

DIPARTIMENTO DI RILIEVO, ANALISI E DISEGNO DELL'AMBIENTE E DELL'ARCHITETTURA  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"

# INTERAZIONE TRA DISEGNO E ARCHITETTURA DIGITALE

DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E  
RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE  
XVIII CICLO

Dottorando: Alfonso Ippolito  
Tutor: Prof. Arch. Mario Dozzi



*a mia madre*



DIPARTIMENTO DI RILIEVO, ANALISI E DISEGNO DELL'AMBIENTE E DELL'ARCHITETTURA  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"

# INTERAZIONE TRA DISEGNO E ARCHITETTURA DIGITALE

DOTTORATO DI RICERCA IN RILIEVO E  
RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA E DELL'AMBIENTE  
XVIII CICLO

Dottorando: Alfonso Ippolito  
Tutor: Prof.Arch. Mario Docci

## INDICE

Introduzione p.7

Capitolo 1 p.17

### **Nascita e problematiche dell'architettura digitale**

*Termini del problema e analisi del nuovo panorama*

*Nuove Metodologie*

Capitolo 2 p.45

### **Analisi dello stato di fatto**

*Il disegno di progetto*

*Differenze*

*Guidati dal computer*

#### ***Nuove metodologie: alcuni protagonisti***

*Karl S. Chu*

*NOX*

*Greg Lynn (Form)*

*Marcos Novak*

*Hani Rashid e Lise Anne Couture*

*(Asymptote Architecture)*

*Marcos Lutyens e Tania Lopez Winkler*

*dECOi*

*Peter Eisenman*

*Frank Owen Gehry*

Capitolo 3 p.93

### **Modellazione Tridimensionale**

*Cenni storici sulla Topologia*

*Cenni sulla Topologia*

*Dalla Topologia all'Architettura*

*Computer Grafica*

Capitolo 4	p.111	<i>Registrazione o allineamento</i>	
<b>La rappresentazione delle superfici</b>		<i>Fusione</i>	
<i>Curve e Superfici - Cenni storici</i>		<i>Editing</i>	
<i>Curve e Superfici - Modellazione</i>		<i>Elaborazione dei dati e analisi di varie metodologie</i>	
<i>La Rappresentazione Poligonale</i>			
<i>Curve e superfici</i>		Capitolo 7	p.233
<i>Curve Parametriche</i>		<b>Caso di studio:</b>	
<i>Curve di Bézier</i>		<b>La Città della scienza</b>	
<i>Curve di Bézier razionali</i>		<b>di Massimo Pica Ciamarra</b>	
<i>Curve Spline</i>		<i>Descrizione della struttura (dati essenziali del progetto)</i>	
<i>Curve B-Spline</i>		<i>Descrizione della struttura (architettura e disegno urbano)</i>	
<i>Curve Non Uniform B-Spline</i>		<i>Descrizione della struttura (logiche di sostenibilità)</i>	
 		<i>Elaborazione dei dati</i>	
<i>Superfici</i>			
<i>Superfici di Bézier</i>			
<i>Superfici NURBS</i>			
<i>Geometria solida costruttiva</i>			
Capitolo 5	p.143	Capitolo 8	p.267
<b>Nuove Metodologie Progettuali</b>		<b>Conclusioni</b>	
<i>Definizione della forma del volume</i>			
<i>Aided Technology - CAD come fase progettuale</i>		<b>Bibliografia</b>	p.273
<i>Strumenti per la progettazione virtuale</i>			
<i>Dal modello virtuale alla forma generata</i>			
<i>Rapid Prototyping</i>			
<i>Reverse Modelling o meglio il progetto attraverso il rilievo</i>			
<i>Miran Gallery (dECOi)</i>			
<i>BMW bubble (Franken &gt;&lt; architekten )</i>			
<i>Emp (Frank Owen Gerhy)</i>			
<i>Elaborazioni e analisi di varie metodologie</i>			
Capitolo 6	p.199		
<b>Applicazione del Reverse Modelling e individuazione dei limiti</b>			
<i>Sistemi di acquisizione non a contatto</i>			
<i>Sensori 3D attivi</i>			
<i>Sensori 3D attivi</i>			
<i>Progetto di presa con i sensori 3D attivi</i>			
<i>Acquisizione dei dati</i>			
<i>Elaborazione della nuvola di punti</i>			



# INTRODUZIONE



E' ormai consolidato in ognuno di noi l'uso del mezzo informatico utilizzato nell'archiviazione, nella comunicazione e nella rappresentazione degli oggetti, grazie alla possibilità continua di poter archiviare e allo stesso tempo modificare tutte le realtà da noi inizialmente immaginate e poi concretizzate sul nostro hard disk e rappresentate sul nostro monitor.

Il diffondersi della cultura informatica è stato favorito e potenziato dall'incessante evolversi tanto delle tecnologie che riguardano l'hardware, che continuamente implementano le potenzialità di elaborazione dei dati e quindi la velocità di elaborazione degli stessi, quanto delle sempre più sofisticate performance dei software, progressivamente e rapidamente migliorati sia per quanto riguarda le operazioni che per quanto riguarda la gestione dei dati. I computer diventano sempre più potenti e performanti e in grado di gestire maggiori quantità di dati; mentre i software diventano sempre più user-friendly e quindi sempre più semplici da utilizzare e tuttavia in grado di offrire una gamma di possibilità operative sempre più sofisticata.

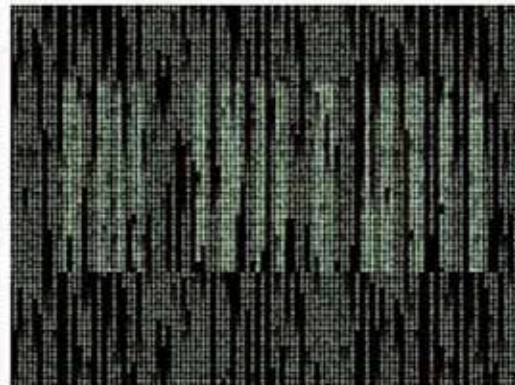
Tutto ciò, naturalmente, ha avuto fortissime ripercussioni nel mondo dell'architettura, soprattutto in questi ultimi venti anni.

L'uso del computer è diventato sempre più generalizzato: è entrato in ogni studio professionale, dal più piccolo al più grande, è dive-

nuto immediato strumento di dialogo e di rappresentazione per gli studenti, e allo stesso tempo, date le possibilità che offre di ottimizzare il controllo di tutti gli aspetti procedurali, è diventato parte integrante di qualunque disciplina architettonica, tanto che ormai si parla sempre più spesso di virtualizzazione della realtà, di simulazione, di architettura digitale. Il dato più rilevante, infatti, nell'ambito sia della cultura che delle professioni architettoniche, è che il computer diventa sempre più presente nella fase progettuale; se inizialmente veniva utilizzato, nella maggior parte dei casi, come un supporto per la stesura e il controllo degli elaborati, quasi come un tavolo da disegno informatico, oggi in misura sempre crescente diventa un mezzo per concettualizzare, pensare, immaginare, proiettare, rappresentare tutto ciò che concerne architettura. Il computer non è più soltanto uno strumento pratico "ex post", finalizzato ad una più rapida e più precisa rappresentazione grafica di un progetto architettonico precedentemente concepito ed elaborato, ma accompagna tutta la fase progettuale, dal primo momento ideativo, finendo persino per "collaborare" con l'architetto nella costruzione del progetto: non più supporto soltanto operativo, ma in qualche mondo e in una certa misura anche "creativo". Negli ultimi anni gli architetti si sono rapidamente impadroniti



01



03



04

1 Nox, Maison Folie, Lille, 2003. Foto della realizzazione.

2 Locandina e scena del film Disney "Tron" 1982. Tra i primi film dove

appare un rapporto diretto tra uomo e computer.

3 Immagine dal film Matrix, 1999 che rappresenta la rete.

4 Un moderno studio di architettura (Studio Foster e Associati, Londra). L'uso del computer è entrato in maniera massiva a far parte del lavoro dell'ar-

chitetto.

delle potenzialità e delle risorse offerte dal digitale, benché spesso non nate specificatamente per l'utilizzo nel campo dell'architettura, adattandole ai propri bisogni e finalità, ma anche e soprattutto iniziando a investigare geometrie e superfici completamente nuove e sperimentando metodologie che si discostano e molto spesso vanno oltre i principi della geometria classica.

Tutte le rappresentazioni di oggetti, avevano inizialmente bisogno di supporti statici, il foglio di carta o un semplice supporto rigido, per poter essere rappresentati, controllati, gestiti e fruiti da chiunque; ovvero di supporti in qualche modo dinamici come le maquettes, realizzate con vari materiali, che rendono possibile una percezione e fruizione tridimensionale dell'oggetto, tuttavia sempre indipendente e scollegata dalla rappresentazione e dal controllo bidimensionale. Con all'avvento del personal computer e della progressiva evoluzione delle tecnologie informatiche si è arrivati ad avere una continua relazione tra le diverse possibili rappresentazioni: bidimensionale, tridimensionale, virtuale e solida. Intercorrono sempre più stretti rapporti tra la rappresentazione e il modello, inteso sia dal punto di vista virtuale che reale, per cui un volume elaborato virtualmente all'interno di un personal computer può essere prototipato, ovvero una maquette elaborata material-

mente può essere immagazzinata all'interno di un hard disk ed elaborata, controllata, modificata e infine prototipata.

L'architettura e quindi gli architetti hanno sempre lavorato confrontandosi con il doppio processo architettura disegnata e architettura "costruita".

Il disegno e quindi la rappresentazione delle forme architettoniche hanno sempre costituito uno scenario immaginario o ideale, scenario che molto spesso l'architettura poi realmente costruita non ha realmente raggiunto o compiutamente realizzato. In altre parole la rappresentazione dell'architettura è sempre stato un mezzo molto più veloce della realizzazione della stessa in cui molto spesso riusciva a contestualizzarsi in condizioni forse non ancora possibili.

Per secoli quindi la rappresentazione altro non è stata che la possibilità di rendere visibili le proiezioni mentali degli architetti che creavano una "rappresentazione virtuale" in cui chiunque poteva essere coinvolto e attratto. Con il tempo questa "realtà virtuale" è diventata sempre meno virtuale.

Grazie alla continua interattività oggi offerta dai personal computer, ormai ogni architettura si presenta meno illusoria e inaccessibile diventando sempre più confrontabile, tangibile, navigabile.

Si parla quindi sempre più spesso di virtualizzazione, cioè di creare spazi virtuali, molto spesso integra-

ti con moduli che permettono di utilizzare l'animazione, e quindi di poter simulare "passeggiate" virtuali all'interno del modello, del progetto o dell'architettura. Non più soltanto una serie antologica di immagini statiche, relative ad un progetto, ma un itinerario continuo che naviga all'interno, all'esterno, al di sopra del progetto, e con la possibilità di sceglierne il percorso o la direzione. L'oggetto rappresentato può essere così non soltanto immaginato, in rapporto alla sua realizzazione pratica, ma già "visto" e perfino fruito e visitato nell'astratta concretezza - ci si passi la contraddizione - del render digitale.

In questo modo la rappresentazione virtuale, sempre più strumento dell'architettura virtuale ancora intangibile, viene impiegata sempre di più per la rappresentazione del "nuovo" o per la "progettazione del nuovo"; ma non solo, essa viene ormai anche utilizzata per la rappresentazione di tutto ciò che è stato già teorizzato, progettato o realizzato nel corso degli anni.

Alla domanda "Cosa è il virtuale", Pierre Lèvy risponde

"Trasformazione da una modalità dell'essere a un'altra, ossia niente a che vedere con il falso, l'illusorio, l'immaginario, piuttosto uno dei possibili modi di essere, contrapposibile non alla "realtà", ma alla attualità"<sup>1</sup>.

Altro componente importante della virtualizzazione è costituito

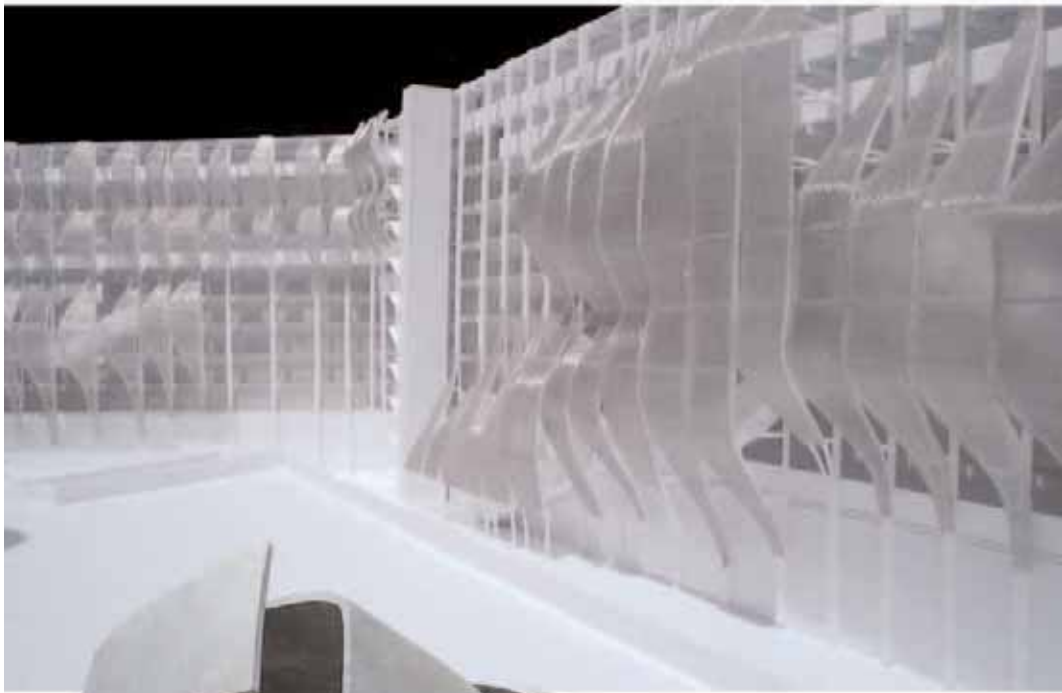
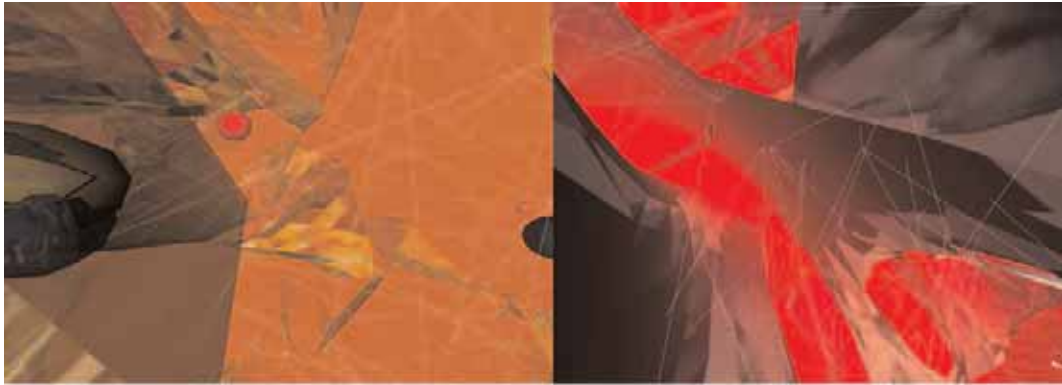
dall'utilizzo di nuovi parametri quali il tempo e lo spazio, che diventano parte integrante sempre più presente e utilizzata all'interno dei nuovi software.

Proprio questi due parametri diventano molto spesso il volano di qualsiasi tipo di rappresentazione. In effetti sia nella fase dell'ideazione progettuale che in quella definitiva il modello o i modelli aiutano sempre più la comprensione dello spazio permettendo delle complete immersioni all'interno della "nuova" realtà, potendone verificare continuamente ogni millimetro dello spazio pensato-rappresentato.

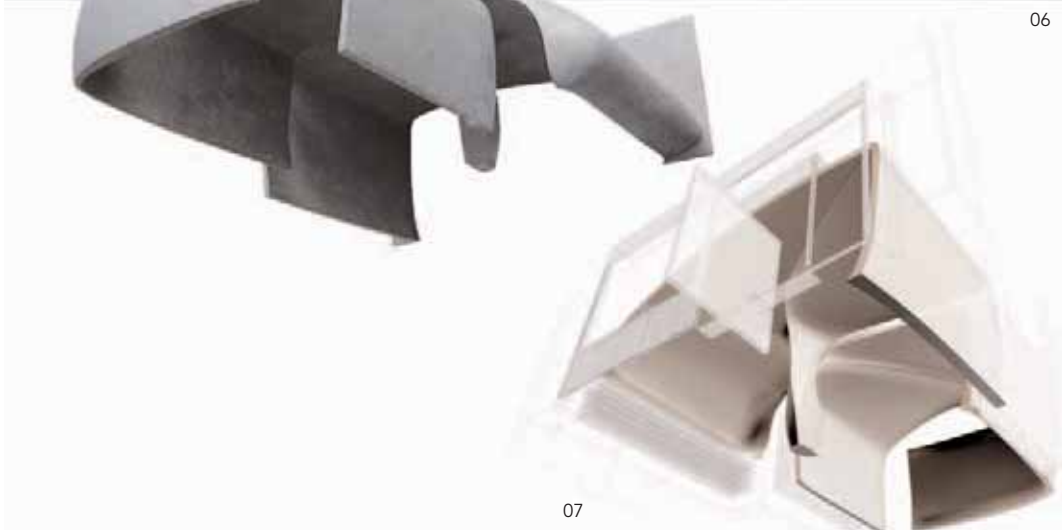
"La grande scoperta è che la concezione di una struttura spaziale (cioè la qualità spaziale che essa assumerà) precede la sua formalizzazione geometrica, curva o piana che sia" scrive Derrick De Kerckhove<sup>2</sup>; ed inoltre: "Il Barocco ha rappresentato l'esplorazione dei sensi, tradotti in lettera, lettera dell'alfabeto e della stampa. Era la traduzione di ogni cosa sensoriale, la trasmissione dal tattile al visivo, ma anche la trasmissione del visivo in tatto. Oggi ci troviamo ad esplorare tutti i sensi, ad ascoltare con tridimensionalità la realtà virtuale, ci troviamo ad esplorare i sensi come la gente del barocco; ma il nostro è un neo-barocco elettronico".

