



Università degli Studi di Salerno  
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

---

Dottorato di Ricerca in Informatica  
IX ciclo Nuova Serie

**Applicazioni di Interfacce aptiche e Realtà  
Aumentata in ambiti di manutenzione industriale,  
formazione, medicina e beni culturali**

Antonio Rosario Di Martino  
Novembre 2010

Coordinatore:  
**Prof.ssa Margherita Napoli**

Supervisore:  
**Prof. Andrea F. Abate**

***A mio padre***

## Abstract

La Realtà Virtuale farà ancora molti passi avanti nell'abbattimento dei tempi di calcolo e nel perfezionamento del fotorealismo (con l'introduzione di hardware dedicati, con software di modellazione sempre più sofisticati e quantaltro) per costruire animazioni in *real time* sempre più simili alle scene reali.

L'uomo possiede cinque sensi, egli non percepisce informazioni solo attraverso la vista bensì anche dagli altri quattro sensi.

Ad oggi siamo ancora lontanissimi dalla possibilità di simulare il senso del gusto e dell'olfatto, tuttavia la simulazione del tatto è diventato negli ultimi anni una avvincente sfida per la comunità scientifica ed industriale, mossi anche dal fatto che, il senso del tatto è proprio uno dei sensi più ricettivi per l'uomo.

Parlando di sistemi immersivi aptici si concretizza dunque la nuova sfida della ricerca scientifica, in sinergia con l'industria. La sfida sarà di "immergere" l'utente, attraverso la riproduzione del senso del tatto e della visione stereoscopica, in un mondo completamente digitalizzato in cui possa muoversi con naturalezza e ricevere gli stimoli giusti che si aspetterebbe dal mondo in cui vive. Vedremo che l'utilizzo di interfacce aptiche (HI *Haptic Interface*) unito a software di grafica 3D permette all'utente di esplorare un mondo virtuale ricostruito molto simile a quello reale, con percezioni visive, audio e tattili. Inoltre trattiamo la Realtà Aumentata (AR *Augmented Reality*) estensione della Realtà Virtuale, sovrapponendo, alla realtà circostante percepita dall'utente, una realtà virtuale generata dal computer in *real time*, in particolare, utilizzando anche interfacce naturali basate sui gesti (*Gesture Recognition*).

## Ringraziamenti

Desidero ringraziare in primis, il mio Tutor, Prof. Andrea Abate e il Prof. Michele Nappi per i preziosi consigli e per l'aiuto che mi hanno saputo dare durante il mio percorso di studi e di ricerca, inoltre voglio esplicitamente ringraziare il Dottor Stefano Ricciardi con cui ho condiviso giorno per giorno il lavoro di ricerca e il lavoro di laboratorio, il Dottor Daniel Riccio con cui ho abbiamo avuto in comune la gestione del laboratorio, la Prof.ssa Genny Tortora che si è sempre interessata al mio lavoro e sovrintende tutte le attività del VRLab, tutte le persone che mi hanno aiutato in generale, e in particolare i coautori degli articoli relativi ai risultati presentati in questa tesi. Volevo inoltre ringraziare la Prof.ssa Margherita Napoli che ha coordinato sapientemente tutte le attività di Dottorato e mi ha sostenuto per le Conferenze e per le Scuole che ho seguito durante il mio ciclo di studi.

Non per ultimi sicuramente, voglio ringraziare le mie bambine Nicole e Fabiana, mia moglie Diana e tutta la mia famiglia perché ho sottratto loro del tempo per raggiungere questo prestigioso traguardo.

Abstract	3
Ringraziamenti	4
Indice dei Contenuti	5
Introduzione	7
<b>Capitolo 1 Le tecnologie utilizzate</b>	<b>10</b>
1.1 La Realtà Virtuale (V.R.)	12
1.1.1 La Realtà Virtuale immersiva	13
1.2 Modalità e dispositivi per l'interazione	14
1.3 Gradi di immersione in un ambiente virtuale	17
1.4 La Realtà Mista (M.R.)	19
1.5 La Realtà Aumentata (A.R.)	20
1.5.1 Principali funzionalità delle applicazioni di A.R.	22
1.5.2 Dispositivi di visualizzazione per la A.R.	23
1.5.3 Sistemi di Tracking in A. R.	26
1.6 La Stereoscopia	28
1.6.1 Cenni Storici	29
1.6.2 Visione Stereoscopica dell'essere umano	30
1.6.3 Tecniche di visualizzazione Stereoscopica	31
1.6.4 Dispositivi per la Stereoscopia	34
<b>Capitolo 2 Interfacce Aptiche</b>	<b>37</b>
2.1 Introduzione	38
2.2 Interfacce Aptiche (H.I.)	38
2.3 Forze di ritorno di un'Interfaccia Aptica	41
2.4 Descrizione meccanica di un'Interfaccia Aptica	44
2.5 Parametri di un'Interfaccia Aptica	45
2.6 Funzionamento di un'Interfaccia Aptica	46
2.7 Classificazione delle Interfacce Aptiche	47
2.8 Rendering Aptico	48
2.8.1 Interazione Aptica	53
2.9 Librerie Aptiche	53
2.9.1 Problematiche delle Librerie Aptiche	54
2.10 Esempi di Interfacce Aptiche	56
2.10.1 Dispositivi tattili	63
2.11 Applicazioni principali delle Interfacce Aptiche	64
<b>Capitolo 3 Sistema Immersivo Aptico del VRLab (DMI UNISA)</b>	<b>67</b>
3.1 Introduzione	68
3.2 Componenti principali Hardware/Software del sistema	68
3.3 Dispositivi Periferici	71
3.4 CyberGrasp	73
3.5 CyberGlove	75
3.6 Tool Kit di sviluppo VirtualHand SDK	79
3.7 Conclusioni	81

<b>Capitolo 4 Ambiti applicativi della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata, (fruizione beni culturali, medicina e manutenzione industriale)</b>	<b>82</b>
4.1 Realtà Virtuale nella fruizione di Beni Culturali	83
4.1.1 Approccio Utilizzato	84
4.1.2 Fruizione basata su grafi	86
4.1.3 Tecnologie Hardware	87
4.1.4 Tecnologie Software	89
4.1.5 Conclusioni e sviluppi futuri	90
4.2 Realtà Aumentata e interfacce Gesture-based in Ambito Medico	91
4.2.1 Le interfacce Gesture based	92
4.2.2 Capture dei movimenti/posizioni delle mani dell'utente	95
4.2.3 Motore di <i>Gesture Recognition</i>	96
4.2.4 Motore per L'interazione	97
4.2.5 Motore di visualizzazione	99
4.2.5 Conclusioni e sviluppi futuri	100
4.3 Realtà Aumentata in ambito Manutenzione Industriale	101
4.3.1 Assistente Virtuale	101
4.3.2 Paradigma Operativo	103
4.3.3 Motore di Visualizzazione	104
4.3.4 Conclusioni e Lavori Futuri	106

<b>Capitolo 5 Applicazione delle Interfacce Aptiche in ambito medico e in ambito industriale</b>	<b>107</b>
5.1 Introduzione Progetto PARTO	109
5.1.1 Presupposti dello Studio	109
5.1.2 Paradigma di Interazione	112
5.1.3 Architettura del Framework PARTO	116
5.1.4 Specifiche del Modello 3D del distretto di interesse	119
5.1.5 Specifiche Software	121
5.1.6 Specifiche Hardware	123
5.1.7 Evoluzione del Framework	124
5.2 Manutenzione di parti di aereo virtuali assistita da interfaccia aptica	127
5.2.1 Tecnologie utilizzate	128
5.2.2 Modalità operative del Sistema Cyberforce	131
5.2.3 Il senso del tatto nella manutenzione virtuale	134
5.2.4 Considerazioni sull'applicazione	135
5.2.5 Conclusioni e sviluppi futuri	137
Glossario degli Acronimi	139
Bibliografia e Sitografia	141

## Introduzione

Il lavoro della mia tesi di dottorato si inserisce in contesti tecnologici avanzati, che abbracciano diverse tecnologie: la Realtà Virtuale (*Virtual Reality*), la Realtà Aumentata (*Augmented Reality*), la Visione Stereoscopica (*Stereoscopic Visualization*) e in particolar modo l'Interazione Aptica con lo studio delle interfacce aptiche (*Haptic Interface*) e si affaccia su diversi ambiti lavorativi quali: addestramento medico, addestramento e manutenzione industriale, fruizione dei beni culturali.

Dopo una descrizione iniziale delle varie tecnologie coinvolte e delle strumentazioni utilizzate, che sono argomento dei primi tre capitoli di questo lavoro, nel quarto capitolo sono presentate applicazioni di Realtà Virtuale, in modalità di visualizzazione stereoscopica, in primis in ambito beni culturali, poi in ambito medico, ma questa volta coinvolgendo una tecnologia, che possiamo dire, discende dalla Realtà Virtuale, la Realtà Aumentata (*Augmented Reality*); infatti presentiamo un'attività di ricerca, in campo medico, per la visualizzazione in *real-time* di informazioni e soprattutto per la manipolazione di distretti anatomici ricostruiti in 3D. Infine sempre nel quarto capitolo viene presentata un prototipo di applicazione di Realtà Aumentata sulla manutenzione di impianti tecnologici di sicurezza mediante ausilio di assistente virtuale, per applicazioni critiche quali i sistemi radar per aerei o per la navigazione; Questo prototipo è stato realizzato in collaborazione con Selex Sistemi, azienda leader, in Italia e nel mondo nella costruzione di sistemi radar. Il quarto capitolo di questo lavoro, possiamo affermare che è caratterizzato dal raggiungimento del **secondo grado di immersione** della VR, laddove l'utente ha la possibilità di navigare all'interno dell'ambiente, vale a dire poter muovere le mani, la

testa, attraverso i quali percepire le informazioni che contraddistinguono l'ambiente virtuale.

Nell'ultimo capitolo di questo lavoro ci preme di raggiungere il terzo grado di immersione ed interazione della VR, laddove l'utente non è più un elemento **passivo** della simulazione, ma sull'utente vengono riprodotti gli stimoli tattili e le forze del mondo reale. Utilizzando, in sinergia alla Realtà Virtuale, sempre in modalità di visualizzazione stereoscopica, la tecnologia delle Interfacce Aptiche (*Haptic Interface*), che consentono all'utente, di esplorare un mondo virtuale ricostruito, molto simile a quello reale, con percezioni visive, audio e finanche tattili.

È Tipico delle ricostruzioni di ambienti virtuali la riproduzione di interattività, coinvolgendo diversi sensi dell'operatore umano, in modo da trasmettergli la sensazione di essere immerso, dal punto di vista sensoriale, nella realtà ricostruita.

Questi argomenti, insieme a quelli del Capitolo 4, divengono il nucleo centrale di questa tesi, proprio seguendo questi presupposti sono presentati studi in ambito industriale, un'applicazione per la Manutenzione di Avionica, mediante la Realtà Virtuale Assistita da Interfaccia Aptica, laddove viene presentata una sperimentazione condotta in collaborazione tra l'Università degli Studi di Salerno ed il **Centro Italiano di Ricerche Aerospaziali CIRA**, che riguarda forme innovative e naturali di interazione Uomo-Macchina, nell'ambito della manutenzione di componenti di avionica e nell'addestramento di personale specializzato. Rimanendo nel campo dell'addestramento, ma spostandoci nell'ambito della medicina, precisamente nel settore dell'ostetricia, presentiamo uno studio fatto in collaborazione con il **Policlinico Universitario di Napoli Federico II**, per l'addestramento degli ostetrici e dei ginecologici all'assistenza al parto naturale. Nel nostro studio viene proposto un *framework* informatico innovativo, dove confluiscono due tecnologie: **Realtà Virtuale** e **Interazione Aptica**, che vengono



integrate e divengono un valido ausilio alle tecniche di addestramento tradizionali, generando un paradigma di interazione nuovo, per l'addestramento medico, con modalità di fruizione audio-visiva e aptica.

# **Capitolo 1**

## **Le tecnologie utilizzate**

## 1.1 La Realtà Virtuale (V.R.)

Il termine *Virtual Reality* fu coniato circa nel 1989 da *Jaron Lanier*, fondatore della VPL Research, la prima azienda al mondo a realizzare contenuti di realtà virtuale. I sinonimi più recenti, ma analoghi, sono: Realtà Sintetica (*Synthetic Reality*), Cyberspazio (*Cyberspace*), Mondo Virtuale (*Virtual World*) ed infine Ambiente Virtuale (*Virtual Environments*). Sebbene non ci sia ancora oggi una definizione precisa del significato della parola Realtà Virtuale, e spesso si creano errori ed ambiguità, vogliamo citare la definizione di *Doug Bowman*:

*A real-time 3D synthetic environment that appears to surround the user in space,* che possiamo tradurre in “*Un ambiente sintetico 3D in tempo reale che sembra circondare l'utente nello spazio*”.

Ancora un'altra definizione:

*Insieme di tecniche in grado di realizzare percezioni realistiche in mondi creati interamente in maniera digitale.*

Idealmente l'utente interagisce con la simulazione con tutti e cinque i sensi; comunque, le applicazioni tipiche di VR oggi, intervengono su un più piccolo sottoinsieme di sensi, tipicamente vista, udito, laddove l'esperienza puramente visiva, arricchita al più da percezioni sonore è preponderante, solo più recentemente sono state realizzate applicazioni di VR che coinvolgono anche il senso del tatto.

L'uomo è abituato a vedere e interagire con mondi tridimensionali e a riconoscere forme 3D quasi istantaneamente. Toccare e manipolare oggetti, interagire con essi è un'abilità che si acquisisce da neonati.

La realtà virtuale è un settore della Computer Grafica, disciplina che riguarda la generazione e manipolazione di immagini per mezzo del computer, e condivide con

la C.G. i concetti di scenario, del punto di vista per l'osservatore e dello spazio visibile.

La V. R. è capace di fornire, agli utenti, esperienze credibili in ambienti virtuali 3D, creando soprattutto un'interazione con gli oggetti e i personaggi degli ambienti ricostruiti. Nell'approccio classico alla V.R., basato sulla geometria dei poligoni, i requisiti di interattività richiedono una ricostruzione in tempo reale (*rendering in real time*) delle scene, degli oggetti e degli eventuali personaggi ad un elevato *frame rate*, in pratica la capacità di realizzare un flusso continuo di immagini al momento in cui esse sono richieste, mentre i requisiti di realismo richiedono immagini ad elevata risoluzione per mostrare i dettagli dell'immagine [McLin, D.M., and Chung, J.C]. Sebbene la tecnologia dell'hardware stia mutando rapidamente con l'introduzione di architetture parallele, acceleratori grafici, schede video programmabili, processori dedicati, noti come *Graphics Processing Units* (GPU), tutti dispositivi rivolti alle elaborazioni grafiche, in grado di farsi carico oltre che delle elaborazioni per la grafica anche delle simulazioni fisiche fondamentali per ottenere un elevato realismo dinamico degli oggetti o dei personaggi nell'ambiente virtuale, inoltre, quantunque i costi dell'hardware, dedicato a questi sistemi, stanno scendendo vertiginosamente da anni, ottenere, allo stesso tempo, alti livelli di interazione e qualità visuale elevata o foto realistica, da rendere indistinguibile l'ambiente simulato da quello reale, non è ancora attualmente possibile. Il *rendering real time* che ricostruisce ambienti virtuali o personaggi virtuali a elevata qualità visuale, pari a quella cinematografica, sarà possibile solamente in un immediato futuro.

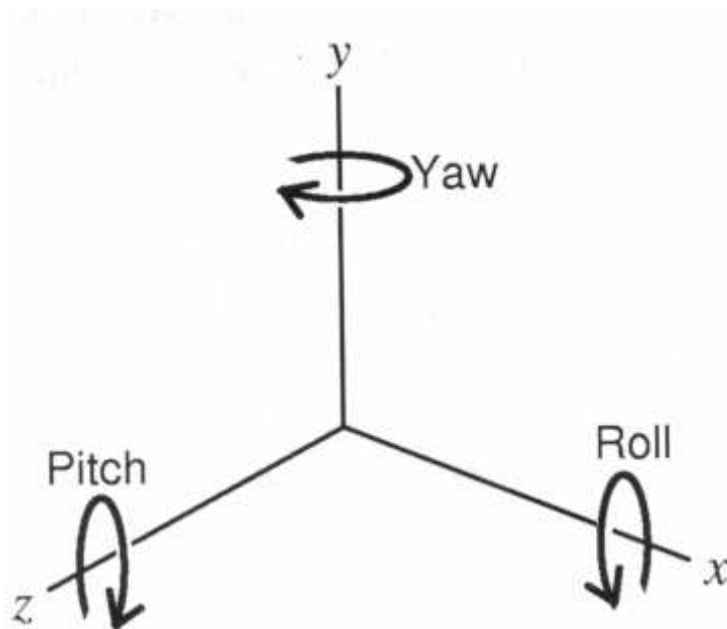
### 1.1.1 Realtà Virtuale Immersiva

Oltre al realismo o **foto-realismo** delle immagini, che consiste nell'offrire all'utente la piena percezione della realtà e si raggiunge per mezzo di una precisa modellazione 3D e tecniche di illuminazione sofisticate che portano ad avere una rappresentazione della scena virtuale con un grado di accuratezza talmente alto da rendere impossibile percepire la differenza da una fotografia o un video che cattura la stessa scena nel mondo reale. Nella VR si parla di **interattività** con l'ambiente virtuale, come si evince da queste affermazioni **foto-realismo** ed **interattività** sono i concetti chiave che hanno caratterizzato le applicazioni di VR, sviluppate negli anni '90, a cui si è aggiunto negli ultimi tempi il concetto di **immersività**, e dopo una prima fase in cui il foto-realismo era un obiettivo imprescindibile della Realtà Virtuale, per lo più legato alla Computer Grafica, (algoritmi di *ray tracing*, *ray casting*, *global illumination*, tecniche di Computer Grafica per l'illuminazione di scene 3D) che sono in grado di dare alla scena massimi livelli di realismo, si sta passando ad una fase di ricerca dell'interazione da parte dell'utente, quest'ultimo ha assunto sempre più un ruolo centrale in tali applicazioni, anche grazie ad una maggior confidenza con nuovi dispositivi, ed è, quindi, predisposto ad astrazioni maggiori a patto di nuove stimolazioni sensoriali .

Per questi nuovi scenari della Realtà Virtuale, un ruolo centrale è rivestito dall'ideazione, dalla progettazione e dallo sviluppo di interfacce innovative che gestiscono le caratteristiche di interazione, ed è grazie a questi dispositivi, infatti, l'interazione tra uomo e macchina *Human Computer Interaction* (H.C.I.), in pratica, lo studio dell'interazione tra le persone (più in particolare utenti) ed i computer per la progettazione e lo sviluppo di sistemi interattivi che siano usabili, affidabili e accessibili e che supportino e automatizzino al meglio alcune attività umane .

## 1.2 Modalità e dispositivi per l'interazione

Chiediamoci com'è generata l'interazione con gli oggetti virtuali o gli eventuali personaggi di una scena, per questo scopo esistono interfacce "indossabili" come i dispositivi di *motion tracking* o *motion capture*, le quali eseguono le caratteristiche di interazione dell'utente, segnalando la posizione della testa e/o della mano nello spazio 3D ed in più le loro rotazioni sui tre assi dello spazio, coprendo fino a 6 gradi di libertà (6 *Degrees Of Freedom*). Ricordiamo che la posizione di un oggetto nello spazio è definita univocamente dalle tre coordinate (x,y,z) e l'orientazione rispetto ad un sistema di riferimento, indicata da tre angoli: picchiata, rollio e imbardata.



**Fig 1.1 Esempio di Sistema a 6 gradi di libertà**

I dispositivi di input in 3D sono diversi dai sistemi tradizionali di puntamento quali *mouse*, *trackball*, efficaci nel puntamento e nella manipolazioni in ambito bidimensionale, (infatti sono classificati come sistemi di puntamento continuo a 2 gradi di libertà, 2 DOF). Questi sistemi di tracciamento sono capaci acquisire ed elaborare i movimenti provenienti da ciascuno dei dispositivi *wireless* o *wired* che

l'utente può comodamente indossare, ad esempio *6D mouse* o *cyberglove*, in cui sono rilevate le posizioni delle singole dita.

Tra i parametri più importanti di queste interfacce, osserviamo:

- **Volume di lavoro:** definisce la regione di spazio in cui il sistema funziona correttamente.
- **Frequenza di campionamento:** è la frequenza con cui il calcolatore rileva e aggiorna le variabili.
- **Risoluzione:** è la più piccola variazione di posizione rilevata.
- **Latenza:** il tempo trascorso dall'evento al suo riconoscimento, ovvero la rapidità della risposta.
- **Precisione:** è la misura dell'errore di misurazione.

I metodi di interazione tra l'utente e il mondo ricostruito possiamo raggrupparli in:

- Sistemi di tracciamento del movimento
- Strumenti per la visione tridimensionale
- *Tool* per la manipolazione degli oggetti virtuali.

La simulazione della VR viene percepita totalmente dai nostri sensi, in particolare dal senso della vista, dall'udito e dal tatto. A questo proposito, è utile ricordare che i sensi dell'uomo, dalla vista, al tatto, all'olfatto sono non-lineari e adattivi. Essi rispondono in modo diverso agli stimoli a seconda dell'intensità, e si adattano agli stimoli costanti, percependo di fatto le differenze tra stimoli successivi. Di questi aspetti, bisogna tenerne conto, nel progettare interfacce meno legate ai singoli dispositivi e più vicine ai sensi dell'utente [Tanaka, A., Hirota, K., Kaneko, T. 1998]

Nella realtà virtuale immersiva si utilizzano speciali dispositivi di visualizzazione e manipolazione, ad esempio visori montati in prossimità degli occhi chiamati HMD (*Head Mounted Display*).



**Fig. 1.2 Utente che indossa un casco HMD**

Inoltre sono usati sensori di posizione in grado di fornire l'indicazione dell'orientamento del punto di vista dell'utente, guanti chiamati *cyber-glove*, dotati di sensori adatti a manipolare gli oggetti virtuali e a simulare sensazioni tattili artificiali.



**Fig. 1.3 Guanti sensoriali o Cyber Glove**

Tutti questi dispositivi possono consentire all'utente una completa astrazione dal contesto reale in cui opera, offrendogli la sensazione di stare in un ***mondo virtuale***.



## 1.3 Gradi di immersione in un ambiente virtuale

Alla luce delle considerazioni fatte, possiamo distinguere due tipi di Realtà Virtuale:

- **Realtà Virtuale immersiva**

- **Realtà Virtuale non immersiva**

Per i nostri scopi, inerenti alle HI, ci riferiremo alla **realtà virtuale immersiva**, laddove immersiva significa interazione completa con l'ambiente virtuale, in pratica la capacità di astrarre totalmente l'utente dal mondo reale e calarlo nel mondo simulato. È quindi necessario supportare tutti i nostri sensi, non solo la vista e l'udito, che sono i sensi più naturali da usare in un simile contesto, ma anche il senso del tatto e dell'orientamento, che in prima istanza non siamo abituati a prendere in considerazione in simili applicazioni [Cobb, George W 1998].

**L'immersione** in tali ambienti può essere ottenuta a diversi gradi, precisamente tre.

Nel **primo grado d'immersione** il soggetto percepirà la propria presenza all'interno dell'ambiente ricostruito in cui viene calato.

Nel **secondo grado di immersione** il soggetto avrà la possibilità di navigare all'interno dell'ambiente, vale a dire poter muovere i sensori attraverso i quali percepisce le informazioni che caratterizzano l'ambiente virtuale Koutek M, Post FH (2001).

Il **terzo grado di immersione**, il più importante per i nostri scopi, è caratterizzato dalla possibilità di controllo esercitabile sull'ambiente dall'utente, che altrimenti avrebbe un rapporto esclusivamente passivo nei confronti della realtà virtuale.



**Fig. 1.4 Un'applicazione per Realtà Virtuale immersiva**

I primi due gradi di immersione sono ottenuti mediante la simulazione di grafica e audio, in modo da produrre stimoli di natura visiva e uditiva, in questi casi parliamo di un grado di **immersione passivo**.

Il terzo grado di immersione e' un livello di immersione **non passivo**, è necessario riprodurre gli stimoli tattili e le forze che il mondo reale eserciterebbe sull'utente.

La riproduzione degli stimoli tattili è diventata negli ultimi anni un'avvincente sfida nella comunità scientifica e industriale che proprio in questi anni ha portato avanti la realizzazione di dispositivi sempre più sofisticati che, attraverso dei ritorni di forza (*force feedback*), rendono questo traguardo sempre più vicino.

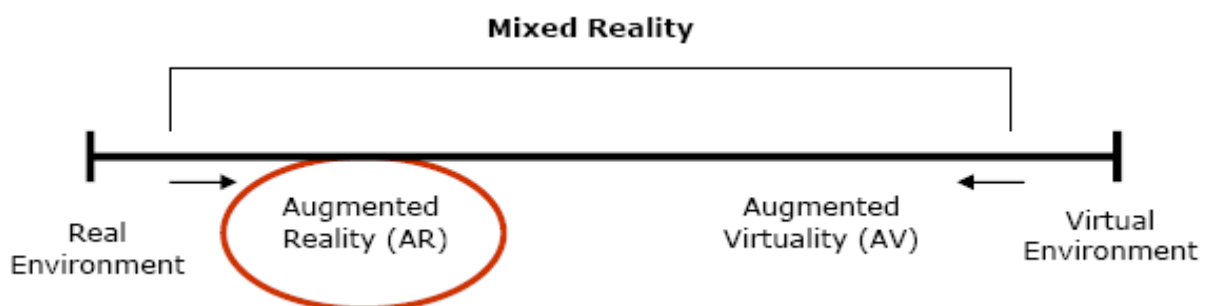
Questo tipo di simulazione richiede il calcolo in tempo reale di tutte le situazioni di contatto per stabilire l'entità delle forze, che devono essere percepite dall'utente.

É necessario, quindi, caratterizzare gli oggetti presenti nella realtà virtuale anche dal punto di vista fisico, attribuendo loro grandezze, quali: peso, dimensioni, inerzia, rigidità, viscosità, rugosità, umidità, ecc.

Una simulazione di questo tipo, in grado di riprodurre sensazioni tattili e di forza, è ottenuta mediante lo studio e la progettazione dispositivi definiti Interfacce Aptiche, che insieme a software 3D si prefigge come scopo quello di introdurre percezioni tattili nelle applicazioni di V. R. e che analizzeremo in maniera dettagliata nel capitolo successivo.

## 1.4 La Realtà Mista (Mixed Reality)

Secondo la letteratura attuale, la Realtà Virtuale e la Realtà Aumentata, altro non sono che due sottocasi della meno conosciuta Realtà Mista o con il termine anglosassone *Mixed Reality*. Tale termine (MR) è stato coniato per indicare una classe di tecnologie, confinanti tra loro, che fanno uso della Computer Grafica per interagire con il mondo reale in modo differente, come appunto la *Virtual Reality* (VR) e la *Augmented Reality* (AR). Tale classificazione proposta da Paul Milgram si basa essenzialmente sulla definizione del *Reality-Virtuality Continuum*, (vedi figura 1), che è quell'insieme astratto e continuo che spazia dal mondo reale che viviamo, ad uno completamente virtuale interamente generato dall'elaboratore.



**Fig 1.5 Il Continuo Realtà-Virtualità secondo lo schema di Milgram**

L'estremo sinistro del continuum rappresenta ogni ambiente reale, osservato in maniera diretta, mediante l'occhio umano o mediante qualsiasi tipo di dispositivo di visualizzazione (ad esempio un monitor, un televisore o un binocolo) [Borst, C. W., & Volz, R. A. (2005)]. L'estremo destro, invece rappresenta il caso opposto di ambiente

ricostruito, costituito esclusivamente da oggetti virtuali, in pratica generati con simulazioni e grafica computerizzata, visualizzati sia attraverso monitor sia attraverso dispositivi immersivi.

Sulla base della precedente definizione, quindi, in un ambiente di MR sono presenti oggetti sia del mondo reale, che del mondo virtuale che vengono fruiti con un singolo dispositivo di visualizzazione, qualsiasi esso sia. Secondo questa classificazione molto generale, la AR si colloca chiaramente sul lato sinistro del Continuum, in quanto si basa principalmente sul mondo reale, mentre la VR appartiene all'estrema destra, poiché in questo caso il mondo digitale prevale sulla realtà. Nell'ambito della *Mixed Reality*, negli ultimi anni la ricerca sta avendo un impulso maggiore, poiché proprio in un rapporto di complementarità variabile tra contributi virtuali e immagini reali risiede il valore aggiunto per tante applicazioni, in particolare per la medicina, l'automazione industriale, la manutenzione dei sistemi e finanche l'entertainment.

## **1.5 La Realtà Aumentata (Augmented Reality)**

La Realtà Aumentata (*Augmented Reality*, termine coniato nel 1990 da alcuni ricercatori dell'azienda americana *Boeing*, *Tom Caudell* e *David Minzell*) è una particolare estensione della realtà virtuale che consiste nel sovrapporre alla realtà percepita dall'utente una realtà virtuale generata dal computer in tempo reale.

In pratica la percezione del mondo dell'utente viene *augmentata*, arricchita da oggetti virtuali ricostruiti che forniscono informazioni all'ambiente reale. Si parla di estensione della realtà virtuale perché nella la realtà aumentata l'utente continua a percepire l'ambiente reale, ma a questo possono sovrapporsi ed integrarsi delle immagini digitali o dati prodotti ad hoc che arricchiscono la realtà di informazioni utili per portare a compimento situazioni complesse, e quindi lo scopo non è quello di

sostituire il mondo reale, come tende a fare la VR, ma di estendere la realtà, anche se in applicazioni di AR si impiegano alcune tecnologie mutate da sistemi di VR.

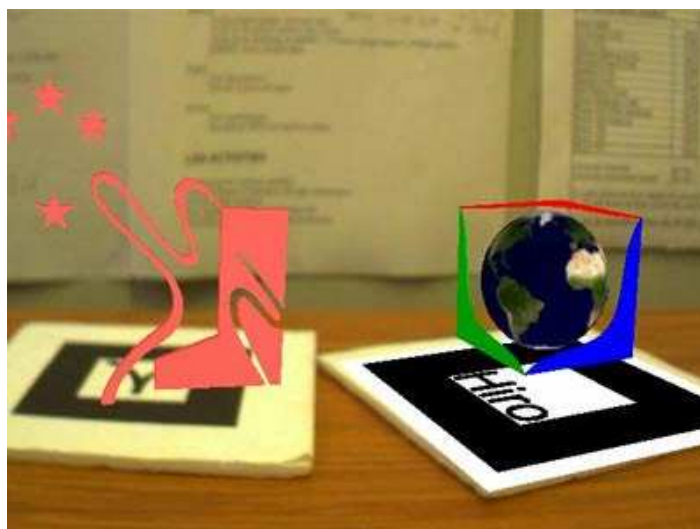
L'aggettivo *Augmented* sta a definire proprio l'aumento del livello di conoscenza offerto all'utente sulla realtà circostante.

