

IL MUSEO DELLE PURE FORME

DENISE FACENZA

LICEO SCIENTIFICO U. DINI (PISA)

2009

IL MUSEO DELLE PURE FORME

1. INTRODUZIONE

I musei, recentemente, hanno sviluppato un forte interesse nella tecnologia perchè si trovano dinanzi alla sfida di creare esibizioni accattivanti, gestire un ingente numero di visitatori e conservare preziose opere d'arte. Essi guardano alla tecnologia come ad un possibile partner che aiuti a raggiungere l'equilibrio tra apprendimento e divertimento, consentendo inoltre di trasferire significato e storia in maniera più efficace. Una risposta a queste esigenze è possibile trovarla in un settore di ricerca nuovo ed emergente, cioè nel campo delle applicazioni di computer grafica ed ambienti virtuali per realizzazioni artistiche.

Negli ultimi tempi, in tutto il mondo, alcuni musei e università hanno iniziato a digitalizzare le loro collezioni. Le copie digitali delle collezioni d'arte spaziano dall'immagine bidimensionale a quelle tridimensionali più complesse che possono essere osservate da diversi punti di vista. È infatti molto comune imbattersi in semplici ambienti virtuali, siti web appartenenti ai maggiori musei di tutto il mondo dove gli utenti, usando un comune browser, possono navigare attraverso la collezione digitale di dipinti, sculture e altre forme artistiche, effettuando così ciò che si definisce comunemente *tour virtuale*. La realtà virtuale è un importante concetto nell'arte contemporanea, in quanto permette di sfruttare tutte le possibilità messe a disposizione dalla società dei nostri giorni. Oggi esistono opere create essenzialmente per il Web, la cosiddetta Net Art, e molti musei hanno iniziato a collezionarle. Inoltre ci sono alcune opere che per avere senso compiuto, implicano necessariamente la partecipazione del pubblico.

2. VERSO LA PERCEZIONE APTICA

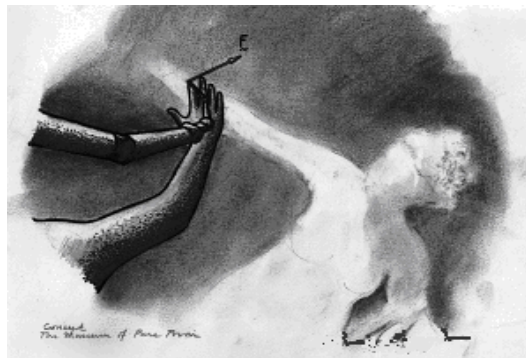
Sebbene questi progetti abbiano raggiunto risultati di successo, nessuno di essi prende in considerazione la percezione aptica degli oggetti. Ogni opera d'arte digitalizzata può essere esplorata con strumenti generici come un browser o usando software adeguati. In ogni caso l'unico senso utilizzato è quello della vista, limitando le possibilità dell'utente, specie nel caso di sculture ed oggetti d'arte. Il senso del tatto è estremamente importante per cogliere pienamente l'essenza di una qualsiasi forma d'arte 3D. Sebbene non sia consentito toccare le statue esposte in una galleria, per ovvie ragioni di sicurezza e di conservazione, è tuttavia comprensibile che la sola vista può limitare la percezione di un'opera d'arte tridimensionale. L'ausilio del tatto invece avvicinerebbe notevolmente l'utente all'esperienza vissuta dall'artista all'atto di creazione della sua opera.

Le interfacce aptiche (che indicheremo con la sigla HI: haptic interface) sono sistemi robotici che permettono agli utenti di interagire con gli oggetti virtuali usando il senso del tatto. Ciò è reso possibile esercitando un ritorno di forza sull'utente, che vedremo in particolare nei paragrafi successivi. Le HI sono state oggetto di notevoli studi negli ultimi quindici anni e le prime società che si sono lanciate nella loro commercializzazione sono state Sensable e Immersion. Numerosi sono anche i prototipi di HI sviluppate in sedi accademiche, alcuni dei quali sono realizzati per essere usati come strumento di sintesi nel campo dell'arte. Difficilmente però le HI sono state usate come strumenti di analisi nello stesso campo ed è risultato spesso dispendioso e complicato uscire dal campo delle tradizionali interfacce grafiche non immersive e delle periferiche aptiche non commerciali. Da qui nasce l'idea del "*Museo delle Pure Forme*"

3. NASCE IL MUSEO DELLE PURE FORME

Il *Museo delle Pure Forme* (MPF) è stato introdotto da Massimo Bergamasco, direttore del laboratorio PERCRO (PERCptual ROBOTics) della Scuola Superiore S'Anna con l'articolo "*Le Musee del Formes Pures*" presentato alla conferenza internazionale **RO-MAN 99 (8th IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction)** tenutasi a Pisa nel settembre del 1999. Lo scopo del MPF è quello di cambiare radicalmente il modo in cui gli utenti percepiscono le sculture, statue o più in generale qualsiasi tipo di manufatto artistico tridimensionale.

Il concetto del MPF comprende sia la procedura di interazione, che il luogo dove avviene fisicamente tale interazione, essendo entrambi mediati dalla presenza virtuale di modelli tridimensionali simulati di sculture. L'assunto del MPF è che le sculture non siano fisicamente presenti come oggetti tridimensionali concreti; ma al contrario sia presente il loro modello digitale tridimensionale proveniente da un data-base specifico (locale o condiviso con altri musei localizzati in qualsiasi altro punto del mondo).



Il Museo delle Pure Forme

Un modello tridimensionale di una scultura può essere visualizzato e reso graficamente, per un pubblico esterno, su uno schermo di grandi dimensioni oppure su un caschetto per realtà virtuale. Tuttavia l'approccio seguito nel MPF si riferisce esclusivamente alla percezione aptica, ovvero alla capacità di percepire le caratteristiche degli oggetti tridimensionali (quali il contorno, la consistenza ecc) attraverso stimoli cinestetici e cutanei. In particolare, lo scopo della visita al Museo delle Pure Forme è quello di trarre una diretta percezione della forma delle sculture esclusivamente dalle proprietà aptiche del modello digitalizzato. La metodologia di interazione proposta tra percezione umana e scultura simulata è basata sullo sviluppo delle interfacce aptiche che simulano sulla mano dell'osservatore sia il ritorno di forza, che il ritorno tattile. Una rappresentazione schematica del funzionamento è data dalla Figura 2.