La motivazione di questo utilizzo generalizzato dei sistemi informatici è da ricercare in questa proiezio-

05



06



07

5 MARCOS NOVAK, progetto AlienWithin, 1999

7 dECOi, Blue Gallery, London, 2000

6 GREG LYNN, Trasformation Kleiburg, Amsterdam, 2000



ni dei nostri pensieri nella continua ricerca di formalizzazione e concretizzazione degli stessi; ma, al contempo, in un bisogno di rappresentazione che ci ha portato ad un sempre più frequente utilizzo dei nuovi sistemi informatici che ci permettono di modificare continuamente lo spazio pensato sia per quanto concerne le superfici che per quanto concerne la texturizzazione.

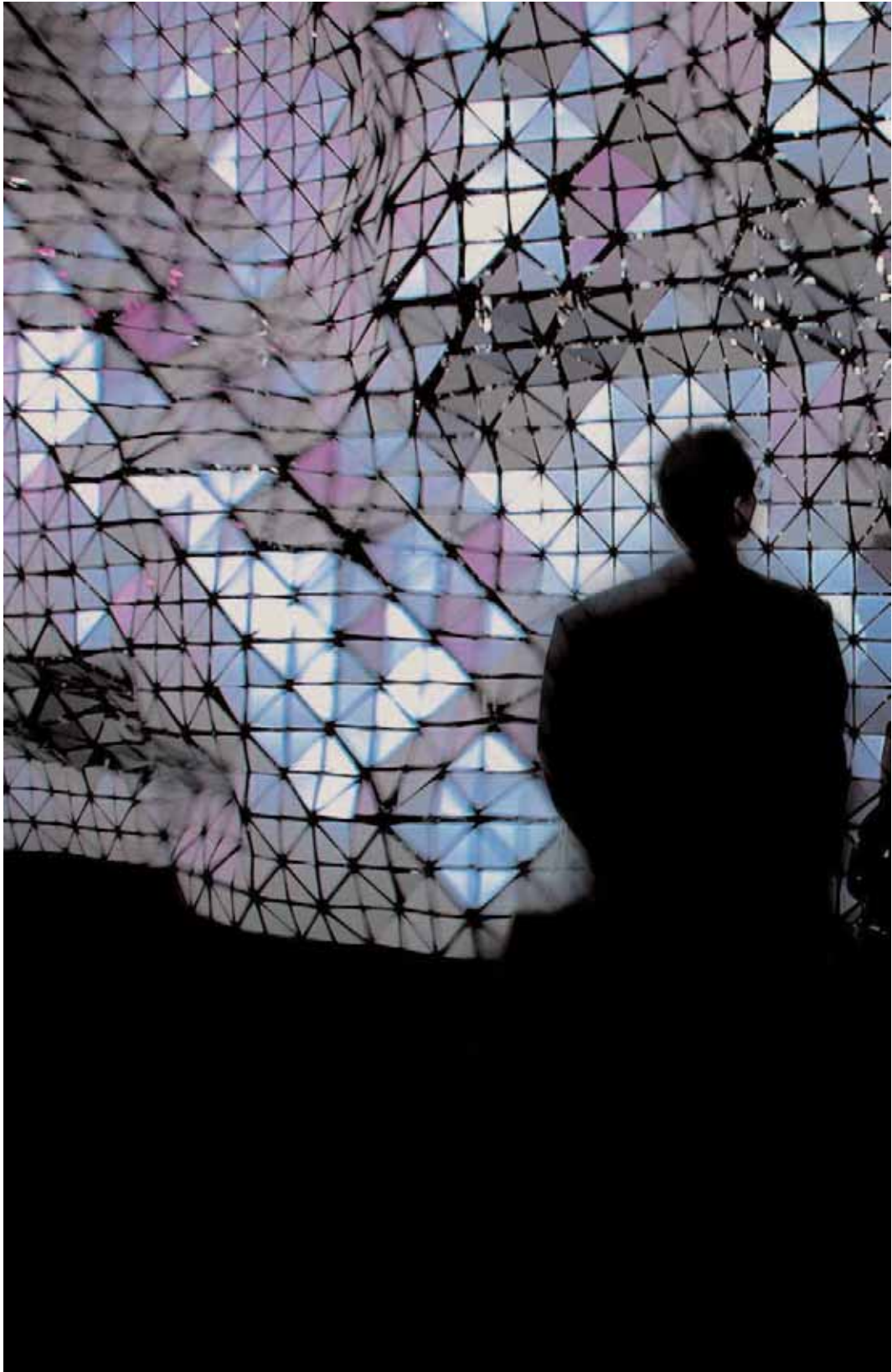
Il nostro approccio convenzionale alla rappresentazione delle cose avveniva ed era fortemente legato ad uno spazio tridimensionale cartesiano in cui ogni cosa è caratterizzata da coordinate di punti significativi, dove le superfici sono legate alla geometria euclidea e si utilizzano punti, rette, piani, e superfici di rotazione.

Con l'avvento del CAD (Computer Aided Design) si è passati da un iniziale approccio progettuale bidimensionale, in cui la piattaforma informatica veniva utilizzata come strumento della rappresentazione di piante, prospetti e sezioni, e il cui maggior apporto consisteva nell'ottimizzazione della gestione dei dati, ad un iter concettuale-progettuale-oggettuale che, con l'utilizzo di tutti i nuovi sistemi informatici, permette di creare e forgiare l'idea in maniera dinamica. "Il computer" è "un artefatto tecnologico proteiforme"<sup>3</sup> con la potenzialità di poter raggruppare in sé le fasi progettuali quali il CAD, la cui potenzialità è quella di

poter gestire e modificare ed elaborare i dati, sia bidimensionali che tridimensionali, e CAM (Computer Aided Manufacturing), utilizzato per la produzione fisica del modello elaborato.

Si impone un'ulteriore considerazione: l'introduzione del personal computer nella progettazione e quindi la possibilità di generare "nuove" forme architettoniche che permettono di uscire facilmente dalle tradizionali superfici note da secoli (poliedri, cilindri coni, superfici di rotazione, paraboloidi, iperboloidi, rigate, ecc.) hanno aperto nuovi orizzonti ai progettisti.

Appare chiaro come diventa sempre più fattibile e possibile tradurre e gestire forme complesse presenti nella nostra mente direttamente sul personal computer ovvero realizzare una maquette e poi acquisire la stessa attraverso sistemi di rilevamento automatico.



06

6 dECOi e BERNARD  
CACHE, Aegis  
Hyposurface, 2000, Foto  
dell'allestimento

Il rapido processo di integrazione tra architettura e informatica, tra progettazione architettonica e tecniche digitali, fin qui delineato, ha offerto dunque al progettista possibilità e opportunità inaspettate che non sono solo di natura funzionale ed esecutiva. Tali potenzialità sono state ulteriormente e straordinariamente potenziate dall'avvento delle NURBS (non uniform rational b-splines). Esse hanno consentito di definire e rappresentare qualsiasi forma (free-form). In altre parole, grazie alle NURBS, è possibile definire qualsiasi superficie libera la cui forma si discosta dalle superfici classicamente considerate

Ed è appunto da queste nuove metodologie introdotte dalle NURBS nel mondo della progettazione architettonica che prende avvio e si inserisce la presente ricerca.

Il percorso che si intende intraprendere è finalizzato ad una analisi delle nuove metodologie progettuali che ormai diventano sempre più presenti all'interno del panorama architettonico mondiale. Si parte da un'analisi generale e da una classificazione, almeno per macro-aree, delle nuove metodologie descrivendo le procedure teoriche-tecniche che portano allo sviluppo delle nuove superfici. Successivamente viene affrontato il tema della modellazione tridimensionale per poi arrivare a descrivere le nuove superfici (NURBS) sia

dal punto di vista geometrico-matematico che nella loro classificazione.

La parte finale affronta proprio le metodologie procedurali che portano alla definizione delle nuove "forme" e per l'appunto alla definizione della forma del volume attraverso software di modellazione e il Reverse Modelling.

La presente ricerca intende verificare specifiche metodologie della rappresentazione dell'idea di "progetto" che si caratterizzino per una loro finalità operativa, individuabile nel rapporto continuo e nella interrelazione tra modello-rilievo-progetto e indagare in che misura il rilievo diventa progetto.

L'obiettivo generale che si intende perseguire con la ricerca è proprio quello di realizzare un "problem solving", mediante l'analisi di una metodologia di progettazione, dalla fase ideativa a quella realizzativa, in cui vengono illustrate modi e metodologie di acquisizione e gestione dei dati progettuali.

Componente fondamentale è lo studio dal punto di vista geometrico delle nuove superfici.



## NOTE

<sup>1</sup> PIERRE LÉVY, *Il virtuale*, Ed. Cortina Raffaello, 1997

<sup>2</sup> DERRICK DE KERCKHOVE, *Architettura dell'intelligenza*, , Ed. Testo & Immagine, 2001

<sup>3</sup> DOMENICO PARISI, *Simulazioni. La realtà rifatta nel computer*, Ed. Il Mulino, 2001



# NASCITA E PROBLEMATI- CHE DELL'ARCHITETTURA DIGITALE

"Il virtuale possiede piena realtà in quanto virtuale"

(Gilles Deleuze, *Differenza e ripetizione*, 1968)

## Termini del problema ed analisi del nuovo panorama

In questi ultimi anni l'architettura sta subendo un susseguirsi di continue mutazioni che la costringono a ridefinire i propri codici.

Le motivazioni più significative che spingono a questi cambiamenti sono in gran parte riconducibili alla forte attenzione investigativa nei confronti delle nuove geometrie topologiche. Caratterizzate queste dalla peculiarità di poter di scolpire lo spazio attraverso la modellazione generativa e cinematica.

Le possibilità di esplorare molteplici varianti diventa elemento fondamentale di una progettazione che intende studiare il comportamento della superficie sottoposta a deformazione e registrarne le modificazioni spazio-temporali continue. In effetti le possibilità di continua modifica, sostanzialmente in tempo reale, permettono al progettista una continua analisi della propria idea progettuale che trova la sua rappresentazione su un monitor. Altrettanto veloce, plasmabile, modificabile diventa l'approccio del progettista con un modello fisico, maquette, realizzato con i materiali più svariati.

In effetti anche in questo caso il progettista ha la possibilità di far interagire l'idea, presente nella propria testa, la maquette che egli stesso realizza, e il modello digitale, ottenuto attraverso l'acquisizione del modello fisico mediante i

sistemi di rilevamento automatico che permettono di acquisire le superfici modellate fisicamente.

In altri termini è possibile riassumere questa "digitalizzazione" della rappresentazione e quindi della progettazione in un sistema di tre classi, strumentali e insieme concettuali, differenti ma al tempo stesso collegate e che spesso si intersecano e si sovrappongono.<sup>1</sup>

Possiamo individuare queste classi a) nello strumento della rappresentazione elettronica; b) nel sistema ideativo; c) nel sistema illusorio-ideale.

Nella prima classe lo strumento viene adoperato come mezzo di acquisizione un modello plastico, realizzato con le metodologie tradizionali, magari ottenuto a seguito di una realizzazione continua di modelli [immagine 1-2] utilizzati per lo studio delle superfici.

Proprio grazie alle strumentazioni informatiche si è poi riusciti ad analizzare tutte le superfici "libere" e a dare un significato possibile per la successiva realizzazione.

La seconda è da considerarsi propriamente da un punto di vista teorico-ideativo dove ai software viene data una valenza fortemente progettuale. Frequentemente utilizzati allo scopo di ottenere superfici continue che sinuosamente si avvolgono su se stesse nell'intento di avere fluidità e morbidezza.

La terza è infine rappresentata da tutte quelle architetture illusorie, immateriali, intangibili basate uni-

camente su valenze informative in cui i progettisti, liberi dai condizionamenti del reale, si avvalgono della rappresentazione per la realizzazione di architetture immateriali [immagine 3-4]. Proprio in questo campo la rappresentazione "digitale" raggiunge il massimo delle sue potenzialità sfruttando tutte le sue risorse e svincolandosi completamente dall'ambito della realizzazione e quindi dalla "materializzazione" della cosa.

Naturalmente in questo caso si parla unicamente di immaginario, di realtà intangibili, di non-materiale, frutto completo dell'immaginazione del progettista che riesce a ricreare situazioni intriganti attraverso l'utilizzo di superfici accattivanti per la loro sinuosità e morbidezza.

In questa continua evoluzione e sperimentazione è possibile collocarsi in una posizione estrema prevedendo sempre più prossima nella nostra vita l'invasiva presenza della tecnologia, fino a considerare il suo possibile utilizzo come estensione delle facoltà fisiche o addirittura sensoriali del corpo umano.

A questo proposito Stelarc (Stelios Arcadiu) sostiene che "il corpo è obsoleto" e che bisogna studiare nuove protesi biomeccaniche per far sì che l'uomo possa ottenere il massimo rendimento dalla tecnologia moderna. In effetti Stelarc afferma che la maggior parte degli oggetti che usiamo quotidianamente costituiscono estensioni del

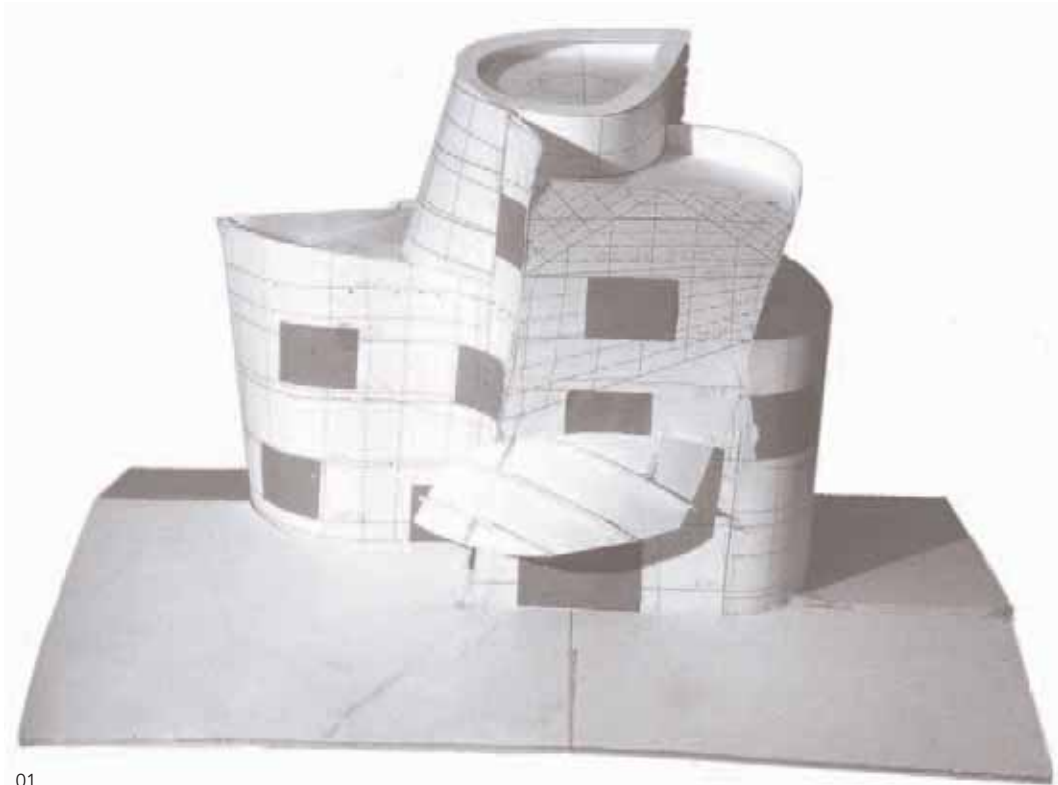
corpo e che, in funzione del loro utilizzo, il nostro modo di pensare e percepire le cose viene profondamente modificato. Potenziando la nostra carne (primitiva) -aggiunge- possiamo arrivare a nuovi stati di percezione della realtà. [immagine 5].

Proprio per dimostrare questa filosofia, Stelarc, ha ibridato il suo corpo attraverso protesi (estensio- ni) artificiali, costruendo addirittura una terza mano meccanica, mossa da stimoli elettrici provenienti dai muscoli dell'addome, e una mano virtuale, in grado di manovrare oggetti generati dal computer, estendersi a piacimento, tracciare disegni.

Ma anche W.J.Mitchell<sup>2</sup> asserisce che "organi elettronici, diventando sempre più piccoli e sempre più intimamente collegati a voi, perderanno le loro tradizionali rigide scocche di plastica.

Assomiglieranno sempre più a capi di abbigliamento e li indosserete, come ..... i guanti, le lenti a contatto o gli apparecchi acustici.....Alcuni chips sono così minuscoli da poter essere iniettati;...."