Né immersività, né fotorealismo, come nella VR, ma sovrapposizione e combinazione del mondo reale con il mondo digitale. Con L'A.R. si aumenta la percezione dell'utente con l'ambiente fornendo informazioni visive che l'utente non potrebbe direttamente rilevare con i propri sensi.

La particolarità della A. R. è combinare e registrare il mondo reale con il modello digitale del sistema.

L'ambiente reale e virtuale sembrano coesistere e l'utente si può muovere liberamente nella scena, con la possibilità, altresì, di interagire con essa. Tutto ciò deve essere ovviamente elaborato in maniera ottimale, ovvero in maniera tale che l'utente abbia la percezione di una singola scena, nella quale le due entità reale e virtuale sono pressoché indistinguibili.

I campi di utilizzo della Realtà Aumentata sono molteplici, e vanno dal design all'intrattenimento (nella maggioranza delle applicazioni), dall'addestramento militare ai beni culturali, alla medicina ai sistemi di manutenzione industriale.



**Figura 1.6. Visualizzazione tramite Realtà Aumentata. Oggetti reali e virtuali coesistono nello stesso spazio**



**Fig. 1.7 Applicazione di A. R. in ambito manutenzione industriale**

### **1.5.1 Principali funzionalità delle applicazioni di A.R.**

Le funzionalità di applicazioni di A.R. si possono dividere in due categorie principali:

- **Funzionalità di visualizzazione:** rappresentano le differenti modalità di visualizzazione che offre il sistema basandosi sul *device* scelto dall'utente adattandosi alle esigenze. Queste funzionalità possono essere sfruttate tramite diverse strategie sia che si voglia visualizzare il contenuto tramite un proiettore con l'uso di occhiali per la stereoscopia, in modo da poter rendere la visualizzazione dei contenuti fruibile da parte di più utenti, in una modalità collaborativa, sia tramite l'utilizzo di *device* per realtà aumentata (realtà virtuale immersiva) quindi mediante *Dual-head, Head mounted display, Head-Mounted see through display*, quindi utilizzando un paradigma di fruizione singolo non collaborativo.
- **Funzionalità di interazione con la scena:** si riferisce alle modalità con cui l'utente può agire sugli oggetti sintetici garantendo la possibilità dell'interazione classica con gli oggetti poligonali (traslazione,

rotazione) con l'aggiunta di funzionalità specifiche del campo (scale, trasparenza etc.).

### **1.5.2 Dispositivi di visualizzazione per i sistemi di A.R.**

La scelta della tecnologia dipende fundamentalmente dai requisiti che il sistema di Realtà Aumentata richiede. Dispositivi hardware per sistemi di AR sono i visori *see-through*, leggeri e confortevoli (*HMD Head Mounted Display*), che consentono la visione dell'ambiente circostante e allo stesso tempo forniscono una sensazione di immersione nell'ambiente di realtà aumentata ed allo stesso tempo di permettere di avere le mani libere per agire sulla scena. Essi sono indossabili dall'utente e si distinguono in due tipologie:

- ***Optical See Through***
- ***Video See Through***

I primi capaci di mostrare grafici, scritte e immagini di sintesi in sovrapposizione alla normale visione dell'utente, arricchendola di utili informazioni, sono composti da uno specchio traslucido che trasmette la luce in una direzione e contemporaneamente riflette la luce nell'altra. Si tratta quindi di una tecnologia parzialmente trasmittente poiché, guardando attraverso la lente si può vedere l'immagine virtuale sovrapposta a quella reale. Tali divisori di fascio sono molto simili agli Head-Up Display usati dai piloti degli aerei militari.

I dispositivi Video See Through utilizzano due telecamere, una per ciascun occhio con le quali acquisiscono l'immagine reale e la fondano con le immagini digitali inviandole all'occhio dell'utente mediante due display. Questa scelta permette di realizzare effetti visivi più complessi, ma ha un fattore diverso dal visore **ottico see-through**, perchè impone un piano di messa a fuoco costante per tutta la scena e questo rende il sistema poco confortevole. L'immagine del mondo reale è di

conseguenza mescolata elettronicamente con l'immagine generata dal computer ed esposta sul display a cristalli liquidi dello schermo dell' HMD.

I sistemi di AR tracciano la posizione e l'orientamento della testa dell'utente in modo da poter allineare correttamente le immagini sintetiche al punto di vista dell'utente.



**Fig. 1.8 Utente di un'applicazione di A.R. che indossa un dispositivo di tipo Video See Through**

Oltre ai primi due tipi di visori, attualmente in commercio la ricerca si sta muovendo nella direzione dei Virtual Retinal Display (VRD) che sono stati originariamente progettati e realizzati dallo *Human Interface Technology Lab* (HIT) dell'Università di Washington nei primi anni '90 dall'equipe del professore *Thomas Furness*. Lo scopo era ottenere un *display* virtuale a colori con ampio campo visivo, alta risoluzione, elevata luminosità ed a basso costo, leggero e facile da indossare da parte degli utenti. Tale tecnologia ha molte potenziali applicazioni, dagli HMD in campo militare o aerospaziale alla medicina, ai beni culturali. Il VRD funziona proiettando un raggio di luce modulata, (generato, utilizzando laser a bassissima potenza che si muovono in orizzontale e in verticale), direttamente sulla retina dell'occhio, producendo in tal modo un'immagine *raster*. L'osservatore ha l'illusione di vedere l'immagine sorgente come se fosse visualizzata a circa 50-60 cm di distanza su un monitor di 14", con



una qualità eccellente in termini di definizione e in più in modalità stereoscopica. Il VRD può essere collegato via wireless a un qualunque *device*, una volta indossato, si visualizzano le immagini e le informazioni direttamente sulla retina del nostro occhio. Il suo punto di forza rispetto ad altri apparecchi simili, è proprio la mancanza di uno schermo.



**Fig. 1.9 Display con tecnologia V.R.D.**

Una delle maggiori difficoltà nelle applicazioni di AR, affinché il paradigma operativo funzioni e sia utile all'applicazione che si è implementata, è che i contenuti reali (dati, immagini etc.) e i contenuti virtuali siano co-registrati tra loro. Il concetto di registrazione consiste nel preciso allineamento e sincronizzazione di due o più elementi sensoriali, ossia richiede un'esatta calibrazione della camera e degli strumenti utilizzati e comprende le tecniche necessarie affinché l'oggetto virtuale, elaborato attraverso il computer, si collochi nell'ambiente reale con precisione e con esattezza. Solo in caso di perfetto allineamento le informazioni in A.R. possono costituire un valido ausilio.

Un'altra delle tecnologie di visualizzazione molto utilizzata, perché molto economica e alla portata dei tutti, nella Realtà Aumentata sono gli *hand-held display*, ovvero

dei display portatili che possono essere palmari o semplici cellulari; in Fig. 1.10 sono riportati alcuni esempi.

Si può concludere che tutte le tecnologie hanno i loro pregi ed i loro difetti, per cui la scelta della tecnologia, come si è premesso, dipende fondamentalmente dai requisiti applicativi. Nei sistemi AR progettati per l'assemblaggio e per le riparazioni sono solitamente utilizzati i sistemi ottici; nelle applicazioni mediche, invece, sono spesso utilizzati i sistemi video, probabilmente per la flessibilità e per le strategie di registrazione offerte



**Figura 1.10 Esempi di hand-held display usati in Realtà Aumentata**

### **1.4.3 Sistemi di Tracking in A. R.**

Il tracciamento della posizione e del movimento degli utenti in sistemi di realtà virtuale è necessario. Uno dei metodi più frequentemente utilizzati per monitorare la posizione è l'orientamento con un sensore magnetico, come il **Polhemus Isotrak**. In un sistema di realtà aumentata la registrazione con il mondo reale deve essere effettuata in base al campo visivo degli utenti. Il tipo di monitor utilizzato dal sistema di realtà aumentata determinerà la precisione necessaria per la registrazione del mondo reale con le immagini virtuali.

I Sistemi di monitoraggio si dividono in tre classi:

- **Inside-in:** Sono sistemi che utilizzano sensori posizionati sul corpo. I sensori sono di solito di piccole dimensioni e sono utilizzati per la cattura dei

movimenti del corpo, sono considerati invasivi come sistemi di posizionamento ma vengono utilizzati come interfacce per la cattura di un determinato movimento; ad esempio i *cyber glove* basati sulla gestualità dell'utente appartengono a questa classe e sfruttano sensori flessibili per la cattura delle informazioni.

- **Inside-out:** impiegare sensori sul corpo che percepiscono fonti esterne artificiali per la generazione delle informazioni (ad esempio *tracker* che adoperano un campo elettromagnetico per determinare il posizionamento dell'utente) o fonti naturali (*tracker* meccanici per la testa che utilizzano un muro come riferimento). Questi sistemi forniscono informazioni basate sull'ambiente circostante, ma la loro efficacia è limitata a causa dell'utilizzo di fonti esterne.
- **Outside-in:** questi sistemi utilizzano un sensore esterno che rileva delle sorgenti artificiali o marcatori sul corpo (ad esempio il *tracking* delle pupille che utilizzano telecamere che usano le stesse pupille come marker di riferimento). Questi sistemi sono considerati meno invasivi, ma a volte causano completa ostruzione e perdita del contatto con il marker.





**Fig 1.10a Joystick, sensori e dispositivi di ricezione di InterSense IS-900**  
**1.10b Utente di InterSense IS-900 Precision Motion Tracker**

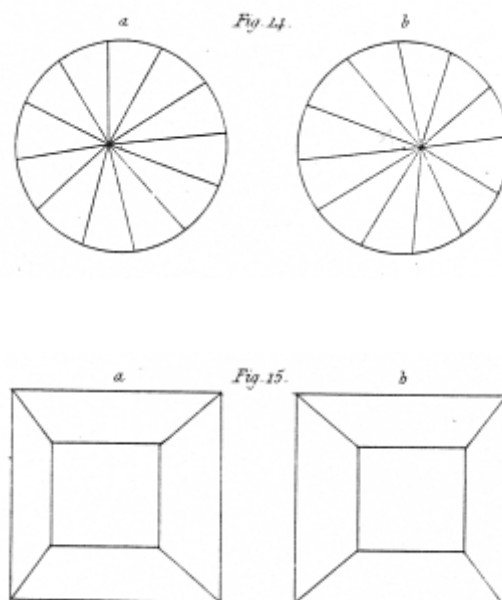
## 1.5 La Stereoscopia

La Stereoscopia è una tecnica basata su immagini, fotografie o filmati, che crea tramite differenti tecniche un'illusione di profondità nell'immagine, un'illusione ottica di tipo *cognitivo* è dovuta all'interpretazione che il cervello attribuisce alle immagini che riceve, e che inganna l'apparato visivo umano, facendogli percepire qualcosa che non è presente o che è presente ma in modo scorretto. In questa tipologia di illusioni ottiche trova applicazione la generazione di immagini **stereoscopiche** partendo da immagini bidimensionali. L'apparente percezione della tridimensionalità degli oggetti viene creata con la generazione di un immagine differente per ogni

occhio, destro e sinistro. Il cervello riceve le due immagini e le ricompone in un'unica immagine, restituendola con una sensazione di profondità.

### 1.5.1 Cenni Storici

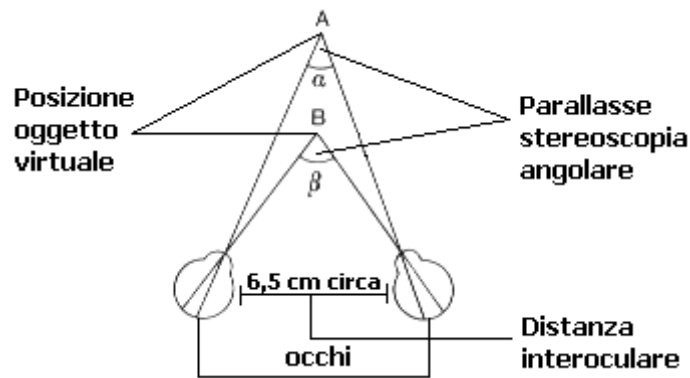
Le origini di tale tecnica risalgono al 1832, grazie all'inglese Sir Charles Wheatstone, ben prima dell'invenzione della fotografia, infatti le prime immagini sperimentali stereoscopiche furono fatte da Wheatstone su disegni. Si hanno notizie anche di studi sui principi funzionali della stereoscopia, già dal tempo di Euclide (III sec. a.C.), e da disegni duplici eseguiti da Giovanni Battista Della Porta (1535ca.-1615) e da Jacopo Chimenti da Empoli (1551–1640).[wikipedia] Tale tecnica ebbe una grande diffusione, specialmente in Gran Bretagna con l'invenzione della fotografia.



**Fig. 1.11** Disegni per prove di stereoscopia

## 1.5.2 Visione Stereoscopica dell'essere umano

Per stereoscopia delle immagini si intende una visione tramite due punti di osservazione differenti (gli occhi). Ognuno dei due occhi percepisce gli oggetti in modo leggermente diverso; l'occhio destro vede gli oggetti vicini più "a sinistra" rispetto agli oggetti più lontani, viceversa per l'altro occhio. Per rendersi conto del fenomeno basta alzare un dito e guardarlo prima con un occhio e poi con l'altro. Le due immagini si "sovrappongono" nel cervello: quando mettiamo a fuoco il dito con entrambi gli occhi vediamo un dito solo, e lo percepiamo "più vicino" degli oggetti circostanti. Questo è il nostro sistema naturale per la visione stereoscopica, che contribuisce a farci percepire la distanza e la forma degli oggetti che ci circondano. Per riprodurre l'effetto di profondità in immagini sintetiche, l'unica soluzione è riprodurre in qualche modo la naturale visione stereoscopica dell'essere umano. Per fare questo è necessario avere due versioni della stessa immagine, una per l'occhio destro ed un'altra, ripresa da un'angolazione leggermente differente, per l'occhio sinistro, le quali rappresentano due prospettive differenti dello stesso oggetto, con una piccola deviazioni simile alla distanza oculare media (circa 6,5 cm) che simula la prospettiva della visione binoculare, cioè la prospettiva che hanno gli occhi quando osservano un oggetto reale componendolo in una singola immagine percepita. Il cervello, come si è già accennato, basandosi su queste due immagini, fonde i due punti visivi ricreando un'unica vista.



**Fig. 1.12 Distanza interoculare e angolo di convergenza**

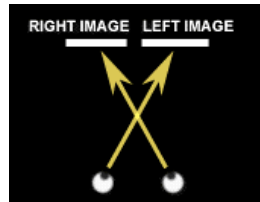
Proprio perché sono composte da due immagini, le immagini stereoscopiche sintetiche raddoppiano i tempi di *rendering* (immagine per occhio destro e per occhio sinistro), A questo punto c'è bisogno di un metodo per poter far visualizzare queste due immagini differenti agli occhi.

### **1.5.3 Tecniche di visualizzazione Stereoscopica**

Le tecniche di visualizzazione stereoscopica possono essere di diverso tipo e con strumentazione diversa con costi relativi differenti, tutte però si basano sul principio che ogni occhio debba vedere l'immagine che gli compete. Le tecniche più comuni e diffuse, sono le seguenti:

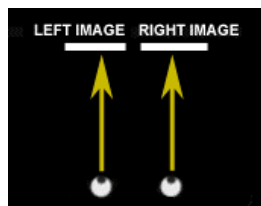
**Visione anaglifica** - Il procedimento in esame consiste nella realizzazione di due fotografie, in due colori complementari come per esempio il rosso e il verde, e nella loro osservazione con occhiali aventi le lenti degli stessi colori, in modo che ciascun occhio veda una sola fotografia (quella del colore opposto), con la conseguente sensazione di rilievo e dunque di visione stereoscopica.

**Visione ad assi visuali incrociati** - Questo sistema permette l'osservazione ad occhio nudo che si ottiene invertendo l'ordine delle immagini e incrociando gli occhi (a volte si usa uno stereovisore adatto)



**Fig. 1.12 Schema per visione ad assi visuali incrociati**

**Visione ad assi visuali paralleli**, che può permettere l'osservazione ad occhio nudo, se la base di osservazione non differisce di molto da quella naturale dell'uomo. Gli occhi dovranno avere gli assi visuali paralleli e bisognerà osservare le immagini come se si guardasse un punto all'infinito.



**Fig. 1.13 Schema per visione ad assi visuali paralleli**

Altri sistemi di visione stereoscopica, molto efficaci ma anche piuttosto costosi, sono i seguenti:

**Visione con luce polarizzata (Stereoscopia Passiva).** Mediante appositi dispositivi, i segnali luminosi emessi dallo schermo vengono polarizzati in modo ortogonale tra loro. L'osservatore è dotato di lenti polarizzate che consentono di filtrare i due fasci luminosi in modo che ciascun occhio veda solo uno dei due. Il funzionamento della visione polarizzata avviene come segue: Le due immagini, riprese da angolature diverse, sono proiettate sovrapposte sullo stesso schermo da due proiettori, con due distinti fasci di luce polarizzata su piani perpendicolari tra



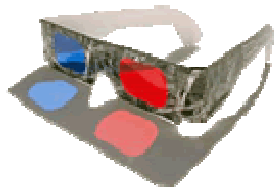
loro. Si indossano occhiali dotati di lenti polarizzate anch'esse su piani perpendicolari tra loro, ogni occhio vede solo una delle due immagini sovrapposte. Gli occhiali hanno per lenti due filtri polarizzatori passivi con i piani di polarizzazione ortogonali, ognuno dei quali lascia passare l'immagine polarizzata in un verso e impedisce la visione dell'altra immagine. Questa tecnica è utilizzata presso le sale cinema 3D IMAX, con uno schermo di grandi dimensioni.

**Stereoscopia attiva:** Per questa tecnica si utilizzano proiettori particolari in grado di aggiornare l'immagine a oltre 120 volte al secondo (120 Hertz) e le due immagini si alternano durante il processo di aggiornamento mediante il meccanismo di *page flip* o di *quad-buffered*. Il risultato è che le due immagini si alternano e ognuna di esse si aggiorna 60 volte al secondo (60 Hertz), abbastanza da poter visionare i contenuti senza notare sfarfallio (*flickering*) nelle immagini.

Il sistema di proiezione è collegato a delle speciali unità di controllo a infrarossi: queste unità comunicano con degli occhiali LCD detti *shutter glasses* e sono in grado di controllare l'otturazione della lente destra e sinistra degli occhiali. Se l'unità di controllo è ben sincronizzata con l'unico proiettore essa sarà in grado di otturare la lente destra mentre il proiettore visualizza l'immagine sinistra e viceversa il tutto ad una velocità di aggiornamento di 60 volte al secondo, non percepibile all'occhio umano, e quindi il cervello crede di vederle contemporaneamente e "fonde" le due immagini. I sistemi attivi, al contrario di quelli passivi che utilizzano semplici occhiali polarizzati e che provocano artefatti nelle immagini originali, offrono la migliore qualità possibile di visione stereoscopica non alterando la qualità iniziale dell'immagine.

## 1.5.4 Dispositivi per la Stereoscopia

I dispositivi necessari ad attrezzare una sala di proiezione di immagini e/o video in stereoscopia sono: proiettore, schermo, sistema audio e occhiali, naturalmente i singoli dispositivi dipendono dalla tecnica di visualizzazione adottata, in pratica se voglio attrezzare una sala per proiettare contenuti con la tecnica della stereoscopia attiva, dovrò disporre di un proiettore per la stereoscopia attiva ed occhiali di tipo *shutter glasses*, sostenendo dei costi non banali.



**Fig. 1.14 Occhiali per la visione di immagini anaglifiche**



**Fig. 1.15 Schermo Stereoscopico VRLab Università degli Studi di Salerno**



**Fig. 1.16a Proiettore della serie Christie Mirage 1.16b occhiali LCD *shutter glasses* in dotazione al VRLab Università degli Studi di Salerno**

**Monitor Autostereoscopici:** nel corso degli anni sono stati sviluppati dei monitor, tipicamente schermi con tecnologia LCD o Plasma, di grandezza 40"-46", che permettono la visualizzazione di contenuti in stereoscopia senza l'utilizzo di occhiali o qualunque altro dispositivo aggiuntivo, ed è in questa direzione che si stanno muovendo le case produttrici di televisori 3D, per fare in modo da eliminare l'utilizzo degli occhialini che troviamo nei televisori 3D in commercio.

La tecnica usata lavora in questo modo, vengono riprodotte due o più prospettive (viste) della stessa scena separandole in modo che gli occhi dell'osservatore ne possano vedere due differenti per volta. Se le viste sono più di due si può fare in modo che l'osservatore possa muoversi davanti allo schermo osservando la coppia di viste relativa al punto di osservazione. La separazione delle viste avviene sfruttando la geometria della configurazione di visione, principalmente attraverso

due metodi noti come “barriera di parallasse” e “microlenti”. I primi sono più adatti alla visione da parte di un singolo utente, mentre i secondi offrono un campo visivo più esteso che consente una fruizione anche minimamente collettiva, in quanto, in misura limitata, si può osservare lateralmente l'immagine visualizzata.



**Fig. 1.17 Esempio di Monitor Autostereoscopico 42”**

## **Capitolo 2**

### **Interfacce Aptiche (Haptic Interface)**

## 2.1 Introduzione

Parlare di “interfacce” per chi lavora a contatto con i computer, (e non solo oggi) ma con tutta la tecnologia in genere, è diventata cosa usuale, assumendo spesso per scontato una certa idea di interattività che le caratterizza.

Con il termine interfaccia, si intende:

**Lo scambio di informazioni tra almeno due entità.**

Nello specifico del computer le interfacce rappresentano gli scambi di informazioni tra l'entità *essere umano* e l'entità *macchina*.

Lo sviluppo che si è avuto delle interfacce grafiche di tipo GUI (*Graphic User Interface*) racchiude prevalentemente l'esperienza visiva attraverso la *metafora del reale*, ad esempio l'icona della stampante fa intendere l'operazione di stampa, l'icona del dischetto fa intendere l'azione di salvataggio del file, etc. L'immersività della Realtà Virtuale vuol riprodurre l'*azione reale*.

## 2.2 Interfacce Aptiche

Gli stimoli artificiali esterni vengono trasferiti in tempo reale direttamente all'interno dell'ordine sensoriale dell'utente e come nella realtà, dovrebbe restituire l'azione, o meglio la reazione, più adatta allo stimolo.

Tra le componenti morfologiche delle interfacce, di vario grado immersive, alla componente percettivo visuale ed uditiva (di natura puramente sensoriale) devono essere affiancate componenti motorie, sensoriali (tra le quali aptiche) e cinestetiche, riferite cioè alla percezione del movimento umano in relazione con oggetti reali e/o virtuali dell'ambiente circostante o dell'ambiente ricostruito [A. F. Abate, 2008].

Una soluzione a queste esigenze è fornita dagli studi sulle interfacce aptiche (*haptesthai*; verbo in lingua greca che ha il significato di afferrare, toccare, *to grasp* in lingua inglese), interfacce che servono in pratica a orientare l'utente sulla

posizione e sulla natura degli oggetti nello spazio virtuale, ovvero per darne una definizione:

- **Sistemi robotici che restituiscono all'utente sensazioni cinestetiche di forza.**

Oppure una definizione alternativa ma semplificata:

- **Dispositivi in grado di trasmettere all'utente sensazioni di forza**

Alla base di ciò, vi è l'idea di "toccare con mano" che fa parte dell'istinto di ogni uomo, fin da quando è un lattante e continua per tutta la sua vita, ed è il metodo più semplice e naturale per conoscere e interagire con la realtà circostante.

L'obiettivo di questa ricerca sarà lo studio delle interfacce aptiche e le applicazioni di esse in alcuni ambiti reali, referenziate con l'acronimo HI, dal termine inglese (*Haptic Interface*).

In ambito scientifico l'aptica è la scienza che studia il senso del tatto e delle interazioni con l'ambiente tramite il tatto, in pratica lo studio sulle acquisizioni di informazioni tramite il tatto [Boulic, R., Rezzonico, S., & Thalmann, D. 1996].

Più precisamente possiamo definire il tatto come una perturbazione meccanica della pelle prodotta dal contatto fisico con un oggetto. I recettori periferici specializzati (*meccanoriceptori*) trasformano gli stimoli meccanici applicati alla cute in impulsi nervosi e li trasmettono attraverso le fibre nervose sensitive, ai centri nervosi superiori, dove vengono decodificati. Ritornando al senso del tatto come perturbazione meccanica possiamo evidenziare due aspetti che lo influenzano:

- le proprietà fisiche dell'oggetto
- il modo in cui l'oggetto viene esplorato

Queste informazioni sono contenute nella rappresentazione degli attributi fisici o aptici di un oggetto o di una superficie, che si suddividono in [Lederman, S., and Klatsky, R 2004]:

**Proprietà Geometriche:**

- Dimensione
- Forma

**Proprietà dei Materiali:**

- Rigidità
- Durezza
- Peso
- Viscosità
- Attrito
- Tessitura

**Percezione aptica nello Spazio**

- Posizione
- Velocità
- Lunghezza

Ci sono due livelli (o canali) cui il senso del tatto fornisce informazioni, sono chiamati rispettivamente:

- **Cinestetico**
- **Tattile**

I movimenti ampi e le forze sono percepiti da recettori neuronali negli arti, e in particolar modo nei muscoli e nei tendini, e nel corpo in generale, mentre i movimenti ad ampiezze minori, ma con frequenze più elevate, sono percepiti dai recettori nella pelle e nelle dita [A. F. Abate, (2008)].

Il **livello cinestetico** si riferisce al senso di posizione e movimento di parti del corpo in associazione alle forze esercitate. I muscoli, tendini e articolazioni svolgono un ruolo importante in questo tipo di sensazioni.

Il **livello tattile** concerne la cute, e permette di ottenere informazioni sul tipo di contatto e sulle proprietà fisiche degli oggetti. Le sensazioni di pressione, temperatura, morbidezza, durezza, umidità, dimensione degli oggetti, inoltre i fenomeni di attrito, sono elaborati a questo livello.



Il senso del tatto è differente da tutti gli altri sensi dell'essere umano, non solo fornisce informazioni sull'ambiente circostante, ma è anche un mezzo di interazione. Esso è un canale bidirezionale in quanto, vi sono dei *feedback* che consentono di stabilire delle informazioni sulla morfologia, sulla dimensione e sulle altre svariate sensazioni che possono manifestarsi al tocco di un oggetto.

In realtà le due definizioni date in precedenza dell'HI riguardano solo il canale cinestesico, volendo dare una definizione più generale e completa possiamo affermare che:

**Un HI è un dispositivo che riproduce informazioni sensoriali tattili (*tactile feedback*) e/o cinestetiche (*force feedback*)** [A. F. Abate, 2008]

Se volessimo creare una tassonomia generale delle interfacce aptiche dovremmo distinguerle secondo le tre tipologie seguenti:

– **Interfacce Cinestetiche**

– **Interfacce Tattili**

– **Interfacce Aptiche (Tattili + Cinestetiche)**

Le interfacce aptiche sono spesso **interfacce multimodali** o sono combinate con interfacce che coinvolgono altri sensi, ad esempio la vista, vari studi confermano come i sensi si influenzano l'uno con l'altro. Il senso del tatto permette di discriminare e riconoscere oggetti complessi ed è spesso usato per assistere il riconoscimento visuale in caso di discriminazioni difficili.

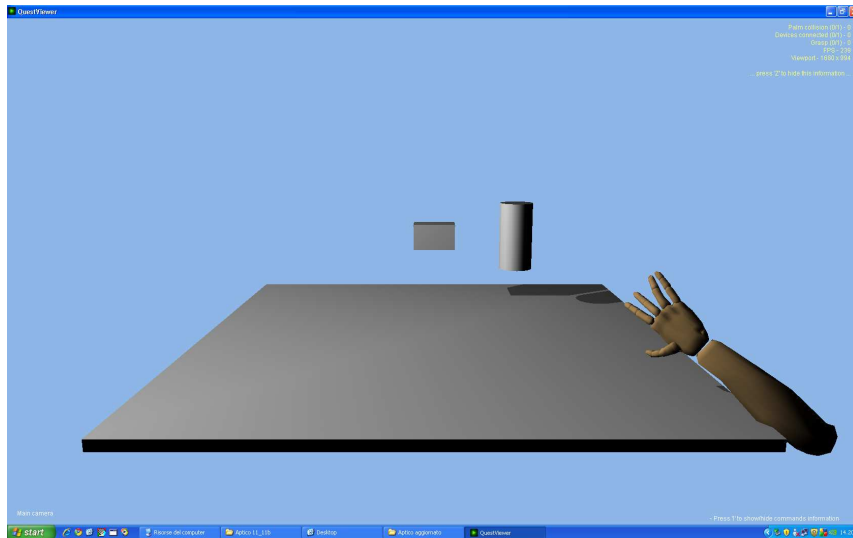
## **2.3 Forze di ritorno di un'Interfaccia Aptica**

Ritorniamo ora al caso reale, e pensiamo a cosa avviene quando tocchiamo con un dito o più dita un oggetto reale. Quando si entra in contatto con la superficie dell'oggetto, l'oggetto eserciterà su di noi una forza che è proporzionale alla distanza con cui abbiamo penetrato l'oggetto. Se tocchiamo un oggetto "duro", ad

esempio un pezzo di acciaio, la forza di reazione prodotta dall'oggetto sarà elevata per piccolissime penetrazioni delle nostre dita. Se tocchiamo un oggetto "morbido" o non rigido, ad esempio una spugna, le forze che la spugna esercita sulle nostre dita sono bassissime e di solito implicano una trasformazione della forma dell'oggetto. Il concetto fondamentale è che l'ambiente reale non fa altro che ritornare delle forze univocamente legate alla posizione degli arti (dita o mano) usati per conoscere l'ambiente circostante. In pratica, un oggetto reale non fa altro che "leggere la posizione di un dito, delle dita, o di un'intera mano". Se non vi è contatto con l'oggetto, l'oggetto non produce alcuna forza di ritorno; se si penetra l'oggetto, anche se di poco, l'oggetto produce una forza generalmente proporzionale alla distanza di penetrazione. In questa maniera noi possiamo percepire la presenza degli oggetti, come pure le loro caratteristiche meccaniche (rigidità, durezza, dimensione, morbidezza, rugosità, etc).

Se ad esempio si vuole simulare la presenza di un oggetto o più oggetti di fronte all'operatore i passi che devono essere eseguiti sono i seguenti:

- L'interfaccia aptica, tramite i propri sensori di posizione, rivela la posizione delle dita dell'utente.
- Un modulo software, detto di ambiente virtuale, determina se il dito è in contatto o meno con "l'oggetto virtuale".
- Se vi è contatto, il modulo software calcola la corrispondente forza di contatto.
- I motori dell'interfaccia sono azionati in maniera da indurre la percezione di tale forza di reazione.

