



Università della Calabria

---

XXII CICLO  
DEL DOTTORATO DI RICERCA IN  
Psicologia della Programmazione e Intelligenza Artificiale

Settore Scientifico-Disciplinare MAT/07

**MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO DI UMANI  
VIRTUALI E APPLICAZIONE AL SETTORE DEI BENI  
CULTURALI**

Dottorando  
ADRIANO TALARICO

Coordinatore del Collegio dei Docenti  
Chiar.ma Prof.ssa  
ELEONORA BILOTTA  
Università della Calabria

RELATORE  
Chiar.mo Prof.  
Pietro Pantano  
Università della Calabria

---

Anno Accademico 2008/2009

# Indice generale

<b>Introduzione.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Gli umani virtuali.....</b>	<b>17</b>
1.1 Introduzione agli umani virtuali.....	17
1.2 Nascita ed evoluzione degli umani virtuali.....	18
1.3 Alcune possibili applicazioni degli umani virtuali con particolare riferimento all'industria dello intrattenimento.....	21
<b>2 Tecniche di modellazione geometrica del volto e del corpo degli umani virtuali.....</b>	<b>26</b>
2.1 Procedimenti automatici o semi-automatici.....	26
2.1.1 <i>Face Cloning</i> .....	26
2.1.2 <i>Body Cloning</i> .....	28
2.2 Uso dell'antropometria nello sviluppo di sistemi per la modellazione digitale del corpo umano. ....	30
<b>3 Controllo di movimento e deformazione delle</b>	

## **superfici corporee negli umani virtuali.....32**

3.1	Tecniche di motion control.....	32
3.1.1	<i>Realismo e motion control.....</i>	<i>32</i>
3.1.2	<i>Rappresentazione dell'apparato muscolo scheletrico attraverso un sistema multicorpo (MBS).....</i>	<i>33</i>
3.1.3	<i>Tecniche di animazione di personaggi virtuali basate sulla meccanica.....</i>	<i>34</i>
3.1.3.1	Tecniche di animazione di umani virtuali basate sulla cinematica. Descrizione dei problemi della cinematica inversa e della cinematica diretta .....	35
3.1.3.2	Tecniche di animazione di umani virtuali basate sulla simulazione dinamica. I problemi della dinamica diretta e della dinamica inversa.....	36
3.1.3.3	Altri aspetti relativi all'animazione di personaggi 3D.....	38
3.2	Tecniche di deformazione delle superfici facciali.....	39
3.2.1	<i>Introduzione ai sistemi di deformazione facciale.....</i>	<i>39</i>
3.2.2	<i>Nozioni di anatomia facciale.....</i>	<i>39</i>
3.2.3	<i>Sistemi di parametrizzazione per l'animazione facciale .....</i>	<i>41</i>
3.2.4	<i>Modelli di deformazione della superficie facciale.....</i>	<i>42</i>

3.3 Tecniche di deformazione delle superfici corporee.....	44
3.3.1 Modelli di deformazione che si basano su una rappresentazione anatomica a due livelli.....	44
3.3.2 Modelli di deformazione basati sul volume.....	46
3.3.3 Modelli di deformazione basati su una rappresentazione anatomica strutturata su più livelli (multi-layered).....	47
<b>4 Simulazione di capelli, abiti e rendering della pelle negli umani virtuali.....</b>	<b>50</b>
4.1 Simulazione dei capelli.....	50
4.1.1 Modellazione geometrica e animazione dei capelli.....	51
4.1.2 Rendering dei capelli.....	52
4.2 Simulazione dei tessuti e degli abiti.....	54
4.3 Modelli di rendering della pelle.....	56
<b>5 Comunicazione, behavioral animation, modelli di interazione reale-virtuale e simulazione delle folle.</b>	<b>58</b>
5.1 La comunicazione facciale negli umani virtuali.....	58
5.1.1 Progettazione e controllo di alto livello di sistemi di animazione	

<i>faciale</i> .....	58
5.1.2 <i>Animazione del parlato, text-to-speech e speech-driven talking heads</i> .....	60
5.1.3 <i>Comunicazione facciale</i> .....	61
5.1.3.1 <i>Elaborazione del dialogo e analisi del linguaggio naturale</i>	62
5.1.3.2 <i>Emozioni, personalità e umore</i> .....	62
5.3 Behavioral animation.....	64
5.3.1 <i>Modelli di percezione visiva per umani virtuali</i> .....	65
5.3.2 <i>Comportamento basato su pianificazione, reti neurali o vita artificiale</i> .....	66
5.3.4 <i>Interazione tra umani virtuali e gestione delle animazioni</i> ....	67
5.3.5 <i>Comportamento sociale</i> .....	68
5.4 Sistemi di interazione reale-virtuale basati su tecnologie di riconoscimento del linguaggio corporeo.....	69
5.5 Simulazione virtuale delle folle.....	71
<b>6 Gli umani virtuali per la conservazione e valorizzazione dei Beni Culturali</b> .....	<b>73</b>
6.1 Umani Virtuali e Beni Culturali: prospettiva storica e stato dell'arte.....	73

6.2 Utilizzo di tecnologie basate sui videogames nell'ambito della valorizzazione dei beni culturali. Il progetto NetConnect.  
..... 79

## **7 Progettazione dei personaggi: definizione dell'aspetto e dei comportamenti.....84**

7.1 Fase di documentazione sulle fonti storico-archeologiche84

    7.1.1 *Abbigliamento femminile*..... 85

    7.1.2 *Abbigliamento maschile*..... 87

    7.1.3 *Calzature*..... 87

7.2 Design dei modelli geometrici e dei comportamenti dei personaggi..... 88

## **8 Realizzazione di un modello geometrico generico maschile e femminile..... 91**

8.1 Tecniche di modellazione geometrica.....91

8.2 Strumenti di modellazione geometrica utilizzati in questo progetto.....93

8.3 Modellazione geometrica del corpo maschile.....95

    8.3.1 *Costruzione dei piani di riferimento per la modellazione*.....95

8.3.2	<i>Modellazione del tronco ed estrusione degli arti.....</i>	96
8.3.3	<i>Operazione di rifinitura anatomica del modello.....</i>	97
8.4	<b>Modellazione geometrica del corpo femminile.....</b>	<b>99</b>
8.4.1	<i>Analisi delle differenze anatomiche tra maschio e femmina.....</i>	99
8.4.2	<i>Elaborazione del modello geometrico femminile attraverso trasformazioni applicate a quello maschile.....</i>	100
8.4.2.1	<i>Modifiche effettuate sulla testa.....</i>	100
8.4.2.2	<i>Modifiche effettuate sul tronco .....</i>	101
8.4.2.3	<i>Modifiche effettuate sugli arti.....</i>	102
<b>9</b>	<b>Elaborazione delle texture e mappatura dei modelli anatomici.....</b>	<b>104</b>
9.1	<i>Definizione dell'aspetto della pelle e di altri dettagli anatomici di umani virtuali attraverso l'uso delle texture.....</i>	104
9.2	<i>Alcune informazione sugli strumenti di elaborazione digitale dell'immagine .....</i>	105
9.3	<i>Tools per l'elaborazione delle texture.....</i>	107
9.4	<i>Mappe di diffusione e metodi di mappatura basati su coordinate UVW .....</i>	108

9.5	Operazione di unwrapping UVW.....	110
9.6	Creazione della mappa di diffusione e texture mapping del personaggio maschile.....	112
9.7	Creazione della mappa di diffusione e texture mapping del personaggio femminile.....	114
<b>10</b>	<b>Modellazione geometrica e texturing degli abiti</b> .....	<b>116</b>
10.1	Modellazione geometrica dell'hymation.....	116
10.2	Elaborazione della mappa di diffusione e texture mapping dell'hymation attraverso il metodo planare.....	120
10.3	Modellazione geometrica del chitone.....	122
10.4	Elaborazione della texture del chitone.....	123
<b>11</b>	<b>Elaborazione dei comportamenti.....</b>	<b>125</b>
11.1	Computer animation basata su controller.....	125
11.2	La gestione del tempo nell'animazione 3D.....	127
11.3	Metodi avanzati di animazione.....	128
11.4	Strumenti per l'animazione scheletrica utilizzati	



nell'ambito di questo progetto.....	131
11.5 Procedure di skinning.....	136
<i>11.5.1 Creazione della superficie skin.....</i>	<i>137</i>
<i>11.5.2 Creazione dello scheletro biped.....</i>	<i>137</i>
<i>11.5.3 Assegnazione della skin allo scheletro ed impostazione delle deformazioni.....</i>	<i>138</i>
<i>11.5.4 Animare lo scheletro biped.....</i>	<i>139</i>
<i>11.5.5 Importare sequenze di animazione motion-capture.....</i>	<i>140</i>
<i>11.5.6 La modalità motion flow.....</i>	<i>141</i>
11.6 Animazione del ciclo di attesa (idle).....	141
11.7 Animazione del ciclo di deambulazione.....	143
11.8 Definizione degli altri comportamenti attraverso sequenze di animazione motion-capture (mocap).....	145
<b>12 Realizzazione dei modelli geometrici e dei comportamenti degli altri personaggi.....</b>	<b>148</b>
12.1 Elaborazione dei modelli geometrici e dei comportamenti di base.....	148
<i>12.1.1 personaggi di sesso maschile.....</i>	<i>149</i>

12.1.1.1 Variante maschile numero 1.....	149
12.1.1.2 Variante maschile numero 2.....	152
12.1.1.3 Variante maschile numero 3.....	155
<i>12.1.2 personaggi di sesso femminile.....</i>	<i>158</i>
12.1.2.1 Variante femminile numero 1.....	158
12.1.2.2 Variante femminile numero 2.....	161
12.1.2.3 Variante femminile numero 3.....	164
<b>13 Integrazione dei personaggi nello scenario virtuale.....</b>	<b>167</b>
13.1 Conclusione del progetto di realizzazione dei personaggi e analisi dei risultati.....	167
<b>Bibliografia.....</b>	<b>171</b>
<b>Indirizzi Internet.....</b>	<b>177</b>

## *Ringraziamenti*

Al termine di questo lavoro desidero ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza nei confronti di tutte le persone che, negli anni ed a vario titolo, hanno reso possibili e sostenuto i miei studi e la mia attività di ricerca.

Per prima cosa, desidero ringraziare e dedicare questo lavoro ai miei genitori, Giuseppe e Carmelina, senza il loro grande affetto e fiducia, infatti, non sarei potuto arrivare ad ottenere un risultato così grande.

In secondo luogo, vorrei ringraziare di cuore i docenti che mi hanno seguito, istruito, guidato e incoraggiato con estrema pazienza durante il mio percorso di studi come dottorando: il relatore di questa tesi, Prof. Pietro Pantano, la Prof.ssa Eleonora Bilotta, Coordinatore del Dottorato e il Prof. Pier Augusto Bertacchini Coordinatore Scientifico del progetto NetConnect.

Un ringraziamento va anche ai colleghi e collaboratori del gruppo di ricerca ESG dell'Università della Calabria e alla Fondazione Graphitech di Trento. In particolare, vorrei ringraziare le persone che hanno collaborato con me in maniera diretta alla realizzazione di questo progetto: il Dr. Giuseppe Larìa con cui ho condiviso il lavoro di realizzazione dei personaggi, la Dott.ssa Agata Febbraro, la Dott.ssa Assunta Tavernise, il Dr. Andrea Mandara, l'Ing. Gabrio Girardi della Graphitech.

Desidero ringraziare, inoltre, tutti i parenti più stretti e gli amici che mi sono stati vicini e mi hanno aiutato ad affrontare questo percorso di studi con un riferimento particolare a mia cognata Rossella e mia nipote Flavia. Infine, desidero ringraziare in maniera speciale la compagna di mio padre Valentina e in maniera specialissima mio fratello Valerio il cui sostegno e guida mi hanno aiutato, in questi anni, a mantenere la 'rotta' giusta.

## Introduzione

Le moderne tecnologie dell'informazione, e più in particolare quelle centrate sulla visualizzazione di dati scientifici e geografici, e sulla ricostruzione di siti e manufatti, stanno ormai da lungo tempo dando un contributo essenziale alla conservazione ed alla valorizzazione dei beni culturali. Tale contributo è cresciuto drasticamente nella qualità e nella quantità nell'ultimo decennio.

Ciò è avvenuto essenzialmente per due ordini di ragioni: la prima è che le tecnologie informatiche di base necessarie alla creazione di tecnologie specifiche trasformabili o trasformate in strumenti di una qualche utilità nell'ambito dei beni culturali sono divenute sempre più disponibili e performanti, e sempre meno costose; la seconda ragione è che la disponibilità di piattaforme e strumenti ha stimolato l'ideazione e la sperimentazione di paradigmi e modelli ispirati ai Beni Culturali.

La disponibilità di strumenti e modelli ha dato il via ad un processo di selezione che, se da un lato ha contribuito e contribuisce costantemente a fare emergere strumenti e modelli sempre più significativi, dall'altro ha il merito di avere innescato un processo di diffusione dell'informazione scientifica e tecnica sul potenziale delle tecnologie anche al di fuori dei laboratori di ricerca e delle reti di eccellenza. Ciò si è tradotto in una progressiva diffusione di una specifica cultura settoriale che ha talvolta stimolato, talvolta risvegliato, i bisogni degli operatori del settore (Musei, Conservatorie, Archivi, Siti Archeologici ecc.) i quali, in risposta allo stimolo, hanno iniziato ad esercitare una pressione sia sul "mercato" della ricerca che sul mercato delle tecnologie.

A causa di tale pressione, accanto alle tecnologie più tradizionalmente legate alla conservazione ed alla salvaguardia dei Beni Culturali (ad esempio, GIS, Telerilevamento, Interferometria ecc.), si è venuto a creare tutto un fronte di

tecnologie, strumenti e modelli mirati alla valorizzazione dei Beni Culturali. Ciò non deve stupire se si pensa al fatto che la valorizzazione è di per sé un processo che ha tra le sue dirette conseguenze lo stimolo della curiosità e dell'interesse del pubblico e, conseguentemente, la generazione di flussi finanziari.

Tra le tecnologie e gli strumenti utili alla valorizzazione dei beni culturali, quelli che sicuramente hanno colpito in maniera maggiore l'immaginario del pubblico e degli operatori del settore sono da un lato quelli dedicati alla ricostruzione tridimensionale, a volte immersiva ed interattiva, di siti e manufatti.

Tuttavia, man mano che sempre più numerose sono state presentate le iniziative di digitalizzazione e virtualizzazione in 3D (AR e VR) di beni culturali, e man mano che le stesse hanno raggiunto il vasto pubblico, sia mediante installazioni accessibili, sia mediante specifici software da utilizzare direttamente sul computer degli utenti finali, si è reso evidente come le mere ricostruzioni manchino di attrattività e conferiscano esperienze solo parzialmente soddisfacenti se esse non vengono arricchite per mezzo di modelli che riconducano l'utilizzato il più vicino possibile ad esperienze della vita reale.

Ecco dunque che in risposta a ciò è emerso prepotentemente l'utilizzo sempre più spinto dei cosiddetti "umani virtuali". Essi sono stati via via impiegati per i più disparati utilizzi: come meri elementi decorativi, ad arricchire le rappresentazioni virtuali, come guide, più o meno intelligenti, nella presentazione di informazioni a supporto dell'esperienza degli utenti, come soggetti interattivi associati a contesti ben precisi, ed in grado di immergersi completamente nella simulazione offrendo opportunità di interazione e comunicazione agli utenti.

Proprio in questo contesto le tecnologie della visualizzazione 3D, VR ed AR, si sono incrociate sia con le discipline che studiano le dinamiche sociali, quelle culturali ed antropologiche, che quelle che si occupano di intelligenza artificiale.

Popolare virtualmente siti di interesse storico e archeologico è un nuovo modo di conservare, preservare e interpretare i beni culturali. In questo modo, il pubblico

può comprendere meglio la storia e la vita delle antiche comunità.

Gli umani virtuali sono diventati sempre più popolari negli ultimi anni grazie all'immenso lavoro di ricerca che è stato loro dedicato e che ha contribuito a renderli sempre più realistici. Oggi chiunque può interagire con degli umani virtuali in diverse situazioni e contesti come videogiochi, televisione interattiva, musei o internet.

La ricerca su questo soggetto, negli ultimi anni, si sta focalizzando sulle problematiche inerenti la simulazione di società virtuali dove ogni individuo abbia la capacità di agire, cooperare, comunicare, socializzare in base ai suoi gusti, umore, emozioni, obiettivi, paure, ecc.

Le possibili applicazioni di questa tecnologia sono pressoché infinite. Tuttavia, c'è ancora molta strada da fare per ottenere umani virtuali che abbiano un aspetto veramente realistico e la capacità di adattare il loro comportamento in tempo reale e in maniera coerente. Infatti, anche se la qualità grafica è stata migliorata moltissimo negli ultimi anni, l'animazione e l'automazione di questi personaggi presenta ancora numerosi problemi da risolvere.

Il lavoro di ricerca presentato in questa tesi riguarda la realizzazione di alcuni umani virtuali e la modellazione del loro comportamento per applicazioni al settore dei beni culturali.

Il lavoro di elaborazione di questi personaggi è stato parte di un progetto più ampio che, tra le altre cose, ha promosso un approccio all'apprendimento basato su tecnologie di edutainment, ovvero intrattenimento educativo. Il progetto, chiamato NetConnect (Connecting European Culture through New Technology), è stato finanziato dal programma Cultura 2000 (NetConnect 2008) (<http://netconnect>) ed ha avuto lo scopo principale di utilizzare le più recenti tecnologie dell'informazione per evidenziare e migliorare le relazioni storico-culturali esistenti tra importanti siti archeologici in Europa. Per realizzare questo scopo è stata elaborata un'applicazione 3D che permette l'esplorazione virtuale di

questi siti.

Tra i siti archeologici europei ricostruiti in 3D quello più rilevante ai fini del nostro lavoro è stato Locri. Proprio questo sito è stato popolato, infatti, con i personaggi che abbiamo collaborato a realizzare.

Bisogna precisare, tuttavia, che questi personaggi non sono dotati di un comportamento autonomo. Questo è dovuto al fatto che essi sono stati creati con un intento puramente estetico e didattico, per arricchire il significato storico delle ambientazioni virtuali e renderle più naturali e accettabili agli occhi dell'utente. In questo contesto, trovare informazioni rilevanti diventa una spinta a esplorare ed imparare la storia dei luoghi e delle persone, il modo in cui costruivano e vivevano, vedere immagini reali dei reperti archeologici trovati, ecc..

La realizzazione di questi attori virtuali è stata effettuata in collaborazione con il gruppo di ricerca ESG (Evolutionary Systems Group)([http:// esg](http://esg)) dell'Università delle Calabria, e la Fondazione Graphitech (Center for Advanced Computer ) ([http:// graphitech](http://graphitech)) di Trento.

Il contenuto di questa tesi si può suddividere in due parti principali. La prima parte si occupa di descrivere lo stato dell'arte delle tecnologie relative agli umani virtuali ed alcune delle loro principali applicazioni. La seconda parte descrive, in maniera specifica, il nostro lavoro di ricerca nell'ambito del progetto NetConnect. Nella prima parte della tesi, quindi, abbiamo spiegato cosa sono gli umani virtuali, come sono nati, come sono stati perfezionati nel tempo in base a quali necessità. Abbiamo discusso, inoltre, delle tecniche più recenti utilizzate per la modellazione del loro aspetto e del loro comportamento. Questo, in particolare, non è stato un compito facile dal momento che gli umani virtuali rappresentano un settore di ricerca interdisciplinare. Diversi settori della ricerca scientifica che vanno dalla Fisica alla Psicologia, infatti, trovano un punto di incontro nello sviluppo di queste tecnologie.

Nella seconda parte della tesi, come abbiamo detto, ci siamo occupati di

descrivere nei particolari le fasi di ideazione e realizzazione dei personaggi alla cui realizzazione abbiamo collaborato. Questa descrizione parte dalla fase di progettazione, basata sui vincoli imposti dal progetto e dalle tecnologie 3D utilizzate, passa per la fase di documentazione sulle fonti storiche e si conclude con la descrizione passo passo delle tecniche e degli strumenti utilizzati per la definizione di modelli geometrici e comportamenti. Abbiamo corredato, inoltre, la tesi di molte immagini che documentano visivamente questo processo di elaborazione.

Infine, abbiamo discusso i risultati del nostro lavoro. In base ad alcuni test effettuati su di un certo numero di utenti, infatti, è stato dimostrato come popolare di umani 3D la ricostruzione virtuale dell'antica Locri abbia favorito e reso più naturale la navigazione degli ambienti, aumentato le capacità didattiche del sistema e reso più piacevole la fruizione dei contenuti multimediali.



# Capitolo1

## Gli umani virtuali

### 1.1 Introduzione agli umani virtuali

Un “umano virtuale” può essere definito, genericamente, come l'immagine generata al computer di un essere umano in movimento o in posa statica. Tuttavia, lo spettro dei significati attribuiti a questo termine è molto ampio.

Gli umani virtuali sono diventati popolari negli ultimi anni anche grazie all'immenso lavoro di ricerca che è stato loro dedicato e che ha contribuito a renderli sempre più realistici. Oggi chiunque può interagire con degli umani virtuali in diverse situazioni e contesti come videogiochi, televisione interattiva, musei o internet.

Molte ambientazioni e scenari virtuali contengono modelli tridimensionali (3D) di edifici architettonici che possono essere esplorati in real-time. In molti casi, tuttavia, l'esplorazione di questi ambienti è passiva e non offre alcuna possibilità di interazione e partecipazione. All'interno di questi ambienti gli umani virtuali sono l'elemento chiave che può rendere possibile tale interazione. Essi possono assumere il ruolo di presentatori, guide, attori e molto altro. L'osservazione di come questi personaggi virtuali, se dotati di modelli comportamentali, agiscono nel loro ambiente può aiutare a comprendere meglio le dinamiche sociali del mondo reale. Per tale motivo la ricerca, negli ultimi anni, si sta focalizzando sulle problematiche inerenti la simulazione di società virtuali dove ogni individuo ha la capacità di agire, cooperare, comunicare, socializzare in base ai propri gusti, stati

d'animo, emozioni, obiettivi, paure, ecc.

Le possibilità di applicazione di questi oggetti sono enormi. Tuttavia, molto ricerca dovrà essere svolta per ottenere umani virtuali che abbiano un aspetto veramente realistico e la capacità di adattare il loro comportamento in tempo reale ed in maniera coerente. Infatti, sebbene la qualità grafica sia stata migliorata moltissimo negli ultimi anni, l'animazione e l'automazione di questi personaggi presenta ancora numerosi problemi da risolvere.

## **1.2 Nascita ed evoluzione degli umani virtuali**

I primi software di modellazione del corpo umano e del suo movimento sono sistemi finalizzati al design ergonomico e risalgono agli anni cinquanta.

Il Landing Signal Officer (LSO), sviluppato per la Boeing nel 1959 da William Fetter, è uno dei primi esempi di umano virtuale utilizzato per la progettazione ergonomica. Il modello virtuale, denominato 'First Man', ha sette punti di giunzione che permettono di modificare la sua postura in modo da simulare quella dei piloti durante il volo. Il progetto è finalizzato a testare l'efficacia di progettazione delle strumentazione del Boeing 747.

Altri modelli elaborati ai fini del design ergonomico in campo automobilistico e aeronautico sono: il 'Cyberman' della Chrysler Corporation (15 punti di giunzione); il Combiman (Computerized biomechanical Man-model) sviluppato nel 1975, dotato di un apparato scheletrico costituito da 35 segmenti; il Boeman, progettato dalla Boeing Corporation nel 1969, con un corpo costituito da segmenti di lunghezza variabile e 23 punti di giunzione.

Nel 1972, Sammie (System for Aiding Man Machine Interaction Evaluation) rappresentava il miglior modello umano parametrizzato. Progettato dall'Università di Nottingham, presentava la possibilità di variare alcune caratteristiche fisiche

quali la maggiore o minore quantità di tessuto adiposo e muscolare. Un modello di testa umana venne elaborato, invece, da Parke (Università dello Utah) nel 1974. Altri modelli di rappresentazione del corpo umano, tra gli anni settanta e ottanta, si basarono sulle primitive geometriche per definire i volumi del corpo. Per esempio, il modello basato su cilindri di Poter e Willmert del 1975 e quello costituito da ellissoidi di Herbinson ed Evans del 1986. Bubbleman, invece, sviluppato presso l'Università della Pennsylvania nel 1979, era costituito da uno scheletro ricoperto da sfere.

Un interessante modello di rappresentazione e animazione del corpo umano venne realizzato, nei primi anni ottanta, da Calvert presso la Simon Fraser University (Canada). Il sistema, controllava il movimento dell'umano virtuale elaborando i dati ottenuti applicando dei potenziometri al corpo di una persona reale.

Gli umani virtuali sono stati coinvolti anche nella produzione di video e cortometraggi. Fin dagli anni ottanta diversi enti commerciali e gruppi di ricerca hanno lavorato a realizzazioni di questo tipo. Nel 1975, l'Information International Inc. anche conosciuta come Triple I, ha dato origine a diverse dimostrazioni con lo scopo di provare le potenzialità dell'uso della computer grafica per l'intrattenimento. La scansione 3D della testa di Peter Fonda e il cortometraggio 'Adam the Juggler' (1982) ne sono un esempio.

Nel 1985 sono state utilizzate, per la prima volta, tecniche di animazione facciale per narrare storie nel film Tony de Peltrie. Nello stesso anno, la Digital Production elaborò l'animazione di un personaggio femminile per il video musicale di Mick Jagger intitolato Hard Woman. Sempre nel 1985, la Robert Abel & Associates creò Sexy Robot, una pubblicità televisiva che introdusse nuovi standard per l'animazione.

Nel 1987 Nadia Magnenat-Thalmann e Daniel Thalmann, in occasione del centesimo anniversario della Engineering Society of Canada, presentarono delle rappresentazioni virtuali di Marilyn Monroe e Humphrey Bogart nel film Rendez-

vous in Montreal.

Nel 1988 Tin Toy fu il primo film, interamente elaborato al computer, a vincere un Oscar come miglior film di animazione. Nello stesso anno, deGraf e Wahrman svilupparono Mike the Talking Head per Silicon Graphics. L'hardware utilizzato permetteva l'interpolazione in real-time delle espressioni facciali. Ciò dimostrava che le tecnologie di animazione erano perfettamente mature per essere commercializzate.

Nel 1989, Kleiser e Walkzak realizzano Dozo, un video musicale, nel quale una donna canta e balla davanti un microfono. Il movimento veniva controllato da uno dei primi sistemi di motion capture basato su sensori ottici. Nello stesso anno si distinsero, sempre per le innovative tecniche di animazione, film come The Abyss, Little Death and Virtually Yours. Nel 1991, invece, con il film Terminator II, vennero presentate nuove tecniche di integrazione tra scene riprese dal vivo e scene interamente sviluppate in digitale.

Negli anni novanta la ricerca sugli umani virtuali si è concentrata sulle applicazioni real-time e la realtà virtuale.

Nel 1991 venne sviluppato un software chiamato Jack presso il Center for Human Modeling and Simulation (University of Pennsylvania). Il software 3D venne commercializzato dalla Transom Technologies Inc. e permetteva il controllo interattivo della figura umana. Il sistema presentava un modello geometrico del corpo dettagliato e diverse funzioni per una vastissima gamma di applicazioni. Queste funzioni comprendevano, per esempio, la possibilità di variare le proporzioni anatomiche; funzioni di controllo del movimento e capacità di agire in base a degli obiettivi; capacità di raggiungere e afferrare oggetti; calcolo delle collisioni e capacità di evitare ostacoli.

Inizialmente, la scienza ha rivolto scarsa attenzione alla ricerca sugli umani virtuali. Ma con il tempo l'interesse verso queste tecnologie è cresciuto. Attualmente, moltissime riviste di carattere scientifico o popolare dedicano spazio

alla realtà virtuale e alle sue applicazioni. Centinaia di ricercatori lavorano nel settore multidisciplinare degli umani virtuali e le possibilità di sviluppo di queste tecnologie, per i prossimi anni, sono enormi.

### **1.3 Alcune possibili applicazioni degli umani virtuali con particolare riferimento all'industria dell'intrattenimento.**

Possiamo dire che le applicazioni possibili per gli umani virtuali sono illimitate, almeno quanto lo sono quelle per gli esseri umani reali. Queste sono alcune tra le applicazioni più diffuse:

- addestramento simulato nel settore dei trasporti, ingegneria civile.
- test di ergonomia per edifici e veicoli.
- simulazione di interventi chirurgici.
- presentazioni virtuali per la televisione e il web.
- simulazione delle folle per l'elaborazione di piani di evacuazione di strutture architettoniche complesse.
- fashion design
- recitazione virtuale ed effetti speciali nell'industria cinematografica
- insegnamento per la didattica a distanza.
- simulazioni per l'analisi dei fenomeni socio-fobici e per la psicoterapia virtuale.
- popolamento di simulazioni virtuali di ambienti urbani.

- videogames e intrattenimento.
- simulazione di operazioni militari.
- rappresentazioni teatrali interattive.
- simulazione virtuale di impianti industriali.
- popolamento di siti archeologici virtuali.
- progettazione, riparazione e manutenzione di impianti e dispositivi tecnologici.

La fruizione dei servizi su Internet può essere molto migliorata grazie all'uso di umani virtuali interattivi. Attualmente, molti siti web utilizzano queste tecnologie o sono sul punto di integrarle. Ananova ([http:// ananova](http://ananova)) vanta il diritto di essere stata la prima presentatrice virtuale sul web. La sfida maggiore per i creatori di Ananova è stata sviluppare e animare un personaggio 3D capace di elaborare servizi giornalistici in maniera dinamica e con uno stile e un tono appropriati al contenuto.

Negli ultimi anni, l'aumento delle capacità di calcolo dei computer ha fatto crescere le possibilità di sviluppo e l'interesse nei confronti della realtà virtuale (VR). Originariamente, questa tecnologia veniva utilizzata soprattutto per la progettazione e la simulazione di veicoli, centrali nucleari e dispositivi elettronici. Attualmente, le tecnologie della VR trovano largo impiego anche in medicina.

Come vedremo meglio in seguito, anche gli enti che si occupano della salvaguardia dei patrimoni storici e culturali si sono avvalsi negli ultimi anni dei benefici apportati dalla VR. Numerosi gruppi di ricerca, come il MIRALab dell'Università di Ginevra ([http:// miralab](http://miralab)), stanno lavorando da diversi anni a progetti che utilizzano tecnologie di VR per la valorizzazione dei Beni Culturali in Europa e nel mondo.

Gli umani virtuali vengono utilizzati anche in programmi di addestramento per la

manutenzione di impianti industriali. In questo ambito vengono utilizzate proficuamente le tecnologie di realtà aumentata (AR). Un esempio di questo tipo di applicazioni è il progetto STAR ([http:// projectstar](http://projectstar)). Lo scopo di questo progetto e' stato quello di sviluppare un sistema per l'apprendimento di procedure di riparazione o manutenzione di particolari apparecchiature. Queste procedure vengono illustrate, attraverso l'uso di un HMD (Head Mounted Display), da umani virtuali nelle vesti di tecnici specializzati.

Gli umani virtuali trovano larga applicazione anche nel cinema. Le creature realizzate in computer grafica stanno sostituendo in maniera sempre più massiccia animali veri e pupazzi meccanici. Folle di umani digitali riempiono stadi e scene urbane riducendo i costi di produzione. Ma quello che e' più importante, spesso nei film i personaggi 3D assumono il ruolo di protagonisti. La nuova trilogia di Star Wars ([http:// starwars,](http://starwars)) di George Lucas, è un esempio di ciò che si può ottenere sperimentando con le tecniche di computer grafica.

Il motion capture è un sistema di controllo del movimento degli umani virtuali molto utilizzato nel cinema e nei videogames. Questa tecnica e' stata sviluppata da vari enti di ricerca a partire dai primi anni ottanta. Essa deriva dai metodi con i quali venivano analizzati i movimenti del corpo umano per migliorare le prestazioni degli atleti olimpionici. Alcuni film nei quali e' stata utilizzata questa tecnica sono Ghostbusters (1984), Chi ha incastrato Roger Rabbit? (1988), e Terminator II (1992).

Nel film Jurassic Park (1993), Steven Spielberg ha dimostrato la possibilità, tramite la computer grafica, di visualizzare sullo schermo cose che non esistono, in maniera assolutamente convincente. Con le tecniche giuste è possibile resuscitare digitalmente attori scomparsi o animali estinti.

Nel film Titanic del 1997, si è fatto uso di centinaia di comparse virtuali per simulare le folle di passeggeri della nave. Le animazioni di questi personaggi sono state realizzate usando una libreria di movimenti ricavati da attori reali per mezzo

del motion capture. Questo tipo di animazioni sono definite anche MoCap Animations e ne parleremo in dettaglio nella seconda parte di questo lavoro.

Nel 2001 è stato prodotto Final Fantasy, il primo film con un cast completamente digitale. I personaggi manifestano un comportamento e un aspetto fisico incredibilmente realistici.

Una trilogia di film, molto significativa per lo sviluppo delle tecnologie di rappresentazione degli umani virtuali, è quella de Il Signore degli Anelli (2001-2003) ([http:// lordoftherings](http://lordoftherings)). Per questi tre film la Weta Workshop, in Nuova Zelanda, ha sviluppato nuove tecniche digitali tra cui il sistema di simulazione delle folle noto come Massive ([http:// massive](http://massive)).

Un altro settore dell'industria dell'intrattenimento dove gli umani virtuali riscuotono un enorme successo è quello dei videogames. Il tipo di giochi di cui stiamo parlando presenta mondi e personaggi virtuali con cui interagire. Alcuni titoli particolarmente esemplificativi sono: Quake ([http:// quake](http://quake)), Tomb Raider ([http:// tomraider](http://tomraider)), Starcraft II ([http:// starcraft2](http://starcraft2)), Diablo III, Everquest II ([http:// everquest2](http://everquest2)), Asheron's Call ([http:// asheron](http://asheronscall)), World of Warcraft ([http:// wow](http://wow)), The Sims ([http:// thesims](http://thesims)). Lara Croft è l'eroina di Tomb Raider (1996-2007), un gioco creato dalla Eidos Interactive. Quest'avventuriera veste i panni di un archeologo d'azione ed è probabilmente la donna virtuale più conosciuta nel mondo dei videogames. The Sims è un gioco strategico di simulazione creato dal geniale Will Wright e pubblicato dalla Maxis. Rilasciato per la prima volta nel 2000 è stato il gioco che ha avuto più successo nella storia dei giochi per PC.

I progressi degli ultimi anni nella computer grafica e nell'intelligenza artificiale (AI) hanno fatto sì che i personaggi dei videogames fossero sempre più realistici. Con il risultato che più tempo l'utente passa in loro compagnia e più forte è la convinzione che siano reali. I personaggi 'intelligenti', dotati di obiettivi, conoscenza e abilità, porteranno l'industria dei videogames verso situazioni di gioco sempre più realistiche. Questo è uno dei motivi per cui, negli ultimi anni, la



comunità dei giocatori è arrivata a superare in numero quella dei non giocatori. Questo, inoltre, è indice dell'influenza che gli umani virtuali, oggi e soprattutto in un prossimo futuro, eserciteranno sulla società.

## **Capitolo 2**

# **Tecniche di modellazione geometrica del volto e del corpo degli umani virtuali**

## **2.1 Procedimenti automatici o semi-automatici**

I metodi per modellare la forma del volto e del corpo umano in 3D si possono dividere in due categorie: procedimenti manuali e procedimenti automatici o semi-automatici. Nell'ambito della seconda categoria, sono di particolare interesse i sistemi di 'face cloning' e 'body cloning' che si basano sull'analisi di foto e/o video di soggetti reali oppure sull'utilizzo di scanner 3D.

### ***2.1.1 Face Cloning***

La duplicazione in 3D di volti umani specifici o 'face cloning' ha un vasto campo di applicazione che va dalla video conferenza alle simulazioni di chirurgia facciale.

La modellazione di un volto umano animabile e realistico richiede alcuni passaggi fondamentali: acquisire informazioni relative alla forma, generare texture ad alta risoluzione e includere informazioni funzionali all'animazione.

Tenendo conto di queste caratteristiche, sono stati sviluppati diversi sistemi di face cloning che richiedono poca interazione da parte dell'utente. Elencheremo, in

breve, alcuni di essi:

- Sistemi basati sull'uso di foto arbitrarie. Essi incorporano tecniche che sfruttano metodi di modellazione simili a quelli che si usano tradizionalmente in scultura.
- Sistemi basati sull'uso di fotografie e modelli geometrici generici. Il modello generico viene 'riadattato' in base all'analisi della posizione di alcuni punti caratteristici sulle foto [1].
- Sistemi di digitalizzazione 3D (basati sull'uso di laser-scanner, per esempio). Questa metodologia, che necessita di attrezzature costose, produce modelli molto precisi e complessi che non presentano, tuttavia, una struttura funzionale all'animazione.
- Sistemi di ricostruzione 3D che si basano sull'analisi di immagini stereoscopiche per ottenere informazioni relative alla profondità di un oggetto.
- Sistemi che utilizzano una o più sequenze video. Essi hanno il vantaggio di utilizzare attrezzature poco costose come delle comuni videocamere, e possono essere utilizzati anche per l'animazione dei modelli.

Le tecniche di scansione 3D, come il laser scanning, permettono di ottenere una forma migliore per aree del volto estese e più o meno lisce (fronte, guance, ecc.). Inoltre, queste tecniche, come abbiamo già detto, generano modelli che non hanno una struttura animabile.

Al contrario, le tecniche di modellazione digitale che utilizzano fotografie, hanno una migliore resa in termini di risoluzione e di forma delle aree caratteristiche del volto (occhi, narici, ecc.) e, per lo più, si basano sull'uso di modelli generici la cui struttura geometrica è stata ottimizzata ai fini dell'animazione.