Il concetto del Museo delle Pure Forme

A differenza dei musei interattivi comuni, che si trovano generalmente in internet o lontano rispetto alle opere d'arte originali di cui rappresentano una replica e che hanno il fine di permettere la fruizione visiva di opere d'arte a persone che non possono visitare direttamente gli originali, i sistemi dei MPF saranno collocati all'interno di musei, in presenza dei manufatti artistici reali. Ciò permetterà a tutti i visitatori del museo di interagire con una serie prescelta di opere ponendosi di fronte al manufatto artistico vero e proprio, e non al modello digitale rappresentato sullo schermo di un computer. In tal modo l'effetto globale risulta essere più immersivo e quindi più realistico. Inoltre le interfacce aptiche utilizzate non saranno di tipo commerciale ma saranno specificatamente progettate, controllate e integrate per compiere questo lavoro, consentendo di raggiungere un più alto grado di realismo aptico.

4. I MUSEI PARTNER DEL PROGETTO

Il Museo delle Pure Forme ha collaborato principalmente con quattro musei internazionali per i quali sono state digitalizzate alcune sculture e dove sono state approntate installazioni del progetto.

Petrie Museum of Egyptian Archaeology (Londra)



Coppa e shabti che risalgono al XIV secolo a.C.

Galician Centre for Contemporary Art (Santiago De Compostela)



Zwei grosse Manner (Stephan Balkenhol)



Xavier Toubes (Augas)

National Museum of Fine Arts (Stoccolma)



Museo dell'Opera del Duomo (Pisa)

Quella del museo dell'Opera del Duomo è un'installazione fissa che riscuote tuttora un enorme successo di visitatori. Per questo museo sono state digitalizzate quattro sculture derivanti dalle antiche decorazioni del Battistero ed esposte all'interno del museo stesso.

Madonna con bambino di Giovanni Pisano (1268-75):



La Madonna con Bambino è una delle prime sculture realizzate per la decorazione della seconda fascia al di fuori del Battistero di Pisa. E 'stata realizzata nel periodo tra il 1268 e il 1275 da Giovanni Pisano, quando il direttore del cantiere di Piazza dei Miracoli era ancora il padre Nicola. A differenza di altre sculture, realizzate per essere inserite nelle edicole (l'edicola è una struttura architettonica relativamente di piccole dimensioni, con la funzione pratica di ospitare e proteggere l'elemento che vi è collocato), la Madonna con Bambino venne posta nella decorazione del rosone, sotto la Porta est del Battistero, di fronte alla Cattedrale.

Il capolavoro rappresenta il punto centrale della lunga serie di busti che decorano l'edificio, nel luogo e nel momento in cui gli sguardi degli Evangelisti e dei Profeti si incontrano. L'effetto dinamico della testa introduce alcuni elementi di leggerezza e

originalità, che rendono l'opera viva. Quest'opera di Giovanni, insieme alle altre sculture, presenta uno spirito di adattabilità alla tradizione classica e dà ampio spazio alla definizione dei caratteri naturalistici e all'esposizione dei sentimenti.

Con quest'opera Giovanni Pisano ha scelto di fare una prova, infatti la postura della scultura è perfettamente frontale. La scelta di tale posizione è stata determinata sia dal luogo in cui venne posizionata che permette ai fedeli la visione e l'ammirazione totale anche da lontano, sia dalla possibilità di lasciare grezza la parte posteriore della scultura.

E' presente una profonda attenzione di Giovanni Pisano nel rapporto comunicativo che appare chiaro nel gesto di protezione della madre nei confronti del bambino e nella timidezza con la quale quest'ultimo si accinge a ricevere qualcosa (forse un libro) con l'altra. Sia il bambino, sorretto dalla mano della madre, che la Madonna si sporgono in avanti e questo sembra essere giustificato dalla volontà di vedere i credenti più in basso. La prospettiva dei panneggi e le vesti che scorrono dalla mano sinistra della madre contribuiscono ad eliminare una qualunque sensazione di pesantezza e l'appiattimento della scultura. L'artista è riuscito a modellare questa pietra (proveniente da San Giuliano) in modo da ottenere una mirabile sintesi di monumentalità e leggerezza allo stesso tempo.

Salomè di Giovanni Pisano (1278-85):



Il capolavoro è stato realizzato da Giovanni Pisano, tra il 1278 e il 1285 circa. Anche questa scultura è stata anticamente nella parte superiore dell'edicola della seconda fascia decorativa del Battistero. Nel 1850 la testa della scultura è stata spostata, come la maggior parte di tutte le sculture, nel Museo dell'Opera. Sotto l'aspetto formale, la scultura, ricavata da un blocco di marmo bianco, è stata completamente liberata da qualsiasi funzione architettonica, producendo un maggiore contributo all'aspetto psicologico. L'iconografia dell'oggetto, anche se il lavoro è senza testa, si rifà alla danza biblica di Salomè, causa della decapitazione di San Giovanni Battista. San Giovanni infatti morì decapitato, per ordine di Erode. Il profeta rimproverava a Erode la convivenza con la cognata Erodiade. La donna voleva la morte del predicatore ma Erode si opponeva. Tuttavia Erode fu costretto a ordinare infine la condanna, per colpa di Salomè, figlia di Erodiade. Salomè infatti un giorno si

esibì in una danza che deliziò Erode a tal punto che egli le promise come ricompensa di soddisfare un suo qualsiasi desiderio. La ragazza, istigata dalla madre, chiese la testa di Giovanni Battista su un piatto d'argento. Erode fu costretto ad acconsentire, per non venir meno alla promessa.

Questa danza è stata descritta in modo peccaminoso da Sant'Ambrogio nel IV secolo D.C. e ha conservato per tutto il medioevo il suo simbolismo legato alla lussuria e alla sensualità. Per questo motivo, sia in opere pittoriche che scultoree, questa figura è sempre stata rappresentata da una fanciulla piegata su stessa in una figura acrobatica, che flette il corpo indietro in modo che tocchi il suolo con la testa per mostrare la sua nudità.

Anche Giovanni adotta questa rappresentanza iconografica: Salomè è flessa su se stessa e con entrambe le braccia fa volare i suoi vestiti pesanti. Ma l'unica nudità che Giovanni Pisano consente è quella del piede sinistro, che appare come per magia tra le pieghe dei vestiti a causa del frenetico movimento del corpo e delle braccia.

La scultura è finemente distribuita e armonizzata in un'ampia curva che va dai piedi fino al collo, mentre sotto i vestiti le gambe sono leggermente piegate nell'atto di cominciare la danza. Con le pesanti vesti aderenti sotto il seno e due pieghe concentriche rivolte verso la mano sinistra, la scultura offre un'immagine di sensuale realismo. La sua testa, a giudicare da ciò che resta alla base del collo, è ben piegata in avanti, anticipando le soluzioni che Giovanni adotterà per la decorazione delle statue sulla facciata del duomo di Siena e per alcune scene del Pulpito.