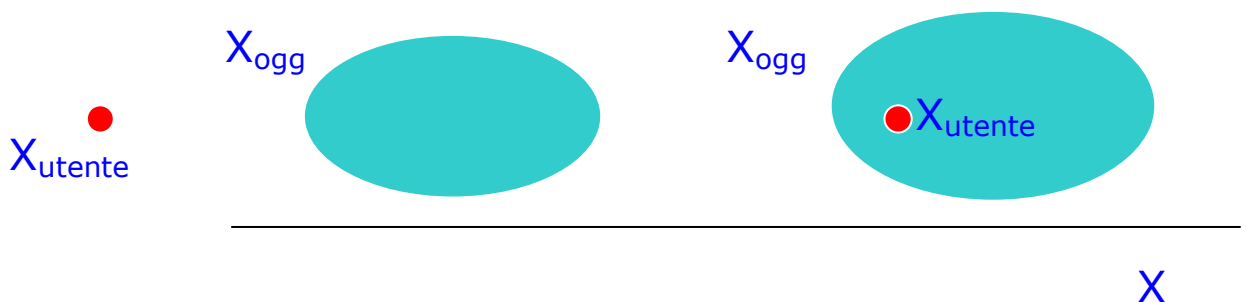


**Fig. 2.1 Oggetti Virtuali intercettati da un'interfaccia aptica**

In questo modo è possibile sia creare il contatto con superfici complesse, sia creare dei vincoli al movimento dell'operatore per guidarlo lungo traiettorie predefinite.

Vediamo in maniera schematica cosa succede, quando il dispositivo aptico entra in collisione con modello virtuale di un oggetto rigido. La forza di reazione come abbiamo già detto è generalmente proporzionale alla distanza di penetrazione e si calcola:

$$F = kx$$



**Fig 2.2 Collisione con oggetto virtuale rigido nella direzione X (1 DOF)**

$X_{utente}$  posizione Utente

$X_{ogg}$  posizione oggetto

$K$  parametro per la rigidita' dell'oggetto

**SE  $X_{utente} > X_{ogg}$ ,**

$$F=k(X_{\text{ogg}}-X_{\text{utente}})$$

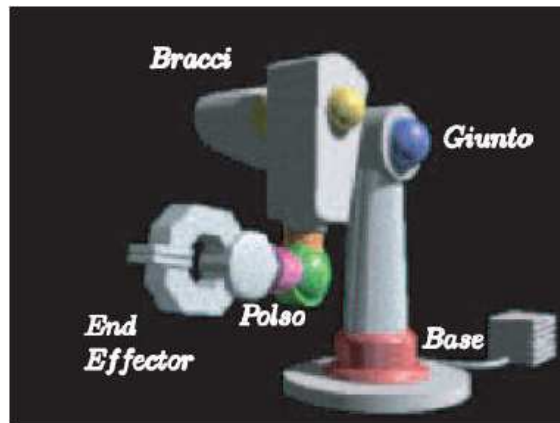
Rigidità (Stiffness)  $k>0$

## 2.4 Descrizione meccanica di un'interfaccia aptica

Un'interfaccia aptica è un dispositivo elettromeccanico costituito da due parti principali:

- Manipolatore: è la parte meccanica vera e propria, ed è costituita da varie componenti (vedi figura pagina successiva):
  1. Una base: fissata nell'ambiente di lavoro o costituita da una piattaforma mobile.
  2. Una serie di *links*: parti rigide di collegamento.
  3. Una serie di giunti: "snodi" che permettono il collegamento tra i *links*.
  4. Un *end-effector*: parte terminale del manipolatore, connesso al resto del dispositivo meccanico attraverso un "polso" che permette all'*end-effector* di muoversi liberamente. [A. F. Abate, 2008]
- Sistema di programmazione e di controllo: è un sofisticato dispositivo di calcolo, composto da un multiprocessore collegato in rete ad altre risorse locali, quali sensori (che servono a misurare la posizione del dispositivo attraverso degli *encoders*), attuatori (che sono gli elementi, in genere elettrici o idraulici, utilizzati per effettuare i movimenti del dispositivo) e controllori (che servono per effettuare il *feedback* sui movimenti del dispositivo).

Le funzionalità richieste ad un sistema di programmazione e di controllo sono l'immagazzinamento dei dati, il controllo dei giunti in tempo reale, il monitoraggio dei sensori, e la capacità di interazione con l'utente [Gregory, A., Lin, M., Gottschalk, S., and Taylor, R., 1999].



**Fig. 2.3 Componenti di un manipolatore industriale**

## **2.5 Parametri di un Interfaccia Aptica**

I parametri fondamentali di un'interfaccia aptica che ne caratterizzano le prestazioni sono di varia natura e risultano fondamentali per la scelta di un tale dispositivo per l'uso in una particolare applicazione. Il parametro basilare di un'interfaccia aptica, è il numero di gradi di libertà dell'interfaccia, in particolar modo dell'*end effector*, che è la parte libera di muoversi. Un altro parametro importante è la dimensione del dispositivo. La dimensione insieme ai gradi di libertà circoscrivono il *workspace* dell'interfaccia aptica.

Possiamo definire **Workspace** come:

**l'insieme delle posizioni raggiungibili dall'*end effector* dell'interfaccia aptica.**

In pratica il volume di spazio in cui l'interfaccia può agire liberamente.

Un altro parametro fondamentale per le HI è la **Trasparenza** dell'interfaccia, che possiamo definirla come:

La capacità dell'interfaccia quando, durante l'utilizzo, non trasmette all'utente alcuno stimolo sensoriale all'infuori di quelli generati nel caso di collisioni con oggetti virtuali.

## 2.6 Funzionamento di un'Interfaccia Aptica

Essi sono dispositivi elettromeccanici di input/output il cui *end-effector* è, da un lato, permanentemente collegato all'arto dell'utente (ad esempio un guanto impugnato dall'utente con dei sensori) e dall'altro è collegato ad un sistema di attuatori.

I movimenti dell'*end-effector* vengono imposti dall'utente e rivelati da un sistema di controllo, che aziona gli attuatori in modo da fornire all'utente il *feedback* di forza in funzione della posizione dell'*end-effector*.

Nelle interfacce aptiche più diffuse questo sistema meccanico è costituito da un braccio articolato su cui è montato una penna, un'esoscheletro di una mano con un guanto, quando gli attuatori sono inattivi il braccio è libero di muoversi secondo la volontà dell'utente, il quale percepisce solo trascurabili forze di attrito, mentre i sensori di tracciamento dell'interfaccia misurano la posizioni e le rotazioni angolari con metodi di cinematica diretta, ed il software dell'interfaccia è in grado di ricostruire il movimento dell'*end-effector*. Tale movimento viene riprodotto nell'ambiente virtuale mediante la visualizzazione di un punto nella scena di simulazione. Se questo punto, dove è posizionato l'*end-effector*, viene a contatto con un oggetto virtuale, il software dell'interfaccia aptica è capace di generare dei *feedback* di forza sull'impugnatura dell'utente [V. Popescu , G. Burdea , M. Bouzit 1999], attivando e controllando gli attuatori, l'utente a sua volta riceve stimoli cinestetici, la sensazione ricevuta è quella di un contatto reale con un oggetto reale identico a quello rappresentato nella simulazione virtuale. Quindi i componenti hardware basilari di un sistema aptico sono: sensori (meccanici, magnetici) ed attuatori (motori elettrici, attuatori pneumatici o idraulici, attuatori piezoelettrici).

## 2.7 Classificazione delle Interfacce Aptiche

In letteratura esistono più metodologie per la classificazione delle interfacce aptiche. Si può effettuare una prima distinzione, che scaturisce dalla posizione della base, che permette di suddividere tali dispositivi in *desktop* e *non-desktop* vediamo come viene fatta la distinzione delle due categorie di interfacce:

**Interfacce desktop o fisse.** Base fissa e posizionabili ovunque in un luogo di lavoro, esse hanno lo svantaggio di non permettere una estensione illimitata del *workspace*.

**Interfacce non desktop o mobili (ad ampio *workspace*).** Base mobile con molti gradi di libertà, caratterizzate dal coinvolgimento nei movimenti dell'intero corpo dell'utente generano sensazioni aptiche su larga scala (ad esempio applicate agli arti inferiori dell'utente). Non disponendo di una base fissa possono essere indossati dall'utente dell'applicazione.

Una seconda distinzione che viene fatta riguarda il comportamento meccanico dell'interfaccia aptica:

- **Interfacce a Impedenza<sup>1</sup>**, che simulano l'impedenza meccanica, generando una forza basandosi sulle misure della posizione.
- **Interfacce ad Ammettenza**, che simulano l'ammettenza meccanica (l'inverso dell'impedenza) si basano su una misura di forza per raggiungere una posizione.

Infine un'ultima classificazione che viene fatta, tra le interfacce aptiche, e' quella strutturale, ed in specialmodo tra i dispositivi cinestetici, (che sono tra i più diffusi e usati nelle applicazioni), distinguiamo le interfacce di tipo:

---

<sup>1</sup> L'*impedenza meccanica* è una misura dell'attitudine di una struttura a mettersi in vibrazione a seguito dell'applicazione di una forza. L'impedenza meccanica di un punto di una struttura è il rapporto tra la forza ad esso applicata e la velocità risultante di quel punto [Wikipedia].

- **Finger-based**, laddove il punto di contatto o i punti di contatto sono sempre le dita dell'utente.
- **Point-based**, laddove esiste un solo punto di contatto tra l'interfaccia e l'utente
- **Hand-based**, laddove i punti di contatto sono sull'intera mano dell'utente
- **Exoskeleton**, laddove i punti di contatto sono su un arto dell'utente

Come precisato, questa distinzione riguarda il punto, o i punti, di contatto tra l'*end-effector* dell'interfaccia ed il mondo virtuale.

## 2.8 Rendering Aptico (*Haptic Rendering*)

Quando si sente parlare di *Haptic Rendering* ci si riferisce alla gestione del *refresh* dell'informazione aptica trasmessa all'utente, in pratica è il processo con il quale si calcolano e si forniscono i ritorni di forza all'utente a partire dalla sua interazione con gli oggetti e l'ambiente virtuale, data la posizione del punto di contatto nell'ambiente virtuale viene fornita la forza generata dall'interfaccia. Quest'operazione ha grandi similitudini rispetto all'operazione di *rendering* della computer grafica, perciò assume la medesima denominazione.

*Haptic rendering* è inteso anche come restituzione di forza all'utente del sistema aptico o più in generale come stimoli sensoriali che comunicano informazioni riguardanti gli oggetti e l'ambiente virtuale.

La sensazione aptica è difficile da riprodurre in maniera convincente perché il senso del tatto è più sensibile del senso della vista. Una scena 3D ha bisogno di essere aggiornata 25/30 volte al secondo (25/30Hz) per essere vista. Il tatto richiede che una sensazione sia aggiornata 1000 volte in un secondo o più (1000Hz, alta frequenza), per ottenere un'esperienza tattile convincente.

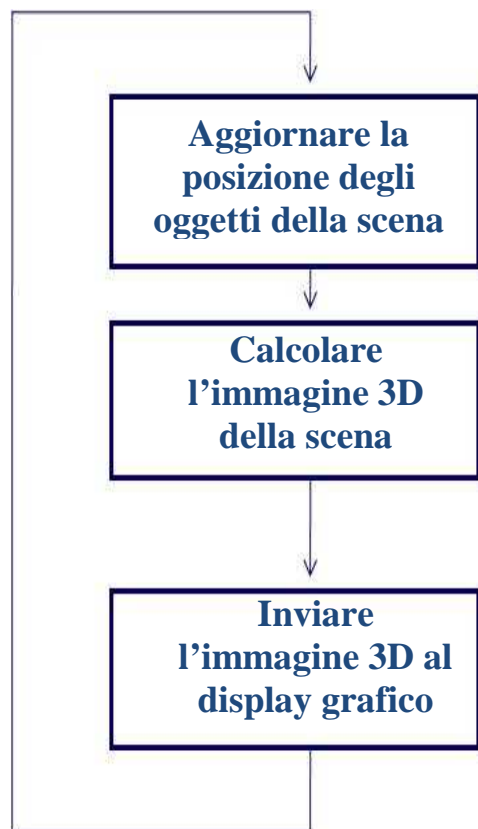


A rendere il tutto ancora più difficile da realizzare in termini di una simulazione che davvero cali l'utente all'interno del sistema è un senso inconscio dell'essere umano conosciuto come **propriocezione** [Eric, Burns , Abigail T. Panter , Matthew R. McCallus , Frederick P. Brooks, Jr] (termine proveniente dal latino *proprium*) vale a dire «percezione inconscia del modello mentale che ogni essere umano ha riguardo allo stato e la disposizione del proprio corpo [anche ad occhi chiusi]» [Mel Slater et al, 2002 ].

In una scena 3D di un ambiente simulato abbiamo di base:

- Oggetti della Scena
- Punto di Vista della Camera
- Sorgenti Luminose

Le azioni principali di un *rendering* visuale a 25-30Hz sono quelle mostrate nello schema seguente:



**Fig. 2.4 Le tre fasi di Rendering Visuale**

Mentre, analogamente, i passi per il rendering aptico a 1000 Hz sono nello schema sotto:

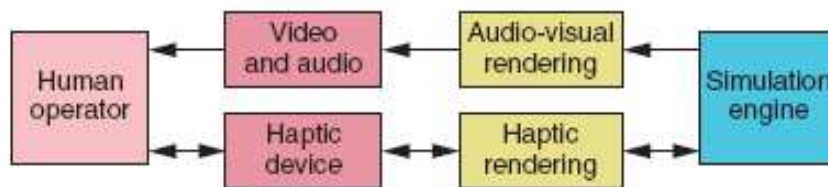


**Fig. 2.5 Le fasi del Rendering Aptico**

Da questi schemi e da ciò che si è detto, si evince che esiste una netta differenza tra il rendering visuale e quello aptico che in qualche modo devono pur essere sincronizzati. Questo detta la necessità di trovare delle soluzioni che portino l'utente a non avere due percezioni, tattile e visiva, distinte. [Singh, U. and Fearing, R.S 1998]

L'analogia tra l'elaborazione del rendering visuale e il rendering aptico si coglie anche nel semplice caso di una sfera renderizzata con semplici tecniche di *shading*, colorazione dei pixel in base ad algoritmo elementare di *shading*, sembrerà diversa dalla stessa sfera renderizzata con tecniche di *ray-tracing* avanzato; allo stesso modo, una sfera su cui agiranno algoritmi semplici di *haptic rendering*, restituirà sensazioni di forza diverse, dal caso in cui sulla stessa sfera, si applicano algoritmi

di *rendering* aptico, che tengono conto di informazioni relative alla tessitura e all'attrito di superficie dell'oggetto.



**Fig. 2.6 Architettura di base per un'applicazione di realtà virtuale che incorpora *rendering* audio-visuale, e *feedback* aptico.**

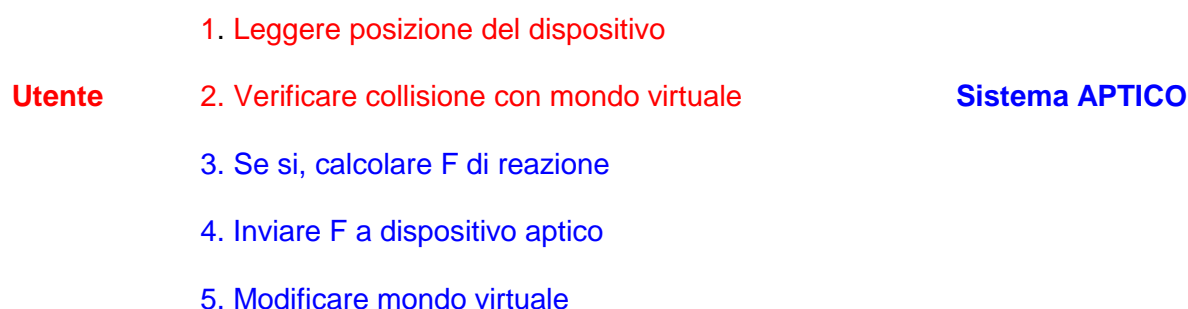
Gli algoritmi di rendering aptico sono utilizzati per calcolare il più correttamente possibile le forze d'interazione tra l'*avatar* e l'ambiente virtuale, laddove per *avatar*, in questo caso, si intende la rappresentazione virtuale dell'interfaccia aptica all'interno del "*virtual environment*", che permette l'interazione fisica dell'utente con l'ambiente stesso. Un algoritmo di *rendering* aptico contiene al suo interno tre blocchi principali:

- **Collision detection:** l'algoritmo per la *collision detection* serve per identificare le collisioni che avvengono tra l'*avatar* e gli oggetti all'interno dell'ambiente virtuale.
- **Force-response:** l'algoritmo per il *force-response* serve per calcolare le forze scaturite dal contatto tra l'*avatar* e gli oggetti dell'ambiente virtuale (nel caso in cui avvenga almeno una collisione). Spesso però, a causa delle limitazioni fisiche del dispositivo aptico, non è possibile riprodurre nel modo migliore le forze, e pertanto, si rende necessario attuare un blocco in cui viene effettuato il controllo di forza.
- **Controllo di forza:** l'algoritmo per il controllo di forza permette di minimizzare l'errore tra la forza ideale che è percepita durante un contatto e quella realmente applicabile dal dispositivo.

Nonostante non ci siano delle regole precise riguardo la scelta della frequenza di ripetizione di un algoritmo di *rendering* aptico, spesso si adotta una frequenza di 1 KHz (1000 Hz) o che tende a 1 KHz. Tale scelta, infatti, è un compromesso accettabile che permette, da un lato, la rappresentazione di oggetti abbastanza complessi attraverso un'impedenza ragionevole, dall'altro una complessità di calcolo non troppo elevata. Certo una frequenza più elevata permetterebbe l'utilizzo di oggetti molto più dettagliati e complessi, a scapito però delle prestazioni che, in questo modo, necessiterebbero dell'utilizzo di calcolatori molto più potenti e di conseguenza costi maggiori [A. F. Abate, G. Acampora, V. Loia, S. Ricciardi, A. V. Vasilakos] 2010].

## 2.8.1 Interazione Aptica

Si intende per **Interazione Aptica** la relazione bidirezionale che si stabilisce tra l'utente e l'interfaccia aptica, che consta di una serie di azioni che si possono schematizzare in questo modo:



**Fig. 2.7 Schema Interazione Aptica**

Le azioni colorate in rosso sono fatte dall'utente verso il sistema aptico mediante i sensori, mentre le azioni colorate in blu sono effettuate dal sistema mediante gli attuatori che calcolano le forze di ritorno. Queste interazioni possono essere tra una mano umana e un oggetto reale; un *end-effector* di un robot e un oggetto reale; una mano umana e un oggetto simulato (via interfaccia aptica); [Jansson, G 2000]

Per concludere, possiamo dire che l'**Interazione Aptica** è *simmetrica* e *bidirezionale*, laddove il flusso di informazioni e gli stimoli partono e tornano all'utente [Ruspini, D. C., Kolarov, K., & Khatib, O. 1997].

## 2.9 Librerie Aptiche

Contrariamente alla grafica 3D, è bene subito precisarlo, non esistono **librerie aptiche** standard. Nella grafica 3D, abbiamo Direct3D o OpenGL che permettono di semplificare la creazione di applicazioni visuali. La maggior parte delle **Librerie aptiche** sono dedicate a un dispositivo, di solito sono sviluppate, per uno specifico

dispositivo, direttamente dalla società che fornisce quell'interfaccia. Ogni dispositivo **aptico** supporta API (*Application Programming Interface*) specifiche che includono librerie grafiche, algoritmi di **haptic rendering**, algoritmi di *collision detection*, e in dei casi, supporto limitato per *tool* grafici. L'idea di fondo sarebbe, di avere un *Framework* comune che faciliti lo sviluppo di applicazioni aptiche esistenti, basate su uno specifico dispositivo, o la creazione di nuove applicazioni, che possano supportare più dispositivi aptici operanti in un ambiente virtuale.

Support Device	CHAI 3D	VirtualHand	Reachin	GHOST	OpenHaptics
Phantom Omni	Yes	No	No	No	Yes
Phantom Desktop	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Phantom Premium	Yes	No	No	Yes	Yes
CyberForce	No	Yes	No	No	No
Other	Yes	No	No	No	No

**Tabella 1: API e dispositivi Aptici**

Dalla Tabella precedente, che raccoglie un sottoinsieme dei dispositivi, esistenti in commercio, e alcuni ambienti di sviluppo, si evince che:

la libreria aptica **CHAI 3D** è il solo componente di sviluppo che supporta differenti dispositivi aptici non appartenenti alla stessa categoria.

### **2.9.1 Problematiche delle Librerie Aptiche**

I problemi che emergono analizzando la tabella sopra sono già stati accennati in parte ma, in questo paragrafo, facciamo una disamina più approfondita, in primis:

**Le librerie aptiche sono associate con le singole apparecchiature e non sono interscambiabili**, in pratica una libreria aptica non può essere usata per sviluppare applicazioni che impiegano altri dispositivi.

**Diversità strutturale di ogni dispositivo di interfaccia**, ad esempio il dispositivo creato da Immersion, **CyberForce** e' un dispositivo di tipo **Hand-based**, mentre il dispositivo realizzato dalla **SensAble, Phantom Omni** e' un dispositivo di tipo **Point-based** (nel paragrafo successivo elencheremo alcuni dei dispositivi aptici piu' diffusi e utilizzati).

**Diversità ed eterogeneità del software con cui sviluppare applicazioni**, alcuni software sono proprietari e chiusi allo sviluppo collaborativo, altri, ma pochi a dire il vero, sono di tipo Open Source. I linguaggi di programmazione utilizzati per lo sviluppo sono diversi a seconda del dispositivo e dell'applicazione da interfacciare e sviluppare, i più utilizzati sono i linguaggi C, C++, Visual C ++, e più recentemente Java.

**Diversità delle Applicazioni Aptiche**, abbiamo in letteratura applicazioni che abbracciano settori tra i più diversi e disparati quali: Entertainment, Medicina, Riabilitazione, Formazione e Training, Virtual Reality, Multi-media publishing, Supervisione di Sistemi Complessi.

Vediamo ora lo schema generico di un'applicazione Aptica

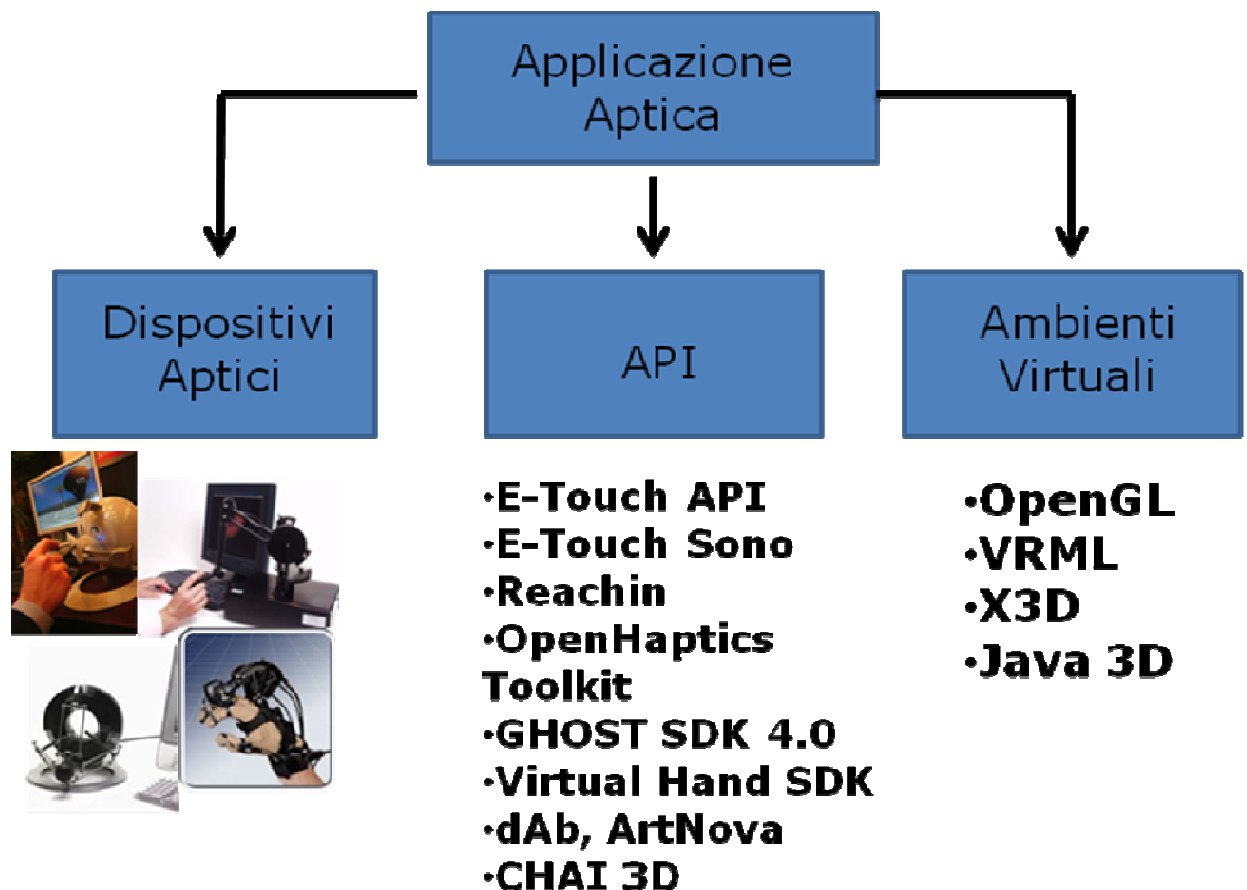


Figura 2.8 schema a blocchi Applicazione Aptica

## 2.10 Esempi di Interfacce Aptiche

In questo paragrafo daremo un *overview* sui dispositivi aptici presenti sul mercato in questo momento, elencando le loro caratteristiche principali. I primi che presentiamo, sono i più diffusi nel mondo della ricerca, sia industriale sia scientifica, e sono classificati come dispositivi **cinestetici**.

**Novint Falcon** ([www.novint.com](http://www.novint.com)) e' un dispositivo **di tipo Point-based** (a singolo punto di contatto) di tipo *Low DOF* (1 a 3 gradi di libertà). Questa particolare interfaccia aptica è stata pensata e prodotta per il mercato *consumer*, dato che costa solo poche decine di euro e non ha la precisione di altre interfacce che si utilizzano in ambiti specifici (Medicina, Riabilitazione, Formazione e Training, *Virtual*



*Reality*, Supervisione di Sistemi Complessi), inoltre ha un modulo software *Open source* che si chiama **E-Touch**.



**Fig. 2.9** Novint Falcon

**PHANTOM Omni** di **SensAble Technologies** ([www.sensable.com](http://www.sensable.com)) è un modello di interfaccia aptica di tipo **Point-based**, utilizzato nell'industria e nella ricerca, perché è il più economico disponibile oggi. È un'interfaccia a sei gradi di libertà, ha un design portatile e compatto, e un'interfaccia comune di porta, IEEE-1394 *FireWire* che assicura un'installazione rapida e gran facilità all'uso. Costruito con componenti di metallo e plastica, che assicurano leggerezza del dispositivo e quindi una facile trasportabilità dello stesso. Esso è dotato di uno stilo rimovibile per personalizzazioni delle applicazioni utente ma consente di lavorare solo su *workspace* limitati.



**Fig. 2.10 Phantom Omni Sensable Technologies**

**QUANSER** è un pantografo planare, esso è un dispositivo di tipo **Point-based** (a singolo punto di contatto) con pochi gradi di libertà tipicamente da 1 a 3. Può essere controllato in tempo reale dal software scientifico **Matlab** che è molto utilizzato in ambito scientifico.



**Fig. 2.11 Quanser**

**PHANTOM Premium** ([www.sensable.com](http://www.sensable.com)) è un'interfaccia **Finger-based** di tipo High DOF (da 4 a 6 gradi di libertà), offre un ampio *range* di force-feedback, inoltre un ampio *range* di movimento, rigidità, e forza a motore per adattare gli specifici

requisiti di progetti di ricerca diversi. I modelli 1.0, 1.5, e 3.0 offrono tre gradi di libertà per la posizione e tre gradi di libertà per i ritorni di forza.

Un *encoder* stilo può essere acquistato separatamente per i modelli 1.0, 1.5 e 3.0, in pratica un'apparecchiatura che abilita la misurazione di tre gradi di libertà supplementari, i sensori posizionali per la rotazione (*yaw*, *pitch*, *roll*). Un dispositivo **PHANTOM Premium 1.5 HF** (Forza Elevata) è disponibile, e include un'attuatore incorporato che fornisce forze più alte.

Infine le sue peculiarità principali, che lo rendono uno dei dispositivi aptici più utilizzati per le applicazioni di ricerca [Ho, C., Basdogan, C., & Srinivasan, M. (1997)], le possiamo riassumere in tre punti salienti:

- Braccia in carbonio e plastica
- Sei DOF di cui quattro DOF in uscita
- Interruttore multifunzione per il controllo del sistema



**Fig. 2.11 PHANTOM Premium 1.5**

**SISTEMA CYBERFORCE**, ideato e costruito dalla Immersion ([www.cyberglovesystems.com](http://www.cyberglovesystems.com)) e' classificato come un'interfaccia **Hand-based** di tipo High DOF (da quattro a sei gradi di libertà, traslazione lungo i tre assi x, y, z, e rotazione della mano secondo i tre angoli), e' un sistema aptico immersivo a ritorno di forza, nel capitolo successivo daremo una descrizione più dettagliata, in quanto quest'interfaccia e' in dotazione al VRLab del Dipartimento di Matematica e

Informatica dell'Università degli Studi di Salerno e su questo dispositivo sono state sviluppate delle applicazioni e dei prototipi.



**Fig. 2.12 Sistema Cyberforce**

**SISTEMA OMEGA** ([www.forcedimension.com](http://www.forcedimension.com)) è un dispositivo **Point-based** di tipo High DOF (da 4 a 6 gradi di libertà).

Esso offre una combinazione di forza e precisione, rendendo il prodotto perfetto per applicazioni industriali. Fra le sue tante innovazioni, è il primo dispositivo aptico che presenta un'interfaccia di comunicazione USB 2.0, inoltre supporta anche lo standard della **Force Dimension** con scheda PCI-I/O High Performance, per ricercatori che richiedono elevato controllo sul comportamento dei dispositivi.

Il software API (DHD-API) fornito con il Sistema Omega è un software aperto.



**Fig. 2.13 Sistema Omega**

**SISTEMA DELTA** della **Force Dimension** ([www.forcedimension.com](http://www.forcedimension.com)) è un attuatore a tre o a sei gradi di libertà (ve ne sono due versioni), può arrivare fino a 20N di potenza ed è utilizzato per aree di lavoro ampie. Quindi il sistema Delta, grazie alla sua concezione meccanica, può convogliare grandi *range* di forze su grandi aree di lavoro, diversamente da altre interfacce aptiche che hanno limitate capacità di forza o agiscono su piccole aree di lavoro.



**Fig 2.14 Sistema Delta**

**HAPTION VIRTUOSE** ([www.haption.com](http://www.haption.com)) è un interfaccia di tipo **Point-based** offre forze di retroazione su tutti i sei gradi di libertà in un ampio *workspace*. È un dispositivo raccomandato per manipolare oggetti virtuali in casi di simulazione di assemblaggio/disassemblaggio di componenti, studi ergonomici, o addestramento a scopo di manutenzione. Esso è stato progettato per essere modulare [P.Gallina, G.Rosati, A.Rossi 2000], infatti, può essere acquistato come un'apparecchiatura con 3-

DOF, e prevede opzionalmente un aggiornamento a 6-DOF in modo che possono essere adattati alle specifiche necessità. Come tutti i dispositivi di Haption possiedono proprie risorse di calcolo, per ridurre il carico di CPU della workstation che li sovrintende.



