando l'utente perde la consapevolezza di tutta l'artificialità del processo e ha addirittura la sensazione di interagire in un ambiente del tutto reale.

Per poter utilizzare questa tecnologia si utilizzano configurazioni con diversi livelli di dettaglio e sofisticazione. Si va dal sistema desktop costituito da un pc dotato di apparecchiature per la visualizzazione stereo, maggiormente indicato alla progettazione individuale, al sistema di tipo workbench,¹¹ una sorta di tavolo retroproiettato per lo studio di modelli con uso destinato a due o tre persone, in cui le immagini vengono riprodotte sul piano di lavoro trasparente, mediante uno specchio collocato sotto la superficie.

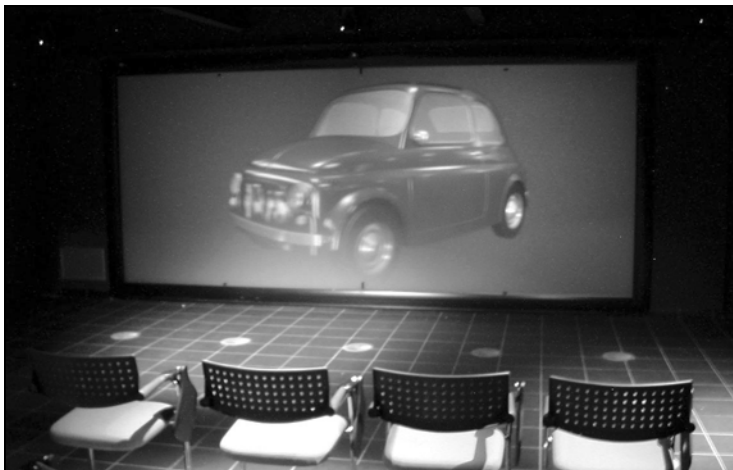
Sistemi complessi CADWALL o CAVE¹² costituiscono il livello più elevato con un grado di visualizzazione a maggior dettaglio e la cui fruizione è destinata ad un numero maggiore di persone.

⁹ Sutherland I., *The ultimate display*, Proceedings of IFIPS Congress, New York City, NY, May 1965, vol. 2, pp. 506--508.

¹⁰ Sutherland I., A head-mounted three dimensional display, Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference Washington, D.C.: Thompson Books, 1968, p. 757-764.

¹¹ W. Krueger and B. Froehlich. *The responsive workbench (virtual work environment)*, IEEE Computer Graphics and Applications, May 1994, pp. 12-15.

¹² Per una descrizione dei sistemi si veda il paragrafo 5.8 Dispositivi di visualizzazione.



[5 . 1 4]

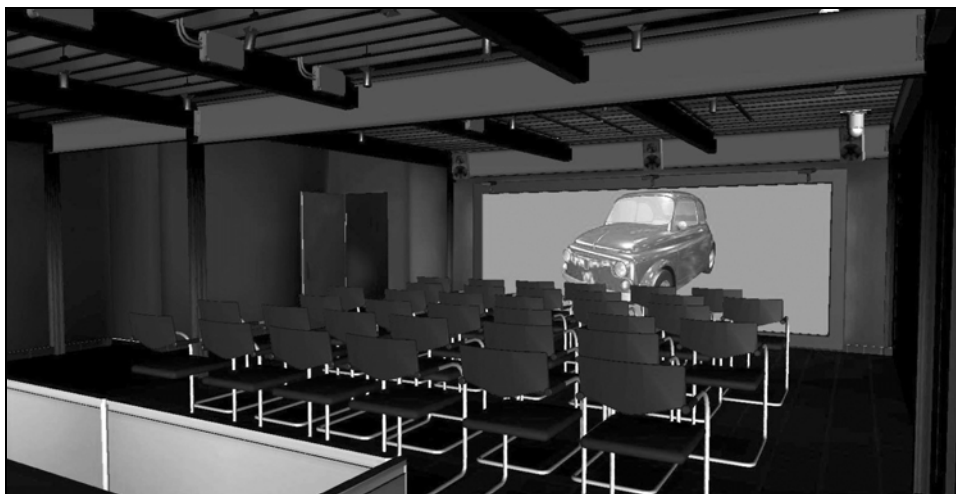
Visualizzazione di un modello in stereoscopia su Cadwall. Teatro Virtuale Dipartimento Indaco

Oltre all'elevato livello di iconicità di questi ultimi, entra in gioco, ed è in grado di condizionare l'intero processo, il concetto dell'immersività, e cioè la capacità di far perdere a chi si serve di questi strumenti la consapevolezza circa l'artificialità delle immagini ricreate.

La visualizzazione tramite particolari strumenti e tecniche permette di esplorare la scena da un qualsiasi punto di vista e con la sensazione di essere un tutt'uno con l'oggetto che si sta osservando, nel caso di un ambiente si ha addirittura la percezione di essere all'interno, vale a dire fisicamente presente nella ricostruzione informatizzata. Le caratteristiche dei display e dei proiettori sono così sviluppate che permettono di visualizzare immagini in true color – milioni di colori – persino su grandi schermi con refresh rate molto elevato, ovvero con capacità di riaggiornare l'immagine molto velocemente; il che comporta un'ottima qualità d'immagine senza sfarfallamenti (flickering) e minor affaticamento per la vista dell'osservatore.

Queste caratteristiche sono fondamentali per una percezione del colore, delle texture, e delle superfici che costituiscono una componente essenziale ai fini della visualizzazione virtuale; in questo caso infatti l'attenzione è focalizzata sulla qualità visiva e sulla resa della simulazione, che deve consentire una percezione realistica degli oggetti e degli ambienti.

I livelli di dettaglio per la grafica virtuale in real time sono diversi dai requisiti dei CAD o dei modellatori meccanici, dove



[5 . 1 5]

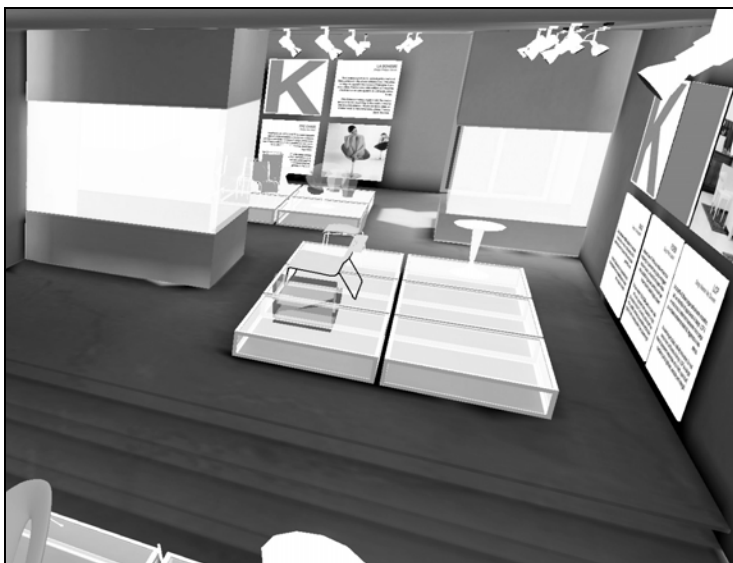
Modello tridimensionale digitale del Teatro Virtuale
Dipartimento Indaco. Software Multi-gen Vega

il colore e lo shading servono a differenziare le superfici e a verificarne semplicemente la forma.

I sistemi di realtà virtuale possono dunque essere divisi in differenti tipi, a seconda del grado d'interazione e di "inserimento" dell'utente nel mondo o nella scena virtuale. La consapevolezza di chi fruisce di un ambiente in realtà virtuale dipende da una serie di fattori che sono comunque legati alla percezione: il sistema dovrà essere totalmente immersivo e consentire l'interazione con gli oggetti o gli ambienti, con perfetta sincronia in ogni più piccolo movimento; la grafica relativa alle immagini dovrà essere rigenerata in tempo reale, con immagini stereoscopiche. Secondo C. Cruz-Neira la realtà virtuale si riferisce ad ambienti tridimensionali, immersivi, interattivi, multisensoriali, generati dal computer e all'insieme delle tecnologie necessarie alla loro realizzazione.¹³

Se le prime apparecchiature erano limitate esclusivamente all'utilizzo di guanto e casco, in poco tempo si è passati a sistemi molto sofisticati: la proiezione su ampi schermi consente la condivisione della scena a un elevato numero di utenti, che possono avere contemporaneamente la sensazione di interagire in un ambiente reale.

¹³ Cruz-Neira C., *Applied Virtual Reality*, Course #23, ACM Siggraph '93 Conference, Anaheim, CA, July 1993.



[5 . 1 6]

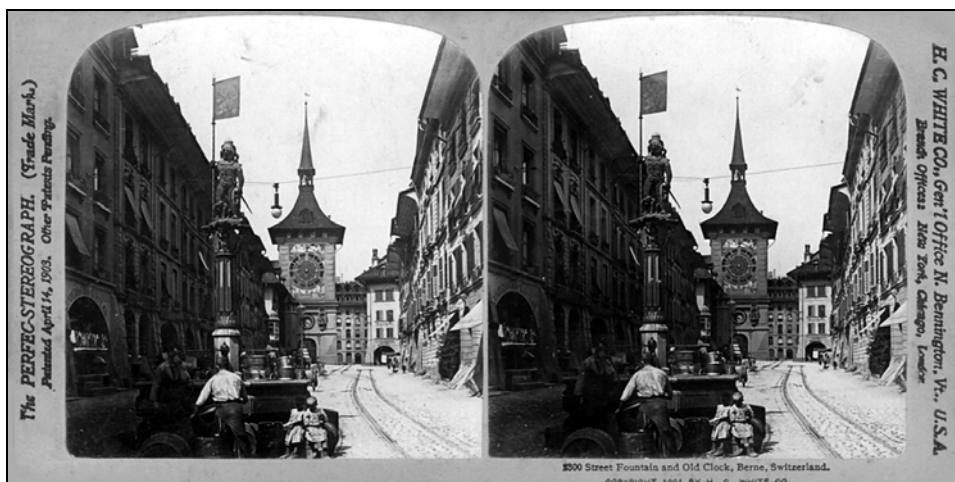
Modello digitale di un'esposizione di architettura. Visualizzazione in real-time. Software Multigen Vega

I dispositivi di visualizzazione che utilizzano gli attuali sistemi di proiezione oltre a garantire un inferiore grado di “isolamento” rispetto ai dispositivi HMD sono anche meno limitanti: per fruire appieno delle potenzialità offerte bastano un paio di occhiali stereo, dotati di un sistema di tracking wireless, e uno schermo di ampie dimensioni. Sono quindi indicati per le attività di gruppo, visto che a più persone è permessa la più ampia libertà di movimento e di interazione nello stesso ambiente virtuale.

L'aggiunta di ogni ulteriore apparecchio di proiezione aumenta il campo visivo e contribuisce a migliorare la risoluzione dell'immagine: è evidente che un campo visivo illimitato, ottenuto circondando completamente l'utente con schermi di proiezione, migliorerà il senso di immersività riducendo la sensazione di artificialità.

Partendo da queste osservazioni nel 1992 presso l'EVL Electronic Visualization Lab dell'Università di Chicago, è stato progettato e realizzato il primo sistema CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)¹⁴ che ha superato i limiti legati

¹⁴ Cruz-Neira C., Sandin D.J., DeFanti T.A., *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*, Proceeding SIGGRAPH, v. 27, Aug. 1993.



[5.17]

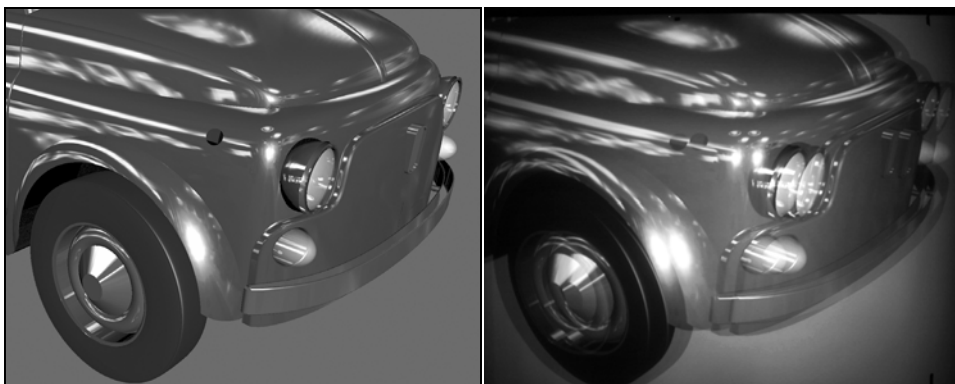
Coppia di immagini fotografiche per visualizzazione in stereoscopia da utilizzare con lo stereoscopio lenticolare Perfectscope

ai dispositivi precedenti, e ha costituito un nuovo approccio al virtuale. Lo sviluppo di tecnologie legate al mondo dei videogame e alla grafica in tempo reale ha poi dato un impulso decisivo allo sviluppo di applicazioni che consentono interazione con il modello 3D, con conseguente miglioramento delle capacità di analisi e verifica, oltre ai risultati straordinari raggiunti sia per il livello di immersività sia per le capacità di movimento dell'utente in sincrono con la scena.

5.6 I requisiti del virtuale

La visualizzazione virtuale comporta alcuni requisiti che la differenziano dalle applicazioni interattive tradizionali, a causa delle caratteristiche che hardware e software devono possedere: ricevono degli input dall'utente e devono ricreare l'illusione di un mondo reale. Con le tecniche classiche un modello o un ambiente tridimensionale viene comunque "appiattito" dalle caratteristiche proprie del monitor o dello schermo su cui viene riprodotto, che costituisce un vero e proprio piano di proiezione per gli elementi che compongono gli oggetti: infatti, nonostante le caratteristiche di tridimensionalità, il tutto viene percepito come "piatto" in qualsiasi modo lo si osservi.

Le parole chiave sono interattività e immersività. Sebbene tutti i sistemi informatizzati abbiano una componente interattiva tra l'utente e la macchina, in questo caso si intende lo stretto legame che intercorre tra le azioni dell'utente e la risposta che il sistema offre, con modalità che devono essere le più naturali possibili.



L'immersività riguarda la sensazione che l'utente raggiunge quando si sente parte integrante, e quindi sperimenta e percepisce la propria presenza nella ricostruzione virtuale. Il concetto su cui si basano i sistemi di realtà virtuale infatti è l'interrelazione diretta tra la posizione dell'osservatore impiegata per generare l'immagine sul display, la posizione del capo e la direzione d'osservazione dell'utente. Questi fattori sono costantemente comunicati e inseriti nell'algoritmo di visualizzazione per calcolare una corretta vista prospettica tridimensionale della scena; il rigido accoppiamento della posizione d'osservazione dell'utente e dell'immagine offerta sul sistema di visualizzazione danno all'utente l'illusione di interattività e immersività. Le due componenti "tecnologiche" che concorrono a soddisfare le suddette caratteristiche sono la visione stereoscopica, e il sistema di tracking.

5.6.1 La Stereoscopia

L'occhio umano è un complesso sistema ottico costituito da diversi elementi: il flusso di luce in entrata è regolato dall'iride, un muscolo in grado di misurare mediante contrazione o dilatazione le proprie dimensioni in base alla luminosità presente in un ambiente; un vero e proprio diaframma.