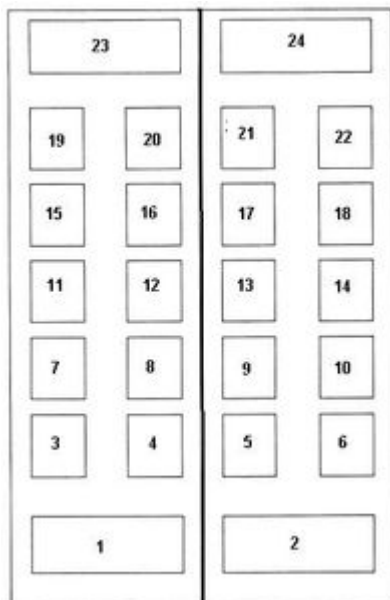
Anche se la Salomè è senza testa rimane una delle più alte espressioni di Giovanni Pisano, il cui stile lineare della tradizione gotico si fonde con le prove di emergenti volumi in una mirabile sintesi di forma e di movimento.

La strage degli innocenti di Bonanno Pisano (1186):



Bonanno Pisano è stato uno scultore italiano vissuto nel XII secolo. Fra le sue opere principali c'è la porta del duomo di San Ranieri a Pisa da dove proviene la formella "la Strage degli innocenti" presente nel Pure Forme.

La porta è del 1186 ed era collocata nel transetto destro del Duomo di Pisa, attualmente si trova presso l'Opera del Duomo e al suo posto è stata collocata una copia. (Nell'antichità la decorazione della chiesa rappresentava un mezzo didattico per l'educazione cristiana del credente. Le immagini si imprimevano nella mente della gente più di tanti sermoni, con questa concezione la Porta della cattedrale rappresentava il primo punto di accesso del fedele alla casa di Dio. La direzione di lettura fa fatta dalla prima formella in basso a sinistra fino alla quarta del primo ordine, e poi ancora da sinistra a destra in tutti i successivi, fino all'ultimo. (disegno)



Schema iconografico della porta di San Ranieri - 1 e 2 Dodici Profeti 3 Annunciazione 4 Visitazione 5 Natività 6 Cavalcata dei Magi con Peccato originale 7 Presentazione al Tempio 8 Fuga in Egitto 9 Strage degli Innocenti 10 Battesimo 11 Tentazione 12 Trasfigurazione 13 Resurrezione di Lazzaro 14 Entrata a Gerusalemme 15 Lavanda dei piedi 16 Ultima Cena 17 Il bacio di Giuda 18 Crocifissione 19 Discesa al Limbo 20 Resurrezione 21 Ascensione 22 Morte della Vergine 23 Cristo in gloria 24 Maria in gloria. La formella La strage degli innocenti riporta il passaggio della Bibbia *“Allora Erode, vedendosi beffato dai magi, si adirò moltissimo, e mandò a uccidere tutti i maschi che erano in Betlemme e in tutto il suo territorio dall'età di due anni in giù, secondo il tempo del quale si era esattamente informato dai magi. Allora si adempì quello che era stato detto per bocca del profeta Geremia: «Un grido si è udito in Rama, un pianto e un lamento grande: Rachele piange i suoi figli e rifiuta di essere consolata, perché non sono più». [Sl 2:2-4, 10-12; 76:10] (Erode fa uccidere i Bambini innocenti).*

Bonanno propone una fusione perfetta, fra la tradizione bizantina e un nuovo vigore caratteristico dell'arte romanica, ottenuta grazie ad un'accurata composizione della scena.

Sensibilissimo ai valori ritmici, Bonanno rappresenta con efficacia la drammaticità del momento traendo efficacia dai larghi spazi vuoti su cui si stagliano le figure, si esprime ritraendo la realtà così come appare, con grande evidenza rappresentativa fino alla crudeltà: qui particolarmente sensibile nel voluto contrasto fra l'agghindata e irridente figura di Erode e il rotto gesticolare degli altri personaggi.

San Giovanni Battista di Nicola e Giovanni Pisano (1270-76):



Questa scultura rappresenta San Giovanni Battista ed è stata realizzata da Giovanni Pisano, nel rispetto delle istruzioni del padre Nicola, tra il 1270 e il 1276. Il blocco dal quale è stata ricavata la scultura non proveniva dal prezioso marmo di Carrara ma dalla pietra di San Giuliano, decisamente più difficile da lavorare. Anche questa, come le altre descritte, è stata concepita per decorare l'edicola sotto il timpano del secondo livello del battistero.

San Giovanni Battista rompe in parte la curva linearità delle decorazioni del battistero risultando in contrasto con le altre sculture in quanto appare la volontà di un dinamismo non più solo frontale. Difatti, lo splendido volto e la bellezza dell'espressione di Giovanni Battista sembra volersi relazionare con la "Madonna con bambino" alla sua destra.

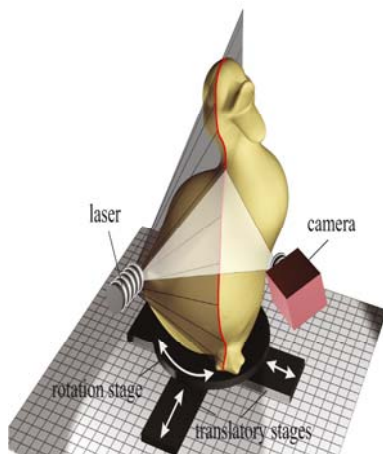
Il realismo del volto, la postura, l'emotività del soggetto e alcuni elementi di dinamismo fanno emergere la volontà dell'autore di non tagliare il cordone ombelicale con la tradizione classica. Caratterizzato da un voluminoso e maestoso panneggio che avvolge i fragili e umili arti, il busto della statua è ottenuto con sottili linee verticali e diagonali, e con linee curve che producono giochi di luci e di ombre ed effetti che permettono di percepire la struttura fisica. La linea verticale del drappaggio che parte dall'estremità inferiore del blocco di marmo e risale alla spalla si unisce e si perde nella curva irregolare dei capelli che seguono il movimento verso destra di Giovanni Battista, dandone un'idea di naturalità e dinamismo e, insieme all'espressività del volto, sono testimoni della sua riflessione e meditazione sul tragico destino di Gesù.

5. DALLA SCULTURA ALLA SUA FORMA DIGITALE

Per la creazione di un ambiente virtuale altamente immersivo ci sono state due fasi:

- una fase di modellazione tridimensionale dell'ambiente con appositi software;
- una fase di acquisizione digitale delle opere d'arte selezionate.