Per questo motivo, sono state sviluppate tecniche di modellazione mista che si basano su metodi di analisi fotografica e su metodi di scansione 3D per ottenere i

dati necessari ad elaborare un modello che abbia forma precisa e struttura animabile.

### ***2.1.2 Body Cloning***

Negli ultimi anni e' cresciuto l'interesse verso l'automatizzazione dei processi di body cloning del corpo umano. Ciò e' dovuto in parte alla realizzazione di sensori più economici e, in parte, a quella di computer più potenti. I modelli 3D del corpo umano, inoltre, diventano sempre più complessi, al punto da non potere essere realizzati manualmente. L'automazione delle procedure di realizzazione aiuta a ridurre drasticamente i costi e i tempi di produzione.

I sistemi di body cloning hanno diverse ed importanti applicazioni. Alcune di queste sono: interfacce intelligenti, sorveglianza, intrattenimento, editoria elettronica e medicina sportiva. Queste sistemi, tuttavia, risultano complicati da sviluppare (come nel caso della modellazione del volto umano) per due motivi, uno e' la grande complessità del nostro corpo, l'altro, il fatto che le informazioni raccolte dai sensori sono spesso incomplete.

I metodi di rappresentazione del corpo umano che vengono tradizionalmente utilizzati e che sono alla base delle procedure di modellazione automatica sono quattro: figure composte da segmenti di linea retta (stick figure); figure composte da semplici primitive geometriche (ellissoidi o cilindri); modelli costruiti a strati (dove ogni strato rappresenta le ossa, il grasso, i muscoli ecc.); modelli anatomicamente corretti (dei quali non esiste, per motivi di complessità, un esempio realmente completo ed universale). Creare modelli di questo tipo significa, tuttavia, non solo elaborare una forma, ma creare anche uno scheletro articolato da associare a questa forma per poter realizzare modelli che ne descrivano il movimento.

I dati ottenuti attraverso l'uso di scanner 3D permettono di costruire modelli geometrici del corpo ad alta risoluzione, molto fedeli all'originale ma difficilmente animabili. Per questo motivo, alcuni ricercatori hanno cercato di adattare a queste superfici scheletri virtuali in modo da poterne controllare il movimento [2]. E' difficile, tuttavia, effettuare tale adattamento senza una conoscenza a priori dei dati che descrivono tali superfici [3].

Diversi metodi sono stati sviluppati per ottenere modelli 3D di corpi umani attraverso l'analisi di immagini. Alcune tra le metodologie più efficaci in questo senso sfruttano i contorni del corpo, estratti dalle fotografie, per riadattare la forma di un modello generico (e perfettamente animabile) al fine di replicare forma e aspetto di un essere umano specifico [4]. La texture del corpo viene creata attraverso una composizione e rielaborazione delle fotografie; un procedimento di texture mapping molto preciso nasconde in parte le imperfezioni geometriche del modello [5]. Il livello di accuratezza del modello e delle animazioni ottenuto da questo procedimento si e' dimostrato particolarmente adatto ad applicazioni real-time.

Un altro metodo, indagato dai ricercatori ai fini del body cloning anche per via delle sue numerosissime applicazioni, e' quello basato sull'analisi di sequenze video. Questo metodo si pone in contrasto con quelli che si basano sull'uso di fotografie in quanto si propone di determinare la forma del corpo di un individuo attraverso l'analisi della sua immagine in movimento [6]. Tuttavia, sviluppare dei sistemi di questo tipo, che abbiano la robustezza necessaria alle molteplici applicazioni possibili, risulta complicato. Questo e' dovuto in parte alla complessità del corpo umano, in parte al fatto che gli individui spesso agiscono in modo non previsto, e quindi non interpretabile, dai sistemi di analisi dell'immagine in movimento.

## **2.2 Uso dell'antropometria nello sviluppo di sistemi per la modellazione digitale del corpo umano.**

L'antropometria è, letteralmente, la scienza che misura gli esseri umani. E' stata definita, in senso più specifico, come lo studio comparato delle proporzioni e delle dimensioni del corpo umano, ed è in tal senso che viene sfruttata ai fini della modellazione 3D del corpo umano. In senso più generico, invece, l'antropometria può comprendere la misurazione dei limiti fisici delle articolazioni, la massa, la forza, la percentuale di grasso presente nei tessuti del corpo.

L'analisi antropometrica comincia con l'identificazione di particolari punti di riferimento, chiamati landmark points, su di un soggetto. Questi punti indicano, attraverso caratteristiche della superficie corporea, la presenza di un organo o di un componente anatomico. Successivamente, viene effettuata una serie di misurazioni delle distanze tra questi punti tramite l'uso di strumenti come il calibro o il metro. Le misurazioni sono di solito utilizzate in indagini statistiche che coinvolgono una certa popolazione di individui.

L'antropometria trova, oltre che nella computer grafica, largo uso in quei settori dell'industria che si occupano del design e della realizzazione di indumenti, equipaggiamento militare o sportivo, veicoli e stazioni di lavoro.

La modellazione basata su dati antropometrici può essere molto utile nella creazione di folle digitali realistiche. Infatti, simulare mondi virtuali popolati da personaggi 3D significa creare delle folle che presentano, dal punto di vista anatomico, una grande varietà di forme. Questo tipo di simulazione è un obiettivo che, con le tradizionali tecniche di modellazione, sarebbe molto difficile e dispendioso conseguire.

Tra i differenti metodi sviluppati fin dagli anni ottanta per ottenere un sistema efficace di modellazione antropometrica del corpo umano, si distingue quello

basato su ‘campioni’. Questo metodo rileva i dati geometrici relativi all’anatomia di una serie di esseri umani campione attraverso 3D scanning. Successivamente questi dati vengono combinati, tramite funzioni d’ interpolazione, per generare in modo automatico una serie di modelli geometrici di dimensioni e proporzioni differenti [3].

## Capitolo 3

# Controllo di movimento e deformazione delle superfici corporee negli umani virtuali

## 3.1 Tecniche di motion control

### *3.1.1 Realismo e motion control*

Lo scopo finale delle tecniche di motion control (controllo del movimento) è di raggiungere un certo realismo nella rappresentazione dei movimenti del corpo di personaggi 3D. Riteniamo importante, quindi, definire il significato del termine ‘realismo’. La confusione relativa all’interpretazione di questa parola deriva, principalmente, dal fatto che le moderne tecniche di motion control si trovano al punto di incrocio di due campi di ricerca: la simulazione fisica del movimento e l’animazione tradizionale. In questi due campi la parola realismo assume un significato diverso.

Nell’animazione tradizionale, in base alla legge secondo cui *il movimento deve creare emozione*, la valutazione soggettiva dell’animatore o del pubblico determina la qualità sia del movimento sia della tecnica che ne sta alla base. Questo metodo di valutazione, ispirato al Test di Turing, è stato ampiamente utilizzato da diversi ricercatori per valutare gli approcci utilizzati per simulare il movimento degli esseri umani.



La simulazione fisica ha come obiettivo una più profonda conoscenza dei fenomeni che generano il moto. Questa indagine avviene attraverso una raffinata modellazione degli elementi che costituiscono il sistema muscolo-scheletrico e il modo in cui essi interagiscono fisicamente. La metodologia è completata da una valutazione oggettiva della qualità della simulazione attraverso una validazione sperimentale. Una simulazione deve essere in grado di effettuare predizioni con ragionevole precisione entro una data ipotesi di lavoro. La difficoltà nel determinare con precisione tali predizioni consiste nell'enorme complessità del sistema biomeccanico costituito dal corpo umano.

Per concludere, potremmo dire che le tecniche di animazione sono attualmente considerate realistiche nel senso della credibilità ma non in senso oggettivo e sperimentale.

Naturalmente, nel classificare l'efficacia di una data tecnica di animazione, possono essere presi in considerazione altri criteri di valutazione. Tra di essi, ad esempio, vi sono la user-friendliness dell'interfaccia di controllo e la qualità della performance.

### ***3.1.2 Rappresentazione dell'apparato muscolo scheletrico attraverso un sistema multicorpo (MBS)***

I sistemi di animazione suddividono, tradizionalmente, il problema di controllo del movimento in due sotto problemi: l'animazione del movimento delle strutture interne del corpo (movimento primario) e l'animazione delle superfici esterne e dei vestiti (movimento secondario). In questo modo, la massa e i volumi corporei sono rappresentati come un sistema multicorpo (Multi-Body System o MBS), mentre l'involucro esterno (epidermide e/o tessuti di rivestimento) è rappresentato da una superficie geometrica che viene fatta aderire al corpo.

Attualmente, tutti i sistemi commerciali, come anche quelli utilizzati nel corso delle moderne ricerche sul motion control, si basano su questa soluzione [3].

Durante l'implementazione di un sistema di simulazione dell'apparato muscolo scheletrico come MBS ci sono due punti da prendere in considerazione. Questi punti non possono prescindere l'uno dall'altro se si vuole trattare il problema con completezza. Il primo è trovare una soluzione che permetta di rappresentare l'attività dei muscoli coinvolti nel movimento attraverso l'analisi delle loro linee d'azione. Il secondo punto riguarda l'elaborazione di un modello che ci permetta di simulare e controllare la deformazione dei tessuti molli.

Questi due aspetti sono dipendenti per il fatto che il movimento muscolare può essere influenzato dalla deformazione degli strati di rivestimento (quando, per esempio, i tessuti molli raggiungono il loro limite di elasticità).

Un modo di integrare il movimento e la deformazione è elaborare modelli di rappresentazione per tutti i tessuti, incluse le ossa, usando il metodo degli elementi finiti.

### ***3.1.3 Tecniche di animazione di personaggi virtuali basate sulla meccanica.***

Il moto può essere definito come il mutamento di posizione di un oggetto rispetto a un sistema di riferimento e la meccanica è la scienza che studia il movimento degli oggetti. Per scopi pratici, questa disciplina è stata suddivisa in due parti:

- la cinematica che si occupa di descrivere quantitativamente e geometricamente il moto dei corpi (in termini di posizione, velocità e accelerazione dei corpi).
- la dinamica, basata sulle leggi di Newton, che studia le forze che

provocano il moto di un corpo in relazione alla sua accelerazione e alla sua massa.

Questa distinzione porta a generare due classi distinte di tecniche per animare figure articolate, i metodi basati sulla cinematica e quelli basati sulla dinamica appunto.

### **3.1.3.1 Tecniche di animazione di umani virtuali basate sulla cinematica. Descrizione dei problemi della cinematica inversa e della cinematica diretta**

Le tecniche di controllo del movimento di personaggi 3D basate sulla cinematica possono essere applicate sia alla loro manipolazione che alla loro animazione.

La manipolazione di una figura virtuale articolata è simile alla manipolazione di un pupazzo, l'obiettivo consiste nell'ottenere una determinata postura. Una prima opzione consiste nel controllare la rotazione relativa dei segmenti modificando gli angoli dei giunti articolari. La determinazione della postura corrispondente a un dato set di valori che definiscono l'angolo di inclinazione dei giunti è un problema definito, in robotica, come cinematica diretta.

Quando, invece, ai fini della manipolazione è più rilevante la posizione di una singola parte del corpo (end-effector) allora bisogna regolare l'angolo delle articolazioni in modo da ottenere la postura necessaria (per esempio, regolare l'angolo dei giunti articolari di spalla, gomito e polso in modo che la mano possa raggiungere un determinato oggetto). Questo problema, di più difficile soluzione rispetto alla cinematica diretta, è conosciuto come il problema della cinematica inversa (Inverse Kinematics o IK) ed è considerato vincolante nei confronti dell'insieme di possibili parametri di un giunto articolare. La soluzione di questo

problema è stata molto studiata prima in robotica, poi in computer grafica.

Tuttavia, il problema della cinematica inversa, in quanto fondato su di un'azione vincolante nei confronti dei giunti di una catena articolare, ha delle limitazioni e non dà garanzia che il movimento generato sia continuo o esatto.

Per quanto riguarda l'animazione ottenuta con cinematica diretta o inversa, la soluzione più semplice è quella di affidarsi ad animatori qualificati che definiscano manualmente le posizioni chiave di un dato movimento. Successivamente, le posizioni vengono interpolate in maniera fluida nel tempo per generare un set completo di fotogrammi necessario all'animazione. All'animatore è concesso di poter correggere una o più posizioni chiave del personaggio se queste non dovessero risultare corrette. Questa procedura è conosciuta come keyframing. Sebbene tediosa, essa permette la definizione precisa di movimenti anche molto complessi.

Le tecniche del keyframing e del motion capture si adattano a figure particolari, con dimensioni definite. Per risolvere questo problema, sono state sviluppate diverse tecniche di riadattamento del movimento. Un esempio dell'applicazione di tali tecniche sono le creature del videogioco Spore.

Sono state sviluppate anche diverse tecniche di animazione procedurale con lo scopo di generare movimenti specifici come camminare o afferrare. In alcuni casi è possibile controllare persino lo stile del movimento tramite l'impostazione di parametri di alto livello (per esempio, nel software denominato Character Studio).

### **3.1.3.2 Tecniche di animazione di umani virtuali basate sulla simulazione dinamica. I problemi della dinamica diretta e della dinamica inversa**

Sono state pubblicate svariate ricerche riguardo la dinamica dei corpi articolati.

Nel campo della robotica, sono stati sviluppati molti algoritmi di dinamica diretta per strutture con diversi gradi di libertà. Nell'animazione digitale, questi algoritmi sono stati applicati alla simulazione dinamica del corpo umano. Generalmente, dato un insieme di forze esterne (dovute alla gravità o al vento), forze interne (dovute ai muscoli) e forze di rotazione applicate ai giunti, un algoritmo di dinamica diretta calcola il movimento di un corpo articolato secondo le leggi della dinamica dei corpi rigidi. Questo metodo, con un minimo intervento da parte dell'animatore, può dare origine a risultati estremamente realistici. Questo succede, in particolar modo, quando si parla di animazioni 'passive' come, per esempio, la caduta di un corpo lungo una scalinata. Tuttavia, il fatto che l'animatore abbia solo un controllo indiretto, può essere un limite quando è necessario un controllo preciso dell'animazione.

Generalmente, nelle simulazioni dinamiche, elaborare un comportamento 'attivo' (come la deambulazione, per esempio) applicando forze di rotazione ai giunti secondo determinati parametri temporali è poco pratico se non estremamente difficoltoso. Questa classe di problemi viene definita dei problemi di dinamica inversa.

Il livello di dettaglio di una simulazione dinamica è un fattore da tenere in considerazione, soprattutto in applicazioni real-time, come i videogames, dove i costi computazionali riducono il numero e la complessità dei personaggi che possono essere animati contemporaneamente.

In ogni caso, in una simulazione dinamica, avere maggior controllo sul risultato finale significa pianificare fin dall'inizio l'interazione con l'ambiente. In questo modo collisioni non previste non possono essere elaborate autonomamente dal sistema.

### **3.1.3.3 Altri aspetti relativi all'animazione di personaggi 3D**

La richiesta di mondi virtuali online è in continua crescita. Ai personaggi 3D, sempre più numerosi e diversificati, che popolano questi ambienti è richiesta un'ampia gamma di abilità motorie da utilizzare a seconda delle necessità. Il conseguimento di questo obiettivo richiede la produzione di classi di movimento che riflettano determinate abilità e la possibilità di combinare insieme movimenti diversi in modo da crearne di nuovi.

La produttività dei processi (pipeline) di animazione di personaggi 3D aumenta ogni anno ma resta, allo stato attuale, comunque bassa. Questo dipende, principalmente, da due fattori: l'intrinseca complessità del corpo umano e la nostra estrema sensibilità a percepire anche i più piccoli difetti di un movimento artificiale. Per risolvere questi problema, la ricerca si sta orientando verso la riusabilità di sequenze di movimento ottenute con tecniche di motion capture e di simulazione fisica. L'obiettivo di queste ricerche è di conservare la maggior parte delle dinamiche naturali del movimento attraverso l'uso di vincoli aggiuntivi sia durante l'eventuale fase di editing che durante il processo di generalizzazione che permette a un dato movimento di essere applicato su di uno scheletro differente. Un'architettura basata sulla cinematica inversa può essere determinante nello sviluppo di un sistema di 'retargeting' di questo tipo, soprattutto se associata al controllo del centro di massa. Tra le difficoltà riscontrate in questo tipo di ricerca c'è, inoltre, la mancanza di uno standard universalmente diffuso di rappresentazione dello scheletro umano. Un tentativo di realizzare tale standardizzazione ha dato origine, nel 2003, allo H-Anim ([http:// h-anim](http://h-anim)).

Altri aspetti che i ricercatori stanno cercando di sviluppare per rendere sempre più efficaci e realistiche le tecniche di motion control fanno riferimento alle neuroscienze (per quanto riguarda i meccanismi neurali alla base del movimento) e alla biomeccanica (per quanto riguarda la distribuzione delle forze all'interno

del corpo).

## **3.2 Tecniche di deformazione delle superfici facciali**

### ***3.2.1 Introduzione ai sistemi di deformazione facciale***

Durante l'animazione di un umano virtuale, risulta di particolare importanza l'animazione del volto e delle espressioni. Infatti, un umano virtuale il cui volto non possa essere animato, a meno che il contesto di applicazione non lo richieda in maniera specifica, risulta privo di gran parte della sua forza espressiva e comunicativa. Il volto, tuttavia, non può essere animato realisticamente senza un buon modello di deformazione delle sue superfici. Tale ipotetico modello deve assicurare che i movimenti facciali siano realistici, naturali e accurati. Ciò implica uno studio approfondito dell'anatomia facciale e dei movimenti che sono alla base delle espressioni.

Solitamente, i modelli di deformazione facciale effettuano manipolazioni geometriche basate su metodi come l'interpolazione, il metodo degli elementi finiti e la simulazione fisica dei muscoli. Si possono usare anche sistemi basati su 'pseudo-muscoli' definiti da deformazioni procedurali, funzioni spline o particolari tipi di deformazione denominati 'Free Form Deformation' (FFD).

### ***3.2.2 Nozioni di anatomia facciale***

Un tempo, lo studio dell'anatomia e della fisiologia aiutava gli artisti a creare

immagini e dipinti pieni di 'vita'. Allo stesso modo, oggi, questo studio può essere di grande aiuto nello sviluppo dei sistemi di animazione e deformazione facciale. In questo paragrafo, daremo una breve descrizione della struttura anatomica e dei movimenti della pelle, dei muscoli e delle ossa del volto.

La pelle è fondamentale nel determinare l'apparenza e il movimento del volto. Essa è costituita da diversi strati. Lo strato più esterno è l'epidermide al di sotto della quale si trova il derma. Al di sotto del derma si trova il cosiddetto tessuto sottocutaneo o ipoderma. Quest'ultimo strato è costituito da soffice tessuto connettivo e permette alla pelle di 'scorrere' al di sopra dei muscoli e delle ossa.

Il movimento della pelle è dovuto alle sue proprietà meccaniche, all'interazione dei vari strati che la compongono e all'azione dei muscoli. I principali componenti che determinano le caratteristiche meccaniche della pelle sono: il collagene, le fibre di elastina e la membrana basale. Le sue caratteristiche fisiche principali sono, invece, la non linearità, l'anisotropia, la viscoelasticità, l'incompressibilità e la plasticità. L'età modifica le proprietà della pelle e causa la formazione di grinze. I muscoli sono alla base dei movimenti facciali. Tutti i movimenti facciali sono una conseguenza delle contrazioni muscolari. I muscoli in genere variano molto in dimensione, forma e complessità.

I muscoli facciali sono sottili, volontari e sottocutanei, e formano delle coppie che si dispongono in maniera simmetrica lungo l'asse mediano del volto. Inoltre, a seconda del tipo di contrazione si dividono in tre categorie: muscoli fusiformi, lamellari, orbicolari.

Le ossa del capo, che collettivamente costituiscono il teschio, determinano le proporzioni e la forma del volto. La natura e la forma del teschio varia con l'età, l'etnia e il sesso. Il teschio è costituito da due parti, il cranio e la mandibola che è l'unica sua parte mobile.

Elementi anatomici costitutivi del volto, dotati di forma e movimento specifico, sono gli occhi, i denti e la lingua.



### ***3.2.3 Sistemi di parametrizzazione per l'animazione facciale***

Il problema dell'animazione facciale può essere risolto attraverso la definizione di un sistema di parametri di controllo e l'elaborazione di modelli di deformazione che si basano su questi parametri. Negli ultimi anni, sono stati utilizzati principalmente tre sistemi di parametrizzazione a questo scopo: l'interpolazione, il FACS (Facial Acting Coding System) ed il FAP (Facial Animation Parameters).

La tecnica dell'interpolazione calcola il valore intermedio tra due valori dati. Nell'animazione facciale, questo metodo può essere utilizzato per calcolare l'espressione intermedia tra due espressioni date (posizioni chiave) del volto. Un parametro che rappresenta il grado di fusione tra le espressioni chiave può controllare il processo di interpolazione.

Tra tutti i sistemi o linguaggi che sono stati sviluppati per descrivere le espressioni facciali, il più popolare e utilizzato è certamente il FACS [7]. Il FACS, sviluppato da Ekman e Frisen nel 1978, non nasce per essere utilizzato in animazione. Inizialmente, lo scopo principale del FACS era di fornire un sistema in grado di descrivere, in maniera affidabile, alcuni movimenti facciali. Esso definisce una serie di azioni di base dette Action Units (AU). Ogni AU corrisponde alla contrazione di un muscolo facciale o di un gruppo di muscoli correlati. Il sistema individua quarantasei AU. Questo repertorio di azioni può essere considerato come un 'kit' per comporre e creare espressioni facciali.

Il FACS fornisce uno strumento efficace per descrivere il movimento delle sopracciglia, della fronte e delle palpebre, ma non include tutte le azioni che intervengono nella parte inferiore del volto, in particolare, quelle correlate al movimento labiale durante il parlato. Inoltre, questo sistema non include i movimenti della testa. Nonostante questo, il FACS viene utilizzato molto in

animazione e ne sono state elaborate anche delle varianti ed estensioni.

Un sottogruppo dello standard di animazione facciale MPEG-4 (basato sulla definizione di un set minimo di parametri), il Synthetic Natural Hybrid Coding (SNHC), fornisce un efficiente metodo per la codifica dei movimenti facciali basato sui cosiddetti Facial Animation Parameters (FAP). I FAP rappresentano un set completo di azioni facciali di base capace di riprodurre espressioni, emozioni e parlato.

Bisogna specificare, tuttavia, che lo standard SNHC non specifica il sistema da utilizzare per ottenere la deformazione delle mesh in base ai parametri FAP. I dettagli di implementazione (risoluzione della mesh, algoritmo di deformazione e di rendering, ecc.) sono a discrezione dello sviluppatore del sistema di animazione MPEG-4.

### ***3.2.4 Modelli di deformazione della superficie facciale***

I modelli di deformazione facciale possono essere distinti in base al meccanismo che determina il modo in cui viene manipolata la geometria del volto. Alcuni modelli si prepongono semplicemente la creazione di effetti visivi credibili; altri sono basati sulla simulazione della contrazione muscolare e delle caratteristiche biomeccaniche della pelle.

Uno degli approcci più classici all'animazione facciale è costituito dall'uso di modelli basati sull'interpolazione della forma. Della tecnica dell'interpolazione abbiamo già parlato nell'ambito della discussione sui sistemi di parametrizzazione dell'animazione facciale. Nel caso della deformazione, una funzione di interpolazione può essere utilizzata per elaborare le posizioni dei vertici della mesh di un volto tra due espressioni chiave. La deformazione, in questo caso, si manifesta come uno spostamento dei vertici. Il valore del parametro di

interpolazione e la posizione che i vertici assumono durante le espressioni estreme determinano l'entità di tale spostamento. Il metodo è piuttosto semplice ma ha alcune limitazioni. La quantità di espressioni ottenibili è limitata ed il costo computazionale è alto a causa del grande quantitativo di dati geometrici necessari a descrivere ogni posa.

I modelli di deformazione nei quali i poligoni della mesh del volto sono manipolati attraverso un set di parametri possono superare le restrizioni delle tecniche di interpolazione. Questi metodi permettono di ottenere una grande varietà di pose facciali. Tuttavia, il fatto che la progettazione del set di parametri dipenda dalla topologia del modello geometrico riduce l'universalità del sistema. Inoltre, risulta difficile elaborare un set di parametri per mezzo del quale ottenere tutte le espressioni possibili.

Progettare un modello di deformazione facciale che si basi su di una descrizione anatomica completa è complicato e poco pratico. Tuttavia, sono stati condotti diversi tentativi per creare modelli semplificati basati su ossa, muscoli, pelle e tessuti connettivi. Questi modelli permettono di deformare la superficie facciale simulando l'azione dei muscoli. Questo approccio è generalizzabile dal momento che lo stesso set di muscoli è valido per tutti i volti.

In questa categoria di tecniche possono essere distinti due tipi di approcci: il primo di essi si fonda su di una simulazione biomeccanica più o meno completa dei processi che determinano la deformazione; il secondo, invece, pone maggiore attenzione ai risultati visivi della deformazione e si basa su di una struttura anatomica semplificata (pseudo-muscoli). Molti di questi modelli 'muscolari' utilizzano schemi di parametrizzazione basati sulle FACS o loro varianti.

Un altro approccio utilizzato per la deformazione facciale è quello che prevede l'uso del metodo degli elementi finiti (FEM). Questo metodo, viene utilizzato anche per l'analisi strutturale dei materiali in CAD/CAM. Nel campo della deformazione facciale viene usato in ambiti dove la precisione dei risultati è

fondamentale come gli studi di biomeccanica e le simulazioni mediche.

### **3.3 Tecniche di deformazione delle superfici corporee**

In questo paragrafo vengono analizzati alcuni metodi di deformazione della superficie corporea degli umani virtuali. Questi metodi possono essere suddivisi in tre categorie:

- metodi che si basano su di una rappresentazione del corpo a due livelli (scheletro e superficie di rivestimento);
- metodi che si basano sulla definizione dei volumi corporei (particolarmente adatti per il rilevamento delle collisioni);
- metodi anatomicamente precisi che si basano su di una rappresentazione del corpo a più livelli.

#### ***3.3.1 Modelli di deformazione che si basano su una rappresentazione anatomica a due livelli***

Questo metodi, denominati anche ‘surface models’, si basano su una rappresentazione del corpo a due livelli, il primo livello è costituito da uno scheletro e il secondo da un involucro esterno di rivestimento o skin (pelle). La deformazione della superficie esterna è determinata dalla configurazione dello scheletro sottostante.

L’involucro esterno, nei casi più semplici, è rappresentato da mesh poligonali collocate sullo scheletro. Le mesh vengono ancorate rigidamente ai segmenti dello

scheletro e formano una superficie di rivestimento approssimativa che ne segue ogni movimento. Tuttavia, le parti del corpo si compenetrano in prossimità dei giunti e appaiono disconnesse durante i movimenti. Inoltre questa tecnica non riproduce il fenomeno del rigonfiamento muscolare. In altri casi, l'involucro esterno, che non è segmentato ma costituito da un'unica superficie, viene controllato applicando una funzione di deformazione che rispetti l'angolo di inclinazione dei giunti articolari dello scheletro. La superficie dell'involucro può essere rappresentata da una mesh poligonale o da una serie di superfici patch (estensione in 3D di curve spline). Le regole di deformazione delle superfici cambiano localmente in base al tipo di movimento dei giunti (flessione o torsione). Il risultato è una superficie corporea unica, regolare e levigata, che si flette in prossimità delle articolazioni [8].

Lo 'skinning' è un'altra tipologia di deformazione che interviene localmente sulla superficie di rivestimento. La differenza rispetto alle altre tecniche di questo tipo precedentemente descritte consiste nel fatto che gli algoritmi che vengono utilizzati sono sufficientemente generici da poter essere applicati ad ogni tipo di giunto dello scheletro. Lo skinning si basa su di un algoritmo di interpolazione. L'animatore, in questo caso, può controllare l'effetto di deformazione su ogni vertice della mesh di rivestimento. A causa della sua flessibilità e semplicità, questa tecnica è molto diffusa, soprattutto nel settore di sviluppo dei videogames. Tuttavia, questo approccio ha alcune limitazioni. Per prima cosa è necessario molto lavoro manuale per ottenere delle deformazioni corrette. L'animatore può impiegare ore a regolare l'intensità della deformazione vertice per vertice. Inoltre, in aree di grande mobilità come la spalla, alcune regolazioni possono produrre risultati accettabili per determinate posture dello scheletro, ma non per altre. Diversi software commerciali di animazione 3D adottano questo sistema di deformazione. Tra di essi possiamo elencare 3D Studio Max e Maya (<http://autodesk.com>).

Il tronco umano e gli arti presentano una forma più o meno cilindrica. Alcune ricercatori hanno sviluppato delle tecniche di deformazione che si avvalgono di questa peculiarità. Infatti, approssimando la forma delle varie parti del corpo a dei cilindri, e manipolando le loro sezioni trasversali, è possibile controllare la deformazione della pelle [9].

Un'altra tecnica di deformazione si basa sulla combinazione, attraverso processi di interpolazione o estrapolazione, di posture predefinite o key-shapes (forme chiave). Le key-shapes sono mesh di poligoni triangolari in varie pose scheletriche. Esse sono ottenute tramite l'uso di scanner 3D o modellazione geometrica manuale. Prerequisito di questa tecnica è la condivisione, da parte di tutte le key-shapes, di un'unica topologia [10].

### ***3.3.2 Modelli di deformazione basati sul volume***

I sistemi di deformazione basati sul volume utilizzano primitive geometriche elementari, come ellissoidi o sfere, per approssimare la forma del corpo. Queste primitive, chiamate anche metaballs, blobbies, soft objects o Zspheres (nel caso del software ZBrush della Pixologic) (<http://zbrush.com>) sono rappresentate matematicamente da superfici implicite. I modelli di deformazione basati su metaballs sono, per certi aspetti, simili a quelli che sfruttano una rappresentazione a più livelli del corpo umano. Tuttavia, a differenza di questi ultimi, i modelli volumetrici permettono un'ottima gestione delle collisioni.

Le superfici implicite presentano alcune proprietà che le rendono particolarmente adatte per la modellazione organica. La loro principale qualità sta nel fatto che si fondono l'una nell'altra in maniera uniforme dando origine a superfici molto lisce e regolari. Inoltre, queste superfici hanno una formulazione molto compatta che necessita di poca capacità di calcolo. Tuttavia, la loro deformazione presenta delle

complicazioni. Per prima cosa, le superfici tendono a fondersi nel momento in cui la posizione dello scheletro viene modificata. Generalmente questo problema viene risolto utilizzando dei blending graphs (diagrammi di fusione) che specificano il modo in cui le metaballs contribuiscono, tramite la loro combinazione, alla formazione della superficie corporea. Inoltre, la deformazione delle superfici implicite durante l'animazione rende più complicata la loro poligonizzazione. Quest'ultima è necessaria per l'applicazione delle texture in fase di visualizzazione e rendering [11].

I modelli di deformazione basati su superfici implicite permettono, tuttavia, una gestione ottimale delle collisioni tra modelli differenti (o parti dello stesso modello) e, inoltre, una deformazione realistica delle superfici di contatto.

### ***3.3.3 Modelli di deformazione basati su una rappresentazione anatomica strutturata su più livelli (multi-layered)***

I primi sistemi di animazione di umani virtuali si basavano su di una combinazione di tecniche come lo skinning e le superfici implicite. Essi tendevano ad approssimare l'anatomia del corpo umano, composta da diversi strati (pelle, tessuti connettivi, muscoli, ossa), in uno solo. I lavori di ricerca più recenti, invece, sono orientati verso una rappresentazione biologica completa del corpo umano e cercano di riprodurre l'interazione dinamica degli strati anatomici più importanti.

Lo scheletro è definito da una struttura articolata, che consiste in una gerarchia di segmenti, o in alcuni casi, di parallelepipedi [12]. Questa struttura può essere rivestita da primitive geometriche o mesh triangolari che approssimano la forma

delle ossa [13].

I muscoli, nell'ambito di questi sistemi di deformazione, sono rappresentati in molti modi. I primi modelli muscolari erano costituiti da mesh poligonali deformate attraverso tecniche di FFD (Free Form Deformation) oppure da metaballs ellissoidali. Successivamente sono stati sviluppati dei sistemi basati su repliche anatomicamente accurate dell'apparato muscolare. Le unità costruttive di tali sistemi sono costituite da: ellissoidi (forme particolarmente adatte a riprodurre la struttura fusiforme dei muscoli) con la caratteristica di preservare il volume nonostante le deformazioni, cilindri la cui forma può essere modificata manipolandone le sezioni trasversali [14], modelli stratificati (basati su di una serie di 'action lines' di controllo rivestite da una guaina poligonale) che possono riprodurre la forma di ogni muscolo e deformarsi realisticamente [15].

Per quanto riguarda i modelli muscolari basati su simulazione fisica, sono stati elaborati sistemi che utilizzano tecniche di modellazione basate sul metodo degli elementi finiti (FEM) [16]. Altri approcci rappresentano i tessuti muscolari come una rete di oscillatori armonici del tipo 'mass-spring' (sistemi meccanici costituiti da una massa vincolata ad una molla) [17].

La pelle, nei sistemi di deformazione multi-layered, è rappresentata da diversi tipi di superfici: poligonali, parametriche ed implicite. Le superfici poligonali possono essere elaborate direttamente dalla CPU (Central Processing Unit) della scheda grafica e, per questo motivo, vengono utilizzate in quei casi dove velocità e interattività sono fondamentali (per esempio i videogames). Tuttavia, questo tipo di superfici, non risultano sempre lisce e uniformi come dovrebbero. Le superfici parametriche (come le patch bicubiche), invece, sono molto adatte a modellare la pelle perché danno origine a forme lisce ed arrotondate. Bisogna considerare, tuttavia, che sia le patch originate da curve b-spline che quelle originate da curve di Bezier devono essere poligonalizzate prima di venire renderizzate. Le superfici implicite, come abbiamo già detto, sono particolarmente adatte alla modellazione



organica, ma, ponendo dei problemi all'applicazione delle texture non vengono molto utilizzate per realizzare la pelle.

Esistono diversi modi di deformare la pelle nei modelli multi-layered. Due di questi metodi sono particolarmente interessanti. Il primo si basa sull'uso di tecniche di skinning, la pelle così deformata viene 'riproiettata' intorno agli strati anatomici più profondi. Il secondo metodo di deformazione simula un sistema meccanico di membrane elastiche [14]. Queste membrane sono vincolate in modo da mantenere una distanza costante dalle superfici sottostanti.

## **Capitolo 4**

# **Simulazione di capelli, abiti e rendering della pelle negli umani virtuali.**

### **4.1 Simulazione dei capelli**

Per rappresentare realisticamente gli umani virtuali è necessario dotarli di una capigliatura convincente. A partire dagli anni ottanta diversi ricercatori si sono occupati di questo complesso problema.

Inizialmente i capelli di un umano virtuale venivano definiti attraverso una superficie poligonale. Oggi questa soluzione non è più accettabile, se non in alcune applicazioni real-time come i videogames.

Sulla testa di un essere umano ci sono, solitamente, dai 100.000 ai 150.000 capelli. La forma di un singolo capello è cilindrica e può variare molto nello spessore, nella lunghezza e nell'increspatura. Queste caratteristiche rendono i capelli estremamente difficili da simulare in un sistema digitale.

Si possono distinguere tre fasi principali nell'ambito della simulazione virtuale dei capelli: modellazione della forma, animazione e rendering. Molto spesso queste fasi sono interconnesse durante la simulazione. La fase di modellazione consiste nella creazione, più o meno realistica di migliaia di capelli attraverso la definizione della loro forma geometrica, densità, distribuzione e orientamento. La fase di animazione si occupa di elaborare il movimento e gestire le collisioni interne tra capelli e esterne con il corpo. La fase di rendering si occupa di

elaborare il colore, le ombre, la specularità, vari gradi di trasparenza delle superfici e l'effetto di anti-aliasing. La computer grafica ha compiuto numerosi sforzi nell'elaborazione di soluzioni efficaci per questo tipo di simulazioni.

#### ***4.1.1 Modellazione geometrica e animazione dei capelli***

I primi tentativi di rappresentare la forma dei capelli si basano su modelli espliciti. Modelli, cioè, che elaborano movimento e forma di ogni singolo capello. Tra di essi si distingue un sistema che permette all'utente di costruire lunghe acconciature di capelli [18]. Tali acconciature vengono realizzate attraverso la definizione di alcune caratteristiche delle ciocche (orientamento, densità, estensione e increspatura) tramite un'interfaccia grafica. Il modo in cui le ciocche si dispongono intorno al cranio viene definito attraverso la manipolazione di curve 3D. Questo modello, tuttavia, ha un alto costo computazionale e non rende facile costruire e animare acconciature complesse.

Acconciature più elaborate ad un costo computazionale più modesto possono essere realizzate attraverso modelli di simulazione che definiscono la capigliatura come un insieme di ciocche (invece che capello per capello). Le ciocche vengono rappresentate, in alcuni casi, attraverso cilindri generalizzati e texture volumetriche [19].

Nel 1989 Perlin e Hoffret idearono le hypertexture per mezzo delle quali è possibile rappresentare pellicce e capelli [20]. In questo caso, i peli sono modellati attraverso funzioni di densità dello spazio tridimensionale. Questo approccio permette, rispetto alla modellazione esplicita, di gestire meglio la complessità strutturale dei peli crespi e permette una ricchezza di dettaglio maggiore.

Recentemente, è stata raggiunta una migliore capacità di controllare la forma

complessiva dei capelli, di definirne il dettaglio geometrico e le dinamiche con l'elaborazione di un modello basato sulla meccanica dei fluidi [21]. La collisione tra capelli viene realizzata attraverso la pressione, mentre la resistenza dell'aria è approssimata con la viscosità. In questo modo l'utente può ottenere diversi tipi di capigliature definendo alcuni parametri del fluido e può disegnare acconciature complesse senza preoccuparsi dell'interazione capello-testa e capello-capello. Questo metodo, tuttavia, presenta alcuni limiti. Il gradiente della pressione può generare una forza di collisione lungo direzioni incompatibili con la velocità dei capelli. Questo perché la pressione è definita in funzione della densità che non è legata alla velocità dei capelli.