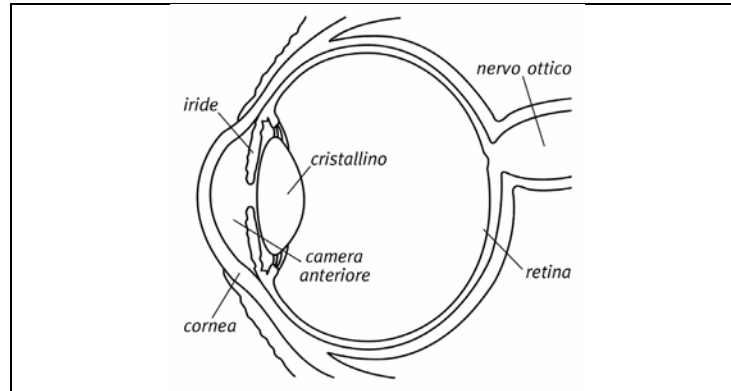
Lo strato sensibile è formato dalla retina, composta da strati concentrici di cellule e fibre nervose che costituiscono la parte terminale del nervo ottico; microscopici coni e corpi cilindrici hanno rispettivamente la funzione di percezione dei colori e dell'intensità luminosa. L'occhio è dotato inoltre di mezzi rifrangenti, rappresentati dalla cornea, dall'umor acqueo, liquido che riempie la camera anteriore delimitata dalla cornea

[5 . 1 8]

Particolare di modello digitale in real-time: visualizzazione normale e in stereoscopia. Nel secondo caso l'utente dotato di occhiali opportuni è in grado di percepire la tridimensionalità del modello

[5 . 1 9]

Schema dell'occhio umano

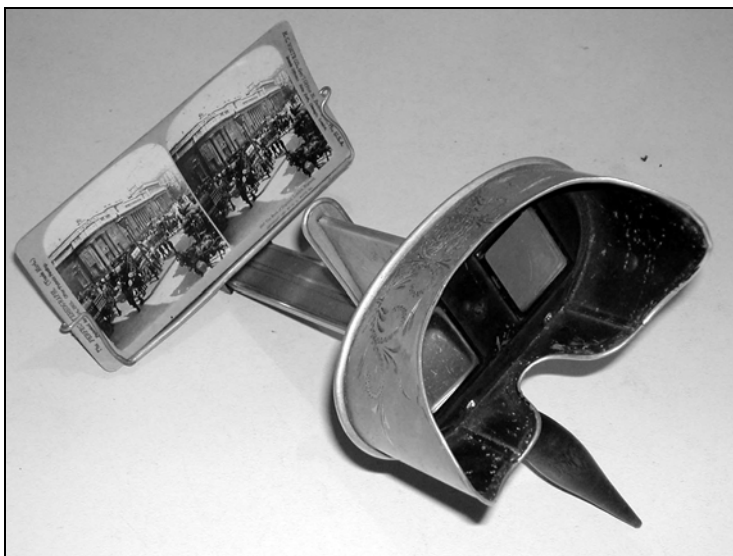


e dall'iride, e dal cristallino costituito da una lente biconvessa posta dietro all'iride, avente la prerogativa di variare la propria curvatura in base alla distanza dell'oggetto osservato.

La stereoscopia permette di ricostruire artificialmente ciò che i nostri occhi percepiscono in natura. In realtà infatti a causa della distanza tra loro osservano due punti di vista leggermente diversi, e più precisamente le immagini sono leggermente sfasate una dall'altra e ruotate rispetto ad un asse verticale. Le due diverse immagini di un unico oggetto percepite dagli occhi vengono proiettate sulla rispettiva retina; la differenza o disparità tra le due proiezioni, che consente di rilevare la profondità, si definisce paralasse.

Se la distanza tra le due proiezioni non è troppo elevata il cervello è in grado di rielaborare le due immagini e fonderle in un'unica proiezione che consente di approssimare la distanza e percepire la profondità. In caso contrario verranno percepite due immagini separate, con il risultato di una doppia visione dell'oggetto. Per facilitare un'accurata e appropriata proiezione dei raggi di luce gli occhi devono ruotare sul proprio asse verticale fino ad ottenere un giusto punto focale: questo meccanismo viene definito convergenza nel caso in cui la rotazione avvenga verso l'interno per mettere a fuoco oggetti vicini, o divergenza nel caso di oggetti lontani.

Per verificare questo fenomeno è sufficiente posizionare un dito di fronte agli occhi e chiuderli alternativamente: i due occhi percepiscono due immagini bidimensionali da due prospettive leggermente diverse, che insieme consentono di rielaborare la terza dimensione.



[5 . 2 0]

Stereoscopio lenticolare Perfectscope

Il fenomeno della diparità tra le proiezioni di un oggetto sulla retina, sebbene individuato già in passato da Leonardo e Euclide, è stato dimostrato e spiegato nel 1837 da Sir Charles Wheatstone, tramite la realizzazione dello stereoscopio, uno strumento che consentiva di visualizzare in modo tridimensionale coppie di disegni piani.¹⁵

Da allora sono stati realizzati numerosi strumenti per utilizzare questo principio nella visualizzazione anche di immagini fotografiche oltre ai disegni: ne sono un esempio il PerfectScope¹⁶ brevettato nel 1895 e il più recente View-Master del 1939.

La definizione dei termini quale parallasse e disparità sono entità simili ma si riferiscono a fenomeni percettivi diversi. La disparità infatti è misurabile a livello della retina, mentre la parallasse a livello dello schermo su cui viene proiettata un'immagine.

Esistono quattro diverse possibilità. Nel primo caso, la distanza tra due punti omologhi di due immagini corrispondono

¹⁵ Per maggiori dettagli cfr. Lipton L., *Foundations of the stereoscopic cinema*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1940. Una copia elettronica è disponibile a fini didattici su sito www.stereoscopic.org.

¹⁶ Wendall Holmes O., *The Stereoscope and Stereoscopic Photographs*, 11th edition, Underwood and Underwood, New York and London, 1906.



[5 . 2 1]
Viewmaster

esattamente e si sovrappongono uno all'altro sullo schermo di proiezione: gli occhi dell'osservatore, ovvero gli assi ottici, convergono nello stesso punto sullo schermo, e percepiscono un'immagine con parallasse zero.

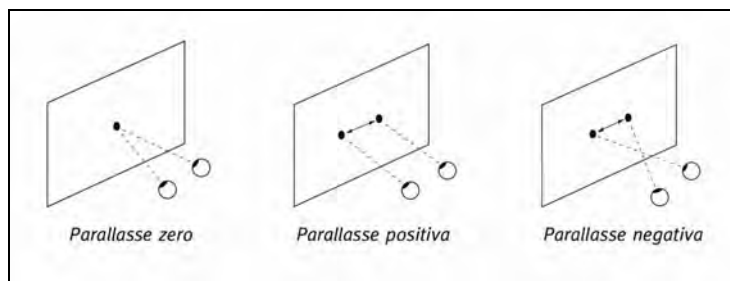
Nel caso in cui gli assi relativi ai due occhi siano paralleli, si può definire parallasse positiva: è ciò accade osservando un oggetto lontano, e quindi la distanza tra gli occhi equivale al valore della parallasse sullo schermo. Si può inoltre definire una parallasse positiva divergente nel caso in cui il valore di parallasse sia maggiore della distanza interoculare, anche se un fenomeno di questo tipo non è utilizzabile neppure per visualizzare immagini stereoscopiche computerizzate. Valori di parallasse negativa indicano che gli assi oculari sono incrociati rispetto al piano di proiezione, e in questo caso gli oggetti proiettati vengono percepiti più vicini e sembrano quindi "fuoriuscire" dallo schermo.

In campo informatico per ricostruire l'effetto stereoscopico vengono riprodotte due immagini leggermente sfasate tra loro che generano un'immagine sdoppiata e un sistema di visualizzazione appropriato permette all'occhio sinistro e all'occhio destro di percepire ciascuno l'immagine destinata.

Ciò implica che vengano riproposte correttamente quelle condizioni secondo le quali l'occhio umano riesce ad interpretare la profondità degli oggetti; in pratica bisognerà ricostruire, in base ad alcuni fattori, i presupposti necessari a far sì che le due immagini proiettate si "fondano" in un'unica immagine tridimensionale. Esistono quattro differenti modalità.

Una possibilità è costituita dall'impiego di due display separati, uno per occhio, che possono essere montati su un dispositivo dotato di particolari lenti che ingrandiscono l'immagine, in modo che l'osservatore non guardi direttamente la superficie dello schermo, ma la possa osservare con una maggiore profondità di campo e migliore confort.

I dispositivi che utilizzano questa tecnologia sono gli HMD Head Mounted Display e i sistemi BOOM: nel primo caso il dispositivo è costituito da un casco che viene indossato mentre nel secondo l'apparecchiatura è montata su un braccio meccanico bilanciato che ne supporta il peso. Entrambe i sistemi sono dotati di un dispositivo che permette di identificare la posizione e l'orientamento del punto di vista dell'osservatore.



[5 . 2 2]

Differenti casi di parallaxe (Elaborazione da Stereographics Corp © 1997)

La stereoscopia attiva è applicabile mediante l'uso di occhiali chiamati *shutters glasses*; questi dispositivi elettronici, costituiti da particolari schermi LCD monocromatici trasparenti (*shutters*), sono sequenziali cioè consentono di oscurare alternativamente e in rapida successione l'occhio destro e quello sinistro. Tale attività viene fatta in sincronia con l'immagine proposta sul monitor o sullo schermo di proiezione che proporranno alternativamente l'immagine generata per l'uno o per l'altro occhio. La sincronizzazione tra gli occhiali e la scheda grafica del computer viene effettuata tramite un emittente ad infrarosso. Per ottenere l'effetto desiderato lo schermo CRT (Cathodic Ray Tube) del computer deve operare a frequenze piuttosto alte, intorno a 120Mhz. Lo stesso requisito deve essere perseguito dai proiettori, se si desidera visualizzare su grandi schermi. Tutto l'insieme dell'apparecchiatura, *shutters glasses* ed emittente, a causa dei componenti e della tecnologia utilizzata, ha un costo piuttosto elevato.

Per la stereoscopia passiva, invece, si sfrutta la capacità di separare le immagini destra e sinistra utilizzando il colore – una rossa e una blu visibili rispettivamente con lenti con uguale colore – oppure la polarizzazione della luce - polarizzazione destra e sinistra - che consentirà, tramite l'utilizzo di particolari lenti su gli occhiali, di selezionare solo i raggi di luce orientati in un'unica direzione.

La luce infatti è costituita da onde che si muovono in ogni direzione; facendo passare le onde luminose attraverso un filtro polarizzatore fuoriescono solo quelle orientate in un'unica direzione. Quindi organizzando la polarizzazione per l'uno e l'altro occhio, sarà possibile separare ed indirizzare in modo appropriato le immagini.

Esistono due tipi di polarizzazione: lineare e circolare.

Nella polarizzazione lineare la luce viene orientata in un'unica



[5 . 2 3]

Occhiali per visualizzazione stereoscopica attiva (a sinistra) e passiva (a destra)

direzione, pertanto se l'utente ruota la testa in modo che la direzione prodotta dai filtri non coincida con quella degli occhiali, si perderà l'effetto stereoscopico. Al contrario se la polarizzazione è circolare le onde luminose non vengono orientate in una sola direzione e quindi l'utente può ruotare la testa, e godere comunque della visione appropriata. Gli occhiali necessari a questo tipo di proiezione, non avendo parti elettroniche, sono sensibilmente meno costosi degli shutter glasses. Per i sistemi desktop si possono utilizzare particolari schermi, detti Z-Screen, costituiti da un modulatore a cristalli liquidi che viene sovrapposto a un normale monitor e permette di ottenere lo stesso effetto di polarizzazione passiva. Alternativamente l'apparecchio cambia le caratteristiche della luce polarizzata, in modo da proporre in modo sequenziale le immagini destra e sinistra polarizzate in modo appropriato e in sincrono con la scheda grafica.

Sono ad oggi disponibili sistemi – definiti *autostereoscopic displays* – che non richiedono l'utilizzo di particolari occhiali. Questi dispositivi utilizzano accorgimenti ottici o meccanici che mascherano le immagini in modo da renderle visibili esclusivamente all'occhio a cui sono destinate. In alcuni casi sono utilizzati specchi che ripropongono l'immagine proveniente da un monitor e la riflettono in modo che l'utente ne percepisca una sorta di copia con un conseguente effetto stereo.

[5 . 2 4]

Visualizzazione stereoscopica passiva con ZScreen





[5 . 2 5]

Sistema di tracking
Intersense IS-900.
Head tracker posi-
zionato su occhiali
per visione stereo-
scopica attiva e 3D
Wand

5.6.2 Tracking

I sistemi di tracking altro non sono che dei rilevatori di posizione e di orientamento. Per determinare la posizione di un punto nello spazio sono necessarie tre coordinate x , y e z , mentre per l'orientamento è necessario fornire il valore di tre angoli che definiscano la rotazione rispetto agli assi x,y,z (*pitch, yaw e roll*). Questi valori determinano i sei gradi di libertà – *degree of freedom DOF* – necessari a descrivere la posizione di un oggetto in un ambiente tridimensionale virtuale. Di solito questi sistemi sono utilizzati per identificare il movimento della testa, degli occhi e delle mani, anche se in alcuni casi si possono monitorare intere parti del corpo, con l'utilizzo di particolari sensori o tute.

I sensori sono posizionati in modo tale da rilevare il movimento, quando il corpo si muove, e trasmetterlo al ricevitore che elabora i dati ricevuti per determinare la nuova posizione. Questa attività viene monitorata in continuo con elevate frequenze di rilevamento: è fondamentale che il sistema di realtà virtuale reagisca molto rapidamente a tutti i movimenti perché in caso contrario non ci sarà una corrispondenza tra l'azione interattiva e la reazione del sistema, con un conseguente ritardo nell'aggiornamento delle immagini che, oltre a far decadere la percezione di un ambiente virtuale credibile, possono causare all'utente sensazioni



[5 . 2 6]

Lab. Virtual Prototyping e Reverse Modeling. Sistema di tracking Intersense IS-900 per interazione su Cadwall

di malessere, in particolar modo in quegli ambienti immersivi, che lo circondano completamente.¹⁷

Esistono diversi tipi di tecnologie per il tracking: meccanici, magnetici, ottici, acustici e inerziali.¹⁸ I parametri che possono essere utilizzati per valutare le performances di un sistema sono la risoluzione, l'accuratezza, e la reattività.

La risoluzione indica la precisione con cui il sistema può identificare una posizione e viene misurata in pollici per pollici, quale rapporto tra il rilevamento tra il trasmettitore e il ricevitore per la posizione, mentre l'orientamento viene rilevato in gradi. L'accuratezza identifica un range di valori all'interno del quale una posizione rilevata è corretta, quindi definisce un valore in funzione dell'errore possibile nel rilevare una posizione.

¹⁷ Held R., Durlach N., *Telepresence, time delay and adaptation*, in Ellis S., *Pictorial Communication in Virtual and Real Environments*, Taylor and Francis, London, 1991, pp. 232-246.

¹⁸ Per maggiori riferimenti sui sistemi e le diverse modalità consultare: www.polhemus.com, www.intersense.com, www.ascension-tech.com.

La reattività di un sistema viene misurata in base a valori quali: la frequenza con cui i sensori vengono monitorati, il numero delle posizioni calcolate al secondo, la frequenza con cui il sistema di tracking invia le coordinate di una nuova posizione al computer, e la latenza misurata in millisecondi, cioè il lasso di tempo che trascorre tra il movimento dell'oggetto monitorato e il rilievo della nuova posizione.