L'acquisizione digitale è stata realizzata per mezzo di laser scanner 3D che è uno strumento che risulta essere invasivo per l'opera d'arte così da non rischiare di danneggiarla. Attraverso un raggio laser lo scanner acquisisce tutta la superficie della statua sotto forma di dati digitali.

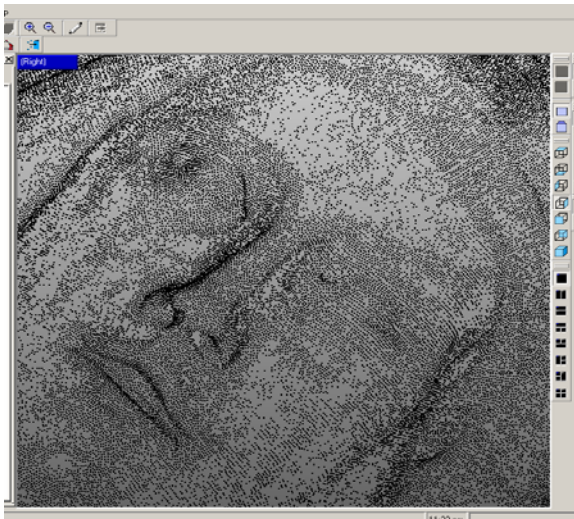


Processo di scansione

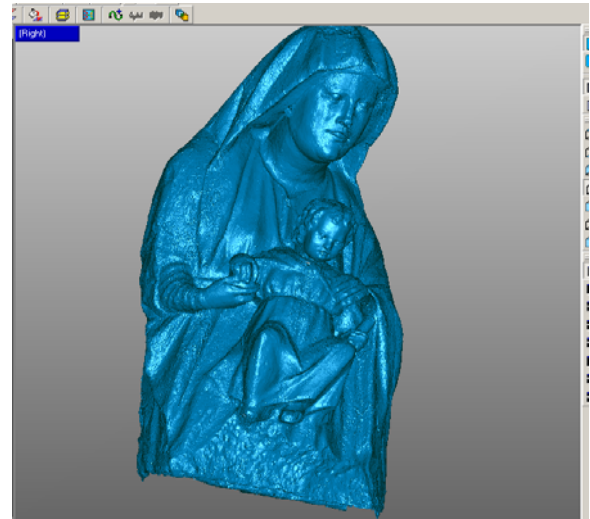


Scansione della Salomè

Una volta finita la scansione l'insieme di tutti i punti acquisiti in questa fase passa ad un altro processo di ricostruzione della forma tridimensionale dell'opera (shape 3d).



Nuvola di punti: sono i dati che si ottengono subito dopo il processo di scansione



Mesh: dalla nuvola di punti si ottiene un modello digitale della statua (i punti vengono uniti a tre a tre in milioni di piccoli triangoli che approssimano la superficie)

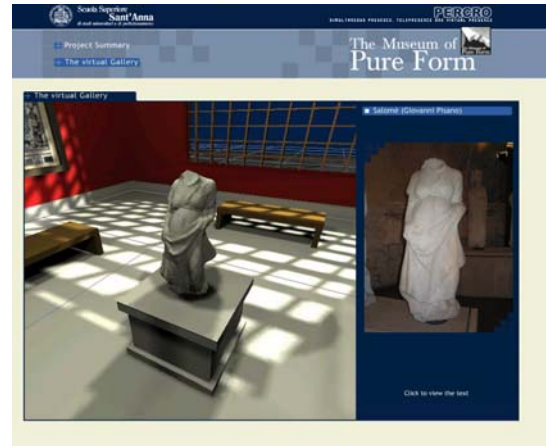
Alla fine di questo processo la statua ricostruita viene sottoposta ad un'altra serie di operazioni:

- **texturizzazione:** è l'operazione che permette di rivestire la superficie della statua con immagini digitali che riproducono la superficie reale (il tentativo di riprodurre al meglio le qualità reali di oggetti e ambienti si chiama rendering fotorealistico);
- **generazione delle caratteristiche connesse al tatto** (volume, rugosità..ecc).

Come abbiamo detto una delle caratteristiche fondamentali del sistema è la possibilità di “toccare” le statue digitalizzate per mezzo di “interfacce aptiche”. Per questo è necessario che le statue siano corredate di una serie di informazioni che vengono interpretate dalle interfacce aptiche per riprodurre queste caratteristiche fisiche.



Risultato dopo il processo di rendering della mesh. La statua digitale è ora pronta per la sua collocazione nell'ambiente tridimensionale.



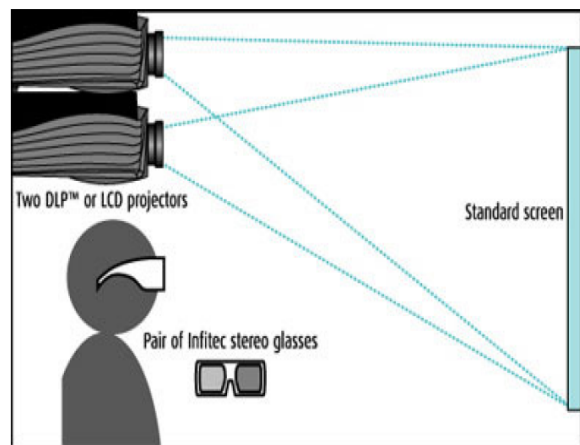
La Salomè digitale collocata nell'ambiente 3d.

Sistema di Visualizzazione.

Il realismo di una simulazione virtuale è fortemente aumentato dall'utilizzo della visualizzazione stereoscopica dei modelli digitali. Grazie a semplici occhiali polarizzati gli utenti possono percepire la tridimensionalità di ambienti e oggetti. Per arrivare a questo livello la visualizzazione dell'applicazione finale avviene su un grande schermo retroproiettato. Un sistema di doppia proiezione permette di visualizzare sullo schermo la coppia di immagini (una per l'occhio destro, l'altra per l'occhio sinistro) che grazie alla polarizzazione degli occhiali (che separano le immagini destinate ai rispettivi occhi) il cervello legge e riesce a ricostruire come unica immagine tridimensionale.



Effetto della visione con o senza occhiali polarizzati (fuori dalla lente si notano le immagini sdoppiate, questo perchè sono proiettate sovrapposte due imm. Una per l'occhio dx e l'altra per il sx. La polarizzazione differenziata delle lenti filtra l'immagine giusta per occhio).