Nell'ambito dei modelli di animazione dei capelli, invece, sono particolarmente significativi quelli che si basano sull'elaborazione del movimento di ogni singolo elemento [22][23]. Ogni capello è rappresentato da una catena di particelle connesse da forze elastiche e ogni giunto della catena ha una capacità di flessione limitata. In questo modo, il movimento viene determinato dalle forze d'inerzia e dall'effetto della collisione con il corpo. Questa soluzione, tuttavia, ha il limite di non gestire le collisioni tra capelli.

Il primo serio tentativo di modellare l'interazione tra capelli (tuttora estremamente complessa da realizzare) è stato effettuato da Hadap e Magnenat-Thalmann nel 2001[24]. Questo sistema elabora le dinamiche delle singole ciocche di una capigliatura in base alla loro rigidità.

Infine, l'animazione di una pelliccia, rappresentata geometricamente da una texture volumetrica, può essere realizzata attraverso una funzione di densità dello spazio 3D che varia nel tempo.

### ***4.1.2 Rendering dei capelli***

Nel campo degli umani virtuali, il rendering realistico dei capelli rappresenta uno dei problemi più complessi da affrontare. Questo è dovuto al fatto che i capelli sono molto numerosi e sottili ed è difficile rappresentarne in modo dettagliato geometria e illuminazione. Inoltre, i capelli rappresentano un serio problema di aliasing in quanto riflettono luce e proiettano ombre gli uni su gli altri interferendo sullo shading di ogni pixel dell'immagine renderizzata.

Negli ultimi anni, il problema del rendering dei capelli è stato affrontato da numerosi ricercatori. Tuttavia, molte delle soluzioni proposte funzionano bene solo in particolari condizioni e non sono adatte a rappresentare in maniera accettabile anche il movimento.

Altri approcci si occupano del problema più specifico del rendering delle pellicce che presenta molte caratteristiche in comune con quello di oggetti naturali come l'erba e gli alberi. Abbiamo già parlato, a questo proposito, dell'uso delle hypertextures elaborate da Perlin e Hoffert per la modellazione di oggetti ricoperti di pelliccia. Questo approccio è limitato, tuttavia a oggetti la cui geometria può essere definita analiticamente. Kajiva e Kay nel 1989 estesero questo metodo all'elaborazione ed al rendering di geometrie più complesse [25]. Essi usarono una singola texture solida, denominata 'texel'. Il texel è una texture map 3D i cui parametri di superficie e illuminazione vengono applicati a un volume. L'efficacia di questo modello è stata dimostrata renderizzando un orsacchiotto.

Un altro metodo di rendering, basato molto sulla potenza di calcolo, modella i singoli capelli come cilindri ricurvi ed elabora ogni cilindro separatamente per generare l'immagine finale. L'elevato numero di superfici cilindriche da elaborare pone seri problemi computazionali. Tuttavia, questo approccio, anche utilizzando primitive diverse per descrivere la forma dei capelli (per esempio piramidi), è stato molto utilizzato.

Le Blanc nel 1991 propose un metodo di rendering dei capelli tra i più efficaci.

Questo approccio elabora le immagini utilizzando il ray tracing e le polilinee 3D. Un modulo aggiuntivo si occupa di generare le ombre tramite shadow buffering. Nel 1999 Kong e Nakajima [26] elaborarono un modello di rendering che utilizza un buffer volumetrici per ridurre i tempi di calcolo. I capelli vengono rappresentati combinando superfici poco definite con superfici dettagliate in base alla distanza dal punto di osservazione. La tecnica riduce considerevolmente i tempi di calcolo ma la qualità dei risultati non è eccezionale. Un modello di rendering particolarmente interessante, invece, presenta caratteristiche ibride [27]. La capigliatura è rappresentata, infatti, da un modello a ciocche combinato con texture volumetriche. La tecnica del ray tracing è utilizzata per calcolare gli estremi dei cilindri e successivamente viene applicato lungo ogni raggio un rendering volumetrico per catturare le caratteristiche della densità. Infine, recentemente, è stato presentato un modello di rendering che fa uso di mesh poligonali. Il metodo di shading è basato sul modello di Kajiya e Kay del 1989 al quale è stata aggiunta un'operazione di approssimazione in tempo reale della luce speculare.

## **4.2 Simulazione dei tessuti e degli abiti**

Gli abiti sono elementi essenziali per definire l'identità e l'aspetto sia di esseri umani reali che virtuali. Essi sono la caratteristica più personale che un individuo può esibire durante la sua vita sociale. A differenza del colore della pelle, degli occhi e dei capelli, gli abiti si presentano in grande varietà di colore, forma e stile e la possibilità di scelta è vastissima. Questa scelta non è casuale ma determinata dalle convenzioni sociali e dalla moda. Per tutti questi motivi, per riprodurre efficacemente gli umani virtuali è assolutamente necessaria un'accurata rappresentazione dei loro abiti.

La simulazione e l'animazione dei vestiti e dei tessuti coinvolge diverse

tecnologie. Alcuni dei problemi da affrontare in questo tipo di ricerca sono:

- descrivere le proprietà meccaniche dei tessuti attraverso equazioni matematiche che possano essere gestite da un sistema di simulazione.
- elaborare un sistema di simulazione che trasformi il modello meccanico in animazione
- elaborare un modulo per la gestione delle collisioni che gestisca il contatto tra il tessuto virtuale ed altri oggetti come le superfici corporee.
- sviluppare tecniche e strumenti che permettano il design dei vestiti virtuali per applicazioni sia in computer grafica che nell'industria dell'abbigliamento.

La ricerca sulla simulazione dei vestiti per gli umani virtuali parte alla fine degli anni ottanta con l'elaborazione di modelli molto semplici. Oggi, dato l'enorme progresso nel campo delle tecnologie informatiche, sistemi di simulazione molto avanzati trovano applicazione non solo nella rappresentazione di mondi virtuali ma anche nell'industria dell'abbigliamento e nella moda.

Nel campo della computer grafica, la prima simulazione dei tessuti viene elaborata nel 1987 [28]. Questo sistema permette, per esempio, l'accurata simulazione di una bandiera o di un pezzo di tessuto rettangolare. Il tessuto, inoltre, viene distinto da altri tipi di materiale rigido come il metallo o la plastica. Tuttavia, le prime applicazioni che simulano vestiti cominciano ad apparire nel 1990, in concomitanza con lo sviluppo di tecnologie complementari quali la modellazione e l'animazione del corpo umano e le tecniche di gestione delle collisioni [29]. Successivamente, i sistemi di simulazione dei tessuti e degli abiti si sono avvantaggiati dell'uso dei sistemi particellari e dei metodi di integrazione numerica [30]. Infine, negli ultimi anni, i ricercatori hanno integrato questi sistemi con moduli per la gestione delle collisioni [31]. Questi sviluppi sono ulteriormente sostenuti dall'elaborazione di tecniche di rendering che aumentano il realismo visivo dei tessuti e interfacce interattive per il design industriale.

## 4.3 Modelli di rendering della pelle

Abbiamo già parlato di alcune tecniche di rendering dei capelli. Un altro aspetto importante nella rappresentazione degli umani virtuali è il rendering della pelle. Il rendering è un aspetto importante nella creazione di un umano virtuale in quanto elabora i modelli di rappresentazione dell'anatomia e del movimento in una forma percepibile dall'utente. Il realismo visivo di un umano virtuale dipende dal modello di rendering utilizzato (sia che si tratti di vestiti, capelli o pelle). Il termine 'realismo' può assumere diversi significati nell'ambito dell'elaborazione delle immagini digitali (e del rendering in particolare). Abbiamo, quindi, il realismo fotografico quando l'immagine produce la stessa reazione visiva della scena rappresentata e il realismo fisico quando ne viene prodotta una simulazione visiva. Il realismo è di tipo funzionale, infine, quando l'immagine contiene le stesse informazioni visive della scena.

Oltre il realismo, durante lo sviluppo di una tecnica di rendering è fondamentale tenere in considerazione la potenza di calcolo e la memoria necessaria all'esecuzione della tecnica stessa. Tipicamente, al fine di velocizzare il processo di calcolo, si utilizzano dei procedimenti che, durante l'elaborazione, immagazzinano parte dei dati in memoria in modo da utilizzarli in un secondo tempo.

La pelle presenta diverse proprietà. Diverse tecniche sono state elaborate per riprodurre una o più di tali caratteristiche. Illusteremo nel seguito del paragrafo alcune di queste tecniche.

Le tecniche di texturing considerano la pelle come una superficie e cercano di descriverne le proprietà in quanto tale. In questo modo, esse cercano di riprodurre le variazioni di colore e le micro-geometrie. Queste caratteristiche sono catturate al meglio dalle fotografie, che vengono combinate in maniera elaborata per



generare texture. Inoltre, data la grande differenza di aspetto della pelle nelle varie zone del corpo si rende necessario l'uso di tecniche di texture-mapping adeguate. Per esempio, l'approccio di Litwinowicz e Lance (1994) [32] permette di associare punti caratteristici delle immagini a punti delle geometrie attraverso una selezione interattiva. Questo tipo di mappatura viene mantenuta, anche se la geometria viene modificata nella forma, attraverso una deformazione dell'immagine stessa.

La luce non interagisce solo con la superficie della pelle ma penetra anche al di sotto di essa.

Il modo in cui la luce si diffonde al di sotto degli strati superficiali della pelle fornisce informazioni sul suo stato di salute e sui gradi di elasticità. Per questo motivo sono state studiate delle tecniche di illuminazione basate sulle proprietà ottiche della pelle individuate dai dermatologi. Questo è il caso di un modello, elaborato di recente, che rappresenta la pelle come due superfici grezze che racchiudono uno strato con caratteristiche anisotrope di diffusione della luce Stam (2001) [33]. Una funzione di riflettanza di tipo BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) e di trasmissione di tipo BTDF (Bi-directional Transmittance Distribution Function) vengono utilizzate per rappresentarne le proprietà ottiche. Una successiva elaborazione dei dati permette la creazione di uno shader (un algoritmo che generalmente è utilizzato per determinare l'aspetto finale della superficie di un oggetto) utilizzabile dagli animatori.

## **Capitolo 5**

### **Comunicazione, behavioral animation, modelli di interazione reale-virtuale e simulazione delle folle.**

#### **5.1 La comunicazione facciale negli umani virtuali**

##### ***5.1.1 Progettazione e controllo di alto livello di sistemi di animazione facciale***

La comunicazione facciale negli umani virtuali comprende un gran numero di tecniche di animazione del volto. Essa comprende, inoltre, tecniche per l'analisi e la sintesi di espressioni, emozioni, segnali non verbali e dialoghi.

Il volto è il punto più osservato e conosciuto della figura umana. Per questo motivo, costituisce l'oggetto più difficile da simulare in computer grafica.

In computer grafica, la ricerca sulla comunicazione facciale è cominciata nel 1972, quando ebbero inizio le attività pionieristiche di modellazione e animazione di Fred I. Parke. Successivamente, questo settore della ricerca è cresciuto grazie all'apporto di altre discipline come la computer vision, lo speech processing, la linguistica, il natural language processing e la psicologia.

I sistemi di comunicazione facciale si basano principalmente sull'animazione del

volto. I passaggi fondamentali di cui deve tenere conto la progettazione di un sistema di animazione facciale sono:

- Definire una geometria facciale di preferenza: maschio/femmina, realistica/cartoon, ecc.
- Definire un sistema di parametrizzazione per l'animazione del modello geometrico (vedi il Capitolo 2).
- Definire delle unità di base (building blocks) per l'animazione in base al sistema di parametri selezionato.
- Usare i building blocks come key-frames e definire delle funzioni di interpolazione che permettano di animare la mesh.

Durante la progettazione di sistemi di animazione facciale, vengono considerati due livelli di parametrizzazione. Il primo livello di parametrizzazione (definito basso livello) prende in considerazione un controllo più particolareggiato della mesh facciale e della sua deformazione. Il secondo livello di parametrizzazione (definito alto livello) ha il compito di fornire un apparato di controllo per i movimenti facciali più complessi. Il set di parametri di alto livello deve tenere in considerazione i possibili movimenti del volto locali o globali e la loro interdipendenza. Esso deve permettere, inoltre, una rapida elaborazione delle animazioni utilizzando visemi ed espressioni come unità base.

Le espressioni riconosciute universali dai ricercatori sono sei: gioia, tristezza, rabbia, paura, disgusto, sorpresa [34][35].

L'animazione basata su key-frames (fotogrammi chiave) viene spesso utilizzata per applicazioni non in tempo reale. Per animazioni facciali interattive e applicazioni in real-time è necessario utilizzare altri sistemi come i linguaggi di scrittura di alto livello. Sono stati elaborati diversi sistemi che permettono di generare il codice necessario all'animazione. Il codice può essere generato automaticamente dall'animatore (per esempio, tramite sistema IMPROV [36]) o

da un agente intelligente che controlla l'umano virtuale, come nel caso dell'Avatar Markup Language (AML)[37], del VHML (Virtual Human Markup Language (<http://vhml>) e dell'APML (Affective Presentation Markup Language) [38]. Questi sistemi favoriscono l'interfacciamento con agenti intelligenti e la produzione di molti movimenti facciali diversi. Per esempio, il linguaggio di animazione facciale denominato Facial Animation Markup Language (FAML), derivato dall'AML e basato su sintassi XML, usa espressioni predefinite per costruire una grande varietà di animazioni.

### ***5.1.2 Animazione del parlato, text-to-speech e speech-driven talking heads***

L'animazione del parlato o speech animation è il processo mediante il quale un volto sintetico viene animato in sincrono con una frase generata per mezzo di un linguaggio naturale. Il parlato può essere elaborato per mezzo di un computer, oppure, può essere la registrazione di una persona reale. Esistono diversi sistemi di elaborazione artificiale del parlato che si basano su testo. Questi sistemi sono detti sistemi text-to-speech (TTS). Alcuni di essi sono commerciali (Microsoft, IBM, Dragon, ecc.), altri sono frutto di ricerca scientifica per (per esempio, Festival (<http://festival>)). Per integrare un sistema TTS in un volto sintetico parlante (talking head) è necessario estrarre l'audio corrispondente al testo, i corrispondenti fonemi e le informazioni temporali necessarie alla sincronizzazione labiale. I fonemi ottenuti dal sistema TTS corrispondono a determinati visemi o posizioni delle labbra e vengono renderizzati in sincrono con l'audio. Un visema è definito come la controparte visiva di un fonema e deve essere considerato come l'unità di base dell'animazione labiale. L'animazione di una talking head può essere generata anche in base all'estrazione dei fonemi dal parlato e dalla voce di

una persona reale. Questo è il caso delle 'speech-driven' talking heads. Estrarre i dati relativi allo schema temporale dei fonemi in un sistema di questo tipo richiede una maggiore elaborazione rispetto a un sistema TTS. La maggior parte dei sistemi speech-driven registra il movimento del volto insieme alla voce durante il parlato. Questa operazione può avvenire per mezzo di videocamere o sensori ottici di tracciamento. I documenti audio e video possono essere utilizzati per semplificare il processo di estrazione dei dati temporali sui fonemi attraverso l'uso di Reti Neurali (NN) o Modelli Nascosti di Markov (HMM)[39].

Un sistema di animazione del parlato che sia realistico deve avere anche la possibilità di gestire espressioni facciali adeguate al significato del discorso e allo stato emotivo dell'umano virtuale. Gli umani, infatti, mentre parlano muovono costantemente la testa e gli occhi. I segnali non verbali come gli sguardi, i cenni del capo e il battito degli occhi aumentano la credibilità dell'animazione e devono essere sincronizzati con i contenuti del parlato. Alcuni studi sono stati realizzati sull'argomento fin dal 1982 e da alcuni anni si stanno sviluppando delle metodologie di analisi del linguaggio per permettere la sincronizzazione tra comunicazione verbale e non verbale.

### ***5.1.3 Comunicazione facciale***

Uno dei maggiori campi di applicazione delle talking heads è la Human Computer Interaction (scienza che studia l'interazione tra gli esseri umani e i computer). In questo ambito, l'attenzione si è spostata dai semplici sistemi speech-driven di animazioni dei volti, agli umani virtuali autonomi in grado di parlare con noi in tempo reale. In questa sezione ci occuperemo di definire alcuni aspetti relativi all'autonomia di questi sistemi e alla rappresentazione del loro stato emozionale.

### **5.1.3.1 Elaborazione del dialogo e analisi del linguaggio naturale**

Un umano virtuale capace di comunicare deve essere caratterizzato da: un buon sistema per l'elaborazione del dialogo ed un modulo per la comprensione del linguaggio naturale. Generalmente, vengono utilizzati tre approcci per l'elaborazione del dialogo. Il primo si avvale delle grammatiche di dialogo per descriverne la struttura ed individuarne le parti più ricorrenti (come le coppie domanda-risposta). Il secondo approccio, definito plan-based, si basa sulla comprensione, al fine di rispondere correttamente, del piano o disegno generale di un dato discorso ma non delle sue motivazioni. Il terzo modello, detto collaborativo, si basa sulla visione del dialogo come un atto di collaborazione di due individui al fine di giungere ad un comune intendimento.

La comprensione del linguaggio naturale necessita di un'operazione di analisi (o parsing) della frase. Questa analisi, di solito, avviene su due livelli, uno superficiale e uno più approfondito. Il livello profondo fornisce un'analisi semantica più particolareggiata. Un esempio dell'utilizzo di questo sistema di analisi è fornito dal progetto Verbmobil (<http://verbmobil>).

### **5.1.3.2 Emozioni, personalità e umore**

Le emozioni nascono da particolari stati mentali e sono rappresentate visivamente dalle espressioni facciali. Per questo motivo, questi due fenomeni sono strettamente correlati. Nell'ambito della ricerca sugli umani virtuali viene utilizzato molto il modello emozionale denominato OCC [40]. Il modello classifica ventidue diversi tipi di emozioni in base alla reazione, positiva o

negativa, ad eventi, azioni e oggetti. Esso descrive, inoltre, come l'intensità delle emozioni sia governata tanto da fattori interni che esterni.

Diversi ricercatori hanno riconosciuto le sei espressioni individuate da Ekman (gioia, tristezza, rabbia, sorpresa, paura e disgusto) come universali. Esse sono molto utilizzate per l'animazione facciale e possono essere combinate per produrre sfumature espressive diverse. Tuttavia, solo quattro (gioia, tristezza, paura, rabbia), tra le sei espressioni di Ekman, corrispondono alle emozioni definite dal modello OCC.

Questo accade, principalmente, poiché le espressioni di sorpresa e disgusto non implicano molto il coinvolgimento di processi mentali a livello cognitivo e sono reazioni alle quali non è possibile attribuire una valenza positiva o negativa. In ogni caso, le emozioni descritte dal modello OCC sono sufficienti per essere utilizzate nella computazione degli stati emozionali degli umani virtuali nei sistemi interattivi.

La personalità è un altro aspetto molto importante nel processo di creazione di un umano virtuale autonomo. Essa influisce in maniera determinante sul comportamento e sulla comunicazione con l'utente.

In psicologia, uno dei modelli più accreditati per valutare e descrivere la personalità è conosciuto come Five Factor Model (FFM) [41][42]. Esso è un modello dimensionale basato su cinque fattori (Big Five): estroversione, gradevolezza, coscienziosità, nevrotismo, apertura all'esperienza. Combinando tra di loro questi fattori o dimensioni, dovrebbe essere possibile rappresentare ogni tipo di personalità. Il modello FFC è stato largamente utilizzato anche per descrivere la personalità di umani artificiali [43].

La descrizione fornita dal modello FFC è, tuttavia, una descrizione di alto livello. Si rende necessario collegare la personalità dell'umano virtuale alle emozioni manifestate attraverso le espressioni. Questo collegamento può essere effettuato attraverso ciò che viene chiamato umore. In questo caso l'umore, definito come

stato mentale cosciente che influenza emozioni ed espressioni, viene utilizzato come 'livello di mediazione' tra la personalità e le emozioni stesse. Un modello della personalità basato su matrici di probabilità di transizione applicate alle emozioni è stato sviluppato da Magnenat-Thalmann e Kshirsagar nel 2000 [44]. Questo modello è collegato all'animazione del parlato attraverso delle tags incorporate nel testo di una serie di risposte contenute in un 'database di dialogo'. Negli ultimi anni la ricerca è orientata alla realizzazione di sistemi per la gestione del dialogo che utilizzano l'analisi semantica per generare queste tags in relazione allo stato della conversazione.

### **5.3 Behavioral animation**

Gli umani virtuali sono, al momento, sempre più utilizzati nell'industria dell'intrattenimento. Tuttavia, l'animazione di questi personaggi presenta ancora numerosi problemi. Nelle applicazioni real-time, soprattutto nei videogames, è ancora difficile gestire il comportamento dei personaggi virtuali, specialmente quando si cerca di renderli autonomi. La behavioral animation (animazione basata sul comportamento) permette agli umani virtuali di percepire l'ambiente e, in base a questo, reagire e prendere decisioni. Questa ricerca trova applicazioni non solo nell'industria dell'intrattenimento ma anche nella didattica o nei programmi di addestramento simulato. Un esempio ben noto di videogame che utilizza tecniche di animazione basate sul comportamento è The Sims. Questo gioco, che ha riscosso un notevole successo, si concentra sulla simulazione del comportamento di umani virtuali nella vita di ogni giorno. Nonostante il comportamento di questi personaggi sintetici sia ancora limitato in termini di credibilità, questo gioco, come altri, ha dimostrato che agli utenti piace confrontarsi con agenti che agiscono autonomamente.



Un sistema di animazione di agenti autonomi basato sul comportamento deve avere alcune caratteristiche. Per prima cosa, l'agente deve prevedere la simulazione della percezione (e della memoria di tale percezione) dell'ambiente che lo circonda. In base alle informazioni raccolte, l'agente modificherà il suo comportamento, prenderà le decisioni più opportune ed agirà interagendo con l'ambiente e con gli altri umani virtuali. Tuttavia, non è facile ottenere risultati convincenti senza risolvere alcuni problemi di animazione che riguardano più la computer grafica che l'intelligenza artificiale.

### ***5.3.1 Modelli di percezione visiva per umani virtuali***

Attualmente, si sta tentando di simulare la percezione ricavando la posizione di ogni oggetto virtuale direttamente dall'ambiente. Questa è la soluzione più rapida (utilizzata nei videogames fin dagli anni novanta) ma non è certamente la più realistica. Per questo motivo, sono state sviluppate alcune tecniche di simulazione della percezione visiva: visione sintetica, visione geometrica e visione basata sull'accesso a un database. La visione sintetica (Synthetic Vision) si basa su di un rendering offscreen della scena dal punto di vista dell'agente. Questo è il metodo più realistico ma ha alti costi computazionali. La visione geometrica si basa sull'uso di filtri percettivi applicati alle caratteristiche dell'ambiente. Questi filtri possono essere combinati per estrarre dagli oggetti le informazioni desiderate (forma, dimensione, colore, distanza dall'osservatore, inclinazione, ecc.). La visione basata sull'accesso a un database elabora le informazioni disponibili sull'ambiente nei diversi moduli del software di realtà virtuale (per esempio il motore di rendering). Questo metodo, generalmente, è utilizzato quando il numero degli agenti è elevato.

### ***5.3.2 Comportamento basato su pianificazione, reti neurali o vita artificiale.***

Il comportamento di un umano virtuale può essere determinato da azioni e reazioni molto semplici o molto complesse. Per gestire questa varietà, sono state elaborate diverse architetture software. Queste architetture sono fondate su: sistemi di pianificazione tradizionalmente impiegati in intelligenza artificiale, reti neurali e sistemi basati su vita artificiale.

Nei sistemi comportamentali basati sulla pianificazione (planning), un agente determina il suo comportamento in base alle informazioni che riconosce come vere (nel senso della logica booleana) in un determinato momento. Infatti, i piani forniscono istruzioni passo passo su come raggiungere determinati obiettivi ed è necessario che alcune precondizioni siano soddisfatte affinché se ne attivi l'esecuzione.

Le reti neurali artificiali (Artificial Neural Networks o ANN) nascono dal desiderio di creare un sistema computazionale artificiale simile al cervello umano. Una rete neurale artificiale è un network di unità di elaborazione ognuna delle quali possiede una piccola memoria.

Queste unità sono collegate attraverso canali di comunicazione e, solitamente, è necessaria una fase di addestramento per fare in modo che la rete neurale ragioni in un determinato modo. Le ANN possono essere utilizzate per costruire personaggi con comportamenti di base come nel gioco *Creatures* per esempio, dove animaletti virtuali vengono fatti crescere ed educati dall'utente.

L'approccio connessionistico, in ogni caso, è più adatto alla soluzione di problemi specifici e non è particolarmente efficace in quelle situazioni dove è necessario generalizzare.

Un altro approccio utilizzato per definire il comportamento di umani virtuali è

quello basato sulla vita artificiale. Le tecnologie di vita artificiale si basano principalmente sui concetti di evoluzione ed emergenza. L'idea è quella di creare entità molto semplici che attraverso un processo evolutivo virtuale legato alle condizioni ambientali possano diventare più complesse e manifestare comportamenti emergenti. Tutto questo implica un costante processo di selezione delle azioni più adatte alla sopravvivenza.

Utilizzare questo tipo di approccio per definire il comportamento di umani virtuali porterà ad una loro maggiore autonomia e capacità di adattamento e forse, un giorno, essi potranno vivere nel loro mondo virtuale in un modo molto simile a quello in cui noi viviamo nel mondo reale.

#### ***5.3.4 Interazione tra umani virtuali e gestione delle animazioni***

L'interazione non verbale è un aspetto importante della comunicazione tra umani virtuali. Questo tipo di comunicazione prevede che gli agenti sappiano gestire emozioni e sentimenti verso se stessi e gli altri. Posture, gesti e movimenti particolari riflettono i sentimenti dell'agente rendendoli percepibili all'utente ma anche agli altri agenti del mondo virtuale. E' necessario, inoltre, elaborare un sistema di controllo che permetta di sincronizzare in maniera corretta i gesti, le espressioni facciali e il parlato durante una conversazione. Un feedback affermativo da parte di uno dei partecipanti, durante una conversazione, influenza enormemente il comportamento degli altri. Questo tipo di sincronizzazione, tuttavia, è molto difficile da ottenere perché dipende fortemente dal contesto.

Il controllo delle animazioni nell'ambito del comportamento degli umani virtuali risulta abbastanza complicato. Questo è dovuto al fatto che gli agenti dovrebbero avere la capacità di compiere più azioni in parallelo. Il modello PAR

(Parameterized Action Representation) [45] è nato per risolvere questo problema. Infatti, esso è strutturato come un network di processi collegati tra loro da funzioni di transizione. Queste reti sono definite PAR-Nets e permettono la sincronizzazione delle azioni. Il maggior vantaggio di questo modello è la non linearità.

Un altro approccio alla soluzione del problema rappresentato dalla behavioral animation consiste nel gestirlo in due parti [46]. La prima parte riguarda gli aspetti fisici del problema (rappresentazione grafica 3D degli umani virtuali e dell'ambiente, animazioni e suoni) e viene gestita da un sistema denominato ACE (Agents Common Environment). La seconda parte, definita IVA (Intelligent Virtual Agent), riguarda il comportamento degli umani virtuali e il loro ragionamento. Gli agenti vengono dotati di 'credenze' (circa se stessi e l'ambiente) e in funzione dei loro bisogni essi cercano di raggiungere degli obiettivi.

### ***5.3.5 Comportamento sociale***

Un aspetto importante della behavioral animation consiste nel simulare realisticamente il modo in cui gli esseri umani interagiscono l'uno con l'altro nella vita di tutti i giorni.

Progettare e realizzare umani virtuali dal comportamento sociale credibile è un compito molto difficile. Infatti, il comportamento sociale è estremamente complesso e richiede, per poter essere simulato, un approccio multidisciplinare. In progetti di questo tipo sono coinvolti studi di visualizzazione 3D, animazione di corpi articolati, propagazione del suono. Inoltre, risulta di fondamentale importanza un'adeguata concettualizzazione e formalizzazione del ragionamento sociale.

Carley e Newell (1994) [47] sono stati i primi a rappresentare in modo consistente

agenti sociali in un ambiente virtuale.

Questi agenti sono in grado di collezionare informazioni chiedendole ai loro simili, possono intrattenere e mantenere relazioni sociali per tale scopo e possono collaborare nell'esecuzione di operazioni che lo richiedono. In seguito, sono stati elaborati numerosi altri modelli per la gestione del comportamento sociale [48] [49].

Uno di questi lavori [50] arricchisce i sistemi precedentemente sviluppati attraverso l'introduzione di concetti e meccanismi di alto livello derivati dalla sociologia come norme, valori e regole sociali. L'utente può definire il comportamento degli umani virtuali dandogli ragionamento, identità e motivazioni sociali.

## **5.4 Sistemi di interazione reale-virtuale basati su tecnologie di riconoscimento del linguaggio corporeo**

Gli umani virtuali sono già da diversi anni l'elemento chiave di diversi sistemi di comunicazione interattiva tra il mondo reale e quello virtuale. Questi sistemi si basano su tecnologie che permettono il riconoscimento delle azioni e dei gesti compiuti dall'utente. Lo scopo di queste ricerche è proiettare le entità reali nello spazio virtuale e le entità virtuali in quello reale. Il termine coniato per descrivere questo tipo di ricerca è Projective Virtual Reality (PVR) [51]. In questo contesto ci occuperemo principalmente dei sistemi virtuali interattivi basati sul riconoscimento dei gesti corporei dell'utente (per esempio afferrare, sedersi o camminare). Questi sistemi possono avere diverse applicazioni, alcuni hanno lo scopo di aumentare le potenzialità dei nostri spazio abitativi (smart rooms), altri

sono sistemi di storytelling (utilizzati in ambito artistico o museale), altri vengono utilizzati per l'intrattenimento e/o l'educazione.

ALIVE (Artificial Life Interactive Video Environment) [52] è un ambiente virtuale interattivo per smart rooms che utilizza un effetto specchio (mirror-effect) ad alta tecnologia. I partecipanti si muovono di fronte ad un grande schermo che mostra un video aumentato delle loro azioni. Il video viene definito aumentato perché insieme ai partecipanti reali viene visualizzato anche un personaggio virtuale ed è utilizzato per estrarre le informazioni sulla posizione di testa, mani e piedi e corpo dei partecipanti.

Il sistema PAT (Personal Aerobics Trainer) [53] si basa su di un setup simile a quello di ALIVE. L'obiettivo di questo sistema di edutainment è creare sessioni di aerobica personalizzate dove il feedback dell'istruttore dipende dalla performance dell'utente.

Negli ultimi anni, ha avuto molto successo la console Wii, nominata Revolution, prodotta dalla Nintendo Company Limited e commercializzata a partire dal 2006 (<http://nintendo>). Questo dispositivo si basa sull'uso del Wiimote (parola derivante da Wii e remote), un controller senza fili dotato di sensori (accelerometri e giroscopi) in grado di rilevarne l'inclinazione e il movimento nello spazio, nonché di un dispositivo ottico che consente di controllare un puntatore sullo schermo. Questo innovativo sistema di rilevamento permette un'efficace ed economica interazione tra utente, ambientazioni e personaggi virtuali dei videogames rendendo infinite le potenzialità in campo educativo e di intrattenimento.

Lo scambio di informazioni tra persone reali e umani virtuali può avvenire anche, come è stato già discusso, attraverso la conversazione.

Il sistema educativo denominato Gandalf [54] (<http://gandalf>) è particolarmente interessante perché permette di comunicare con un personaggio virtuale non solo attraverso la voce, ma anche attraverso i gesti e il movimento degli occhi.

## 5.5 Simulazione virtuale delle folle

Gli psicologi ed i sociologi studiano il comportamento di massa da molti anni. Il loro interesse è orientato, principalmente, a comprendere il fenomeno in base al quale un gruppo di persone che condivide lo stesso obiettivo acquisisce una sola identità e diventa ciò che viene definito folla o massa.

Questo fenomeno, oggi, viene studiato e simulato per mezzo del computer e attira l'interesse anche di altre discipline quali l'architettura e la computer grafica.

Tra le numerose applicazioni di sistemi per la simulazione virtuale delle folle troviamo:

- la realizzazione di scene di massa nell'industria cinematografica (film come *Il Signore degli Anelli* e *Il Cavaliere Oscuro* sono esemplificativi in tal senso);
- la simulazione e lo studio di piani di evacuazione da edifici o strutture architettoniche come stadi o stazioni ferroviarie;
- la popolazione di ambienti virtuali collaborativi (CVE) al fine di accrescerne e renderne più credibile la presenza umana.

Possono essere distinte due grandi aree nell'ambito dello sviluppo di software per simulazione delle masse. La prima area si concentra maggiormente sul realismo degli aspetti relativi al comportamento e usa sistemi di visualizzazione 2D. A questo gruppo appartengono i modelli di rappresentazione delle folle basati sulla sociologia e quelli dinamici basati su alcune leggi della fisica. Questi sistemi si concentrano su aspetti molto specifici del comportamento e vengono utilizzati soprattutto per validare i dati ottenuti dall'osservazione di fenomeni reali. L'aspetto grafico serve soprattutto a rendere più comprensibili i risultati delle simulazioni. Nella seconda area, invece, lo scopo principale è raggiungere un'alta

qualità nella visualizzazione (per applicazioni nell'industria del cinema, videogames, ecc.) ed il realismo dei modelli comportamentali non è una priorità. In questo caso, infatti, i modelli di comportamento non devono necessariamente corrispondere alla realtà, ma servono, soprattutto, a migliorare il lavoro dell'animatore. Recentemente, tuttavia, queste due tendenze sembrano convergere e ne sono esempio software commerciali come Massive che vengono utilizzati sia per l'animazione e la visualizzazione delle masse che per la simulazione del loro comportamento.

Come è stato già detto, la simulazione delle folle viene impiegata in architettura per elaborare i piani di evacuazione di edifici dalla struttura più o meno complessa. Sistemi di questo tipo vengono impiegati per rappresentare il movimento di molte persone non solo negli spazi limitati all'interno degli edifici, ma anche nelle navi e negli aerei. L'obiettivo è di aiutare i progettisti a capire meglio gli effetti dell'organizzazione degli spazi sul comportamento umano. Legion ([http:// legion](http://legion)) è un software per la simulazione e analisi delle dinamiche delle folle in strutture come aeroporti, stazioni ferroviarie, stadi, ecc. Questo software commerciale può essere definito come un multi-agent system dove ogni elemento della folla è rappresentato in maniera specifica ed è dotato di un apparato cognitivo virtuale. Le azioni di ogni agente sono determinate in base alle caratteristiche dell'ambiente, agli obiettivi personali, all'esperienza e al comportamento degli altri pedoni.



## **Capitolo 6**

# **Gli umani virtuali per la conservazione e valorizzazione dei Beni Culturali**

### **6.1 Umani Virtuali e Beni Culturali: prospettiva storica e stato dell'arte**

Le moderne tecnologie dell'informazione, e più in particolare quelle centrate sulla visualizzazione di dati scientifici e geografici, e sulla ricostruzione di siti e manufatti, stanno ormai da lungo tempo dando un contributo essenziale alla conservazione ed alla valorizzazione dei beni culturali. Tale contributo è cresciuto drasticamente nella qualità e nella quantità nell'ultimo decennio.

Ciò è avvenuto essenzialmente per due ordini di ragioni: la prima è che le tecnologie informatiche di base (cosiddette orizzontali) necessarie alla creazione di tecnologie specifiche (cosiddette verticali) trasformabili o trasformate in strumenti di una qualche utilità nell'ambito dei beni culturali sono divenute sempre più disponibili e performanti, e sempre meno costose; la seconda ragione è che la disponibilità di piattaforme e strumenti ha stimolato l'ideazione e la sperimentazione di paradigmi e modelli ispirati ai Beni Culturali.

La disponibilità di strumenti e modelli ha dato il via ad un processo di selezione che, se da un lato ha contribuito e contribuisce costantemente a farne emergere di sempre più significativi, dall'altro ha il merito di avere innescato un processo di diffusione dell'informazione scientifica e tecnica sul potenziale delle tecnologie

anche al di fuori dei laboratori di ricerca e delle reti di eccellenza. Ciò si è tradotto in una progressiva diffusione di una specifica cultura settoriale che ha talvolta stimolato, talvolta risvegliato, i bisogni degli operatori del settore (Musei, Conservatorie, Archivi, Siti Archeologici ecc.) i quali, in risposta allo stimolo, hanno iniziato ad esercitare una pressione sia sul “mercato” della ricerca che sul mercato delle tecnologie.

A causa di tale pressione, accanto alle tecnologie più tradizionalmente legate alla conservazione ed alla salvaguardia dei Beni Culturali (ad es., GIS, Telerilevamento, Interferometria ecc.), si è venuto a creare tutto un fronte di tecnologie, strumenti e modelli mirati alla valorizzazione dei Beni Culturali. Ciò non deve stupire se si pensa al fatto che la valorizzazione è di per sé un processo che ha tra le sue dirette conseguenze lo stimolo della curiosità e dell’interesse del pubblico e, conseguentemente, la generazione di flussi finanziari.

Tra le tecnologie e gli strumenti utili alla valorizzazione dei beni culturali, quelli che sicuramente hanno colpito in maniera maggiore l’immaginario del pubblico e degli operatori del settore sono da un lato quelli dedicati alla ricostruzione tridimensionale, a volte immersiva ed interattiva, di siti e manufatti e, dall’altro, quelli dedicati all’aumento dell’esperienza di utilizzo dell’utente mediante arricchimento dell’esperienza reale con elementi sintetici.