Alcuni sistemi di tracking sono parte integrante di sistemi di visualizzazione quali ad esempio alcuni dispositivi HMD o BOOM, piuttosto che per applicazioni di tipo *augmented reality*. In questo caso vengono utilizzati dispositivi che consentono di osservare il mondo reale attraverso particolari display trasparenti che sovrappongono grafica o oggetti virtuali al mondo reale: il sistema di tracking permette di ottenere un corretto allineamento tra i vari elementi.

5.6.3 Hardware: pc, workstation, schede grafiche.

L'hardware sta alla base di ogni sistema di visualizzazione virtuale, ha funzioni di calcolo per la grafica, elabora gli input inviati dalle varie periferiche, rigenera in continuo e in tempo reale la scena, costituisce il cuore del sistema: si tratta del solito cocktail di Gb di memoria RAM, di uno o più processori con Mhz in abbondanza, di schede grafiche con memorie dedicate. Tuttavia mai come in questo caso la rapidità di calcolo è essenziale; la rigenerazione della scena e del punto di vista dell'utente, in sincrono con l'ambiente circostante è il requisito fondamentale. Un sistema di realtà virtuale è spesso stato definito "user-centered,"¹⁹ ovvero tutto è in funzione dell'interazione dell'utente con il sistema: ogni ritardo nei movimenti, causerebbe l'immediata perdita del senso di immersione e il decadimento della percezione del reale.

Fino ad oggi i sistemi legati alla realtà virtuale e alla grafica in real time sono costituiti essenzialmente da sistemi complessi Silicon Graphics o HP basati su sistema operativo Unix. Questo fattore, in parte, ha costituito un limite all'espansione delle tecnologie, a causa dell'alto costo: la spesa necessaria alla realizzazione di un sistema costruisce un grosso sforzo



[5 . 27]

Una delle tipologie hardware più usate per la realizzazione di teatri virtuali multi-proiettore: la SGI Onyx 3800 è in grado di essere configurata in maniera modulare con 1 processore e 1 modulo grafico, ma anche con 128 processori e 8 moduli grafici. (Fonte: Silicon Graphics, Inc.)

¹⁹ Cruz-Neira C., *Projection-based Virtual Reality: The CAVE and its Applications to Computational Science*, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Chicago, 1995.

sotto tutti i punti di vista: acquisto, manutenzione, software dedicato. Inoltre va tenuto conto che la VR è un campo relativamente nuovo e richiede personale specializzato.

La performance dei computer e delle workstation basate su sistema Windows è migliorata a tal punto da poterli considerare quale alternativa possibile, l'ultima tendenza è quella di realizzare dei cluster di pc, ovvero computer che lavorano in parallelo, come motore per il sistema di realtà virtuale. La sperimentazione in questo senso è molto attiva, e i risultati discreti fanno intravedere una valida alternativa possibile per la diffusione di queste tecnologia soprattutto perché accessibile ad un pubblico più vasto.

Grazie alla loro scalabilità infatti, in base ai risultati e ai fondi disponibili, sarà possibile implementare il numero dei pc aumentando così le prestazioni dell'intero sistema. Ma per il momento siamo ancora in fase sperimentale: sono disponibili alcuni prototipi sviluppati in ambiente universitario dall'EVL di Chicago (Cave lib - Agavè),²⁰ dall'Iowa State University (VR Juggler – Cluster Juggler),²¹ dall'Université d'Orléans (Net Juggler),²² ma anche in ambito commerciale si possono trovare prodotti sviluppati/orientati in questa direzione.

Un altro punto importante riguarda la grafica del sistema, rigorosamente in tempo reale, i cui diversi aspetti sono affrontati in modo più specifico altrove all'interno di questo stesso volume. L'elevato livello di definizione, delle superfici, dei materiali, delle texture, dell'illuminazione, costituiscono un requisito necessario dal punto di vista della rappresentazione ad alto livello di iconicità: una qualsiasi carenza comporterebbe una limitazione poco accettabile. Le schede grafiche di ultima generazione hanno delegata la capacità di calcolare direttamente, senza cioè che il computer o meglio il processore se ne occupi, alcune attività con una conseguente velocità di rappresentazione. Il texture mapping ad esempio, ovvero la capacità di applicare le texture dei materiali direttamente al modello 3D, viene effettuato direttamente da una memoria dedicata.

²⁰ <http://www.evl.uic.edu/cavern/agave/>.

²¹ <http://www.vrjuggler.org/>.

²² <http://netjuggler.sourceforge.net/>.



Inoltre le schede per la grafica real time offrono anche la possibilità di gestire diverse modalità di visualizzazione. Con la modalità *dual-view* ad esempio la scheda ha la possibilità di sdoppiare il segnale video in modo da inviare il segnale a due proiettori e offrire un'ampia area di visualizzazione.

La modalità *genlock* invece permette di gestire la sincronizzazione del segnale video tra più computer. Nel primo caso un computer può gestire esclusivamente - tramite la scheda grafica - una maggior area di visualizzazione, mentre nel secondo caso potrà gestire sistemi multipli complessi per ottenere un'attività coordinata tra i dispositivi di visualizzazione. Queste componenti vengono comunque riprese e trattate in modo più approfondito nel capitolo 4 e in altri contributi nello stesso volume.

Il flusso delle attività secondo cui è organizzato un sistema di realtà virtuale è riconducibile alle funzioni di comando ed interazione con il computer effettuate tramite differenti strumenti di input, all'elaborazione e all'organizzazione dei dati da parte del computer stesso, e alla presentazione del prodotto finito mediante un appropriato strumento di visualizzazione.

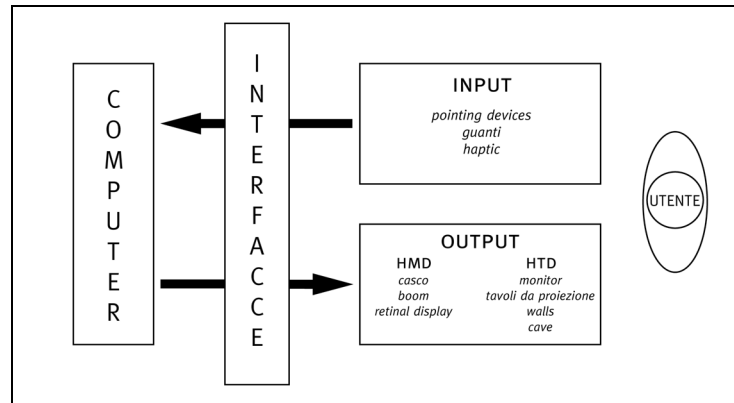
[5 . 2 8]

Lab. Virtual Prototyping e Reverse Modeling.

Console del teatro virtuale: modalità genlock per la sincronizzazione del segnale video tra i due computer del cluster

[5 . 2 9]

Processo di interazione tra utente e computer e restituzione delle informazioni



5.7 Dispositivi di input

Gli strumenti sono fondamentali non solo perché permettono di interagire con le applicazioni ma anche perché un'approfondita conoscenza delle loro caratteristiche e delle funzionalità consente una corretta progettazione delle interfacce per ottenere una corrispondenza efficace e lineare tra il mezzo e le tecniche d'interazione.

La realtà virtuale ha messo da parte mouse e tastiera, sostituiti da strumenti molto più sofisticati e complessi che permettono un livello d'interazione più ampio e più completo. Sebbene molti software consentano di visualizzare i modelli tridimensionali, esplorarli e modificarli mediante un mouse a tre tasti con alcune combinazioni da tastiera per ottenere una completa gamma di movimenti, l'interazione risulta ancora complicata e poco spontanea. Come abbiamo visto, infatti, una delle caratteristiche della realtà virtuale è che l'utente sia costantemente inserito e immerso nella scena che sta osservando: pertanto il fatto di dover prestare attenzione agli strumenti – il mouse e la tastiera appunto – lo distoglie dalla visualizzazione. Per le applicazioni desktop le limitazioni legate alla natura bidimensionale dei normali strumenti di input come il mouse sono evidenti. In questo caso i due gradi di libertà devono essere aumentati a tre o in alcuni casi a sei per ottenere una completa funzionalità. Questa necessità ha portato alla progettazione di strumenti specifici per applicazioni 3D.

Alcuni sistemi altro non sono che delle modifiche che aggiungono maggiori funzionalità al mouse tradizionale, o che ne ricalcano le funzioni.



[5 . 3 0]

Spacemouse (Fonte: 3DConnexion © 2003) e Sidewinder (Fonte: Microsoft Corp © 2003)

Altri devices come lo Spaceball e il Sidewinder²³ percepiscono la posizione e la rotazione nelle sei dimensioni.

Molti studi hanno analizzato le funzionalità di differenti strumenti e confrontato la loro performance e usabilità. Uno dei risultati di questi studi è che i dispositivi e le tecniche di interazione sono collegate tra loro, e che è il dispositivo che determina il tipo di tecnica di interazione che deve essere utilizzata. Secondo tale indicazione, si renderà necessario cercare di standardizzare le interfacce 3D, per definire delle modalità di interazione efficaci e funzionali da utilizzare come base per tutte le applicazioni e su cui eventualmente costruire delle personalizzazioni. Per il momento, comunque, la ricerca è ancora focalizzata sull'ottimizzazione dell'interazione per particolari azioni in determinati contesti.

5.7.1 Dispositivi 3D

È il caso di joystick, mouse 4-D, space ball, congegni che tuttavia, anche se ampiamente utilizzati, non sempre hanno dimostrato la loro validità quali strumenti d'interazione in generale, ma hanno espresso la loro efficacia in particolari applicazioni come i sistemi CAD 3D e modellatori solidi, in cui la possibilità di utilizzare direttamente comandi e funzioni senza ricorrere all'uso della tastiera ha notevolmente velocizzato le operazioni. Un'ulteriore possibilità, che potrebbe consentire una produttività maggiore e un'interazione più confortevole ed intuitiva, è data dall'impiego di più dispositivi comandati simultaneamente con due mani. Ciò consentirebbe di estendere le limitate possibilità d'interazione e movimento, del mouse ad esempio, con altri strumenti complementari per aumentare, in applicazioni esclusivamente desktop, i due gradi di libertà (2 DOF) disponibili, ovvero traslazione in X e in Y.

La possibilità di utilizzare le due mani per effettuare operazioni complementari è stata oggetto di svariati studi;²⁴ i com-



[5 . 3 1]

Interazione con due mani tramite differenti dispositivi

(Fonte: 3Dconnexion © 2003)

²³ Per una maggiore descrizione di questi sistemi si veda <http://www.3dconnexion.com/> e <http://www.microsoft.com/hardware/sidewinder/>.

²⁴ Cfr.: Hinckley, K., Czerwinski, M., Sinclair, M., *Interaction and Modeling Techniques for Desktop Two-Handed Input*, ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 1998, pp.49-58; Guiard, Y., *Asymmetric division of labor in Human skilled bimanual action : the kinematic chain as a model*, the Journal of Motor Behavior, 19 (4), 1987, pp.486-517.



[5 . 3 2]

Space Mouse (*Fonte: 3DConnexion © 2003*)

piti e le azioni possono essere effettuate in modo che la mano dominante effettui le operazioni che necessitano di precisione, mentre l'altra verrà utilizzata per attività secondarie.

Lo Space Mouse, così come altri device simili, è uno strumento che è stato proposto frequentemente in applicazioni CAD; è costituito da un supporto che si adatta in modo ergonomico alla mano e consente all'utente di definire il movimento di oggetti virtuali esercitando una pressione in diverse direzioni su una sfera sensibile e di definire la rotazione imprimendo una torsione. Lo strumento dà inoltre la facoltà di utilizzare particolari tasti a cui associare funzioni o comandi. È comunque possibile utilizzare lo strumento insieme al mouse tradizionale in modo da mantenere una maggiore operatività, separando le azioni da effettuare con i diversi strumenti e velocizzando quindi alcuni passaggi.

Per poter utilizzare sistemi di rappresentazione ad alta iconicità le modalità e le tecniche utilizzate per i sistemi desktop non sono sufficienti.²⁵ È necessario aumentare l'area di visualizzazione, e ottenere un livello d'immersività più elevato; questo significa passare da configurazioni desktop a sistemi in cui l'utente non è più seduto ma ha la possibilità di interagire su spazi più ampi, con maggiori possibilità di movimento. Si aggiunge un ulteriore e fondamentale requisito del mondo virtuale: che l'ambiente generato sia solidale con l'utente, reagisca e aggiorni di volta in volta il punto di vista dell'osservatore in base alla posizione della testa e dello sguardo. Sono pertanto necessari i sistemi di tracking con sensori wireless, costituiti da un elemento montato sugli occhiali stereoscopici e da un'interfaccia di tipo wand per agire sul modello. Queste specifiche sono necessarie poiché l'utente in molti casi, specialmente in ambienti cave o davanti ad un cawall, interagisce in ambienti con altre persone per cui i requisiti di minimo ingombro per i rilevatori e la mancanza di cavi diventano indispensabili, anche per l'eventualità di passarsi di mano i dispositivi. Questi particolari strumenti 6 DOF sono stati realizzati per applicativi 3D e registrano continuamente le coordinate che rappresentano la loro posizione

²⁵ Hand C., *A Survey of 3-D Input Devices*, Department of Computing Science, De Montfort University, 1993.

e l'orientamento; sono dotati di un joystick per il movimento e di cinque tasti con diverse funzionalità. A differenza dei sistemi head mounted, dove il maggior requisito è mantenere una precisa e veloce traccia dell'orientamento per riprodurre l'illusione che l'ambiente circostante rimanga fermo mentre l'utente gira la testa per esplorarlo, nei sistemi projection based lo schermo è fisso e quindi le immagini che vengono proiettate sono meno sensibili alla rotazione della testa. Pertanto il sensore che monitora l'orientamento della testa può essere filtrato in modo che non risponda velocemente alle sollecitazioni, mentre è importante la reattività e l'efficienza del sensore della wand.

5.7.2 Guanti

Le modalità con cui vengono forniti i comandi possono variare da normali gesti o segni delle mani, tramite guanti o esoscheletri mentre dispositivi di input 3D consentono di selezionare un elemento di un menu o di un oggetto, o interagire con pulsanti a cui sono associate attività predefinite. La scelta tra la tipologia di strumento dipende dal grado di precisione o dal livello di naturalezza che si intende associare all'interazione. Dato che uno dei principali presupposti della realtà virtuale è di interagire in maniera naturale con la ricostruzione, la gestualità della mano potrebbe sembrare il modo più praticabile. Normali gesti vengono utilizzati per inviare comandi che consentano di muoversi nell'ambiente virtuale, per selezionare e manipolare oggetti. I vantaggi in alcuni tipi di interazione sono innegabili, tuttavia questo non è applicabile a tutte le possibili applicazioni.

Sebbene i sistemi di tracking possano fornire indicazioni precise sulla posizione e l'orientamento della mano, l'uso come dispositivo di input richiede maggiori informazioni che permettano il riconoscimento dei gesti da parte del sistema. Quindi è necessario che sia definita la codifica delle posizioni delle dita misurando l'angolazione delle articolazioni. Infatti se è necessario associare un comando ad un particolare movimento della mano, il sistema deve essere in grado di identificarlo in modo univoco e senza compiere errori. La possibilità di movimento della mano consente ben 29 gradi di libertà di cui 23 sono legate alle articolazioni e i restanti 6 all'orientamento del palmo; utilizzando diverse combinazioni

si possono definire altrettanti comandi da inviare al sistema. Un differente metodo viene utilizzato dai Pinch Glove²⁶ la cui interfaccia non misura le angolazioni delle articolazioni. Il software di controllo è in grado di riconoscere il contatto tra le dita consentendo la definizione di una grande varietà di posizioni a cui associare altrettanti azioni. I guanti realizzati con una stoffa deformabile contengono un sensore elettrico per ogni dito e consentono di posizionare sul dorso della mano un rilevatore di posizione.