E poi continua, facendo riferimento all'architettura: "una volta aperto in questo modo il guscio della vostra pelle, comincerete a proiettarvi anche nell'architettura. In altre parole, alcuni dei vostri organi elettronici potranno essere incorporati nell'ambiente che vi circonda. Dopo tutto non vi è molta differenza tra un computer portatile e



01

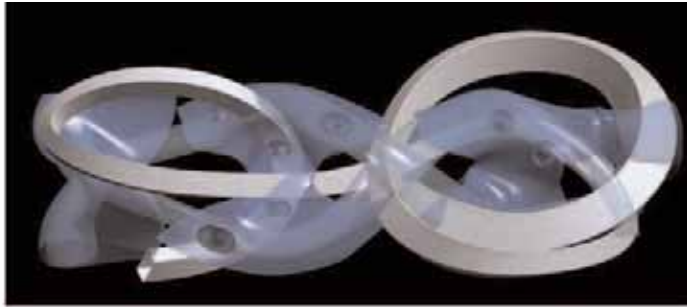


02

1 FRANK O. GERHY,  
Edificio amministrativo  
del team Disneyland,  
1987-1996

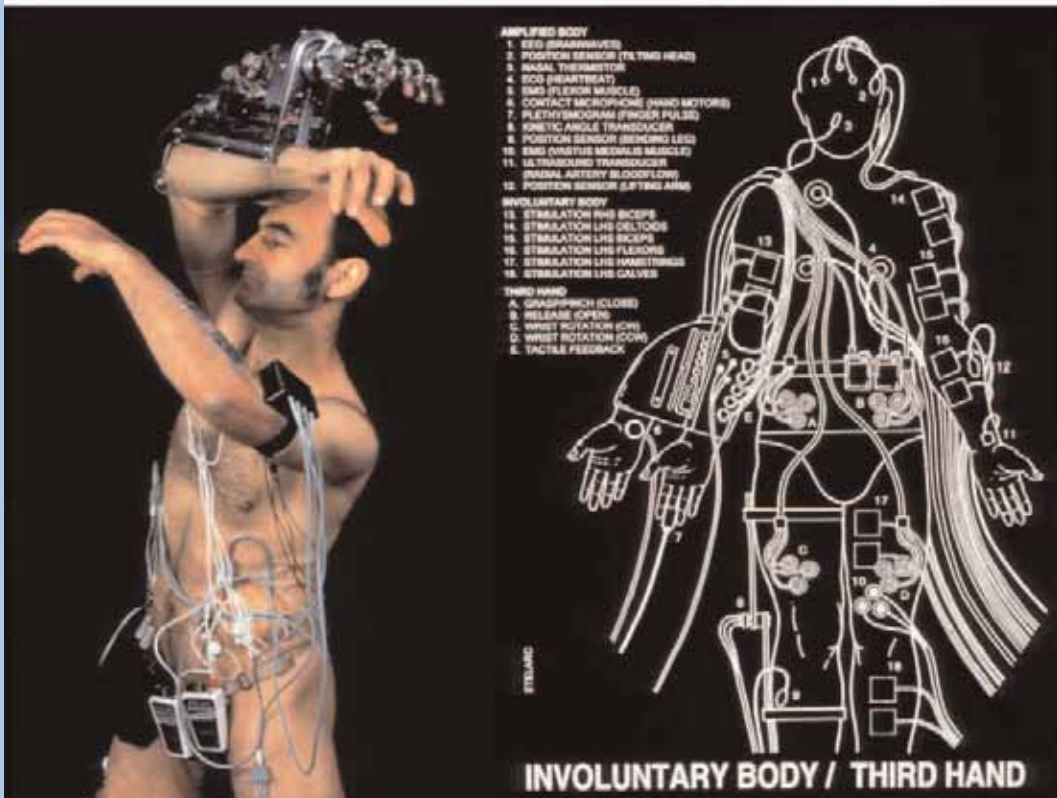
2 FRANK O GERHY, Casa  
Lewis, 1985-1995

03



04

05



3-4 ASYMPOTE,  
Guggenheim Museum,  
New York - NYSE 3DTF  
Virtual Reality  
Environment 1999-2001

5 STELARC, Involuntary  
body/third hand, 2000 -  
Progetto e foto della  
realizzazione

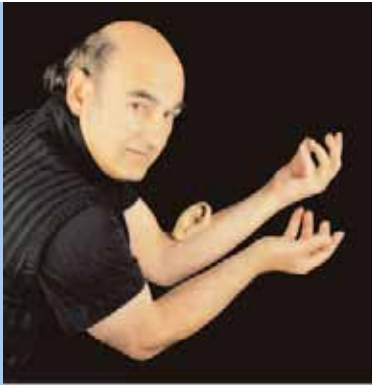
un modello da tavolo, tra un orologio da polso e uno da parete, tra un apparecchio acustico inserito nel vostro orecchio e una cabina telefonica pubblica per non iudenti. E' solo questione dell'organo a cui è fisicamente applicato; questo ha poca importanza, in un mondo senza fili in cui ogni dispositivo elettronico ha possibilità di calcolo e di telecomunicazione incorporate. In questo modo, l'"abitare" assumerà un nuovo significato - un significato che non ha tanto a che fare con il parcheggiare le vostre ossa in uno spazio definito architettonicamente, quanto piuttosto con il collegare il vostro sistema nervoso a organi elettronici che si trovano in prossimità. La vostra stanza e la vostra casa diventeranno parte di voi e voi diventerete parte di esse". Naturalmente, abbiamo volutamente preso in considerazioni due posizioni estreme, ma che proprio nel loro estremismo ci rendono consapevoli del grado di coinvolgimento del dato progettuale con quello informatico. In questo panorama va inoltre aggiunto il contributo offerto da Internet, che rende sempre più facile e veloce qualsiasi tipo di comunicazione e di informazione. Diviene altresì più agevole e praticabile la possibilità da parte del progettista di interagire con altri progettisti dislocati in diverse parti del mondo, comunicando e scambiandosi dati ed informazioni ed elaborandoli in

modo interattivo; ovvero di interagire con le industrie produttrici ricevendone in tempi brevissimi altri dati ed informazioni necessari alla progettazione industriale, ecc. Naturalmente nel corso di questa dissertazione ci si guarderà bene dal dimenticare che l'architettura reca sempre con sé una valenza conformativa, nel senso che sempre e continuamente nel momento in cui si progetta, con qualsiasi metodologia e tecnica, ci si confronta con lo spazio. In altri termini lo scopo ultimo dell'architettura è quello di plasmare tridimensionalmente lo spazio, considerato come contenitore del vivere dell'uomo e di tutte le attività che lo circondano<sup>3</sup>.

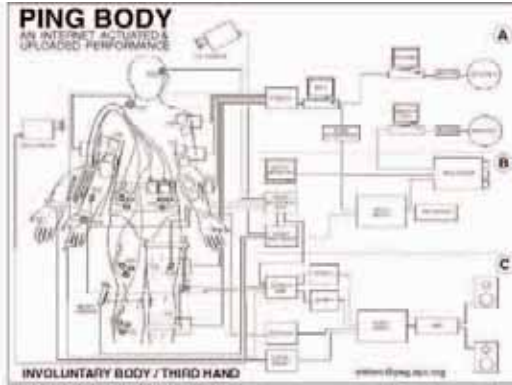
Possiamo a questo punto valutare le straordinarie potenzialità del modello nella conformazione dello spazio. Naturalmente oggi possiamo codificare il termine modello in una duplice visione: una tangibile, in cui viene formalmente creato un modello fisico, materiale; l'altra intangibile, immateriale, che sfrutta le potenzialità e capacità dell'architettura informatica.

In effetti la realizzazione di un plastico per la maggior parte dei progettisti rappresenta la possibilità di formalizzazione delle proprie idee, strutturali e funzionali. Tomás Maldonado<sup>4</sup> al termine plastico associa l'idea di un costrutto fisico modellabile, nel senso che gli dà lo scultore quando lavora con un materiale come l'argilla. Il che fa



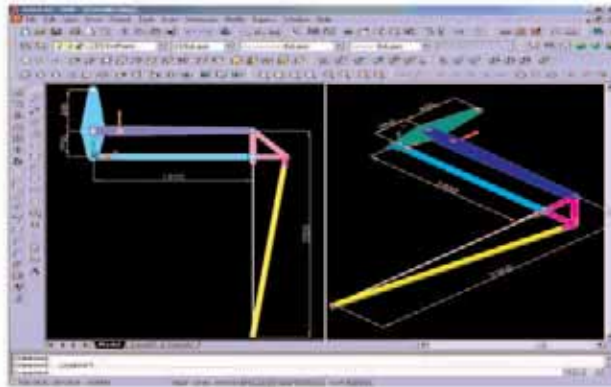


06



07

08



09



10



11

6 STELARC, Extra ear  
1998

7 STELARC, Ping Body,  
1999

8 STELARC, Progetto di

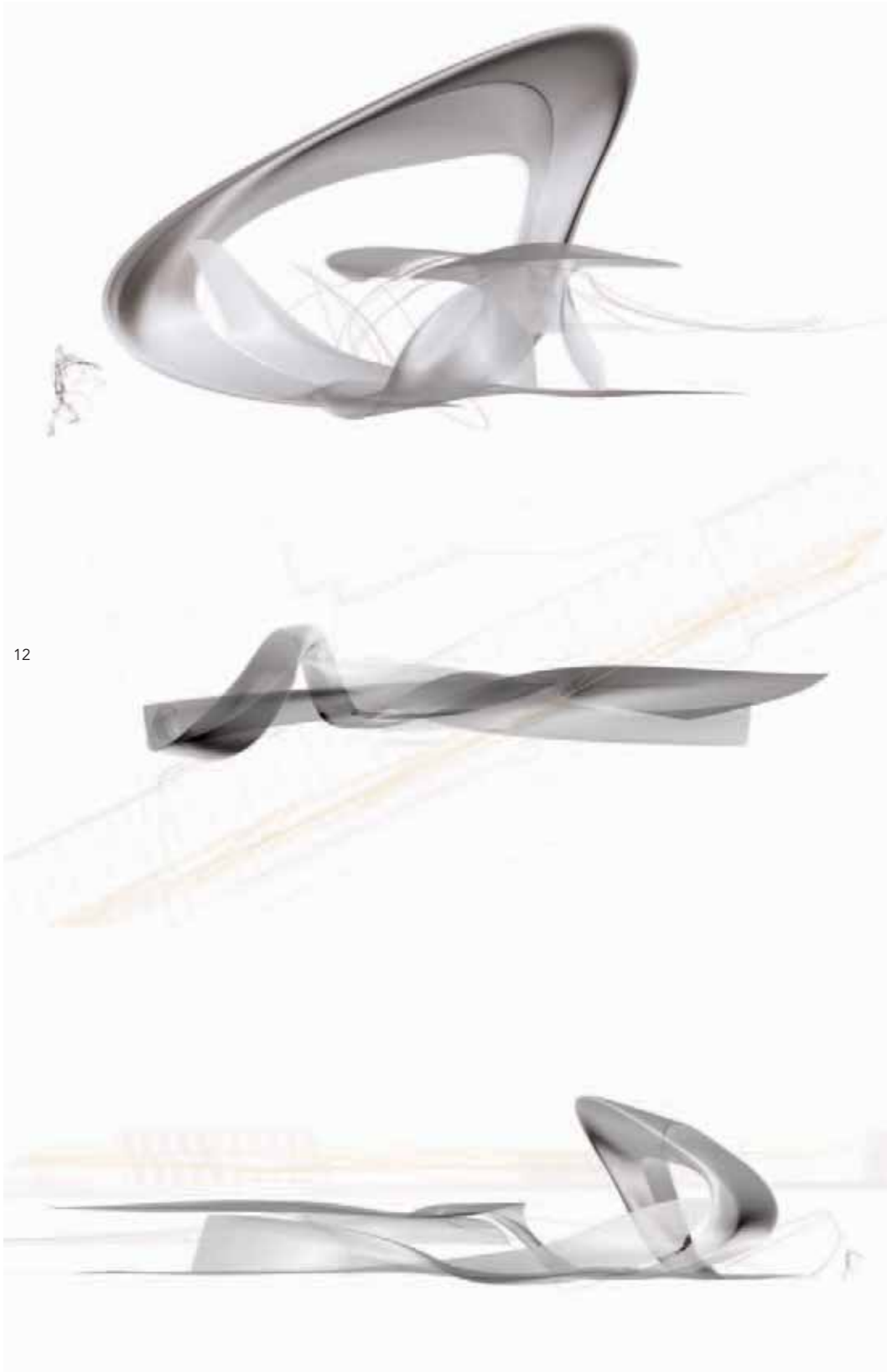
braccio meccanico,  
Salvaschermo di  
Autocad, 1999

9 RON MUECK, Mother  
and Child, 2001

10 RON MUECK, Tool,  
2002

11 RON MUECK, Boy,  
2001





12

12 dECOI, *Paramorph*,  
'Gateway to the South  
Bank' Competition,  
London 1999, Immagini  
del progetto, Profili e  
Pianta

pensare che il plastico, come sinonimo di maquette, non sia un oggetto chiuso, fatto una volta per tutte, ma piuttosto un processo aperto che si espleta per interventi successivi, mediante ritocchi e ripensamenti.

L'uso del modello-plastico è divenuto fondamentale nella pratica dell'architetto e, come asserisce lo storico americano Richard A. Goldthwaite<sup>5</sup> già nella Firenze del quattrocento ha fundamentalmente contribuito a modificare l'atteggiamento della committenza. In effetti il committente si abitua a "vedere in anticipo" il prodotto da lui commissionato all'architetto, diventando sempre più esigente e richiedendo plastici il più possibili fedeli a quello che poi sarebbe stato il prodotto finito, per poterlo studiare ma anche per comprendere meglio il progetto. Ed è proprio in questo periodo che gli artigiani capaci di realizzare, grazie alle loro abilità, plastici su scala ridotta di progetti acquistano sempre maggiore importanza presso il committente<sup>6</sup>.

Proprio l'esigenza di comunicare il progetto alla committenza, e quindi di far "vedere in anticipo" ciò che poi veniva successivamente realizzato, fa sì che per l'architetto l'esigenza della visualizzazione o rappresentazione diventi sempre più importante, se non anche necessaria.

Si tenga inoltre conto che nello stesso periodo, divengono sempre

più sofisticate le tecniche di rappresentazione (prospettiva) che comunque andavano di pari passo con l'affermarsi del plastico completandosi a vicenda.

Naturalmente l'interazione tra disegno e progetto è continuata nel tempo essendo metodologie assolutamente interfungibili e legate in maniera diretta nello sviluppo del progetto stesso. E proprio grazie all'interazione delle due metodologie che l'idea prende sempre più corpo ed arriva fino alla materializzazione finale. Cosicché l'interazione tra disegno e progetto è andata sempre più rafforzandosi e perfezionandosi nel tempo essendo divenute due metodologie per loro natura interattive ed ugualmente necessarie allo sviluppo del progetto stesso, al suo prendere forma, alla sua materializzazione finale.

Sembra qui opportuno fare riferimento ancora una volta al concetto "disegnare per progettare", di Tomás Maldonado, sopra richiamato<sup>7</sup>, dove viene analizzato il rapporto cognitivo-percettivo e quello figurativo-operativo in cui esiste una continua interattività tra idea-disegno-progetto, e dove esiste una realtà interagente tra disegnare per progettare ma al contempo progettare durante il disegnare. Naturalmente questo rapporto tende ad uno scopo finale che sarebbe quello di poter studiare, spiegare, capire attraverso la rappresentazione.

Secondo Maldonado si deve arrivare ad una produzione iconica, sia essa artistica, tecnica o scientifica in cui i "modelli iconici sono modelli replicativi"

In definitiva, in questo continuo divenire la figura del modello-plastico, sia materiale che digitale, diventa un elemento sempre più importante sia per quanto riguarda la fase ideativa, da parte del progettista, che dal punto di vista percettivo da parte di colui che poi dovrà vivere il prodotto finale.

Il significato contemporaneo che però diamo al "modello" si discosta sicuramente da quello che veniva dato nel passato.

Il modello non viene più inteso come la costruzione di un prototipo materiale, la cui valenza consisteva fondamentalmente nell'essere da esempio miniaturizzato di quello che poi sarebbe stato nel futuro realizzato, bensì come un mezzo necessario per l'elaborazione di una serie di sistemi conosciuti e virtuali attraverso i quali siamo in grado di: risalire alla costruzione della geometria esatta sia tridimensionale che bidimensionale; riuscire a stabilire relazioni parametriche biunivoche continue che consentono al progettista di poter variare la superficie stessa in tempo reale; riuscire a riprodurre per mezzo di macchine a controllo numerico il modello elaborato attraverso i modellatori. Inoltre, questa "nuova" idea di "modello" va sempre considerata dal duplice punto

di vista: modello virtuale, modello fisico.

L'avvento della computer grafica, e quindi il ricorso sempre più frequente da parte dei progettisti a modellatori capaci di poter lavorare su superfici libere, ha fatto sì che si cominciasse ad investigare e sperimentare nuovi tipi di superfici, spesso frutto di sperimentazioni e concettualizzazioni strettamente correlate alle categorie di tempo e spazio, diventate sempre più facili da gestire e far interagire con le "nuove superfici" attraverso l'uso di modellatori .

Naturalmente già precedentemente si era investigato sulle "superfici libere" e sul tema del movimento e su come le superfici e il movimento potessero interagire.

Nei primi anni del Novecento il Futurismo ne rappresenta una prova concreta attraverso le opere di Giacomo Balla e le sculture di Umberto Boccioni.

Successivamente, negli anni sessanta, alla cultura Optical, viene associato il termine "movimento", lo "spostamento di corpi nello spazio", in modo tale che l'opera d'arte si trasformi in un evento fisico e spaziale oltre che concettuale.

L'artista Victor Vasarely, proprio in questi anni, studia lo slittamento delle forme geometriche o di rotazione, introducendo inoltre il concetto di cinetica dei corpi. L'uso scientifico di questo metodo lo induce ad utilizzare delle forme geometriche disposte essenzial-

13



14



15



13 U.BOCCIONI, Forme uniche della continuità dello spazio, 1913

15 U.BOCCIONI, Stati d'animo: quelli che vanno, 1911

14 G.BALLA, Volo di rondini, 1913



mente secondo un ordine che rende sempre possibile la variazione.

Interessanti spunti in proposito si possono cogliere negli artisti legati alla corrente di "arte cinetica".

Anche in architettura naturalmente queste sperimentazioni trovano applicazione.

Dagli anni '30 F. Kiesler e Bookminster Fuller, e poi negli anni '70 J. Lautner, come gli italiani Leonardo Ricci, Vittorio Giorgini, Leonardo Mosso e altri, hanno tentato di definire il un nuovo concetto di bellezza, proporzione e scala, anche attraverso materiali e metodi costruttivi; utilizzando quindi alluminio e cemento sono riusciti a creare forme curve e fluide, anticipando i concetti di fluidità, morbidezza, duttilità e morphing attuali. *[immagini ]*

Poi marginalmente negli anni '60-'70 gli architetti hanno anticipato i concetti di blob e fold, ma solo per sistemi di case prefabbricate. Negli anni '90 i programmi che manipolano le superfici in forme non cartesiane hanno avuto una rispondenza anche a livello critico-filosofico: Gilles Deleuze<sup>8</sup> coglie il senso e acutamente descrive un oggetto "profondamente cambiato di statuto ... non più definito da una forma essenziale"; e aggiunge "Invece di cercare la retta unica tangente con una curva data in un punto unico, ci si mette a cercare la curva tangente con un'infinità di

curve in un'infinità di punti; la curva non è toccata, è incidente, la tangente non è più né retta né unica né incidente, diventa curva, famiglia infinita, toccata"; descrive poi, rifacendosi anche a Bernard Cache, un oggetto tecnologico - anche in relazione all'attuale sistema produttivo industriale - definito, appunto, da un nuovo statuto in cui "la fluttuazione della norma subentra al permanere della legge, in cui l'oggetto si inserisce in un continuum per variazione, in cui la macchina a controllo numerico si sostituisce all'imbutitura."; e prosegue: "il nuovo statuto dell'oggetto lo sottrae ad ogni calco spaziale, cioè al rapporto forma materia, per inserirlo in una modulazione temporale, che implica una variazione continua della materia e uno sviluppo continuo della forma".