Il primo gruppo di tecnologie e strumenti afferisce alla classe delle tecnologie di visualizzazione tridimensionale (3D) legate alla Realtà Virtuale (VR, Virtual Reality). Essi sono specificamente progettati per sfruttare le tecnologie della VR, e possono essere utilizzati anche su computer di classe consumer con o senza hardware di visualizzazione specifico (ad es., occhiali a lenti polarizzabili).

Il secondo gruppo di tecnologie fa uso di hardware specifico per sovrapporre alla visione del mondo reale, conseguita mediante speciali display montati sulla testa degli utenti (HMD, Head Mounted Display) o specifici apparati di ripresa delle scene ed elaborazione, elementi sintetici in computer grafica che possono essere

più o meno interattivi e più o meno legati al contesto che si sta visualizzando. Tali tecnologie vengono indicate come Realtà Aumentata (AR. Augmented Reality), poiché in contrapposizione alle tecnologie della VR, che offrono la possibilità di ricostruire interamente mondi immersivi ed esplorabili, isolati dal mondo reale, esse consentono di introdurre nel mondo reale elementi sintetici il cui scopo è quello appunto di “aumentare”, cioè amplificare ed arricchire, esperienza della realtà.

È facile comprendere come sia le ricostruzioni sintetiche in VR che quelle in AR comportino una serie innumerevole di vantaggi, dall'avvicinamento dei beni agli utenti, alla facilitazione di un approccio esplorativo e manipolativo, alla preservazione di beni delicati dal contatto continuo con il pubblico ecc.

Tuttavia, man mano che sempre più numerose sono state presentate le iniziative di digitalizzazione e virtualizzazione in 3D (AR e VR) di beni culturali, e man mano che le stesse hanno raggiunto il vasto pubblico, sia mediante installazioni accessibili (in AR e VR), sia mediante specifici software da utilizzare direttamente sul computer degli utenti finali (3D tradizionale), si è reso evidente come le mere ricostruzioni manchino di attrattività e conferiscano esperienze solo parzialmente soddisfacenti se esse non vengono arricchite per mezzo di modelli che riconducano l'utilizzato il più vicino possibile ad esperienze della vita reale.

Ecco dunque che in risposta a ciò è emerso prepotentemente l'utilizzo sempre più spinto dei cosiddetti umani virtuali. Essi sono stati via via impiegati per i più disparati utilizzi: come meri elementi decorativi, ad arricchire le rappresentazioni virtuali, come guide, più o meno intelligenti, nella presentazione di informazioni a supporto dell'esperienza degli utenti, come soggetti interattivi associati a contesti ben precisi, ed in grado di immergersi completamente nella simulazione offrendo opportunità di interazione e comunicazione agli utenti.

L'evoluzione di tali applicazioni è stata dunque negli ultimi anni incentrata sull'introduzione di modelli e tecnologie in grado di colmare il divario tra le attese

e le esigenze degli utenti quanto ad esperienze ricche ed interattive, ed i sistemi disponibili.

Proprio in questo contesto le tecnologie della visualizzazione 3D, VR ed AR si sono incrociate sia con le discipline che studiano le dinamiche sociali, quelle culturali ed antropologiche, che quelle che si occupano di intelligenza artificiale.

L'adozione degli umani virtuali nel panorama delle tecnologie, degli strumenti e dei modelli a supporto della valorizzazione dei beni culturali è stata dunque una conseguenza della maturazione delle precedenti tecnologie e dei bisogni degli utenti.

Popolare virtualmente siti di interesse storico e archeologico è un nuovo modo di conservare, preservare e interpretare i beni culturali. In questo modo, il pubblico può comprendere meglio la storia e la vita delle antiche comunità.

Uno dei primi esempi dell'uso di umani virtuali in questo contesto di utilizzo è stata la simulazione dei famosi soldati di terracotta effettuata dal MIRALab dell'Università di Ginevra (<http://miralab>). Negli anni settanta, gli scavi archeologici del complesso funerario di Xian, tomba dell'imperatore Shi Huang Ti della dinastia Ch'in, hanno rivelato un'enorme quantità di statue di terracotta a grandezza naturale raffiguranti soldati, servi e cavalli per un totale di 6000 pezzi. Le statue, molto realistiche, sono state modellate ispirandosi all'aspetto reale dell'esercito dell'imperatore e ogni soldato di terracotta è dotato di un volto caratteristico.

Secondo gli archeologi, l'esercito di terracotta è stato messo a guardia della tomba dell'imperatore per proteggerlo durante il suo viaggio nell'aldilà. Tra i soggetti raffigurati si annoverano ufficiali, cavalieri, arcieri e giovani fanti. Oggi l'esercito di terracotta è privo di alcun tipo di traccia cromatica ma sembra che, al tempo della sua realizzazione, ogni statua fosse decorata con colori dai toni brillanti.

Nel 1997, il progetto Xian ha avuto lo scopo di ricreare e dare vita a questo esercito di statue attraverso l'uso di umani virtuali.

Il progetto europeo CHARISMA ([http:// miralab](http://miralab)) ha avuto lo scopo di riprodurre in maniera realistica, attraverso tecnologie di VR, l'acustica e la struttura di alcune moschee del Sinan e delle chiese bizantine di Istanbul in Turchia. Per la ricostruzione delle folle di Namaz, in particolare, è stato necessario creare sequenze di animazione di particolari movimenti. I movimenti, eseguiti da uno specialista di cultura islamica, sono stati 'catturati' con il sistema VICON (sistema di motion capture basato su dispositivi ottici).

Dal 2000 al 2004 il progetto europeo LIFEPLUS ([http:// miralab](http://miralab)) ha indagato le potenzialità dell'uso delle tecnologie di VR e AR per preservare e rivalutare il patrimonio archeologico della città di Pompei. Questo progetto ha permesso, attraverso l'uso di videocamere, la realizzazione di diverse scene in realtà aumentata. In ognuna di queste scene, i visitatori dell'antico sito che si trovavano in determinati luoghi venivano affiancati da umani virtuali. L'idea che ha ispirato il progetto è stata quella di 'trasportare' i visitatori nelle scene riprodotte dagli affreschi delle ville pompeiane in maniera più realistica, immersiva e interattiva possibile.

Nel 2004 è stato realizzato un'interessante framework per la creazione di folle digitali nell'ambito di ricostruzioni archeologiche virtuali [56]. Questo progetto di ricerca ha visto la creazione di uno scenario interattivo dove una folla di spettatori virtuali popola l'antico odeon romano della città di Afrodisia (antico centro urbano della Caria, territorio dell'odierna Turchia). La ricostruzione degli edifici e degli spettatori ha richiesto un'attenta fase di documentazione sulle fonti storiche. Le ricostruzioni virtuali hanno richiesto che le risorse computazionali fossero bilanciate attentamente tra la visualizzazione delle ambientazioni e quella dei personaggi.

Lo storytelling interattivo e le tecnologie dei videogames hanno un grande potenziale nell'edutainment (intrattenimento educativo). Questo tipo di tecnologie possono essere utilizzate anche nei musei per accrescere l'interesse dei visitatori.

L'Interactive Storytelling Exhibition Project è un lavoro di ricerca del 2007 [55]. Ideato inizialmente da un dipartimento (Factual and Learning Interactive Television Department) della BBC (British Broadcasting Corporation) è stato portato a compimento dall'Università di Brighton. Questo progetto, combina tecniche televisive di storytelling con quelle proprie del mondo dei videogames per suscitare una maggiore attenzione del visitatore verso i contenuti dei complessi museali. Il coinvolgimento dell'utente nei confronti di oggetti e luoghi reali viene ottenuto attraverso la narrazione di storie virtuali.

I moderni sistemi di VR si basano in maniera consistente sull'uso combinato di diverse tecnologie. In questo senso la VR può essere vista come un punto di incontro tra tecnologie che, sebbene complementari, difficilmente verrebbero a contatto in un altro modo. I framework si sono rivelati molto adatti a realizzare questo tipo di collaborazione dal momento che forniscono numerosi vantaggi, tra cui la riusabilità dei componenti e la possibilità di sostituirli, estenderli o adattarli secondo i propri scopi. Nell'ambito del progetto EPOCH (<http://epoch>), sono stati sviluppati dei framework che supportano l'incorporazione di umani virtuali in sistemi di VR interattivi [57]. Lo scopo di questo lavoro di ricerca è creare umani virtuali più interattivi e realistici in grado, di conseguenza, di coinvolgere maggiormente l'utente. Un ulteriore vantaggio di questi framework risiede nel fatto che essi si basano su tecnologie open-source come OpenSceneGraph e OpenSG e nel fatto che offrano funzionalità complementari.

Un recente progetto di ricerca presentato a Vienna, in occasione della quindicesima edizione dell'International Conference on Virtual Systems and Multimedia, ha avuto come scopo quello di migliorare, attraverso le tecnologie di VR, lo studio delle fasi di progettazione e realizzazione di indumenti storici [58]. Le collezioni di indumenti storici, infatti, offrono l'opportunità a sociologi, antropologi, storici e designer di studiare non solo le fasi di realizzazione di questi oggetti ma anche il contesto sociale, storico e culturale nel quale essi nascono e, in

ultima analisi, l'evoluzione delle caratteristiche anatomiche e della postura delle persone che li indossavano. Questo progetto è stato realizzato con il contributo di un team internazionale di ricercatori, utilizzando le più moderne tecnologie relative agli umani virtuali.

Infine, riteniamo opportuno segnalare il recentissimo lavoro di ricerca di Bogdanovych e Cohen [59]. Questo lavoro è finalizzato a dimostrare come un sito archeologico virtuale possa essere reso più appetibile e coinvolgente attraverso l'uso di agenti autonomi. A questo scopo sono stati realizzati due prototipi di antiche comunità virtuali di pescatori. Ogni individuo di queste comunità presenta un comportamento coerente con l'epoca storica alla quale appartiene. Le comunità di umani virtuali abitano la ricostruzione dell'antica città di Uruk in Mesopotamia (3000 a.C.).

## **6.2 Utilizzo di tecnologie basate sui videogames nell'ambito della valorizzazione dei beni culturali. Il progetto NETConnect.**

Quando si sviluppano applicazioni 3D per i beni culturali è importante elaborare delle soluzioni che incoraggino l'utente al loro uso. Una di queste soluzioni può essere sviluppare applicazioni che abbiano una funzione didattica ma che allo stesso tempo siano divertenti.

Il lavoro di sviluppo dei personaggi virtuali presentato in questa tesi ha fatto parte di un progetto più ampio. Questo progetto ha promosso un approccio all'apprendimento basato su tecnologie di edutainment, ovvero intrattenimento educativo. Il progetto, chiamato NetConnect (Connecting European Culture through New Technology), è stato finanziato dal programma Cultura 2000

(NetConnect 2008) (<http://netconnect>) ed ha avuto lo scopo di principale di utilizzare le più recenti tecnologie dell'informazione per evidenziare e migliorare le relazioni storico-culturali esistenti tra importanti siti archeologici in Europa [60]. Per realizzare questo scopo è stata elaborata un'applicazione 3D che permette l'esplorazione virtuale di questi siti e i personaggi da noi sviluppati sono stati utilizzati per popolarne uno.

Il software vuole realizzare un'esperienza di apprendimento il più possibile vicina alla metafora di interattività che si incontra nel mondo dei videogames. Allo stesso tempo, il 'gioco' possiede un valore educativo aggiuntivo che viene manifestato attraverso un'ampia gamma di contenuti multimediali.

Prima di descrivere in maniera specifica il nostro lavoro, descriveremo alcune caratteristiche importanti del software di cui esso costituisce una parte rilevante.

Abbracciando la filosofia dei 'serious game' questa applicazione incute meno timore ed è più amichevole per l'utente. Questo stesso approccio vale sia in ambito domestico, tramite Internet, o presso i musei attrezzati allo scopo. Le ricostruzioni 3D vengono, in questo modo, utilizzate come base per creare ambientazioni capaci di fornire agli utenti un'esperienza simile a quella dei videogames.

Sviluppare uno strumento che potesse essere utilizzato da utenti non esperti e da un pubblico vasto ed eterogeneo è stata una sfida rilevante per gli sviluppatori di quest'applicazione. Un'attenzione particolare è stata rivolta alla creazione di un'interfaccia di facile utilizzo ed 'universale' (utilizzabile cioè, da tutti i possibili utenti) della quale si potesse usufruire durante le visite alle strutture museali o ai siti archeologici.

Allo scopo di fornire tecniche d'interazione più intuitive è stato stabilito, dagli sviluppatori del progetto, di supportare un'interfaccia basata sui gesti (gesture-based) in grado di stimolare un'esperienza più piacevole e simile al gioco. Questo proposito è stato raggiunto utilizzando un sistema di controllo wireless distribuito



da Nintendo: il Wiimote. Questa è un'ottima soluzione d'interazione che sfrutta i movimenti del braccio e della mano dell'utente. Il visitatore del museo, in questo caso, staziona di fronte ad uno schermo di proiezione e può interagire con il mondo virtuale semplicemente muovendo il braccio.

Questo tipo di soluzione è stata scelta per differenti ragioni. La prima risiede nella robustezza del dispositivo: il Wiimote di Nintendo possiede un involucro estremamente resistente agli urti. La seconda ragione è nel fatto che il dispositivo incorpora una serie di accelerometri ed una tecnologia basata su sensori ottici. Questa caratteristica permette, infatti, il tracciamento dei movimenti dell'utente senza bisogno di utilizzare marcatori ottici; ciò riduce moltissimo i costi e non rende necessario un set-up specifico come nel caso di altri tipi di tecnologie di tracciamento. Il Wiimote, inoltre, è basato su tecnologia wireless, necessita di comuni batterie per funzionare ed ha un'autonomia di circa 30 ore. L'apparecchiatura ha, inoltre, un costo molto ridotto (inferiore ai 100 euro) il che la rende particolarmente adatta ad essere utilizzata in musei, gallerie o siti archeologici.

Un'altra caratteristica che rende vantaggioso l'impiego del Wiimote in questo contesto è, infine, l'usabilità. La differenza rispetto alla maggior parte dei joystick presenti sul mercato, infatti, risiede nella simmetria di questo dispositivo che può essere utilizzato, di conseguenza, sia dagli utenti destri che da quelli mancini. Il Wiimote è anche particolarmente popolare tra gli utenti più giovani. Tale categoria di utenti, che include per esempio i ragazzi delle scuole primarie, non di rado visita i musei. Fortunatamente, l'immagine di questo oggetto è associata indiscutibilmente al mondo dei videogames e questo fatto può contribuire a rendere le ricostruzioni virtuali più attraenti proprio per la suddetta categoria di utenti.

In questo modo l'applicazione non è più percepita come noioso strumento didattico ma come un interessante videogame con un inusuale valore aggiunto in

termini di apprendimento.

Il lavoro e i sacrifici profusi nella creazione di un sistema di apprendimento 'divertente' sono stati premiati dai risultati ottenuti in fase di collaudo. Esso, infatti, ha dimostrato indiscutibilmente che l'approccio basato sulla filosofia dei 'serious game' è particolarmente attraente per 'utente medio e soprattutto per i ragazzi con un conseguente beneficio in termini di efficacia nell'apprendimento. Il sistema, inoltre, è stato sviluppato anche come applicazione per il desktop e per il web. A questo scopo è stato deciso di adottare una piattaforma di sviluppo per videogames. Il nome di questa piattaforma è Unity Game Development Tool ed è distribuita dalla Unity Technologies (<http://unity.com>).

Questa scelta ha reso necessario operare, in termini grafici, con delle soluzioni e degli standard in comune con il mondo dei videogames e delle applicazioni real-time.

La ricostruzione 3D degli ambienti e dei personaggi segue uno stile grafico semplice ma accurato e l'enfasi viene posta più sulla visione d'insieme che non sui singoli particolari. Quest'obiettivo viene raggiunto anche per mezzo di effetti ambientali realistici come acqua e nebbia.

Per l'utente, trovare informazioni rilevanti diventa una spinta a esplorare ed imparare la storia dei luoghi e delle persone, il modo in cui costruivano e vivevano, esaminare immagini reali dei reperti archeologici trovati, ecc.

Tra i tre siti archeologici europei rappresentati quello più rilevante ai fini del nostro lavoro è stato Locri. Proprio questo sito è stato popolato, infatti, con i personaggi che abbiamo collaborato a realizzare.

Bisogna precisare, tuttavia, che questi personaggi non sono dotati di un comportamento autonomo. Ciò è dovuto al fatto che essi sono stati creati con un intento puramente estetico e didattico, per arricchire il significato storico delle ambientazioni virtuali e renderle più naturali e accettabili agli occhi dell'osservatore.

Come è stato precedentemente accennato, il lavoro di ricerca presentato in questa tesi riguarda la realizzazione di questi personaggi. Nei prossimi capitoli discuteremo delle varie fasi della loro creazione, a partire dall'elaborazione dei modelli geometrici fino ad arrivare alla realizzazione di diversi comportamenti rappresentati tramite un set di sequenze di animazione.

La realizzazione di questi attori virtuali è stata effettuata in collaborazione con il gruppo di ricerca ESG (Evolutionary Systems Group)(<http://esg>) dell'Università delle Calabria, e la Fondazione Graphitech (<http://graphitech>) di Trento che si è occupata, nello specifico, dell'implementazione, attraverso Unity, del sistema di navigazione 3D citato in precedenza.

## **Capitolo 7**

### **Progettazione dei personaggi: definizione dell'aspetto e dei comportamenti**

#### **7.1 Fase di documentazione sulle fonti storico-archeologiche**

La realizzazione grafica dei personaggi è stata supportata da uno studio approfondito delle fonti archeologiche e storiche.

Per il caso di Locri, i testi di riferimento sono stati i cataloghi degli scavi della città antica [61] oltre ad altre monografie e pubblicazioni sulla vita quotidiana nella Magna Grecia [62].

Gli scavi archeologici della città antica non hanno restituito molte testimonianze materiali di abiti e calzari (realizzati in materiale deperibile e quindi facilmente attaccabili dall'acidità corrosiva del terreno), e per ricostruire lo scenario della quotidianità del IV secolo a.C., gli studiosi si sono basati sulle raffigurazioni di figure umane sui manufatti del tempo, in particolare sulle importanti testimonianze fornite dal vasellame figurato e dai pinakes locresi [62] Infatti è facilmente ipotizzabile che gli artigiani coroplasti e vasai del tempo si ispirassero per i loro manufatti al mondo che li circondava.

Per altri dettagli come gioielli, e altri accessori come le cosiddette 'fibule' (una sorta di spilla usata per fermare la stoffa degli abiti) realizzate in ferro, bronzo e

altri materiali più resistenti, esistono testimonianze materiali rinvenute nelle necropoli e negli scavi del settore abitativo detto di 'Centocamere'.

Grazie a queste testimonianze dirette e indirette, è stato possibile ricostruire in grafica 3D, in maniera scientificamente e storicamente esatta, l'aspetto degli abitanti della Locri del IV secolo a.C.

### ***7.1.1 Abbigliamento femminile***

L'abito tradizionale femminile, non solo a Locri, ma in tutta la Magna Grecia e nella Grecia propria, era generalmente composto da due capi: peplos e hymation.

Il peplos era costituito da un rettangolo di stoffa largo da 2,5 a 3 metri, che poteva assumere un aspetto diverso a seconda del modo in cui veniva drappeggiato intorno alla persona. Non essendo cucito, era tenuto insieme solo da fibule, nastri, nodi e cinture, mentre i bottoni, la cui presenza è attestata ancora una volta dalle raffigurazioni sulla ceramica, avevano solo funzione decorativa. La maniera più frequente di portare il peplos, doveva essere quella di circondare il corpo con il rettangolo di stoffa e farlo terminare sulla spalla, dove veniva fissato da una o più fibule. La lunghezza era variabile e veniva ridotta da una cintura in vita che oltre a contenere l'eccessiva ampiezza della stoffa, serviva a ripiegare il peplo in modo da costituire un risvolto che scendesse a ricoprire il petto e poteva arrivare fino oltre la vita. La cintura serviva anche ad evitare che l'abito si aprisse sui lati, dove si congiungevano i lembi [60]

Successivamente sempre nel corso del IV secolo, l'inconveniente dell'apertura del peplos sui lati venne risolto sostituendolo col chitone, costituito a sua volta da due rettangoli di stoffa cuciti insieme che assumevano forma tubolare. Anche questo abito era fermato sulle spalle, e l'ampiezza della stoffa che dalle spalle scendeva sulle braccia formava le maniche. Nonostante l'abito fosse cucito, risultava ancora

molto ampio, e veniva sempre contenuto con una cintura in vita che creava un arricciatura e permetteva di realizzare un risvolto per limitare anche l'eccessiva lunghezza.

Il secondo capo fondamentale dell'abbigliamento femminile era l'himation. Esso era costituito da un ampio mantello realizzato con un pezzo di stoffa rettangolare, che poteva essere portato in diversi modi: appoggiato sulle spalle come uno scialle o disposto obliquamente sul corpo e fermato con una fibula. Spesso le donne lo portavano rialzato sulla testa.

Non è attestato l'uso di biancheria intima. Spesso sotto il chitone di lana ne veniva messo uno più leggero, e le donne particolarmente floride fasciavano il seno con una serie di bende. La biancheria da letto era costituita semplicemente da un chitone leggero privato della cintura.

Le raffigurazioni umane presenti sui grandi vasi del IV secolo, attestano la presenza di abiti decorati con bordure geometriche o piccoli disegni floreali, scacchiere, serie di triangoli, motivi a stella e a cerchio. Inoltre spesso le stoffe erano tinte in maniera artigianale con colori naturali: oltre al bianco dunque, esistevano tessuti neri, verde oliva, color zafferano e porpora (ottenuta dalla macerazione dei murices, piccoli molluschi).

Per quanto riguarda le acconciature, spesso le donne raffigurate fuori dalle mura domestiche mostrano il capo coperto da un lembo dello stesso himation o dal peplos, quando il risvolto era troppo lungo. Inoltre le donne potevano usare una cuffia o un reticella che coprisse tutta la testa, con chioma raccolta in uno chignon sulla nuca lasciando solo liberi alcuni riccioli sulle tempie. Non sempre tutti i capelli erano coperti, la cuffia era talvolta sostituita da una benda che dalla fronte passava sulla nuca sostenendo la massa dei capelli. Altri tipi di acconciature potevano prevedere la chioma divisa 'a spicchi' tenuti fermi da un diadema.

Le donne potevano portare i capelli totalmente sciolti solo in occasione di alcune cerimonie, mentre i capelli corti erano previsti solo per le donne in lutto o le

anziane, mentre costituivano un obbligo per quelle in condizione di schiavitù. Di gioielli e ornamenti di vario genere esistono diverse attestazioni, sia nelle ceramiche figurate che sotto forma di reperti materiali rinvenuti nel corso degli scavi dell'abitato e delle necropoli: collane, bracciali, anelli, fibule, corone, diademi, e orecchini (realizzati in materiali più o meno preziosi a seconda del rango sociale, dal bronzo, all'argento, alla terracotta). Diademi e corone erano portate principalmente in occasione di feste religiose e banchetti.

Esistono testimonianze letterarie che documentano l'esistenza di trucco per il volto. Nei corredi tombali, inoltre, sono state rinvenute vere e proprie trousse con unguenti profumati e coloranti per esaltare l'incarnato del viso.

### ***7.1.2 Abbigliamento maschile***

L'abbigliamento tipico maschile prevedeva l'uso combinato di chitone e hymation.

Esistevano tuttavia delle differenziazioni in base al tipo di attività o condizione sociale. Musicisti, poeti e aedi portavano il chitone lungo fino ai piedi, mentre i guerrieri e successivamente artigiani e schiavi usavano lasciare scoperta la spalla sinistra.

L'hymation era invece generalmente disposto sotto le ascelle con un lembo gettato sopra la spalla sinistra. Spesso l'uomo è raffigurato seminudo con il corpo solo in parte coperto da un hymation lungo o corto.

### ***7.1.3 Calzature***

Realizzate in pelle o cuoio, erano fatte in genere su misura, usate sia da uomini che da donne allo stesso modo. Dalla suola partiva una correggia che passava tra l'indice e l'anulare e raggiungeva un legaccio al di sopra della caviglia, lasciando così scoperto tutto il piede. Sono attestate anche scarpe chiuse fino alla caviglia o fino al polpaccio, o con alti lacci sul davanti. Tuttavia, soprattutto i cittadini dei ceti sociali inferiori non utilizzavano calzature.

## **7.2 Design dei modelli geometrici e dei comportamenti dei personaggi**

Come abbiamo discusso nel capitolo precedente, popolare le ricostruzioni virtuali di antiche città con personaggi 3D favorisce il coinvolgimento emotivo degli utenti e dunque la fruizione dei contenuti.

In questo paragrafo descriveremo come sono stati progettati i personaggi utilizzati per popolare la ricostruzione virtuale dell'antica Locri in base ai vincoli imposti dalle tecnologie di VR e dalle fonti storico-archeologiche. Progettare i personaggi ha significato, in questo contesto, principalmente due cose:

- determinare le caratteristiche di un modello geometrico adatto a rappresentare l'aspetto dei personaggi in maniera anatomicamente e storicamente esatta;
- determinare un set di comportamenti sotto forma di sequenze di animazione da utilizzare per dare 'vita' a questi personaggi.

Vi sono, tuttavia, alcune considerazioni specifiche da fare riguardo a queste due fasi di progettazione. Queste considerazioni riguardano il modo in cui la progettazione è stata realizzata al fine di soddisfare i vincoli imposti dalle esigenze di progetto.



Abbiamo già discusso di come la ricostruzione virtuale di Locri, in base alle intenzioni iniziali dei progettisti, non abbia richiesto la presenza di personaggi in grado di manifestare un comportamento 'intelligente' e autonomo.

In effetti, nell'ambito del progetto NetConnect l'idea iniziale era quella di ricostruire in grafica 3D alcuni siti archeologici e rendere possibile, attraverso la loro esplorazione, l'apprendimento di contenuti multimediali di interesse storico-archeologico. Le tecnologie di VR e la grafica 3D sono state utilizzate a questo scopo semplicemente perché potevano rendere più attraente la fruizione di questi contenuti. Quindi, non è stato ritenuto necessario elaborare complessi sistemi di controllo del comportamento dato che l'attenzione doveva essere concentrata per lo più sull'aspetto didattico. I personaggi, classificati come elemento di arricchimento degli ambienti virtuali, sono stati destinati ad un ruolo prevalentemente estetico e rappresentativo. Tuttavia, questo non significa che sia stato facile costruirne e definirne i comportamenti. Infatti, anche se il nostro compito è stato quello di elaborare un set di animazioni in grado di dare solo un'illusione di autonomia e di intelligenza, elaborare un numero sufficientemente vario di azioni in grado di realizzare questo scopo è stato un compito impegnativo e prolungato.

Creare l'illusione della vita e della sua complessità richiede varietà nella rappresentazione delle folle virtuali. La progettazione dei personaggi ha previsto, per tale motivo, l'elaborazione di alcuni accorgimenti atti a ricreare questa varietà (sia in termini anatomici che comportamentali) con il minimo dispendio di risorse. Si è rivelato fondamentale definire un numero minimo di personaggi e di comportamenti adatti a simulare, agli occhi dell'utente, quella varietà che ci si sarebbe aspettato di vedere ma che, per motivi tecnici e computazionali, non poteva essere data. Inoltre, è stato necessario selezionare un software di modellazione e animazione 3D sufficientemente potente da permetterci di realizzare i modelli e le animazioni richieste. Questo software, inoltre, doveva

essere capace di esportare i files in un formato compatibile con le tecnologie di VR utilizzate per gestire il rendering e la navigazione degli ambienti virtuali.

Il software selezionato a questo scopo è stato 3ds Max di Autodesk (<http://autodesk>). 3ds Max è un software di modellazione e animazione 3D estremamente completo. Questo software permette, inoltre, di esportare i files in formato FBX. Questo è un formato di interscambio perfettamente compatibile con Unity, il tool utilizzato per elaborare il sistema di gestione e visualizzazione dei contenuti 3D.

## **Capitolo 8**

# **Realizzazione di un modello geometrico generico maschile e femminile**

### **8.1 Tecniche di modellazione geometrica**

La modellazione geometrica è la creazione, disposizione e interazione di modelli e piani geometrici, che insieme formano la struttura e la cornice di una scena. I tipi di modellazione sono diversi, ma il più semplice è il point editing; esso consiste nel cambiare la forma di una superficie poligonale spostando ogni vertice individualmente. I modelli possono anche essere formati da primitive geometriche predefinite, come sfere, cubi e cilindri, che vengono manipolati e combinati per creare forme più complesse.

Gli scultori tradizionali fondano il proprio lavoro sull'aggiunta o l'asportazione di materiale. Lo stesso tipo di procedura viene utilizzata nella modellazione 3D.

Le applicazioni 3D forniscono diversi strumenti che permettono di aumentare la complessità strutturale delle primitive geometriche. Per esempio, uno di questi strumenti è quello che permette l'estrusione di una forma dai suoi punti base (Extrude).

Altri metodi di modellazione geometrica comunemente utilizzati sono: la tornitura che crea un oggetto 3D per rotazione intorno al proprio asse e il lofting, una tecnica sviluppata nel settore navale, che costruisce una superficie a partire da due o più polilinee. I vertici delle polilinee definiscono e controllano le facce delle

forme poligonali.

Nella modellazione delle superfici 3D vengono utilizzate molto anche le curve spline. Le spline, come le polilinee, sono definite dalla posizione dei punti iniziale e finale, ma anche da punti di controllo lungo la curva stessa. A differenza delle polilinee, inoltre, la forma delle spline è calcolata da un'equazione matematica. Poligoni e spline possono essere combinati per creare superfici più uniformi (quindi più adatte alla modellazione di forme organiche). Un esempio sono le superfici patch utilizzate da molti designer per creare umani virtuali realistici.

La modellazione patch è una tecnica che richiede molta pianificazione e pratica. Tuttavia, questa tecnica possiede il vantaggio di creare superfici con una struttura geometrica regolare e una parametrizzazione uniforme. Queste caratteristiche rendono le superfici patch molto più facili da mappare, rispetto ad altri metodi, durante la fase di texturing.

Le superfici NURBS (Non-Rational Uniform B-Spline) sono, rispetto alle patch, uno strumento di modellazione più avanzato. Queste superfici sono definite dalla posizione di vertici di controllo (Control Vertex o CV). I CV non si trovano sulla superficie ma 'galleggiano' su di essa. Primitive geometriche possono essere create da superfici poligonali o NURBS e, per manipolare gli oggetti creati con ciascun metodo, si usano strumenti diversi.

Quando si modellano gli oggetti usando i poligoni, i vertici della mesh (rete poligonale) vengono manipolati direttamente. Usando le NURBS, i CV creano una gabbia intorno all'oggetto. Spostando i CV, l'oggetto viene deformato in maniera omogenea. Per manipolare gli oggetti NURBS occorre maggiore potenza di elaborazione che con i poligoni, a causa del maggior numero di calcoli matematici richiesti.

Alcuni software sofisticati offrono anche la possibilità di creare oggetti con superfici di suddivisione, costituite da mesh poligonali di grande complessità. NURBS e oggetti poligonali possono essere convertiti in superfici di suddivisione

se occorrono più dettagli. A causa della loro flessibilità, le superfici di suddivisione sono molto utilizzate per sviluppare umani virtuali nei videogames.

## **8.2 Strumenti di modellazione geometrica utilizzati in questo progetto**

3ds Max di Autodesk è il software commerciale utilizzato per la realizzazione modelli geometrici ed animazioni degli umani virtuali di questo progetto.

Esso è software di fascia alta che comprende funzioni potenti e veloci per moltissime soluzioni di modellazione, animazione e rendering. Permette di modellare spline, poligoni, mesh poligonali, patch di Bezier o superfici NURBS relazionali in modo diretto o procedurale, e offre modellazione con superfici di suddivisione gerarchiche e molti strumenti per la gestione di texture e mappe. Il software consente anche la modellazione avanzata di patch basati su spline per creare personaggi complessi.

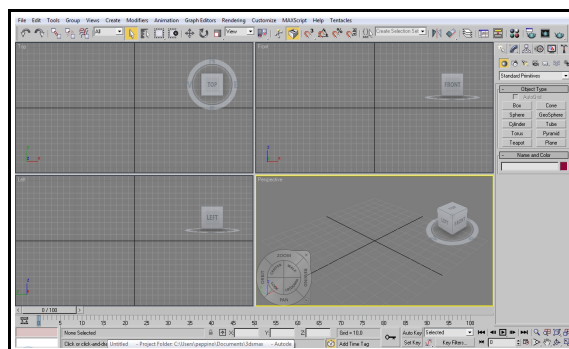
3ds Max è corredato da un modulo per la gestione dei materiali denominato Material Editor. Questo modulo possiede vari shader predefiniti ed oltre 30 mappe procedurali 2D e 3D, con la possibilità di combinare un numero infinito di texture. Inoltre offre un numero illimitato di oggetti, cineprese, luci, materiali, mappe, cronologie di modellazione ed effetti rendering, senza limiti di dimensione delle geometrie e delle scene.

L'interfaccia è a quattro finestre, come in molte altre applicazioni 3D (Figura 1). In 3ds Max esse vengono chiamate viewport e, normalmente, corrispondono alle tradizionali viste dall'alto, di fronte, da sinistra e vista prospettica. Tuttavia, ognuna di esse può essere personalizzata. Inoltre, gli utenti possono impostare le viweport per cambiare la visualizzazione di luci, cineprese e oggetti con diverse

ombreggiature e modalità di mappatura della superficie. Il motore di rendering interattivo e realistico ActivShade permette di eseguire rapide anteprime del rendering nelle viewport, aggiornando la scena ad ogni cambiamento di luce o materiale.

3ds Max supporta plug-in per effetti aggiuntivi avanzati e la creazione di componenti come agenti atmosferici e capelli. Character Studio, un tempo venduto come plug-in per l'animazione avanzata, adesso è un modulo di 3ds Max molto potente. Nell'ambito di questo progetto, è stato utilizzato estensivamente per modellare i comportamenti dei personaggi. 3ds Max può anche accettare e ricevere componenti ed effetti da altre applicazioni, come Photoshop per esempio (<http://adobe.com>). In particolare, Photoshop è stato utilizzato per elaborare le bitmap, impiegate come mappe di diffusione, durante la fase di texturing dei personaggi.

Infine, per l'elaborazione dei modelli geometrici descritti in questo lavoro, sono state utilizzate superfici poligonali denominate 'poly'. Esse sono una tipologia specifica di mesh poligonali, proprie di 3ds Max, manipolabili attraverso quattro sotto-livelli di editing: vertice, bordo, poligono ed elemento. Un'altra caratteristica che distingue questo tipo di superfici è il numero di vertici che ne definisce le singole facce. Infatti, mentre le superfici poligonali di solito sono costituite da facce triangolari, le facce delle superfici poly sono caratterizzate da un numero superiore di lati.



**Figura 1. Interfaccia di 3ds Max.**

## 8.3 Modellazione geometrica del corpo maschile

### 8.3.1 Costruzione dei piani di riferimento per la modellazione.

Prima di cominciare la fase di modellazione di un oggetto 3D, bisogna realizzare delle immagini di riferimento. Queste immagini, di solito, sono costituite da una vista frontale e laterale dell'oggetto che si vuole rappresentare.

Queste immagini vengono mappate, successivamente, su due piani: uno posizionato dietro l'oggetto da modellare e l'altro posizionato lateralmente. Questa struttura, fornisce una specie di box (scatola) di riferimento per la modellazione all'interno del quale costruire il proprio oggetto (Figura 2).

Infine, durante la modellazione, la superficie dell'oggetto viene resa semitrasparente. In questo modo, è possibile vedere le immagini di riferimento mappate sui piani che si trovano dietro di essa.

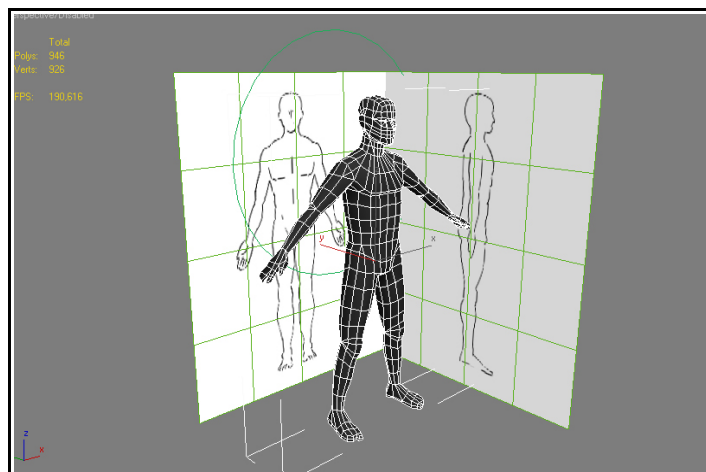
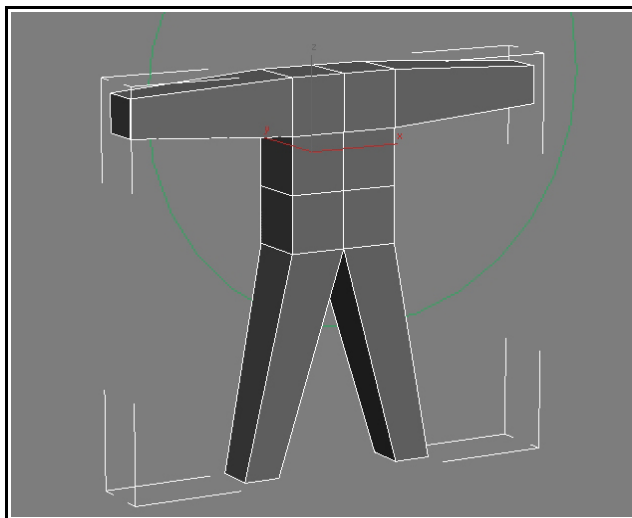


Figura 2. Box di riferimento per la modellazione.