[5 . 3 3]
Pinch Gloves
(Fonte: Fakespace
Labs Inc.)



5.7.3 Dispositivi tattili

Un discorso a parte, riguarda i cosiddetti *haptics devices*, dedicati a particolari attività che richiedono la percezione del senso tattile e della forza impressa ad un azione o ad un movimento. Ma non solo: consentono di percepire sensazioni cinestetiche, ovvero relative alla percezione legata al movimento muscolare durante un attività, e riconoscere la “collisione” con gli oggetti presenti nella simulazione. Questa funzionalità non consente allo strumento d’interazione virtuale di “penetrare” negli oggetti che sta manipolando. Particolari guanti, esoscheletri, pinze o altri apparati sviluppati ad hoc, vengono utilizzati per sostituire l’azione diretta dell’utente laddove non

²⁶ <http://www.fakespacelabs.com/products/pinch.html> .

sia consentito da particolari condizioni o per effettuare operazioni a distanza. In questo caso grande importanza hanno le tecniche di visualizzazione che devono essere estremamente precise e attendibili, per consentire una corretta percezione del movimento indotto nella simulazione. Inoltre un insieme di sensori consente di percepire il movimento effettuato dall'utente e riprodurlo nella simulazione in modo che esista una naturale corrispondenza tra le due azioni.



[5 . 3 4]

Haptic Workstation
© (Fonte Immersion
Corp.)

Il sistema tattile potrebbe avere un importante ruolo nell'interazione in realtà virtuale. Come il sistema visivo e uditivo il tatto consente all'utente di percepire delle sensazioni, ma in più permette di agire nel sistema. Per ottenere un certo realismo sia nell'interazione sia nella percezione, il sistema deve essere dotato di strumenti che permettano di rilevare correttamente il movimento di una mano ad esempio, e riprodurlo correttamente in una simulazione virtuale, piuttosto che con uno strumento che ne restituisca fattezze e movimento. Ciò non implica solamente la possibilità di ottenere il movimento delle dita, ma anche di poter riprodurre la forza collegata ad un'azione o il riconoscere "al tatto" una superficie. Quindi con un'interfaccia haptic si riesce ad intraprendere un'azione che viene visualizzata su un monitor, e agisce in egual modo sulla controparte, dando luogo a movimenti e anche espressioni di forza.

Le sensazioni possono essere suddivise in tattili e cinestetiche:

nel primo caso le informazioni riguardano il contatto con un oggetto, la sua forma, la finitura di una superficie, il materiale la sua elasticità, e persino il calore o la vibrazione; nel secondo invece sono relative alla forza con cui posso interagire con l'oggetto oppure alla forza che il suo peso comporta sul sistema muscolare, esercitata sulla mano o sul braccio.

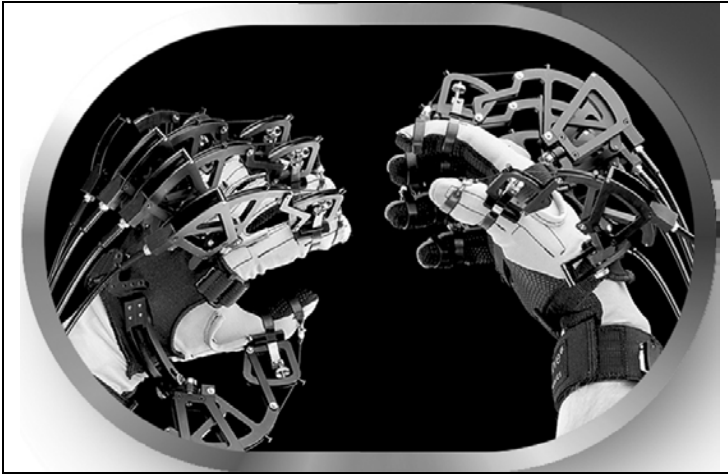
Esistono tre componenti che regolano le interazioni di tipo cinestetico: la misurazione del movimento delle dita o della mano dell'utente e il rilievo delle forze esercitate, il calcolo dell'effetto che le forze esercitano sull'oggetto nell'ambiente virtuale e le conseguenti forze risultanti che vengono esercitate sull'utente.

Uno dei primi esempi è il Phantom[®] DesktopTM,²⁷ un dispositivo costituito da un braccio che termina con una penna che consente di percepire ed esplorare un oggetto virtuale. Se l'utente muove la penna lo strumento ne rileva la posizione della punta e nel caso in cui un oggetto virtuale viene a contatto con essa genera una forza che oppone resistenza al movimento in quella direzione.

[5 . 3 5]
Phantom[®]
DesktopTM



²⁷ <http://www.sensable.com>.



[5 . 3 6]

Esoscheletro Cybergrasp® permette di aggiungere funzionalità sensoriali a guanti del tipo Cybergloves®.

L'utente può percepire le dimensioni e la forma di modelli 3D digitali. (Fonte Immersion Corp.)

5.8 Dispositivi di visualizzazione.

I dispositivi di visualizzazione hanno la funzione primaria di trasmettere e mostrare immagini. Questa funzione può coinvolgere diversi aspetti che spaziano dalla semplice visualizzazione di fotografie, alla comunicazione relativa a progetti e modelli, o semplicemente quale interfaccia grafica per l'esecuzione di operazioni. Quest'ultimo aspetto può comunque essere "allargato" e interpretato in modo da considerare questi dispositivi come uno strumento fondamentale di comunicazione tra l'uomo e il computer allo stesso stregua dei dispositivi di input; sono utili per indicare comandi o eseguire scelte, comunicano il risultato di un'operazione, mostrano simulazioni con diversi dettagli di approfondimento. Allo stesso modo di una normale interfaccia anche i dispositivi di visualizzazione sono in continuo miglioramento, per ottenere migliori caratteristiche quali la definizione, la realistica dei colori, la luminosità e la brillantezza delle immagini. Una prima divisione dei sistemi di realtà virtuale può essere effettuata in base alle caratteristiche del display utilizzati, ovvero HMD *head mounted display* oppure HDT *head tracked display* altresì detti *spatial displays*.

Nel primo caso l'elemento che consente di visualizzare l'ambiente virtuale è collocato in modo solidale davanti agli occhi dell'utente, cosicché girando la testa entrambi gli elementi si muoveranno simultaneamente e l'utente avrà la sensazione di vedere in continuo l'ambiente (virtuale) circostante.

Nel secondo invece l'elemento visivo sarà costituito da un monitor, da uno o più schermi di proiezione e saranno gli occhi dell'utente a muoversi per esplorare la scena.

5.8.1 Hmd

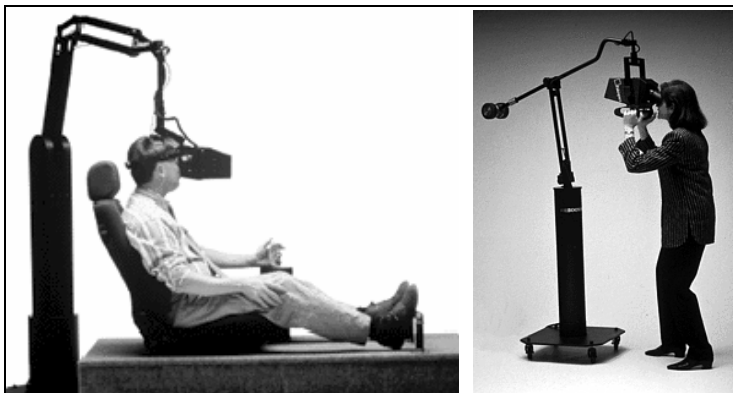
Dal primo prototipo realizzato nel 1965 sono stati sviluppati innumerevoli strumenti che ne sfruttavano l'idea: particolari occhiali o caschi più ingombranti hanno costituito un primo approccio al virtuale grazie anche alle caratteristiche di immersività offerte dallo strumento. Un HMD è un dispositivo per un singolo utente che utilizza due piccoli schermi separati, uno per ogni occhio, che con l'aiuto di un sistema di tracking permette la percezione senza soluzione di continuità dell'ambiente circostante.

Il sensore di cui è dotato infatti permette di registrare i movimenti e quindi di far ricalcolare al computer la scena che viene proposta sui visori rispetto alla rotazione della testa.

La distanza tra i visori rende possibile usufruire della visione stereoscopica. Per ottenere una migliore visualizzazione ed incrementare il campo visivo dell'osservatore nei dispositivi viene montato un sistema ottico di lenti davanti agli schermi LCD o CRT che permettono di godere di un campo visivo variabile da 110 a 130 gradi; questo comporta una distorsione dell'immagine che però non viene percepita, in quanto risulta molto più evidente sui margini del campo visivo e quindi non interferisce sull'attenzione dell'utente, solitamente concentrata sulla parte centrale del display.

[5 . 3 7]
Casco per realtà
virtuale HMD
HRV-Pro (Fonte:
iO Display Systems
© 2002)





[5 . 3 8]
Sistemi BOOM
(Fonte: Fakespace
Labs Inc.)

Gli HMD sono tuttavia un tipo di interfaccia che presenta alcuni svantaggi legati al peso e all'ingombro dei dispositivi, alla risoluzione e al campo visivo. Si tratta di fattori determinanti che, per una fruizione ottimale e una corretta sensazione di immersione, sono strettamente legati tra loro: per ottenere prestazioni migliori sono necessari accorgimenti e soluzioni che rendono più complessi ed ingombranti le apparecchiature. In alcuni casi infatti per migliorare le performance di visualizzazione delle immagini al posto degli schermi sono stati introdotti dei veri e propri strumenti di proiezione che in questo caso aumentano le dimensioni dell'oggetto e lo rendono più pesante.

Sebbene questi strumenti, grazie alla miniaturizzazione dei componenti, stiano diventando sempre più piccoli e sofisticati, non permettono interazioni con altri utenti, a meno di un utilizzo di dispositivi multipli nello stesso sistema; questa opzione diventa praticabile solo se il sistema informatizzato è in grado di supportare la rigenerazione contemporanea di più strumenti sincronizzati tra loro.

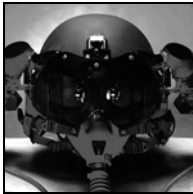
Altri dispositivi per cercare di ovviare al problema del peso sfruttano dei bracci meccanici bilanciati che permettono di compensare il peso, ma allo stesso modo limitano il campo di azione dell'utente. Si tratta del sistema BOOM (Binocular Omni Orientation Monitor) realizzato nel 1990 dalla Fakespace Inc., un apparecchio costituito da un visore montato su un braccio articolato che ne supporta il peso e consente una visione con 6 gradi di libertà. Questa soluzione permette di osservare l'ambiente virtuale ruotando l'apparecchiatura tramite delle maniglie applicate al lato del visore e anche in que-

sto caso la posizione dell'utente e la continuità della visione è garantita da un sistema di tracking che rileva il movimento dei giunti del braccio meccanico utilizzando un sistema ottico. I vantaggi sono legati ad un maggiore confort, alla condivisione con altri utenti sebbene non contemporanea, e ad una maggiore flessibilità d'uso; non essendo infatti "legati" all'apparecchiatura come nel caso del casco, l'utente rapidamente può utilizzare altri strumenti o effettuare altre azioni.

In queste apparecchiature è di fondamentale importanza la velocità con cui la scena viene aggiornata e rigenerata in base al movimento dello sguardo e ciò implica che il sistema di tracking sia molto efficace nel trasmettere la nuova posizione; questo requisito è valido in generale per tutti i sistemi di realtà virtuale ma specialmente in quelli in cui il display è vicino agli occhi. Infatti a causa della particolare immersività del sistema, ci deve essere un'effettiva corrispondenza tra quello che viene visualizzato e quello che il sistema sensoriale umano si aspetta di vedere: se ciò non avviene il sistema, oltre a non essere efficace, può causare problemi di disorientamento e addirittura malessere.

Gli sviluppi dei dispositivi HMD sono orientati verso l'augmented reality, ovvero la possibilità di osservare il mondo reale, un sito particolare, un museo, un monumento, attraverso schermi trasparenti, che permettono la sovrapposizione di informazioni grafiche aggiuntive, quali indicazioni, testi descrittivi o menu interattivi, all'oggetto che si osserva.

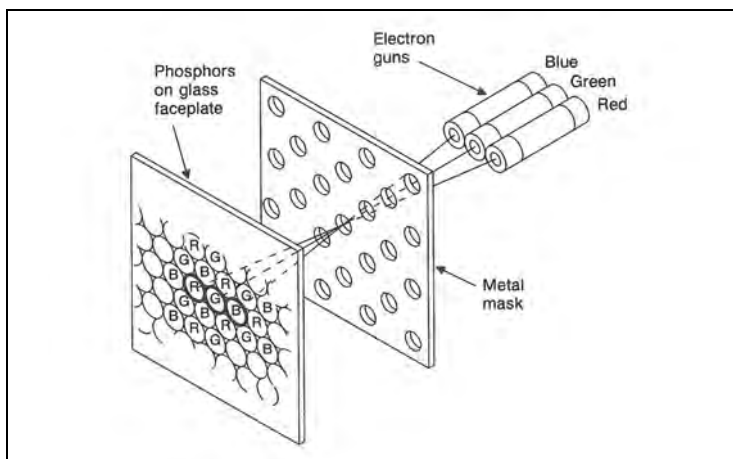
Una possibile evoluzione può essere costituita dai retinal display che utilizzano la luce modulata del laser per proiettare immagini direttamente sulla retina dell'occhio. Questi dispositivi che sono tuttora oggetto di ricerca,²⁸ consentono una migliore qualità di immagine, anche se utilizzano esclusivamente immagini monocromatiche, dovute alle caratteristiche dei laser che al momento producono solamente luce di colore rosso. Uno scanner visualizza le immagini con alta risoluzione, luminosità e contrasto; uno dei problemi riscontrati è l'allineamento tra l'occhio dell'utente e il dispositivo dovuti al limitato campo d'azione del proiettore che deve corrispondere con la pupilla.



[5 . 3 9]

Casco per usi militari dotato di Retinal Display (Fonte Microvision Inc.)

²⁸ Un gruppo di ricerca molto attivo in questo campo opera presso il Human Interface Technology Laboratory dell'Università di Washington <http://www.hitl.washington.edu/>.



[5 . 4 0]

Monitor CRT dove il fascio di elettroni viene generato da “cannoni” posizionati in linea (Fonte: Foley J.D., van Dam A., *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison Wesley)

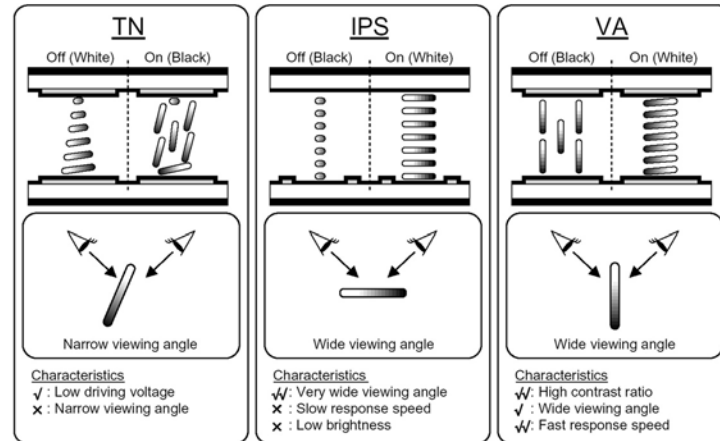
5.8.2 Monitor

Il sistema di visualizzazione più utilizzato è ovviamente il monitor del computer.