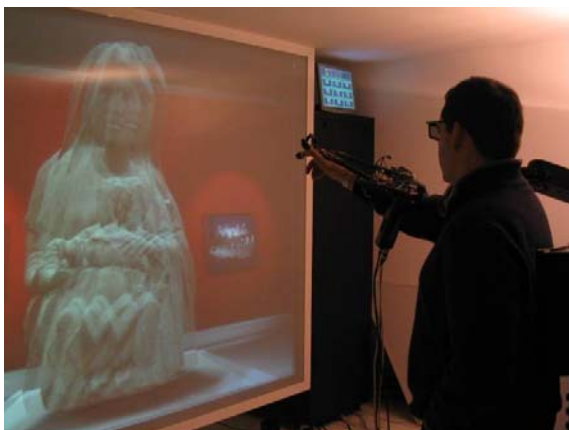
Schema del funzionamento della visione stereoscopica

Approfondimento sulla visione stereoscopica.

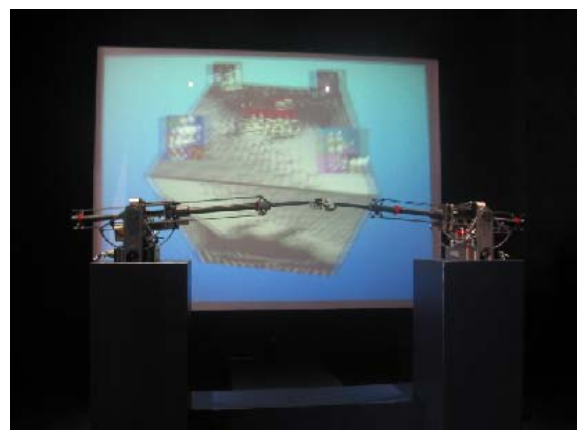
Il cervello umano percepisce qualcosa di tridimensionale se l'osservatore vede con i due occhi immagini diverse relative a due punti di vista della stessa scena reale. Per simulare la visione tridimensionale occorre qualcosa che riesca ad "imbrogliare" il cervello con due immagini "plausibili" relative alla medesima scena come sarebbe stata vista da due occhi (stereoscopia). Per affermare che un sistema permette di vedere in 3D (stereoscopico) deve essere in grado di produrre questo effetto: un occhio deve poter vedere un'immagine mentre l'altro vede un'immagine diversa. In questo modo il cervello elaborerà le informazioni relative alle due immagini e fornirà a chi osserva la sensazione di profondità, propria della visione 3D.



Immagine del sistema integrato



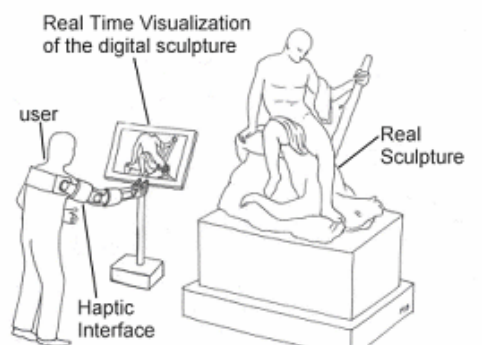
Utente che indossa l'interfaccia aptica ESOSCHELETRO



L'interfaccia aptica GRAB al museo dell'Opera del Duomo

6. ARCHITETTURA GLOBALE DEL SISTEMA

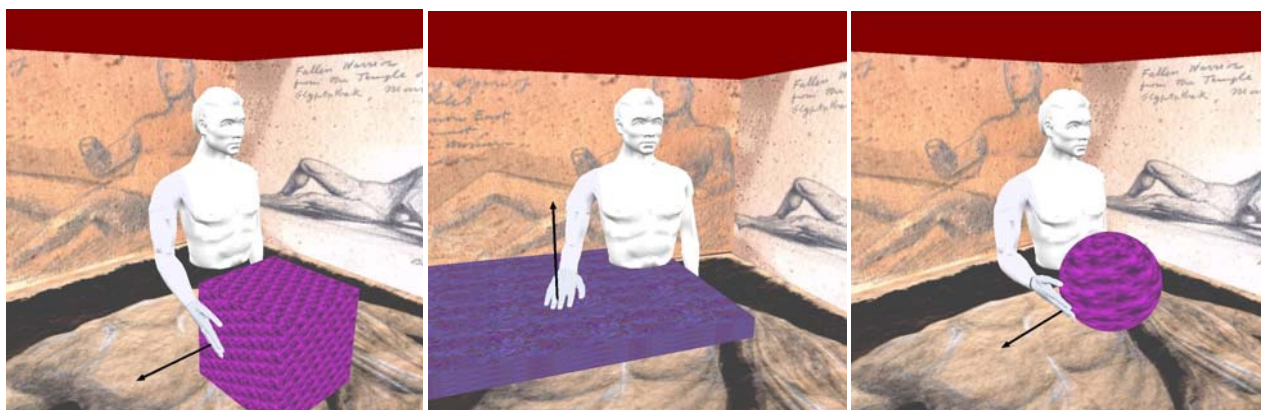
Il sistema è collocato, come detto precedentemente, nella sala di un museo, in cui attorno vi sono dislocate sculture reali. Gli utenti, visitando il museo, hanno la possibilità di osservare normalmente la collezione artistica esposta.



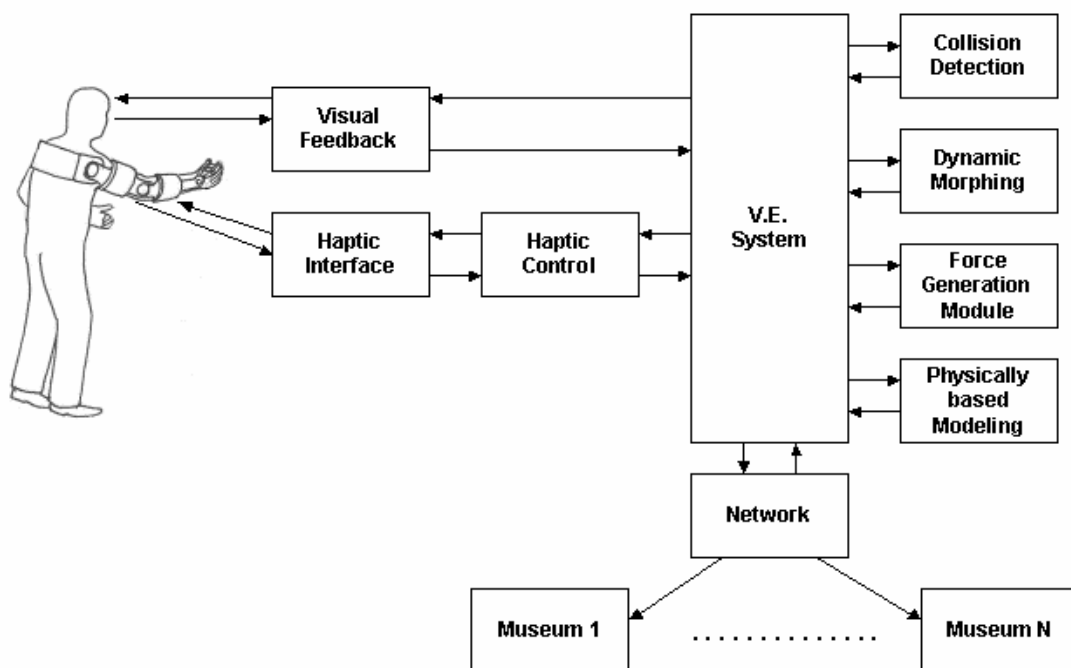
Il Museo delle Pure Forme utilizzato dentro un museo reale