### ***8.3.2 Modellazione del tronco ed estrusione degli arti***

Dopo aver creato il box di riferimento siamo passati alla fase di modellazione vera e propria. Il primo modello è stato realizzato manipolando superfici poligonali con una tecnica denominata 'low-poly modeling.'

Questa tecnica è particolarmente adatta per la modellazione di personaggi con un LOD (Level of Detail) molto basso. Tali, ad esempio, sono quelli utilizzati nelle applicazioni real-time e nei videogames. Questo metodo, di solito, parte dalla manipolazione di primitive geometriche come parallelepipedi (in questo caso la tecnica è detta di 'box modeling') o sfere. Questi oggetti, vengono modificati tramite operazioni di point editing ed estrusione in modo da approssimare la forma dell'oggetto da rappresentare, come illustrato in Figura 3. E proprio in Figura 3 è possibile vedere come l'oggetto primitivo di partenza sia un parallelepipedo con un numero di facce sufficiente ad ottenere una prima approssimazione del tronco umano.



*Figura 3. Una fase di modellazione del corpo maschile. Gli arti sono ottenuti attraverso un'operazione di estrusione.*

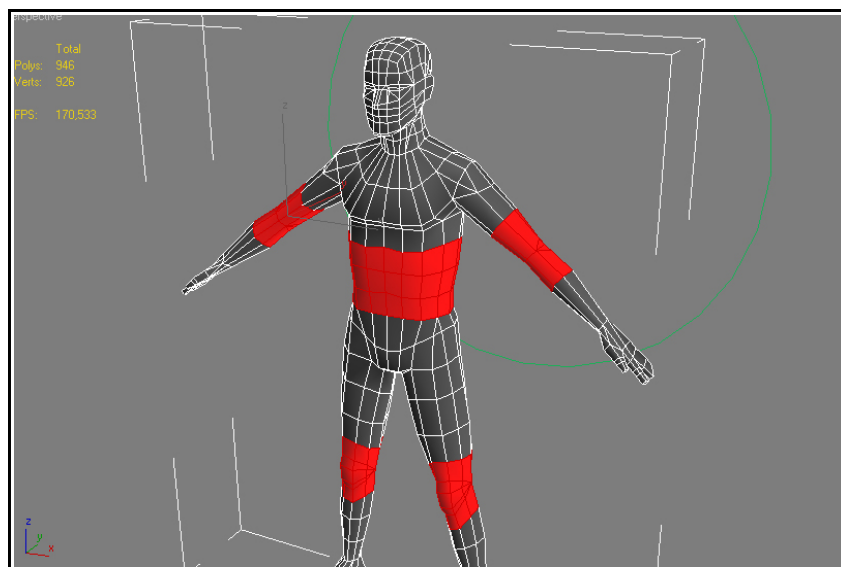


### ***8.3.3 Operazione di rifinitura anatomica del modello***

I passaggi successivi nella realizzazione del primo modello maschile sono stati la costruzione di mani, piedi e la definizione dei dettagli anatomici della testa e del tronco.

Come si può osservare in Figura 4, il LOD del modello è discretamente basso. Mancano dettagli anatomici secondari come le dita dei piedi e alcune dita delle mani (solo pollice e indice, infatti, sono stati modellati singolarmente, le altre dita della mano formano un blocco geometrico unico).

La superficie del modello, tuttavia, ha abbastanza facce da definire la forma del corpo umano in maniera apprezzabile. In particolare, il modello è stato maggiormente definito all'altezza dell'addome e sui punti di flessione di braccia e gambe. Questa operazione è stata effettuata per garantire una deformazione il più possibile uniforme durante l'animazione dei giunti articolari.

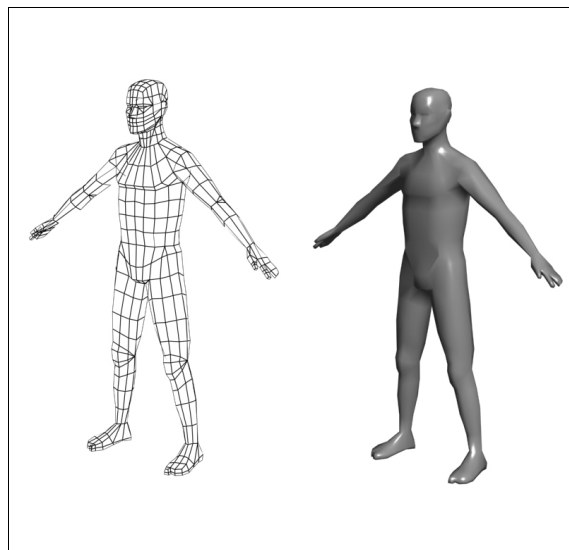


***Figura 4. Fase di rifinitura del modello. In prossimità delle giunture si può notare un maggior numero di poligoni.***

Il risultato di questa prima fase di modellazione è una mesh poligonale costituita da 946 poligoni e 926 vertici, visibile in Figura 5.

Il modello geometrico è stato ulteriormente modificato in fase di animazione per permettere alle sue parti di adattarsi meglio allo scheletro di deformazione definito in Character Studio.

Infine, come è possibile notare dall'osservazione della Figura 5, il volto non è stato modellato nel dettaglio. Questa scelta è stata operata per due ragioni: rispettare il LOD determinato in fase di progettazione ed evitare di aggiungere dettagli non funzionali alla natura dei personaggi. Infatti, nella fase di progettazione iniziale, non era stato previsto che i personaggi comunicassero verbalmente o esprimessero emozioni attraverso espressioni facciali. Quindi, non si è ritenuto necessario dotarli di strutture che permettessero di svolgere questo tipo di azioni. In ogni caso, i dettagli del volto che non sono stati realizzati geometricamente (occhi, sopracciglia, bocca, orecchie, barba e capelli), sono stati rappresentati, in fase di rendering, attraverso l'uso di texture.



*Figura 5. Due differenti visualizzazioni del modello realizzato in questa prima fase di lavoro. A destra viene evidenziata la topologia del modello, a sinistra l'effetto di shading sulle superfici.*

## **8.4 Modellazione geometrica del corpo femminile**

### ***8.4.1 Analisi delle differenze anatomiche tra maschio e femmina***

Il corpo dell'uomo è strutturalmente simile a quello della donna. Le differenze più evidenti, infatti, oltre a quelle determinate dagli organi sessuali, sono a livello dell'apparato muscolo-scheletrico e riguardano per lo più la distribuzione della massa corporea e le proporzioni degli arti e del capo rispetto al tronco.

Per questo motivo, non è stato necessario creare da zero il primo modello femminile, ma è stato sufficiente, operare alcune modifiche su quello maschile. In questo modo abbiamo accorciato notevolmente i tempi di lavorazione previsti per questa parte del progetto.

Per operare queste trasformazioni in maniera corretta, tuttavia, è stato necessario reperire il maggior numero possibile di informazioni sull'anatomia femminile e su quella maschile.

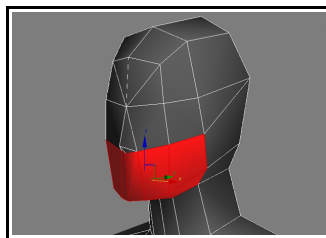
Ci sono diverse differenze tra uomo e donna in termini di proporzioni dello scheletro e dei muscoli. Altre differenze si manifestano nel modo in cui il tessuto adiposo viene distribuito su tutto il corpo. Il cranio femminile è più piccolo di quello maschile. Le bozze parietali e frontali sono più pronunciate mentre è assente la bozza nasale e sopraccigliare. La regione occipitale essendo più sviluppata, determina una prevalenza della larghezza sull'altezza. Anche il corpo femminile differisce da quello maschile per una minore massa e per un aspetto più lineare e delicato. Le parti che caratterizzano in maniera più preminente questa distinzione riguardano: la testa, il torace, la colonna vertebrale e il bacino. In particolare, il bacino della donna risulta più largo e le gambe sono leggermente

più arcuate di quelle dell'uomo. L'analisi dello scheletro è fondamentale in questa studio poiché contribuisce in maniera determinante a definire le dimensioni degli arti e l'aspetto generale della figura. Di particolare importanza per la modellazione 3D sono i punti dove lo scheletro è sottocutaneo (per esempio: il gomito, il ginocchio, ecc.). In questi punti, infatti, esso caratterizza maggiormente la forma corporea. Nella donna è più difficile distinguerli in quanto, come abbiamo detto, le caratteristiche scheletriche e muscolari sono meno appariscenti rispetto all'uomo.

## ***8.4.2 Elaborazione del modello geometrico femminile attraverso trasformazioni applicate a quello maschile***

### **8.4.2.1 Modifiche effettuate sulla testa**

In base alle informazioni elencate nel paragrafo precedente, abbiamo deciso di concentrare le operazioni di trasformazione del modello geometrico maschile in quello femminile in tre regioni principali del corpo: la testa, il tronco e le estremità degli arti. Il cranio è stato leggermente ingrandito mentre l'area del mento è stata ridotta in volume (Figura 6). Le trasformazioni sono state operate soprattutto a livello dei vertici per mezzo di operazioni di traslazione.



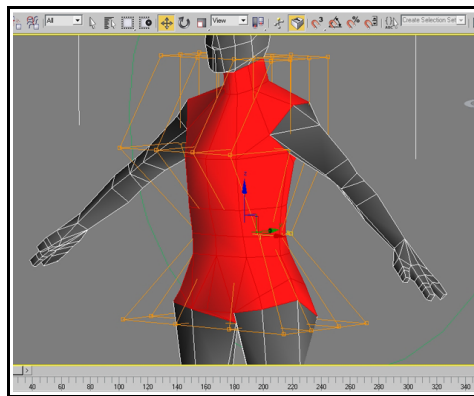
*Figura 6. Una delle fasi di ridefinizione della massa cranica del modello femminile.*

### 8.4.2.2 Modifiche effettuate sul tronco

Dopo aver rielaborato la testa, abbiamo operato delle trasformazioni nella regione del tronco.

L'anatomia femminile, nella regione del tronco, presenta differenze rispetto a quella maschile a livello dei seni e del bacino. Per rappresentare il rigonfiamento della massa del petto in corrispondenza dei seni e la maggiore larghezza del bacino, è stata utilizzata l'operazione di trasformazione denominata Free-Form Deformation (FFD) (Figura 7).

La Free-Form Deformation viene usata molto in modellazione e animazione 3D. Questa operazione funziona circondando la geometria selezionata con una gabbia di controllo denominata 'gizmo'. Spostando i punti di controllo di questa gabbia si deforma l'oggetto in essa contenuto. L'oggetto viene deformato in maniera uniforme ed il livello di dettaglio di tale deformazione dipende dal numero dei punti di controllo. In 3ds max ci sono tre tipi di FFD, classificati a seconda del livello di risoluzione dei rispettivi gizmo: 2x2, 3x3 e 4x4. La FFD 3x3, per esempio, possiede una struttura di controllo con nove punti per lato.

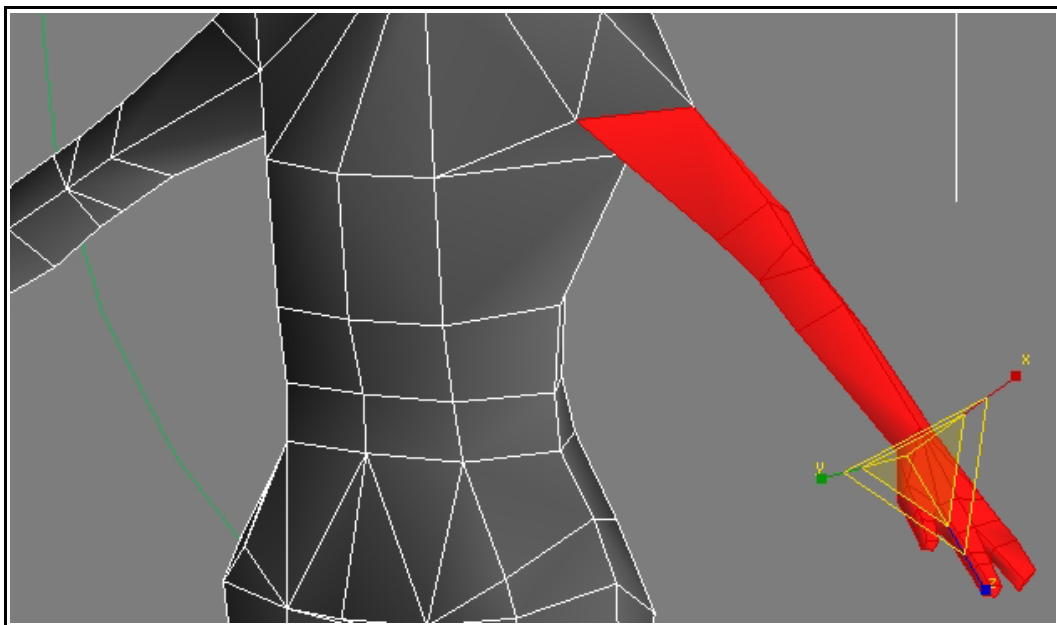


*Figura 7. Fase di modifica delle proporzioni anatomiche del tronco. La struttura che circonda l'area selezionata è la gabbia di controllo del modificatore FFD.*

### 8.4.2.3 Modifiche effettuate sugli arti

Gli arti sono stati modificati sostanzialmente attraverso due procedure di deformazione. La prima è l'operazione di traslazione, di cui abbiamo già parlato nell'ambito dell'elaborazione del volto femminile. La seconda operazione di deformazione viene chiamata 'scalatura'. Questo tipo di deformazione, come la traslazione, può intervenire anche sui sotto-livelli di una superficie poly e serve per modificare le dimensioni degli oggetti.

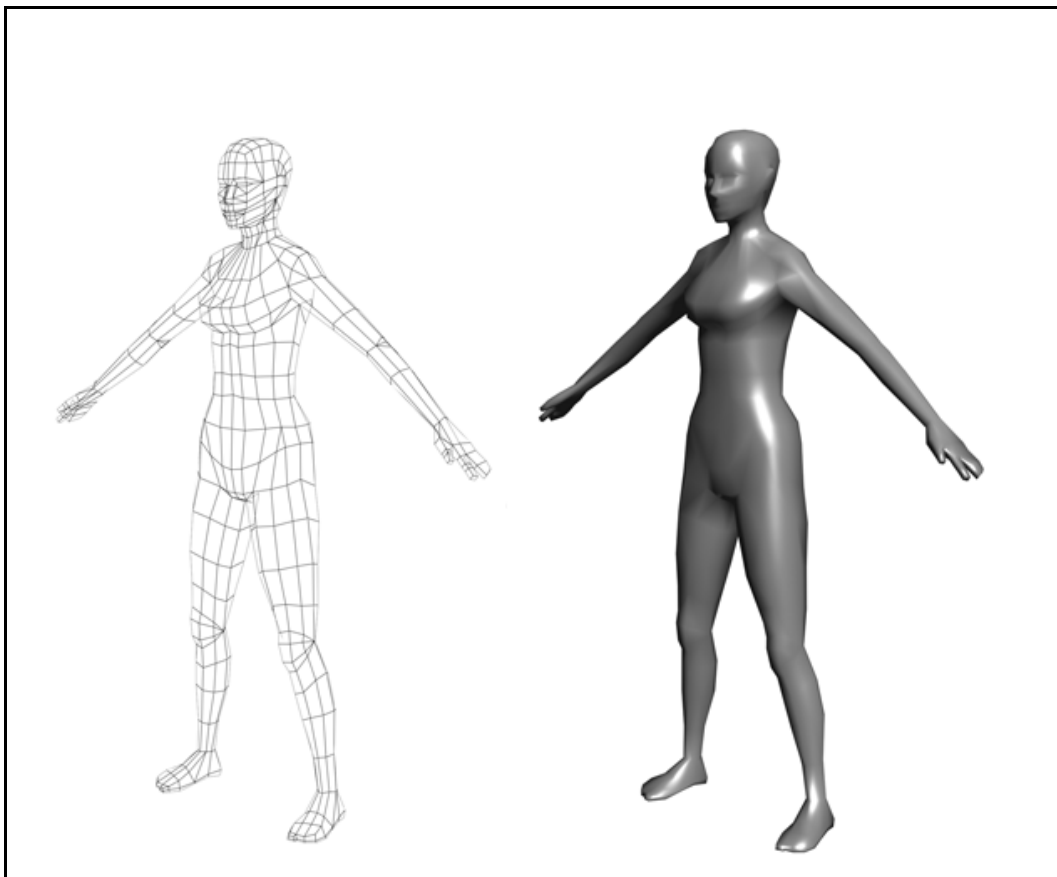
In 3ds Max si possono operare tre tipi di scalatura: uniforme, non uniforme e 'squash'. Il primo tipo permette di scalare gli oggetti sui tre assi dello spazio cartesiano in maniera omogenea, il secondo tipo, invece, permette di vincolare l'operazione di scalatura solo su uno degli assi (Figura 8). La scalatura di tipo squash, infine, può essere utile per creare un effetto di compressione dell'oggetto senza modificarne il volume apparente.



*Figura 8. Operazione di scalatura non uniforme di un braccio lungo l'asse Z.*

In animazione quest'effetto viene definito come 'squash and stretch'. L'effetto di squash funziona combinando due operazioni di scalatura. Una delle operazioni è vincolata ad un solo asse dello spazio, mentre la seconda avviene in direzione contraria lungo i due assi rimanenti.

Il risultato delle trasformazioni operate sul modello maschile ha portato alla realizzazione di un nuovo modello geometrico decisamente efficace a descrivere le peculiarità dell'anatomia femminile. Bisogna inoltre notare che, a livello strutturale, sebbene la topologia risulti differente, il numero di vertici e facce rimane pressoché invariato (Figura 9).



*Figura 9. Modello geometrico del corpo femminile.*

## **Capitolo 9**

### **Elaborazione delle texture e mappatura dei modelli anatomici.**

#### **9.1 Definizione dell'aspetto della pelle e di altri dettagli anatomici di umani virtuali attraverso l'uso delle texture**

Nel Capitolo 4 abbiamo illustrato come le caratteristiche della pelle umana possano essere rappresentate, in fase di rendering, attraverso l'uso di immagini fotografiche opportunamente elaborate. Tale tecnica viene definita texturing ed ha l'obiettivo di riprodurre solo alcune caratteristiche di una superficie come, per esempio, il colore, la trama e la specularità.

Attraverso l'uso del texturing, si possono nascondere le imperfezioni di un modello e rappresentare minuscoli dettagli di superficie che risulterebbe complicato modellare geometricamente (per esempio, i pori della pelle, le rughe, le vene sulle mani, ecc.). Per questi motivi, il texturing è una tecnica molto utilizzata nelle applicazioni real-time.

I videogames, per esempio, fanno largo uso di questa tecnica. Per mezzo di essa, infatti, è possibile impiegare modelli geometrici con un LOD molto basso senza perdere le informazioni relative ai dettagli di superficie.

Il procedimento di texturing più semplice prevede solo la rappresentazione dei colori e delle trame di superficie. Queste caratteristiche vengono definite da



immagini bitmap. Queste immagini vengono dette 'mappe di diffusione' e possono essere realizzate attraverso foto-ritocco oppure con procedimenti di pittura digitale. L'operazione che segue la creazione delle mappe di diffusione è il posizionamento corretto di queste immagini su oggetti e superfici. Questa operazione si basa sull'uso di un sistema di coordinate specifiche dette 'di mappatura' (UVW).

L'elaborazione delle texture viene, di solito, effettuata utilizzando alcuni pacchetti software di digital painting come, per esempio, Adobe Photoshop (<http://adobe>).

## **9.2 Alcune informazioni sugli strumenti di elaborazione digitale dell'immagine**

Adobe Photoshop è senza dubbio il più popolare software per l'elaborazione delle immagini bitmap oggi disponibile. Con una combinazione digitale tra la camera oscura di un fotografo e gli strumenti di un pittore, offre pennelli, filtri, strumenti di selezione, effetti e una vasta gamma di colori personalizzabili. Le impostazioni di pressione dei pennelli e di altri strumenti possono essere controllate con l'uso di una tavoletta grafica sensibile alla pressione, o il colore si può applicare tenendo premuto il pulsante del mouse senza trascinare.

Un fattore determinante del successo di Photoshop è l'uso dei livelli che permettono di lavorare su un elemento dell'immagine senza influire sugli altri. E' possibile, inoltre, cambiare la configurazione dell'immagine modificando l'ordine e gli attributi dei livelli. Funzioni speciali di regolazione e di riempimento e gli stili dei livelli permettono di creare effetti sofisticati.

Photoshop, aggiornato alla versione CS4, include alcuni strumenti nuovi e potenti come un pannello per la gestione delle regolazioni e uno per quella delle

maschere, uno strumento di ridimensionamento basato sui contenuti e un flusso di lavoro migliorato che permette di selezionare un maggior numero di foto e unirle in una composizione panoramica.

Photoshop ha già da tempo un potente motore di rendering per la pittura. Questo motore rende possibile realizzare effetti di pennello bagnato e asciutto, e di materiali come il pastello e il carboncino. Inoltre, viene data la possibilità di aggiungere effetti speciali come erba e foglie, mentre un'anteprima animata permette di vedere diversi attributi e comportamenti dei pennelli, che si possono modificare e salvare come strumenti personalizzati.

Molti degli strumenti di foto-ritocco ed elaborazione dell'immagine messi a disposizione da questo software possono essere utili all'elaborazione di texture dall'aspetto realistico. Per esempio, per mezzo del pennello correttivo si possono ritoccare le fotografie da usare come immagini di riferimento eliminando polvere, graffi, macchie e problemi causati da un'eccessiva compressione (artefatti). Ombreggiatura, illuminazione, trama ed altri attributi verranno preservati durante la clonazione da un livello all'altro o da un'immagine all'altra.

Lo strumento patch si usa sulle selezioni per una clonazione più precisa. Gli utenti possono incorporare pixel presi da aree 'pulite' nelle aree dell'immagine con problemi. Come origine può essere utilizzata anche la palette Pattern nella barra delle opzioni.

Infine, altri strumenti di Photoshop da noi estensivamente utilizzati per creare le texture dei modelli di questo progetto sono: il plug-in Pattern maker che permette la creazione di motivi realistici o astratti selezionando la parte di un'immagine e generando, da essa, un motivo da salvare e usare con diversi strumenti; il plug-in Liquify che fornisce maggiore controllo sull'alterazione dell'immagine, con la possibilità di eseguire lo zoom e annullare più azioni; il pennello Turbulence che risulta particolarmente utile per mescolare i pixel dell'immagine.

## 9.3 Tools per l'elaborazione delle texture

Adobe Photoshop è uno studio multifunzionale per artisti digitali. Molti lo usano con altri software, portando nell'ambiente di lavoro di Photoshop elementi da regolare, ridimensionare, deformare e comporre per creare nuove immagini da fonti disparate. Questo, per esempio, è il caso delle texture, create nella maggior parte dei casi da una composizione di fotografie o immagini differenti.

Per effettuare questo tipo di elaborazioni, le palette di Photoshop sono state dotate moltissimi strumenti specializzati. Lo strumento di selezione Marquee consente di selezionare rettangoli, ellissi, singole righe e colonne dell'immagine, che possono essere spostate, tagliate o rifilate. In più, lo strumento Lasso permette selezioni a mano libera o poligonali, mentre la Magic Wand seleziona aree con valori simili in pixel.

Le selezioni possono essere ruotate, ridimensionate e deformate con lo strumento Transform, nel menu Edit. Inoltre è possibile ridurre o ingrandire, inclinare o applicare prospettiva alle selezioni. La selezione può accettare una trasformazione alla volta, ma il comando Free Transform permette di applicarle tutte simultaneamente e liberamente.

L'anti-alias è utile quando risulta necessario tagliare, copiare e incollare selezioni per creare immagini composite, poiché rende indefiniti i contorni della selezione. Questo effetto rende sfocati i bordi creando una zona di transizione tra la selezione e i pixel che la circondano.

L'anti-alias, tuttavia, può causare la perdita dei dettagli sul bordo della selezione, ma l'intensità dell'effetto può essere ridotta a un numero minimo di pixel. È possibile aggiungere la sfumatura a una selezione esistente o definirla quando si usano gli strumenti Marquee, Lasso, Poligonal Lasso o Magnetic lasso.

Per applicare il colore a grandi aree ci sono gli strumenti Paint Bucket e Gradient

Fill. Gli strumenti Blur, Sharpen, Smudge e Dodge vengono utilizzati per sfocare, sbavare o evidenziare il dettaglio di una selezione.

Dalla palette degli strumenti si può accedere a effetti per modificare il colore, la luminosità e il contrasto. Diversi filtri, inoltre, offrono effetti artistici, di trama, distorsione e illuminazione che comprendono bagliori, luci puntiformi e il popolarissimo 'Lens Flare'.

I filtri sono disponibili anche come plug-in di terze parti, come quelli distribuiti da Alien Skin Software (<http://alienskin>) e Flaming Pear (<http://flamingpear>).

E' dunque evidente che Photoshop fornisce un'infinità di strumenti che permettono di elaborare texture non solo per modelli 3D di umani, ma anche di animali, veicoli ed edifici. Tuttavia, non sono state ancora elaborate delle procedure univoche nell'uso di questi strumenti. Ciò è dovuto al fatto che tali procedure, di solito, vengono determinate da ogni artista in base alla propria esperienza.

## **9.4 Mappe di diffusione e metodi di mappatura basati su coordinate UVW**

In 3ds Max le caratteristiche di superficie di un oggetto vengono determinate attraverso le proprietà di un materiale virtuale. Questi materiali vengono gestiti da un editor, una singola finestra di dialogo per mezzo della quale è possibile crearli, manipolarli e assegnarli agli oggetti.

I materiali possono essere mappati con texture che, come abbiamo visto, nel nostro caso si basano su bitmap o fotografie. Una bitmap è un'immagine che viene codificata come una serie di pixel. Le bitmap vengono memorizzate in diversi formati quali TIFF, Targa, GIF, JPEG, PNG, RLA e AVI (che è un formato bitmap animato). L'utilizzo di una bitmap in un materiale può aumentare i requisiti di

memoria necessari al rendering di un oggetto. Per questo motivo, nelle applicazioni interattive e nei videogames di solito si usano texture costituite da bitmap di piccole dimensioni.

In un materiale, le bitmap possono essere utilizzate per sostituirne una delle varie componenti, come il colore diffuso (in questo caso, come abbiamo visto, si chiamano mappe di diffusione), oppure per aggiungere effetti che altrimenti non potrebbero essere creati. Un esempio di tale effetto è la mappa di rugosità che aggiunge piccole ombre al materiale per far sì che esso appaia come una vera superficie 3D. La sola mappa di diffusione non è in grado di rappresentare la pelle umana in maniera realistica. Tuttavia, questo tipo di mappatura fornisce informazioni sufficienti per descrivere nel complesso le caratteristiche di ogni tipo di superficie. Se poi l'oggetto, come nel nostro caso, viene visualizzato per lo più ad una determinata distanza, cioè non troppo vicino all'osservatore, l'effetto visivo può essere accettabile e convincente.

Tutti i materiali utilizzano le coordinate di mappatura per posizionare correttamente le bitmap sugli oggetti ai quali vengono assegnati. Queste coordinate corrispondono alle dimensioni della bitmap X, Y, Z. Tuttavia, vengono indicate con le lettere U, V, W per evitare che si generi confusione rispetto al tipo di coordinate che si stanno osservando.

Se osservate una mappa planare, per esempio, l'asse X sarà la direzione U e l'asse Y sarà la direzione V. La direzione W viene utilizzata solamente con mappe procedurali.

In 3ds Max esistono due metodi principali per determinare le coordinate di mappatura un oggetto. Il primo metodo consiste nel generarle quando si crea l'oggetto in base alla struttura geometrica dell'oggetto stesso. Il secondo metodo è più flessibile e consiste nell'applicare il modificatore Mappa UVW all'oggetto. In questo modo è possibile applicare le coordinate di mappatura, scalarle, ruotarle ed anche selezionare diversi metodi di mappatura.

3ds Max offre sei diversi metodi di mappatura UVW che corrispondono ai vari tipi di strutture geometriche che si possono incontrare. Essi sono: la mappatura piana, la cilindrica, la sferica, la ritirata, la mappatura parallelepipedo e quella di tipo faccia.

Descriveremo brevemente le caratteristiche dei metodi di mappatura da noi maggiormente utilizzati in questo progetto: la mappatura piana e quella cilindrica.

La mappatura piana posiziona la bitmap sulla superficie di un oggetto in modo planare; questo metodo è efficace, tuttavia, solo se l'oggetto è piatto o relativamente piatto. Infatti, se si applica la mappatura piana a un parallelepipedo questa apparirà buona su uno dei suoi lati, ma allungata su quelli perpendicolari all'icona di mappatura. Si può aggirare il problema ruotando l'icona di mappatura, ma allora si avrà un materiale che si estende leggermente lungo la superficie dell'oggetto.

La mappatura cilindrica si usa su oggetti dalla forma cilindrica, come lattine o birilli da bowling. La bitmap viene avvolta intorno all'asse verticale delle coordinate di mappatura e poi proiettata radialmente verso il centro sulle facce esterne. Come opzione si possono avere le estremità 'incappucciate', questo determina l'applicazione di una copia della bitmap su ciascuna estremità del cilindro.

## **9.5 Operazione di unwrapping UVW**

In 3ds Max il modificatore Unwrap UVW (unwrap significa letteralmente 'scartare') permette di assegnare le coordinate di mappatura a selezioni di alcuni tipi di sotto-livelli di una superficie poly (facce, elementi, forme). In questo modo è possibile gestire le coordinate di mappatura su oggetti dalla forma complessa. Questi oggetti, infatti, possono essere suddivisi in pezzi ed ognuno di questi pezzi

può essere mappato singolarmente. Ogni parte poi, per essere mappata, viene aperta e stirata su di un piano.

Il modo in cui la superficie selezionata viene sezionata ed aperta è determinato dal metodo di mappatura che le è stato assegnato sulla base della sua forma complessiva. Lo scopo di proiettare una geometria 3D su di un piano è duplice. In primo luogo, la struttura così ottenuta può essere utilizzata come tracciato di riferimento per l'elaborazione ed il posizionamento della mappa di diffusione. Infatti, è più semplice posizionare in maniera precisa un disegno o un'immagine su di una superficie piana che su di un oggetto 3D dalla forma complessa. Secondariamente, questo strumento permette di modificare la posizione della bitmap in maniera interattiva in qualsiasi momento e risolve i limiti imposti dai metodi di mappatura classici, efficaci solo su oggetti dalla forma più o meno simmetrica.

Per mappare in maniera specifica solo alcune facce di una superficie bisogna selezionarle in modalità sub-oggetto ed assegnare alla selezione un numero di identificazione (numero ID).

La mappatura della sub-selezione, identificata attraverso questo numero, avviene per mezzo di un materiale denominato Sub Object. Questo tipo di materiale permette di gestire simultaneamente diversi sotto-materiali, ognuno dei quali viene associato a sua volta ad un numero ID. Il vantaggio di questo sistema risiede nel fatto che diverse sotto-selezioni di un oggetto possono essere mappate e gestite contemporaneamente.

L'Unwrap UVW funziona con ogni tipo di superficie: mesh, patch, poly, HSDS, NURBS.

## 9.6 Creazione della mappa di diffusione e texture mapping del personaggio maschile

Il volto è l'area del corpo di un personaggio 3D dove si concentra maggiormente l'attenzione dell'osservatore. Gli esseri umani, inoltre, per la propria natura cognitiva, sono molto abili a coglierne ogni minima inesattezza di rappresentazione. Per questo motivo, abbiamo deciso di rivolgere un'attenzione particolare all'elaborazione di questa specifica area.

Per elaborare una mappa di diffusione accurata e realistica del primo modello geometrico maschile e, in special modo, del volto, abbiamo ritenuto opportuno comporre e ritoccare alcune fotografie ritraenti persone reali.

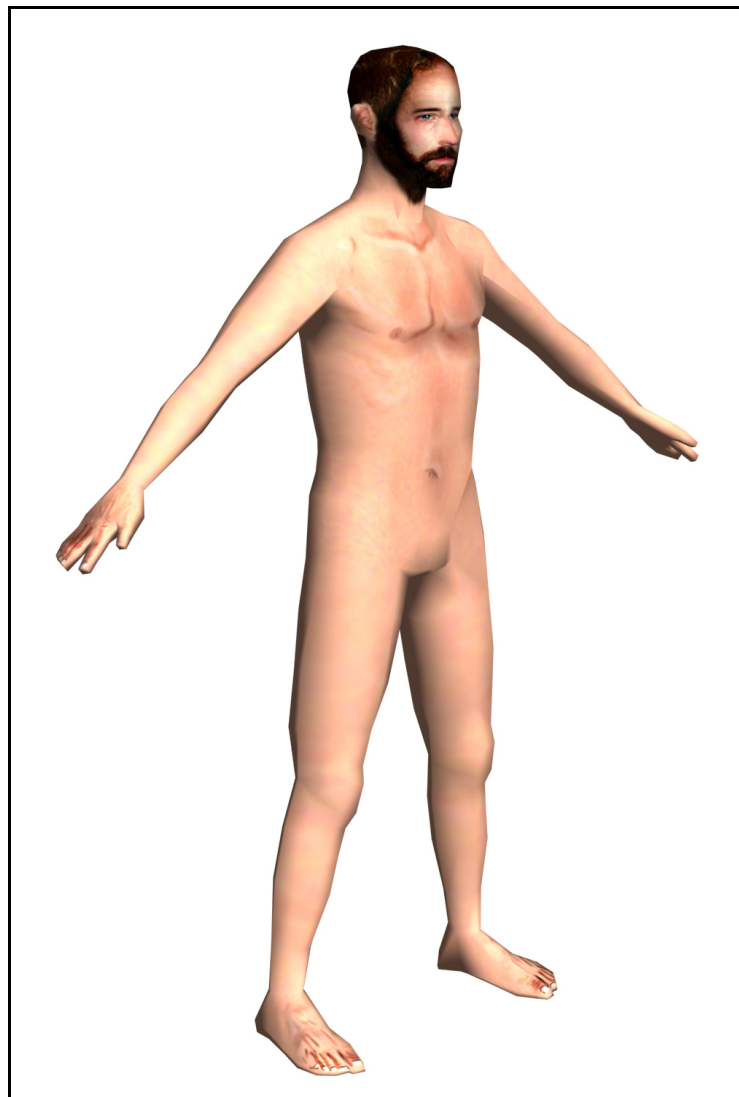
Solo le fotografie di soggetti reali, infatti, possono fornire quella ricchezza di dettaglio necessaria per una risultato realmente realistico (Figura 10).



*Figura 10. Mappa di diffusione del volto del personaggio maschile.*



Utilizzare immagini generate completamente in digitale avrebbe portato a risultati poco naturali. Le immagini sono state manipolate per mezzo di Adobe Photoshop ed assegnate al modello geometrico per mezzo di un'operazione di unwrapping UVW compiuta in 3ds Max. I risultati sono stati particolarmente buoni (Figura 11).



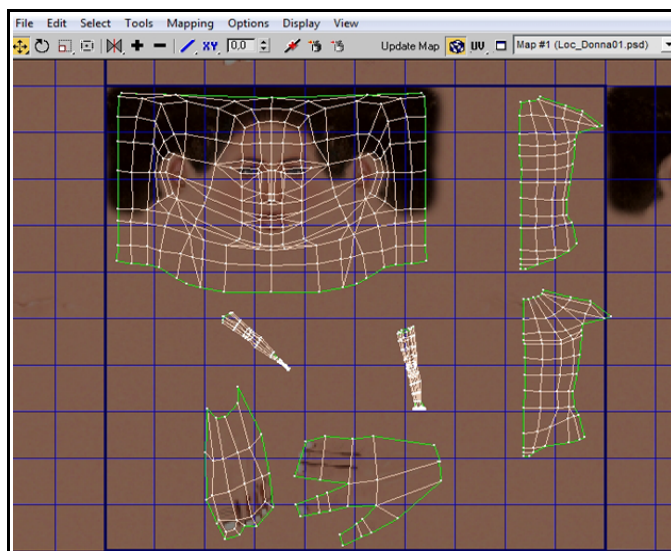
*Figura 11. Modello geometrico maschile completamente mappato.*

## 9.7 Creazione della mappa di diffusione e texture mapping del personaggio femminile

Per realizzare e mappare le texture del personaggio femminile è stata usata una procedura simile a quella descritta nel paragrafo precedente (Figura 12).

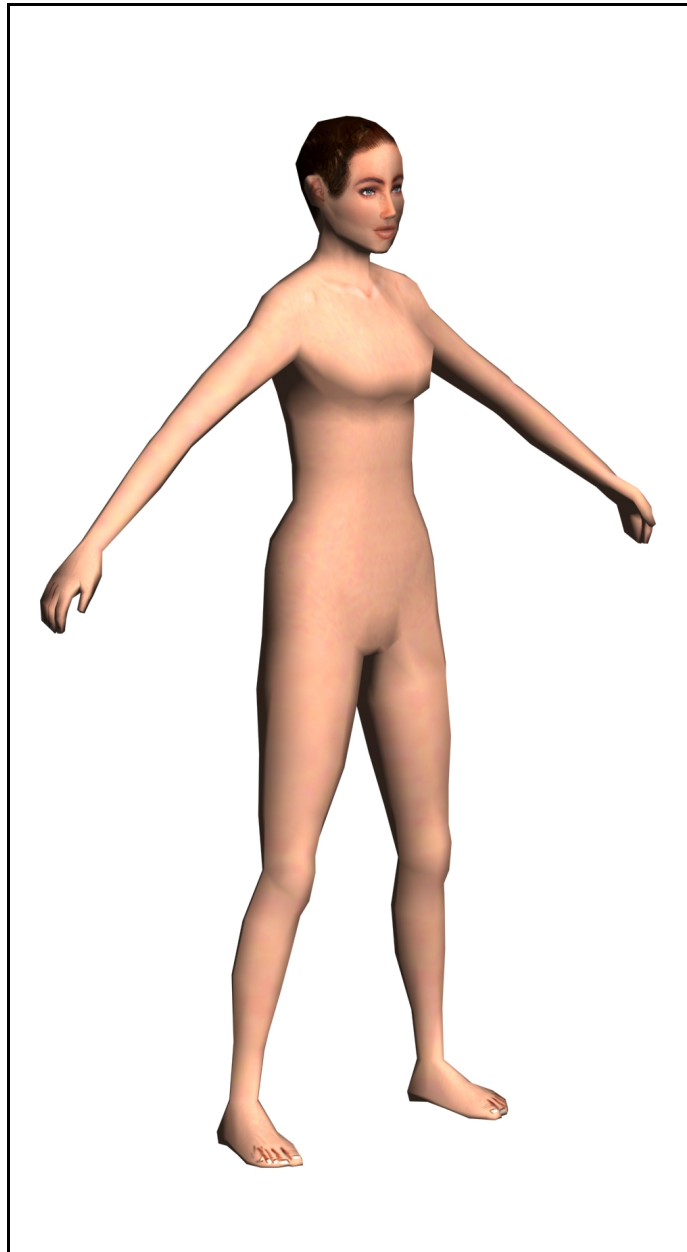
Anche in questo caso è stata utilizzata una bitmap come mappa di diffusione. L'immagine contiene i dettagli di volto, mani e piedi del personaggio. Per realizzarla è stato necessario ritoccare la fotografia del volto di una giovane attrice.