A questo punto i tradizionali termini come bellezza, scala, proporzione usati un tempo per descrivere la massa, articolazione e texture del predigitale, sono stati sostituiti nell'ambito architettonico contemporaneo da aggettivi come duttile, flessibile, morphed.

Questo cambiamento, che consente agli architetti di discostarsi dalle superfici considerate classicamente e dal disegno geometrico tradizionale, permette di definire superfici libere. Superfici che si possono includere in una più ampia generalizzazione della geometria, rappresentato dalla Topologia. La Topologia<sup>9</sup> studia le proprietà di

uno spazio, inteso come insieme di punti in qualche modo vicini gli uni agli altri, che rimangono inalterati eseguendo una qualunque trasformazione biunivoca e bicontinua, una trasformazione cioè che muta, in entrambi i sensi, punti vicini in punti vicini.

La topologia non registra alcuna differenza tra un cubo e una sfera ma tiene conto di ciò che resta (ordine e continuità) e a che fare con proprietà che portano alla definizione di forme complesse che hanno la particolarità di essere molto difficili da disegnare.

La topologia quindi porta a rappresentare indefinite superfici curve, non a liberare curvature in architettura, quindi superfici libere dalla forma fisica nella quale la topologia può incarnarsi. Nel momento in cui la struttura topologica si concretizza in una forma geometrica, si entra in una geometria euclidea (gli architetti misurano gli oggetti).

La geometria proiettiva, introdotta nel sec. XVII da un architetto francese, Girard Desargues, analizza la prospettiva e introduce il concetto di fuga come punto all'infinito.

Keplero fu il primo a parlarne. Il punto all'infinito gli consentiva di descrivere sia le figure finite chiuse del cerchio e dell'ellisse, sia l'infinita ed aperta parabola e la doppia iperbole). Poncelet sviluppò nello spazio i concetti applicati da Desargues nel piano, poi meglio definiti e messi insieme da Hilbert.

La geometria proiettiva studia l'effetto di due tipi di trasformazioni orografiche, proiezioni e sezioni, sulla varietà degli spazi euclidei a cui sono stati aggiunti punti all'infinito.

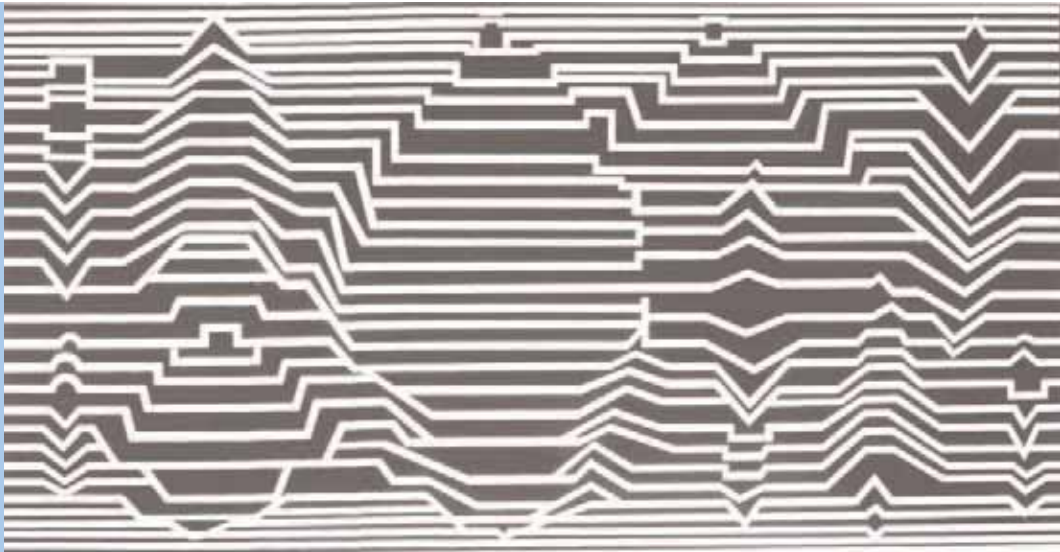
Questa geometria non euclidea è rimasta per molti anni un campo riservato alle elaborazioni teoriche, con l'avvento delle NURBS può diventare anche oggetto d'applicazioni. Le NURBS, infatti, consentono di descrivere le superfici topologiche, rendendo quindi applicabili le conoscenze teoriche sulla topologia elaborate a partire dalla fine del XIX secolo.

Le superfici NURBS sono superfici delimitate, come dei fogli elastici facilmente deformabili che possono quindi essere modellati in modo da far loro assumere qualsiasi forma geometrica. Il principio che governa queste entità consiste nel fatto che sono definite dal calcolo matematico e possono avere forma dinamica, in quanto non composte da punti discreti ma da una continua corrente di valori relativi.

L'utilizzo dei nuovi programmi, inoltre, ha consentito di lavorare con curvature estremamente complesse e con forme non euclidee, cosa del tutto impensabile senza l'uso del computer e di software di animazione.

L'utilizzo del computer non è più soltanto relegato alla redazione del progetto, ma viene usato nella fase ideativa. Possiamo dire che

viene utilizzato per la definizione e verifica dell'immagine mentale in cui l'idea di progetto può diventare una proiezione di un'idea formale che si materializza attraverso 1) il monitor che diventa uno strumento per poter rappresentare l'idea, in cui chiunque, navigandoci dentro, potrebbe conoscere, perlustrare ma anche modificare "l'oggetto"; 2) la scansione del plastico e l'acquisizione e trasformazione della nuvola di punti dello stesso; 3) l'utilizzo di frese a più assi ( 3 o 5) che "scolpiscono" qualsiasi forma modellata.



16

17



18



16 VICTOR VASARELY, *Mèandres*, 1959

17 VICTOR VASARELY, *naissance*, 1951

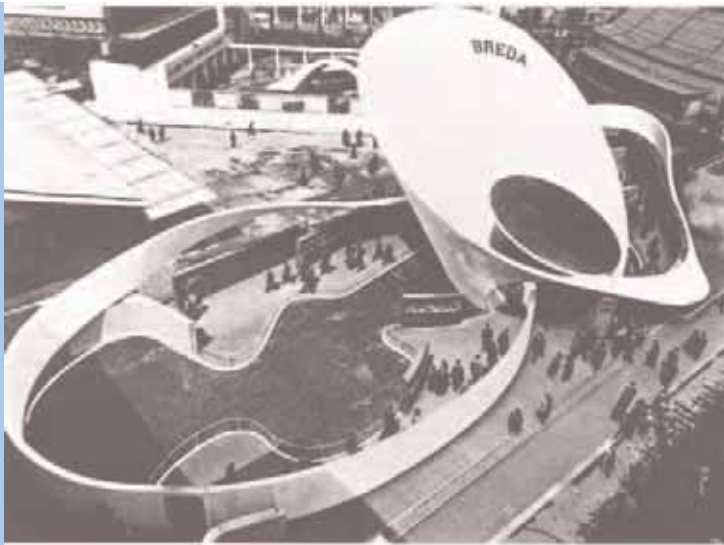
18 VICTOR VASARELY, *naissance*, 1951





19

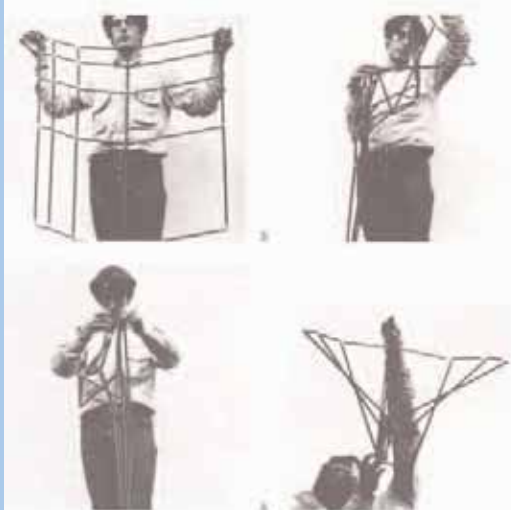
19 FREDERICK KIESLER,  
Endless house, 1959



20



21



22



20 LUCIANO BALDASSARI,  
Plastica pubblicitaria alla  
Fiera Internazionale di  
Milano, 1952

21 GIOVANNO MICELUCCI,  
Chiesa dell'Autostrada,

Firenze, schizzo, 1961

22 LEONARDO MOSSO,  
nuvola rossa, 1975, rea-  
lizzato al museo della  
Resistenza a Torino

## Nuove metodologie

Franco Purini<sup>11</sup> affronta il problema digitale asserendo che il guardare, misurato nel mondo dell'architettura metrica che comportava una continua dualità/identificazione tra occhio e punto, inteso come luogo astratto, viene sostituito da una informazione, ovvero un insieme di dati numerici che richiedono una decodificazione.

Il progetto ed il progettare si possono considerare una proiezione, quindi non una cosa in sé ma un'immagine della cosa. Parliamo pertanto di un'idea formale e/o di movimento i cui contenuti vengono proiettati inizialmente sulla nostra mente e poi formalizzati su un monitor o con una maquette.

Si parla ormai di una nuova era elettronica come contenitrice di nuove spazialità in cui vengono proiettati in un futuro modelli attraverso cui è possibile percepire e fruire lo spazio architettonico (Peter Eisenman)<sup>12</sup>; ma già nel 1977 W. Mitchell scriveva: "La teoria e la pratica in questo campo sono state sviluppate a tal punto che si può prevedere con certezza che, durante gli anni '80, l'uso quotidiano delle tecniche di progettazione supportate dal computer trasformeranno radicalmente la pratica dell'architettura". Tutto ciò sotteso dal presupposto che il computer non venisse usato solo come un supporto per l'elaborazione grafica di un progetto, ma anche come

uno strumento che potesse implementare la gestione dell'intera fase progettuale e cioè dalla fase ideativa fino a quella realizzativa. Si parla quindi di "problem solving" cioè di un "processo di ricerca" atto ad analizzare ed individuare metodologie e criteri che possano risolvere una serie di problematiche.

Tutto ciò ci costringe ad ampliare concetto e contenuti di una disciplina architettonica che nell'intento di ottimizzare la formalizzazione delle idee si appoggia a un sistema multidisciplinare facendo coincidere l'aspetto teorico concettuale con quello pratico formale e avvalendosi delle nuove tecniche della rappresentazione, che a loro volta adottano la simulazione.

L'introduzione della simulazione ha dunque modificato fortemente le metodologie della progettazione; l'utilizzo di questo nuovo linguaggio non solo è intervenuto sulla semplice rappresentazione ma anche sulla formalizzazione finale e quindi sui materiali.

La possibilità di virtualizzare i materiali nelle formalizzazioni progettuali è divenuto possibile grazie all'utilizzo dei motori render, che consentono di poter mappare (texturizzare) qualsiasi tipo di superficie e di simulare sistemi illuminanti, fino ad ottenere un effetto foto-realistico.

Questa virtualizzazione dell'idea progettuale ha permesso quindi di poter lavorare con delle forme continue dal punto di vista geome-



25



26



23



24

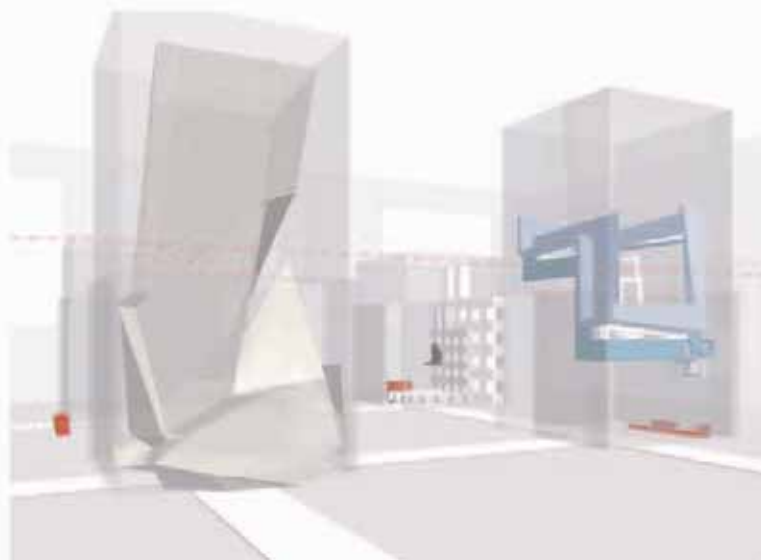


23 VITTORIO GIORGINI elementi teoretici di spazilogia; Centro comunicativo a Liberty York, 1977, metodo costruttivo

24 VITTORIO GIORGINI, tetro mosca, world trade center, 1975, Schizzo e procedimento costruttivo

25 VITTORIO GIORGINI, on site, 1975 (immagine sopra); Centro comunicativo a Liberty York, 1977, metodo costruttivo

26 VITTORIO GIORGINI, Elementi teoretici di base di "spazilogia"



27-28-29 PETER  
EISENMAN, Installazione  
MAC, Pianta e viste pro-  
spettiche, Vienna, 2004



trico, sfruttando la possibilità di descrivere curve e superfici la cui rappresentazione è gestita da algoritmi parametrici.

Tutto ciò è inteso nella possibilità di poter convertire una curva generica (ma anche qualsiasi superficie) nell' in una interpolazione di punti che definiscono la stessa, attraverso l'algoritmo parametrico che calcola le trasformazioni relative rispetto ai vertici. In questo modo si possono rappresentare forme che non presentano punti di discontinuità, ma, al contempo, è possibile rappresentare e descrivere superfici dalla geometria estremamente complessa.

L'utilizzo da parte dei progettisti di sistemi parametrici, presenti ormai in tutte le piattaforme CAD, inizialmente utilizzati nell'ambito dell'industrial design e poi diffusosi in tutti i campi della progettazione, ha spinto verso un ulteriore approfondimento delle ricerche di tipo formale, grazie anche alla facilità con cui, mediante semplici comandi di allungamento, stiramento compressione, è possibile deformare una curva o una superficie da superfici semplici a complesse. E' facile a questo punto intuire la interconnessione che esiste tra la concezione e formalizzazione di queste curve che si avvalgono dei principi della topologia (in cui le variazioni geometriche "locali" non sono rilevanti, in quanto in questa disciplina "un cerchio e un quadrato sono la stessa cosa") e le nuove

superfici che nascono ormai sempre più liberamente e informate a principi teorici la cui formalizzazione geometrica finale è sicuramente meno importante della concezione spaziale.

In tutta questa evoluzione informatica la dicotomia idea e forma diviene sicuramente sempre più labile. Si ha ora la possibilità di avere un continuo controllo digitale-fisico, in cui il progettista può sistematicamente verificare la sua idea sulle piattaforme CAD; ma si ha al contempo la possibilità di realizzare un prototipo, facendo interagire il modello virtuale con un ciclo produttivo attraverso macchine a controllo numerico, in modo tale da arrivare ad ottenere un rapporto più forte tra progettazione e realizzazione.

Le nuove metodologie progettuali le possiamo racchiudere in tre campi: CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering), e CAM (Computer Aided Manufacturing).

Le potenzialità progettuali sono inoltre esaltate dalla possibilità che il progettista ha di poter anche far interagire i tre sistemi, quasi come un ciclo operativo, con la possibilità continua di verificare la formalizzazione dell'idea progettuale. Nei fatti, anche quando l'interazione dei tre sistemi non si verifica, essi rimangono comunque legati da un obiettivo comune che è quello della realizzazione del modello.

Nel caso si decidesse di partire da



30



31

32



33



30 PETER EISENMAN,  
Progetto per il World  
Trade Center, 2002

School, render e model-  
lo

31e 33 PETER EISENMAN,  
Concorso per la Perth  
Amboy public High

32 PETER EISENMAN, Il  
giardino dei passi per-  
duti, Castelvecchio,  
2004

un modello informatico, e quindi di realizzare subito volumi ottenuti attraverso modellatori tridimensionali, il progettista sceglie, in funzione delle proprie esigenze, teorie e/o conoscenze informatiche. Anni addietro la creazione delle nuove forme, spesso rigide, era ottenuta con semplici operazioni di estrusione o rivoluzione generate o da primitive parametriche (cubo, sfera, cilindro) combinando tra di loro operazione booleane di unione, differenza ed intersezione. Con l'introduzione delle NURBS (Non Uniform Rational B-spline) e di software che hanno elevate capacità di manipolazione della forma e di effettuare simulazioni dinamico-fisiche si è riusciti ad ottenere e gestire superfici di sempre maggiore complessità e al contempo con alto grado di deformabilità.

Con l'acronimo NURBS si indica la descrizione matematica, e più precisamente parametrica, di curve e superfici, che permettono una superiore flessibilità, nella rappresentazione grafica, della geometria delle forme curve.

La descrizione di queste curve è caratterizzate da una forma parametrica che assegna le coordinate dei punti, chiamati punti di controllo, della superficie al variare di due parametri chiamati  $u$  e  $v$ . Questi punti, uniti da linee che costituiscono il poligono di controllo, involuppano la curva e, spo-

stando arbitrariamente ognuno di essi, si ottiene una modificazione della parte di curva che esso controlla.

Ogni punto di controllo attraverso la "basis function", determina la forza di attrazione che ognuno di essi può esercitare sulla curva stessa (la  $B$  dell'acronimo).

Ogni curva e superficie NURBS sono contraddistinte da quattro parametri fondamentali:

- *grado*: è un valore intero positivo che varia in funzione della curva che si descrive. Spesso la natura di una curva NURBS è indicata con le espressioni lineare, quadratica, cubica a seconda che siano rispettivamente di primo, secondo o terzo grado (il numero di gradi che una curva può avere dipende dal kernel<sup>14</sup> del programma). E' possibile aumentare il grado di una NURBS senza modificarne la forma, mentre l'operazione di riduzione ne altera l'aspetto. Esiste un altro parametro strettamente legato al grado di una NURBS, si tratta dell'ordine, definito come numero di gradi+1.