**Fig. 2.15 Interfaccia Haption Virtuouse**

**Riassumendo le caratteristiche del dispositivo:**

- Forza di retroazione su tutti e 6 gradi di libertà (3 traslazioni e 3 rotazioni).
- *Workspace* operativo che corrisponde ai movimenti di un avambraccio umano.
- Forza massima di 35N, in pratica abbastanza elevata da simulare il maneggio di oggetti pesanti.
- Massima coppia di rotazione di 3 Nm, in pratica elevata abbastanza per maneggiare con entrambe le mani grandi oggetti virtuali.
- Peso ridotto, quindi trasportabile senza specifica attrezzatura.
- Kit di sviluppo (API) disponibile per tutti i più diffusi sistemi operativi.

- Compatibilità con le applicazioni software più diffuse sul mercato oggi, usando plug-in dedicati: **Vortex™**, **Havok™**, **ODE**, **Catia™ V5**, **OpenMask**, etc.
- *End-effector* modulare dotato di commutatori programmabili.

**LIGHT ARM EXOSKELETON** è un'interfaccia di tipo **Exoskeleton**, classificata come *Very High DOF*, progettato e costruito dall'Istituto **PERCRO** – PERCeptual RObotics (Scuola Sant'Anna di Pisa).

Esso è un dispositivo robotico con cinematica seriale di tipo antropomorfo con 5 gradi di libertà coincidenti con quelli dell'arto umano. Il **Light Arm Exos** è in grado di rilevare la configurazione del braccio umano e di esercitare forze sul palmo della mano, braccio e avambraccio durante applicazioni sia statiche sia dinamiche, così da consentire la simulazione del contatto con oggetti rappresentati in un ambiente virtuale.



**Fig. 2.16 Light Arm Exoskeleton (PERCRO Scuola Sant'Anna di Pisa)**

### **2.10.1 Dispositivi tattili**

I dispositivi tattili, sono poco utilizzati rispetto ai dispositivi cinestetici che abbiamo visto finora, vi sono poche applicazioni sia in campo scientifico sia in campo industriale, tra i dispositivi tattili distinguiamo:

- **Dispositivi termici**
- **Dispositivi vibrotattili**

I dispositivi termici sono utilizzati per il rilevamento della temperatura, mentre i dispositivi vibrotattili, sono utilizzati per applicazioni rivolte a non udenti consentendo loro di provare sensazioni audio sotto forma di vibrazioni tattili. La sensibilità alla stimolazione è differente da parte a parte del corpo e si ha la massima ricettività sui polpastrelli delle dita.



**Fig. 2.17 Dispositivi tattili (Termico a sinistra, Vibrotattile a destra)**

## **2.11 Applicazioni delle Interfacce Aptiche**

Con l'evolvere delle tecnologie sono diventate davvero molteplici le aree di interesse delle applicazioni aptiche. Elencheremo, di seguito, le più importanti applicazioni delle HI.

***Esplorazione di ambienti rischiosi:*** le HI possono migliorare la quantità e qualità di informazioni disponibili all'operatore durante operazioni di telemanipolazione di un robot quando si ha che fare con materiale inaccessibile o rischioso. In tali casi è importante per l'operatore umano capire il comportamento del robot per ridurre il rischio di incidenti ed il tempo per compiere il compito assegnato. Esempi emblematici di questa classe sono le applicazioni per l'esplorazione mediante bracci meccanici dello spazio o dei fondali marini.



**Manipolazione di strutture micro/Nano:** i fisici usano Microscopi di Forza Atomici (AFMs) per ottenere immagini a scala molto ridotta. Viene connessa un HI di tipo Omega all'AFM in modo che l'operatore può prendere il controllo la sonda. Il movimento della mano dell'utente viene ridotto di un fattore di un milione di volte ed applicato alla sonda. La deviazione del raggio che corrisponde ad una forza infinitesima, è scalato su un milione di volte, ed applicato alla mano dell'utente. Il risultato finale è un *nano-manipolatore*, per mezzo del quale i fisici non solo possono sentire la forma della materia, ma anche graffiare , tagliare o trasportare le strutture molecolari.

**Riabilitazione:** le HI possono essere usate per migliorare le condizioni di lavoro per persone con deficit visivi o con disabilità motorie.

**Multi-media publishing:** Le applicazioni multimediali più comuni includono testo, suono, immagini e video; l'uso delle HI permetterà, per esempio, di realizzare cataloghi multimediali in cui il cliente possa sentire differenti tipi di materiale.

**Realtà Virtuale:** le HI aumentano la componente di interazione tra l'utente e la realtà dell'ambiente ricostruito (oggetti o eventuali personaggi di una scena virtuale).

**Giochi:** le HI sono già una realtà commerciale nel comparto dell'intrattenimento. L'introduzione del canale tattile può migliorare notevolmente l'esperienza di gioco soprattutto nelle simulazioni, dove il senso di immersione può essere maggiormente amplificato.

**Supervisione di Sistemi Complessi:** Il senso del tatto può essere usato per alleggerire e ridurre gli stimoli visivi che giungono a un operatore di macchinari.

**Formazione e Addestramento in medicina:** sicuramente una delle aree di maggiore interesse per il nostro lavoro di tesi, vengono usate le simulazioni aptiche, particolarmente in quei campi dove l'addestramento tramite metodi tradizionali è

molto costoso o vi è disponibilità limitata (come ad esempio pazienti chirurgici), come nel caso della chirurgia, della ginecologia, dell'ostetricia. Queste interfacce rappresentano anche validi supporti per le indagini mediche, per l'apprendimento cognitivo ed il senso motorio, per il recupero, la formazione o il consolidamento di determinate abilità manuali che richiedono un'interazione precisa con l'ambiente e più in generale nell'insegnamento di particolari compiti.

Come già sottolineato, l'insegnamento di capacità manuali è un compito difficile e dispendioso in termini di costi. Il metodo più efficace è quello di avere un addestratore esperto che interagisca fisicamente con l'allievo. Un tale addestramento comporta un basso rapporto allievo/addestratore. Se fosse possibile avere un sistema capace di mostrare compiti manuali a un gruppo di studenti, non solo i costi sarebbero drasticamente tagliati, ma la qualità dell'insegnamento ne risulterebbe migliorata. Nell'addestramento chirurgico possiamo includere un sistema di addestramento medico che usa un simulatore e mediante la realtà virtuale, dove il sistema aptico fornisce ai medici il senso del "tatto" di pazienti virtuali. Entrano in gioco quindi l'uso di *force feedback* per interagire con modelli di oggetto volumetrici e deformazione interattiva di modellazione e taglio di tessuti molli usando grafica volumetrica e tecniche di rendering volumetriche in tempo reale.

### **Formazione e Addestramento per la Manutenzione Industriale:**

L'uso delle Interfacce Aptiche per scopi di addestramento in sistemi di manutenzione industriale o l'addestramento in sistemi che possono essere pericolosi per gli utenti manutentori. Quest'ultimo sarà un ambito di grande interesse per il nostro lavoro di tesi.

## **Capitolo 3**

### **Sistema Immersivo Aptico del VRLab (DMI UNISA)**

### 3.1 Introduzione

Il sistema immersivo aptico del VRLab del D.M.I. può essere classificato come un **dispositivo cinestetico (*force feedback*) ad interfaccia Hand-based fissa**. Questa apparecchiatura offre un naturale modo di interfacciarsi a mondi 3D, generati dal computer, e di controllare *end-effectors* in applicazioni telerobotiche che richiedono un alto livello di destrezza. I possibili campi di applicazione includono: CAD (*Computer Aided Design*), **addestramento e manutenzione industriale**, simulazione, **realtà virtuale**, *prototyping* rapido, telerobotica, **addestramento medico**, esplorazione subacquea e operazioni di salvataggio. I campi evidenziati saranno argomento dei capitoli successivi dove tratteremo applicazioni delle interfacce aptiche in questi ambiti scientifici.

### 3.2 Componenti principali Hardware/Software del sistema

La finalità di un sistema immersivo aptico a ritorno di forza, consiste nella capacità di interagire con oggetti e ambientazioni virtuali.

L'interazione avviene sia sotto il punto di vista visivo, attraverso un visore stereoscopico HMD (*Head Mounted Display*), sia sotto il profilo aptico, componendo così un'interfaccia aptica multimodale, che fornisce l'immersività, che sotto il profilo tattile e di contatto, attraverso un esoscheletro che simula perfettamente le reazioni aptiche, come l'impossibilità di penetrare un corpo solido, la sensazione di peso di un oggetto, la durezza, la rugosità o la gommosità dei materiali, l'inerzia, ecc.

Il sistema immersivo aptico a ritorno di forza consta dei seguenti cinque componenti fondamentali e imprescindibili:

- **Workstation Grafica HP XW9400** con processore **AMD Opteron 64** che consente la visualizzazione immersiva di un ambiente virtuale con estrema

precisione e fluidità di movimenti e allo stesso tempo gestisca le reazioni aptiche del sistema a ritorno di forza (in collegamento con la FCU vedere in seguito).

Scheda grafica con acceleratore a elevate prestazioni **Nvidia Quadro FX 3500**

[www.nvidia.com](http://www.nvidia.com)

**Specifiche Tecniche acceleratore grafico Nvidia Quadro FX-3500:**

<b>Memoria video:</b>	1.5 GB SDRAM
<b>Bus interno: ,</b>	384 bit
<b>Banda passante:</b>	76,8 GB/sec.
<b>Uscite Video:</b>	doppia uscita DVI-I e uscita di SYNC stereoscopico attiva in formato mini-DIN
<b>Sistema Operativo</b>	Windows XP SP3



**Fig. 3.1 Scheda Grafica NVIDIA Quadro**

- Il **sistema aptico Immersion CyberForce**, esso permette la simulazione delle interazioni di forza con oggetti virtuali. E' dotato di un sistema di *tracking* che permette il tracciamento dei movimenti della mano.

Si compone principalmente di:

- **FCU (Force Control Unit):** Unità di controllo del sistema aptico
- **PSU (Power Supply Unit):** Alimentatore del motore del sistema aptico
- **CyberForce Armature:** Esoscheletro del braccio
- **CyberGrasp:** Esoscheletro da montare sul guanto
- **CyberGrasp Actuator:** Attuatore collegato al CyberGrasp
- **CyberGlove:** Guanto a 22 sensori
- Un visore stereoscopico HMD (Head Mounted Display) eMagin Z800 <http://www.3dvisor.com> che consente l'immersività con l'ambientazione virtuale, collegato a un sistema di motion tracking Flock of Birds (Ascension Technologies) <http://www.ascension-tech.com/>.



**Fig. 3.2 Visore per Realtà Virtuale Immersiva**

Alcuni **software** che permettano non soltanto la gestione di questo sistema complesso ma anche il suo utilizzo ottimale attraverso delle funzioni che ne completino l'utilità.

- **VirtualHand SDK** per Microsoft Windows NT/2000/XP e drivers plug-in per Autodesk Motion Builder -VirtualHand for Motion Builder.

- **Autodesk Motion Builder** per creare animazioni in tempo reale e per scambiare facilmente file grafici con ogni pacchetto software per la creazione di contenuti che supportino il formato FBX

- **NaturalMotion Endorphin** per la generazione automatica di animazioni di personaggi anche con importazione di dati processati da Autodesk Motion Builder.

In pratica, il centro dell'interfaccia è il sistema **CyberGlove**, un guanto a 22 sensori usati per misurare gli angoli delle dita. Queste informazioni sono usate dall'host per mostrare il grafico della mano sullo schermo. Il **CyberGrasp** è un esoscheletro che si lega al dorso della mano e guida i tendini nell'applicare la forza alle punte delle dita. Esso ha la responsabilità di fornire reazioni di forza (**force feedbacks**) alle singole dita. Il sistema **CyberForce** misura la posizione e l'orientamento della mano (6 gradi di libertà) e genera un ritorno di forza di traslazione (3 gradi di libertà).

**L'Unità di Controllo della Forza (FCU)** è l'interfaccia fra i dispositivi indossati dall'utente e il computer *host* i quali comunicano via rete *Ethernet*. Il computer *host* ha bisogno solamente di comunicare col FCU, il quale a turno comunica con ogni altra periferica (**CyberGlove, CyberGrasp, e CyberForce**).

Vediamo più in dettaglio le tre periferiche del sistema aptico a partire dalla più esterna.

### **3.3 Dispositivi Periferici**

**CyberForce Armature** (Esoscheletro del braccio), come suggerisce il nome è un'armatura a ritorno di forza che non solo trasmette le forze di terra per la mano e per il braccio, ma fornisce il tracciamento dei sei gradi di libertà che misurano esattamente la traslazione e la rotazione della mano nelle tre dimensioni.

Questo sistema è stato progettato per funzionare con l'esoscheletro **CyberGrasp**, che si adagia su un guanto **CyberGlove** e aggiunge, come già detto, *feedback* di forza a ogni singolo dito.

**Specifiche Tecniche CyberForce Armature:**

<b>Forza Generazione:</b>	8.8 N Max (6.6 N min).
<b>Peso Armatura:</b>	8.6 kg (Peso non include il sistema CyberGrasp).
<b>Workspace:</b>	(30.5 x 30.5 cm) spazia attraverso 133° con raggio di 51 cm.
<b>Risoluzione di Posizione Decisione:</b>	0.06mm Max; 0.073 mm min
<b>Risoluzione di Orientamento</b>	: 0.09°
<b>Unità di strumentazione:</b>	Unità del Controllo della forza (FCU) e alimentazione elettrica inclusa.
<b>Interfaccia di Comunicazione:</b>	Ethernet (10/100Mbps).



### 3.4 CyberGrasp (Esoscheletro)

L'apparecchiatura dell'esoscheletro **CyberGrasp** è di peso leggero, Con questo sistema a reazione di forza, gli utenti sono capaci di sentire la dimensione e la forma di oggetti 3D, generati dal computer, in un mondo virtuale e simulato.

Ci sono cinque attuatori di forza (**actuators**), uno per ogni dito che possono essere programmati individualmente per impedire alle dita dell'utente di penetrare o schiacciare un oggetto virtuale solido. Gli attuatori di forza, a elevata ampiezza di banda, sono localizzati in un piccolo modulo hardware. L'apparecchiatura esercita forze di presa che sono perpendicolari alle punte delle dita in tutto il *range* di movimenti, e queste forze possono essere specificate individualmente per le singole dita. Il sistema **CyberGrasp** permette il pieno movimento della mano e non ostruisce i movimenti dell'indossatore. L'apparecchiatura è completamente adattabile e progettata per andare bene a una gran varietà di mani.

#### Specifiche tecniche del sistema CyberGrasp:

<b>Forza:</b>	12 N per dito (Max, continuo).
<b>Peso:</b>	16 onces (Esoscheletro senza il sistema di CyberGlove).
<b>Workspace:</b>	Raggio sferico di 1 metro dal Modulo Attuatore di forza.
<b>CyberGlove:</b>	(CyberGlove 22-sensori). Un'apparecchiatura di CyberGlove è richiesta per un sistema di CyberGrasp.
<b>Unità di strumentazione:</b>	Unità del Controllo della forza (FCU) e Modulo Attuatore incluso.
<b>Interfaccia di Comunicazione:</b>	Ethernet (10/100Mbps).



**Fig. 3.3 Esoscheletro CyberGrasp**

### 3.5 CyberGlove

Il CyberGlove è un guanto strumentato che offre fino a 22 misurazioni ad alta precisione. Esso utilizza una tecnologia proprietaria di sensori per trasformare in modo accurato i movimenti della mano e delle dita in tempo reale in dati digitali. Il modello a 22 sensori dispone di tre sensori per flessione dito, quattro sensori di abduzione, un sensore per il palmo, e sensori per il polso e la flessione di abduzione. Ogni sensore è molto sottile e flessibile, e risultano praticamente invisibili sul guanto elastico.

Il CyberGlove è stato utilizzato in una vasta gamma di applicazioni del mondo reale, compresa la realtà virtuale, animazione, *motion capture*, la riabilitazione medica, e biomeccanica. Esso è divenuto lo standard de facto per sensori della mano ad alte prestazioni e *motion capture* in tempo reale. Per comodità il CyberGlove è costruito con tessuto elastico e a maglia reticolare per la ventilazione [Carmel R, Ullrich C, Silver J 2001].

Il sistema CyberGlove comprende un CyberGlove e la sua unità di interfaccia. La maggior parte delle applicazioni richiedono la misurazione della posizione e dell'orientamento dell'avambraccio nello spazio. Per fare questo, sensori di tracciamento sono disponibili per il polsino del guanto. Questi sensori sono supportati dal software VirtualHand [DesRosiers, H., Gomez, D., Tremblay, M., & Ullrich, C. (2001)].

### Specifiche Tecniche CyberGlove

<b>Risoluzione del sensore:</b>	<1 grado
<b>Sensore di ripetibilità:</b>	3 gradi (media deviazione standard tra wearings)
<b>Sensore linearità:</b>	massimo 0,6% nonlinearity più completa gamma comune
<b>Sensor Data Rate:</b>	90 record/sec (tipico)
<b>Guanto:</b>	Dimensione più adatta; 3 once
<b>Unità per l'interfaccia:</b>	(7,62 x 11,56 x 2,64 cm)
<b>Cavo:</b>	Standard 7.62m
<b>Interfaccia:</b>	RS-232 (115,2 kbaud)

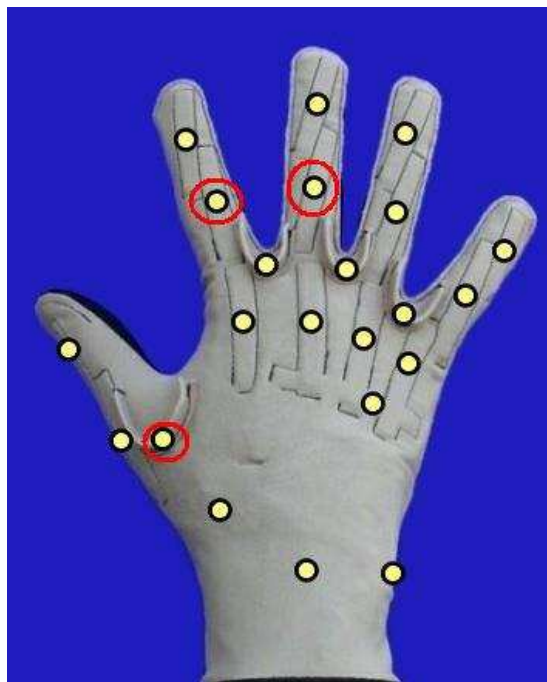
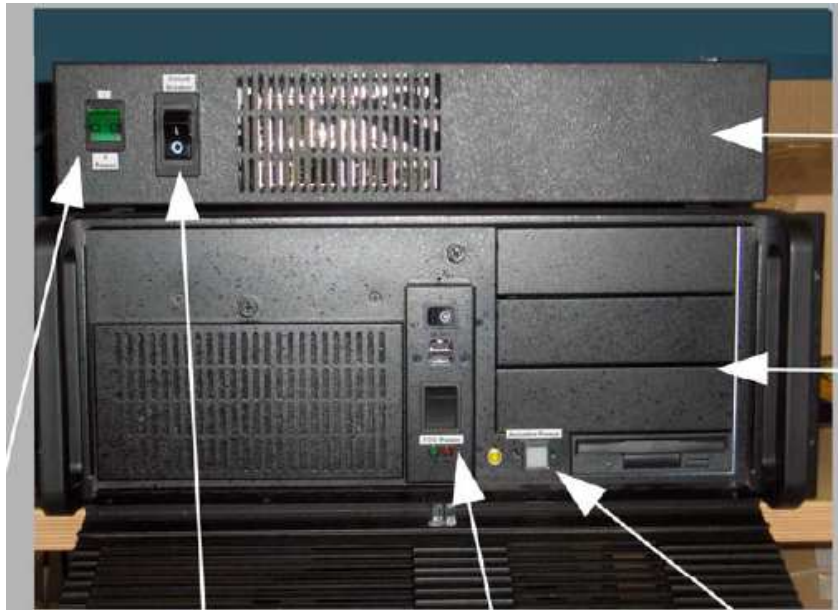
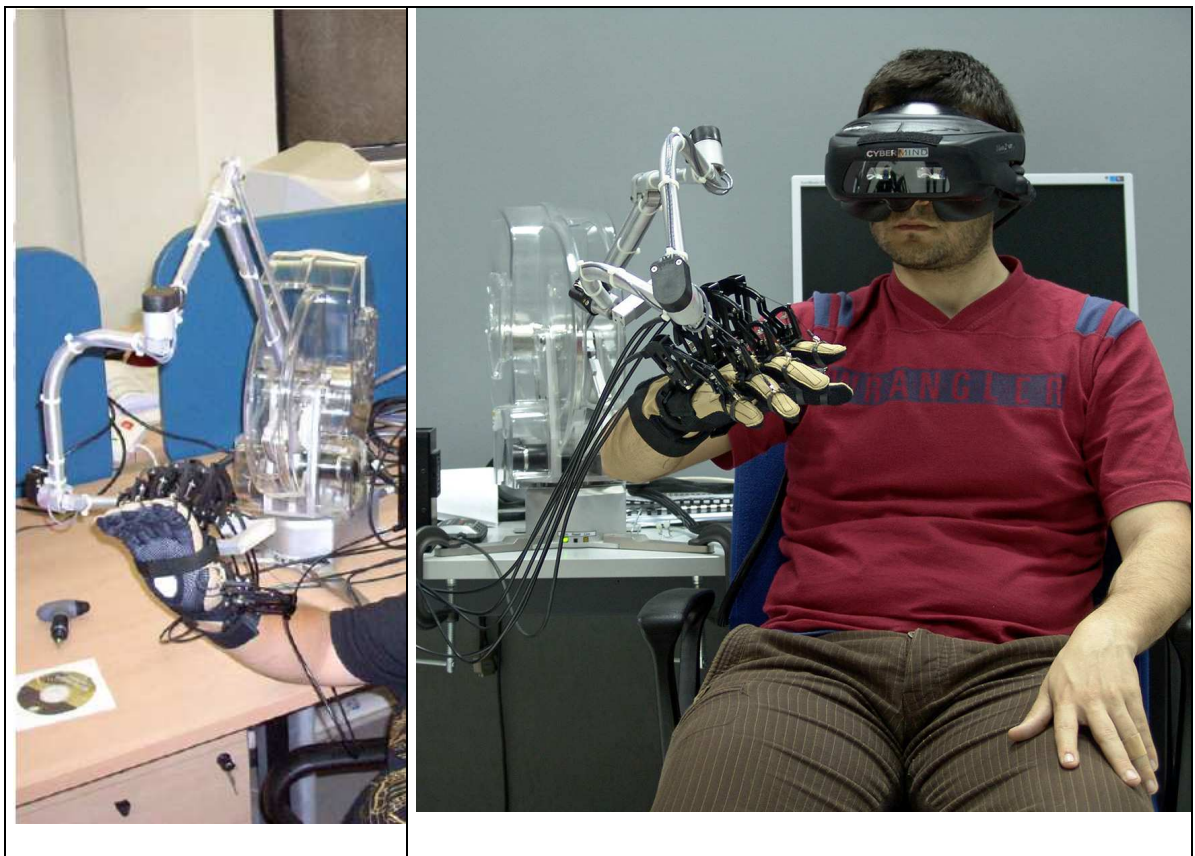


Fig. 3.4 CyberGlove a 22 sensori, alcuni sensori sono cerchiati in rosso

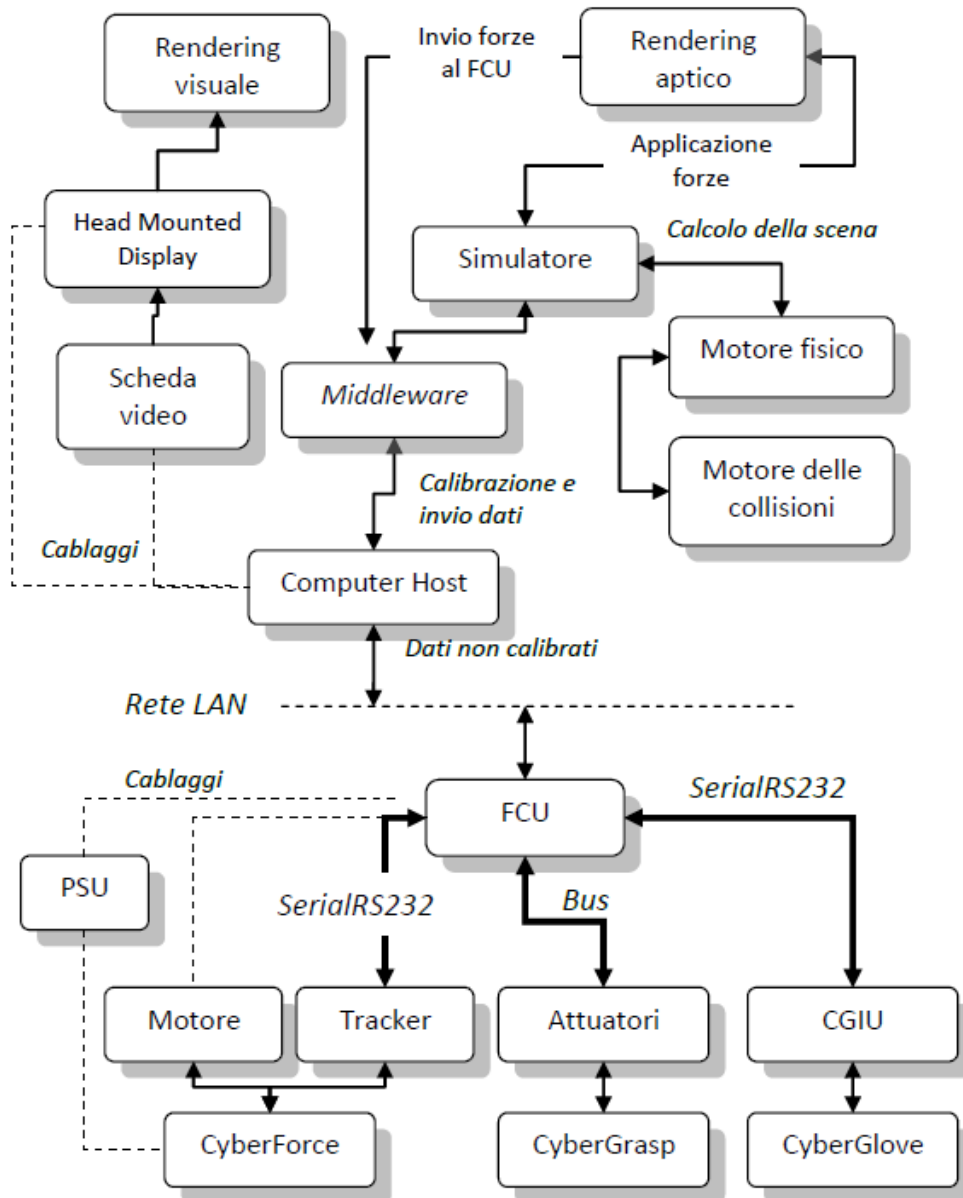


**Fig. 3.5 FCU Unità di controllo (Force Control Unit):**

Unità di controllo del sistema. Le frecce bianche indicano i led e gli interruttori da azionare e tenere sotto controllo nel FCU.



**Fig. 3.6a Sistema aptico immersivo CyberForce    3.6b Postazione Aptica**



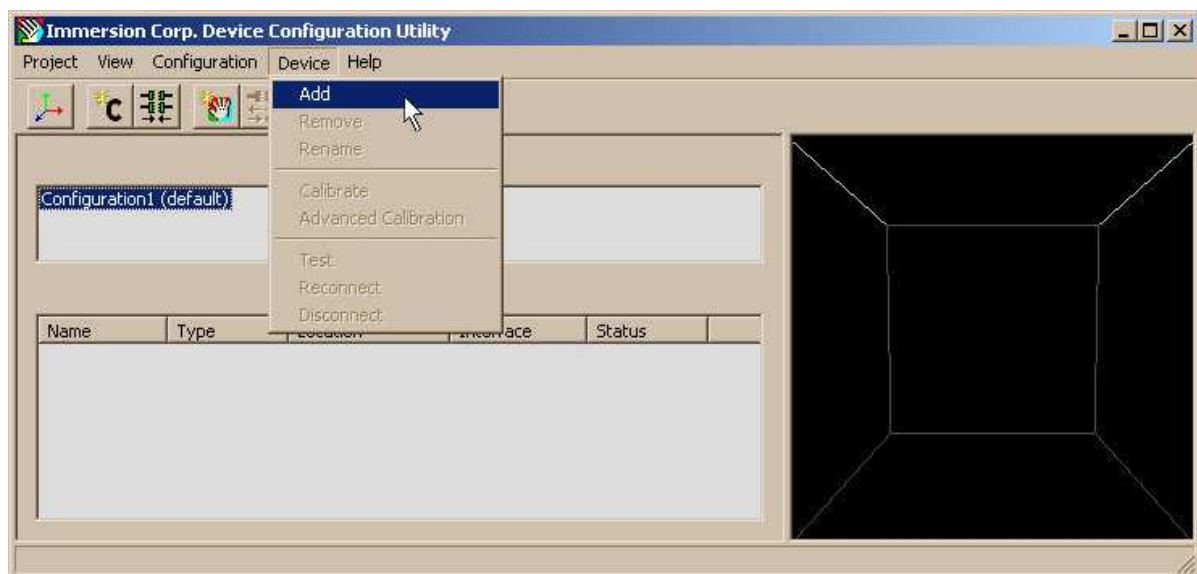
**Fig. 3.7** Diagrammi dei componenti Hardware/software del sistema

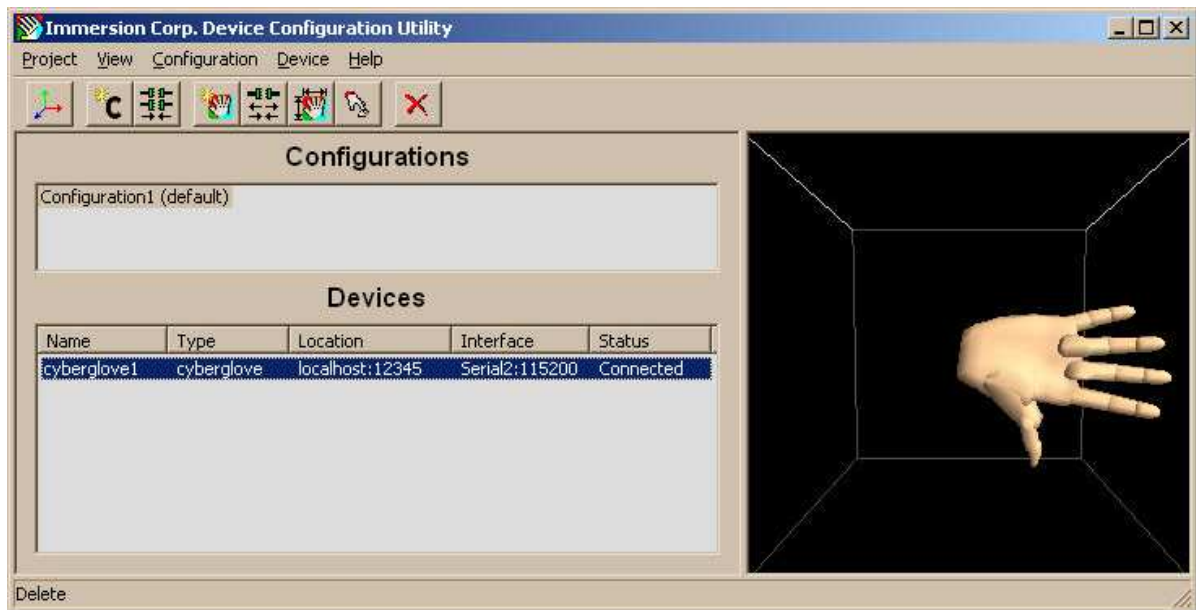
### 3.6 Tool Kit di sviluppo (VirtualHand SDK)

Il VirtualHand SDK è una completa soluzione di sviluppo per implementare applicazioni di *motion capture* della mano, interazione della mano, feedback di forza nelle simulazioni. VirtualHand SDK consiste di tre componenti principali:

1. **Device Manager:** Una multiplatforma (W2K, NT, IRIX, e WinXP), una rete di driver di periferica dei sistemi *CyberGlove*, *CyberGrasp*, e *CyberForce*, così come il sistema di *motion tracker* dell'Ascension *Flock of Birds* a 6 gradi di libertà (6 DOF).