I CRT (Cathodic Ray Tube) sono i monitor più comuni e sono costituiti da un tubo catodico, ovvero un tubo di vetro in cui viene creato il vuoto che contiene un catodo, in grado di generare un fascio di elettroni; gli elettroni vengono accelerati e direzionati verso la superficie del monitor tramite particolari accorgimenti, dove colpiscono una parete ricoperta di fosfori che investiti dalla carica elettrica emettono luce.

Questo è il principio base: nel caso dei monitor a colori, i tubi sono tre, uno per ogni colore primario – rosso verde blu, RGB – che, combinati, sono in grado di generare tutte le sfumature possibili. La selezione dei raggi avviene per mezzo di una maschera, interposta tra la i tubi di emissione e la superficie, e allineata in modo che ogni fascio di elettroni possa simultaneamente colpire unicamente il fosforo relativo al colore corrispondente, e blocchi il passaggio ai restanti due colori. Dato che la luce emessa dai fosfori decade nel tempo è necessario che il processo si ripeta, per consentire una corretta visualizzazione dell’immagine sulla superficie del monitor: il numero di volte che l’immagine viene ripetuta in un secondo indica il valore di refresh dello schermo. Il valore minimo per cui l’osservatore percepisce la continuità dell’immagine è di 60 frames al secondo.

[5 . 4 1]
Confronto tra differenti tecnologie per monitor LCD
(Fonte: Koike Y., Okamoto K., 1999)



Nei raster display lo schermo è costituito da tante linee composte dai pixel affiancati, e l'immagine viene generata dal flusso degli elettroni che colpiscono in sequenza i pixel che compongono una linea e così via fino all'ultima; una volta terminato il ciclo da sinistra verso destra per ogni riga il sistema ricomincia dalla prima.

Oltre al valore di refresh di un monitor, noto anche come frequenza verticale, esistono altri valori relativi alle prestazioni dello schermo, la cui definizione sarà utile per comprendere le prestazioni di altre apparecchiature.

La risoluzione dello schermo dipende dal numero di pixel per unità di misura, di solito espressa in pollici o centimetri; la maggior parte dei monitor in commercio sono multisync ovvero hanno la capacità di visualizzare diverse configurazioni con diverse dimensioni in pixel. Se consideriamo ad esempio il comune valore di 1024x768, sappiamo che esso indica le dimensioni in pixel dello schermo, e cioè 1024 pixel in orizzontale e 768 in verticale.

Per ottenere la risoluzione è necessario identificare il numero di pixel per pollice: per ottenere il valore sarà necessario effettuare il rapporto tra numero di pixel e la misura dell'area di visualizzazione del monitor. Un ulteriore valore è dato dalla dimensione del pixel, o meglio al valore di dot pitch che rappresenta la distanza tra due punti adiacenti di fosfori di uno stesso colore: minore è il valore, maggiore è il numero di punti sul monitor e quindi la risoluzione. Un ultimo fattore che

concorre nel determinare la definizione dell'immagine è dato dal numero di linee che compongono lo schermo: maggiore è il numero, maggiore la risoluzione.

Un'alternativa è costituita da alcuni modelli di schermi LCD (Liquid Crystal Display); i vantaggi di questi monitor sono legati alle dimensioni e al peso, dato che sono piatti e piuttosto sottili, e al basso consumo energetico. L'uso di questa tipologia per la realtà virtuale è limitato dalla possibilità di utilizzare la visualizzazione stereoscopica; per il momento infatti questa funzionalità è disponibile esclusivamente con alcuni modelli particolari e con software per cui sono stati sviluppati appositi *driver*.

La maggior parte dei cristalli liquidi sono costituiti da molecole allungate che, normalmente in assenza di forze esterne, si dispongono con l'asse maggiore parallelo a quelle delle molecole a loro prossime. È possibile controllare la direzione del loro allineamento avvalendosi di una griglia con maglie verticali parallele. Utilizzando questo principio, la parte centrale del monitor è costituita da uno strato di cristalli liquidi, e dalle due griglie posizionate una per parte e orientate perpendicolarmente una all'altra. Le molecole prossime ad una superficie influenzate dalla direzione delle fessure, ne mantengono l'orientamento e quelle prossime all'altra superficie hanno direzione ruotata di 90 gradi; pertanto le molecole si disporranno secondo una particolare conformazione ad elica. Un ulteriore strato è costituito da due filtri polarizzatori, uno verticale e l'altro orizzontale: la luce passa attraverso il primo dispositivo, segue l'orientamento delle molecole e attraversa il secondo filtro.

Così facendo quindi, la luce transita per il cristallo liquido, modifica la propria polarizzazione e viene ruotata di 90°.

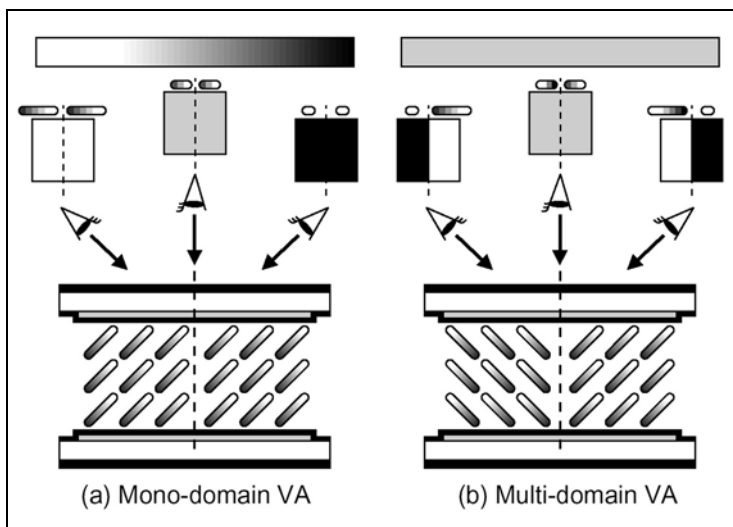
Se i cristalli sono in un campo elettrico si allineano tutti nella stessa direzione e non hanno un effetto polarizzante: infatti la luce viene polarizzata dal primo filtro, transita inalterata per il cristallo liquido e viene bloccata dal secondo in quanto orientata in modo diverso. In presenza di tensione la luce viene bloccata e pertanto l'utente percepisce un punto nero sullo schermo: in questo modo, organizzando le varie celle di cristalli liquidi comandate tramite elettrodi, si potranno gestire la luminosità dei singoli pixel visualizzando testi e immagini. Lo schermo infatti è costituito da una griglia di elettrodi or-

ganizzata in righe e colonne. Per indirizzare i singoli pixel, le righe sono attivate in sequenza, e quindi ogni riga è attiva solo per un breve tempo in ogni periodo di refresh dello schermo. Ne consegue che la risposta di questo tipo di LCD ora mai non disponibile sul mercato e che si definisce a matrice passiva, risulta molto lenta e non è in grado di eseguire veloci cambiamenti nel contenuto d'immagine; si può quindi percepire un effetto di ghosting, a causa della permanenza di pixel accesi che possono interferire con i pixel spenti appartenenti alle stesse righe e colonne.

Migliori tempi di risposta sono stati ottenuti organizzando lo schermo in due parti e effettuando il refresh in modo indipendente per ciascuna di esse. Il livello di luminanza di ciascun pixel è ottenuto variando la tensione applicata al cristallo liquido, infatti la posizione delle molecole del cristallo liquido, e di conseguenza la quantità di luce che transita, è proporzionale alla tensione applicata.

I display a matrice attiva invece sono forniti di un transistor per ogni elemento di ciascun pixel, che consente ai cristalli di cambiare stato più rapidamente e di poter controllare il loro stato di attività. Ciò permette ad una cella di rimanere attiva tutto il tempo necessario e con un livello di brillantezza superiore di quanto si possa ottenere con un refresh periodico delle celle. Infatti il singolo pixel è comandato direttamente ed indipendentemente dall'attività elettrica associata alla riga a cui appartiene.

Uno dei principali problemi riscontrabile nei monitor LCD è il campo visivo limitato, sostanzialmente legato all'orientamento delle molecole di cristalli liquidi e alla polarizzazione degli schermi. Per ovviare a questo inconveniente sono state create delle evoluzioni dei sistemi sopra descritti definiti TN - twisted nematic - a causa della rotazione provocata al fascio di luce dall'orientamento dei cristalli liquidi. In un ulteriore sviluppo definito IPS - in-plane switching - le molecole non sono più orientate secondo la forma elicoidale come nel sistema TN, ma sono parallele al piano del monitor. Esiste un'ultima modalità chiamata VA - vertical aligned - in cui i cristalli sono orientati verticalmente rispetto alla superficie del monitor. La differenza tra le diverse modalità risiede nella capacità di orientamento dei cristalli che consente una migliore definizione dell'immagine, del contrasto e della "visibilità" dalle diverse angolazioni.



[5 . 4 2]

Modalità di allineamento delle molecole di cristalli liquidi mono-domain e multi-domain in monitor LCD
(Fonte: Koike Y., Okamoto K., 1999)

Il migliore livello ottenuto si riferisce ad un'evoluzione della tecnica VA; in questo caso le molecole in assenza di campo elettrico restano orientate perpendicolarmente al monitor. Al variare della tensione si possono più o meno orientare i cristalli per ottenere una posizione che consenta un maggiore passaggio di luce. Il problema a questo punto è dato dal fatto che i cristalli ruotano tutti nella stessa direzione causando una differente visibilità dei colori e della luminosità a seconda delle posizioni in cui si osserva il monitor. Per evitare questo disturbo le celle sono state divise in aree o domini, in cui le molecole sul lato destro e sinistro della cella hanno la possibilità di ruotare in direzione opposte l'una dall'altra in maniera speculare. In questo modo da qualsiasi punto si osservi lo schermo si avrà lo stesso livello di visualizzazione; la tecnica è definita MVA – Multi-Domain Vertically Aligned.²⁹

La dimensione dei monitor per consentire un campo visivo accettabile per applicazioni di realtà virtuale deve essere di almeno 20", con una frequenza che permetta di utilizzare una visione stereoscopica ovvero doppia di quella normale. La fre-

²⁹ Per maggiori dettagli cfr. Koike Y., Okamoto K., *Super high quality MVA-TFT Liquid Crystal Displays*, Fujitsu Scientific & Technical Journal, Vol.35-2, December 1999, pp. 221-228.

quenza in questo caso è importante perché, come abbiamo visto, per ottenere l'effetto stereoscopico le immagini destra e sinistra vengono mostrate alternativamente sullo schermo. Se il *refresh rate* del monitor, ovvero la sua capacità di rigenerare l'immagine proposta, è sufficientemente alto si potranno distinguere le due immagini sovrapposte: ciò permetterà di ottenere un'immagine stereoscopica priva della sensazione di "sfarfallamento" che in altro modo l'utente - se la frequenza fosse insufficiente - percepirebbe.

Benché possano essere anch'essi dotati di sistemi di tracking, il limite dei dispositivi desktop, è il campo visivo, che non consente un livello accettabile di immersività. Questa configurazione nota anche come *fish tank virtual reality*³⁰ offre alcuni vantaggi rispetto agli HMD, legati alla percezione e al confort operativo. Differenti studi, sebbene alcuni siano ormai datati ma comunque validi, hanno evidenziato un preferenza verso questa modalità legata a diversi fattori: primo fra tutti la possibilità di utilizzare uno strumento di lavoro comunemente diffuso che consenta di condividere il proprio lavoro con altri utenti. In secondo luogo la risoluzione delle immagini, e la profondità di campo apprezzabile con il monitor è migliore di quanto non la si possa ottenere con un casco immersivo a causa delle ottiche presenti nei dispositivi.

L'utilizzo ottimale è per la visualizzazione di modelli in fase di studio, progettazione, o analisi individuale, per poi eventualmente passare a sistemi più complessi. La possibilità di interazione con altri utenti è limitata ad un paio di persone.

5.8.3 Proiettori

Due diverse modalità con differenti caratteristiche consentono l'utilizzo di un sistema di proiettori, la proiezione frontale e la retroproiezione. La retroproiezione ha l'evidente vantaggio di permettere all'osservatore una fruizione anche molto da vicino, visto che i proiettori sono collocati dalla parte opposta dello schermo rispetto agli utenti, e che quindi nulla può interferire tra il proiettore e lo schermo.

³⁰ Ware C., Arthur K., Booth K.S., *Fish Tank Virtual Reality*. Proceedings of INTERCHI'93 Conference on Human Factors in Computing System, Amsterdam, 1993, pp.37-42.



[5 . 4 3]

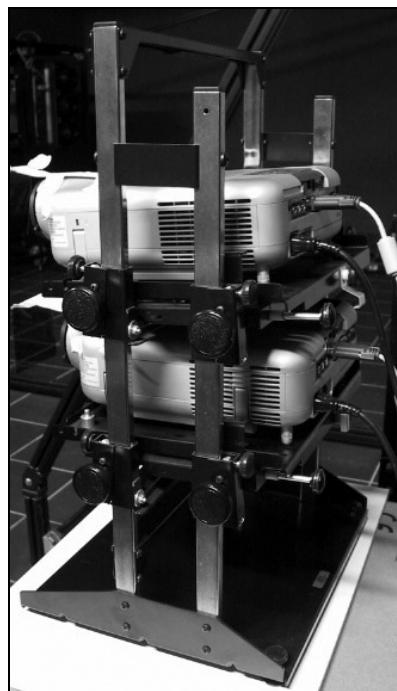
Proiettore CRT
BarcoReality 909 –
Teatro Virtuale
Lab. Virtual Proto-
typing e Reverse
Modeling

Per contro, questa soluzione impone la disponibilità di uno spazio ampio, e che deve essere calcolato in funzione della dimensione della superficie di proiezione: maggiore la superficie, maggiore la distanza del proiettore dallo schermo. In alcuni casi, in cui lo spazio sia ridotto, si possono utilizzare degli specchi inclinati di 45 gradi che consentono di diminuire in modo considerevole lo spazio dietro lo schermo.

Esistono tre diverse configurazioni possibili per la retroproiezione: a configurazione singola, con due o tre apparecchi affiancati per produrre su uno schermo unico un'immagine di grandi dimensioni, o in configurazioni multischermo per ambienti immersivi. Le differenze sono sostanziali e le caratteristiche di ognuno fanno sì che il loro utilizzo sia indirizzato in diversi settori.

Come ormai risulta evidente la stereoscopia è un requisito fondamentale di un sistema di realtà virtuale, e quindi la capacità di ottenere questo effetto in una delle modalità (attiva, passiva) descritte in questo paragrafo costituisce un parametro di scelta; fattori determinanti sono il costo dei proiettori, le loro caratteristiche che definiscono il possibile impiego, e il costo degli occhiali.

Per la stereoscopia attiva i proiettori emettono in modo sequenziale entrambe le immagini destra e sinistra e per evitare che l'utente percepisca questa rapida alternanza devono possedere un tasso di refresh molto elevato, intorno ai 120Hz.