Le parti della bitmap che rappresentano le mani ed i piedi del personaggio sono state clonate dalla texture del personaggio maschile. Per adattare le dimensioni e l'aspetto di queste aree particolari al corpo femminile, abbiamo utilizzato la funzione Free Transform di Adobe Photoshop.



*Figura 12. Finestra di editing del modificatore Unwrap UVW. Sono visibili le sotto-selezioni della mesh 'stirate' sul piano di mappatura.*

Per concludere, considerando quale sia il contesto di utilizzo finale di questo personaggio e la sua funzione principalmente rappresentativa, possiamo giudicare il risultato di questa operazione di texturing efficace e soddisfacente (Figura 13).



*Figura 13. Rendering con texture del modello geometrico della donna.*

## **Capitolo 10**

# **Modellazione geometrica e texturing degli abiti**

### **10.1 Modellazione geometrica dell'hymation**

Nei capitoli precedenti abbiamo descritto il modo in cui sono stati creati i modelli generici utilizzati per i corpi dei personaggi 3D presentati in questa tesi. In questo capitolo, descriveremo il modo in cui sono stati realizzati i loro abiti.

Le tipologie di indumento più comunemente indossate dagli antichi locresi, come è stato appurato in fase di documentazione, sono due: l'hymation e il chitone. Il primo è un tipo di mantello avvolto in maniera elaborata intorno al corpo (vedi capitolo 8). Il secondo indumento, di forma tubolare, vestiva il corpo fino ai piedi e veniva fissato sulle spalle con delle cuciture (Capitolo 7).

Modellare e animare mantelli o drappi di tessuto in grafica 3D non è un compito semplice. La modellazione geometrica di un indumento ampio e del modo in cui si drappeggia, infatti, può essere un'operazione anche molto complicata.

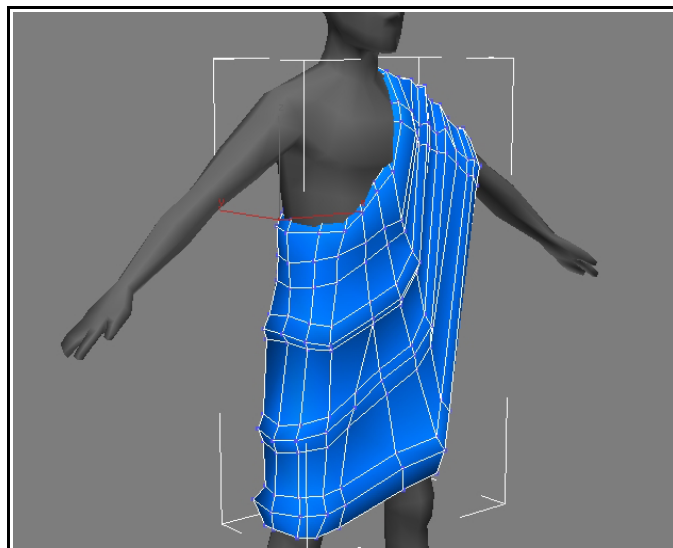
L'animazione dei tessuti, come discusso in precedenza, può essere rappresentata in maniera realistica attraverso tecniche di simulazione fisica (Capitolo 4). Tuttavia, questa soluzione ha un costo molto alto in termini computazionali e non è adatta ad applicazioni in real-time. Nell'ambito dei videogames, i vestiti aderenti al corpo dei personaggi vengono deformati utilizzando lo stesso approccio che si usa per animare le superfici corporee. Tuttavia, nel caso di indumenti molto ampi,

come mantelli o lunghe gonne, la situazione si complica rendendo necessario definirne i parametri di deformazione come se fossero estensioni del corpo stesso. L'intensità dell'effetto di deformazione deve essere calibrata su ogni vertice della struttura geometrica e il processo di elaborazione richiede diverse ore per essere attuato.

Il primo indumento di cui descriveremo la realizzazione è l'hymation.

L'indumento è stato realizzato attraverso una procedura di modellazione nota come 'box modeling'. Tale procedura si basa sulla manipolazione di una primitiva geometrica di partenza (cubo) per mezzo di una serie di trasformazioni effettuate sui suoi sotto-livelli vertice e faccia. L'hymation, inoltre, è stato modellato direttamente sul corpo del personaggio (Figura 14).

In questo modo, è stato possibile dotare l'indumento delle giuste dimensioni, editarne la struttura geometrica in riferimento al modello anatomico sottostante ed evitare, in questo modo, antiestetiche compenetrazioni tra i due oggetti. Questa soluzione ha permesso, inoltre, di elaborare una geometria perfettamente animabile e adattabile ai movimenti del corpo del personaggio.

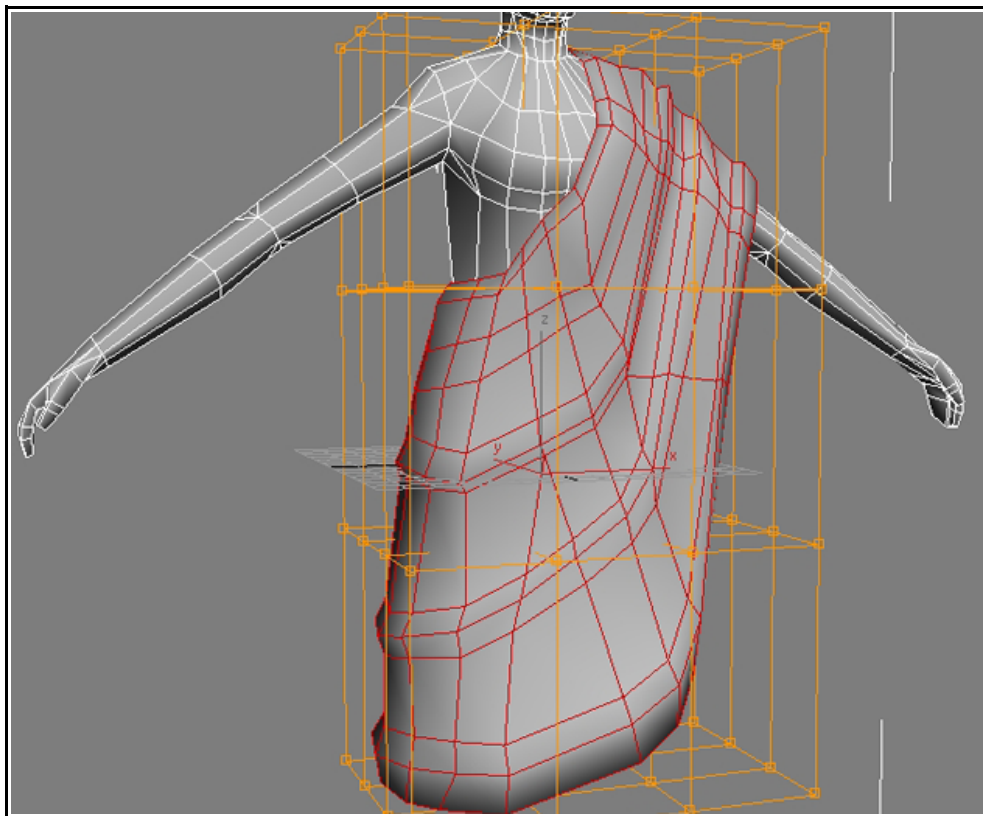


*Figura 14. Una fase di elaborazione del modello geometrico dell'hymation.*

L'hymation è un indumento che, a causa del modo in cui veniva indossato, presenta una forma decisamente complessa da riprodurre in computer grafica. Questo problema è stato risolto attraverso una semplificazione spinta della superficie dell'oggetto.

Il modello ottenuto presenta una struttura geometrica semplice e lineare con un LOD molto basso. In questo modo, ci siamo assicurati che il modello fosse anche più semplice da deformare in fase di animazione.

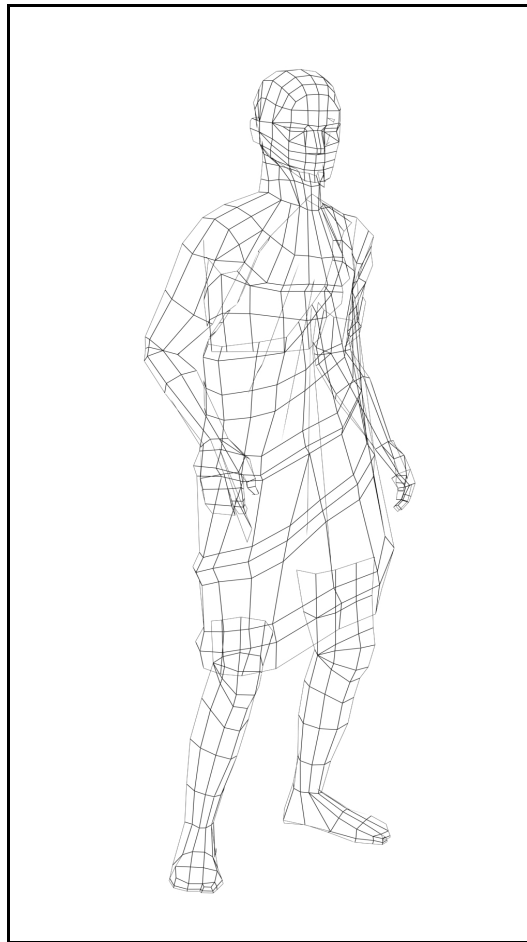
Una volta completato, l'hymation costruito per vestire il modello maschile è stato riadattato per quello femminile attraverso una serie di operazioni di tipo FFD e di point editing (Figura 15).



*Figura 15. Fase di rielaborazione dell'hymation per il personaggio femminile. La struttura di controllo che circonda l'oggetto è il gizmo del modificatore FFD.*

Il risultato di questa prima fase di modellazione è un modello dotato di una topologia semplice e lineare che, nonostante le semplificazioni, riesce a rappresentare l'oggetto reale in maniera convincente (Figura 16).

Alcuni test di deformazione, inoltre, hanno reso possibile strutturare in maniera migliore aree del modello particolarmente influenzate dai movimenti del corpo. A questo proposito, è stata dedicata un'attenzione particolare all'elaborazione delle zone dell'indumento situate tra le gambe e sotto l'ascella sinistra. Queste aree, infatti, sono risultate soggette, per via della loro posizione, a deformazioni particolarmente intense.



*Figura 16. Struttura wireframe del modello maschile completo di hymation.*

## 10.2 Elaborazione della mappa di diffusione e texture mapping dell'hymation attraverso il metodo planare

La fase di texturing dell'hymation si è rivelata abbastanza semplice rispetto a quella effettuata per i modelli precedentemente elaborati. In questo caso, infatti, l'oggetto presenta una geometria abbastanza semplice e, quindi, non è stato necessario ricorrere a laboriose operazioni di unwrapping della mesh. Il posizionamento della texture sull'oggetto è stato effettuato per mezzo di una semplice mappatura di tipo planare. L'immagine utilizzata come mappa di diffusione è stata realizzata in Adobe Photoshop manipolando la fotografia di un rettangolo di tessuto bianco drappeggiato su di una struttura di sostegno.

Durante il lavoro di foto-ritocco sono stati usati due strumenti di elaborazione dell'immagine molto potenti: il Clone Stamp e il filtro Texture di tipo Grain (Figura 17).



*Figura 17. Mappa di diffusione utilizzata per il modello dell'hymation.*



La mappatura del modello ha contribuito a definire i dettagli di superficie che non sono stati realizzati geometricamente. I dettagli realizzati in questo modo comprendono gli effetti di chiaroscuro generati dalle pieghe dell'indumento e gli effetti di rugosità generati dalla trama di tessitura della stoffa (Figura 18).



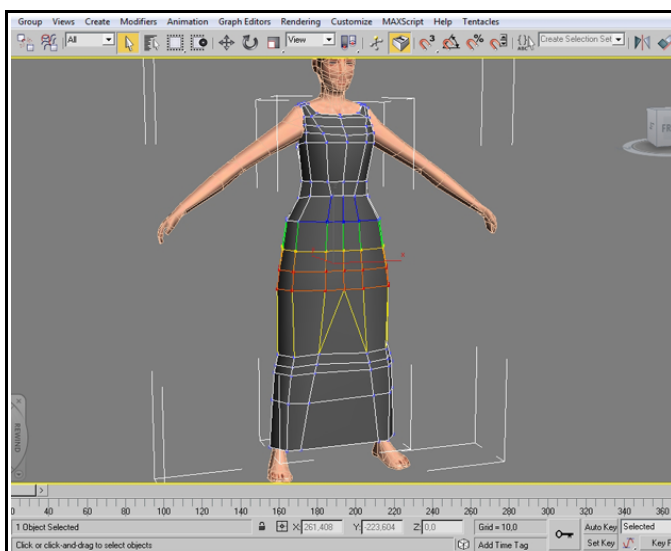
*Figura 18. Personaggio maschile completo di himation.*

## 10.3 Modellazione geometrica del chitone

Il chitone, come abbiamo già detto, è stato la seconda tipologia di abito che abbiamo scelto di realizzare per vestire i personaggi di questo progetto. La modellazione di questo indumento non ha presentato le difficoltà riscontrate durante l'elaborazione del precedente. La causa di questa minore complessità di elaborazione è da ricercarsi nella forma simmetrica e lineare di quest'oggetto.

Come nel caso dell'hymation, anche il chitone è stato modellato utilizzando operazioni di estrusione e trasformazioni di tipo FFD. In particolare, queste trasformazioni sono state applicate a sotto-selezioni di una primitiva cubica definita da una superficie poly.

Il chitone, infine, è stato modellato direttamente sul corpo del personaggio femminile in modo da poterne determinare dimensioni e proporzioni in maniera esatta (Figura 19).

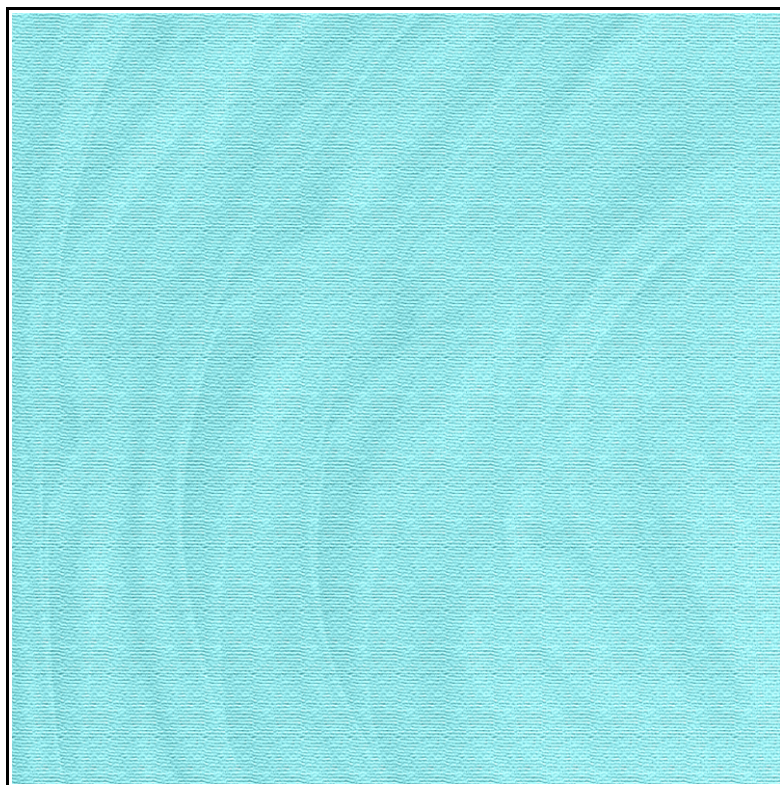


*Figura 19. Una fase della modellazione geometrica del chitone.*

## 10.4 Elaborazione della texture del chitone

La procedura di elaborazione della texture del chitone non ha presentato difficoltà particolari . Questo indumento si presenta relativamente liscio ed il suo colore è uniforme. La bitmap utilizzata come texture è stata realizzata utilizzando effetti di riempimento e filtri Texture in Adobe Photoshop (Figura 20). Non è stato richiesto, in questo caso, il foto-ritocco di immagini o fotografie già esistenti.

Il posizionamento dell'immagine sul modello è stato effettuato per mezzo di una mappatura di tipo cilindrico. Questa soluzione è stata sufficiente dal momento che l'oggetto presenta una forma tubolare.



*Figura 20. Mappa di diffusione del chitone.*

Il modello geometrico del chitone, anche se strutturalmente semplice, risulta efficace nella rappresentazione dell'indumento come ci viene descritto dalle fonti storiche (Figura 21). La texture, realizzata e mappata secondo il metodo planare, permette di realizzare innumerevoli versioni di questo vestito attraverso una semplice variazione del suo colore (determinato dai parametri RGB della bitmap). Questa caratteristica è stata ampiamente sfruttata durante la fase di elaborazione degli altri personaggi.



*Figura 21. Personaggio femminile completo di himation e chitone.*

# Capitolo 11

## Elaborazione dei comportamenti

### 11.1 Computer animation basata su controller

I comportamenti dei personaggi presentati in questa tesi sono stati realizzati attraverso sequenze di animazione realizzate con 3ds Max. Nei paragrafi successivi descriveremo gli strumenti e le tecniche per mezzo delle quali questo software permette di controllare il movimento di oggetti e personaggi.

In 3ds Max è possibile animare tutte le trasformazioni operate sulle superfici, sui loro sotto-livelli e sulle strutture di controllo di alcuni strumenti di deformazione (chiamati anche modificatori) come la Free Form Deformation. Inoltre è possibile animare la maggior parte dei parametri degli oggetti, dei materiali e degli effetti atmosferici.

In questo capitolo vengono discussi dei concetti legati all'animazione base. I concetti illustrati includono la comprensione dei controller e del tempo nell'animazione computerizzata.

Ogni volta che si crea un'animazione in 3ds Max, il sistema assegna un controller di animazione a ogni parametro animato degli oggetti. Questi controller memorizzano i dati assegnati all'animazione. Ci sono quattro tipi principali di controller: basati su chiavi, procedurali, composti e di sistema.

Il metodo più comune utilizzato per creare l'animazione è il keyframing. Di questo metodo abbiamo già discusso nel Capitolo 3. Daremo adesso, una descrizione del modo in cui questa procedura viene gestita in 3ds Max.

Il keyframing consiste in un processo mediante il quale gli oggetti vengono posizionati nei fotogrammi critici e il calcolatore elabora (interpola) i fotogrammi intermedi. Un keyframe è un fotogramma di un'animazione in cui si dovrebbe verificare un evento specifico. I fotogrammi tra i keyframe vengono definiti in-between, o tween.

Il keyframing in 3ds Max funziona impostando un fotogramma specifico dell'animazione sul tempo desiderato, attivando il pulsante di animazione (che comunica al software che i successivi cambiamenti dovranno essere animati nel tempo) e creando l'evento keyframe. Questo tipo di evento può essere non solo un cambiamento nelle trasformazioni (posizione, rotazione o scala) di un oggetto, ma anche un cambiamento in uno dei parametri animabili. Il nuovo valore per la trasformazione o per il parametro verrà memorizzato da un controller animazione assegnato alla trasformazione o al parametro dell'oggetto sotto forma di chiave.

3ds Max supporta diversi controller basati su chiavi, per esempio i controller bezier, lineare e smusso. Ciascuno di questi controller memorizza i dati relativi all'animazione in chiavi. La differenza tra i controller sta nel modo in cui i valori di output tra le chiavi (o valori tween) vengano calcolati.

I controller procedurali, o parametrici, non memorizzano chiavi; invece il loro output si basa sui valori iniziali dei dati forniti dall'utente e sull'equazione implementata dal controller. I controller procedurali permettono di creare movimenti o effetti che sarebbero difficili o noiosi da creare utilizzando controller basati su chiavi come, ad esempio, il collegamento di un oggetto ad una superficie animata.

I controller composti combinano semplicemente l'output di un insieme di controller e producono i risultati in un formato supportato da 3ds Max.

I controller di sistema, infine, a differenza degli altri controller che governano un parametro o una trasformazione di un oggetto singolo, controllano aspetti multipli di oggetti multipli. In genere, sebbene sia possibile animare i parametri associati

al sistema, i parametri o le trasformazioni dei singoli oggetti non possono essere animati. Nei casi in cui sia possibile la trasformazione dei singoli oggetti, il controller di sistema manterrà ancora il controllo su queste trasformazioni limitandole affinché soddisfino i requisiti del sistema. Esempi di controller di sistemi sono il controller IK, il controller luce solare e il Biped di Character Studio.

## **11.2 La gestione del tempo nell'animazione 3D**

Il tempo è uno degli elementi più importanti da comprendere quando si studia l'animazione computerizzata. L'animazione computerizzata si ottiene visualizzando una serie di fotogrammi a una velocità tale da creare l'illusione del movimento. Si tratta dello stesso principio alla base delle animazioni tradizionali, realizzate mediante disegno a mano, nel cinema e in televisione.

In termini generali, la riproduzione dell'animazione non può essere considerata uniforme a meno che non si raggiunga una velocità di almeno venti fotogrammi al secondo (FPS, Frames Per Second). Tuttavia, la velocità effettiva per la quale si progetta un'animazione dipende dal mezzo che si desidera utilizzare per registrare l'animazione stessa. L'industria cinematografica, per esempio, si è standardizzata su 24 fotogrammi al secondo, mentre lo standard per il video è di 30 fotogrammi al secondo. Nel caso delle applicazioni real-time le animazioni vengono renderizzate 'al momento' (real-time significa, appunto, in tempo reale) e la velocità dipende dalle caratteristiche dell'hardware e del sistema di rendering utilizzato.

## 11.3 Metodi avanzati di animazione

Questa sezione descrive alcuni metodi di animazione avanzata utilizzati in 3ds Max. Le tecniche illustrate sono: le traiettorie, le sagome sequenziali, i pivot point, i collegamenti e le catene, lo scheletro, l'animazione dei personaggi, l'effetto movimento e la dinamica.

Quando si creano animazioni in cui la posizione degli oggetti cambia, si può pensare ai movimenti degli oggetti come a traiettorie o percorsi di movimento. In genere, la traiettoria è una linea, come una spline Bezier, che passa attraverso la posizione di ogni keyframe. Come descritto in precedenza, la traiettoria tra i keyframe è una funzione del controller attualmente selezionato. Il controller influisce sulla curvatura della traiettoria e sulla velocità di spostamento dell'oggetto tra i keyframe. Visualizzando la traiettoria di un oggetto è possibile esaminare come questo si stia muovendo e rilevare un movimento inaspettato dovuto al modo in cui i controller interpolano il movimento tra i keyframe.

Le sagome sequenziali (ghosting) rappresentano un metodo per visualizzare le copie sagoma in wireframe di un oggetto animato in corrispondenza di un certo numero di fotogrammi prima e dopo il fotogramma attuale. Sebbene le traiettorie di un oggetto mostrino come l'oggetto si stia muovendo nel tempo, le sagome sequenziali offrono 'istantanee' di come l'oggetto apparirà nel tempo. Le istantanee visualizzano l'effetto di qualsiasi rotazione e scalatura dell'oggetto, come anche l'effetto di qualsiasi modificatore. Le sagome sequenziali sono particolarmente utili nell'animazione dei personaggi, poiché forniscono il senso della durata del loro movimento.

Ogni oggetto creato in 3ds Max è associato a un pivot point (perno). Si può pensare ad esso come al punto di ancoraggio dell'oggetto. Quando si spostano, si ruotano o si scalano degli oggetti, queste trasformazioni vengono prima applicate



al perno, e solo successivamente vengono riflesse sulla geometria dell'oggetto corrispondente. L'effetto pratico è che se si sta ruotando o scalando un oggetto, la geometria dell'oggetto verrà scalata e ruotata rispetto al perno.

Naturalmente, la regolazione del perno di un oggetto rappresenta un grande vantaggio quando si anima un singolo oggetto. Ma in altre situazioni, specialmente nella modellazione dei personaggi, è preferibile animare un oggetto trasformandolo; e ci saranno altri oggetti sui quali verrà ripetuta la stessa trasformazione. Se, per esempio si ruota la parte superiore del braccio di un personaggio, è necessario che anche l'avambraccio, la mano e le dita si spostino, come succederebbe nella vita reale. Sebbene sia possibile eseguire il keyframing del movimento, l'operazione può diventare ben presto noiosa e frustrante.

La soluzione consiste nel collegare un oggetto all'altro e formare una catena gerarchica. L'oggetto collegato diventerà il derivato e l'oggetto al quale è collegato diventerà il principale. È possibile costruire intere catene di collegamenti in questo modo, con l'unica limitazione che un derivato può avere un solo principale.

Abbiamo già parlato della cinematica diretta e di quella inversa nella prima parte di questo lavoro di tesi. Adesso descriveremo come questi due metodi di animazione vengono utilizzati in 3ds Max.

In 3ds max quando si trasforma la porzione di una catena collegata, la trasformazione può essere propagata in due direzioni: verso l'alto e verso il basso della catena. Quando la trasformazione viene propagata verso il basso della catena, viene applicata la cinematica diretta. Quando la trasformazione viene propagata verso l'alto della catena, viene applicata la cinematica inversa.

Con la cinematica diretta, quando si trasforma un oggetto principale, tutti gli oggetti derivati vengono trasformati insieme. È come se un vincolo rigido collegasse il perno del derivato al perno del principale: spostando il principale, si sposterà anche il derivato, mantenendo tuttavia costante la sua posizione relativa;

ruotando il principale, si sposterà anche il derivato e ruoterà in modo che la sua posizione e il suo orientamento relativi rimangano invariati.

La cinematica diretta ha impatto solamente sui derivati di un oggetto. Se selezionate e spostate un oggetto nel centro o alla fine di una catena, quell'oggetto verrà spostato rispetto al suo principale.

Con la cinematica inversa (IK), si trasforma un oggetto derivato e 3ds Max calcola la posizione degli oggetti principali. Oltre al fatto che il movimento viene propagato sia verso l'alto nella catena che verso il basso, l'altra differenza principale tra la cinematica diretta e quella inversa è che esiste solamente un possibile risultato per la cinematica diretta, mentre è possibile ottenere risultati multipli dalla cinematica inversa. La posizione finale degli oggetti principali viene chiamata IK. Questa soluzione si basa sul movimento dell'oggetto trasformato e sulle limitazioni dei giunti di rotazione applicati all'oggetto ed ai suoi principali.

Il termine Dinamica, come viene utilizzato in 3ds Max, si riferisce a un sistema di comandi utilizzati per produrre animazioni che simula effetti fisici del mondo reale. L'utilizzo della dinamica consente all'animatore di creare ambienti virtuali in cui è possibile ottenere movimenti realistici degli oggetti basandosi sulle proprietà fisiche dell'oggetto e sulle forze che agiscono su di esso.

Per esempio, si può creare la scena di una pista da bowling e impostare la scena come dinamica selezionando gli oggetti che dovranno essere inclusi nella simulazione dinamica, definendo le proprietà degli oggetti, definendo quali collisioni tra oggetti rilevare e applicando un movimento iniziale sulla palla da bowling. Il sistema utilizza poi queste informazioni per calcolare e generare chiavi per la posizione e la rotazione di ciascun oggetto nella simulazione dinamica lungo un intervallo di fotogrammi.

Ci sono due tipi di dinamica in 3ds Max: la dinamica dei corpi rigidi e la dinamica dei corpi molli.

Nella dinamica dei corpi rigidi, quando gli oggetti cambiano velocità o collidono

con altri oggetti, essi non vengono deformati. Per esempio, se una sfera colpisce un altro oggetto la sua forma non varia e rimane sferica. Nella dinamica dei corpi molli, quando gli oggetti cambiano velocità o collidono con altri oggetti, essi possono deformarsi in base alle proprie caratteristiche fisiche. In questo caso, se una sfera colpisce un altro oggetto, essa risulterà schiacciata.

Per deformare in 3ds Max un oggetto come un braccio che sia modellato come mesh monoblocco, viene comunemente utilizzato un metodo di deformazione chiamato 'bones deformation' (deformazione dell'ossatura). Questo sistema si basa su di uno scheletro articolato per controllare la deformazione del modello ed è noto anche come skinning. L'ossatura viene costruita al di sotto dell'oggetto ed è animata; ad essa viene poi collegata una mesh (skin o pelle) utilizzando un modificatore di ossatura o uno space warp che fa riferimento al movimento dello scheletro e deforma la mesh dell'oggetto affinché corrisponda a tale movimento. Uno space warp rappresenta un metodo per definire un'area dello spazio 3D che agisce automaticamente sugli oggetti selezionati quando questi attraversano il suo spazio d'influenza. La differenza tra un modificatore e uno space warp è che il modificatore ha sempre lo stesso effetto su un oggetto, indipendentemente da dove sia posizionato, mentre l'effetto di uno space warp su un oggetto dipende dalla posizione dell'oggetto rispetto a quest'ultimo.

In 3ds Max, l'animazione scheletrica di umani virtuali può essere gestita attraverso il modulo Character Studio.

## **11.4 Strumenti per l'animazione scheletrica utilizzati nell'ambito di questo progetto**

Character Studio è costituito da un insieme di componenti che forniscono diversi

strumenti per l'animazione completa di personaggi 3D. Questo software permette di creare scheletri articolati con gerarchie d'influenza già definite per l'animazione di personaggi bipedi. I bipedi possono essere animati velocemente utilizzando diversi metodi. Uno di questi è la 'footstep animation' che crea automaticamente simulazioni di movimento bilanciato basate sulla gravità.

Se risulta necessario animare i movimenti manualmente, invece, è possibile utilizzare la 'freeform animation'. Questo tipo di animazione è utilizzabile anche con personaggi con più di due gambe e personaggi che si muovono volando o nuotando. La freeform animation basa l'animazione dello scheletro su tecniche tradizionali di cinematica inversa.

Con Character Studio è possibile anche animare personaggi utilizzando sequenze di animazione motion-capture (mocap). La freeform animation ed il motion-capture possono essere combinati per creare animazioni più efficaci e realistiche.

Character Studio fornisce una serie di strumenti che permettono di assegnare il modello geometrico di un personaggio (skinning) allo scheletro, in modo da controllarne la deformazione. Questo software permette, inoltre, di separare i movimenti dell'animazione dalla struttura del personaggio. In questo modo, per esempio, è possibile animare un personaggio grasso e riassegnare la stessa animazione ad uno magro o con proporzioni degli arti differenti (questa procedura è conosciuta come 'retargeting'). Attraverso questa funzionalità è possibile, come è stato fatto in questo progetto, creare una libreria di files di movimento per animare velocemente una gran varietà di personaggi virtuali.

Character Studio fornisce una serie completa di strumenti per il motion editing. Si può utilizzare un linguaggio di scripting per controllare le transizioni tra una sequenza di animazione e l'altra. Il Motion Mixer, invece, è uno strumento che permette di combinare sequenze di animazione su più livelli. L'editing di curve di funzione attraverso l'Animation Workbench, rende possibile alterare le animazioni. L'Animation Workbench permette, inoltre, di correggere gli errori nei

movimenti attraverso strumenti specifici. Infine, Character Studio presenta la possibilità, attraverso opzioni specifiche, di creare folle di personaggi o altri oggetti. Con un sistema di animazione procedurale è possibile, poi, controllare il movimento di tali personaggi.

Character Studio è costituito da tre componenti:

- il componente Biped che permette di creare scheletri animati attraverso una serie di tools specifici;
- il modificatore Physique che permette di associare lo scheletro alla mesh del corpo del personaggio. In questo modo è possibile controllare la deformazione della mesh;
- il componente Crowd permette di creare folle di personaggi e oggetti animati attraverso una serie di tools dedicati.

Nelle pagine seguenti tratteremo in dettaglio le caratteristiche dei primi due componenti. Biped e Physique. Essi sono stati utilizzati in maniera consistente per la creazione delle animazioni dei personaggi di questo progetto.

Come abbiamo detto precedentemente, Biped è un componente di 3ds Max che permette di creare scheletri animabili attraverso una serie di strumenti specifici. Questi scheletri sono dotati di due gambe e, per questo motivo, sono particolarmente adatti a rappresentare il movimento di umani virtuali.

Lo scheletro bipede è una figura articolata rappresentata da una gerarchia di elementi progettata appositamente per l'animazione. Questa struttura è dotata di speciali caratteristiche che la rendono immediatamente pronta per essere animata.

Character Studio è progettato per permettere lo scambio delle sequenze di animazione tra un personaggio e l'altro. Nella modalità d'uso Figure Mode, è possibile modificare le dimensioni dello scheletro bipede (biped) in maniera da adattarlo al corpo di un determinato personaggio. In modalità Keyframe Mode, invece, lo scheletro viene animato. Il movimento creato per il biped, come

abbiamo già accennato, può essere salvato in formato BIP e caricato in un altro bipede con caratteristiche fisiche diverse. Questa caratteristica permette, per esempio, di animare un gigante, salvare l'animazione, e caricarla per animare il personaggio di un bambino.

Per animare lo scheletro biped vengono utilizzati principalmente due metodi: il metodo 'footsteps' e il metodo 'freeform'. Ognuno di questi metodi ha i suoi vantaggi. Un'animazione realizzata con un metodo può essere convertita nell'altro oppure si può decidere di utilizzare entrambe le tecniche per la realizzazione di una singola animazione.

Il metodo di animazione footsteps crea i movimenti del biped attraverso la rappresentazione delle impronte dei piedi. Queste impronte sono oggetti 3D e possono essere ruotati o riposizionati nello spazio virtuale di lavoro. La posizione e l'orientamento di questi oggetti di controllo nelle finestre di lavoro (viewports) definisce i punti dove i piedi del personaggio toccano terra e la direzione del moto.

Esistono tre modi di creare le impronte dei piedi o footsteps per il biped:

- posizionare i footsteps individualmente, uno per volta;
- utilizzare lo strumento per la creazione multipla dei footsteps di Biped. Questo strumento permette di creare automaticamente, attraverso la definizione di alcuni parametri, sequenze di impronte per animare azioni come la corsa, il salto o il semplice camminare;
- creare i footsteps estraendo i dati necessari da files motion capture.

L'enorme vantaggio fornito dall'animazione footsteps consiste nel fatto che lo scheletro biped si adatta a qualsiasi variazione del movimento, sia essa compiuta attraverso ridefinizione della posizione delle impronte o del loro orientamento. Modificando tutte le impronte, inoltre, si può modificare l'intera animazione.

Utilizzando il metodo di animazione freeform (senza impronte) il movimento

viene creato attraverso il posizionamento di ogni giunto del biped, esattamente nello stesso modo in cui si opera utilizzando il sistema di keyframing tradizionale. Attraverso l'uso del metodo freeform è possibile combinare dinamicamente cinematica inversa e diretta in modo da creare controlli di alto livello per movimenti specifici del personaggio.

Physique è un modificatore che, quando viene applicato ad una mesh, permette di controllarne la deformazione in maniera continua manipolando lo scheletro posizionato al suo interno.

Physique funziona con tutte le geometrie basate su punti incluse le primitive geometriche, superfici poligonali, superfici patch, superfici NURBS e anche space warps di tipo FFD. Nel caso di NURBS e modificatori FFD, Physique agisce sui rispettivi punti di controllo.

Physique si può utilizzare con ogni tipo di struttura scheletrica inclusi il biped, le 'bones' (ossa) di 3ds Max, le curve spline, o qualsiasi altra gerarchia di oggetti.

Nel momento in cui Physique viene applicato all'oggetto skin, viene determinato dall'animatore, attraverso appositi parametri, come ogni elemento dello scheletro influenzi ogni vertice della mesh. Questa procedura viene definita 'setup' del personaggio.

Il modificatore Physique utilizza delle capsule di controllo o 'envelopes' come strumento primario per gestire la deformazione della superficie skin. Dopo che tutti gli envelopes sono stati configurati, possono essere simulati tendini virtuali ed effetti di rigonfiamento muscolare per controllare la deformazione in dettaglio ed in maniera più realistica. Tutti gli envelopes sono dotati di un'area interna e una esterna. I vertici che sono compresi nell'area interna ricevono un'influenza piena da parte del segmento scheletrico associato. I vertici che risiedono oltre l'area esterna non sono affatto influenzati. I vertici che si trovano tra l'area più interna di un envelope e quella più esterna ricevono un'influenza codificata attraverso un parametro chiamato weight (peso), il cui valore varia da 0 a 1.

I vertici si muovono insieme al segmento scheletrico al quale sono associati. Nel caso in cui diversi envelopes esercitino la propria influenza su di un vertice, quel vertice riceve un valore weight per ognuno degli envelopes coinvolti. Il vertice assume una posizione basata su una media di questi parametri d'influenza.