2. **DCU Device Configuration Utility:** Un'interfaccia *user-friendly* per Windows che serve a calibrare e configurare i dispositivi (*CyberGlove*, *CyberGrasp*, e *CyberForce*), e il sistema di tracciamento del movimento a 6 gradi di libertà (6 DOF). Il DCU permette di salvare le configurazioni create, e configurare le impostazioni di default [DesRosiers, H., Gomez, D., Tremblay, M., & Ullrich, C. (2001)].

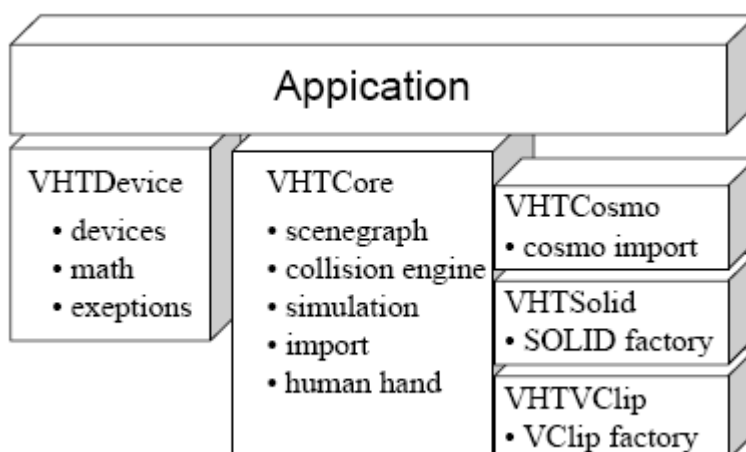




**Fig. 3.7a 3.7b** ScreenShot dell'Utility di configurazione

3. **VirtualHand API** è una libreria di sviluppo nel linguaggio C++, che aiuta gli sviluppatori a integrare facilmente, in tempo reale, nelle loro applicazioni software le seguenti attività:

- Il supporto per il rilevamento delle collisioni
- La gestione dell'interazione della mano 3D
- I feedback di forza.



**Fig. 3.8** Schema a livelli del Virtual Hand Toolkit



### 3.7 Conclusioni

Utilizzando il sistema immersivo aptico **CyberForce**, si può letteralmente "appendere la mano" virtuale su un volante, o sentire il senso di peso e di inerzia mentre si afferra un "pesante" oggetto virtuale, inoltre si può avvertire la resistenza di un impenetrabile muro simulato. In definitiva il sistema **CyberForce** consente di esplorare intuitivamente realtà simulate e interagire con oggetti grafici tramite l'interfaccia, per l'essere umano, più naturale e abituale possibile, cioè la mano .

## **CAPITOLO 4**

**Ambiti applicativi della Realtà Virtuale e della Realtà**

**Aumentata:**

**fruizione beni culturali, medicina e manutenzione**

**industriale**

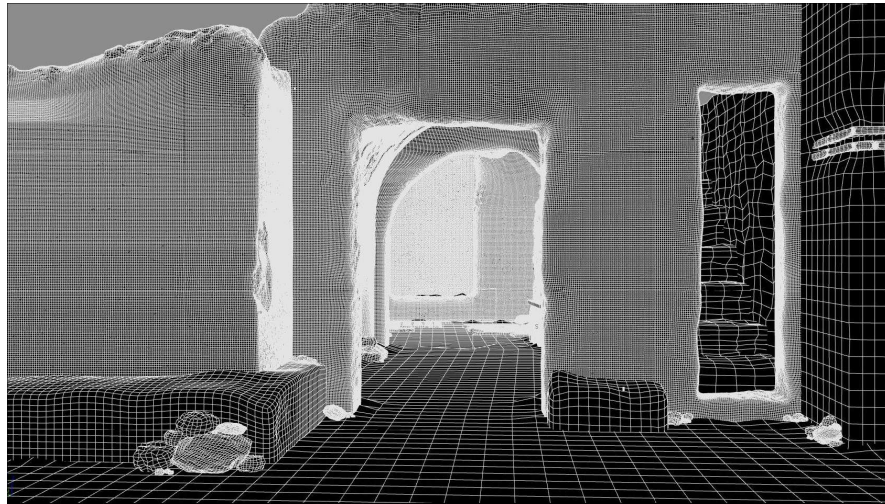
In questo capitolo presentiamo due studi e un prototipo di applicazione di Realtà Virtuale immersiva, e Realtà Aumentata gestite da interfacce naturali, con un livello di immersione per l'utente che gli consente di navigare all'interno dell'ambiente, e muovere le mani, la testa, attraverso i quali percepire le informazioni che contraddistinguono l'ambiente virtuale.

## **4.1 Realtà Virtuale nella fruizione di Beni Culturali**

Il sito archeologico di Moregine, scoperto nelle vicinanze della città di Pompei durante le operazioni di rifacimento dell'autostrada è principalmente conosciuto per le pitture e i gioielli ritrovati all'interno di una villa romana ben mantenuta, il sito è stato ricoperto per ragioni di convenienza e per ragioni economiche, che non stiamo qui a citare e che hanno riguardato gli archeologi e gli enti locali.

Questo sito è emblematico di come, mediante immagini ricostruite al computer, mediante tecniche interattive in *real time* e tecniche di stereoscopia possano essere di grande aiuto per esplorare luoghi inaccessibili.

La metodologia proposta, punta a ottenere una ricostruzione virtuale realistica del sito archeologico molto accurata, in pratica come è apparso agli archeologi dopo il completamento degli scavi. La risultante simulazione è focalizzata più sull'interesse degli archeologi che per un pubblico ampio, come possono essere le ricostruzioni virtuali, tipiche nel campo della fruizione dei beni culturali.



**Fig. 4.1 Immagine in wire-frame che illustra la concentrazione dei punti caratteristici**

L'oggetto della ricostruzione digitale è l'edificio B dell'area archeologica di Moregine [Mastroroberto M., 2003], più precisamente la casa D" che è parte di un più ampio blocco posizionato sul lato più a nord dell'antico letto del fiume Sarno [Di Maio G., Stefani G., 2003].

Questo comprensorio fu originariamente sepolto dall'eruzione del Vesuvio del 79 D.C., fu scoperto da un'indagine archeologica in era borbonica, precisamente tra l'anno 1880 e l'anno 1881. Lo scavo considerato per la ricostruzione virtuale copre un'area di 20x10 metri con un livello del pavimento posizionato tre metri sotto l'attuale livello della strada, un terreno collocato su una falda, la principale ragione che giustifica la decisione di seppellire nuovamente il sito archeologico.

#### **4.1.1 Approccio Utilizzato**

Ai tempi dello scavo del sito, scansioni con tecniche 3D non erano disponibili, l'intera costruzione è stata modellata usando parametri e misurazioni provenienti da indagini e studi sulle mappe originali e su tutto il materiale fotografico esistente.

Mediante questa tecnica è scaturita una griglia di riferimento dei punti caratteristici, aumentando il raffinamento dei punti (vedi Fig. 4.1) aggiungendo dettagli recuperati

da più sorgenti [Debevec P., Taylor C. J., and Malik J., 1996]. Il principale scopo di questa metodologia è consentire la fruizione interattiva di ricostruzioni virtuali molto dettagliate, rendendo i creatori di contenuti liberi di utilizzare le tecniche più realistiche (computazionalmente costose) di modellazione, di animazione e di rendering senza alcun vincolo in termini di complessità di scena o di personaggi. D'altro canto poichè un approccio basato su animazioni pre-renderizzate limita l'interazione con la scena da parte dell'utente, noi vogliamo ridurre questi svantaggi attraverso un'efficace progettazione del sistema e un interfaccia molto intuitiva utilizzando tecniche intelligenti mutuata dallo sviluppo dei videogames.



**Fig. 4.2 Immagine renderizzata tratta da una clip video**

Le basi di questa proposta sono lo sviluppo di un mondo virtuale pre-renderizzato in cui l'utente può navigare seguendo cammini pre-costituiti e svolgere azioni selezionabili attraverso un'interfaccia *motion tracking* sensibile al contesto.






**Fig. 4.3 Utente che naviga nelle scene ricostruite in 3D del sito archeologico**

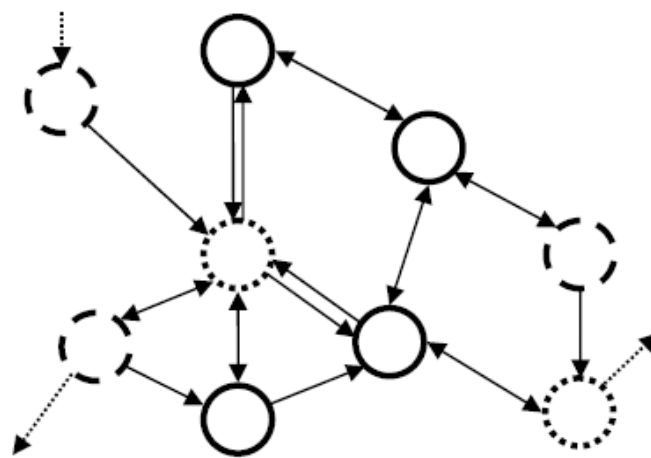
### **4.1.2 Fruizione basata su grafi**

L'intero mondo virtuale è una collezione di video clip, immagazzinate su di un server a elevate prestazioni, che includono tutte le scene, con le visuali da tutti le angolazioni possibili ed ogni percorso da una scena all'altra. In altre parole, questo mondo virtuale può essere schematizzato con un grafo, i cui nodi rappresentano le scene e i cui archi orientati rappresentano percorsi disponibili, che trasportano l'utente da una scena all'altra. Ogni nodo o arco è univocamente identificato da un *tag* che indica il frame di partenza della clip corrispondente.

Possiamo distinguere differenti tipi di nodi (scene o clip) e differenti tipi di archi (percorsi) che sul nostro grafo avranno delle rappresentazioni grafiche diverse:

-  Il nodo pieno rappresenta una scena dove il punto di vista dell'utente è fissato.
-  Il nodo tratteggiato rappresenta una scena dove la camera può ruotare lungo un asse.
-  Il nodo punteggiato rappresenta una scena dove la camera può ruotare lungo due assi.

Per gli archi possiamo, invece, distinguere percorsi mono-direzionali o bidirezionali, in pratica l'utente può muoversi da una scena all'altra seguendo la direzione della freccia, nel caso di percorsi bidirezionali la singola scena può essere percorsa in entrambe le direzioni dall'utente, più complesso è il caso di percorsi reversibili dove per l'utente ci sono due scene differenti per spostarsi da un nodo all'altro e ritornare al nodo di partenza, questo sul grafico che rappresenta il grafo viene schematizzato con due frecce con direzione opposta [Kwatra V., Schödl A., Essa I., Turk G., Bobick A., 2003].



**Fig. 4.4 Frammenti di un grafo con i nodi rappresentati con veste grafica diversa e gli archi connotati da frecce mono e bidirezionali.**

Il fulcro di un sistema del genere è dato dal motore di navigazione che implementa un'applicazione di editing video in tempo reale, in definitiva il motore di navigazione sulla base degli ambienti virtuali ricostruiti e all'input dell'utente riprodurrà le clip video inerenti a quel dato contesto.

### **4.1.3 Tecnologia Hardware**

La tecnologia hardware che sta alla base di un tale sistema le clip, *renderizzate* in precedenza, sono aggiunte in una specifica posizione e sono riprodotte, creando in questo modo effetti di navigazione e d'interazione pseudo *real-time*. Abbiamo menzionato le interfacce *motion tracking*, le quali eseguono le caratteristiche

d'interazione dell'utente, segnalando, la posizione e la rotazione sui tre assi della testa e della mano nello spazio 3D ricostruito (sistema di *tracking* a sei gradi di libertà 6 DOF).

In questo esperimento, come anche negli altri che vedremo, abbiamo usato **Intersense IS 900**, dispositivo ultrasonico di *motion tracking*, in dotazione al VRLab e presentato nel capitolo 2. Questi sistemi sono capaci acquisire ed elaborare i movimenti provenienti da ciascuno dei dispositivi wireless che l'utente può comodamente indossare, un dispositivo di tracker per la testa, un joystick per la mano, che ha la caratteristica di essere un'interfaccia multi pulsante, programmabile, che può essere usata per innescare diverse specifiche azioni (come si può vedere in figura 4.3) [Christopoulos D. Papaioannou G., Gaitatzes A., 2003].

I dispositivi di *storage* necessari a una tale architettura, al fine di lavorare in maniera efficace, sono strettamente relazionati alla risoluzione dell'immagine e al numero di clips presenti sul grafo. Tipicamente una configurazione di sistema con una risoluzione in output fino a 1024 pixels, richiede un server RAID-0 equipaggiato con un array di dischi con interfaccia Ultra SCSI, ciascuno dei quali caratterizzato da un elevato RPMs e un buffer di 8-16 MBytes che garantisce efficienti operazioni di lettura e scrittura [Andrea F. Abate, M.Nappi, S. Ricciardi. G.Sabatino 2006].

In modalità operativa RAID-0 si implementa un accesso parallelo a tutti i dischi facendo risultare come un singolo disco virtuale, la cui capacità e il transfer rate sono la somma dei corrispondenti valori di tutti i dischi fisici. Un totale di 2 o 3 TBytes di spazio e' sufficiente per consentire una riproduzione di alcune ore di contenuti non compressi a un'elevata risoluzione, con un transfer rate sostenuto fino a 300 Mbytes/sec.

Il software per la navigazione gira su un server dedicato che non ha un'elevata capacità computazionale, dal momento che sono immagazzinate immagini non



compresse, quindi non sono necessari hardware specifici con processori performanti, però uno scambio di dati a alta velocità tra il sottosistema di *storage* e il *buffer* video e' fondamentale per la nostra architettura, sono richiesti 2 GBytes di RAM come buffer dei contenuti e un bus di sistema molto veloce (PCI-Express). Il sottosistema grafico è basato su una scheda grafica per workstation con elevato *pixel fill rate*, usata per pilotare simultaneamente due monitor o un proiettore stereo passivo, o solo un proiettore stereo attivo.

#### **4.1.4 Tecnologie Software**

Nella nostra implementazione abbiamo sviluppato un'interfaccia grafica con icone contestualizzate che indicano sia le azioni sia le opzioni disponibili della camera ad un certo livello di navigazione.

Le icone dell'interfaccia appaiono tracciati in sovraimpressione ai contenuti video in *real time* e consentono all'utente di visualizzare non solo quale opzione è disponibile (ad esempio cambiare il punto di vista, muovere avanti o indietro, scegliere un nuovo cammino etc.) ma anche come sceglierlo. [A F.Abate, G.Acampora, S.Ricciardi 2007].

Infatti l'utente può scegliere l'azione desiderata semplicemente muovendo la testa verso l'icona corrispondente e confermando la sua selezione per mezzo della tastierino wireless. Riguardo alle problematiche di rendering, tecniche avanzate di computer graphics, come la modellazione depth-map e il mapping displacement a elevata risoluzione, sono state impiegate per renderizzare l'aspetto della maggior parte delle superfici, non come erano originariamente ma rispettando lo stato in cui esse sono state ritrovate. Poiché non erano necessarie elaborazioni in *real-time*, abbiamo potuto usare gli algoritmi di illuminazione più impegnativi come quelli della

*global illumination* e gli *shader* più realistici (vedi Fig. 4.2). Infine i modelli sono stati ottimizzati e renderizzati per la visualizzazione stereoscopica attiva.

#### 4.1.5 Conclusioni e sviluppi futuri

Noi abbiamo presentato una struttura per VR con immagini prerenderizzate [Sawhney H.S.,Guo Y.,Hanna K.,Kumar R.,Adkins S.,Zhou S.,2001,], in cui per navigare attraverso gli ambienti e interagire con gli oggetti e i personaggi di questi ambienti vuole dire semplicemente visitare un grafo. L'adattamento all'età o semplicemente agli interessi dell'utente è un altro dei punti di forza dell'architettura proposta, perché l'intero grafo può essere stratificato per soddisfare le preferenze diverse. Il limite intrinseco di quest'architettura è legato al numero predefinito di azioni o di punti di vista disponibili in un determinato momento dell'esperienza virtuale. Ciò può essere un vincolo ben tollerabile, in diversi contesti applicativi, e si può in parte risolvere aggiungendo nuove clip (e quindi altri nodi al grafo) anche perché oggi i costi e lo spazio disco non sono più dei colli di bottiglia per queste applicazioni. In conclusione la struttura proposta ha prodotto e produrrà risultati interessanti nei casi di studio reali, dando prova che quest'approccio si adatta bene, ma non solo, per visite virtuali in musei o per ricostruzioni storiche. Quindi anche se il futuro per la VR sarà il *rendering* in tempo reale, ci sono ancora molte cose interessanti e inesplorate che possono essere realizzate con approcci prerenderizzati come quello da noi proposto.

Ad esempio si potrebbero prevedere anche, l'inserimento di informazioni aggiuntive di tipo testuale o di natura grafica durante la fruizione delle scene renderizzate aumentando così il contenuto informativo dell'applicazione a richiesta dell'utente.

## 4.2 Realtà Aumentata e interfacce Gesture-based in Ambito Medico

Le applicazioni della realtà aumentata in campo medico sono conosciute già da diversi anni, soprattutto per l'integrazione in *real-time* di informazioni (solitamente immagini bidimensionali TAC o MRI precedentemente prodotte) derivanti da analisi in corso posizionate all'interno dello spazio per poter permettere una visione d'insieme di ciò che si sta analizzando (per il chirurgo, sarebbe possibile sovrapporre al corpo del paziente le immagini di alcuni esami TAC o MRI ciò può consentire non solo la progettazione di un intervento chirurgico, ma la visualizzazione, e la rappresentazione dei dati tridimensionali relativi agli esami del paziente) [Di Martino A.R. S. Ricciardi 2008]. In realtà, ulteriori vantaggi che tale tecnologia può apportare in diversi campi della medicina non sono tuttora sfruttati, come ad esempio la visualizzazione e la manipolazione di interi distretti anatomici in 3D. Questo obiettivo prevede una differente complessità di calcolo e sposta l'attenzione dello sviluppatore verso un vero e proprio *Engine* 3D che permetta la visualizzazione di modelli tridimensionali complessi; allo stesso modo è possibile l'utilizzo di interfacce di tipo "*contact-less*", mirate a liberare l'utente dal legame con periferiche tradizionali mouse e tastiera permettendo di muoversi più liberamente in un ambiente di A. R. [C. Graetzel, T. Fong, S. Grange, and C. Baur. 2004] ciò anche perché in ambienti come sale operatorie, studi medici, per problematiche legate alla sterilità di questi ambienti e degli oggetti che li arredano, avere contatti con strumenti non sterili porterebbe a veicolare infezioni, compromettendo la salute dei pazienti. Una soluzione a tali problematiche può essere raggiunta creando un'interfaccia "fluttuante" di tipo *gesture-based*, che affianca un sistema di *tracking* per offrire un'interazione intuitiva con un sistema che permetta delle precise manipolazioni dei

modelli anatomici 3D, visualizzando tali modelli e le informazioni aggiuntive che si sommeranno all'ambiente circostante in modalità stereoscopica, quindi collocati nello spazio, laddove un utente (in questo caso un medico) indossa un casco *see-through* HMD (*Head Mounted Display*) di tipo ottico (vedi paragrafo 1.4.1, dispositivi di visualizzazione per A. R.) che gli consente (tramite l'utilizzo di display LCD trasparenti) di vedere l'ambiente circostante e la possibilità di proiettare sui due display gli oggetti virtuali tridimensionali di modelli anatomici, interagire con loro, visualizzarne il comportamento e studiarne la strutturazione di interi settori del corpo umano.

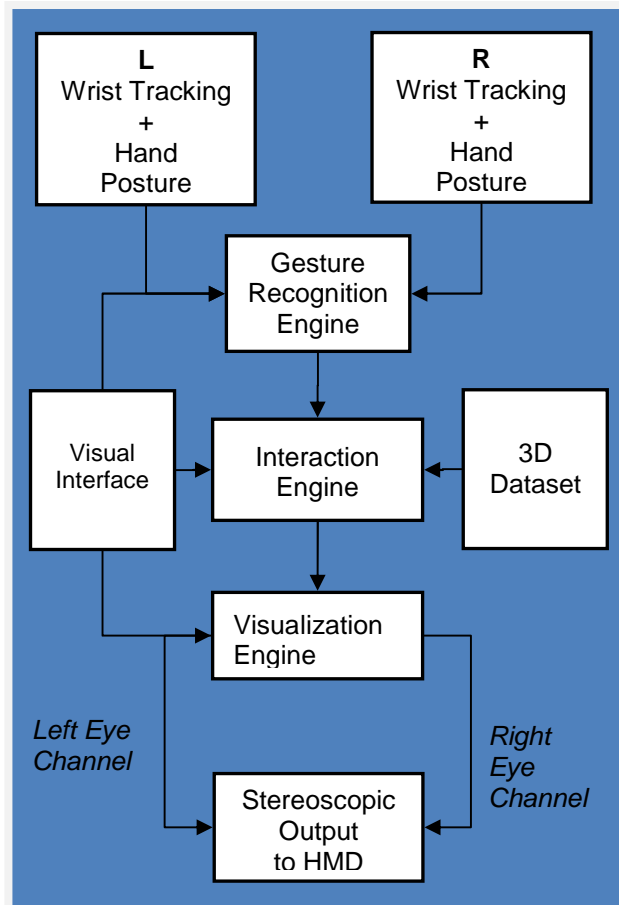
### **4.2.1 Le Interfacce Gesture Based**

Le interfacce *Gesture-based* sono uno strumento già noto nell'ambito delle problematiche HCI (*Human Computer Interaction*), originariamente presentate come il modo più naturale per navigare attraverso e interagire con ambienti di realtà virtuale, generate per simulatori militari o per applicazioni di *entertainment*. Più recentemente, grazie a progressi tecnologici e alla riduzione considerevole dei costi, queste interfacce sono state proposte per problematiche di interazione avanzata in un spettro più ampio di aree applicative, variando da processi industriali a rappresentazione di immagini mediche [C. Krapichler, M. Haubner, A. Löscher, and K. Englmeier, (1997)]. In quest'ultima area gli studi su interfacce *Gesture-based* spesso si sono concentrati sulla sostituzione di dispositivi input convenzionali come tastiera e mouse con un'interfaccia interagibile senza alcun contatto dell'utente per le suddette problematiche di ambienti e oggetti sterili in sale operatorie o studi medici. Vediamo lo schema del *framework* dell'interfaccia *gesture-based* realizzata, come si evince dalla figura nella pagina successiva, è uno schema modulare, andremo a

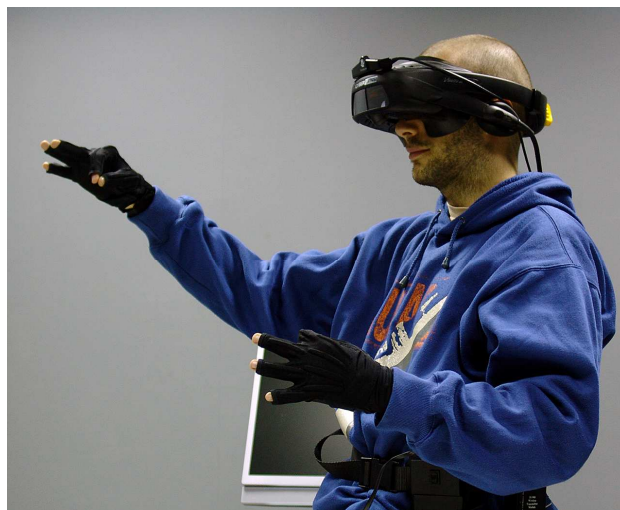
descrivere i singoli moduli e le loro principali funzionalità [J.D.N. Dionisio, A.A.T. Bui, R. Ying, C. Morioka, and H. Kangarloo. (2003)]:

Dopo aver fatto una breve sessione di calibratura, inizializzando i sensori dei guanti e dopo un controllo al *tracker*, il sistema entra in funzione. Due flussi separati di dati, rispettivamente per la mano sinistra e destra, sono pre-processati, entrambi sono input del *Gesture Recognition Engine*. Questo modulo analizza i *token* in output ai *data-gloves* combinati con i dati di movimento catturati dal sistema di *tracker* [A.F. Abate, V. Del Fatto, M. Nappi, S. Ricciardi, G. Tortora 2010].

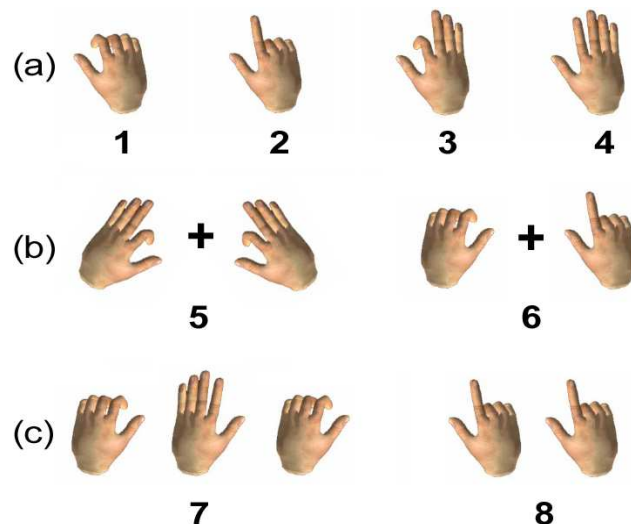
Come risultante di questa elaborazione un gesto, fatto a una mano o a due mani, è riconosciuto e passato all'*Interaction Engine* che eventualmente seleziona una funzione della tastiera virtuale, oppure lo traduce in una trasformazione (rotazione / traslazione) del modello 3D che viene inviato al *Visualization Engine*. Qui sono elaborati due rendering (occhio destro e sinistro) dell'intera scena, con intera scena si intende interfaccia e modelli anatomici 3D [H. Stern, J. Wachs, Y. Edan. (2006)], il tutto viene mostrato all'utente mediante il casco HMD.



**Fig.4.5 Schema del Framework gesture-based**



**Fig. 4.6 Utente che indossa Guanti con sensori e casco HMD see-through per visualizzare l'interfaccia fluttuante e distretti anatomici ricostruiti in 3D**



**Fig. 4.7 Funzionalità dell'Interfaccia Gesture-based**

## **4.2.2 Capture dei movimenti/posizioni delle mani dell'utente**

Vediamo in dettaglio come lavorano i moduli del *framework* preposti all'acquisizione dei dati concernenti le posture e ai movimenti della mano [J. Wachs, H. Stern, Y. Edan, M. Gillan, C. Feied, M. Smith, and J. Handler]. Per l'acquisizione, vengono utilizzati dei dati dei dispositivi **Data Glove 5DT**, wireless a 14 sensori, per la misurazione delle flessioni e abduzione delle dita, sebbene sia possibile accedere a una rappresentazione più accurata dello stato dei valori dei sensori, questa classificazione *embedded* è appropriata e semplifica sia le fasi di training dell'utente sia la progettazione del modulo di *gesture recognition* [J. Wachs, H. Stern, Y. Edan, M. Gillan, C. Feied, M. Smith, and J. Handler]. Abbiamo usato quattro posizionamenti delle mani, mostrate nella figura sopra, che sono:

- Pugno
- Indice alzato
- Indice abbassato
- Palmo

Queste posture della mano sono state scelte perché molto semplici da eseguire dalla maggioranza degli utenti e tra quelle più utilizzate nella naturale gestualità

delle persone. I **Dataglove 5DT** non forniscono informazioni riguardo alla posizione nello spazio 3D e quindi dobbiamo aggiungere anche un dispositivo di *tracking* per le informazioni spaziali, abbiamo usato **Intersense IS 900**, dispositivo a barre ad ultrasuoni a 6 D.O.F. in dotazione al VRLab, che rileva la posizione di ciascun polso nello spazio 3D (traslazioni e rotazioni sui tre assi). Tra i vantaggi di un tale installazione segnaliamo: l'ampio volume spaziale idoneo a catturare i movimenti dell'utente, la robustezza a emissioni elettromagnetiche o magnetiche che pur possono essere presenti in sale operatorie o altri luoghi preposti allo studio e all'analisi di indagini mediche, la precisione delle rilevazioni posizionali nell'ordine di un millimetro per le traslazioni, e nell'ordine di 0,25 gradi per le rotazioni. Entrambi i flussi di dati per la mano destra e la mano sinistra che includono ciascuno le informazioni posizionali (traslazione e rotazione) e le informazioni riguardanti le posture della mano sono passate al motore per la *Gesture Recognition*.

### **4.2.3 Motore di *Gesture Recognition***

L'architettura del motore di *Gesture Recognition* è basato sulla tecnologia degli automi temporizzati, capaci di rilevare, a differenza degli automi finiti modelli di posture temporizzati a una mano o a due mani, associati a funzioni di manipolazione.

Il tempo fissato nell'interazione tra l'utente e il sistema permette di mutare lo stato delle entità coinvolte secondo eventi temporizzati per migliorare la qualità dell'interazione.