Nello stesso tempo il visitatore ha la possibilità di interagire con il modello digitale della scultura selezionata. Tale interazione si ottiene attraverso molteplici canali. Grazie a un'interfaccia aptica, l'utente riceve un ritorno di forza (la rappresentazione virtuale della mano dell'utente si muove lungo la forma del modello aptico digitale della statua selezionata, e contemporaneamente l'HI replica l'esatta forza di contatto sulla mano dell'utente). Inoltre, informazioni visive sono fornite all'utente tramite un'interfaccia grafica (GUI) tridimensionale rappresentante la scultura selezionata. La GUI è progettata per raggiungere molteplici scopi; prima di tutto, un avatar (rappresentazione dell'utente nell'ambiente virtuale) informa l'utente su quale zona della scultura sta agendo. Inoltre, la GUI permette una completa fruizione visuale della scultura selezionata. L'intero sistema sarà di facile utilizzo per gli utenti e sarà collocato in un ambiente comune, dove non sono necessarie particolari competenze per poterlo utilizzare.

I modelli digitali delle sculture, collocati nei diversi musei, possono essere inviati da un computer ad un altro del sistema di realtà virtuale (VR). L'interfaccia aptica segue la traccia del braccio e la posizione della mano dell'utente, ed invia queste informazioni al sistema VR. Conformemente alla posizione dell'avatar all'interno dell'ambiente virtuale (VE: Virtual Environment) della posizione del manufatto artistico, le forze di contatto tra i due sono calcolate dall'algoritmo di *collision detection*. Semplificando, l'algoritmo di collision detection è la serie di calcoli geometrici che ricavano la posizione dell'arto virtuale dell'utente e quella dei triangoli (paragrafo precedente) che compongono la superficie dell'oggetto virtuale in modo da sapere quando, come e con quale forza l'arto e l'oggetto vengono in contatto.



L'avatar che tocca un cubo virtuale, una superficie e sfera virtuale



La struttura generale

La superficie della scultura viene modellata tramite appositi software di rendering grafici, ed alle dimensioni dell'oggetto così trattato vengono applicati fattori di scala, che permettono di ingrandire alcune zone di particolare interesse della forma della scultura.

E' importante sottolineare la caratteristica peculiare della percezione della forma 3D ottenuta unicamente attraverso una forza generata artificialmente e/o uno stimolo tattile. Secondo la procedura proposta, l'osservatore percepisce solo la presenza fisica del punto di contatto tra la sua mano e la superficie virtuale: il processo di ricostruzione della forma è allora compiuto dall'osservatore grazie all'esplorazione dinamica degli oggetti (le sculture) che non esistono nello spazio tridimensionale reale. Questo è un nuovo concetto di museo virtuale applicato alle sculture: non è una mera rappresentazione tridimensionale digitale grafica della scultura che viene presentata visivamente all'osservatore. Al contrario, nel Museo delle Pure Forme l'osservatore può direttamente toccare ed esplorare la forma della scultura digitalizzata. Le forze calcolate dall'unità di collision detection ritornano all'unità di controllo aptico che le esercita, nel modo più aderente possibile, sull'utente attraverso l'interfaccia aptica. Contemporaneamente anche la posizione dell'avatar viene aggiornata graficamente.

7. LE INTERFACCE APTICHE

Sono tre i prototipi d'interfacce aptiche utilizzati all'interno del Museo delle Pure Forme, oltre ovviamente ad alcune HI commerciali come il *Phantom* utilizzate per lo studio e lo sviluppo di applicativi virtuali:

- L-EXOS: interfaccia per il braccio;
- PINCHER: interfaccia per la mano (in particolare per le dita pollice e indice);
- GRAB: interfaccia per il dito (Vi è anche un prototipo più grande nelle dimensioni chiamato CREATE).

Tutte queste interfacce sono state interamente progettate e realizzate, nella meccanica e nel controllo, dai ricercatori del laboratorio PERCRO.

Le interfacce aptiche L'Exos e Pincher, nel Museo delle Pure Forme sono unite meccanicamente, dando la possibilità all'utente di indossarle e di veder riprodotto nell'ambiente virtuale non solo le due dita ma anche il braccio, dando così all'utente stesso una più completa percezione ed interazione nel mondo virtuale.