[5 . 4 4]

Proiettori DLP su
supporto per proie-
zione stereoscopica
passiva

In questo caso quindi un solo proiettore è sufficiente. Particolari occhiali consentono all'utente di percepire alternativamente le immagini in sincronia con i proiettori.

Per la stereoscopia passiva si devono utilizzare una coppia di proiettori ognuno dei quali emetterà rispettivamente l'immagine destra e sinistra. Filtri polarizzatori appropriati permettono la separazione dei raggi di luce ottenendo un riscontro univoco per l'immagine destra e sinistra sulle lenti degli occhiali. Per questo particolare tipo di proiezione sarà necessario utilizzare uno schermo costituito da materiale metallico (polvere di alluminio), in quanto un normale schermo di proiezione costituito da materiale inerte (materiali plastici o simili) potrebbe invertire o annullare la direzione della polarizzazione causando la conseguente perdita della separazione d'immagine. Meno diffuso è l'utilizzo di un unico proiettore con caratteristiche che consentano la modalità stereo attiva dotato di Z-Screen.

Ad oggi sono disponibili tre diversi tipi di tecnologie: LCD, CRT, e DLP. Una prima differenza è data dalla luce che viene prodotta in base alla tecnologia utilizzata.

I Proiettori Lcd in generale producono una luce già parzialmente polarizzata e ciò implica che il loro utilizzo per proiezioni stereoscopiche passive necessiti di particolari soluzioni riguardanti filtri e occhiali, adatti alle caratteristiche tecniche del proiettore: questo fattore può variare da modello a modello anche per lo stesso produttore. Inoltre hanno una frequenza di refresh bassa intorno ai 60 Hz che non consente performance ottimali in quanto potrebbero verificarsi problemi di flickering.

I proiettori CRT, nonostante siano il sistema più datato, continuano a mantenere una nicchia di mercato nella visualizzazione virtuale. La loro caratteristica principale infatti è la possibilità di visualizzare immagini con una frequenza intorno ai 120Hz a diverse risoluzioni con una purezza e una qualità di colore che gli altri sistemi non sono in grado di offrire. Questa caratteristica li fa tuttora preferire per quelle attività dove la percezione reale del colore, delle superficie e delle riflessioni sono un requisito indispensabile. Posseggono però molti fattori negativi: sono molto ingombranti e pesanti, difficili da calibrare in quanto necessitano di personale altamente specializzato, e sono poco luminosi; quest'ultima caratteristica per consentire una corretta visione delle immagini ne limita l'uso in locali con poca luce.

I DLP costituiscono la più recente tecnologia. Sono molto luminosi, di dimensioni ridotte, producono una luce non polarizzata e ciò li rende particolarmente indicati per la stereoscopia passiva. L'ottimo compromesso tra qualità del colore e luminosità, consente a questa categoria di proiettori di sostituire in particolari installazioni la tecnologia CRT, anche se ad un più accurato confronto si possono riscontrare alcuni fattori negativi: una carenza nei livelli di colore vicini al nero, la rumorosità e il surriscaldamento elevato degli apparecchi.

5.8.4 Tavoli di proiezione

Si tratta di un'evoluzione del tipico display 2D, e costituisce il primo livello dei cosiddetti sistemi *projection based* che cioè utilizzano un vero e proprio sistema di proiezione.

Questa apparecchiatura ricalca la normale modalità di lavoro del progettista offerta da un tavolo da disegno, o da una lavagna luminosa.

[5 . 4 5]

Immersadesk M1
(Fonte: Fakespace
Systems Inc.)



I primi sistemi realizzati sono il Responsive Workbench progettato da W. Kruger³¹ e l'Immersadesk sviluppato presso l'EVL di Chicago, da cui sono state derivate diverse evoluzioni, che differiscono tra loro per il sistema di proiezione piuttosto che per la meccanica del sistema. Si tratta di una sorta di tavolo in cui è incorporato lo strumento di proiezione; le immagini vengono retroproiettate sul piano di lavoro trasparente, mediante uno specchio collocato al di sotto della superficie. Il sistema può essere pilotato da un unico computer connesso direttamente al proiettore.

L'effetto stereoscopico e un sistema di tracking che permette di mantenere il punto di vista solidale con l'osservatore, consente una rappresentazione più consona agli oggetti 3D. Ciò permette di simulare e visualizzare i dati per ottenere una migliore rappresentazione della forma e dell'aspetto di un modello reale. L'apparecchiatura semi-immersiva può essere costituita da schermi singoli, di solito orientabili verticalmente o orizzontalmente, o più raramente da una coppia di schermi montati a L che permettono di fruire di un'area di proiezione maggiore.

³¹ Krueger W., Froehlich B., *The responsive workbench (virtual work environment)*, IEEE Computer Graphics and Applications, May 1994, pp. 12-15.

Questa soluzione costituisce un livello ulteriore per migliorare la percezione della tridimensionalità e la fruizione dell'interattività con il modello; infatti gli oggetti o gli ambienti proiettati a causa del maggiore spazio a disposizione, occupano un angolo visuale maggiore e consentono un'immersività migliore di un normale sistema desktop. Inoltre consentono un buon livello di collaboratività con altri utenti.

5.8.5 Walls

Questi dispositivi detti anche Cadwalls³² sono costituiti da un sistema di proiettori che mostrano un'immagine su uno schermo di grandi dimensioni. Grazie alle elevate dimensioni dell'area proiettata sono installati in una stanza, una sorta di teatro virtuale: una platea di 20/25 persone con occhiali stereoscopici osserva la scena che permette la rappresentazione in grande scala di dettaglio di modelli molto grandi. Questi dispositivi sono rivolti ad attività di gruppo, quali revisioni collettive di progetti, presentazioni, lezioni.

La maggior parte dei sistemi è costituita da due o tre proiettori che lavorano con alte risoluzioni (1280x1024) retroproiettando porzioni di immagini che si sovrappongono in parte per coprire uno schermo di grande dimensione.



[5 . 4 6]

Lab. Virtual Prototyping and Reverse Modeling. CadWall

³² <http://www.barco.com/>.

[5 . 4 7]

Sistema di proiezione frontale su schermo curvo
(Fonte: Barco)



Ciò significa che ogni proiettore ha il compito di visualizzare solamente una parte dell'immagine, permettendo così di ottenere una rappresentazione ottimale delle superfici, dei materiali e delle riflessioni.

Esistono due tipi differenti di configurazione: nella proiezione frontale i proiettori sono collocati dalla stessa parte rispetto agli osservatori, mentre per la retroproiezione sono localizzati dalla parte opposta dello schermo, il che evita possibili interferenze con gli utenti.

L'insieme di queste caratteristiche fa sì che vengano utilizzati principalmente nei centri stile delle case automobilistiche, in quanto permettono lo studio di modelli in scala 1:1, e costituiscano quindi uno strumento non solo di verifica, ma anche di progettazione attiva.

Si possono differenziare in base alla forma dello schermo di proiezione che può essere piano, come nel caso sopra descritto, oppure curvo in cui il sistema di proiezione è dalla stessa parte del pubblico, e grazie alla particolare forma convessa dello schermo permette una migliore immersività.

5.8.6 Cave

Per meglio sperimentare il livello di immersività e di intera-

zione con il modello possono essere utilizzati una classe di sistemi chiamati CAVE,³³ delle vere e proprie stanze con multiple superfici di proiezione - le pareti sono costituite da 4 o più schermi di proiezione - che mostrano in sincrono un'immagine che circonda l'osservatore. La retroproiezione viene utilizzata onde evitare problemi di interferenza con le immagini. La visualizzazione è consentita da un sistema informatizzato complesso, che deve consentire la gestione dei proiettori (uno per schermo) in sincronia tra loro per offrire una continuità e una corrispondenza tra le immagini proiettate.

Il sistema è stato sviluppato per fornire all'utente una maggiore risoluzione delle immagini, un campo visivo maggiore, e la possibilità di fruire di un ambiente immersivo senza limitazioni fisiche.

Sebbene più persone possano essere presenti all'interno della CAVE ed osservare la scena utilizzando degli occhiali stereoscopici, un solo utente potrà interagire con il modello tramite un sistema di tracking mentre gli altri avranno la possibilità di visualizzare la sua interazione; diffusori acustici consentono di utilizzare il suono per aumentare l'attività percettiva.

Questo sistema, che con gli apparati HMD può essere considerato tra i più immersivi, ha tuttavia maggiori fattori positivi in quanto gli utenti possono vedersi tra loro, non sono costretti nei movimenti, e possono ottenere migliori effetti visivi in quanto hanno la possibilità di visualizzare correttamente gli oggetti con una reale profondità di campo. I sistemi di questo tipo sono maggiormente utilizzati per visualizzare ambienti virtuali, piuttosto che oggetti. Infatti grazie alla loro conformazione, l'osservatore è effettivamente all'interno della scena, e quindi può sperimentare una sensazione di "presenza" non ottenibile con i dispositivi fino ad ora descritti. La ricostruzione di siti archeologici, di antichi manufatti, piuttosto che la riproduzione di interi quartieri, possono essere visitati ed osservati: la possibilità di utilizzare una CAVE per lo studio di ambienti ricostruiti a fini didattici sia per i ricercatori che per gli studenti costituisce uno strumento con enormi potenzialità.

³³ <http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/>.

[5 . 4 8]

CAVE rappresenta-
zione di un sistema
a 6 pareti di proie-
zione che consente
una visualizzazione
completamente
immersiva (Fonte:
Barco)



5.9 Interazione uomo macchina: definizioni e significati

Grazie ai progressi ottenuti nei campi della computer grafica e del visual computing, oggi i sistemi informatizzati sono in grado di ricreare modelli tridimensionali iperrealistici in real time con ottima definizione di luci, materiali, colori e superfici. Sistemi complessi composti da hardware e software consentono di ottenere risultati sorprendenti nel campo della visualizzazione virtuale, anche se dal lato dell'usabilità e dell'interazione uomo macchina esiste tuttora qualche limitazione. L'interazione tra il computer e l'utente può essere considerata una vera e propria disciplina che non comprende solamente lo studio, la progettazione e la valutazione delle modalità con cui una persona si trova a interagire con il computer - e quindi relative agli strumenti - ma deve tener conto anche del software, e cioè le interfacce.

Tuttavia questa disciplina,³⁴ se osservata in maniera più ampia,

³⁴ Riguardo alle interfacce e all'interazione uomo-macchina cfr.: Bush V., *As we may think*, ACM Interactions, vol 3, n. 2, March 1996, pp 35-46; Myers B.A, *A brief history of human-computer interaction technology*, ACM Interactions, vol. 5, n. 2, March/April 1998, pp 44-54.



[5 . 4 9]

Ivan Sutherland alla console del sistema TX-2 - Sketchpad Project, MIT, 1963
(Fonte: SUN Microsystems)

ne coinvolge molte altre: informatica, psicologia, sociologia ed ergonomia, sotto diversi aspetti, concorrono tutte ad ottenere il risultato ottimale di comunicabilità e facilità d'uso. Si tratta quindi di un problema complesso il cui studio va affrontato da due diversi punti di vista, quello umano che è legato alle teorie della comunicazione, alla grafica e alla percezione dei simboli e delle icone, al design degli strumenti, all'approccio psicologico; e quello della macchina che riguarda più strettamente l'informatica e quindi i sistemi operativi, i linguaggi, i codici e gli ambienti di sviluppo.

La storia comincia molto tempo fa: il primo esempio di modalità diretta d'interazione con il computer è addirittura del 1963 quando lo Sketchpad,³⁵ un sistema progettato da Ivan Sutherland per la sua tesi di dottorato, consentiva di muovere elementi sullo schermo di un pc direttamente con una sorta di penna. La maggior parte delle tecniche di interazione riguardanti operazioni su testi e disegni, con modalità di selezione, modifica e loro trattamento, sono state sviluppate negli anni 70' secondo la metafora del WYSIWYG (what you see is what you get) che si riferisce alla possibilità di creare un inter-

³⁵ Sutherland I., *SketchPad: A Man-Machine Graphical Communication System*, AFIPS Spring Joint Computer Conference, 1963, pp. 329-346.



[5 . 5 0]

Sistema di video-
scrittura Star (Fonte: Xerox)

faccia utente grafica che consenta di visualizzare sullo schermo ciò che si può ottenere stampando il documento.

Si può affermare che questa modalità ha semplificato l'uso del computer e ne ha definito le caratteristiche per la diffusione ad un'utenza più estesa. Non è più necessario utilizzare stringhe di testo per attivare comandi e dare istruzioni al computer ma con l'avvento della modalità WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing Device), si instaura un approccio intuitivo con il quale è possibile attivare un programma o eseguire un comando con un semplice click. Il mouse infatti compare sulla scena e costituirà un ulteriore impulso alla "massificazione" dell'uso del computer, grazie alla facilità d'uso e alla velocizzazione delle operazioni. Sviluppato presso lo Stanford Research Laboratory intorno al 1965 viene successivamente integrato in un sistema sviluppato presso lo Xerox Park,³⁶ un centro di ricerca presso Palo Alto in California. Nonostante abbia riscontrato fin da subito ottimi risultati rimarrà per molto tempo ancora esclusivamente oggetto di ricerca, fino a quando nei primi anni 80 verrà commercializzato da Apple Computer, seguita da IBM e dalle altre compagnie.

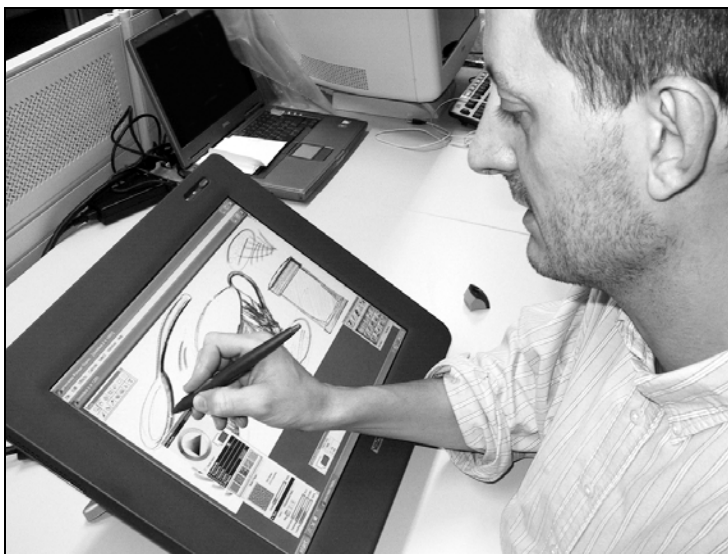
Da quel primo Sketchpad del 1963, momento che può identificarsi come la nascita della computer grafica come disciplina, sono stati condotti studi e sviluppati innumerevoli prototipi che hanno consentito, passo dopo passo, la creazione di strumenti e algoritmi per la visualizzazione e l'interazione in ambienti virtuali.

5.10 Interfacce in realtà virtuale

Gli strumenti che abbiamo elencato consentono diverse modalità e tecniche d'interazione che possono essere divise in tre grosse categorie: la navigazione o il movimento nel mondo virtuale, la selezione e la manipolazione degli oggetti, e le attività di controllo delle applicazioni.

Sono state sviluppate innumerevoli possibilità di navigazione che ricorrono a particolari "metafore" per rappresentare il movimento e consentirne il controllo: specificare una traiettoria da seguire, un punto da raggiungere, indicare la direzione

³⁶ www.parc.com.