L'intenzione è di aumentare le posture di base a una mano attraverso modelli temporizzati e via via mediante una combinazione a due mani (destra e sinistra) per costruire un'interazione allo stesso tempo semplice e potente. Nel framework proposto abbiamo individuato otto gesti, i primi quattro, fig 4.7a sono gesti base a



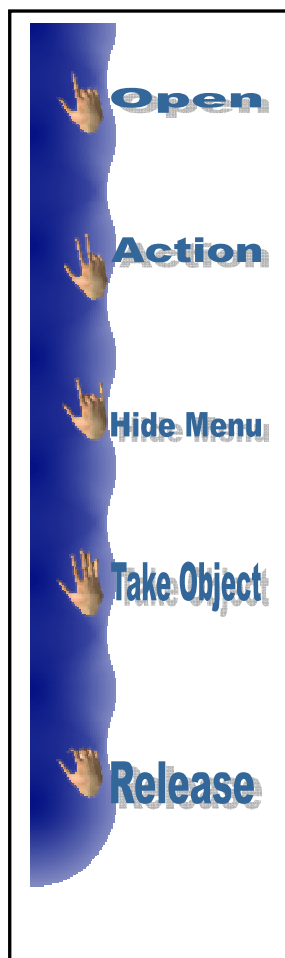
una mano, mentre i gesti in fig 4.7b sono la combinazione a due mani di posture di base, mentre gli ultimi due della fig. 4.7c sono definiti da una sequenza temporizzata di posture di base (ad esempio pugno-palmo-pugno). Le *Gesture* riconosciute sono rappresentate mediante vettori che comprendono un indice per la *gesture* e poi le coordinate spaziali x,y,z e angolari della prima mano e coordinate spaziali e angolari della seconda mano.

#### **4.2.4 Motore per L'interazione**

Quando un gesto conforme è stato riconosciuto il corrispondente vettore è trasmesso al motore di interazione che utilizza lo stesso automa temporizzato del motore di riconoscimento ed è responsabile per tutte le interazioni visuali consentite dal sistema traducendo le *gesture* dell'utente in azioni.

Lo stesso gesto può innescare differenti azioni in diversi contesti operativi. Le modalità operative e le funzioni di manipolazione sono scelte mediante l'interfaccia virtuale mostrata all'interno del campo visivo separata dai contenuti 3D per mezzo di una cornice e include informazioni testuali relative alle operazioni in svolgimento (valori delle coordinate, angoli, distanze). La struttura di quest'interfaccia visiva appare come una struttura fluttuante, grazie alla stereoscopia, risiede in una posizione facilmente raggiungibile del campo visivo dell'utente, che esegue una procedura di calibrazione, toccando con un dito una sequenza di bersagli posizionati a varie profondità, consentendo in tal modo una regolazione degli effetti stereoscopici. Uno dei principali scopi di una tale interfaccia è minimizzare il numero di gesti richiesti per adoperarla. A quest'interfaccia viene adattato il paradigma punta e click delle interfacce tradizionali. La semplice selezione è innescata puntando un'area attiva per mezzo del dito indice (vedi fig.4.7a gesto #2), un'azione o una conferma è innescata mediante un doppio puntamento (vedi

fig.4.7c gesto #8), un comando di cancella e' innescato da una sequenza pugno-palmo-pugno (vedi fig.4.7c gesto #7).

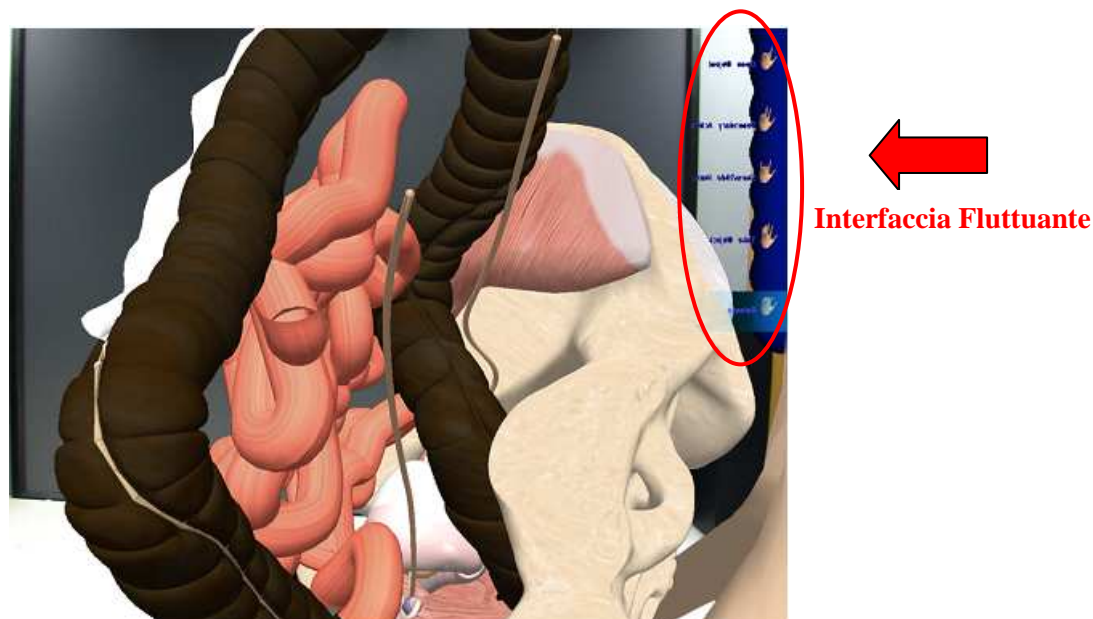


**Fig. 4.8 Modalità operative dell'interfaccia fluttuante**

Si potrebbe, per un utente sufficientemente esperto utilizzare entrambe le mani per operare sui distretti anatomici, in una maniera più confortevole e veloce, inoltre sono forniti stimoli acustici e visivi per confermare la pressione di un tasto o il riconoscimento di un particolare comando, in modo da ridurre operazioni errate. L'interfaccia può essere nascosta ogni qual volta si vuole, mediante un tasto di *switch* per non interferire nella visione dei distretti anatomici 3D [Bowman, D. A., Kruijff, E.LaViola, J. J., & Poupyrev, I. 2001].

Nel nostro caso di studio, abbiamo un piccolo sottoinsieme di funzioni già implementate, che consentono di muovere e ruotare un oggetto, di posizionare

punti di riferimento sulla superficie 3D e infine calcolare misurazioni tra le distanze dei punti di riferimento.



**Fig. 4.9 Interfaccia fluttuante e distretto anatomico in 3D**

### **4.2.5 Motore di visualizzazione**

I modelli anatomici 3D e l'interfaccia fluttuante sono entrambi elaborati dal *visualization engine*, che si occupa della trasformazioni in *real time* e del *rendering* delle scene 3D in modalità stereo (per ogni *frame* viene elaborato il *rendering* per l'occhio destro e per l'occhio sinistro).

Il motore grafico è costituito dal toolkit **Quest 3D** e dalle API di **DirectX**. Al *runtime* due sequenze di frame sono inviate da una scheda grafica ad hoc, connessa a un casco di tipo HMD optical see-through (*Cybermind Visette SXGA* vedi fig. 4.6) <http://www.cybermindnl.com>, il casco agisce posizionando le immagini davanti agli occhi dell'utente, l'ottica del casco e' parzialmente trasparente in modo che l'utente può guardare attraverso essa e vedere il mondo reale, la stessa ottica e' anche parzialmente riflettente cosicché l'utente vede le immagini virtuali rimbalzare sui dispositivi LCD del casco.

## 4.1.5 Conclusioni e sviluppi futuri

Il frame work descritto è una parte di un progetto più ampio che punta a migliorare l'uso di dei distretti anatomici 3D da parte di chirurghi o radiologi, i quali preferiscono lavorare piuttosto con sezioni anatomiche in 2D. Un altro argomento tipico è l'interfaccia, che per funzionalità più semplici, con sezioni anatomiche 2D il paradigma di interazione mouse o trackball deve essere equivalente all'interfaccia fluttuante *gesture-based*, che in un prima istanza potrebbe essere meno usabile. I test preliminari effettuati su un piccolo gruppo di operatori del settore sono stati incoraggianti e hanno mostrato un'apertura da parte degli utenti e dei percepibili miglioramenti nello svolgere task interattivi su distretti anatomici 3D, come la particolare selezione di un punto su di una superficie 3D o la misurazione della distanza tra due caratteristiche anatomiche. Dal momento che, il lavoro e' ad un primo livello di completezza, potrebbero sicuramente essere implementate più funzionalità sull'interfaccia fluttuante, ed inoltre effettuare una serie di esperimenti e test più completi e significativi per verificare i vantaggi nell'ambiente lavorativo reale

[Di Martino A.R. S. Ricciardi 2009].

## 4.3 Realtà Aumentata in ambito Manutenzione Industriale

Impianti tecnologici di sicurezza per applicazioni critiche quali i sistemi radar per aerei o per la navigazione richiedono servizi di manutenzione globale, rapidi e appropriati. Purtroppo, troppo spesso il livello di competenza degli operatori sul campo di tali sistemi, non si dimostra adeguato, in dipendenza del continuo mutamento tecnologico, e pertanto richiedono un continuo aggiornamento da parte del personale addetto. I cosiddetti ambienti di lavoro collaborativi (*Collaborative Working Environments*) [J.D. Mulder, B.R. Boschker 2004] forniscono eccellenti opportunità per migliorare le procedure di servizio e manutenzione, riducendo significativamente il tempo necessario alle riparazioni così come i rischi di sicurezza connessi all'inattività del sistema mal funzionante (si pensi a un radar che controlla un determinato spazio aereo inattivo per alcune ore o addirittura giorni). Il modello di interazione proposto è la manutenzione di uno sito di controllo radar, basata su assistente virtuale. L'applicazione di manutenzione è finalizzata al miglioramento degli ambienti di lavoro collaborativi, attraverso lo sviluppo di un originale *framework* che integri le tecnologie della Realtà Aumentata (AR) ed un'avanzata un'architettura di teleassistenza, consentendo il supporto, agli operatori sul campo, durante l'individuazione, la diagnosi e la risoluzione dei malfunzionamenti del sistema radar [Jurriaan D. Mulder, Breght R. Boschker 2004].

Questo studio è stato fatto in collaborazione con la **Selex Sistemi Integrati**, società multinazionale specializzata nella progettazione, produzione e assistenza di sistemi radar civili e militari, con sede in Italia e facente parte del Gruppo Finmeccanica.

### 4.3.1 Assistente Virtuale

Secondo quest'approccio il supporto alle procedure di manutenzione è fornito da un Avatar, o assistente virtuale nella dizione italiana. La parola Avatar, oggi, è molto

usata, questa popolarità è dovuta principalmente al mondo del cinema, dell'intrattenimento, ai giochi e alle simulazioni 3D, e finanche ai network sociali. Può sorprendere, ma la parola è mutuata dalla lingua Sanscrita, e nella tradizione induista ha il significato di incarnazione. L'Avatar, sia come alter ego umano in un mondo virtuale, sia come abitante virtuale di un ambiente reale, [V.Vlahakis,J. Karigiannis,M. Tsotros,N. Ioannidis, D. Stricker. 2002] visto attraverso un casco per realtà aumentata di tipo HMD, come vedremo in quest'applicazione. Tecnicamente un Avatar è una particolare struttura utilizzata nella computer grafica, composta prevalentemente da un modello tridimensionale deformabile, raffigurante una forma umana, in grado di compiere animazioni molto complesse; più in generale, con tale termine si indica la rappresentazione in forma sintetica di un personaggio.

Queste tecnologie, integrate da approcci innovativi di interfacciamento uomo macchina, possono offrire l'opportunità di utilizzare degli Avatar non solo come teste parlanti [S. Morishima T. Ishikawa, H. Sera, D.Terzopoulos 1998], o ancora come interfacce antropomorfe sullo schermo di un computer, ma come assistenti agli operatori che eseguono delle attività complicate.

L'assistente virtuale viene visualizzato sul campo operativo, è in grado di comunicare con l'operatore umano attraverso un paradigma di interazione vicino al modo in cui gli esseri umani sono abituati a collaborare e a cooperare. L'avatar, le cui azioni sono basate su una rappresentazione semantica di alcune ben definite procedure di servizio/manutenzione, fornisce il massimo livello di adattamento alle esigenze dell'utente e un comportamento pro-attivo, coadiuvandolo durante la ricerca e la riparazione del malfunzionamento, in una modalità molto più efficace di un'interfaccia convenzionale basata su schermo.

### 4.3.2 Paradigma Operativo

I principali obiettivi concreti di una tale applicazione sono:

1. **Incrementare la qualità della manutenzione sul campo;**
2. **Ridurre i costi dei processi di manutenzione (riparazioni più rapide, periodi di inattività abbreviati);**
3. **Ridurre la necessità di manutenzioni straordinarie (attraverso una diagnosi precoce) nelle installazioni tecnologicamente complesse poste in aree remote.**

Ipotizziamo uno scenario realistico, durante le operazioni in un sito radar un malfunzionamento di un componente sconosciuto causa un'interruzione del servizio. La rete di sensori del sito, collegata alla rete di tele-assistenza del produttore di sistemi, comunica lo stato dei principali moduli del sistema radar. Il produttore lancia una procedura diagnostica che richiede la verifica sul campo dello stato dei specifici componenti, in accordo alle procedure di manutenzione note. L'operatore radar è allertato, viene attivata una procedura di manutenzione collaborativa. L'operatore indossa un casco stereoscopico per realtà aumentata di tipo HMD (*Head Mounted Display see-through* (a tecnologia ottica o video) che include un *tracker* della posizione e dell'orientamento della testa, considerando il volume tipico di un rifugio radar (30-40 metri cubi) i requisiti di tracking dell'utente sono stati risolti, proponendo un sistema di *motion tracking ultrasonico IS900* sistema wireless a 6 gradi di libertà (6DOF) prodotto da **Intersense Corporation**, caratterizzato da un alto tasso di precisione nella misurazione della posizione e della rotazione adeguato per questa applicazione e non influenzata da campi elettromagnetici presenti nell'ambiente di lavoro [Foxlin et al. 1998]. Con tale sistema si è in grado di visualizzare contenuti virtuali (l'avatar, oggetti vari, disegni tecnici,

*work-flow*, pagine di manuali etc.) all'interno dell'ambiente reale come se fossero realmente presenti, in quella posizione precisa. L'assistente virtuale fa partire la procedura di manutenzione assistita mostrando all'operatore la sequenza di operazioni da effettuare, attraverso un diagramma virtuale, inoltre lo assiste nell'individuazione di specifici componenti hardware o nell'esecuzione di misurazioni dei parametri operativi in punti specifici del dispositivo. L'avatar può anche richiamare e visualizzare un dato assieme di componenti e le relative istruzioni per lo smontaggio, il ri-montaggio o la sostituzione, evitando all'operatore una ricerca sulla manualistica convenzionale. Durante l'intervento una voce sintetica e un sistema di riconoscimento vocale (limitato a un vocabolario ridotto) sono alla base di una interazione potremmo dire quasi *umana* tra avatar ed operatore. In caso la tipologia di intervento richiesta non sia compresa tra quelle supportate dalla base di conoscenza dell'avatar, un supporto addizionale può essere ricevuto a distanza da esperti collegati alla rete di tele-assistenza.

### **4.3.3 Motore di Visualizzazione**

Da un punto di vista visivo, l'applicazione di test proposta è caratterizzata da tre tipi di componenti: l'avatar, gli oggetti virtuali (eventualmente animato) che popolano il mondo virtuale e l'ambiente operativo (l'ambiente reale che circonda l'utente e che contiene l'avatar e gli oggetti virtuali). Questi componenti sono gestiti da un Motore di Visualizzazione (Visualization Engine) che opera al loro livello più alto di astrazione per mezzo di **H-Anim** per modellare l'avatar e attraverso una descrizione in XML per rappresentare gli oggetti virtuali e l'ambiente operativo. **H-Anim** è uno standard internazionale per la rappresentazione astratta di figure umane tridimensionali. Fornisce un metodo standard di rappresentare umanoidi che consente figure umane create con qualsiasi strumento di modellazione di essere



animate utilizzando qualsiasi tipo di strumenti di animazione (*motion capture* o basate su *keyframe*). Attraverso la sua semplice specifica è possibile accedere alla gerarchia congiunta della figura umana, nonché ai vertici della geometria che compongono i segmenti di corpo di un individuo, in un modo che permette che le animazioni siano generate in maniera indipendente dal modello. Fornisce anche una conversione in VRML che è una caratteristica molto auspicabile per il motore di *rendering*.

Vediamo alcune immagini che riassumono le peculiarità di un'applicazione di manutenzione.



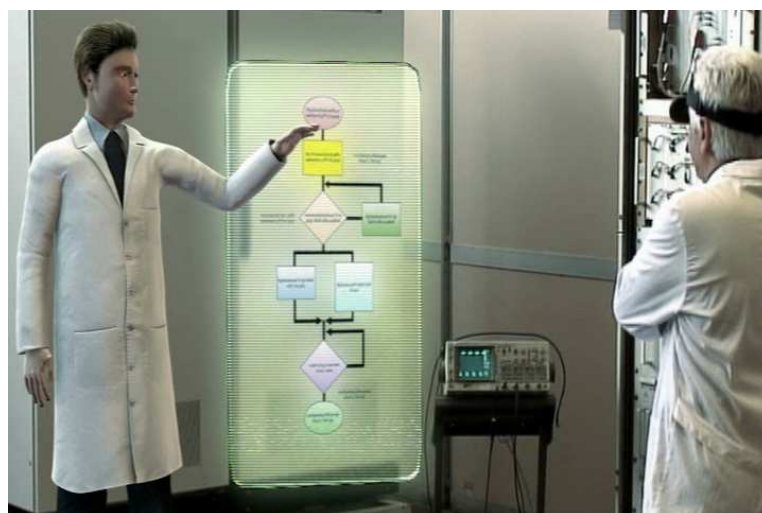
**Fig. 4.10 L'utente indossa il visore video see-through**



**Fig. 4.11 L'utente è in grado di visualizzare contenuti virtuali (in questa immagine l'avatar)**



**Fig. 4.12 L'avatar indica all'utente dove intervenire manualmente**



**Fig. 4.13 l'avatar indica il work-flow della manutenzione da effettuare, questa e' la visuale fruita da una terza persona riguardo l'interazione operatore-avatar all'interno di un rifugio per il controllo radar**

#### **4.3.4 Conclusioni e Lavori Futuri**

Sette di questi operatori sono stati coinvolti in sessioni sperimentali dopo un breve corso di formazione sull'uso del casco HMD e sui limiti dell'interazione verbale.

In questo lavoro è stata presentata una rappresentazione formale dell'interazione uomo avatar. L'approccio proposto permette di utilizzare automi temporizzati capaci di sincronizzare la comunicazione e l'interazione tra utente e personaggio virtuale, ed è stata validata da un'applicazione industriale nella manutenzione remota di radar, anche se l'impostazione generale è probabilmente estendibile a una più

ampia gamma applicativa. Ulteriori vantaggi di questa metodologia sono un modo semplice di progettare e verificare il *framework* di interazione e un basso costo computazionale relativo ai motori basati su automi temporizzati, rendendolo adatto per l'esecuzione in *real time* come richiedono le applicazioni di realtà aumentata. Lavori futuri potrebbero estendere il *framework* per affrontare l'interazione tra avatar multipli e tra questi e molti utenti. Inoltre, come il tipico paradigma di interazione tra esseri umani, si basa su regole conosciute che coinvolgono l'attenzione reciproca di entrambi i soggetti (per mezzo di movimenti oculari, gestualità, posture, ecc), potrebbe essere interessante per migliorare il livello di empatia nella comunicazione tra avatar e utenti implementando l'espressività del viso dell'avatar secondo il volto dell'utente, sottolineando in tal modo la comunicazione verbale attraverso un coerente linguaggio del corpo [Di Martino A.R. S. Ricciardi 2009].

## **Capitolo 5**

# **Applicazione delle Interfacce Aptiche in ambito medico e in ambito industriale**

In tale capitolo presentiamo applicazioni e studi specifici delle HI, utilizzate per la restituzione di stimoli di forza provenienti da un ambiente virtuale, con feedback di forza quanto più fedeli alla realtà, ci siamo occupati dell'ambito medico e dell'ambito industriale, proponendo lavori che mirano al raggiungimento del terzo e ultimo grado di immersione nella Realtà Virtuale, laddove l'utente partecipa alla simulazione in maniera attiva interagendo con l'ambiente ricostruito e ricevendo stimoli sensoriali anche a livello aptico.

## **5.1 Progetto PARTO**

Le interfacce aptiche rappresentano anche validi supporti per le indagini mediche, per l'apprendimento cognitivo e il senso motorio, per il recupero, la formazione o il consolidamento di determinate abilità manuali che richiedono un'interazione precisa con l'ambiente e più in generale nell'insegnamento di particolari compiti. In quest'ottica che si inserisce questo studio di fattibilità, effettuato dal gruppo di lavoro del *Virtual Reality Lab* del D.M.I. (Dipartimento di Matematica ed Informatica Università degli Studi di Salerno) in collaborazione con la facoltà di Medicina dell'Università di Napoli Federico II, che riguarda lo studio di un'applicazione aptica per il training virtuale degli ostetrici al parto naturale.

### **5.1.1 Presupposti dello studio**

Vediamo ora i fondamenti su cui si basa la realizzazione di un *framework* informatico innovativo, proprio perché basato su tecnologie quali:

- **Realtà Virtuale**
- **Interfacce Aptiche**

Questo studio è stato denominato **PARTO** (Prototipo Aptico mediante Realtà virTuale in Ostetricia) ed è finalizzato al supporto dei Medici Ginecologi e Ostetrici

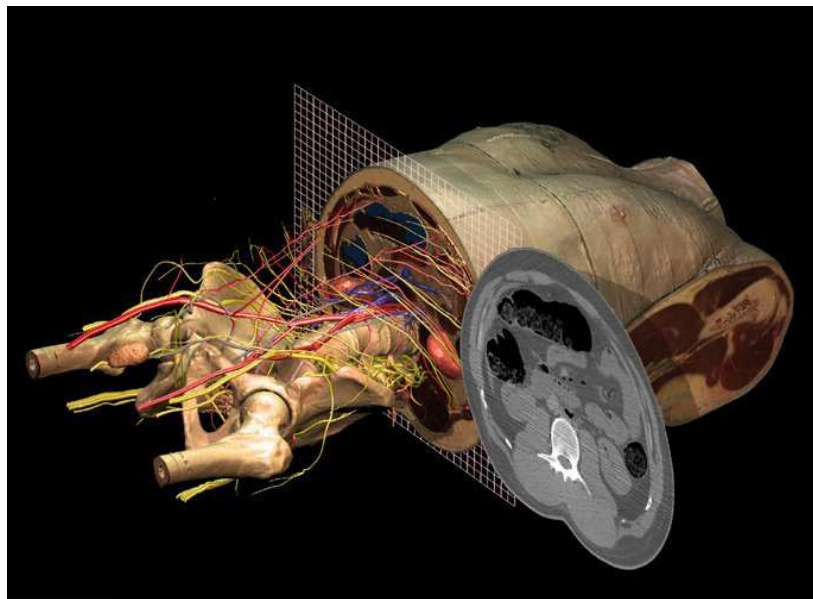
nell'apprendimento e nell'addestramento alla pratica dell'assistenza al Parto Naturale.

Tale impegno può variare molto in funzione delle specifiche condizioni della madre e del feto, nonché del decorso della gravidanza e della preparazione al parto, richiede un complesso *know-how* che può fare la differenza nella gestione di situazioni con vari livelli di difficoltà. Al fine di delimitare il dominio applicativo del *framework* oggetto dello studio di fattibilità viene posto come vincolo progettuale la simulazione del solo *parto eutocico semplice* (monofetale). In letteratura per parto eutocico si intende un parto che avviene con le sole forze naturali senza complicazioni o rischi per la partoriente ed il feto.

Le recenti indagini di settore evidenziano, già da molti anni, una decisa predominanza dei parti cesarei rispetto ai parti naturali, come effetto di un *trend* molto stabile in Italia e purtroppo con delle punte in Campania, come si evince da una Tabella statistica, peraltro relativa all'ultima metà degli anni '90. Ciò è originato principalmente dalle preferenze delle gestanti ma che, soprattutto nel passato recente, ha spesso visto anche gli specialisti di settore assecondare questa richiesta, specialmente per problematiche legate ai tempi inferiori del parto cesareo rispetto a un parto naturale. La conseguenza macroscopica di questa tendenza è stata la progressiva marginalizzazione della formazione e della pratica relative al parto naturale, con il corollario di un maggiore rischio di impreparazione nella gestione di questo delicato evento, soprattutto nell'eventualità di complicazioni.

In questo contesto, i più recenti sviluppi della ricerca nel campo della *Realtà Virtuale* ed *Aumentata*, nonché della simulazione artificiale delle sensazioni tattili tramite le cosiddette *Interfacce Aptiche*, consentono oggi di considerare l'approccio virtuale alla formazione e all'addestramento dei medici ostetrici e ginecologi come un valido ausilio alle tecniche tradizionali, colmando anche il *gap* che queste

tecnologie informatiche presentavano laddove il *know-how* tattile ha un impatto profondo sulla preparazione dello specialista.



**Fig. 5.1** Sezioni TAC/NMR e immagini sintetiche a colori di distretti medici coinvolti nell'applicazione.

Strutture e volume di attività	Parti		Frequenza tagli cesarei
	Numero	(%)	
<b>Strutture pubbliche</b>	<b>158,697</b>	<b>(61.3)</b>	<b>42.5</b>
< 500 parti/anno	22,682	(8.8)	47.5
500 – 800 parti/anno	32,273	(12.5)	44.8
> 800 parti/anno	103,742	(40.0)	40.7
<b>Strutture private</b>	<b>100,225</b>	<b>(38.7)</b>	<b>54.0</b>
< 500 parti/anno	21,317	(8.2)	55.7
500 – 800 parti/anno	31,245	(12.1)	55.2
> 800 parti/anno	47,663	(18.4)	52.5
<b>Totale</b>	<b>258,922</b>	<b>(100.0)</b>	<b>47.0</b>

**Tab. 1** Numero di parti e frequenza di cesarei per struttura e volume di attività (Campania 1996-99).

### **5.1.2 Paradigma di Interazione**

Il paradigma di interazione alla base di **PARTO** intende riprodurre le percezioni visive e tattili alla base dell'attività del medico ostetrico durante la pratica dell'assistenza al parto naturale. Il presupposto tecnologico alla base di questa

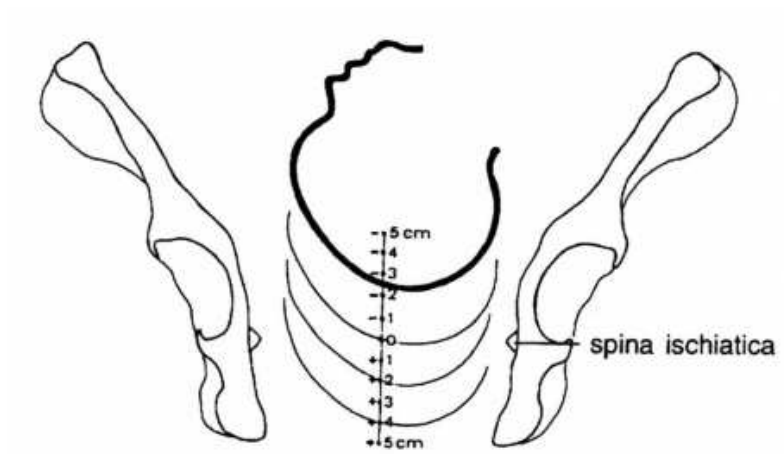


proposta è che al momento siano disponibili interfacce aptiche, sistemi di visualizzazione avanzata e algoritmi di *rendering* in grado di approssimare in maniera credibile (e quindi didatticamente utile), l'interazione che il medico ha attraverso la vista e le mani con le strutture anatomiche della madre e del feto [Baumann, R. and Clavel, R.1998]. Il sistema aptico dovrà quindi preferibilmente consentire una manipolazione con entrambe le mani e inviare sensazioni cinestetiche di ritorno di forza su entrambi gli arti. L'obiettivo è di replicare virtualmente le principali tecniche di palpazione che rappresentano uno degli strumenti diagnostici fondamentali a disposizione degli ostetrici-ginecologi per esempio nell'identificazione della testa nelle presentazioni cefaliche ovvero nella valutazione della progressione della parte presentata o ancora della possibilità dell'impegno della testa fetale. La valenza didattica e in termini di training di queste attività prevalentemente tattili rappresenta il vero valore aggiunto del *framework* proposto. In questo contesto, dal punto di vista dell'interazione visiva, una visualizzazione tramite visore *see-through* in Realtà Aumentata avrebbe il vantaggio di consentire all'utente di vedere l'ambiente circostante e le proprie mani riducendo i rischi delle sindromi di affaticamento tipiche della Realtà Virtuale immersiva e probabilmente migliorando la coordinazione oculo-motoria durante l'operatività. D'altra parte, il peso computazionale relativo alla rimozione in *real-time* di parte dei contenuti reali durante l'interazione, ad esempio la frazione della mano dell'ostetrico che entra in vagina va progressivamente nascosta, rappresenta sicuramente un costo non trascurabile e tale da far considerare un approccio alla visualizzazione basato su VR immersiva tramite HMD più conveniente. In ogni caso la visualizzazione dovrà essere binoculare e stereoscopica, con parametri di distanza inter-oculare e convergenza personalizzati per il singolo utente tramite una procedura di calibrazione, al fine di consentire una ricostruzione ideale della profondità della

scena. Inoltre al fine di consentire una più naturale modalità di immersione il visore dovrà essere equipaggiato con un sistema di *tracking* a 6 gradi di libertà con elevata frequenza di *sampling*, capace di inviare al motore di *rendering* posizione ed orientamento del campo visivo dell'utente in tempo reale, consentendo una trasformazione della scena coerente.

Un altro aspetto molto importante ai fini di una fruizione efficiente ed intuitiva del *framework* proposto è quello costituito dall'interfaccia utente, intendendo con ciò l'insieme di funzionalità offerte dal software e che vanno selezionate per renderle operative. Naturalmente i tradizionali metodi di interfacciamento basati sul paradigma mouse-tastiera qui sono inapplicabili in quanto l'utente avrà entrambe le mani (e le braccia) vincolate fisicamente ai dispositivi aptici, quindi l'interfaccia dovrà essere anch'essa di tipo visio-aptico, ovvero basata su pulsanti virtualizzati mostrati alla periferia del campo visivo, secondo la logica *context-sensitive*, e premuti fisicamente dall'utente attraverso il sistema aptico. Tale interfaccia potrà, naturalmente, visualizzare oltre che il modello preposto alla simulazione anche contenuti grafici o testuali addizionali che possono essere di aiuto nell'apprendimento della manualità e nella comprensione visuale delle dinamiche del parto.

Ad esempio sarà possibile mostrare su richiesta in una zona periferica del campo visivo una rappresentazione grafica animata del livello della parte presentata usando come riferimento il piano delle spine ischiatiche e l'indice della parte presentata medesima (vedi figura 5.2). Infine, a completare le modalità di interazione con il *framework* sarà disponibile anche un'interfaccia vocale per consentire l'attivazione delle funzionalità disponibili qualora le mani fossero impegnate nell'attività di simulazione.