L-Exos



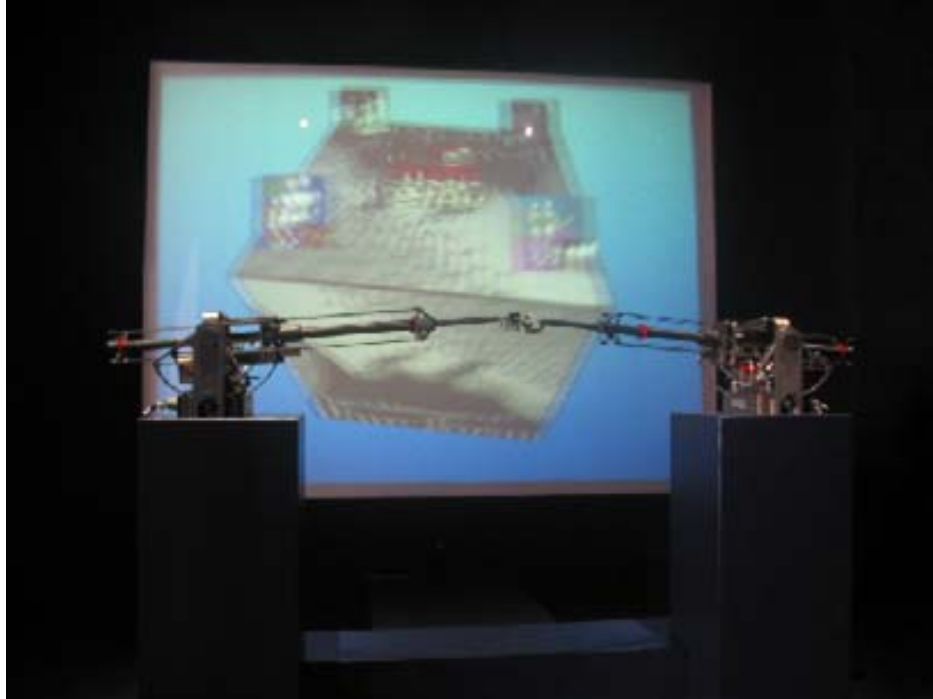
Pincher



Esoscheletro completo

Sebbene queste strutture siano pesanti e a volte ingombranti, una volta indossate l'utente non ha nessuna difficoltà a manovrarle perché nel controllo delle interfacce aptiche è anche implementata una compensazione della forza di gravità e il sistema robotico tende a seguire i movimenti dell'arto indossante senza alcuna resistenza. L'intero sistema HI ha la capacità di seguire i movimenti del braccio dell'operatore e fornirà un ritorno di forza sulla sua mano in maniera tale da simulare la percezione della superficie. L'interfacciamento dell'HI verso il VE, produce appropriate informazioni di forza per entrambe le interfacce, ed è implementato con un controllo aptico di basso livello. Tale tipo di controllo riceve come input l'informazione geometrica locale relativa alle proprietà di contatto e fornisce al sistema una forza adeguata di rendering che assicura la stabilità globale del sistema.

L'altra interfaccia aptica utilizzata nel Museo delle Pure Forme è il GRAB: si tratta di una coppia di bracci meccanici che alla loro estremità ospitano le dita indice dell'operatore. Quindi, a differenza dell'altro sistema, l'utente può esplorare l'ambiente virtuale e la superficie degli oggetti con due punti di contatto anche lontani fra loro. Come citato precedentemente, al museo dell'Opera del Duomo è presente un'installazione fissa del Museo delle Pure Forme con questo tipo di interfaccia.



L'installazione al Museo dell'Opera del Duomo. L'immagine sullo schermo che sembra sfuocata è in realtà la riproduzione sfalsata delle immagini per i due occhi. L'utilizzo di appropriati occhiali polarizzati permette al cervello dell'operatore di elaborare l'immagine tridimensionale.

8. LA GENERAZIONE DELLE FORZE

Un aspetto fondamentale del Museo delle Pure Forme è rappresentato dal sottosistema che crea le informazioni sul ritorno di forza sulla base dei dati di posizione che provengono dalle interfacce e dal modello ambientale immagazzinato nel sistema.

La generazione delle informazioni sulla forza si realizza mediante un *algoritmo di coerenza*. A ciascun utente che esplori un'opera d'arte viene associato un soggetto digitale all'interno dell'ambiente virtuale. Tale associazione è realizzata in modo tale che l'utente possa realmente pensare di essere il soggetto animato creato nello spazio virtuale. Il soggetto digitale che si muove nell'ambiente è generalmente conosciuto con il nome di *avatar*.

L'associazione tra l'utente e il proprio *avatar* semplifica notevolmente la generazione delle forze di ritorno. In tal modo, le forze appaiono generate *naturalmente* nell'ambiente virtuale mediante le interazioni avatar-ambiente. Le forze percepite dall'*avatar* possono poi essere mappate sull'utente mediante un display aptico. L'*avatar* è modellato in modo da percepire un'ampia gamma di sensazioni d'interazione. Tra le informazioni aptiche che possono essere condivise durante una sessione di esplorazione, si considerano solo i dati riguardanti le informazioni di forza come di seguito specificato:

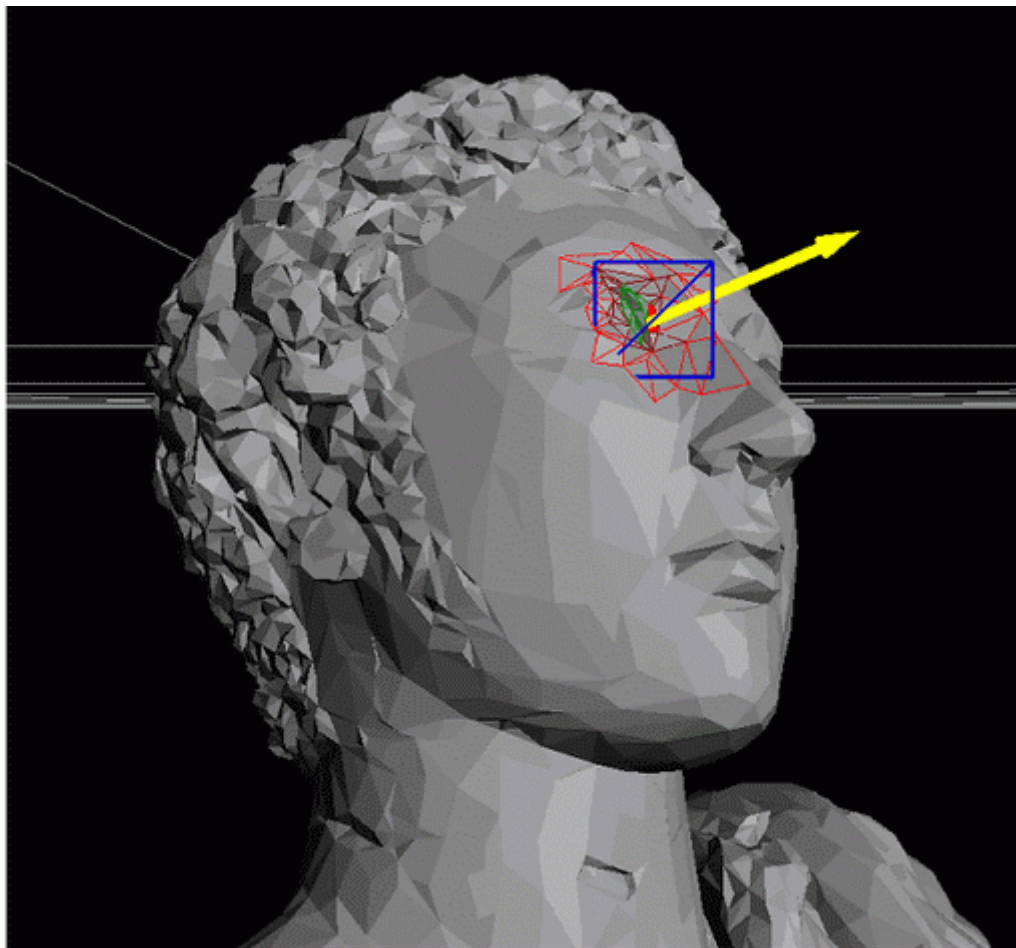
- Forze di contatto generate mentre si segue un contorno o si afferra un oggetto virtuale;
- Forze di contatto generate laddove si stabilisce un contatto permanente al fine di valutare la rigidità;
- Forze di gravità legate al peso degli oggetti afferrati;
- Forze di frizione generate mentre si segue un contorno.