- *punti di controllo*: i punti di controllo per ogni curva sono almeno in un numero pari all'ordine della stessa. Ciò spiega perché non sia possibile ridurre il numero di gradi senza alterarne la forma. Questi punti garantiscono la possibilità di modificare la geometria di una NURBS, semplicemente trascinandoli, singolarmente o in gruppo,



nello spazio. I punti di controllo sono caratterizzati da un peso: in fase di editing non tutti gli elementi hanno la stessa influenza sulla geometria. Nel caso in cui i punti della curva siano caratterizzati tutti dallo stesso peso la geometria è definita "non rational", diversamente acquisisce l'aggettivo rational. La possibilità di modificare l'influenza dei punti di controllo determina il comportamento della geometria durante le operazioni di modifica.

-*nodi*: costituiscono una lista di numeri pari gradi+N-1 (con N numero di punti di controllo). Se il valore di un nodo è replicato all'interno della lista si parla di "moltiplicità" del nodo. Se un valore di nodo compare una sola volta all'interno della lista allora si definisce come "nodo semplice". In parole povere, se all'interno della lista ci sono nodi duplicati la geometria NURBS appare meno smussata. La possibilità di alterare il valore dei nodi consente all'utente di controllare maggiormente la geometria. Anche in questo caso è possibile aggiungere nodi senza modificare la forma della curva, mentre un'eventuale riduzione ne determina una ridefinizione. In definitiva l'aggiunta o la sottrazione di gradi o nodi sono paragonabili a una modifica delle informazioni necessarie al tracciamento della curva. Per cui un'aggiunta implica un surplus d'informazione, mentre una riduzione costringe il programma a

ricalcolare la curva.

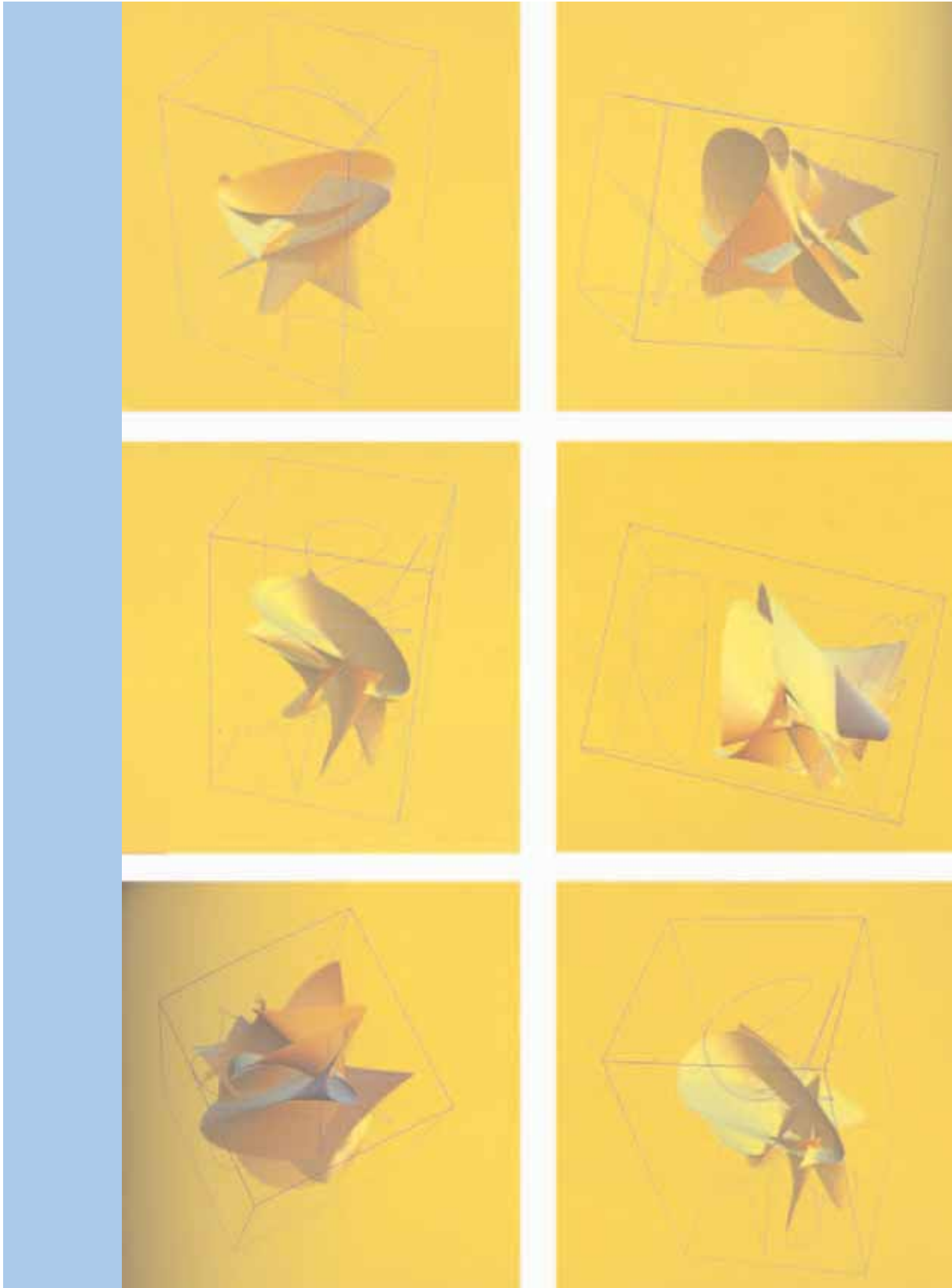
- *una formula di elaborazione*: tutti questi dati sono gestiti da una formula matematica che pone in relazione i gradi, i punti di controllo e i nodi secondo alcune funzioni denominate BSPLINE BASIS FUNCTIONS. L'Evaluation Rule, questo è il nome del processo, rielabora i parametri e produce punti geometrici secondo le istruzioni derivate dagli elementi che abbiamo descritto poco fa.

Una curva di grado 1 e ordine 2 necessita di non meno di 2 punti controllo e il suo aspetto sarà quello di una spezzata (polilinea); una curva di grado 2 e ordine 3 necessita di almeno 3 punti; una curva di grado 3 e ordine 4 necessita di almeno 4 punti; ecc.

In sostanza con una curva di grado 3 è possibile descrivere una qualsiasi forma geometrica: maggiore è il grado della curva, minore sarà l'attrazione dei punti di controllo sulla stessa con la conseguenza di ottenere una curva molto dolce.

In conseguenza dell' all'avvento delle NURBS la scelta della tecnica per la generazione della forma è da classificare in due gruppi di metodologie in funzione del tipo di modellatore che il progettista sceglie di utilizzare.

Fondamentalmente possiamo racchiudere le due metodologie in due gruppi di modellatori:

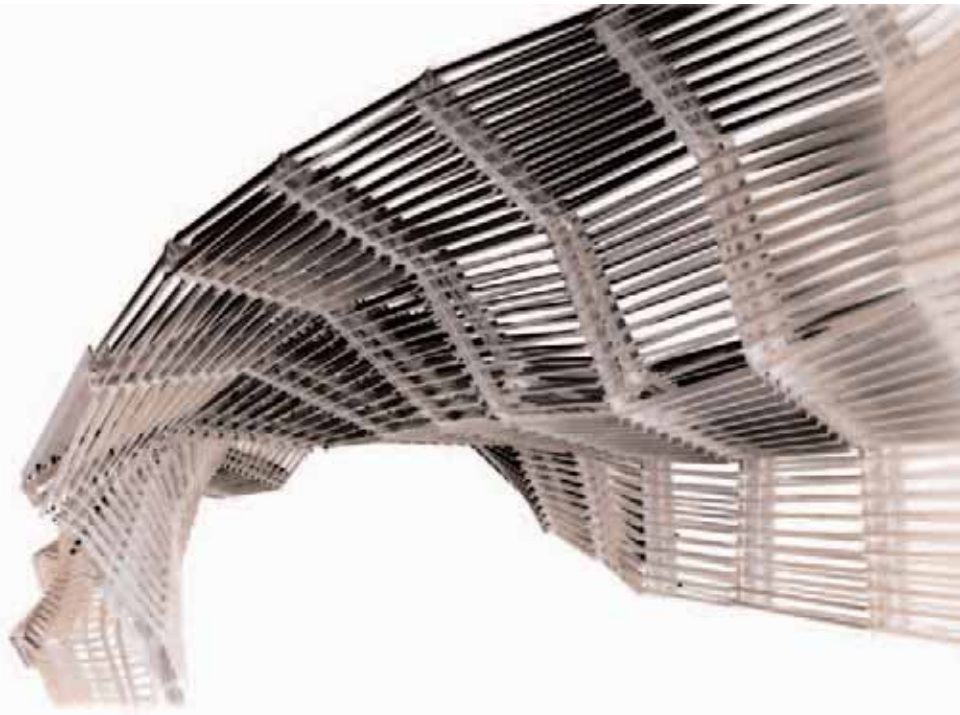


34 MARCOS NOVAK,  
Immagine delle sfumature trasversali e collegamenti tra gli hyperframes

modellatori, NURBS e MESH, per la realizzazione di modelli tridimensionali virtuali come Rhinoceros, FormZ ed altri;

modellatori che si sono specializzati nella realizzazione di animazioni, effetti speciali e videogiochi e design come 3ds Max, Maya, Softimage, Lightwave, Rhinoceros, FormZ ed altri.





35



35 dECOi, E-I Dance  
Trace, Ginevra, 1995

## NOTE

<sup>1</sup> Richiamando in questo il concetto di *Rizoma* "...di connessione, di eterogeneità, di molteplicità, di rottura asignificante, di cartografia., di decalcomania. Ogni parte del rizoma può essere connessa ad un'altra. Mentre nella struttura a radice le diverse componenti si incrociano in un punto dato, e solo in quello, nel rizoma i diversi tratti,eterogenei tra loro, possono connettersi e aggrovigliarsi, ovunque, senza che un tracciato predeterminato decida i loro possibili incontri...."

GILLES DELEUZE E FÉLIX GUATTARI, *Rizoma*, trad it. con pref. di J. RISSET, Parma-Lucca, 1977

<sup>2</sup> WILLIAM.J.MITCHELL, *La città dei bits*, Electa, Milano 1997, pp. 22-23

<sup>3</sup> Tale coscienza della spazialità è stata sempre presente fin da quando si è cominciato a riflettere sul concetto e sul significato di architettura. Per l'Alberti la rappresentazione dello spazio dell'architetto si differenzia da quella di un artista "...quello (l'artista) si sforza di far risaltare sulla tavola oggetti di rilievo mediante ombreggiature e il raccorciamento di linee e angoli; l'architetto invece, evitando le ombreggiature raffigura i rilievi mediante il disegno di pianta, e rappresenta in altri disegni la forma e l'estensione di ciascuna facciata e di ciascun lato servendosi di angoli reali e di linee non virtuali: come chi vuole che l'opera sua non sia giudicata in base a illusorie parvenze bensì valutata esattamente in base controllabili. E' dunque opportuno costruire modelli del tipo suddetto, ed esaminarli e vagliarli a più riprese sia per conto proprio che con altri, finché non sia un solo particolare di cui non si sian determinate la natura...." (L.B.Alberti, *De re aedificatoria*, II, I)

<sup>4</sup> TOMÁS MALDONADO, *Reale e virtuale*, Milano, Feltrinelli, 1992.

<sup>5</sup> RICHARD GOLDTHWAITE, *Wealth ad demand*

*in Renaissance Italy, 1300-1600*. Baltimore, 1993

<sup>6</sup> Per fare alcuni esempi, sempre citati da Goldthwaite, architetti come Ghiberti, Brunelleschi e Michelozzo nascevano da botteghe di orafi.

<sup>7</sup> Op. cit. alla nota 4.

<sup>8</sup> GILLES DELEUZE, *La piega, Leibniz e il Barocco*, trad. ital., Torino Einaudi, da cui si cita.

<sup>9</sup> Una superficie topologica può essere paragonata ad un palloncino di gomma, che può essere gonfiato e sgonfiato a piacimento; ma può al tempo stesso cambiare la sua morfologia senza perdere le proprietà iniziali. Per esempio: se gonfiassimo forzatamente un palloncino di gomma all'interno di un cubo, si deformerebbe prendendo la morfologia del cubo stesso, liberandolo, ritornerebbe alla sua forma iniziale.

<sup>10</sup> Negli anni '60 cominciano ad apparire software CAD la cui struttura restò cartesiana (il gemello di CATIA è stato chiamato EUCLIDE).

<sup>11</sup> FRANCO PURINI in *Digital Divide*, tratto da *Architettura e cultura digitale* a cura di LIVIO SACCHI e MAURIZIO UNALI, Milano, Skira 2003

<sup>11</sup> PETER EISENMAN, *Oltre lo sguardo: l'architettura nell'epoca dei media elettronici* "Domus" 734, (1992) pp.17-24.

<sup>12</sup> WILLIAM.J.MITCHELL in *Computer-aided architectural design*, 1977

<sup>13</sup> E' il nucleo del sistema operativo; si tratta di un software che ha il compito di fornire ai processi in esecuzione sull'elaboratore un accesso sicuro e controllato all'hardware.



## ANALISI DELLO STATO DI FATTO

"Tutte le macchine per la simulazione, come la mente di Prometeo (che significa "che pensa in anticipo"), sono essenzialmente "proiettive": mostrano simulazioni di cose che non sono ancora realizzate", ... "i computer provvedono alla gratificazione quasi istantanea dei nostri desideri concettuali"  
(Derrick de Kerckhove)



## Il disegno di progetto

Peter Eisenmann in un articolo del 1992<sup>1</sup> considera la nuova era elettronica come un potenziale motore che permette di fruire e gestire nuove spazialità in cui qualsiasi utente ha la completa possibilità di poter fruire e percepire lo spazio architettonico.

Naturalmente egli non intende l'elettronica soltanto come tecnologia dei computer, adeguata alla sola percezione e fruibilità del mondo virtuale, ma come un mezzo che potrebbe diventare il sistema generatore di modelli digitali.

Proprio in funzione di quanto detto il mondo digitale può essere considerato e associato ad un processo mentale dove lo spazio può essere continuamente modificato e modellato.

Ancora Peter Eisenman nel 1992 asseriva nello stesso articolo appena citato: "Nei cinquant'anni trascorsi dalla fine della seconda guerra mondiale, si è verificato un cambiamento che potrebbe incidere profondamente sull'architettura: lo spostamento dal paradigma meccanico a quello elettronico.

..... Il paradigma elettronico propone una difficile sfida all'architettura, in quanto definisce la realtà attraverso i media e la simulazione, privilegia l'apparenza rispetto all'esistenza, ciò che si vede rispetto a ciò che è. .... L'architettura ..... considera il vedere in

maniera preminente, in qualche modo naturale ai propri sviluppi e quindi inattaccabile a qualsiasi dubbio. E' proprio questo concetto tradizionale del vedere che il paradigma elettronico vuole mettere in dubbio."

Distaccandosi dalla concezione meccanicistica e al contempo intellettualmente visionaria dello spazio prospettata da Eisenman, Gehry utilizza il metodo digitale da un punto di vista pratico, in quanto riesce con facilità a gestire tutte le morfologie complesse da lui pensate attraverso programmi originariamente creati per l'industria aeronautica (Catia).

Inizialmente quindi il computer viene inteso come una tecnologia di verifica e di ausilio al progetto, avvicinandosi ai vecchi schemi di concezione professionale e non sperimentale.

Il passaggio notevole nell'utilizzo del computer nella pratica progettuale è rappresentato dal fatto che, in assoluto, le rappresentazioni cartesiane tridimensionali possono essere sostituite dalla possibilità di poter costruire un cyberspazio, continuamente mutevole e modificabile diventando un settore in cui la concettualizzazione del progetto di architettura diventa un tutt'uno tra progettazione e concettualizzazione dell'idea architettonica.

Diverse sono state le definizioni di cyberspazio, ma una delle più complete è quella di Michael Benedict che definisce il cyberspa-

zio come "una realtà multidimensionale, artificiale o `virtuale` generata, fruita e sostenuta tramite computer e diffusa globalmente", aggiunge inoltre " La sua profondità aumenta con ogni immagine o termine o numero, con ogni addizione, ogni contributo, di dati o pensieri. I suoi orizzonti indietreggiano in ogni direzione; respira più profondamente, diventa più complesso, abbraccia ed impreziosisce. Fluttuante, scintillante, ronzante, fluente, una biblioteca borgesiana, una città, intima, immensa, ferma, liquida, allo stesso tempo riconoscibile ed irricognoscibile"<sup>2</sup>.

Lo spazio generato diventa facilmente fruibile da chiunque lo voglia e da chiunque disponga di una tecnologia adeguata.

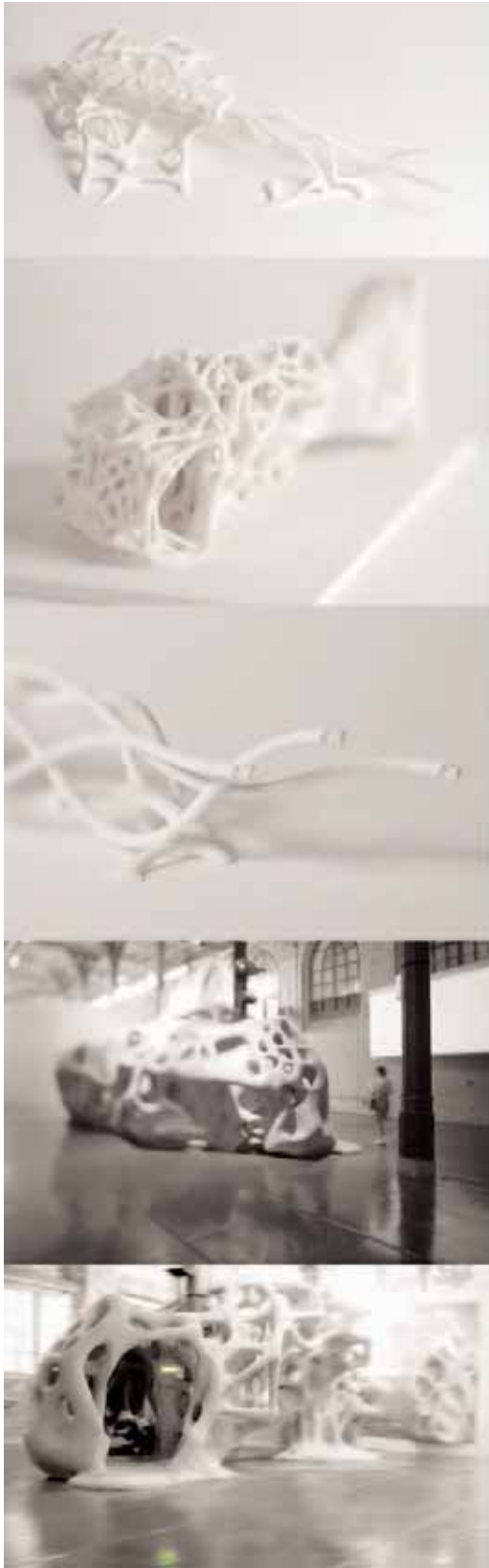
Il computer, quindi, stimola il corpo e la mente e, come strumento eccellente, sembra poter gestire tutti i bisogni dell'utente. Il termine cibernetica deriva da un verbo greco di ambito nautico: guidare, governare (una rotta), controllare; il che costituisce l'attrazione maggiore per i progettisti, che, naturalmente, hanno come impulso principale quello del controllo.