Ogni envelope è dotato di alcuni attributi che servono a modificare la distribuzione della sua influenza sui vertici lungo il segmento scheletrico al quale corrisponde. Questo fatto determina, conseguentemente, il modo in cui la skin si comporta durante il movimento del biped. Naturalmente, il comportamento della skin può essere modificato agendo sui parametri di ogni envelope.

Il modificatore Physique assegna a ogni segmento scheletrico due tipi di envelopes: uno deformabile ed uno rigido.

Gli envelopes deformabili seguono la spline di deformazione generata da Physique che attraversa tutti i giunti della gerarchia scheletrica. Gli envelopes rigidi determinano l'assegnazione vertice-osso in maniera lineare e seguono in maniera rigida il segmento scheletrico corrispondente.

Generalmente, vengono utilizzati gli envelopes deformabili poiché producono effetti di movimento più realistici. Tuttavia, gli sviluppatori di videogames, a causa dei vincoli imposti da i motori di rendering, preferiscono utilizzare gli envelopes rigidi. Per lo stesso motivo, si è deciso di usare questa soluzione di animazione per definire il movimento dei nostri personaggi.

## **11.5 Procedure di skinning**

Questo paragrafo descrive un breve sommario delle procedure di lavoro di base che si adottano quando si lavora con Character Studio. Queste procedure sono state seguite per effettuare la configurazione e l'animazione dei personaggi di questo progetto.



### ***11.5.1 Creazione della superficie skin***

Abbiamo già discusso della creazione dei modelli geometrici di alcuni dei personaggi del nostro progetto (vedere Capitolo 8). Adesso descriveremo alcuni aspetti relativi alla realizzazione di modelli da utilizzare come skin in Character Studio.

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, un modello geometrico da utilizzare come skin in Character Studio può essere realizzato utilizzando qualsiasi tipo di superficie e strumento di modellazione offerto da 3ds Max.

La cosa più importante è posizionare la skin del proprio personaggio in una posa neutra con la braccia aperte e le gambe leggermente distanziate. Un'altra cosa importante è fornire la mesh della skin di dettaglio supplementare (più vertici o punti di controllo) in prossimità dei giunti articolari per facilitare una deformazione uniforme durante il movimento.

Bisogna osservare, inoltre, che le deformazioni operate dal modificatore Physique si basano sul volume piuttosto che sulla geometria. Questo significa che la struttura geometrica della skin può essere rifinita in un secondo tempo con una minima influenza sul comportamento in fase di deformazione. Questa caratteristica del modificatore Physique rende possibile elaborare l'animazione del personaggio persino prima di costruirne il modello.

### ***11.5.2 Creazione dello scheletro biped***

Biped automatizza la creazione di scheletri per personaggi umanoidi. Permette, inoltre, di apportarvi modifiche significative sia nella struttura che nelle

dimensioni; ciò può avvenire in qualsiasi momento durante l'animazione e senza intervenire sul movimento del personaggio. Questo rende possibile animare il proprio personaggio senza sapere necessariamente se sia alto, basso, magro o sovrappeso. Questo significa inoltre che, anche se il progetto di animazione richiede un cambiamento nelle proporzioni del personaggio, l'animazione sarà ancora valida e non dovrà essere rielaborata.

### ***11.5.3 Assegnazione della skin allo scheletro ed impostazione delle deformazioni***

Il modificatore Physique può essere utilizzato per assegnare automaticamente una skin a uno scheletro biped o a una gerarchia di ossa di 3ds Max. L'assegnazione viene effettuata, di solito, nel punto o elemento che ha la posizione più elevata nella gerarchia (root node). In uno scheletro biped questo elemento è il segmento pelvico e non il centro di massa. La skin assegnata viene deformata non appena lo scheletro cambia la sua postura.

Modificando i parametri del modificatore Physique, si controlla il comportamento della skin e si determina il modo in cui il personaggio si muove. Questa operazione richiede diversi passaggi:

- cambiare la forma di default degli envelopes aggiungendo punti di controllo per isolare un volume di vertici più specifico per ogni osso;
- determinare il rigonfiamento di un muscolo virtuale in base all'angolo di rotazione di un particolare giunto. Questa operazione si effettua modificando il parametro 'bulge angle'. Risulta possibile simulare anche il comportamento dei tendini al di sotto della pelle in base a determinati parametri;

- modificare i parametri dei segmenti ossei per determinare il modo in cui la skin si stira e si torce durante il movimento.

### ***11.5.4 Animare lo scheletro biped***

Dopo aver assegnato la skin ad una struttura ossea biped, è possibile riposizionare lo scheletro liberamente e vedere il personaggio deformarsi automaticamente in base alla posizione scelta.

In Character Studio è possibile sviluppare le animazioni in Biped in una scena separata e applicarle alla skin del personaggio, quando si è soddisfatti del risultato.

Diversi sistemi di coordinate in 3ds Max possono essere utilizzati per modificare la posizione di uno scheletro biped. Per esempio, coordinate relative all'oggetto possono essere utilizzate per muovere un'anca intorno al suo asse, mentre le coordinate relative all'ambiente di modellazione possono essere usate come sistema di riferimento di base.

Come abbiamo già visto in precedenza, biped utilizza diversi metodi per creare il movimento. Uno di questi è l'approccio tradizionale che consiste nel creare manualmente, i keyframes in modalità freeform e lasciare che il calcolatore interpoli le posizioni intermedie dei giunti.

Un altro metodo consiste nell'utilizzare la modalità footsteps. Abbiamo già descritto come funziona questa tecnica di animazione; nel seguito analizzeremo in breve come funzionano le simulazioni dinamiche sulle quali si basa questa tecnica. Quando si anima un personaggio utilizzando i footsteps, una simulazione dinamica calcola l'effetto aggiuntivo di gravità ed equilibrio. In particolare possiamo osservare che:

- la gravità può facilitare l'accelerazione in fase di discesa del salto di un

personaggio e determinare in maniera realistica la flessione delle gambe durante l'atterraggio;

- il mantenimento automatico dell'equilibrio permette di modificare la postura di un personaggio durante il movimento. Esso agisce sulla rotazione dei segmenti della spina dorsale.

### ***11.5.5 Importare sequenze di animazione motion-capture***

Character Studio permette di importare files motion-capture (mocap) nei formati BVH o CSM. Questi files possono essere, in questo modo, editati e salvati nel formato proprietario BIP. Viene data l'opportunità, inoltre, di importare i mocap con o senza footsteps e simulazioni dinamiche e di combinarli con altre animazioni nella modalità Motion Flow.

L'utente può utilizzare i mocap di esempio forniti con il software come sono oppure modificarli in modo che soddisfino i suoi bisogni attraverso i vari tools di animazione di Biped.

L'abilità di caricare direttamente files mocap in formato CSM che contengono informazioni sui markers elimina molti dei costi di elaborazione delle informazioni dei marker (dispositivi ottici utilizzati durante la registrazione dei movimenti). Character Studio rende possibile, inoltre, caricare mocap con una bone addizionale in modo da descrivere il movimento di eventuali oggetti impugnati dai personaggi (per esempio, spade o clave).

Infine, Character Studio permette di importare anche files motion-capture con formato HTR/HTR2 . I files mocap possono essere caricati con un numero di keyframes ridotto in modo da risultare più gestibili in fase di editing.

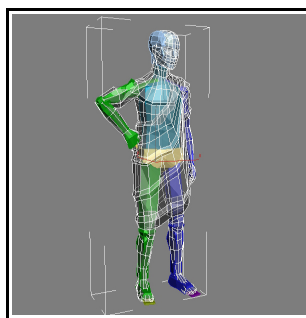
### ***11.5.6 La modalità motion flow***

Dopo aver creato e modificato diverse sequenze di animazione, e averle salvate in formato BIP, si può utilizzare la modalità Motion Flow di Character Studio per combinare diverse animazioni in sequenze più lunghe che possono essere, a loro volta, visualizzate in anteprima e modificate.

La modalità Motion Flow allinea automaticamente le sequenze di animazione in modo da permettere all'animatore di mescolare animazioni freeform con animazioni di tipo footsteps. Anche le transizioni tra sequenze consecutive vengono generate automaticamente in modo da facilitare il lavoro dell'operatore.

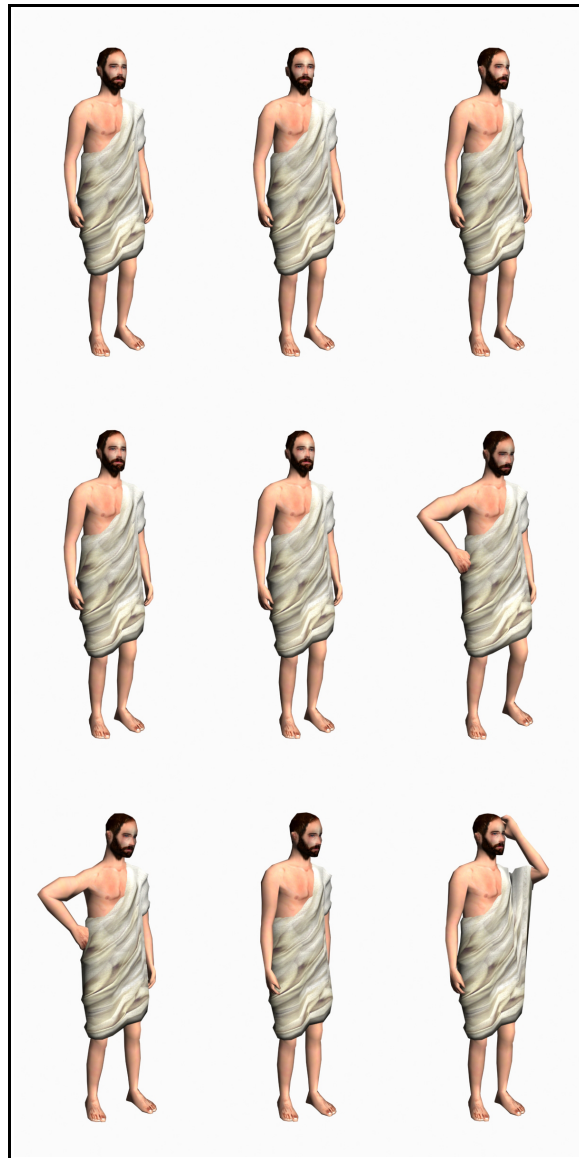
## **11.6 Animazione del ciclo di attesa (idle)**

Per definire le prime due azioni 'generiche' dei personaggi virtuali, attesa e deambulazione, sono state elaborate due sequenze di animazione (Figura 22 e Figura 23). Per elaborare queste prime sequenze abbiamo utilizzato il metodo del keyframing.



*Figura 22. Frame dell'animazione di attesa. All'interno della mesh skin è possibile vedere lo scheletro biped.*

Questa tecnica ci ha permesso di controllare i movimenti con precisione e di costruire delle animazioni generiche e neutre dal punto di vista espressivo. Queste caratteristiche sono, infatti, necessarie per definire dei comportamenti che possono essere utilizzati da tutti i personaggi.

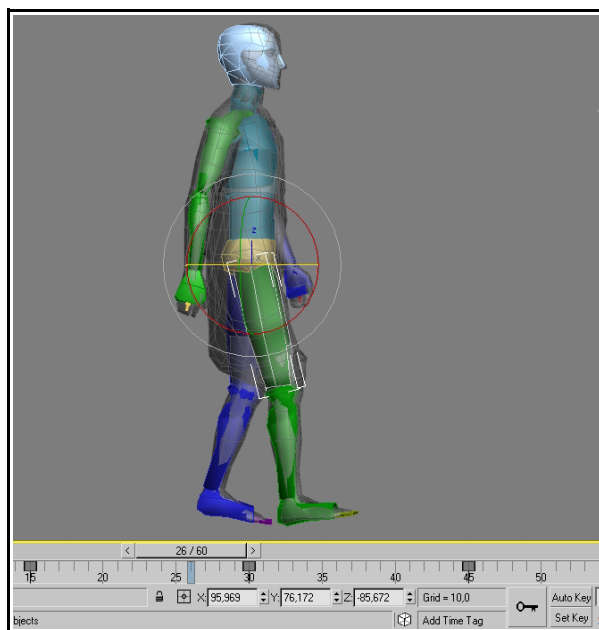


*Figura 23. Alcuni keyframes della sequenza di animazione che definisce il comportamento dell'attesa.*

## 11.7 Animazione del ciclo di deambulazione

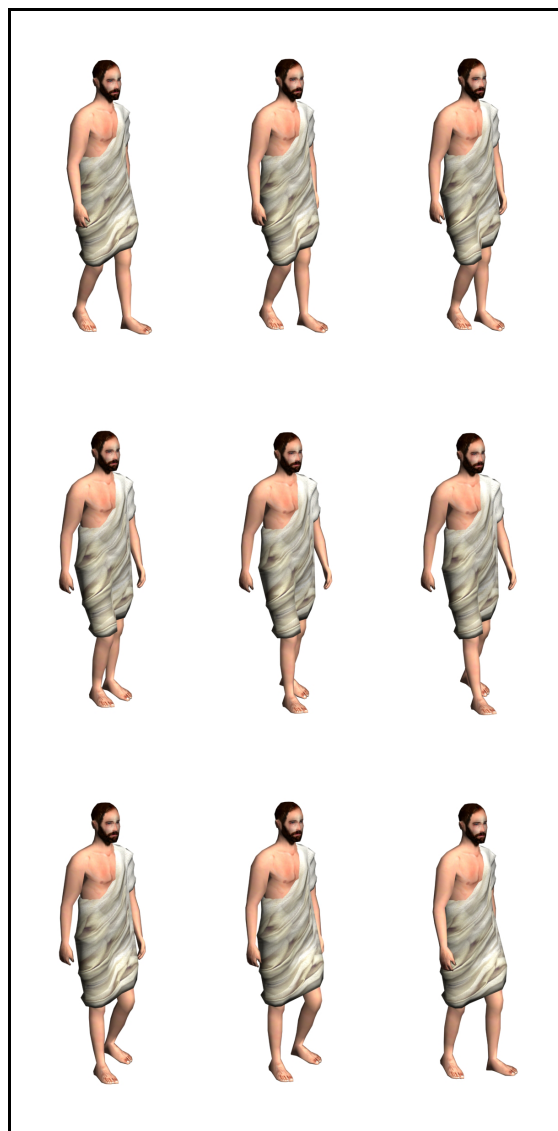
L'animazione del movimento di deambulazione è stata realizzata in modo da poter essere utilizzata ciclicamente. I cicli di movimento sono particolari tipi di animazioni che vengono ripetuti nel tempo. La difficoltà nel realizzare questo tipo di animazioni consiste nel fare in modo che la postura che il personaggio assume nell'ultimo frame dell'animazione sia uguale a quella che assume nel primo. Se così non fosse, infatti, tra un ciclo di animazione e l'altro si percepirebbe un sobbalzo nei movimenti del personaggio che danneggerebbe il realismo della scena. Anche l'animazione dell'attesa è stata elaborata come un ciclo.

Definire le azioni ripetitive con cicli di animazione è preferibile ad altri metodi perché rende possibile animare personaggi per lunghi periodi di tempo utilizzando sequenze di animazione costituite da pochi frames.



*Figura 24. Mesh skin e scheletro del personaggio durante il ciclo di deambulazione.*

Sia il ciclo di animazione di attesa che di deambulazione sono stati utilizzati con il modulo per l'animazione di personaggi 3D di 3ds Max: Character Studio (Figura 22). Le sequenze di animazione sono state realizzate in modalità freeform, salvate in formato BIP ed utilizzate per definire anche i comportamenti degli altri personaggi.



*Figura 25. Alcuni keyframes del ciclo di deambulazione.*



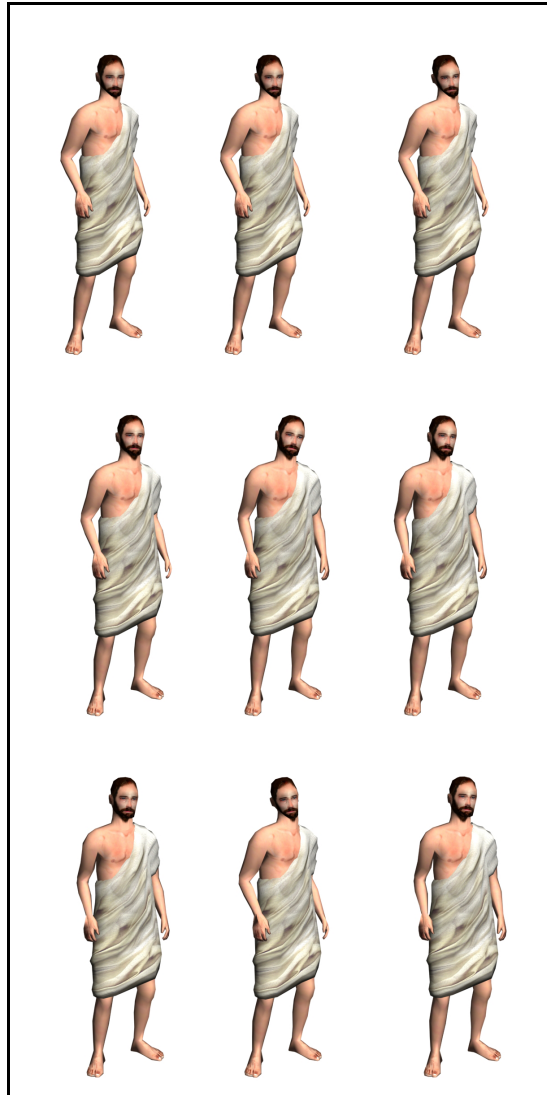
## **11.8 Definizione degli altri comportamenti attraverso sequenze di animazione motion-capture (mocap)**

Gli altri comportamenti dei personaggi sono stati definiti attraverso sequenze di animazione motion-capture (mocap). Diversi files di questo tipo vengono liberamente distribuiti sul web. Questo aspetto è stato particolarmente vantaggioso per la realizzazione di questo progetto. Le attrezzature di motion-capture necessarie per elaborare autonomamente questo tipo di dati, infatti, necessitano di sensori ottici molto costosi e delicati di cui non potevamo disporre. Abbiamo deciso di utilizzare dei mocap per due motivi. Il primo motivo è che questi files danno origine a movimenti più fluidi e naturali, quindi, caratterizzano il comportamento dei personaggi in maniera più realistica. Il secondo motivo è che utilizzando dei mocap è stato possibile concentrarsi maggiormente sull'elaborazione dei dettagli e caratterizzare meglio i movimenti per ogni personaggio.

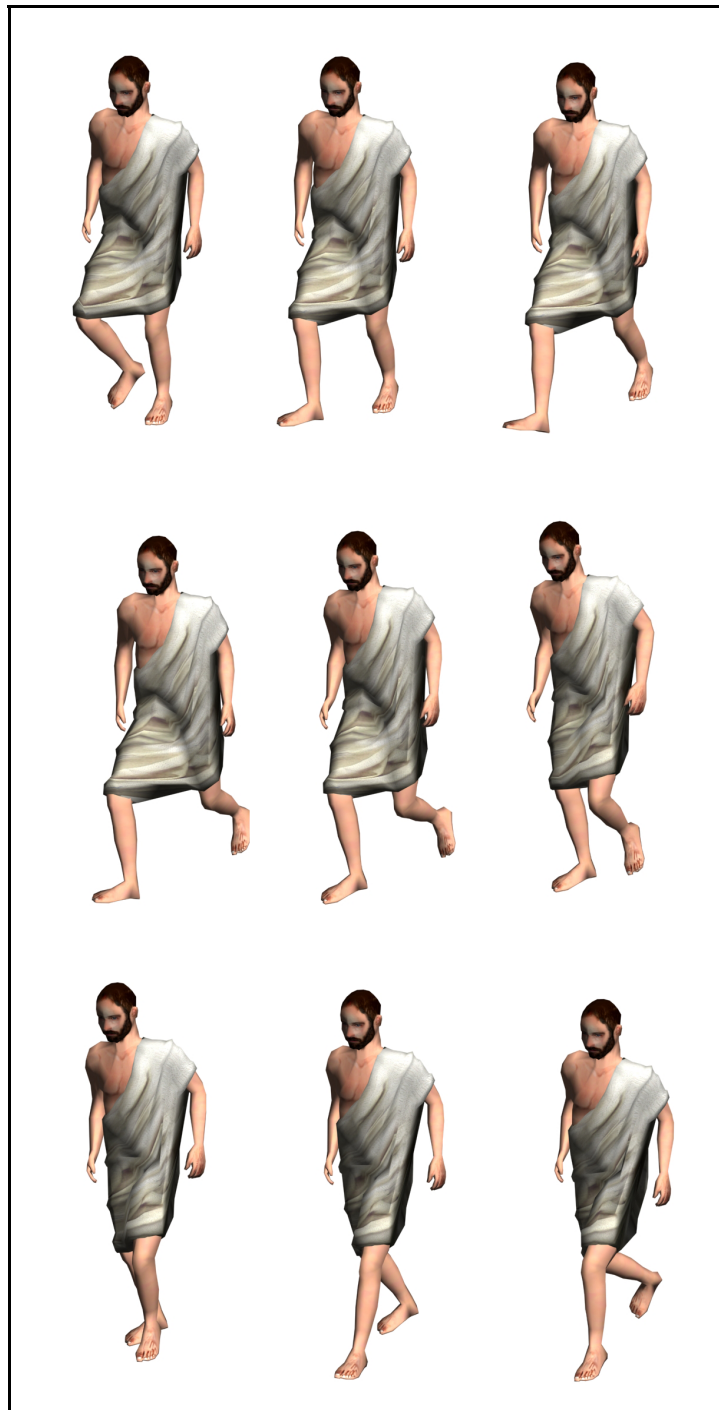
Character Studio permette di importare, come abbiamo già visto, i mocap in diversi formati. Tuttavia, questi files non sempre possono essere utilizzati direttamente. A volte è necessario rielaborarne i keyframes in modo da renderli più adatti ai modelli dei personaggi e, se necessario, creare cicli di movimento che possano essere esportati in formato BIP.

Nelle pagine successive abbiamo riportato delle immagini che rappresentano i keyframes di alcuni comportamenti realizzati tramite mocap. Il primo riguarda l'azione del parlare, particolarmente utile quando si ha la necessità di simulare una conversazione tra due o più umani virtuali. Dal momento che questi personaggi non hanno una struttura facciale animabile l'illusione del parlato è stata resa attraverso movimenti del capo (Figura 26). La seconda animazione riguarda una variante più caratterizzata ed espressiva dell'atto del camminare (Figura 27).

Nelle pagine seguenti abbiamo incluso delle illustrazioni contenenti una serie di keyframes che descrivono le animazioni ottenute attraverso l'uso di questi mocap. Per vedere le sequenze di animazione applicate agli altri personaggi rimandiamo il lettore al Capitolo 12.



*Figura 26. In questa sequenza di animazione, l'illusione che il personaggio stia parlando è data da leggeri ma decisi movimenti del capo.*



*Figura 27. Alcuni keyframes di una sequenza di deambulazione mocap. Si noti come il movimento sia caratterizzato da una certa flessione delle gambe.*

## **Capitolo 12**

### **Realizzazione dei modelli geometrici e dei comportamenti degli altri personaggi**

#### **12.1 Elaborazione dei modelli geometrici e dei comportamenti di base**

I personaggi presentati in questo capitolo sono alcuni esemplari del set di personaggi che sono stati creati a partire dai personaggi di base illustrati nei Capitoli 8 e 9. I modelli di base di sesso maschile e femminile sono stati modificati soprattutto attraverso la rielaborazione delle texture del volto e dei vestiti. Sono state, in questo modo, create varianti di questi personaggi che rappresentano individui grassi e anziani, con acconciature diverse e diversi colori degli indumenti. Nelle prossime pagine presenteremo delle immagini che rappresentano alcune di queste varianti ed i loro comportamenti. In particolare, nelle immagini che rappresentano i comportamenti, abbiamo collezionato alcuni dei keyframes più importanti che ne descrivono il movimento.

Come abbiamo visto nel Capitolo 11, i comportamenti sono stati definiti sia da animazioni elaborate manualmente che da mocap. Alcuni comportamenti assegnati a tipi specifici di personaggi, come nel caso dei soggetti anziani, sono stati modificati per rispecchiarne le caratteristiche fisiche in maniera più realistica. Per realizzare le modifiche nel modello geometrico sono stati utilizzati alcuni modificatori di 3ds Max come, ad esempio, FFD, Soft Deformation e strumenti

per la manipolazione dei sotto-livelli delle superfici poly. Le animazioni sono state elaborate con Character Studio in modalità freeform.

In tutto sono stati realizzati 15 personaggi, ognuno dei quali può manifestare 6 comportamenti diversi. Quattro di questi comportamenti sono costituiti da cicli di attesa, gli altri due corrispondono, invece, ad un ciclo di deambulazione lento e ad uno più rapido caratterizzato da un baricentro più basso ed una flessione maggiore delle ginocchia. Questa quantità di comportamenti è sufficiente a dare l'illusione di varietà che ci eravamo prefissati sia sotto profilo dell'aspetto dei personaggi che delle loro azioni.

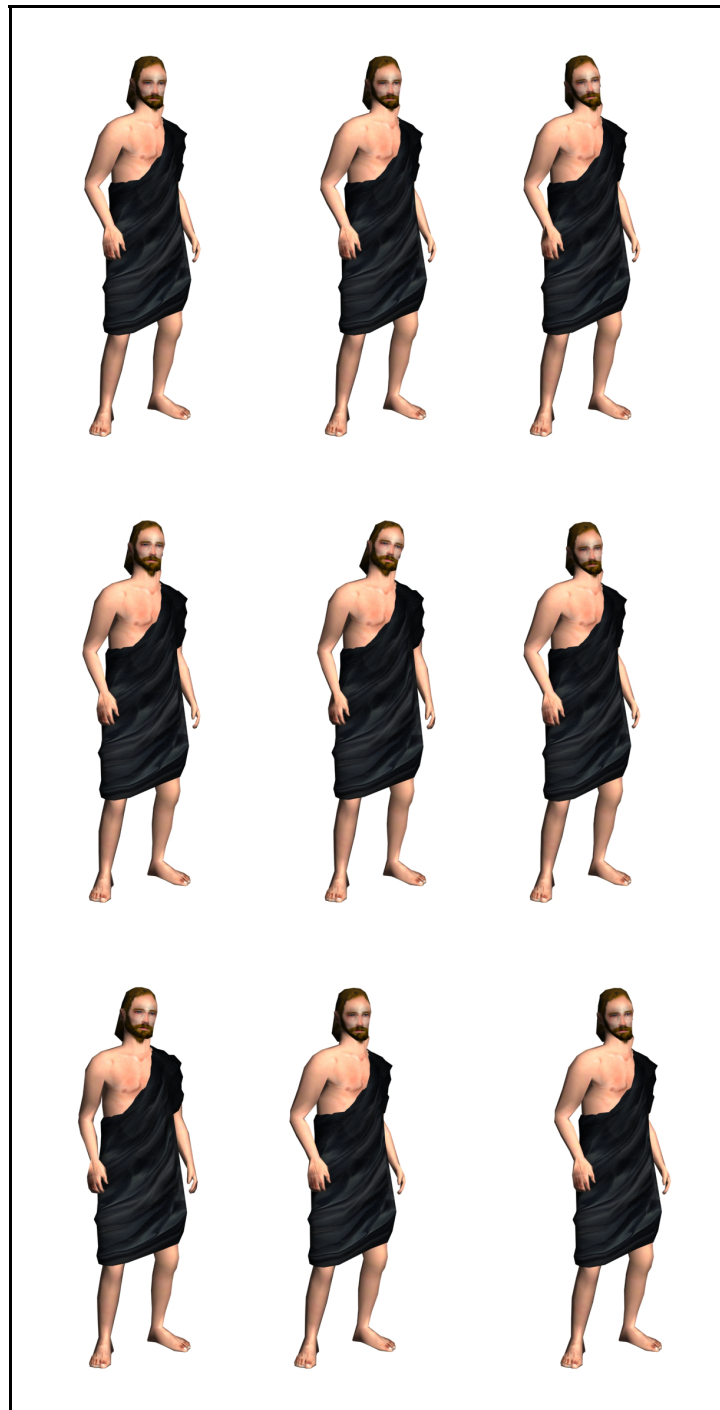
### ***12.1.1 personaggi di sesso maschile***

#### **12.1.1.1 Variante maschile numero 1**

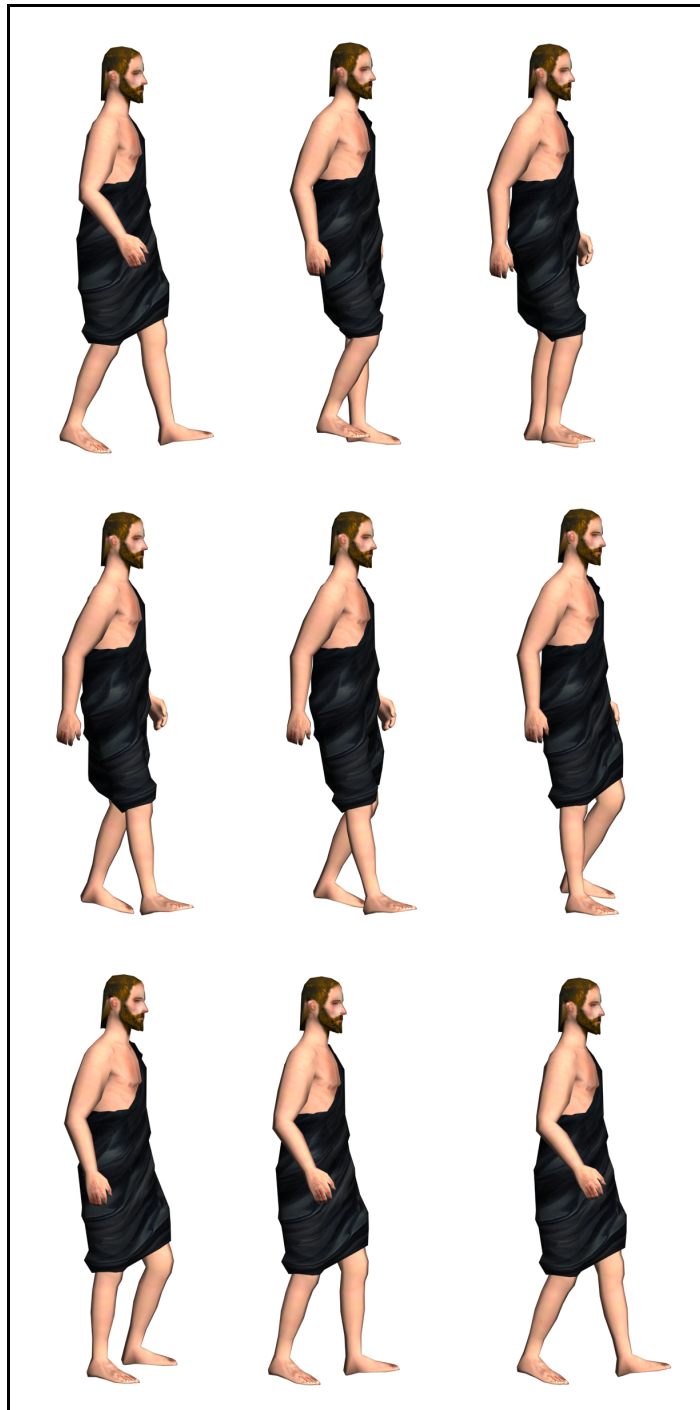
Questo personaggio è caratterizzato, rispetto al modello base dal quale è stato ricavato, da una diversa acconciatura dei capelli. L'hymation presenta una colorazione differente ottenuta modificando i parametri RGB della texture map (Figura 28).



*Figura 28. Variante numero 1 dell'uomo locrese.*



*Figura 29. Ciclo di animazione dell'attesa, da notare i leggeri spostamenti del capo che danno l'impressione che il personaggio stia parlando.*



*Figura 30. Ciclo di deambulazione. Vista laterale destra.*

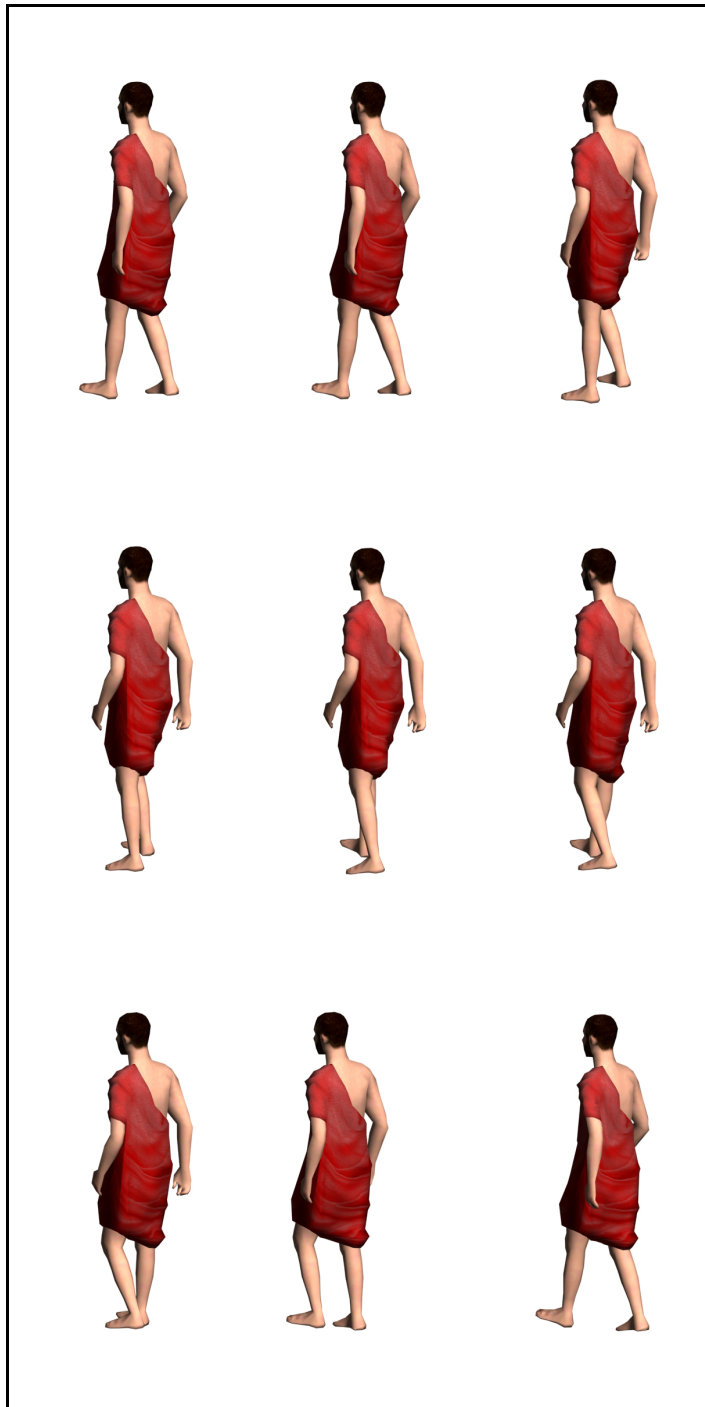
### 12.1.1.2 Variante maschile numero 2

Questo personaggio è caratterizzato principalmente da una diversa colorazione degli indumenti. In una delle illustrazioni che rappresenta uno dei suoi cicli di deambulazione ne viene riportata una variante realizzata tramite mocap (Figura 31). Questo ciclo di animazione si presenta più rapido ed è caratterizzato da una maggiore flessione degli arti.