Tutti questi tipi di forza sono intrinsecamente legati al contatto tra l'utente-avatar e l'oggetto virtuale. Il controllo del ritorno di forza grafico è ottenuto mediante due elementi distinti:

- La determinazione dei punti di contatto, o *collision detection*;
- La generazione delle forze di risposta, o *collision response*.

La *collision detection* (CD) fornisce informazioni di contatto tra la mano dell'avatar e gli oggetti simulati nel Museo.

La *collision response* (CR) fornisce il controllo del dispositivo aptico, le informazioni per modellare il contatto, replicarlo nell'ambiente e replicare sull'utente gli effetti legati allo scambio di forza.



Quando il nostro avatar va ad intersecare la superficie della scultura il sistema genera informazioni d'intensità e direzione della forza che l'interfaccia deve riprodurre sull'arto dell'operatore. L'intensità e la direzione di tale forza (freccia gialla in figura) sono date dalle caratteristiche proprie dell'oggetto (quali tipo di superficie, densità del materiale, ecc) ma anche dal comportamento dell'operatore. Ad esempio una pressione maggiore dell'operatore produce sicuramente una forza contraria molto più elevata così come un avvicinamento da diverse direzioni verso l'oggetto produce direzioni diverse anche per la forza calcolata.

Ciò che permette all'interfaccia aptica di muoversi ed inseguire le forze in modo da riprodurle sull'operatore sono i motori elettrici che si trovano nella struttura del sistema robotico.

9. IL MOTORE ELETTRICO

Nella struttura di queste interfacce vi sono motori elettrici, che permettono il movimento di tutta la parte meccanica. Ogni motore elettrico controllato permette all'interfaccia di muoversi in una direzione (grado di libertà). Con l'aumento dei gradi di libertà aumenta la possibilità di esplorare in più direzioni lo spazio reale con l'interfaccia e lo spazio virtuale con l'avatar. Ovviamente con l'aggiunta di motori elettrici l'acquisizione delle posizioni e le indicazioni delle potenze si complicano notevolmente, è quindi importante ridurre i gradi di libertà a quelli strettamente necessari. Tutte le interfacce descritte in precedenza hanno tre gradi di libertà.

In generale, il motore elettrico è una macchina elettrica in cui la potenza d'ingresso è di tipo elettrico e quella di uscita è di tipo meccanico, assumendo la funzione di attuatore, cioè come un dispositivo che converte dell'energia da una forma ad un'altra, in modo che questa agisca nell'ambiente fisico al posto dell'uomo. Il motore elettrico è composto da uno statore (parti fisse) e un rotore (parti in movimento) e questi componenti generano un campo magnetico, in alcuni casi anche grazie all'uso di magneti.

Esistono diversi tipi di motori elettrici: la divisione classica è tra motori in corrente continua (DC) e in corrente alternata (AC). Tuttavia non è una classificazione esatta, poiché esistono motori DC che possono essere alimentati anche in AC, chiamati motori universali. Diverse distinzioni si possono fare in base ad altri riferimenti: per esempio, la distinzione tra motori sincroni (nei quali la frequenza di alimentazione è pari o un multiplo della frequenza di rotazione) e asincroni (in cui le due frequenze sono indipendenti); pertanto di solito le categorie in cui si classifica il motore elettrico sono motore asincrono, motore sincrono o motore in corrente continua.

Quelli che vengono utilizzati per questo tipo di interfacce sono i motori in corrente continua: la corrente elettrica passa in un avvolgimento di spire che si trova nel rotore. Questo avvolgimento, composto da fili di rame, crea un campo elettromagnetico al passaggio di corrente. Questo campo elettromagnetico è immerso in un altro campo magnetico creato dallo statore, il quale è caratterizzato dalla presenza di due o più coppie polari (calamite, elettrocalamite, ecc.). Il rotore per induzione elettromagnetica inizia a girare, in quanto il campo magnetico del rotore è attratto dal campo magnetico dello statore e viceversa. Ogni mezzo giro la polarità cambia, in modo da dare continuità alla rotazione. Questo motore è alimentato a corrente continua, ma il sistema delle spazzole fa sì che la polarità all'interno degli avvolgimenti del rotore sia alternato ogni mezzo giro, quindi, tecnicamente, si tratta di un motore in corrente alternata. Durante la trasformazione, una modesta parte dell'energia viene dispersa per l'effetto Joule. Dato il principio di funzionamento, un motore elettrico fa sempre muovere l'albero motore di moto rotatorio; si può ottenere un moto lineare alternato utilizzando un glifo oscillante, componente meccanico che converte appunto il moto rotatorio in rettilineo oscillante. Tale motore può essere usato anche come generatore elettrico assorbendo energia meccanica, senza subire alcun cambiamento nella sua struttura, permettendo così una sua versatilità molto ampia, che gli permette di passare velocemente e senza accorgimenti esterni rivolti al motore da un funzionamento all'altro.

Nello specifico quelli utilizzati per queste interfacce aptiche sono una sottocategoria dei motori a corrente continua e cioè i motori passo-passo che sono considerati la scelta ideale per tutte quelle applicazioni che richiedono precisione nello spostamento angolare e nella velocità di rotazione, quali la robotica, le montature dei telescopi ed i servomeccanismi in generale.



Nelle interface aptiche su questi motori vengono montati due importanti componenti che permettono il collegamento meccanico con la struttura ed elettronico con il controllo:

- Sull'albero del motore viene montata una bobina sulla quale si avvolgeranno spire di cavo d'acciaio collegato alla struttura che ne permettono il movimento;
- un encoder che è un componente elettronico che permette la rilevazione dei giri dell'albero del motore per poterla inviare al software di controllo.

10. CONCLUSIONI

Questo tipo di progetto spiana la strada a numerose nuove tecnologie e campi di ricerca. Partendo dalla realtà virtuale e dall'interazione delle interfacce aptiche con l'uomo si possono esplorare nuove discipline: infatti, il laboratorio PERCRO, così come altri importanti laboratori di ricerca in tutto il mondo, non ha limitato il proprio impegno all'arte e alla conservazione dei beni culturali. Sono numerosi i progetti che i loro ricercatori stanno sviluppando, e variano dal campo della medicina (diagnostica, curativa, riabilitativa) a quello della sicurezza, da quello dello sviluppo industriale a quello dell'ambiente. Molti progetti e campi di ricerca sono consultabili sul sito <http://www.percro.org>