In questo nuovo panorama, al grigliato rigido di una architettura come sistema chiuso si è lentamente insinuata interagendo con essa una concezione scientifica dello spazio architettonico in cui, in maniera più o meno trasversale, confluiscono differenti modelli

interpretativi del mondo, scientifici, filosofici, concettuali, quali, ad esempio, la teoria del caos, la teoria Generale dei Sistemi, la teoria dei frattali di Mandelbrot, la teoria delle catastrofi di R. Thom, che hanno stimolato e contribuito alla formazione di nuove e più originali teorie del processo di generazione della forma architettonica.

Già Eisenman nel 1970, attento lettore di Noam Chomsky<sup>3</sup> e dei suoi studi di linguistica e dello strutturalismo, tenta utilizzare nella teoria architettonica alcune intuizioni chomskyane, e più precisamente quelle di struttura superficiale e struttura profonda. Questa concettualizzazione progettuale non è fine a se stessa ma è finalizzata ad una ricerca di metodi di costruzione, logici e razionali, dei processi formativi del progetto di architettura.

Nello stesso periodo alle teorizzazioni legate ad una definizione tipologica si sviluppano ricerche sulle metodologie scientifiche, sulla ricerca operativa e sulle potenzialità e sviluppi dell'elettronica nel campo dell'architettura. In una serie di convegni che si realizzano su questa tematica<sup>4</sup>, si affrontano e si elaborano metodi per il controllo di alcune fasi del processo progettuale, ricorrendo all'ausilio della geometria, a vari livelli fino ad arrivare alla topologia, o a tecniche mutate dalla ricerca operativa che trovano il loro culmine in quelle di Nicholas



1 FRANÇOIS ROCHE E  
STÉPHANIE LAVAUX, del  
gruppo R&Sie(n),  
Rumeurs, Parigi, Musée  
d'Art Moderne de la  
Ville de Paris / ARCDal 7  
luglio al 9 ottobre 2005

Negroponte e William Mitchell al M.I.T. nel Massachusset.

E' dal 1969 che si dibatte sull'uso del computer nell'architettura e soprattutto su tutte le tematiche legate ai design methods, e cioè ai rapporti tra uomo e ambiente.

Proprio negli atti delle conferenze annuali dell'EDRA, Environmental Design Research Associaton, si affrontano i problemi inerenti la progettazione in relazione a molteplici aspetti che vanno da quelli sociali, a quelli ambientali, a quelli della percezione fino ad arrivare a quelli della simulazione, che poi prenderà il nome, nel mondo della progettazione virtuale, di cyberspazio.

Cambia il modo di gestione del progetto e della concezione dello spazio che ad esso appartiene, che può essere continuamente modificato, gestito, vissuto da parte del progettista attraverso la simulazione. A questo punto lo spazio che configura il progetto può diventare imprevedibile e le immense possibilità di calcolo e le nuove geometrie possono essere facilmente investigate.

Il salto di qualità verso le nuove metodologia è anche determinato dal superamento di vecchi paradigmi relativi alla genesi e alla morfologia delle forme viventi. Per l'appunto le teorizzazioni di Alan Turing<sup>5</sup> sulla morfogenesi sono state spunto di partenza per molti sperimentatori: pur sapendo che per ottenere delle soluzioni a

tutti i problemi sulla complessità organica erano necessarie macchine in grado di eseguire milioni di calcoli al secondo, tuttavia con l'avvento del mezzo informatico, le sperimentazioni e le indagini sulle nuove forme architettoniche, si è potuto, sfruttando tutte le potenzialità delle macchine e dei software, introdurre nuovi modelli nell'esplorazione della forma.

Si affaccia quindi nel nuovo panorama progettuale il concetto di architettura "inter-mediale", investigato da Andrew Benjamin<sup>6</sup> e quindi architettura intelligente, interattiva e virtuale, che potrebbe svilupparsi in due direzioni principali: l'aspetto del formalismo che indaga proprio sull'innovazione formale che scaturisce grazie all'ausilio della scienza e dalle tecnologie informatiche. In questo caso il mezzo utilizzato nel progresso progettuale e quindi nella generazione della forma potrebbe confluire in un aspetto tipologico di tipo fluido, malleabile; l'aspetto non formale di "alterità" in cui lo spazio viene definito attraverso il confronto tra architettura e media. Questo secondo aspetto racchiude un insieme molto eterogeneo di metodi che si spingono sulle tettoniche virtuali nel cyberspazio, sugli ipermedia, sulle textures virtuali. Il prodotto che si ottiene è uno spazio architettonico continuo, flessibile e dinamico, che, potenzialmente, potrebbe sostituire la realtà.

Da quanto detto risulta evidente che tutte queste investigazioni e sperimentazioni di strutture, delle forme, dei modelli e delle geometrie non-lineari procede senza mantenere nessun riferimento nei confronti della geometria euclidea o cartesiana. Per l'architettura, quindi, si è aperto un nuovo orizzonte in cui è la fluidità che esprime e crea nuove modalità e apre sempre nuove possibilità, organizzando simultaneamente differenti configurazioni, in differenti spazi ibridi.

"Ciò che stiamo sviluppando sono le regole per generare la forma piuttosto che le forme stesse.

Descriviamo processi, non componenti" dove l'architetto diventa "un catalizzatore di vita artificiale soggetto, come il mondo naturale, ai principi di morfogenetica, codice genetico, riproduzione e selezione". (James Frazer, 1995) (nota con titolo e pag.)

L'introduzione di sistemi topologici, quindi completamente malleabili, nell'ambito della progettazione contemporanea ha permesso, attraverso l'utilizzo di computer, la generazione di eventi temporali in grado di generare e gestire superfici architettoniche caratterizzate da una complessa continuità topologica.

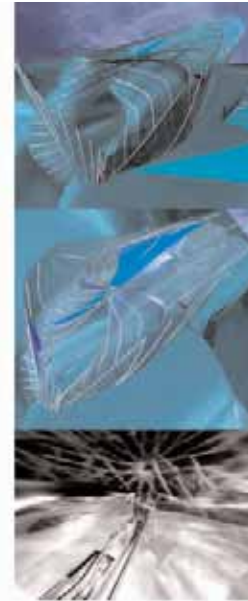
Si possono generare nuove geometrie capaci di esaltare le caratteristiche di tensione e di deformazione delle superfici facendo in modo che alle stesse si possa far assumere il ruolo di pelle sensibile

e modificabile in funzione degli input immessi dall'esterno e quindi dal progettista.

Non si parla più di separazione netta tra interno ed esterno, e, non a caso, Toyo Ito riscontra di notevole interesse il rapporto che intercorre tra l'uomo e l'ambiente che può essere gestito attraverso dei flussi, generabili attraverso il mezzo informatico, che deve essere continuo senza nessuna separazione o rottura. "[..]Nella mia progettazione c'è un elemento antico, di osservazione del cambiamento e dunque di instabilità percettiva ma il dato più forte è quello della realtà odierna, dove la velocità delle comunicazioni non ha paragone con il passato. Infine, c'è una rivoluzione rispetto alla storica immutabilità alla quale l'architettura legava la sua identità. Questa immutabilità era lo specchio di una società ferma, mentre oggi noi sappiamo che la società si muove molto velocemente. L'architettura deve rappresentarla, e dunque pensare se stessa diversamente. E la sua nuova scorrevolezza va percepita da chi guarda e da chi la progetta"<sup>7</sup> (Toyo Ito, 27 Ottobre 2001).

Altri sperimentatori, sempre più interessati alla velocità dei consumi e ai flussi delle informazioni, investigano sulla continua evoluzione e creazione delle immagini e del linguaggio che le accompagna e che diventa sempre più pressante e presente nella quotidianità di ogni





02



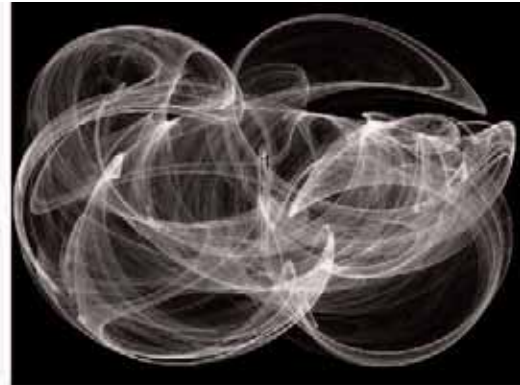
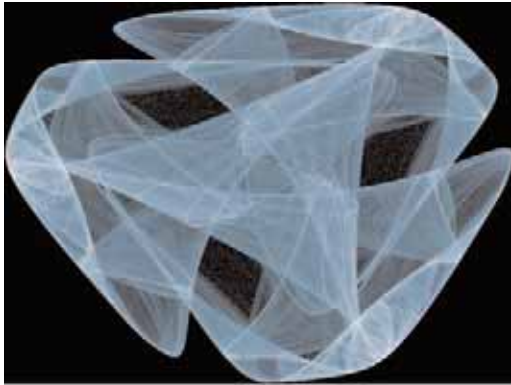
03



2 STEPHEN PERRELLA,  
From Hypersurface  
Topology And the  
Haptic Horizon, Möbius  
House, 1998

3 ANISH KAPOOR,  
Millennium Park,  
Chicago, 2004





04



05



4 Attrattori strani

5 Superfici liquide

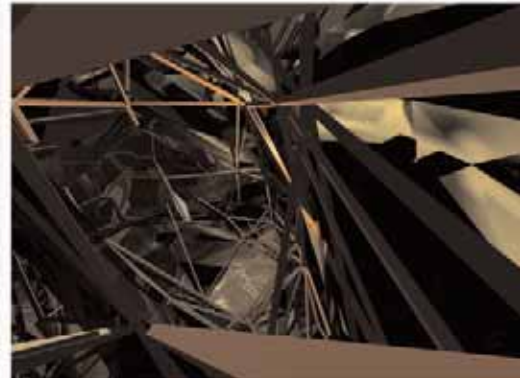
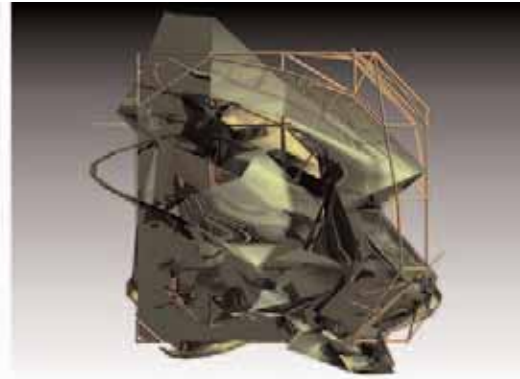
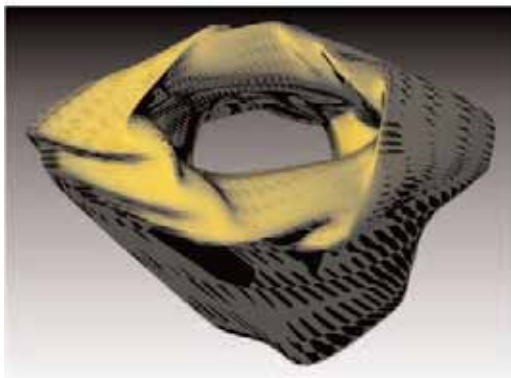
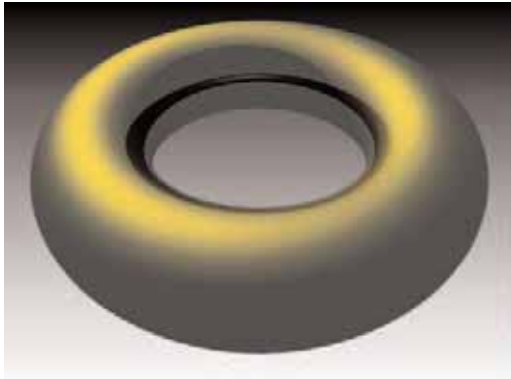
consumatore<sup>8</sup>.

L'informazione entra a far parte dell'architettura contemporanea. Stephen Perrella<sup>9</sup> introduce l'espressione pixel architecture con cui descrive pratiche progettuali che trasformano le superfici architettoniche in cui viene dissolto l'aspetto formale dell'architettura a favore di una interazione tra segni digitali e immagini. Con un simile approccio la forma e quindi l'architettura ricrea nuove soluzioni spaziali e materiali che si concretizzano fondamentalmente nell'acquisizione di dati che provengono essenzialmente dai media e quindi dalla continua e frenetica produzione di immagini.

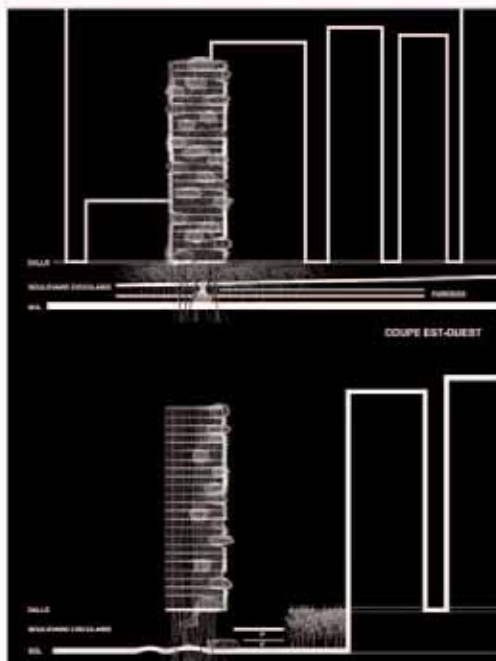
Questa continua commistione tra immagine e effetti programmatici e tecnologici ha fatto sì che gli sperimentatori potessero perdere qualsiasi riferimento formale arrivando alla concezione di "volume libero".

Tali sperimentazioni fanno riferimento alle nozioni di Jeffrey Kipnis che al termine "deformation" fa riferire gruppi di progetti con topologie che non possono essere ridotte alla semplice planimetria o all'astrazione del formalismo modernista, mentre al termine "information" fa riferire gruppi di progetti che incorporano le più diverse componenti programmatiche e formali, in cui gli spazi residui sono ottenuti attraverso la stratificazione visuale, l'innovazione programmatica ed effetti tecnolo-

gici.<sup>10</sup>



6 MARCOS NOVAK,  
TorusWarp, 1998



7 FRANÇOIS ROCHE E  
STÉPHANIE LAVAU,  
(Un)Plug Building, La  
Défense, Paris, 2001



## Differenze

Una volta acquisito il concetto del computer come elemento interagente ed integrante della progettazione, assistiamo ad un panorama in cui le ricerche si sviluppano lungo svariati fronti.

Da teorici come Enrique Limon, La geometria euclidea ha determinato l'architettura dalla storia più antica fino alla modernità. Domani noi costruiremo con la topologia.<sup>11</sup>, allo stesso Paul Virilio, che a proposito dell'obliquo (terza dimensione spaziale) come implementazione architettonica della topologia, ha elaborato un modo per "spiegare" il terreno, ecc, alle ricerche sull'applicazione in architettura dei sistemi di modellazione creativa di strutture genetiche, stimolata attraverso sistemi evolutivi, in grado di autorganizzarsi e autotrasformarsi (Karl S. Chu), a modelli matematici per la generazione della forma per la realizzazione di architetture liquide (Markos Novak), alle esplorazioni interattive (Marcos Lutyens e Tania Lopez Winkler), per arrivare alle sperimentazioni di studi affermati come Eisenman Associated, Jerde Partnership, T.F. Hamzah and Yeang, E.O.Moss, Nox, per arrivare a Toyo Ito, ecc.

Entrano nel linguaggio architettonico nuovi concetti e soprattutto atteggiamenti progettuali quali quello di "dis-locazione" introdotto da Peter Eisenman, per il quale la relazione tra soggetto e oggetto

viene ribaltata "...L'idea di "rovesciamento" implica la dis-locazione del soggetto antropocentrico. "Rovesciare" non significa che l'oggetto diventi soggetto, che è l'antropomorfizzazione dell'oggetto. "Rovesciare" vuol dire separare il soggetto dalla razionalizzazione dello spazio. In altre parole permette al soggetto di avere una visione dello spazio che non può più essere associata alla costruzione normalizzante, classicizzante o comunque tradizionale della visione, un altro spazio che guarda al soggetto. Un primo passo possibile per comprendere il concetto di spazio "altro" potrebbe essere quello di frapporre una separazione - una distanza - fra ciò che uno vede e ciò che uno conosce: separare l'occhio dalla mente. Un secondo passo sarebbe quello di inscrivere lo spazio in modo tale da dargli la possibilità di riguardare al soggetto. ....