[5 . 5 1]

Strumenti di sketching digitale.
Tavoletta grafica Wacom Cintiq con touch screen LCD.

con la mano o i movimenti del corpo o addirittura posizionare dei punti che costituiranno un percorso da seguire. Naturalmente, come peraltro la maggior parte delle attività, anche le tecniche di movimento dovranno essere il più possibile naturali ed intuitive: l'esperienza di movimento in una ricostruzione virtuale deve consentire di esplorare gli spazi in maniera fluida in modo che l'utente non sia distolto dall'attività percettiva. Le funzioni di navigazione sono principalmente utilizzate nella riproduzione di ambienti dove l'utente ha necessità di muoversi ed esplorare la ricostruzione. Queste funzionalità sono presenti in software destinati allo sviluppo di applicazioni territoriali, per i beni culturali o per l'architettura d'interni: Multigen Vega³⁷ ad esempio consente di utilizzare diverse tecniche in base al modello o alle caratteristiche di movimento del mezzo di trasporto che si intende riprodurre: il camminare, la guida di un automezzo, il volo o altro.

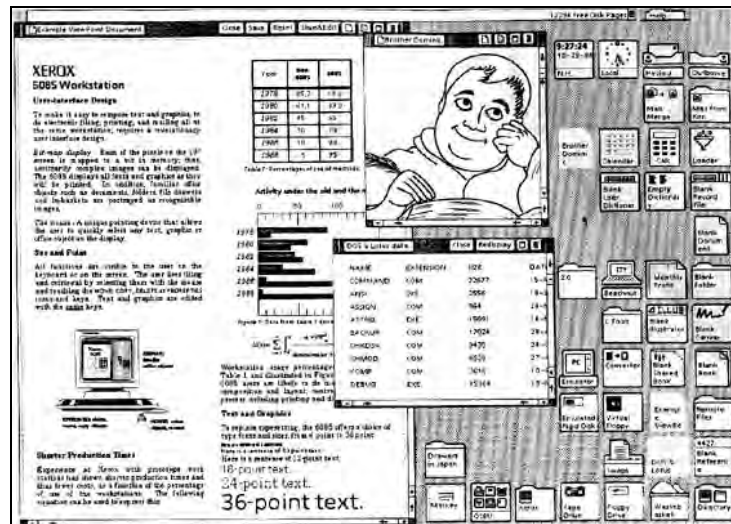
Le tecniche di selezione e manipolazione invece implicano la possibilità di identificare uno o più oggetti che possono essere spostati, ruotati, oppure modificati. Anche in questo caso si

³⁷ Questo software, nato per simulazioni e addestramento in campo militare, tramite plug-in aggiuntivi è in grado di ricreare le caratteristiche ambientali per simulazioni territoriali, e marine. www.multigen.com/products/runtime/vega/index.shtml.

ricorre a particolari metafore quale l'uso di una mano virtuale, piuttosto che un raggio di luce o una bacchetta con cui intersecare e quindi selezionare un elemento. Laddove siano necessari particolari requisiti sarà indispensabile ricorrere alle interfacce di tipo haptic che consentono un maggior dettaglio di precisione e sofisticazione. In alcuni casi la selezione può implicare solamente la necessità di individuare un manufatto per modificarne le caratteristiche. Opticore Opus Studio è un software di visualizzazione real time che viene utilizzato presso il Laboratorio di Virtual Prototyping e Reverse Modeling del Dipartimento Indaco del Politecnico di Milano. In questo caso esistono due ambienti di lavoro che implicano differenti azioni e funzioni: in un primo passaggio si può visualizzare un modello in stereoscopia e tramite un interfaccia tradizionale effettuare selezioni, modificare le luci, gli shaders, il colore, le caratteristiche dei materiali, oppure applicare textures salvando diverse configurazioni; in un secondo momento potranno essere verificate a pieno schermo su Cadwall senza interfacce di comando, ma interagendo direttamente con il modello osservandolo da differenti angolazioni e livelli di dettaglio. Le attività di controllo si riferiscono a tutte le operazioni necessarie all'esecuzione di normali funzioni o comandi che vengono attivate tramite interfacce che come gli strumenti in ambiente virtuale hanno particolari requisiti.

[5.52]

Una delle prime interfacce grafiche che consente di organizzare oggetti sul desktop e la visualizzazione tramite finestre sovrapponibili (Fonte: Xerox)



Le attività di controllo si riferiscono a tutte le operazioni necessarie all'esecuzione di normali funzioni o comandi che vengono attivate tramite interfacce che come gli strumenti in ambiente virtuale hanno particolari requisiti. Le tecniche usuali di presentazione e l'organizzazione tipica delle interfacce grafiche GUI - acronimo di Graphical User Interface - dei sistemi cad e dei modellatori con menù a scomparsa e dialogue box non sono più utilizzabili per applicazioni 3D in realtà virtuale per varie ragioni. Esiste, infatti, un problema relativo alla sensazione d'immersività: il migliore risultato si ottiene quando l'utente si comporta come se l'ambiente fosse davvero reale. A questo scopo l'interfaccia non deve essere visibile, né deve interferire con l'azione, e l'utente deve operare nel modo più naturale possibile per ottenere la sensazione di non avere intermediari per l'interazione e la manipolazione degli oggetti.³⁸ A questo proposito possiamo identificare due tipi di modalità: le tecniche basate su gli strumenti classici d'interazione WIMP e le nuove opportunità introdotte dai sistemi di input 3D.

Inizialmente sono state sviluppate molte applicazioni che cercavano di supplire, tramite artifici e interfacce software, la mancanza di veri e propri strumenti adatti a un approccio tridimensionale. È il caso dei browser VRML dove la navigazione all'interno del modello avviene tramite la modifica del campo visivo utilizzando delle funzioni di movimento - tipicamente avanti e indietro, destra e sinistra, sopra e sotto. L'interazione può avvenire scegliendo dall'interfaccia di comando la modalità di movimento desiderata e successivamente, agendo sullo schermo mediante il mouse o i tasti freccia della tastiera, spostarsi all'interno del modello.

Una modalità che consente di utilizzare la tastiera per "navigare" nel modello viene utilizzata nel software *Il Teatro Virtuale* del National Research Council NRC del Canada;³⁹ si tratta di un sistema di realtà virtuale portatile progettato per la visualizzazione di ambienti ad alta risoluzione, utilizzando un'architettura client-server che consente la distribuzione

³⁸ Skelter T., *Style and function of graphic tools*, Graphics Interface, Kingston, Ontario, Canada, 1999.

³⁹ National Research Council www.cleopatra.nrc.ca.

[5 . 5 3]

Lab. Virtual Prototyping and Reverse Modeling. Sistema di realtà virtuale portatile in stereoscopia passiva. Il software è stato sviluppato dal National Research Council del Canada



delle operazioni di rendering su diversi computer.

Il server si sincronizza con il client utilizzando il protocollo TCP/IP tramite un cavo cross RJ-45; le interazioni con il sistema possono avvenire tramite, mouse e tastiera, un sistema di tracking, o un sensore di tipo haptic, e trasmesse in forma di coordinate rispetto alla scena virtuale al server che le organizza e le rende disponibili ad uno o più client. Il client a sua volta rielabora i dati, li interpreta e li ripropone in modo da visualizzare la porzione della scena virtuale che gli compete. Nella configurazione minima il sistema è composto da due computer laptop, due videoproiettori DLP dotati di filtro polarizzatore circolare, e da uno schermo per proiezione che mantenga la polarizzazione dell'immagine proiettata. La stereoscopia passiva è visibile tramite opportuni occhiali.

Una volta visualizzato il modello, l'utente può spostarsi con diverse modalità di movimento associate ad altrettanti elementi della tastiera. Il tutto comandato in maniera facile ed intuitiva.⁴⁰

⁴⁰ Per una descrizione approfondita del sistema: Paquet E., Viktor H.L., *Distributed virtual environments for visualization and visual data mining*, in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10.

Pensare di trasporre le tecniche di interazione tradizionali in ambienti virtuali immersivi risulta problematico per due motivi:

- interagire con menu in ambienti immersivi quali cadwall o cave dove non esiste possibilità di vicinanza con mouse e tastiera diventa impossibile;
- le tecniche d'interazione tipiche e collaudate efficaci del 2D non sempre lo sono altrettanto in 3D.

Scegliere un comando da un menu bidimensionale in un ambiente 3D non è facile; basti considerare la difficoltà di identificare il punto esatto dove viene visualizzato il menu, ovvero a che livello di profondità è nella scena rispetto agli oggetti presentati, e come attivare la selezione mediante il cursore.

Se da un lato usare la stereoscopia può migliorare l'interazione eliminando ambiguità di scelta e selezione, la presenza di un elemento bidimensionale può interferire con la percezione di immersività e quindi annullare il beneficio della visualizzazione tridimensionale a causa della presenza nella stessa scena di oggetti di natura diversa – 2D e 3D. L'alternativa quindi è utilizzare delle interfacce tridimensionali che siano coerenti con la modalità visive; ma anche in questo caso possono emergere problemi dovuti alla difficoltà di utilizzare un menu “nello spazio” in cui l'utente deve identificare l'attività desiderata cercando di selezionare con precisione il comando mediante il cursore. Solo un utente esperto, abituato ad interagire con modelli tridimensionali, riuscirà grazie alla propria abilità a muoversi con destrezza.

Questo tipo di approccio è legato ad un problema culturale: voler trasporre la possibilità d'interazione cui siamo stati abituati in un nuovo ambiente di lavoro che, come tale, richiede nuove modalità d'interazione. Le attività in un ambiente virtuale impongono che l'utente abbia, in qualsiasi istante, la sensazione di essere parte integrante degli oggetti che compongono l'ambiente stesso: utilizzare un'interfaccia che si distacca da questa filosofia può causare la perdita della sensazione di coinvolgimento ed annullare l'effetto.

Il problema, a questo punto, è come interagire con l'ambiente in maniera naturale e confortevole,⁴¹ vale a dire raggiungere

⁴¹ Roessler A., Grantz V, *Performance Evaluation of Input Devices in Virtual Environ-*

una padronanza tale dello strumento così da utilizzarlo in modo spontaneo, avendo la sensazione di agire direttamente senza alcun intermediario.

In questo contesto è essenziale sviluppare nuove metodologie d'interazione per il controllo di applicazioni in ambienti tri-dimensionali, anche se possiamo affermare che non esiste una unica soluzione applicabile *tout court*, ma si dovranno analizzare le necessità e le funzionalità operative per identificare gli strumenti e le modalità d'interazione più appropriate.

Oltre alla visualizzazione, le maggiori potenzialità dei sistemi di realtà virtuale sono costituite dalla modalità d'interazione con il modello: l'utente può creare, manipolare, esplorare e annotare ciò che viene rappresentato. Le possibilità sono così diverse, tanto quanto la varietà delle applicazioni per cui potranno essere utilizzate. Ciò permetterà non solo lo sviluppo di nuove modalità operative ma anche la libertà di apportare innovazioni in campi d'applicazione non usuali, come vedremo in alcuni esempi applicativi. Proprio a causa di questa caratteristica i futuri utenti non saranno solamente addetti ai lavori con buona conoscenza degli strumenti e delle tecniche, ma studiosi di altre discipline interessati solamente alle potenzialità dello strumento, e a poterlo utilizzare in modo semplice e immediato. Sarà necessario quindi "nascondere" la complessità del sistema e delle interfacce e renderlo più amichevole possibile. In questo caso essendo la ricostruzione d'ambienti l'oggetto della simulazione, i modi d'interazione - e quindi strumenti e interfacce - devono necessariamente ricalcare le attività a cui gli utenti sono abituati nel mondo reale, e che si diversificano da quelle necessarie per osservare un modello di un'automobile da diversi punti di vista, piuttosto che la ricostruzione 3D della struttura molecolare di un particolare agente chimico. Pensare di utilizzare le modalità standard in questi contesti non è possibile, e infatti molteplici riscontri confermano questa affermazione.

5.11 Campi d'applicazione e case studies

La visualizzazione immersiva non si rivolge esclusivamente

ments, in AA. VV., *Designing Effective and Usable Multimedia Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston 1998.

alle canoniche aree di ricerca legate all'informatica, ma permette lo sviluppo di nuovi e svariati campi applicativi. La crescita di applicazioni virtuali legate al campo dell'archeologia, dei beni culturali e ambientali, e dell'edutainment ha fatto sì che il problema dell'interazione e della fruibilità dei sistemi da parte di un pubblico più ampio accentrasse molti sforzi per trovare soluzioni applicabili con successo. In alcuni casi si può affermare che queste rappresentazioni, spesso in contraddizione con lo spirito che le ha create, sono di bassa qualità. Ciò è dovuto in parte a limitazioni legate all'hardware, ma soprattutto alla mancanza di algoritmi appropriati per la gestione di animazioni necessarie a rendere maggiormente verosimili le interazioni; un problema maggiormente riscontrabile laddove sia necessario inserire personaggi o componenti che agiscano in modo indipendente rispetto all'utente, piuttosto che in particolari simulazioni complesse che - per evitare problemi di lentezza nella rigenerazione di texture, materiali e luci - vengono semplificate a discapito della realistica.⁴²

5.11.1 Industria

Com'è stato più volte evidenziato, il virtuale è un'area di ricerca emergente, con un elevato potenziale dal lato applicativo. D'altro canto però non esistono strumenti che permettano un veloce sviluppo di applicazioni; l'abilità di progettare prodotti VR troppo spesso richiede conoscenze specifiche dell'argomento e delle tecniche di programmazione. Ovviamente questo know-how altamente specializzato non è disponibile direttamente nelle industrie e quindi spesso è impossibile per molte compagnie utilizzare tali tecnologie senza ricorrere a personale esterno.

Nel campo industriale si potrebbero trarre molti vantaggi da questa tecnologia, anche a causa di fattori contingenti. Le grandi compagnie grazie alla disponibilità di fondi hanno la possibilità di affrontare degli sforzi economici che altri soggetti non potrebbero sostenere.

Dall'altro lato gli investitori sono interessati ad ottenere solu-



[5 . 5 4]

Molti centri stile utilizzano la realtà virtuale per verificare i modelli delle automobili in scala 1:1 prima di procedere alla realizzazione del modello fisico definitivo. (Fonte: Opticore)

⁴² Il presente articolo disponibile on line (www.uic.edu/~sosnoski/VH/McAllister.htm) riporta delle annotazioni critiche relative all'applicazione Virtual Harlem descritta nel paragrafo 5.11.2.

zioni in tempo breve e con la speranza di recuperare profitti. In questo caso, i possibili benefici sono evidenti ma l'attuale livello non è sufficiente a garantire benefici diretti, in quanto lo sviluppo raggiunto non è abbastanza maturo per fornire una gamma di strumenti e applicazioni specifiche cui attingere. La soluzione possibile è un continuo supporto alla ricerca, intravedendo la possibilità di realizzare sviluppi concreti che producano strumenti adattabili alle necessità del settore: d'altronde questa strategia non è nuova nel campo industriale ed è già stata utilizzata anche in altri casi.