**Fig. 5.2 Esempio di informazioni aggiuntive visualizzabili in sovrapposizione durante l'interazione aptica.**

### 5.1.3 Architettura del Framework PARTO

In generale, l'architettura del *framework* PARTO si articolerà nelle seguenti componenti fondamentali (vedi Fig. 5.3):

- **Interfaccia Vocale Ausiliaria:** consente il riconoscimento di comandi vocali dipendenti dal contesto operativo in alternativa o in parallelo all'interfaccia utente principale che è costituita dal sotto-sistema aptico stesso [Di Martino S. Ricciardi 2008].
- **Modulo HMI di interfacciamento Uomo-Macchina:** riceve in input le informazioni posizionali e rotazionali del sottosistema aptico assieme alle informazioni relative alla flessione ed adduzione di ogni singolo dito, eventualmente organizzate in *patterns* gestuali, e fornisce in output i dati relativi all'attività dell'utente al Motore Fisico di simulazione del Parto. In tal modo l'utente può modificare direttamente (attivando funzioni specifiche gestualmente o con la voce) o indirettamente (semplicemente attraverso l'attività aptica) l'evoluzione della simulazione [Chryssolouris G, Mavrikios D, Fragos D, Karabatsou 2000].
- **Sotto-Sistema Aptico:** è in grado di tradurre in sensazioni di ritorno di forza l'output del Motore di Rendering Aptico, e funge anche da interfaccia di input per la selezione ed attivazione delle funzionalità disponibili.
- **Motore di Rendering Aptico:** applica gli algoritmi di *rendering* che saranno sviluppati per modellare il comportamento "tattile" delle strutture anatomiche virtualizzate durante l'interazione. E' asservito al Motore di *Rendering* Visuale e pilota direttamente il Sotto- Sistema Aptico nella fase attiva di applicazione delle forze di contatto e ritorno.
- **Sistema di *Tracking*:** campiona ad alta frequenza posizione e orientamento della testa dell'utente e li comunica al motore di *rendering* per generare una visione virtuale congruente.

- **Motore di Rendering Visuale:** riceve in input dal sistema di *tracking* il punto di vista dell'osservatore e dal motore fisico la scena virtuale aggiornata secondo lo stato attuale della simulazione, presiede a tutte le trasformazioni geometriche in vista camera (operando su una coppia stereoscopica) e quindi rasterizza la scena producendo due flussi di fotogrammi (SX e DX) che infine invia al visore HMD. Inoltre per ogni fotogramma verifica le eventuali collisioni tra gli oggetti che interagiscono generando in caso positivo una rappresentazione vettoriale dell'evento che viene inviata al Motore di *Rendering* Aptico per la simulazione delle forze di contatto [Di Martino S. Ricciardi 2008].

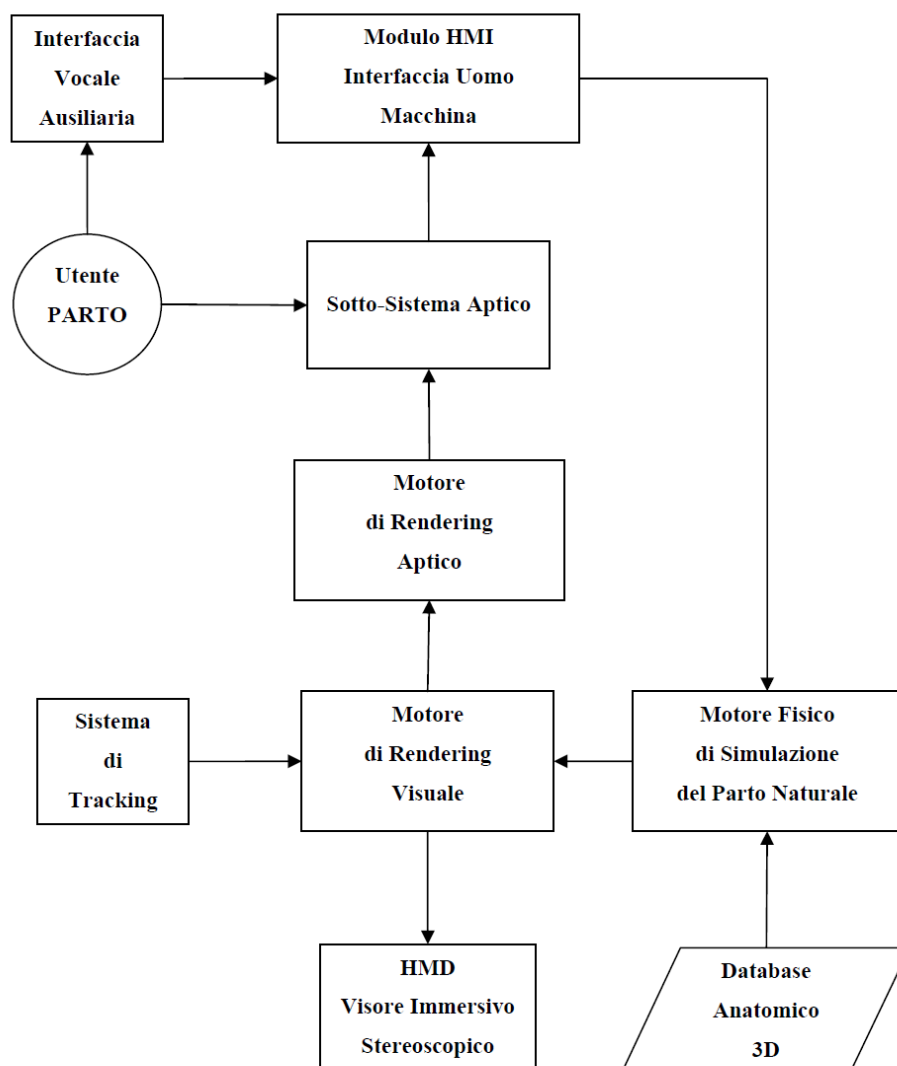
- **Motore Fisico di Simulazione del Parto Naturale:** Presiede alla simulazione del "comportamento dinamico" di tutti gli oggetti di cui è composta la scena virtuale e che sono contenuti nel Database Anatomico, inviandoli sotto forma di primitive geometriche al Motore di Rendering Visuale.

- **Database Anatomico 3D del Distretto di interesse:** Rappresenta la sorgente dei contenuti virtuali (geometrie, poligonali, *textures*, *shaders*, proprietà fisiche) utilizzati per la simulazione del distretto di interesse che viene generata dal Motore Fisico e, quindi, per la sua visualizzazione attraverso il Motore di *Rendering* Visuale.

- **Visore HMD immersivo stereoscopico:** riceve un flusso di coppie stereoscopiche dal Motore di *Rendering* e le visualizza in modalità immersiva.

Dal punto di vista della ricerca applicata, lo sviluppo dell'architettura sopra esposta sarà focalizzato su due aspetti salienti: simulazione delle forze di contatto legate all'interazione tra utente e modelli anatomici 3D e simulazione in tempo reale della deformazione di tessuti molli. E' evidente, infatti, che ai fini dell'obiettivo generale di PARTO di servire come strumento di *training*, solo una simulazione visio-aptica di qualità adeguata può consentire un reale apprendimento non solo degli aspetti operativi ma anche del *knowledge* tattile su cui spesso è basata la verifica della

progressione del parto naturale come della presenza di difficoltà varie. Di seguito sono dettagliati gli approcci che saranno alla base dello sviluppo del motore di *rendering* visuale e aptico di PARTO.



**Fig. 5.3 Schema dell'architettura del Sistema PARTO**

Le componenti software del *framework* proposto risultano essere tre:

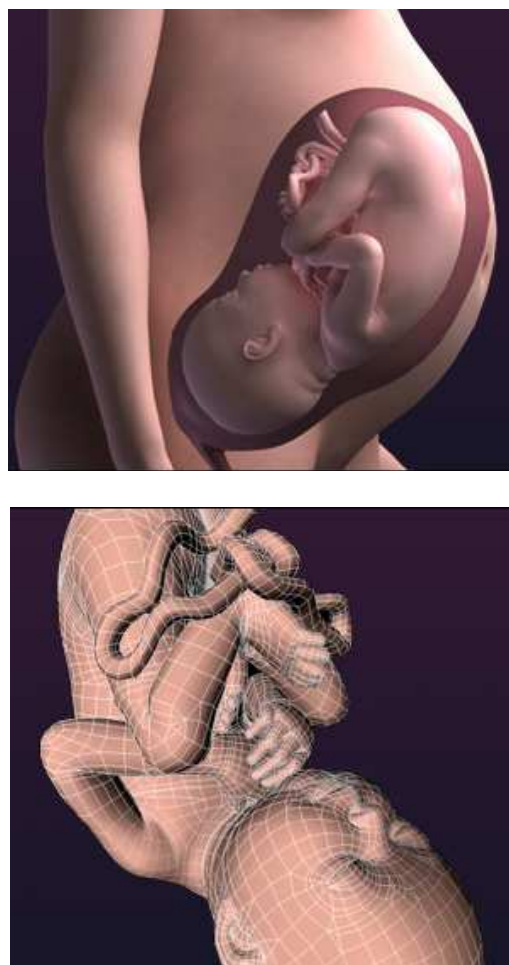
- 1. Motore Fisico di Simulazione del Parto**
- 2. Motore di Rendering Visuale**
- 3. Motore di Rendering Aptico**

L'attività di ricerca sarà mirata allo sviluppo di modelli visio-aptici per l'interazione visiva, cinestetica e tattile, applicata a un modello tridimensionale del distretto anatomico interessato che rappresenti con un livello di fedeltà adeguato le strutture coinvolte e il feto. Secondo il paradigma proposto, l'interazione aptica (dall'operatore al modello virtuale) è tradotta in un pattern di pressioni e di forze applicate alla struttura. Il campo di deformazioni e di forze opportunamente elaborato sarà quindi restituito all'interfaccia aptica che fornisce all'operatore la sensazione tattile di cedevolezza della struttura che si sta toccando.

#### **5.1.4 Specifiche del Modello 3D del distretto di interesse**

All'interno del *framework* proposto, la virtualizzazione dell'anatomia della madre e del feto tramite modelli tridimensionali riveste un'importanza fondamentale, in quanto, tutta la simulazione visuale e di conseguenza il paradigma d'interazione sono basati su essi. Modelli tridimensionali anatomici possono essere prodotti con tecniche diverse, ad esempio gran parte dei sistemi diagnostici basati su TAC o Risonanza Magnetica, sono in grado di fornire in output rappresentazioni 3D volumetriche delle regioni oggetto d'indagine associando una terna di coordinate a ciascun pixel appartenente a una certa *slice* dell'acquisizione. Il modello risultato può essere anche molto accurato se l'intervallo di acquisizione tra le singole *slices* è paragonabile alla dimensione di un pixel, inoltre esso riproduce un caso reale nella sua specificità anziché *un'anatomia* idealizzata. Purtroppo, però, tali modelli *voxel-based* non sono molto adatti a finalità quali la simulazione dinamica e aptica, inoltre va anche considerato che le metodiche diagnostiche sopra citate sono potenzialmente pericolose per il feto, mentre tecniche come l'ecografia strutturale sono sicure ma forniscono una risoluzione di gran lunga inferiore. Poiché le finalità del progetto **PARTO** sono dichiaratamente didattiche e addestrative, la riproduzione

virtuale del distretto potrà essere convenientemente approcciata attraverso modellazione superficiale *poligon-based* ottenuta mediante tecniche di suddivisione. Questa scelta renderà possibile lo sfruttamento delle capacità di elaborazione grafica offerte dalla GPU di ultima generazione sia per la trasformazione dei modelli che per la definizione degli *shaders* necessari a rendere realisticamente ed efficacemente l'aspetto delle superfici. Sarà, infatti, necessario definire e realizzare *textures* che riproducano le principali tipologie di tessuti visibili durante la fase operativa e, quindi, associarle alle *mesh* poligonali attraverso una corretta tecnica di *mapping*. Inoltre, a valle della fase di modellazione sarà definita la configurazione di *rigging* più appropriata a consentire al feto così come alle parti molli del distretto interessate ai fenomeni meccanici di deformarsi in accordo alle controparti reali.



**Fig. 5.4 Esempi di modelli tridimensionali anatomici basati su rappresentazione poligonale**



La risoluzione poligonale complessiva dei modelli anatomici dovrà essere sempre proporzionata alla complessità morfologica delle strutture reali riprodotte secondo una tecnica di ottimizzazione adattativa. Ad esempio il *rigging* sarà esteso oltre che alle articolazioni tipicamente disponibili nella modellazione organica (arti inferiori e superiori, colonna vertebrale, clavicole, testa) anche alla simulazione dei fenomeni plastici a carico del cranio fetale e dovuti alla presenza di fontanelle e suture craniche. Da un punto di vista dimensionale i modelli prodotti dovranno presentare tutte le misure caratteristiche (ad esempio diametri pelvici per la madre e diametri cefalici per il feto) come compatibili con il parto eutocico.

### **5.1.5 Specifiche Software**

I componenti software del *framework* risultano essere tre: Motore Fisico di Simulazione del Parto, Motore di Rendering Visuale e Motore di Rendering Aptico. L'attività di ricerca sarà mirata allo sviluppo di modelli visio-aptici per l'interazione visiva, cinestetica e tattile, applicata a un modello tridimensionale del distretto anatomico interessato che rappresenti con un livello di fedeltà adeguato le strutture coinvolte e il feto. Secondo il paradigma proposto, l'interazione aptica (dall'operatore al modello virtuale) è tradotta in un *pattern* di pressioni e di forze applicate alla struttura. Il campo di deformazioni e di forze opportunamente elaborato sarà quindi restituito all'interfaccia aptica, che fornisce all'operatore la sensazione tattile di cedevolezza della struttura che si sta toccando. La modellistica e la simulazione di oggetti cedevoli, quali il feto, la placenta o la cervice uterina, risulta, quindi, essere di cruciale importanza. I modelli che trascurano completamente la fisica dei tessuti simulati non sono sufficientemente accurati mentre quelli che si basano sugli elementi finiti richiedono un carico computazionale così elevato da rendere difficile la loro utilizzazione in contesti visio-aptici. Alcune

soluzioni interessanti, basate sul metodo dei *Long Elements* (LEM), sono state proposte recentemente e in questa direzione si intende proporre modelli visio-aptici di complessità ridotta in grado di fornire simulazioni realistiche d'interazione con oggetti cedevoli ad un costo computazionale accettabile. Se da un lato le metodologie e le tecnologie per l'interazione visiva sono mature per gli obiettivi che si vogliono perseguire nel progetto, così non è per l'interazione aptica. Tramite l'interfaccia aptica vi è uno scambio bi-direzionale di energia e questo può generare fenomeni di instabilità che, manifestandosi in fastidiose vibrazioni, possono compromettere il realismo della simulazione o l'integrità delle parti elettromeccaniche. Il problema della stabilità per le interfacce aptiche costituisce una linea di ricerca molto attiva ma sono ancora molti i problemi non risolti. Un primo aspetto è che le attuali tecniche d'interazione con oggetti rigidi sono limitate a oggetti molto semplici (muri virtuali) che mal si adattano alle applicazioni mediche oggetto della ricerca. Inoltre l'attuale stato dell'arte nello studio della stabilità dell'interazione aptica è limitato al caso di singolo punto di contatto con oggetti rigidi. L'interazione con oggetti deformabili in uno scenario in cui più punti di contatto con un gruppo di utenti (o uno stesso utente che tocca l'oggetto usando entrambe le mani) sono coinvolti, apre scenari molto interessanti e inesplorati. Lo sviluppo del Motore di Rendering Aptico potrà utilizzare risorse software quali il **VirtualHand SDK di Immersion** [Carmel R, Ullrich C, Silver J VirtualHand 2001] che rappresenta una completa soluzione di sviluppo per implementare applicazioni di motion capture della mano, interazione della mano, feedback di forza nelle simulazioni basata sulle API VirtualHand [DesRosiers,H., Gomez, D.,Tremblay,M., & Ullrich,C. 2001].

## 5.1.6 Specifiche Hardware

Il paradigma d'interazione esposto in precedenza, l'architettura generale del *framework*, forniscono precisi vincoli e *targets* prestazionali che consentono di definire le specifiche delle componenti hardware di **PARTO** ovvero: il *sottosistema aptico*, il *sottosistema grafico* e di visualizzazione, il *sistema di tracking* ed il *sottosistema di calcolo*.

Il presupposto fondamentale del framework è la possibilità di interagire con un modello virtuale attraverso un sistema aptico in grado di fornire sensazioni di ritorno di forza in un *range* operativo adeguato al campo di applicazione. Poiché la progettazione e lo sviluppo di un prototipo aptico dedicato esulano dalle finalità di questo studio, è necessario identificare un'alternativa commerciale adatta allo SCOPO [Di Martino S. Ricciardi 2008]. In tal senso l'unica soluzione esistente è a tutt'oggi rappresentata dal sistema **CyberForce** della **Immersion Corp**. Esso può essere classificato come un dispositivo cinestesico (*force feedback*) ad interfaccia **Hand-based** fissa. Quest'apparecchiatura offre un naturale modo di interfacciarsi ad ambienti 3D generati dal computer, e di controllare *end-effectors* in applicazioni telerobotiche che richiedono un alto livello di destrezza. In pratica, *l'end-effector* è costituito da un guanto strumentato, inserito all'interno di un esoscheletro, che si lega al dorso della mano e guida i tendini nell'applicare la forza alle punte delle dita. Esso ha la responsabilità di fornire reazioni di forza alle singole dita. Il tutto è collegato rigidamente ad un ulteriore esoscheletro che è in grado di trasmettere le forze di ritorno nelle tre dimensioni (quindi eventualmente anche la gravità) per la mano e per il braccio, e in aggiunta a ciò fornisce il tracciamento dei sei gradi di libertà che misurano esattamente la traslazione della mano nelle tre dimensioni e la rotazione sui tre assi *yaw*, *pitch* e *roll*. Queste informazioni sono usate dall'host per

mostrare la rappresentazione virtuale della mano articolata sullo schermo durante l'interazione. Il sistema CyberForce può essere usato in configurazione duale implementando così una soluzione optica completa per gli arti superiori (Fig.5.5)

[Borst CW, Indugula P (2005)].



**Fig. 5.5 Postazione Ottica Cyberforce, configurazione duale**

### **5.1.7 Evoluzione del Framework**

Nonostante l'architettura in precedenza descritta sia esplicitamente mirata alla simulazione del parto eutocico, un successivo sviluppo della stessa potrebbe affrontare la simulazione del parto distocico ovvero con complicazioni o rischi per la partoriente, il feto o entrambi. Naturalmente questa generalizzazione comporterà un notevole aumento di complessità del *framework*, a carico principalmente delle componenti software ed in particolare del Motore Fisico di Simulazione del Parto che dovrebbe gestire un numero molto maggiore di situazioni e del Database Anatomico che dovrebbe consentire la rappresentazione di una casistica anatomica molto più ampia. Tuttavia, a fronte di un sensibile incremento della complessità di queste componenti si avrebbe un elevato valore aggiunto in termini di utilità

dell'intero progetto per la formazione avanzata dello specialista ostetrico-ginecologo.

Un altro aspetto che potrebbe essere utilmente sviluppato è quello che concerne la parametrizzazione dei modelli tridimensionali della partoriente e del feto, alludendo con questo principalmente ai diametri dello *stretto superiore* del piccolo bacino ovvero la *coniugata anatomica*, la *coniugata ostetrica*, i *diametri obliqui* e quello *traverso medio e traverso massimo*.

Stesso discorso si applicherebbe alle misure dello *scavo pelvico* e dello *stretto inferiore*, giungendo in definitiva a modificare a piacimento *l'asse pelvico*. Analoghe estensioni del *framework* originario potrebbero essere applicate ai parametri cefalici del feto. Sviluppando quest'approccio parametrico alla definizione delle caratteristiche anatomiche dei modelli virtuali, è immaginabile di poter effettuare una ricostruzione di casi reali ad uso didattico o per attività di *planning*-pre-parto imponendo all'anatomia virtuale le misurazioni rilevate attraverso la diagnostica.

Alla luce della vasta panoramica circa le tecnologie della VR, AR e Sistemi Aptici presentata, risulta chiaro l'apporto che esse possono fornire alla formazione degli ostetrici-ginecologi. Il *framework* proposto nel presente studio di fattibilità rappresenta un valido esempio di sfruttamento delle potenzialità esistenti sia in termini di know-how di settore che di sinergie nella ricerca informatica e medica. Naturalmente, per quanto riguarda l'applicazione di paradigmi aptici alla pratica medica generale, e ostetrica in particolare, esistono ampi margini di miglioramento. I miglioramenti sono orientati, da un lato ai dispositivi hardware, ancora ben lungi dal raggiungere la sensibilità del tatto umano, e dall'altro dall'oggettiva difficoltà nel raggiungere uno stadio post-prototipale, che consenta una valutazione accurata sul campo, dei punti di forza, come dei limiti del *framework* proposto e di conseguenza inneschi un feedback, da parte degli utenti, capace di produrre un raffinamento

progressivo dei risultati. Ad ogni modo, la diffusione di sistemi aptici in altri settori, quali, ad esempio, l'industria automobilistica e aerospaziale, contribuirà da un lato ad abbassare la soglia di accesso a queste tecnologie, dall'altro a stimolare il perfezionamento dei dispositivi esistenti. Nel frattempo settori applicativi come quello oggetto del presente studio possono già riportare concreti vantaggi operativi dall'utilizzo della tecnologia disponibile.

## **5.2 Manutenzione di parti di aereo virtuali assistita da interfaccia aptica.**

In questi ultimi anni, le scelte del mondo dell'industria, per le attività di addestramento e di manutenzione, sono orientate su soluzioni assistite da computer, in modo da ridurre i costi e i tempi e inoltre migliorare sensibilmente la qualità dei prodotti e dei servizi forniti. Normalmente, sistemi di elaboratore creati per assemblaggio o manutenzione di macchine sono implementati da interfacce uomo-macchina tradizionali (tastiera, mouse, ecc). Ciò comporta sistemi che sono lontani dalle reali procedure, e non efficienti nelle attività di manutenzione e/o addestramento. Una soluzione migliore e innovativa potrebbe scaturire dal combinare tecniche di Realtà Virtuale e di Interazione Aptica. Noi pensiamo fermamente che le due tecnologie possano migliorare queste procedure.

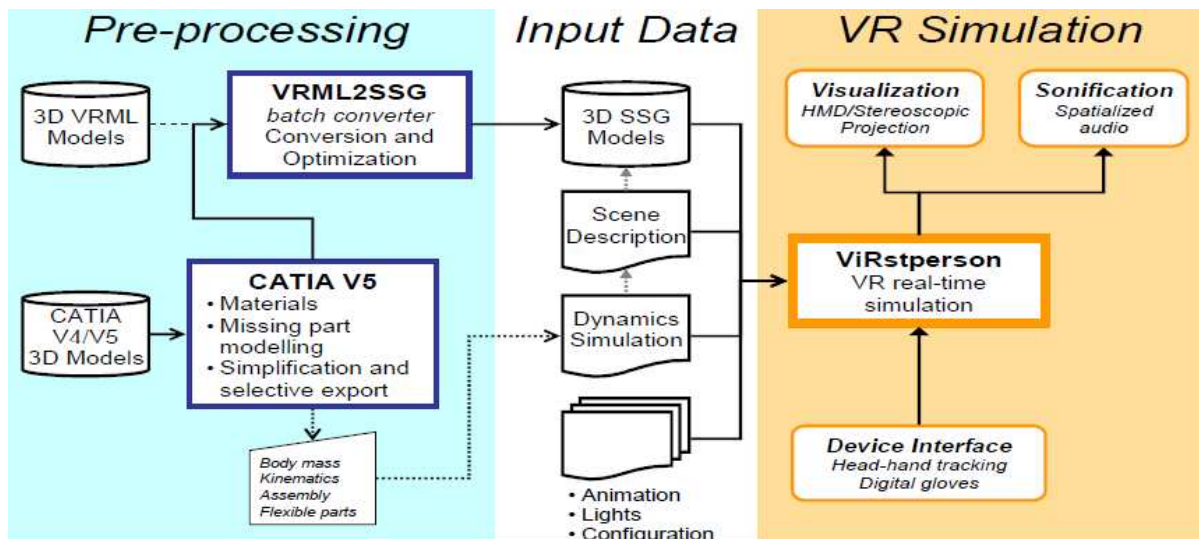
Andiamo a illustrare un'attività di ricerca congiunta tra CIRA (Centro Italiano Ricerche Aerospaziali [www.cira.it](http://www.cira.it)) e Laboratorio di Realtà Virtuale del DMI (Dipartimento di Matematica e Informatica), che tratta l'integrazione delle due tecnologie, eseguendo simulazioni di manutenzione o attività di addestramento all'interno di un ambiente virtuale. Viene data la possibilità ad un utente (in questo caso scelto tra meccanici, o tecnici) di interagire, direttamente con modelli virtuali 3D di parti di un aereo ed in più, di sentire retroazioni di forze generate dall'interazione tra l'utente e l'ambiente virtuale [Chryssolouris G, Mavrikios D, Fragos D, Karabatsou V 2000] . E' altresì possibile di toccare, afferrare, manipolare oggetti virtuali di una scena 3D, (parti meccaniche di aereo da mantenere), mediante l'ausilio di un'interfaccia aptica, consentendo a operatori della manutenzione di essere addestrati mediante un sistema di simulazione di realtà virtuale interattivo e

realistico allo stesso tempo, che combina i vantaggi di un addestramento sicuro con il paradigma di apprendimento “learning by doing”.

### 5.2.1 Tecnologie Utilizzate

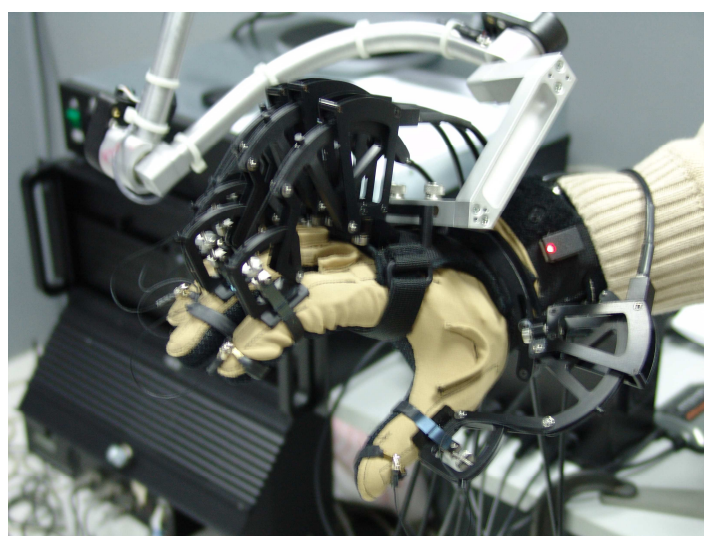
Per quanto riguarda le tecnologie utilizzate possiamo affermare che il punto di partenza per questo lavoro è stato **Virstperson** [Di Gironimo G, Leoncini P 2005], un motore di realtà virtuale sviluppato dal CIRA (Centro Italiano Ricerche Aereospaziali [www.cira.it](http://www.cira.it)), che utilizza il software Catia V5 per la modellazione delle parti meccaniche di avionica [Nahvi, A., Nelson, D.D., Hollerbach, J.M., and Johnson, D.E., 1998], inoltre e' basato su librerie *open-source*, ad esempio **OpenDE**, per la simulazione completa delle dinamiche dei corpi rigidi [Smith, 1999], che regola l'interazione di tutti i corpi all'interno dell'ambiente. Inoltre dei giunti guida dinamici assistono l'utente nell'assemblaggio/disassemblaggio delle parti meccaniche di aereo. Inoltre **Virstperson** supporta attività ingegneristiche e tecniche quali, validazione di procedure di manutenzione, e addestramento alla manutenzione. Allo scopo di migliorare il realismo dell'esperienza interattiva di manutenzione o di assemblaggio di pezzi di aereo, estendendo le funzionalità del software **Virstperson**, si e' pensato a simulare un'interazione aptica mediante l'ausilio del sistema **Cyberforce®**, un'interfaccia aptica a retroazione di forza, di tipo **hand-based**, fornita dall'azienda americana **Immersion** [www.cyberglovesystems.com](http://www.cyberglovesystems.com). In questo modo per l'operatore "*il senso di essere lì*", dentro l'ambiente virtuale risulta elevatissimo, perché l'utente avverte i ritorni di forza forniti durante la manipolazione di componenti, nell'esecuzione delle operazioni di manutenzione.[Ware, Rose, 1999].





**Fig. 5.6 Architettura e data-flow di un'applicazione di VR basata su Virstperson**

Come software per il rendering aptico, ci siamo serviti del componente di sviluppo del sistema Cyberforce, con cui integrare l'interazione, in tempo reale, della mano virtuale con le parti di aereo 3D. Le forze di retroazione sono calcolate e restituite indipendentemente per ogni dito dell'utente, che deve indossare il Cyberglove, il guanto a 22 sensori del sistema Cyberforce. Usando delle classi del VHT (Virtual Hand Toolkit, soluzione di sviluppo per l'implementazione di applicazioni aptiche in tempo reale, (vedi capitolo 3) del sistema Cyberforce,



**Fig. 5.7 Dettaglio del guanto con sensori Ciberglove e dell'esoscheletro CyberGrasp**

e' stato calcolato il *rendering* aptico, lavorando in una delle quattro modalità operative con cui può lavorare il sistema:

- **Modalità Force mode**

L'utente può indossare anche un casco HMD (**Head Mounted Display**) per una visualizzazione immersiva, ciò massimizza il concetto "di essere al centro della scena virtuale". [Borst, Indugula, 2005].

Dal punto di vista del software l'integrazione tra il sistema **CyberForce** e il motore **VirstPerson** (vedi fig. 5.10) dipende dal **SDK Virtual Hand**, per accedere alle funzionalità del dispositivo attraverso la rete [Carmel, UI, Si, 2001].

Per i *feedback* di forza del Cyberglove il motore **ViRstperson** legge una matrice di trasformazione, di dimensione 4X4 per gli oggetti della mano virtuale e in più le posizioni e l'orientazione del polso fornite dal *tracker* interno.

Esso restituisce in output i dati rilevanti della forza di reazione quando si afferra un oggetto (**object Grasping**), che sono proporzionali ai valori della distanza di penetrazione nell'oggetto, ciò per ciascun dito, e in più un vettore a tre componenti, che sono i valori risultanti della forza esercitata dall'oggetto impugnato, sul dorso della mano.

Quindi il programma di interfaccia del dispositivo Cyberforce con **VirstPerson** (in pratica un driver), traduce tali dati in *range* di forza compatibili con il Cyberforce (normalizzati tra 0 e 1) per le dita e per il dorso della mano.

La configurazione hardware include un processore **Opteron dual-core 2,4 GHz**, equipaggiato con una scheda grafica **Nvidia Quadro 4500**, e inoltre un HMD **CyberMind Visette SXGA** Stereoscopico e **CyberTrack**, sistema di tracking che fa parte del **CyberForce** che rileva le posizioni e l'orientamento della mano.