Supponiamo per un momento che l'architettura possa essere concettualizzata, come un nastro di Moebius, come continuità interrotta fra interno ed esterno. Che effetto avrebbe questo sulla visione? Gilles Deleuze ha proposto tale tipo di continuità con la sua idea di "ripiegatura". Per Deleuze, lo spazio ripiegato costruisce un nuovo rapporto fra "orizzontale" e "verticale", figura e piano, interno ed esterno..... A differenza dello spazio della visione classica, l'idea di spazio ripiegato si sottrae all'in-

quadramento e punta invece su una modulazione temporale. Lo spazio ripiegato non privilegia più la proiezione planimetrica, ma si traduce in una curvatura variabile.”<sup>12</sup>

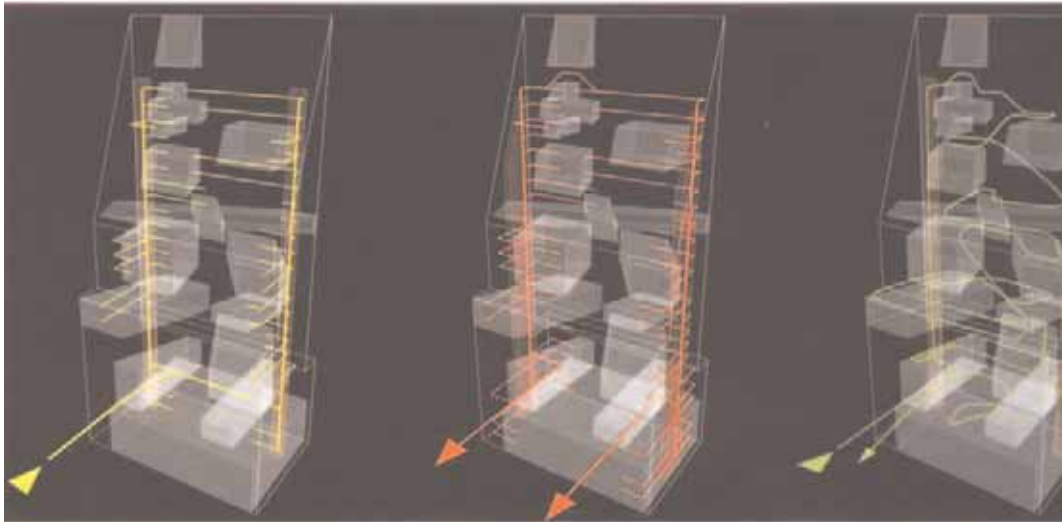
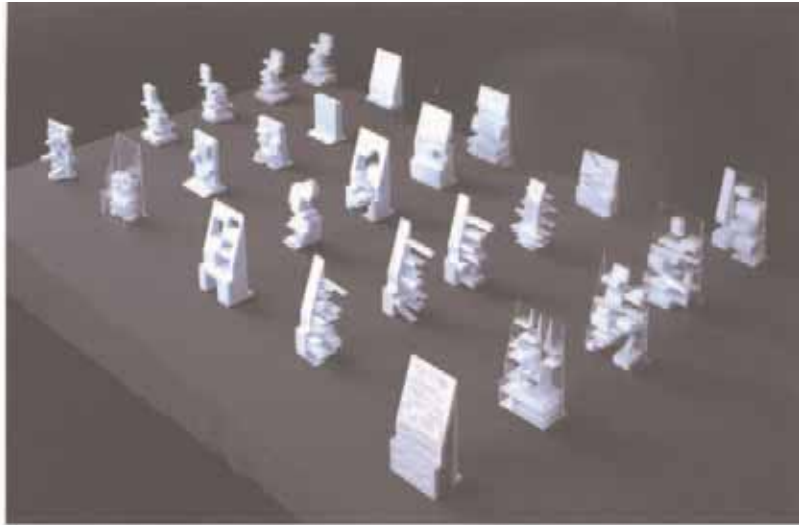
Proprio riguardo al concetto di spazio considerato non come modello statico ma come una superficie topologica, Ben Van Berkel e Caroline Bos analizzano gli effetti che lo spazio e il tempo differenziali hanno prodotto. In una superficie topologica si registrano i cambiamenti degli slittamenti spazio-temporali in una deformazione continua, provocando moltissime potenzialità nella definizione della forma architettonica, in cui la deformazione continua porta inequivocabilmente all'intersezione dei piani esterni ed interni, come nel Nastro di Moebius.

Van Berkel e la Bos utilizzano questa forma topologica per la realizzare un progetto di una casa, in cui sono stati inseriti campi differenziali di spazio e tempo. Questa casa è stata progettata come una struttura programmatica continua in cui le funzioni, spesso considerate come coppie dialettiche quali interno esterno, lavoro tempo libero, struttura portante con struttura non portante, si integrano, fluiscono l'una nell'altra. L'interesse dei due progettisti era quello di ottenere uno spazio interno non chiuso in quanto le geometrie sono non orientabili, autointersecanti, proprio come il Nastro di Moebius e

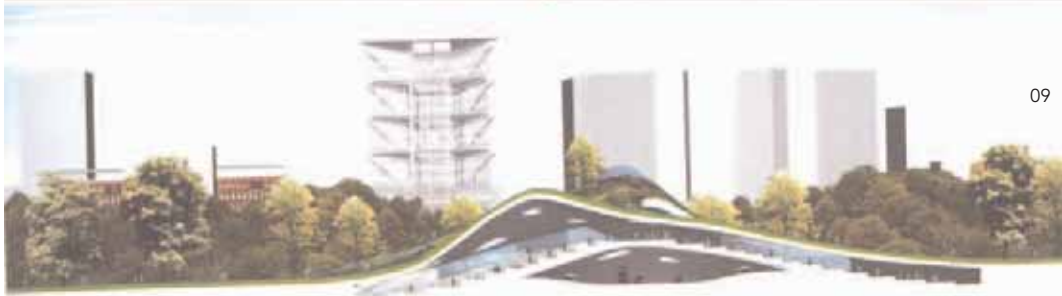
la bottiglia di Klein.



08



09



8 MVRDV, Media Galaxy (Eyebeam Institute), New York, 2001

9 MVRDV, LNV. Nuovi uffici del ministero dell'agricoltura, La Haya,

## Guidati dal Computer

Con il termine topologia architettonica si intende la modificazione di forma, struttura, ambiente e progetto in modelli intrecciati e dinamiche complesse. Negli ultimi anni è nata e si è sviluppata una nuova sensibilità progettuale agevolata dalla facilità gestionale e dall' introduzione delle nuove superfici architettoniche in cui le mutazioni della forma in topologia sono state sistematicamente esplorate ed applicate a diversi progetti di architettura.

"La narrativa trascende ciò che una mappa taglia. In greco la narrazione stabilisce un itinerario (una "guida") e lo attraversa (compie una "trasgressione"). Lo spazio delle operazioni in cui si compie il suo viaggio è fatto di movimenti: è uno spazio topologico, che riguarda la deformazione di figure piuttosto che di luoghi topici definiti." <sup>13</sup>

Lo "spazio" architettonico è inequivocabilmente influenzato e assoggettato dai vari software di animazione, modellazione e dalla produzione di CAD e di informatica e si distingue dallo "spazio" cartesiano in quanto include nella formalizzazione della superficie il fattore tempo.

## Nuove metodologie: alcuni protagonisti

In una analisi del panorama progettuale mondiale verranno brevemente descritti alcuni progettisti che hanno teorizzato e investigato le nuove metodologie ripensando quelli che sono stati i presupposti tradizionali della architettura.

## Karl S. Chu

Karl S. Chu si occupa della trasformazione della natura attraverso il potere della razionalità, analizzando i cambiamenti propri della meccanica quantistica, trasportandoli nel mondo informatico e analizzando soprattutto il concetto di movimento astratto. Si concentra fondamentalmente sul concetto di "principio cosmogenetico in cui la sintesi è l'eccellente risultato di un ritorno a una seconda natura - un'idea trascendentale della natura"<sup>14</sup>. Chu si riallaccia al concetto di spazio genetico di John Frazer differenziandosi però nella definizione dello spazio genetico e della supremazia degli algoritmi lasciati liberi di crearlo. Lavora su uno "spazio etereo sviluppato elettronicamente" cui la specie umana dovrà adattarsi in un futuro piuttosto che creare elettronicamente una architettura costruita in base a codici genetici che le permetteranno di adattarsi all'ambiente esistente come suggerito da Frazer.<sup>15</sup> Le ricerche architettoniche di Chu si identificano in sistemi dinamici di automi cellulari (CA) e di algoritmi genetici (Gas) all'interno di strategie di progettazione architettoniche basate sul tempo, in cui la modellazione creativa di strutture genetiche viene stimolata attraverso sistemi evolutivi dinamici in grado di automodificarsi e autorganizzarsi. Si tratta di formazioni morfogeneti-

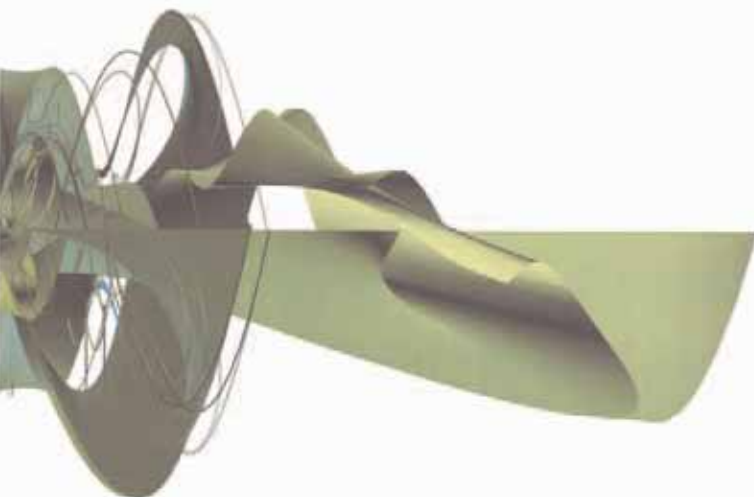
che la cui modellazione è conseguente a una metodologia costruttiva legata a sistemi generativi. Per esplorare una "architettura genetica attraverso superfici generative", Karl Chu scrive una formula algebrica che genera sei combinazioni primarie da tre elementi primari, e assegna ad ognuno di essi una lettera A-B-C. Queste vengono tradotte in stringhe di caratteri da cui hanno origine ulteriori generazioni, ottenute da una formula algebrica aperta capace di realizzare connessioni e combinazioni di complessità sempre crescente. Attraverso questo procedimento riesce a dar luogo a combinazioni spaziali e formali che lui non può prevedere, per cui tramite il software da lui creato analizza le superfici topologiche generate da relazioni fra gli elementi. Si preoccupa quindi di tradurre questo linguaggio in informazioni geometriche analizzando il grafico ottenuto in modo tale da tradurre la ramificazione del grafico sugli assi X Y e Z dello spazio cartesiano del computer. Ha quindi realizzato un software capace di tradurre il linguaggio astratto delle informazioni geometriche. Le informazioni diventano quindi la struttura delle interrelazioni delle superfici in relazione alle coordinate X Y e Z. Le forme in evoluzione sono viste sul monitor in prospetto frontale, dando l'idea di provenire dalla profondità dello schermo.



01



02



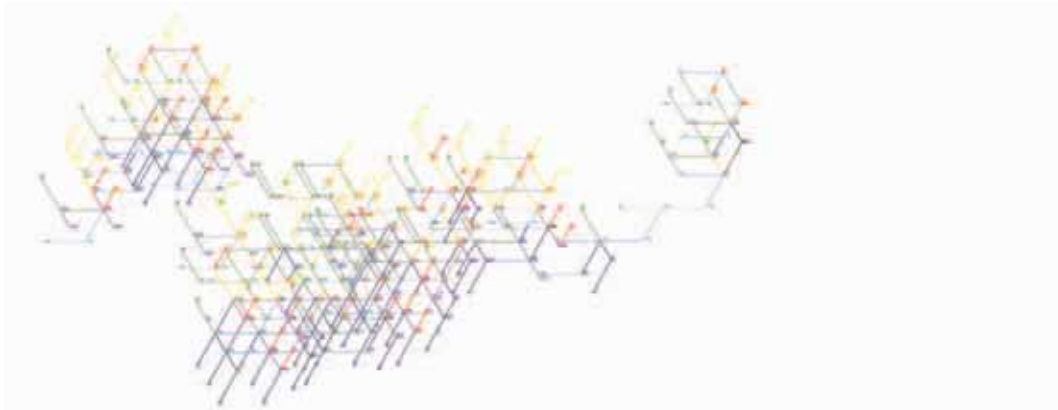
03

1 Riproduzione degli schemi evolutivi rafforzata da colori naturali

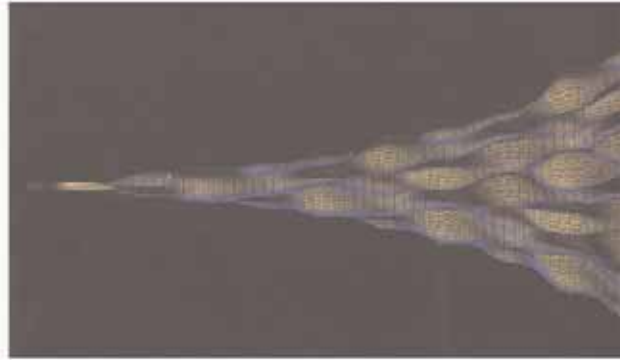
2 Il passaggio dalla simulazione tridimensionale alla forma costruibile

le è ovviamente la sfida successiva del processo di Chu

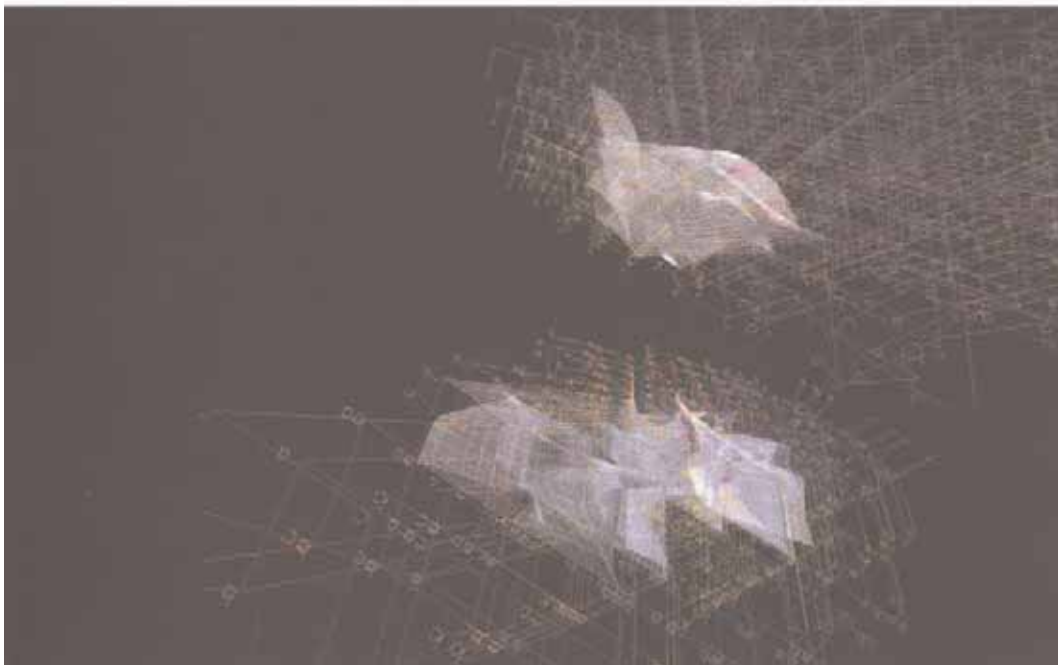
3 Formazione di superfici



04



05



4 Chu possiede una visione interiore di un mondo nuovo che sente essere ancora a uno stato embrionale

l'inizio degli studi di Karl Chu

6 Formazione di superfici

5 Gli algoritmi sono solo

## NOX

Le ricerche del gruppo olandese NOX , guidate da Lars Spuybroek, si basano sulle idee avanzate da Maurice Merleau-Ponty<sup>16</sup>. Facendo partire la progettazione da diagrammi quantificati in una pianificazione semiconvenzionale, "movimento dell'edificio", ed affiancandoli a diagrammi concettuali realizzati al computer che vengono successivamente animati dai dati quantificati, "movimento nell'architettura", arrivano a tracciare modelli comportamentali reali, "movimento nel corpo", tradotti nello spazio.

"Il movimento nell'architettura è analizzato come trasformazione di un elemento architettonico in un altro, da pavimento a muro, da linea a superficie, da punto a linea.... tutto questo cambiamento di forma, mescolanza, fusione, contorcimento, divisione in strati e frazionamenti sono azioni che diventano parte della forma e creano delle vie di mezzo".

Questo approccio progettuale inizia a riscontrarsi nel progetto del NEW PALACE HOTEL sulla spiaggia di Noodwijk, nei paesi bassi, e un viale attiguo commissionati dall'Amsterdam Design Institute nel 1997. La volontà era quella di eliminare la linea di demarcazione tra cielo, terra e acqua; il tutto è stato risolto sollevando particelle di spiaggia, quindi sabbia, o bolle, quindi acqua , in un vortice. Si è

ottenuto quindi una spirale che diventa il tracciato di una struttura in acciaio avvolta in una struttura translucida. Le camere dell'albergo sono arretrate di alcuni metri rispetto al perimetro esterno, formando un muro cavo per la circolazione dell'aria, inoltre la struttura esterna diventa di notte uno schermo per la proiezione di film che possono essere visti dalla spiaggia. (Beachness; altri esempi da mettere : padiglione dell'acqua - pavillon de l'eau e altri).