Una realtà in cui vengono applicate queste tecnologie è l'industria automobilistica. Molti centri stile infatti hanno deciso di utilizzare il virtuale nei loro processi produttivi. Questo nasce dall'esigenza di poter migliorare e velocizzare le attività che i progettisti hanno svolto in modo tradizionale. Basti pensare alle diverse fasi progettuali dagli schizzi, ai primi disegni di progetto, ai modellini in scala, fino al prototipo definitivo. Se, come abbiamo visto in precedenza, il modello virtuale può riassumere in sé tutte le caratteristiche sopra descritte, risulta chiaro come le tecnologie e i dispositivi di visualizzazione costituiscano un potente strumento operativo.

In effetti la possibilità di vedere su un grande schermo il modello di un'automobile con rendering iperrealistico dei materiali, dei colori, e delle riflessioni della luce, costituisce uno strumento operativo che permetterà, in seguito a verifiche e modifiche continue, di ottenere il prodotto definitivo.

Tutto ciò senza dover cambiare continuamente il mezzo di

[5 . 5 5]

Oltre alla possibilità di visualizzare differenti colori e modificare il modelli in alcune parti si possono inserire animazioni personalizzate (Fonte: Eon Reality Inc.)



rappresentazione, come in passato: dalla carta per lo schizzo e il disegno tecnico, al computer per il disegno cad, fino al modello di plastilina per verificare la forma, e talvolta dover compiere alcune fasi del processo a ritroso nel caso di modifiche. A lungo termine un risparmio di tempo e denaro utilizzando un unico strumento.

5.11.2 Edutainment

*Computational Humanities*⁴³ come sono state definite sono il campo di applicazione delle tecnologie informatiche, specialmente quelle riguardanti la realtà virtuale, per ricostruire ambientazioni storiche che permettono delle rivisitazioni di particolari eventi. La potenzialità di queste ricostruzioni risiede nella possibilità di sperimentare, a livello divulgativo e di ricerca, particolari scenari che non sarebbero in altro modo accessibili. Ogni ambiente infatti può essere ricostituito nei minimi particolari replicando materiali, ed effetti ed essere visitato e offrire un notevole supporto alle attività didattiche e culturali. Queste simulazioni iperealistiche permettono di comprendere meglio l'oggetto di studio e quindi integrare il materiale tradizionale a disposizione.

È il caso di Virtual Harlem⁴⁴ un'applicazione sviluppata presso l'Evl di Chicago in collaborazione con l'Università del Missouri che permette di rivisitare l'atmosfera e i luoghi della cultura afro americana degli anni '20 e '30. Lo scopo del progetto è fornire uno strumento interattivo che simuli una sorta di viaggio nel passato, che consenta una percezione visiva e non solo teorica dell'epoca.

In questo caso è stato necessario sviluppare un'interfaccia su un palmare PDA che ha permesso, durante la visita in un ambiente di tipo CAVE, di utilizzare una mappa della ricostruzione per localizzare la propria posizione e muoversi lungo il percorso. L'utente ha la possibilità di lasciare delle annotazioni in particolari luoghi o riferite a particolari eventi che saranno visibili ad altri e costituiranno un ulteriore aiuto per la navigazione.

⁴³ Cruz-Neira C., *Computational Humanities: The New Challenge for VR*, IEEE Computer Graphics and Applications, May/June 2003.

⁴⁴ B. Carter, *Virtual Harlem*, Siggraph'99 Conference Abstracts and Applications, 1999, p. 103. Si veda anche <http://www.evl.uic.edu/cavern/harlem/>.

[5 . 5 6]

Ricostruzione virtuale della Basilica di S. Pietro
(Fonte. Infobyte)



L'esperienza, arricchita con l'ausilio di foto di personaggi, filmati, suoni e registrazioni, consente di interpretare lo spirito di un'epoca evocando reazioni emotive.

Il risultato potrebbe essere migliore se, oltre agli ambienti, si potessero ricostruire le persone, che agendo in modo autonomo rispetto al visitatore, conferirebbero un effetto maggiormente realistico alla scena.

Esperimenti analoghi, che confermano quindi l'applicabilità di queste tecniche, sono stati effettuati presso il Virtual Reality Application Center - VRAC - dell'Iowa State University,⁴⁵ per la ricostruzione di un Tempio Indu dove è possibile assistere ad un rituale religioso. Per quanto non si siano riscontrati particolari problemi per la ricostruzione del tempio, e degli effetti creati da condizioni ambientali quali l'illuminazione a differenti ore del giorno, le ombre, e i suoni di un vero tempio indiano, le tecniche attuali non consentono la ricostruzione ottimale dei personaggi. Ciò è dovuto a due problemi fondamentali, il primo legato alla possibilità di rendere in tempo reale l'effetto fotorealistico e il secondo legato al comportamento. Infatti per ottenere un personaggio

⁴⁵ <http://www.vrac.iastate.edu/>.

che riesce ad interagire con gli altri e con l'utente reale è necessario sviluppare algoritmi appropriati che non sono ancora stati implementati. A conferma della validità delle teorie per l'introduzione di nuove interfacce con approccio maggiormente intuitivo, anche in questo gruppo di ricerca sono state indagate nuove soluzioni e, in particolare, ottimi risultati sono stati ottenuti con un applicativo Java che permette di interagire con ricostruzioni in ambienti virtuali utilizzando un tablet computer wireless con schermo touch screen. Lo schermo, di dimensioni di circa 13", leggibile anche utilizzando gli occhiali stereo, ha una buona maneggevolezza ed è un oggetto che ogni utente può utilizzare in modo a lui familiare.⁴⁶ L'utilizzo di palmari per l'interazione è solamente uno degli innumerevoli approcci possibili; d'altronde, solo nell'ultimo decennio, ci sono stati sviluppi significativi nella ricerca che riguardano tutte le componenti che concorrono a realizzare un sistema ottimale sia dal lato della performance sia dell'usabilità, sebbene i primi passi nel mondo della realtà virtuale, come abbiamo visto, risalgano agli inizi degli anni '60.

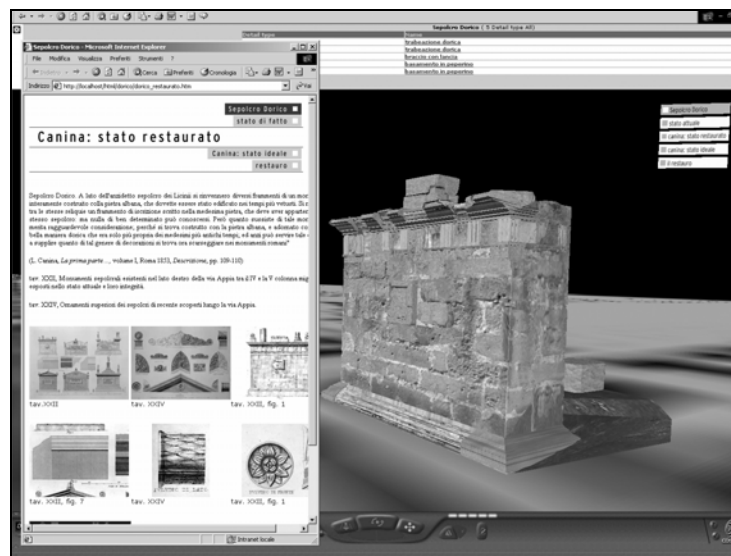


[5 . 5 7]
Interazione con
modelli 3D su Ca-
dwall utilizzando un
palmare con con-
nessione s in rete
wireless
(Fonte: Cineca)

⁴⁶ Hill II, L., & Cruz-Neira, C. *Palmtop Interaction Methods for Immersive Projection Technology Systems*, Fourth International Immersive Projection Technology Workshop, IPT'2000, Iowa State University, Ames, Iowa, 2000, pp. 1-5.

[5 . 5 8]

I sepolcri della Via Appia. Schedatura dei manufatti e possibilità di visualizzazione dei modelli in formato VRML



5.11.3 Beni culturali

Le applicazioni riguardanti i beni culturali possono sfruttare a pieno le potenzialità della realtà virtuale. Utilizzando formati standard quali il linguaggio VRML, che possono essere convertiti nei principali software dei realtà virtuale, le ricostruzioni di antichi manufatti possono essere esplorate a scopo scientifico o didattico. Il restauro di otto sepolcri di epoca romana sulla Via Appia ha dato origine ad un'applicazione multimediale che raccoglie tutti i dati relativi al rilievo e a tutte le fasi del processo di restauro. Oltre alla possibilità di consultare i dati si possono visualizzare dei modelli tridimensionali digitali; le potenzialità di questi modelli per rappresentare oggetti architettonici è insita nella caratteristica conoscitiva dei modelli oltre che di ricostruzione. La corretta georeferenziazione dei manufatti consente di navigare nella ricostruzione virtuale, rendendo possibile studiare riaggregazioni e giustapposizioni dei differenti elementi architettonici per favorire l'operatività basata sulla ricostruzione del manufatto originale, partendo da frammenti sparsi. Questa realizzazione⁴⁷

⁴⁷ È il prodotto di una collaborazione tra la Facoltà di Architettura di Ferrara e la Sovrintendenza Archeologica di Roma disponibile per la consultazione sul sito www.archeorm.arti.beniculturali.it/sar2000/appia/index.htm.

costituisce un punto di partenza nell'ambito dell'uso di internet e della realtà virtuale quali strumenti di studio i cui sviluppi riguarderanno una serie di applicazioni nell'area dei beni architettonici e culturali in generale. Infatti, proseguendo su questa linea di ricerca, presso il CINECA di Bologna è stata sviluppata un'applicazione⁴⁸ che consente di interagire in un teatro virtuale utilizzando terminali portatili connessi in rete per visualizzare dati multimediali e gestire l'interazione con modelli 3D della ricostruzione delle Tombe della via Appia Antica. L'utente in questo caso può usufruire di una visione maggiormente realistica dei monumenti, e l'uso di terminali portatili consente una maggiore interazione nell'ambiente virtuale, preservando la possibilità di utilizzare i dati e le elaborazioni effettuati nella precedente realizzazione. Grazie ad una connessione wireless è possibile accedere direttamente al sito Internet con tutti i dati raccolti per il progetto di restauro dei manufatti e consultare tutte le fasi del progetto dai rilievi preliminari, al prodotto finale. In questi casi l'utilizzo di un palmare consente un buon livello d'interazione e di immersività nel sistema grazie alle sue caratteristiche di maneggevolezza, e leggibilità anche in visualizzazione stereoscopica. Inoltre è stata progettata una modalità che consente una collaborazione in rete tra gli utenti che si possono scambiare e condividere dati durante le diverse fasi della "navigazione" virtuale.

5.11.4 Ambiente e territorio

Un ulteriore campo di applicazione è legato alla rappresentazione e alla gestione delle problematiche legate al territorio. In questo caso infatti la rappresentazione tridimensionale può essere un valido supporto per pianificatori, progettisti; uno strumento col quale lavorare agilmente integrando basi di dati descrittive fino a ottenere rappresentazioni tematiche e riproduzioni tridimensionali, con immagini o filmati direttamente connessi alla geometria del territorio.

⁴⁸ Per maggiori dettagli si può consultare direttamente il sito del CINECA all'indirizzo <http://www.cineca.it/HPSystems/Vis.I.T/Researches/pda.html> oppure consultare i seguenti paper: Benini L., Bonfigli M.E., Calori L., Farella E., Riccò B., *Palmtop Computers for managing interaction with immersive virtual heritage*, in Proceedings of Euromedia 2002, pp. 183-189; Bonfigli M.E., Brunelli D., Farella E., *Untheded Interaction for Immersive Virtual Environments through handheld devices*, in Proceedings of Eurographics Italian Chapter Annual Conference, Milano, July 2002.

[5 . 5 9]

Simulazione urbana
in real-time: inseri-
mento di un nuovo
progetto in un tes-
suto urbano esisten-
te (Fonte: Antycip)



Innegabile, a questo proposito, l'efficacia dei sistemi di realtà virtuale: l'uso dei modelli 3D, partendo direttamente da dati GIS, offre il modo di verificare in tempo reale, attraverso situazioni immersive, tutte le scelte progettuali o gli interventi di pianificazione ipotizzati.⁴⁹

I sistemi informativi dunque, oltre alla rappresentazione classica di una città o di una zona particolare, permettono anche di simulare la loro evoluzione in senso spazio-temporale, illustrando cioè le modalità con cui queste si sono modificate nel tempo. La lettura e l'analisi delle trasformazioni o aggiustamenti subiti, nel corso di successive soglie storiche, da un'area urbana o da un manufatto edilizio, è oggi una pratica comune nello studio o nel rilievo: la capacità di rappresentare le informazioni su diversi livelli, e di utilizzarle sovrapponendole o comparandole in modo incrociato, consente di utilizzare il sistema informativo come un potente strumento di analisi.

Se si aggiungono inoltre le possibilità offerte dall'uso della

⁴⁹ Per maggiori indicazioni sull'utilizzo dei sistemi di realtà virtuale in applicazioni territoriali si veda: Batty M., Dodge M., Doyle S., Smith A., *Visualising Virtual Urban Environments*, in CASA Working Paper 1, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, London, 1998; Bourdakos, V., *Virtual Reality: a communications tool for urban planning*, in Asanowicz A., and Jakimowitz A., Proceedings of CAAD: Towards New Design Conventions, Technical University of Bialystok, 1997, pp. 45-59; Haklay M., *Virtual Reality and Geographical Information Systems: Analysis and trends*, in Fisher, P., Unwin, D., *Virtual Reality and Geography*, Taylor and Francis, London, 2001, pp. 47-57.

terza dimensione, la lettura diventa immediatamente facile e comprensibile. Diversi tipi di applicazioni sfruttano la visualizzazione con modelli virtuali e animazioni 3D, soprattutto quando è difficile riprodurre situazioni particolarmente complesse. Questo è ancora più evidente nel caso di rappresentazioni territoriali, dove il livello di dettaglio che garantiscono le simulazioni GIS 3D aggiunge ai progetti un pregio insostituibile. L'efficacia di uno strumento che, oltre che oltre a rappresentare un ambiente, consente di muoversi liberamente al suo interno e osservarne i particolari partendo da punti di vista diversi, è indiscussa ad esempio per pianificatori e architetti del paesaggio che possono verificare il divenire di un certo fenomeno, o piuttosto valutare in che misura un intervento urbanistico impatti sull'ambiente circostante. Indispensabile quindi, quando è necessario un livello di dettaglio e una perfetta aderenza alla realtà, ma non solo: il modello iperrealistico permette anche di andare oltre e arrivare alla costruzione di ambienti virtuali, ambienti cioè che non esistono in realtà.

I prodotti distribuiti dalla Multigen Paradigm, costituiscono un esempio di strumenti per la creazione di ambienti tridimensionali mediante tools di sviluppo, per la costruzione di oggetti, con librerie di database che contengono modelli, immagini, e strumenti per effettuare il walking through. Questi applicativi consentono la simulazione dell'ambiente urbano partendo da base dati bidimensionali; si arriva alla costruzione di superfici 3D su cui si possono "applicare" le foto aeree o da satellite ad alta definizione. Una volta realizzato il modello si potranno utilizzare tavoli da proiezione⁵⁰ o sistemi wall dove "navigare" in stereoscopia utilizzando un puntatore monitorato da un sistema tracking.



[5 . 6 0]

Valutazioni di impatto di una nuova costruzione: la percezione visiva da una strada nei pressi del possibile intervento (Fonte: *The Environmental Simulation Center, Ltd*)

⁵⁰ Coors V., Jung V., Jasnoch U., *Using the Virtual Table as an Interaction Platform for Collaborative Urban Planning*, in *Computers & Graphics*, Elsevier Science Ltd., U.K Vol. 23 No.4, 1999.