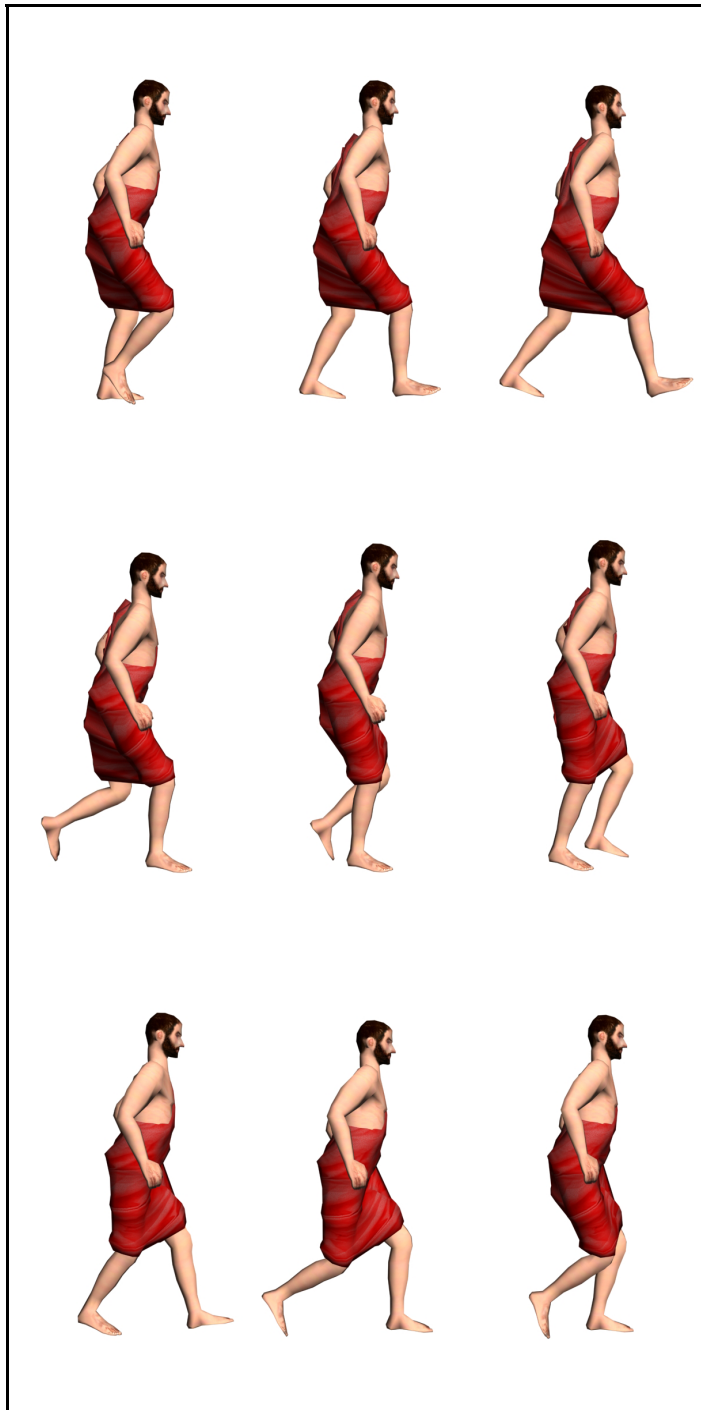


*Figura 31. Variante numero 2 del personaggio maschile.*





*Figura 32. Ciclo di deambulazione. Vista posteriore.*



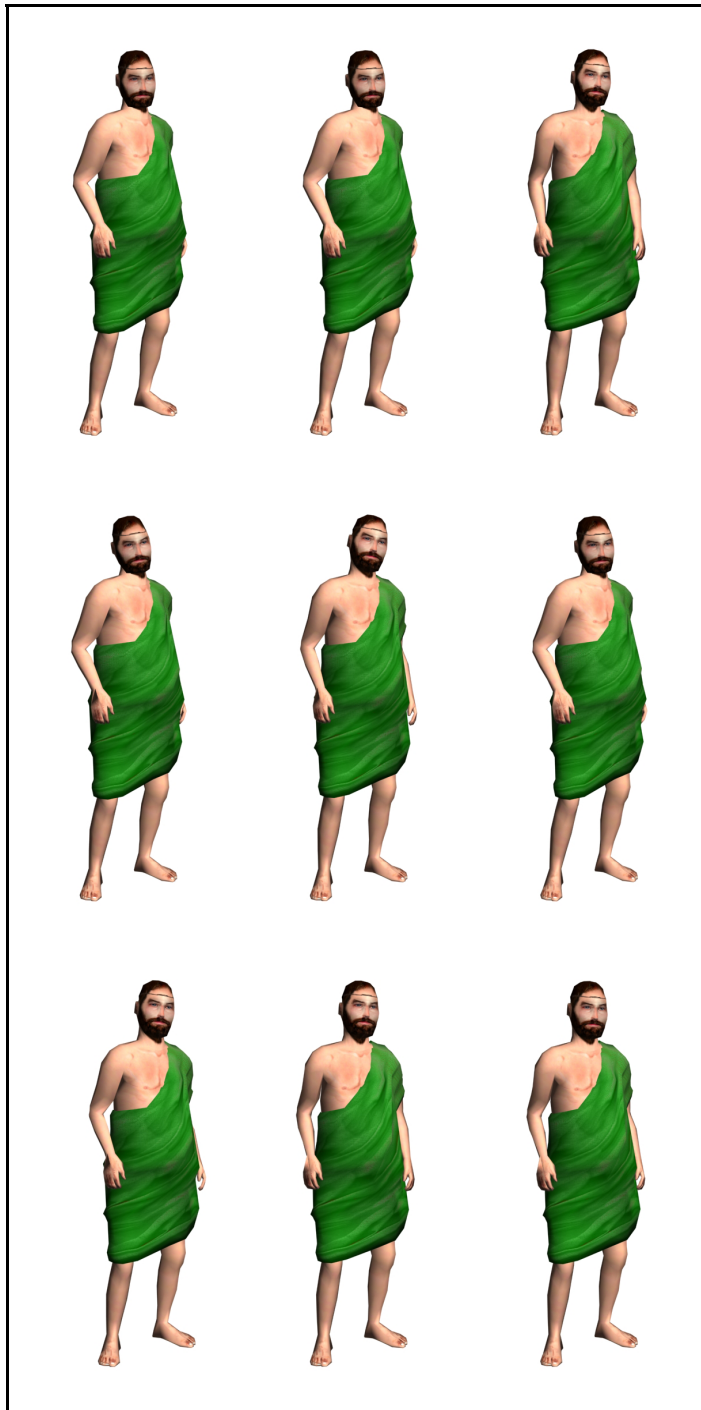
*Figura 33. Ciclo di deambulazione caratterizzato da movimenti rapidi e nervosi.*

### 12.1.1.3 Variante maschile numero 3

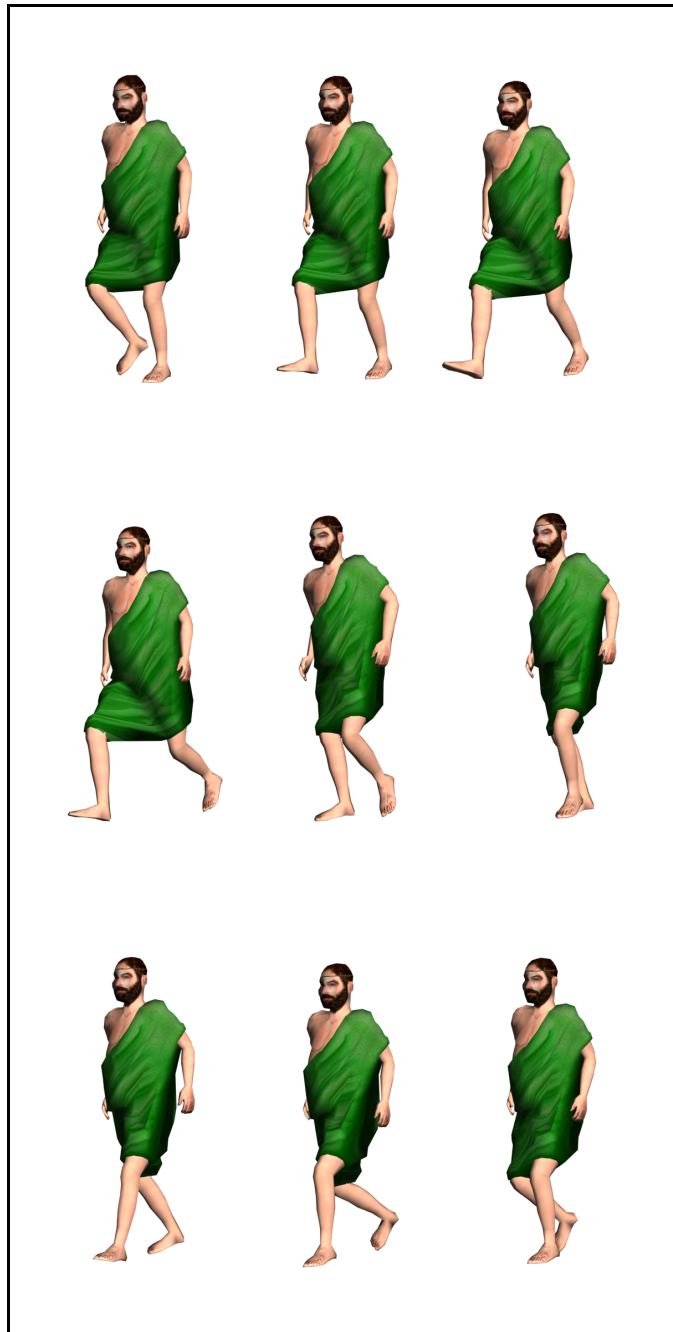
Questa variante del personaggio maschile rappresenta un personaggio di costituzione robusta con l'addome rigonfio e una fascia decorativa sulla fronte. Anche in questo caso, i colori degli indumenti sono stati variati (Figura 34).



*Figura 34. Variante numero 3 del personaggio maschile.*



*Figura 35. Ciclo di attesa e di 'conversazione'.*



*Figura 36. Ciclo di deambulazione. È interessante notare come i movimenti di questa sequenza vengano caratterizzati da un personaggio dalla corporatura robusta.*

## ***12.1.2 personaggi di sesso femminile***

### **12.1.2.1 Variante femminile numero 1**

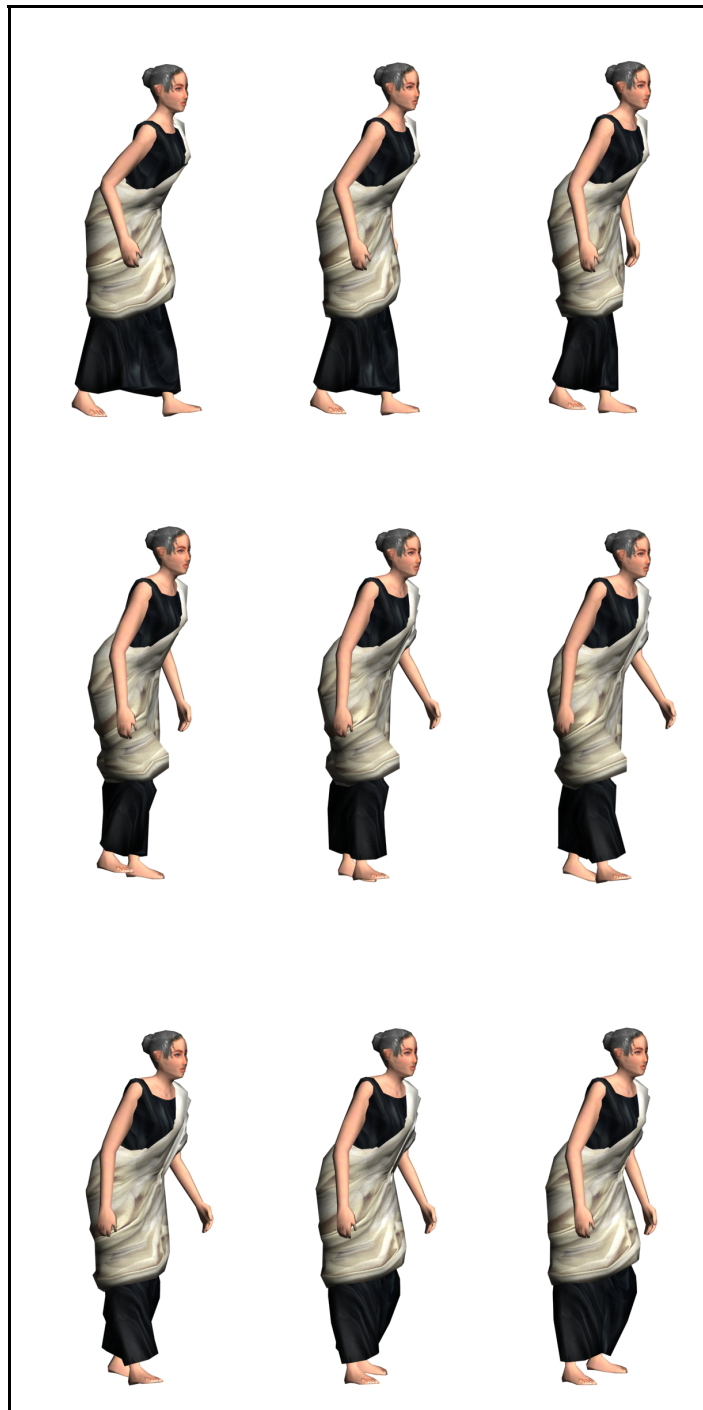
In questa sezione, abbiamo collezionato una serie di illustrazioni che rappresentano alcune varianti del personaggio femminile di base e dei suoi comportamenti. La variante numero 1 rappresenta una donna non più giovane. Questo modello è stato elaborato modificando il colore dei capelli e la rugosità della pelle del personaggio base (Figura 37).



***Figura 37. Variante numero 1 del personaggio femminile. Donna anziana.***



*Figura 38. Ciclo di animazione dell'attesa, i leggeri spostamenti del capo e delle braccia danno l'impressione che il personaggio parli e gesticoli.*



*Figura 39. Ciclo di deambulazione adattato al modello di un personaggio anziano. Il movimento è caratterizzato da una forte curvatura della schiena.*



### 12.1.2.2 Variante femminile numero 2

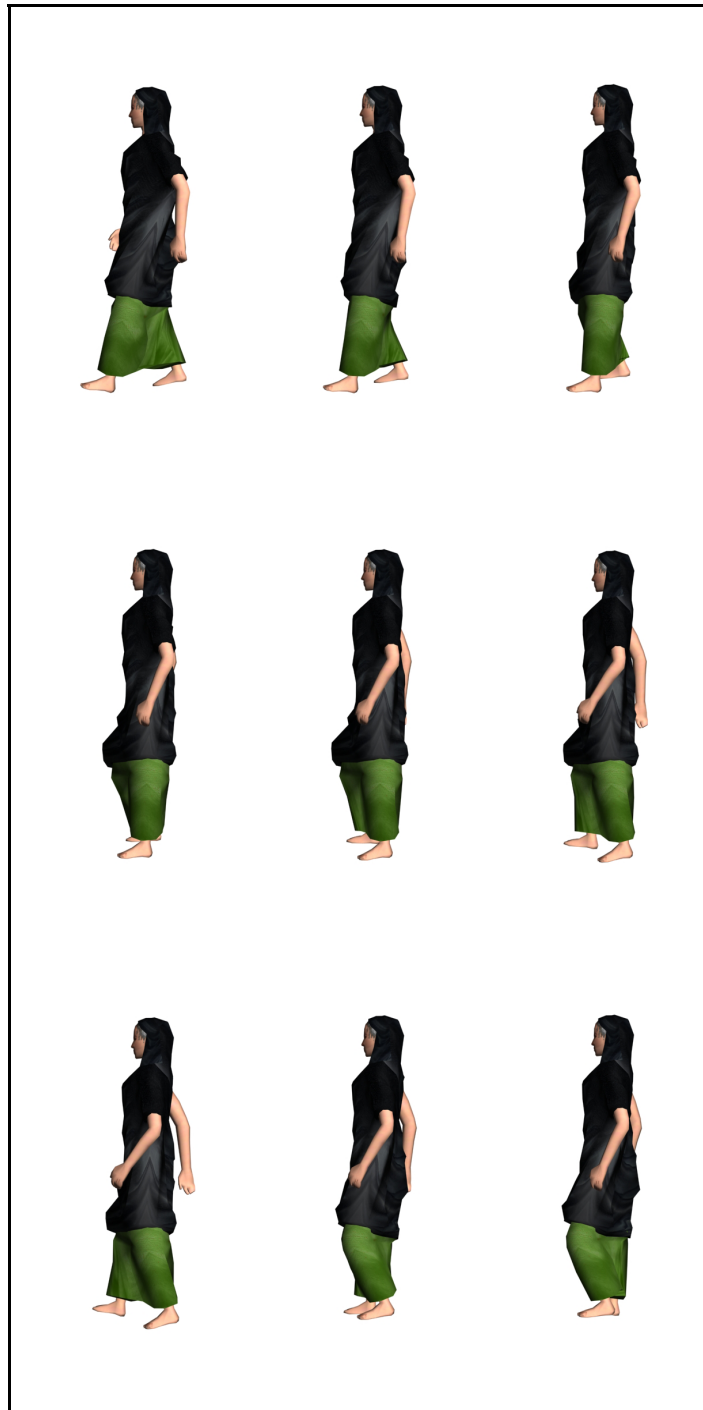
Questa variante del personaggio femminile rappresenta una giovane donna. L'hymation è stato sollevato sul capo. Anche in questo caso il colore degli indumenti e dei capelli è stato modificato. Il personaggio non porta ornamenti sulla fronte (Figura 40).



*Figura 40. Variante numero 2 del personaggio femminile.*



*Figura 41. Ciclo di animazione dell'attesa applicato alla variante numero 2 del personaggio femminile.*



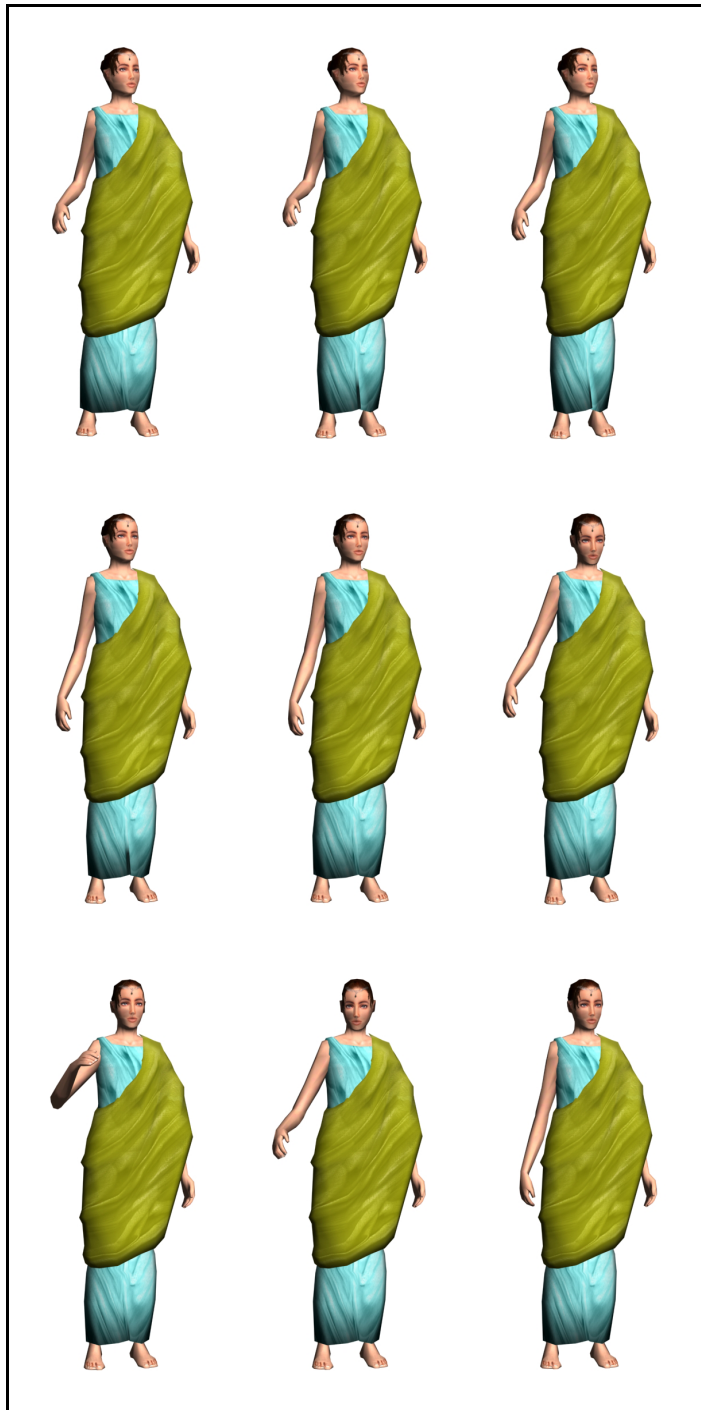
*Figura 42. Ciclo di deambulazione, vista laterale sinistra.*

### 12.1.2.3 Variante femminile numero 3

La fronte di questo personaggio è ornata da un diadema. Inoltre, questa variante del personaggio femminile presenta un'acconciatura che mette in mostra un chignon e alcune ciocche di capelli che ricadono sulla fronte. Il capo è stato ornato con un diadema (Figura 43).



*Figura 43. Variante numero 3 del personaggio.*



*Figura 44. Alcuni keyframes del comportamento dell'attesa.*



*Figura 45. Ciclo di deambulazione. Vista di scorcio.*

## **Capitolo 13**

### **Integrazione dei personaggi nello scenario virtuale**

#### **13.1 Conclusione del progetto di realizzazione dei personaggi e analisi dei risultati.**

Utilizzare mondi virtuali nell'ambito dei Beni Culturali rappresenta un'opportunità unica di rappresentare con accuratezza storica siti archeologici di grande rilevanza culturale.

L'uso di queste tecnologie permette, inoltre, di creare opportunità di collaborazione tra storici, archeologi, designer e programmatori. Mentre molte attuali soluzioni si concentrano sulla pura ricostruzione di elementi architettonici, noi abbiamo giudicato importante riprodurre e preservare anche la vita e i rapporti sociali delle persone che li popolavano.

Una volta completata la fase di realizzazione dei modelli geometrici dei personaggi e dei loro comportamenti abbiamo proseguito con l'elaborazione di una serie di files formato FBX. Questo è un formato proprietario di Autodesk, la software house che commercializza 3ds Max. Il formato FBX è stato creato per favorire l'interoperabilità dei files generati da 3ds Max con altre applicazioni di grafica 3D.

In particolare, ai fini di questo progetto, l'adozione di questo formato è stata necessaria per poter rielaborare modelli ed animazioni dei personaggi con Unity.

Questa, come abbiamo precedentemente accennato, è la piattaforma di sviluppo software selezionata per realizzare l'applicazione 3D prevista dal progetto NetConnect. La realizzazione finale di tale sistema di navigazione virtuale è stata effettuata dalla Fondazione Graphitech di Trento in collaborazione con il gruppo di ricerca ESG dell'Università della Calabria.

Secondo i test effettuati su un vasto numero di utenti, i contenuti 3D relativi ai personaggi ed alle folle della ricostruzione virtuale di Locri antica sono stati più che adatti allo scopo che ci si era prefissato. Questo scopo era di favorire e rendere più naturale la navigazione degli ambienti 3D attraverso l'uso di umani virtuali. Inoltre l'uso di questi personaggi doveva aumentare le capacità didattiche del sistema e rendere più piacevole la fruizione dei contenuti multimediali. Ci sembra che questo obiettivo sia stato perfettamente raggiunto.

Attraverso l'uso di tecnologie di VR abbiamo dimostrato che dei siti archeologici possono essere popolati da umani virtuali che imitano le azioni e i comportamenti nonché l'aspetto di antiche civiltà. Abbiamo inoltre dimostrato come non sempre siano necessari degli agenti autonomi e meccanismi di intelligenza artificiale per simulare la vita e la sua complessità. A volte questo fenomeno può essere creato illusoriamente, ma non meno efficacemente, attraverso comportamenti prestabiliti e predeterminati. Infine, abbiamo potuto verificare come la percezione della varietà in una folla virtuale possa essere raggiunta con pochi elementi visuali progettati e combinati in maniera opportuna. Nelle prossime pagine sono state rappresentate delle immagini di alcune scene della ricostruzione virtuale di Locri. Gli umani virtuali che popolano questi immagini dimostrano visivamente ed in maniera immediata l'efficacia dei risultati ottenuti (Figure 46-49).





*Figura 46. Ricostruzione 3D della città magno greca di Locri, cortile interno della Stoa'. Sono visibili le bancarelle del mercato.*



*Figura 47. Bancarella del venditore di pesce.*



*Figura 48. Cortile interno dell'Agora', centro della città. Folla di cittadini e bestiame.*



*Figura 48. Cortile interno dell'Agora'. Gruppo di abitanti che discutono.*

## Bibliografia

- [1] Lee WS, Magnenat-Thalmann N (1998) *Head Modeling from Pictures and Morphing in 3-D with Image Metamorphosis Based on Triangulation*. Atti del convegno Captech 1998 (Modeling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments). Springer LNAI LNCS Press, pp. 254–267.
- [2] Verroust A, Lazarus F (1999) *Extracting Skeletal Curves from 3-D Scattered Data*. In Shape Modeling International, Aizu Wakamatsu.
- [3] Thalmann D, Magnenat-Thalmann N (2004) *Handbook of Virtual Humans*. Wiley, Hoboken, NJ, USA.
- [4] Lee W, Magnenat-Thalmann N (2000) *Fast Head Modeling for Animation*. Journal of Image and Vision Computing, vol. 18, pp. 355–364.
- [5] Starck J, Hilton A (2002) *Reconstruction of Animated Models from Images Using Constrained Deformable Surfaces*. In Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery, Bordeaux, France, Springer-Verlag, pp. 382–391.
- [6] Plankers R, Fua P (2003) *Articulated Soft Objects for Multi-View Shape and Motion Capture*. Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- [7] Ekman P, Friesen WV (1978) *Facial Action Coding System, Investigator's Guide Part II*. Consulting Psychologists Press Inc.
- [8] Magnenat-Thalmann N, Thalmann D (1987) *The Direction of Synthetic Actors in the Film Rendez-vous in Montreal*. In IEEE Computer Graphics and Applications, IEEE Computer Society Press, vol. 7, pp. 9–19.
- [9] Thalmann D, Shen J, Chauvineau E (1996) *Fast Realistic Human Body Deformations for Animation and VR Applications*. Computer Graphics International 1996, Pohang, Korea.
- [10] Allen B, Curless B, Popovich Z (2002) *Articulated Body Deformation from Range Scan Data*. Atti del convegno SIGGRAPH 2002, Addison-Wesley, pp.

612–619.

[11] Leclercq A, Akkouche S, Galin E (2001) *Mixing Triangle Meshes and Implicit Surfaces in Character Animation*. Animation and Simulation 2001 (Atti del convegno 12th Eurographics Workshop), Manchester, pp. 37–47.

[12] Gascuel MP, Verroust A, Puech C (1991) *A Modeling System for Complex Deformable Bodies Suited to Animation and Collision Processing*. The Journal of Visualization and Computer Animation, vol. 2, pp. 82–91.

[13] Hirota G, Fisher S, State A, Lee C, Fuchs H (2001) *An Implicit Finite Element Method for Elastic Solids in Contact*. Atti del convegno Computer Animation 2001, Seoul.

[14] Wilhelms J, van Gelder A (1997) *Anatomically Based Modeling*. Computer Graphics (Atti del convegno SIGGRAPH 1997), pp. 173–180.

[15] Aubel A (2002) *Anatomically-Based Human Body Deformations*. Tesi di PhD, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne.

[16] Hirota G, Fisher S, State A, Lee C, Fuchs H (2001) *An Implicit Finite Element Method for Elastic Solids in Contact*. Atti del convegno Computer Animation 2001, Seoul.

[17] Ng-Thow-Hing V (2000) *Anatomically-Based Models for Physical and Geometric Reconstruction of Humans and Other Animals*. Tesi di PhD, Department of Computer Science, University of Toronto.

[18] Daldegan A, Magnenat-Thalmann N (1993) *Creating Virtual Fur and Hair Styles for Synthetic Actors*, in Magnenat-Thalmann N, Thalmann D. (eds) *Communicating with Virtual Worlds*. Springer-Verlag.

[19] Yan XD, Xu Z, Yang J, Wang T (1999) *The Cluster Hair Model*. Journal of Graphics Models and Image Processing, Academic Press.

[20] Perlin K, Hoffert EM (1989) *Hypertexture*. In Computer Graphics (Atti del convegno SIGGRAPH 1989), vol. 23 pp. 253–262.

[21] Hadap S, Magnenat-Thalmann N (2000) *Interactive Hair Styler based on*

*Fluid Flow*. Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation 2000.

[22] Rosenblum R, Carlson W, Tripp E (1991) *Simulating the Structure and Dynamics of Human Hair: Modeling, Rendering and Animation*. Journal of Visualization and Computer Animation, vol. 2, pp. 141–148.

[23] Kurihara T, Anjyo K, Thalmann D (1993). *Hair Animation with Collision Detection*. In *Models and Techniques in Computer Animation*. Springer-Verlag, pp. 128–138.

[24] Hadap S, Magnenat-Thalmann N (2001) *Modeling Dynamic Hair as a Continuum*. Computer Graphics Forum, vol. 20, Eurographics 2001 Proceedings, Manchester, United Kingdom, pp. 329–338.

[25] Kajiya J, Kay T (1989) *Rendering Fur with Three Dimensional Textures*. Atti del convegno SIGGRAPH 1989, ACM Press, vol. 23, pp. 271–280.

[26] Kong W, Nakajima M (1999) *Visible Volume Buffer for Efficient Hair Expression and Shadow Generation*. Atti del convegno Computer Animation 1999, IEEE Computer Society. IEEE Press.

[27] Yan XD, Xu Z, Yang J, Wang T (1999) *The Cluster Hair Model*. Journal of Graphics Models and Image Processing, Academic Press.

[28] Terzopoulos D, Platt JC, Barr H (1987) *Elastically Deformable Models*. Computer Graphics (Atti del convegno SIGGRAPH 1987). Addison-Wesley, vol. 21, pp. 205–214.

[29] Carignan M., Yang Y, Magnenat-Thalmann N, Thalmann D (1992) *Dressing Animated Synthetic Actors with Complex Deformable Clothes*. Computer Graphics (Atti del convegno SIGGRAPH 1992), Addison-Wesley, vol. 26, pp. 99–104.

[30] Baraff D, Witkin A (1998) *Large Steps in Cloth Simulation*. Computer Graphics (Atti del convegno SIGGRAPH 1998). Addison-Wesley, 32, pp. 106–117.

- [31] Volino P, Magnenat-Thalmann N (2000) *Accurate Collision Response on Polygonal Meshes*. Atti del convegno Computer Animation 2000.
- [32] Litwinowicz P, Lance W (1994) *Animating Images with Drawings*. Atti del convegno SIGGRAPH 1994, pp. 409–412.
- [33] Stam J (2001) *An Illumination Model for a Skin Layer Bounded by Rough Surfaces*. Atti del convegno 12th Eurographics Workshop on Rendering 2001, pp. 39–52.
- [34] Ekman P (1982) *Emotion in the Human Face*. Cambridge University Press.
- [35] Faigin G (1990) *The Artist's Complete Guide to Facial Expression*. Watson Guptill Publications.
- [36] Perlin K, Goldberg A (1996) *Improv: A System for Scripting Interactive Actors in Virtual Worlds*. Atti del convegno SIGGRAPH 1996, pp. 205–216.
- [37] Kshirsagar S, Guye-Vuilleme A, Kamyab K, Magnenat-Thalmann, N, Thalmann D., Mamdani, E (2002) *Avatar Markup language*. Atti del convegno 8th Eurographics Workshop on Virtual Environments, ACM Press, pp. 169–177.
- [38] Carolis BD, Carofiglio V, Pelachaud C (2002) *From Discourse Plans to Believable Behavior Generation*. Atti del convegno Second International Natural Language Generation Conference. ACM Press, pp. 65–72.
- [39] Yamamoto E, Nakamura S, Shikano K (1998) *Lip Movement Synthesis from Speech Based on Hidden Markov Models*. Speech Communication, Elsevier Science, vol. 1, pp. 105–115.
- [40] Ortony A, Clore GL, Collins A (1988) *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.
- [41] McCrae RR., John OP (1992) *An Introduction to the Five-Factor Model and its Applications. Special Issue: The Five-Factor Model, Issues and Applications*. Journal of Personality vol. 60, pp. 175–215.
- [42] Digman JM (1990) *Personality Structure: Emergence of the Five Factor Model*. Annual Review of Psychology, vol. 41, pp. 417–440.

- [43] Andre E, Klesen M, Gebhard P, Allen S, Rist T (1999) *Integrating models of personality and emotions into lifelike characters*. Atti del convegno Workshop on Affect in Interactions: Towards a New Generation of Interfaces in Conjunction with the 3<sup>rd</sup> Annual Conference, Siena, Italy, October 1999, pp. 136–149.
- [44] Magnenat-Thalmann N, Kshirsagar S (2000) *Communicating with Autonomous Virtual Humans*. Atti del convegno Seventeenth TWENTE Workshop on Language Technology, Enschede, Universiteit Twente, October 2000, pp. 1–8.
- [45] Badler NI, Phillips CB, Webber BL (1999) *Simulating Humans: Computer Graphics, Animation, and Control*. University of Pennsylvania, Oxford University Press, March.
- [46] Monzani JS, Caicedo A, Thalmann D (2001) *Integrating Behavioral Animation Techniques*. Atti del convegno Eurographics, Manchester, vol. 20, issue 3.
- [47] Carley KM, Newell C (1994) *The Nature of the Social Agent*. Journal of Mathematical Sociology, vol. 19(4), pp. 221–262.
- [48] Bates J (1994) *The Role of Emotion in Believable Agents*. Communications of the ACM, vol. 37(7), 122–125.
- [49] Sengers P (1997) *Socially Intelligent Agent-Building*. Atti del convegno AAAI-97 Workshop on Socially Intelligent Agents. Menlo Park CA.
- [50] Guye-Vuilleme A, Thalmann D (2000) *A High-Level Architecture for Believable Social Agents*. Virtual Reality, vol. 1, pp. 95–106.
- [51] Freund E, Rossmann J (1999) *Projective Virtual Reality: Bridging the Gap between Virtual Reality and Robotics*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 15, pp. 475–485.
- [52] Maes P, Darrell T, Blumberg B, Pentland A (1995) *The ALIVE System: Full-body Interaction with Autonomous Agents*. Atti del convegno Computer Animation 1995. Geneva, Switzerland, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, pp. 11–18.

- [53] Davis JW, Bobick A (1998) *A Robust Human-Silhouette Extraction Technique for Interactive Virtual Environments*. In M. Thalmann N, Thalmann D (eds) *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, No. 1537, ‘Modeling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments’, International Workshop CAPTECH 1998, Geneva, Switzerland. Springer, pp. 12–25.
- [54] Thorisson KR (1997) *Gandalf: An Embodied Humanoid Capable of Real-Time Multimodal Dialogue with People*. In First ACM Conf. on Autonomous Agents 1997, Los Angeles – Marina Del Rey, pp. 536–537.
- [55] Danks M, Goodchild M, Rodriguez-Echavarria K, Arnold DB, and Griffiths R (2007) *Interactive storytelling and gaming environments for museums: the interactive storytelling exhibition project*. In *Technologies for E-learning and digital entertainment*, Second International Conference, Edutainment 2007, Hong Kong, China, June 11-13, 2007. Springer, Berlin, Germany, pp. 104-115.
- [56] De Heras Ciechomski P, Ulicny B, Cetre R, Thalmann D (2004) *A case study of a virtual audience in a reconstruction of an ancient Roman odeon in Aphrodisias*. Presented at The 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage, Belgium, 7-10 December.
- [57] Arnold D, Day A, Glauert J, Haegler S, Jennings V, Kevelham B, Laycock R, Magnenat-Thalmann N, Maïm J, Maupu D, Papagiannakis G, Thalmann D, Barbara Yersin K, Rodriguez-Echavarria (2008) *Tools for Populating Cultural Heritage*. *Atti del convegno EPOCH Conference on Open Digital Cultural Heritage Systems*, Arnold D, Niccolucci F, Pletinckx D, Van Gool (Editors).
- [58] Kathi M, Hyeong-Seok K (2009) *Virtual Historic Costume across Cultures and Disciplines*. *Virtual Systems and MultiMedia*, International Conference on, 15th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, 2009, pp. 104-108.
- [59] Bogdanovych A, Cohen A, Roper M (2009) *The City of Uruk Institutions in Cultural Heritage*. In HCSNet 2009, Workshop on Interacting with Intelligent



Virtual Characters, Sidney, Australia.

[60] Bertacchini PA, Beusing R, Bursche A, Conti G, De Amicis R, Etz M, Holweg D, Linaza MT, Maver T, Posluschny A, Pritchard D, Sievers S, Tavernise A (2007) *NetConnect Connecting European Culture Through New Technology*. Atti del convegno EVA London 2007 Conference, Londra (UK), 11-13 Luglio, Londra, pp. 36.1-36.11.

[61] Forti L, Stazio A (1983) *Vita quotidiana dei Greci d'Italia*. In Carratelli, Pugliese G (a cura di) *Megale Hellas, Storia e Civiltà della Magna Grecia*, pp. 643-711.

[62] Barra bagnasco M (1989) *Aspetti di vita quotidiana a Locri Epizefiri, Abbigliamento e acconciature*. In Barra Bagnasco M (a cura di) *Locri Epizefiri III, Cultura materiale e vita quotidiana*, pp 21-24.

[63] Forti L (1988) *La vita quotidiana*. In Pugliese Carratelli G (a cura di) *Magna Grecia - Vita religiosa e cultura letteraria, filosofica e scientifica*, pp. 285-326.

## Indirizzi Internet

(http:: ananova) <http://www.ananova.com/>

(http:: projectstar) <http://vrlab.epfl.ch/Projects/star.html>

(http:: starwars) <http://www.starwars.com/>

(http:: lordoftherings) <http://www.lordoftherings.net/>

(http:: massive) <http://www.massivesoftware.com/>

(http:: quake) <http://www.quake.com/>

(http:: tombraider) <http://www.tombraider.com/>

(http:: starcraft2) <http://www.starcraft2.com/>

(http:: everquest2) <http://everquest2.station.sony.com/>

(http:: asheron) <http://ac.turbine.com/>  
(http:: wow) <http://www.worldofwarcraft.com/>  
(http:: thesims) <http://thesims.ea.com/>  
(http:: spore) <http://www.spore.com/>  
(http:: zbrush) <http://www.pixologic.com/>  
(http:: creatures) [http://www.gamewaredevelopment.co.uk/creatures\\_index.php](http://www.gamewaredevelopment.co.uk/creatures_index.php)  
(http:: darkknight) <http://thedarkknight.warnerbros.com/>  
(http:: photoshop) <http://www.adobe.com/it/products/photoshop/photoshop/>  
(http:: alienskin) <http://www.alienskin.com/>  
(http:: flamingpear) <http://www.flamingpear.com/>  
(http:: h-anim) <http://www.h-anim.org/>  
(http:: autodesk) <http://usa.autodesk.com/>  
(http:: vhtml) <http://www.vhtml.org/>  
(http:: festival) <http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/>  
(http:: verbmobil) <http://verbmobil.dfki.de/overview-us.html>  
(http:: miralab) <http://www.miralab.unige.ch/>  
(http:: nintendo) <http://www.nintendo.com/>  
(http:: gandalf) <http://alumni.media.mit.edu/~kris/gandalf.html>  
(http:: legion) <http://legionsoftware.com/>  
(http:: epoch) <http://www.epoch-net.org/>  
(http:: esg) <http://galileo.cincom.unical.it/>  
(http:: graphitech) <http://www.graphitech.it/>  
(http:: netconnect) <http://www.netconnect-project.eu/>  
(http:: unity) <http://unity3d.com/>