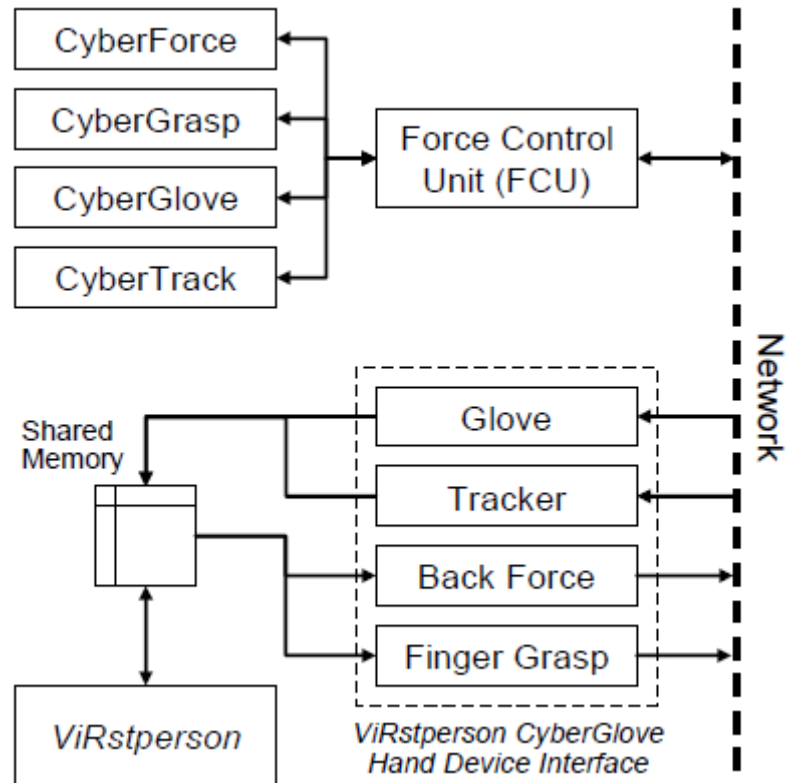


Fig. 5.10 Schema del flusso dati nella comunicazione tra il Sistema Cyberforce e il motore VirstPerson

## 5.2.2 Modalità Operative del Sistema

In questa maniera, nelle simulazioni di addestramento, l'utente/manutentore viene calato in un ambiente virtuale 3D *full immersive*, con sensazioni di *feedback* aptico.

La classe **vhtCyberGrasp** è usata per connettere e controllare un sistema CyberGrasp

Il proxy del dispositivo CyberGrasp di default è definito nella risorsa registro può essere impostato facilmente come segue:

```
VhtCyberGrasp * aGrasp = new vhtCyberGrasp (vhtIOConn::getDefault  
(vhtIOConn::grasp);
```

Alternativamente, tutti i parametri per il collegamento possono essere forniti nell'istanza **vhtIOConn**, come mostra l'esempio seguente:

```
vhtIOConn GraspConn ("cybergrasp", FCU_NAME, "12345" "/ dev/servo",  
Null);
```

FCU\_NAME è un puntatore a una stringa col nome o l'indirizzo IP del controllore CyberGrasp

CyberGrasp ha quattro modalità operative:

- **Force mode**
- **Impedence Mode (modalità ad impedenza)**
- **Rewind mode**
- **Idle (modalità inattiva)**

La Commutazione delle modalità è eseguita usando il metodo:

```
vhtCyberGrasp::setMode (int mode).
```

I comandi seguenti illustrano come impostare ognuna delle modalità:

```
aGrasp - > setMode (GR_CONTROL_FORCE);
```

```
aGrasp - > setMode (GR_CONTROL_IMPEDENCE);
```

```
aGrasp - > setMode (GR_CONTROL_REWIND);
```

```
aGrasp - > setMode (GR_CONTROL_IDLE);
```

Nella modalità "**REWIND** ", i cavi si ritirano con una piccola forza. In modalità "inattiva"(**IDLE**), la forza prodotta in output è posta a zero. In questi due casi il sistema CyberGrasp ignora ogni forza o dati di impedenza spediti dalla applicazione dell'utente. Le modalità operative **Force mode** o **Impedence Mode** sono usate per interazioni aptiche in *real time*, come nel caso della nostra applicazione. Descriveremo, in dettaglio, la modalità operativa **Force mode**, utilizzata dalla nostra applicazione.

La modalità operativa **force mode** viene usata per interazioni aptiche in *real time* [Carmel, UI, Si, 2001]. L'applicazione dell'utente calcola e aggiorna le forze di interazione. Il **CyberGrasp Controller** darà in output i livelli dell'ultima forza

specificati dall'applicazione Host. Le forze desiderate sono applicate dal **CyberGrasp Controller** usando il metodo **vhtCyberGrasp::sendForce**.

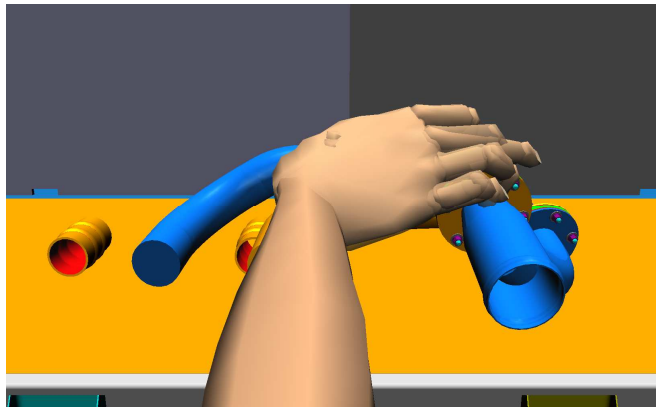
I valori della forza sono specificati come un *array* di 5 valori doppi, nel *range* normalizzato da 0.0 a 1.0, corrispondendo ognuno ad un dito. Un valore di 1.0 corrisponde alla massima forza che il dispositivo può generare. Le forze di valore negativo sono messe a 0.0, poiché, il sistema di **CyberGrasp** usa un meccanismo di guida unilaterale che non può applicare forze nella direzione opposta [Rezzonico Hu, Bo, Th, Tha, 1995 ]

L'esempio seguente applica una piccola forza continua a tutte le cinque dita dell'applicazione: [Carmel, Ul, Si, 2001]

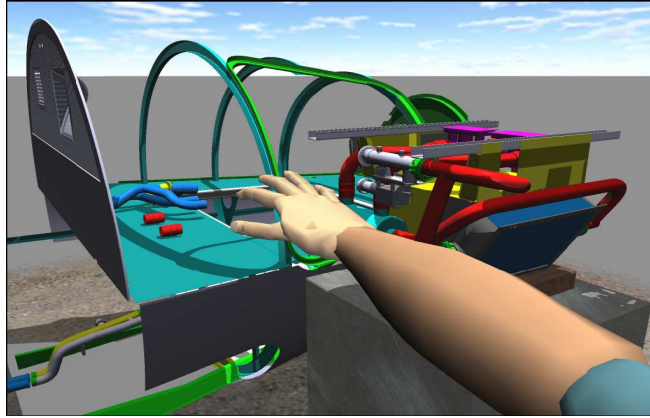
```
double f[] = {0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05};
```

```
vhtCyberGrasp::setMode (GR_CONTROL_FORCE);
```

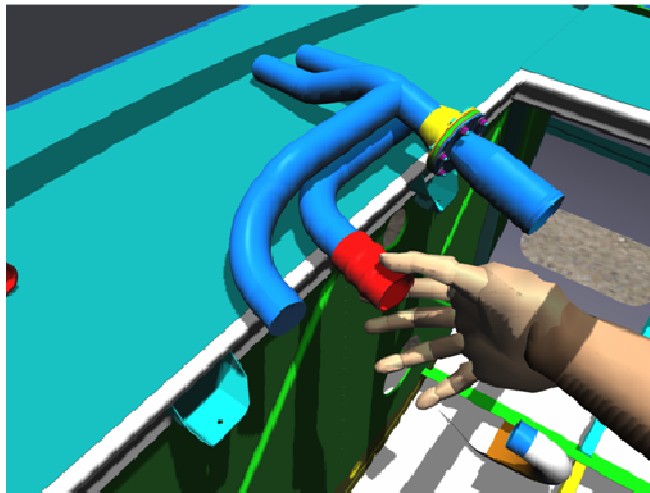
```
aGrasp > setForce (f);
```



**Fig. 5.7** Screenshots catturato durante l'interazione diretta nell'applicazione di manutenzione virtuale, usando VirstPerson



**Fig. 5.8** Screenshots catturato durante l'interazione diretta nell'applicazione di manutenzione virtuale, l'utente afferra un componente del motore



**Fig. 5.9** Screenshots catturato durante l'interazione diretta nell'applicazione di manutenzione virtuale, l'utente impugna un tubo flessibile.

### **5.2.3 Il senso del Tatto nella manutenzione virtuale**

Durante l'esecuzione dei compiti di manutenzione, il contatto tra gli oggetti virtuali e tra la mano e gli oggetti deve essere quanto più conforme al comportamento dinamico che regola l'interazione tra oggetti fisici nel mondo reale. In tale situazione, le sensazioni più importanti da trasferire all'utente del sistema sono i feedback di forza, consentendo alla mano dell'utente di avere la sensazione di toccare un oggetto, percependo la natura della sua superficie e sentire la resistenza di un oggetto manipolato che si oppone alla manipolazione a causa delle proprietà

della massa. Questa caratteristica è molto importante in ambienti virtuali per applicazioni di manutenzione, infatti, nella realtà un utente che fa manutenzione adopera pezzi e strumenti che possiedono proprietà di massa e di rigidità e che una applicazione di VR deve riprodurre per trasmettere all'utente la stessa sensazione. [Zorriassatine F, Wykes R, Parkin R, Gindy N (2003)]

Il sistema proposto calcola le forze di contatto restituite assumendo che la loro intensità è proporzionale alla distanza di penetrazione dell'oggetto, la forza calcolata viene sentita dall'utente del sistema mediante l'interfaccia aptica allorché la mano virtuale tocca l'oggetto o gli oggetti durante la fase del task di manutenzione. La penetrazione di un oggetto in un altro oggetto, ad esempio la mano che afferra un tubo di gomma come mostrato in figura 5.9, è così evitata dalla combinazione del sistema di *collision detection*, implementato nel motore di realtà virtuale **VirstPerson**, e di conseguenza dal *device* aptico a ritorno di forza **Cyberforce**.

#### **5.2.4 Considerazioni sull'applicazione**

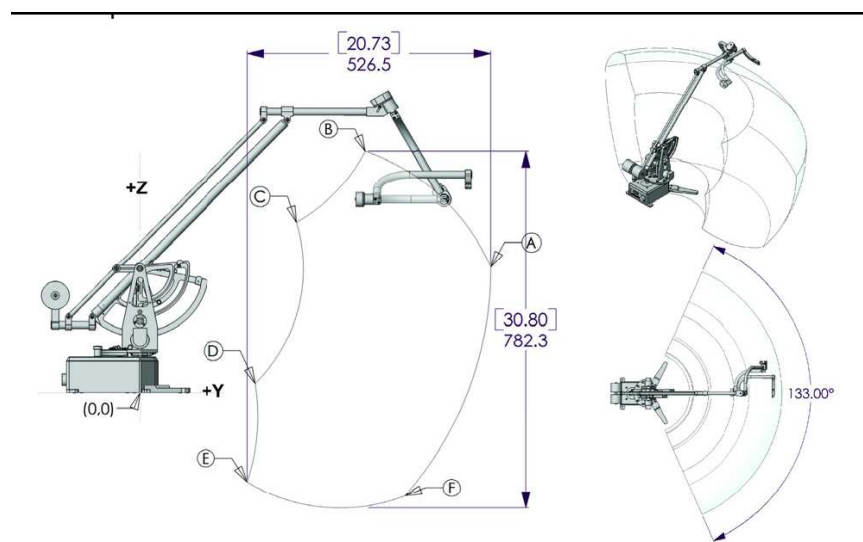
La simulazione di compiti di manutenzione in un ambiente virtuale è basata sulla consapevolezza dell'ambiente da parte degli utenti attraverso un'interazione intuitiva e naturale. L'esecuzione di un compito di manutenzione virtuale, attraverso specifiche apparecchiature di interazione, influenza significativamente il rendimento degli utenti, e l'avvertire anche forze di contatto può migliorare il suo rendimento durante l'esecuzione della manutenzione. Ciononostante le forze di contatto non sono l'unico fattore che ha importanza sul rendimento umano. La natura dell'interazione con l'ambiente virtuale, la differenza nei livelli di percezione tra la manutenzione eseguita nel mondo reale e quella ricostruita nell'ambiente generato al computer, altri fattori umani, problemi ergonomici, e altre considerazioni correlate

agli effetti di interazione uomo-macchina, sono tutti fattori da prendere in considerazione prima di valutare il valore aggiunto della tecnica di interazione sviluppata, approfondendo il suo effetto sul rendimento dell'utente in compiti di manutenzione in ambienti virtuali [Zachmann G, Rettig, 2001].

Lo sviluppo di un paradigma di interazione aptica può contribuire al miglioramento dei compiti di manutenzione, particolarmente quando la manipolazione degli oggetti richiede un elevato livello di percezione e l'esecuzione di compiti di manutenzione virtuale non consistono semplicemente di assemblare e/o disassemblare parti di modelli 3D [Chryssolouris, Ma, Fr, Ka, 2000]. Un importante aspetto di quest'applicazione è la capacità dell'interfaccia aptica di replicare fedelmente le forze coinvolte nella manipolazione dei componenti tecnici di un aereo.

Effettivamente la massa e il peso di ogni componente, come viene percepito dall'utente del sistema, dovrebbe essere paragonabile alle parti reali di un aereo (in un *range* che varia da alcune centinaia di grammi a diversi chili).

Anche il volume operativo può avere un impatto diretto sul realismo della simulazione, se non consente di raggiungere alcune apparecchiature, ma in questo caso, una soluzione semplice, potrebbe essere spostare virtualmente la posizione del dispositivo aptico nell'ambiente virtuale [Liang, Sh, Gr, 1991].





**Fig. 5.10 Esoscheletro CyberForce e suo spazio operativo.**

In ogni modo, dai test preliminari condotti sui modelli virtuali di un sistema di manutenzione avionico, eseguendo delle semplici manipolazioni di componenti, con e senza l'ausilio dell'interfaccia aptica, è risultata un'esplicita preferenza per la modalità assistita da interfaccia aptica, incoraggiando gli autori a proseguire in questa ricerca.



**Fig. 5.11a 5.11b Interazione aptica nell'applicazione di manutenzione proposta usando il sistema a ritorno di forze CyberForce**

### **5.2.5 Conclusioni e sviluppi futuri**

Un'ulteriore estensione di un simile *framework* punta a misurare i vantaggi di un approccio basato su un interfaccia aptica rispetto alla sola realtà virtuale, inoltre un incremento del realismo nell'applicazione potrebbe essere introdotto utilizzando un sistema aptico a due braccia per simulare la coordinazione e la manipolazione di due mani che potrebbe risultare fondamentale per alcune attività reali, accrescendo i presupposti di realismo ed interazione dell'intera applicazione. Poiché questo studio è ancora, in una fase iniziale non è ancora possibile paragonare obiettivamente la simulazione di addestramento basata sulla sola realtà virtuale, rispetto all'approccio proposto, basato su un'interfaccia aptica.

Questo sarà, infatti, uno degli obiettivi principali nello sviluppo di questa ricerca, che prenderà in considerazione, aspetti quali: l'usabilità dell'applicazione, il grado di accettabilità dell'applicazione da parte degli utenti (tecnici e manutentori), il livello di corrispondenza tra percezione aptica dell'ambiente operativo virtuale e l'esperienza tattile dell'ambiente di lavoro reale.

## **Glossario degli Acronimi**

**AR** Augmented Reality (Realtà Aumentata)

**API** *Application Programming Interface* (Interfaccia di Programmazione delle Applicazioni)

**CAD** Computer Aided Design (Disegno Assistito dal Computer)

**CG** Computer Graphics (Computer Grafica)

**CPU** Central Processing Unit (Processore)

**DCU** Device Configuration Utility (Software di Configurazione Dispositivo)

**DOF** Degrees of Freedom (Gradi di libertà di un sistema)

**DVI** *Digital Visual Interface*

**EMI** Electro Magnetic Interference (Interferenze Elettromagnetiche)

**FCU** Force Control Unit (Unità di Controllo Forza)

**FOV** Field of View - (Campo Visivo)

**FPS** Frames Per Second (Fotogrammi Per Secondo)

**GPU** Graphics Processing Unit (Processore Grafico)

**GUI** Graphical User Interface (Interfaccia Utente Grafica)

**HCI** Human Computer Interaction (Interazione Uomo Macchina)

**HI** Haptic Interface (Interfaccia Aptica)

**HMD** Head Mounted Display (Visore Montato su Casco)

**HMI** Human Machine Interface (Interfaccia Uomo-Macchina)

**HUD** Head Up Display (Visore a Testa Alta)

**IPD** Inter Pupil Distance (Distanza tra le pupille nella Visualizzazione Stereoscopica)

**LAN** Local Area Network (Rete Locale)

**LCD** Liquid crystal display (Display Cristalli Liquidi)

**LOD** Level-of-Details (Livelli di Dettaglio)

**MOCAP** Motion Capture (Acquisizione Movimenti)

**MR** Mixed Reality (Realtà Mista)

**SDK** Software Development Kit (Software per lo sviluppo)

**TOF** Time Of Flight (Tempo di Volo)

**VE** *Virtual Environment* (Ambiente Virtuale)

**VGA** Video Graphics Array

**VHT** Virtual Hand Toolkit (Pacchetto di Sviluppo )

**VR** Virtual Reality (Realtà Virtuale)

**VRML** Virtual Reality Modeling Language (Linguaggio di Modellazione della Realtà Virtuale)

## Bibliografia e Sitografia

- [Rif.0] A. F. Abate, (2008). *Haptic Interfaces – Tutorial AVI 2008 International Working Conference*.
- [Rif 1] A. F. Abate, M. Guida, P. Leoncini, M. Nappi, S. Ricciardi An Haptic-Based Approach to Virtual Training for Aerospace Industry J. Vis. Lang. Comput. 20(5): 318-325 2009
- [Rif 2] Andrea F. Abate, M. Nappi, S. Ricciardi, G. Sabatino: Ultra Fast GPU Assisted Face Recognition Based on 3D Geometry and Texture Data. ICIAR (2) 2006: 353-364
- [Rif 3] A. F. Abate, A. R. Di Martino M. Guida, P. Leoncini, G. Vitiello, S. Ricciardi An Haptic-Based Approach to Virtual Training for Haptics-Assisted First-Person Virtual Aircraft Maintenance AVI 2008
- [Rif 4] A. F. Abate, G. Acampora, V. Loia, S. Ricciardi, A. V. Vasilakos: A pervasive visual-haptic framework for virtual delivery training. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine 14(2): 326-334 (2010)
- [Rif 5] A. F. Abate, V. Del Fatto, M. Nappi, S. Ricciardi, G. Tortora: Immersive Gesture-based Interface for Effective 3D Geographic Data Manipulation. DMS 2010: 261-264
- [Rif 6] A. F. Abate, G. Acampora S. Ricciardi Augmented Tour of Archaeological Site by Means of Adaptive Virtual Guide. DMS 2008: 260-265
- [Rif 7] Alur, R and Dill, D. L. (1994). A theory of timed automata. Journal of Theoretical Computer Science, 126(2):183–235.
- [Rif 8] Ascension Technology Corporation [www.ascension-tech.com](http://www.ascension-tech.com)
- [Rif 9] Baumann, R. Clavel, R., "Haptic Interface for Virtual Reality Based Minimally Invasive Surgery Simulation," Proceedings IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 381-6, 1998.
- [Rif 10] Borst CW, Indugula P Realistic virtual grasping. In: Proceedings IEEE virtual reality conference (VR'05). Bonn, Germany, 2005 pp 91–98, 320
- [Rif 11] Borst CW, Indugula P (2005) Realistic virtual grasping. In: Proceedings IEEE virtual reality conference (VR'05). Bonn, Germany, pp 91–98, 320
- [Rif 12] Borst, C. W., & Volz, R. A. (2005). Evaluation of a haptic mixed reality system for interactions with a virtual control panel. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 14(6), 677-696.
- [Rif 13] Boulic, R., Rezzonico, S., & Thalmann, D. (1996). Multifinger manipulation of virtual objects. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 67-74.
- [Rif 14] Bowman, D. A., Kruijff, E., LaViola, J. J., & Poupyrev, I. (2001). An introduction to 3-D user interface design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10(1), 96-108.
- [Rif 15] Brian S. Tani, Rafael S. Maia, Aldo von Wangenheim. (2007). A Gesture Interface for Radiological Workstations. Proceedings of the Twentieth IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems
- [Rif 16] Brooks, F. (1988). Grasping reality through illusion - Interactive graphics serving science. *ACM CHI* p. 1-11.
- [Rif 17] Carmel R, Ullrich C, Silver J VirtualHand v2.5 Programmer's Guide, 2001
- [Rif 18] Chang, B., Colgate, J. E., 1997. Real-time impulse based simulation of rigid body systems for haptic display. Proc. ASME, Dynamic Systems and Control Division, Vol. 61, pp. 1–8.
- [Rif 19] Christoph W. Borst, Arun P. Indugula, Realistic Virtual Grasping, Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality, p.91-98, 320, March 12-16, 2005
- [Rif 20] Chryssolouris G, Mavrikios D, Fragos D, Karabatsou V A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human-related factors in assembly processes. Robot Comput Integr Manuf, 2000, 267–276
- [Rif 21] Christopoulos D, Papaioannou G., Gaitatzes A., 2003, "Enhancing Virtual Walkthroughs of Archaeological Sites", Proc. of ACM/Eurographics VAST 2003, Brighton, UK.
- [Rif 22] CIRA Centro Italiano Ricerche Aerospaziali Capua (CE) [www.cira.it](http://www.cira.it)
- [Rif 23] Cobb, George W., Design and Analysis of Experiments, New York, NY: Springer, 1997. Philbin, D.A,
- [Rif 24] Cybermind Interactive Nederland <http://www.cybermindnl.com>
- [Rif 25] D.J. Duke.(1995). Reasoning About Gestural Interaction, ACM/Eurographics 95, Volume14, Number 3, pp.55-66
- [Rif 26] Debevec P., Taylor C. J., and Malik J., 1996, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry and Image-Based Approach", ACM SIGGRAPH 96 Conference Proceedings, 1996
- [Rif 27] DesRosiers, H., Gomez, D., Tremblay, M., & Ullrich, C. (2001). *VirtualHand v.25 Programmer's Guide*. Palo Alto, CA: Virtual Technologies, Inc.
- [Rif.28] Di Gironimo G, Leoncini P, Realistic Interaction for Maintainability Tests in Virtual Reality. Proceedings of Virtual Concept 2005, Biarritz, France, November 8th–10th, 2005.
- [Rif.29] Di Maio G., Stefani G., 2003, "Sulla linea di costa, il corso del fiume Sarno e gli insediamenti del quartiere fluviale: Considerazioni sulla linea di costa del 79 d.C. e sul porto dell'antica Pompei", in Rivista di Studi Pompeiani XIV, pp.141-245.

- [Rif.30] Di Martino S. Ricciardi La Realtà Aumentata: applicazioni per la medicina e l'industria Trasferimento Tecnologico Luca Torre Editore 2009
- [Rif.31] Di Martino S. Ricciardi D.M.I. Virtual reality Lab Università degli Studi di Salerno Studio di Fattibilità per lo Sviluppo del Sistema "Parto" 2008
- [Rif 32] Eric, Burns , Abigail T. Panter , Matthew R. McCallus , Frederick P. Brooks, Jr., The Hand is Slower than the Eye: A Quantitative Exploration of Visual Dominance over Proprioception, Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality, p.3-10, March 12-16, 2005
- [Rif 33] Force Dimension Inc ([www.forcedimension.com](http://www.forcedimension.com))
- [Rif 34] P. Gallina, G. Rosati, A. Rossi, 3 d.o.f. wire driven planar haptic interface, J. Int. And Rob. Systems, accepted for publication, November 2000
- [Rif 35] C. Graetzel, T. Fong, S. Grange, and C. Baur. (2004). A Non-Contact Mouse for Surgeon-Computer Interaction. Technology and Health Care, IOS Press, vol. 12, no. 3, pp. 245-257.
- [Rif 36] Gregory, A., Lin, M., Gottschalk, S., and Taylor, R., 1999. H-Collide: A framework for fast and accurate collision detection for haptic interaction. Proc. IEEE Virtual Reality Conference
- [Rif 37] Haption Virtuouse ([www.haption.com](http://www.haption.com))
- [Rif 38] Ho, C., Basdogan, C., & Srinivasan, M. (1997). Haptic rendering: Point- and ray-based interactions. *Second PHANTOM Users Group Workshop*.
- [Rif 39] Immersion Corp 3D Interaction Hardware and Software Products. ([www.immersion.com/3d/](http://www.immersion.com/3d/))  
[www.ciberglovesystems.com](http://www.ciberglovesystems.com)
- [Rif 40] Intersense Incorporated <http://www.intersense.com/>
- [Rif 41] Istituto PERCRO – PERCeptual RObotics (Scuola Sant'Anna di Pisa)
- [Rif 42] Jansson, G., The Haptic Sense Interacting With a Haptic Display," Paper presented to the Swedish Symposium on Multimodal Communication, Stockholm, October 26-27, 2000.
- [Rif 43] Jurriaan D. Mulder , Breght R. Boschker, A Modular System for Collaborative Desktop VR/AR with a Shared Workspace, Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2004 (VR'04), p.75, March 27-31, 2004
- [Rif 44] Koutek M, Post FH (2001) Spring-based manipulation tools for virtual environments. In: Proceedings immersive projection technology and virtual environments. Springer, Stuttgart, pp 61–70
- [Rif 45] Kohler, M. and Schroter, S. (1998). A Survey of Video-based Gesture Recognition - Stereo and Mono Systems. Technical Report 693, Informatik VII. Univ. of Dortmund.
- [Rif 46] C. Krapichler, M. Haubner, A. Löscher, and K. Englmeier, (1997) "Human-Machine Interface for Medical Image Analysis and Visualization in Virtual Environments", IEEE conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP-97. Vol 4, pp. 21-24.
- [Rif.47] Kwatra V., Schödl A., Essa I., Turk G., Bobick A., 2003, "Graphcut Textures: Image and Video Synthesis Using Graph Cuts", ACM Proceedings of SIGGRAPH' 2003.
- [Rif 48] Lederman, S., and Klatsky, R., "Haptic identification of common objects: Effects of constraining the manual exploration process," Perception & Psychophysics, 66(4), pp. 618-628, 2004. [13] Locher, P. "Influence of vision on haptic encoding process," Perceptual and Motor Skills, 55, pp. 59-74, 1982. Page 2020
- [Rif 49] Liang, J., Shaw, C. and Green., On temporal-spatial realism in the virtual reality environment. *In proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 1991, 9-25.
- [Rif 50] Mastroberto M., 2003, "Un caseggiato del quartiere sul Sarno (Edificio B), in "Storia da un'eruzione. Pompei Ercolano Oplontis", Mondadori Electa, pp. 464-472
- [Rif.51] McLin, D.M., and Chung, J.C., "Combining Virtual Reality and Multimedia Techniques for Effective Maintenance Training," Proceeding of the 24th AIPR Workshop: Tools and Techniques for Modeling and Simulation, SPIE, vol. 2645, pp. 204- 210, 1996.
- [Rif.52] S. Morishima T. Ishikawa, H. Sera, D. Terzopoulos: 3D Estimation of Facial Muscle Parameter from the 2D Marker Movement Using Neural Network. ACCV (2) 1998: 671-678
- [Rif.53] J. D. Mulder, B. R. Boschker, A Modular System for Collaborative Desktop VR/AR with a Shared Workspace, in Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2004 (VR'04), 2004, March 27-31, p.75.
- [Rif.54] Nahvi, A., Nelson, D.D., Hollerbach, J.M., and Johnson, D.E., 1998. Haptic manipulation of virtual mechanisms from mechanical CAD designs. Proc. IEEE Intl. Conf. Robotics and Automation, Leuven, Belgium, pp. 375–380.
- [Rif 55] Novint ([www.novint.com](http://www.novint.com))
- [Rif 56] Nvidia [www.nvidia.com](http://www.nvidia.com)
- [Rif 57] V. Popescu , G. Burdea , M. Bouzit, Virtual Reality Simulation Modeling for a Haptic Glove, Proceedings of the Computer Animation, p.195, May 26-28, 1999
- [Rif 58] Rezzonico S., Huang Z., Boulic R., Magnenat Thalmann N. and Thalmann D. Consistent Grasping Interactions with Virtual Actors Based on the Multi-sensor Hand Model. In Virtual Environments '95, Springer, Wien, 1995, 107-118.

- [Rif 60] Ribarsky, W., Walker, N., and Hubbard, C.E., "Training in Virtual Environments: Analysis of Task Appropriateness," Proceeding of the IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium, pp. 210, 1998
- [Rif.61] Ruspini, D. C., Kolarov, K., & Khatib, O. 1997]. Haptic interaction in virtual environments. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 128-133
- [Rif 62] Ruspini, D., Khatib, O. 2000. A framework for multicontact multi-body dynamic simulation and haptic display. Proc. 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [Rif 63] Sawhney H. S., Guo Y., Hanna K., Kumar R., Adkins S., Zhou S., 2001, "Hybrid Stereo Camera: An IBR Approach for Synthesis of Very High Resolution Stereoscopic Image Sequences", ACM Proceedings of SIGGRAPH'2001
- [Rif 64] Sensable Technologies [www.sensable.com](http://www.sensable.com)
- [Rif 65] Singh, U. and Fearing, R.S., "Tactile After-Images from Static Contact," Proc. ASME Dynamic Systems and Control Division, vol. 64, pp. 163-170, 1998.
- [Rif.66 ] Slater Mel et al, *Computer Graphics and virtual environment*, Addison Wesley(2002,)
- [Rif 67] Smith, R. "ODE: Open Dynamics Engine". (ode.org).
- [Rif 68] Tanaka, A., Hirota, K., Kaneko, T. 1998. Virtual cutting with force feedback. Proc. Virtual Reality Annual International Symposium, Vol. 199:8, pp. 71–7.
- [Rif 69 ]Thomas Ullmann , Joerg Sauer, Intuitive Virtual Grasping for Non Haptic Environments, Proceedings of the 8th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, p.373, October 03-05, 2000
- [Rif 70] V. Vlahakis, J. Karigiannis, M. Tsotros, N. Ioannidis, D. Stricker: Personalized Augmented Reality Touring of Archaeological Sites with Wearable and Mobile Computers. ISWC 2002: 15-22
- [Rif 71] Ware, C. and Rose, J. Rotating virtual objects with real handles. In ACM Transactions on CHI, 6,2, 1999, 162-180.
- [Rif 72] J. Wachs, H. Stern, Y. Edan, M. Gillan, C. Feied, M. Smith, and J. Handler, "A Real-Time Hand Gesture Interface for Medical Visualization Applications
- [Rif 73] Wilson J R (1998) Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities. *Ergonomics* 40(10): 1057–1077
- [Rif 73] Zachmann G, Rettig A Natural and robust interaction in virtual assembly simulation. In: Proceedings 8th ISPE international conference on concurrent engineering: research and applications. Anaheim, CA 2001 156-162.
- [Rif 74] Zorriassatine F, Wykes R, Parkin R, Gindy N (2003) A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. In: Proceedings Inst. Mech. Engineers. Part B: J Eng Manuf 217(4):513–530
- [Rif 75] Zhuang, Y., Canny, J. 2000. Haptic interaction with global deformations. Proc. IEEE Robotics and Automation Conference, IEEE, Vol.3, pp. 2428 -2433.