01



02



1 Maison Folie a Lille.  
Vista serale della Parete  
traslucida esterna

degli interni

2 Centre Pompidou 2  
Vista render del complesso  
dall'esterno e



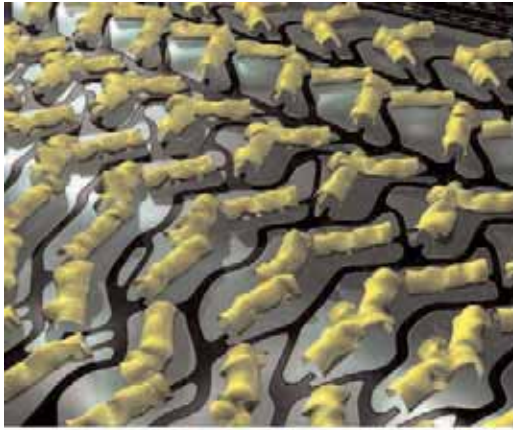
03

04



3 Jalisco Biblioteca  
Pública. Vista esterna

4 Jalisco Biblioteca  
Pública. Vista Interna



05



06



07



08

5 Modello di abitazione

no

6 Modello di abitazioni  
in serie

8 H2O Padiglione del-  
l'acqua. Vista dell'inter-  
no

7 H2O Padiglione del-  
l'acqua. Vista dell'ester-

## Greg Lynn (Form)

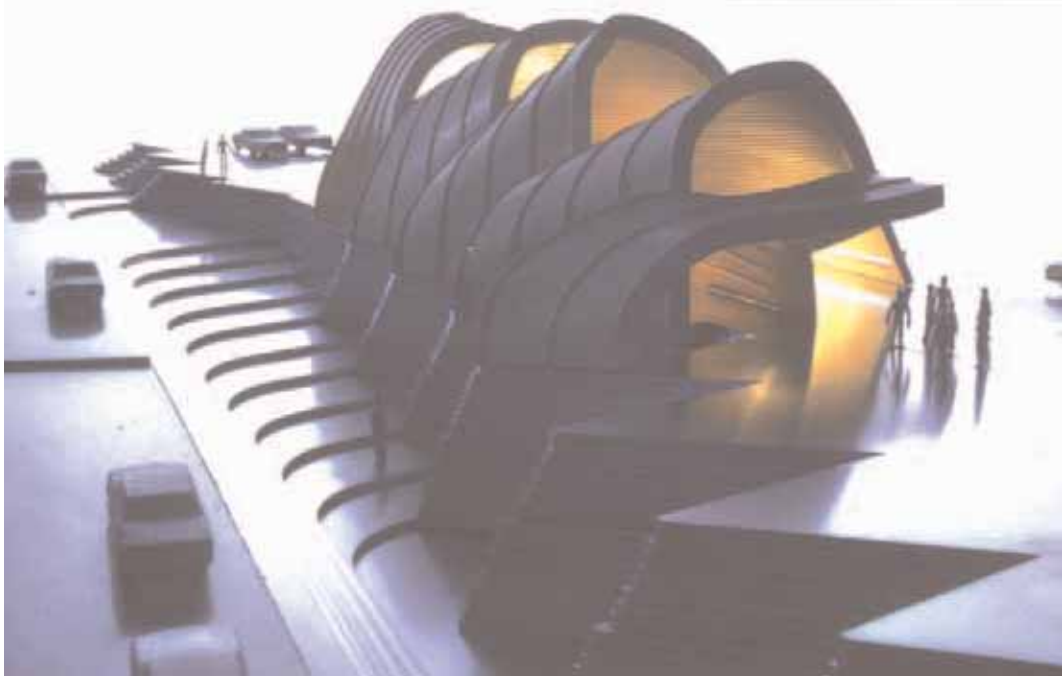
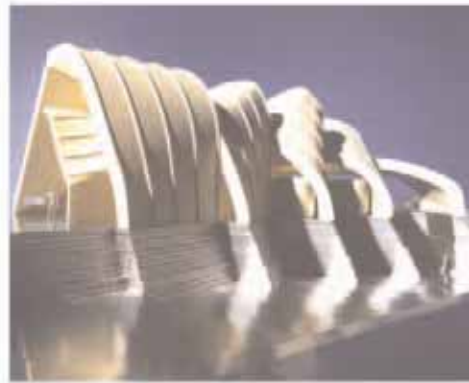
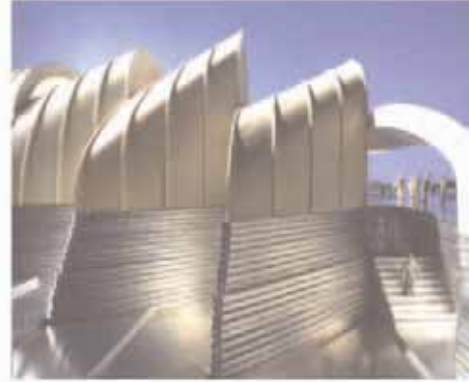
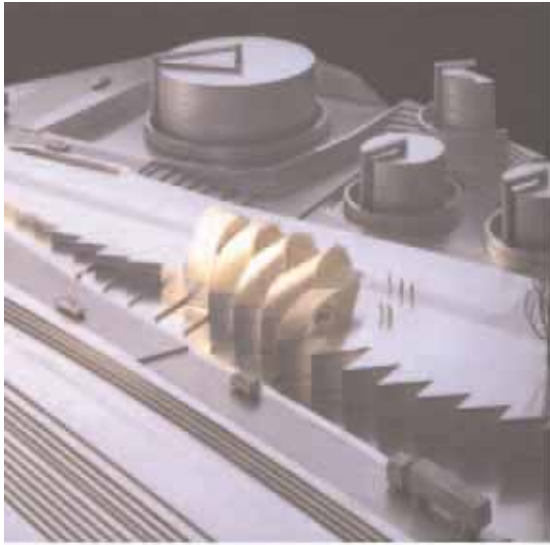
Interessato fondamentalmente alla morfologia, alla geometria e alla questione della forma in generale, analizza e fa interagire l'architettura con influenze socio-culturali del mondo contemporaneo, da cui fa scaturire strategie che si trasformano in forze atte a plasmare le superfici.

Utilizza fondamentalmente software nati per l'industria degli effetti speciali e dell'animazione, che impiega utilizzando i parametri di tempo e movimento attraverso i quali riesce a ottenere architetture dinamiche e flessibili con un processo di progettazione assolutamente formale.

Il suo metodo dinamico di progettazione è caratterizzato da una qualità comportamentale di un sistema che solo apparentemente può considerarsi casuale, ma dove in realtà il comportamento del sistema operativo può essere predetto, fino a un certo limite, attraverso equazioni matematiche. La sua progettazione è caratterizzata da due caratteristiche fondamentali: la metodologia progettuale, che procede secondo una dimensione temporale e parametri sperimentali non lineari; e la seconda, caratterizzata dal controllo dei sistemi organizzativi e animazioni nei loro processi di trasformazione, mutazione, crescita. Teorizza quindi modelli evolutivi attraverso interazioni morfogenetiche in cui sperimenta pro-

cessi di deformazione di geometrie topologiche come curvatura e torsione. Nel progetto per l'Embryologic Housing Lynn propone un prototipo di edilizia prefabbricata costituita da una superficie composta da più di tremila singoli pannelli. Lungo la superficie sono posizionati una serie di "punti di controllo" in modo tale che ogni singola alterazione produca una mutazione su tutti gli altri pannelli. L'animazione è stata concepita in modo che la caratteristica curvilinearità della superficie è effetto dei flussi vettoriali contestuali in movimento, che interagiscono in maniera differente con le forme. Queste variazioni sono legate alla tecnologia di fabbricazione (CNC a tre assi) mediante processi robotizzati computerizzati. L'interesse principale di G. Lynn sono le strutture note come blob o metaballs ottenute da polisuperfici isomorfe. Si tratta di monadi, elementi primi, autonomi, indivisibili, in grado di flettere altri oggetti, attrarli, unirli, aggregarli. Interagendo fra loro, queste polisuperfici rimodellano la loro composizione e forma in relazioni a due fattori: il collocamento all'interno di un campo di altri blob con le loro zone di attrazione, e la forza gravitazionale interna assegnata agli oggetti, risultandone un continuo composito formato da componenti eterogenei, che appare simultaneamente come un'unità e una molteplicità.





1 H2 House for the  
OMV. Vista del modello

## Marcos Novak

Creatore di " non luoghi " completamente percorribili e investigabili elettronicamente in cui l'architettura è considerata come l'interfaccia dell'immaginazione. Tutto ciò è realizzabile in una realtà virtuale mentre il cyberspazio ne è il contenuto, e la combinazione dei due realizza mondi e architetture completamente desumibili dalla nostra immaginazione.

Novak è assolutamente convinto della possibilità di realizzare ambienti virtuali in rete, in cui è possibile costruire spazi per l'abitare umano all'interno di un mondo elettronico capace di avere motori genetici di vita artificiale.

L'architettura del cyberspazio è caratterizzata da una completa mutabilità della forma che conduce all'idea di architettura liquida che comporta la ridefinizione del tempo come elemento attivo dell'architettura.

"L'architettura liquida produce città liquide....", si muove quindi in uno spazio che altro non è se non un nuovo paradigma della realtà virtuale che Novak definisce con il termine di " transmodernità".

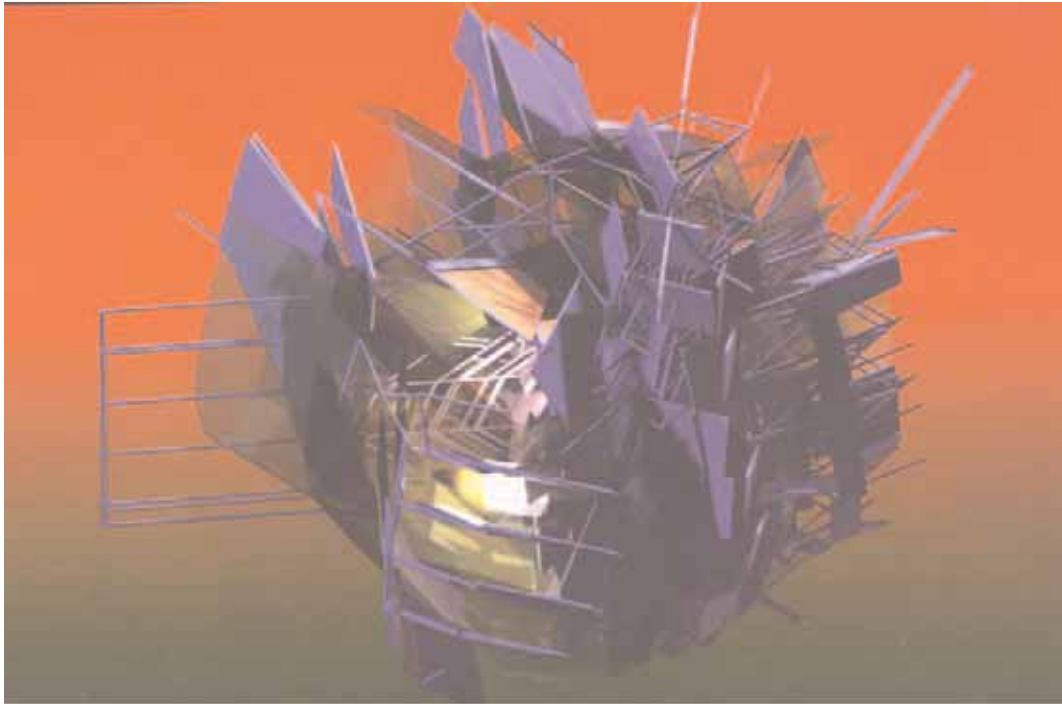
"Io calcolo o trovo un campo di forze o di dati e lo esamino per reperirvi le isosuperfici. Quindi porto all'esterno le isosuperfici in un iperspazio di maggiori dimensioni, trasformo i nuovi e più ampi iperoggetti nell'iperspazio, proietto l'oggetto in uno spazio di

dimensioni più limitate , un ipersuperficie dell'iperspazio, e poi infine fletto la matrice spaziale stessa in una nuova curvatura dello spazio". Una ipersuperficie di un iperspazio di ( n- ) dimensioni è una submultiformità di ( n-1) dimensioni. Così l'ipersuperficie di un iperspazio a quattro dimensioni spaziali è uno spazio tridimensionali<sup>17</sup>.

Il lavoro di Novak è costituito da una ricerca sulle tettoniche virtuali in cui costruisce modelli matematico-algoritmici e procedure generative determinate da numerose variabili senza nessun ordine pragmatico.

Applica quindi una nuova nozione di continuità astratta che introduce l'algoritmo invariante, la nuova topologia variabile, in cui il prodotto dell'algoritmo può essere discontinuo o frammentato in una nuvola di particelle.





01



02

1 Studio di dettaglio  
delle superfici intrecciate  
e dei collegamenti

2 Paracube. Viste del  
modello

## Hani Rashid e Lise Anne Couture (Asymptote Architecture)

Hani Rashid e Lise A. Couture indagano le relazioni tra modellazione virtuale, realtà virtuale e spazio costruito con una indagine di tipo fenomenico includendo soggetti e oggetti che introdotti in una realtà virtuale si concretizzano in una architettura che è il risultato di molteplici dinamiche.

Il loro lavoro è al limite tra il concettuale e il concretizzabile, quasi uno "spazio metafisico" in cui spingono la loro ricerca nei settori del cinema, cultura, arti visuali e architettura.

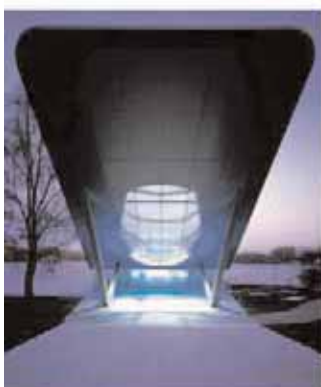
I loro progetti analizzano il rapporto fra statico e dinamico, tra ciò che è tattile e ciò che è intangibile, ciò che è stabilito e ciò che è indeterminato in un susseguirsi di eventi incontrollati, di variabili, di possibilità.

I loro studi, definiti sperimentali, "optigraph" in cui analizzano i processi legati ad esperienze ottiche, e gli "hyperfine splitting", esplorano una architettura non-finita attraverso sofisticati programmi software e affrontano la dispersione o la dissoluzione dell'oggetto-edificio. Gli optigraph sono nati guardando alle immagini trovate in giornali, riviste, opuscoli di viaggio, manuali tecnici, programmi di spettacoli, televisione, pubblicità e ogni altro mezzo che mostrasse in modo evidente il culto dell'immagine. Questo modo di proceder,

registrare, riesaminare- combinato con vettori fenomenologici come il rumore, la confusione, l'anonimato, il delirio e l'allucinazione-ha prodotto architetture che spuntano precarie sotto le ultime vestigia della modernità, rivelando territori nascosti pieni di enigmi, anomalie e delusioni. ( H.Rashid, Monograph 95)

L'Hyperfine Splitting trasferisce l'influenza del computer su tutti gli aspetti dell'attività umana. In questa serie utilizzavamo la fotografia digitale, la scannerizzazione, la videoanimazione, il disegno e la modellazione per catturare momenti architettonici in una creazione di spazio variamente continua e fluida..Emerge uno spazio fatto solo di luce. ( H.Rashid, Monograph 95)

Gli Asymptote propongono un nuovo rapporto tra architettura tradizionale e spazio geometrico inteso come referente astratto. La misura basata sulla geometria cartesiana viene infatti sostituita da molteplicità di dimensioni infinitesimali, contemporaneamente sia qualitative che spaziali per cui ogni approccio geometrico promuove infinite possibilità per l'architettura.



1 Haarlemmermeer  
Pavillion, HydraPier,  
Floriade, 2002,  
Haarlemmermeer





2 BMW, Order  
Fulfillment Center,  
Munich, German, 2001



03



04



3 Guggenheim Museum  
Guadalajara, Mexico,  
2005

4 Benkenhof Auditorium  
and Chapel, Rotterdam,  
2003



## dECOi

Lo studio dECOi, diretto da Marc Goulthorpe, nato a Parigi nel 1991, ha inizialmente svolto la sua attività nei concorsi, ricerca teorica, installazioni sperimentali. Lo studio indaga non solo nelle tecniche generative della forma, ma anche sull'interazione tra le conoscenze tecniche e le teorie culturali.

Goulthorpe afferma di pilotare il computer praticamente in ogni aspetto della nostra vita, e ancora di più nell'architettura. Il gruppo si è preoccupato molto del rapporto tra architettura e tecnologia e soprattutto del rapporto che potesse intercorrere tra il loro concetto di spazio e la relazione che esiste tra la tecnologia e le forme da loro sperimentate. Inoltre Goulthorpe con lo studio si sono occupati della trasformazione del meccanico in post meccanico, lineare in non lineare, del solido in fluido, insomma di tutti quei dati e quelle informazioni che inducono il progettista a teorizzare e ad investigare sulla forma.

Incoraggiati dalla sperimentazione sempre più spinta dei software e dalle possibilità offerte dall'hardware, riescono a elaborare idee nate dalla loro creatività e formalizzate sul monitor del computer.

Hanno quindi scelto di investigare la loro progettazione con l'ausilio del computer utilizzando gli algoritmi dell'animazione dinamica per creare sequenze imprevedibili di

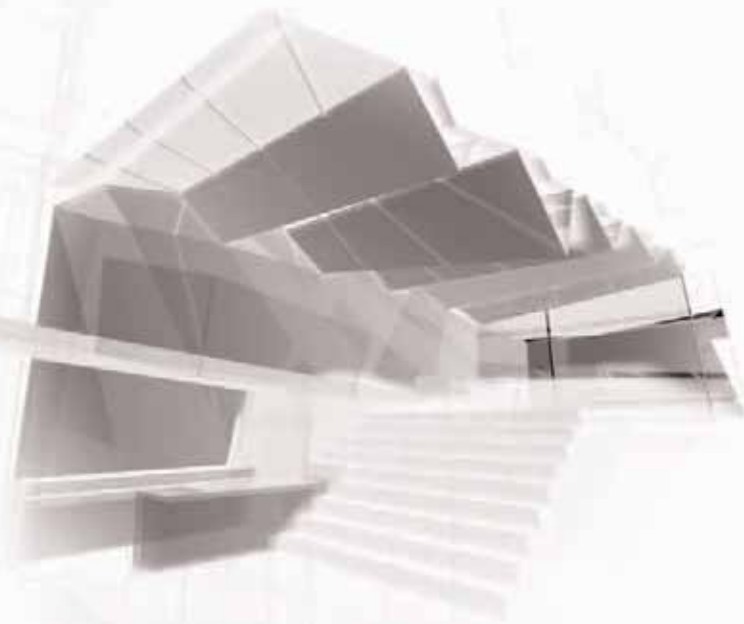
curve e superfici. La loro progettazione spesso si avvale di processi generativi in cui, il disegno e la rappresentazione delle curve è ricavata dalla rotazione di forme amorphe, e fanno tracciare a queste delle sequenze chiamate "glyphics". Operando su queste ottengono curve fluide che creano, a loro volta, forme dinamiche.

La loro ricerca progettuale si muove su una sottile e più fluida forma creativa, in alternativa alle forme lineari. Sperimentano inoltre nuovi processi computazionali, invenzioni e improvvisazioni tecnologiche in cui danno grande importanza alla mobilità e alle applicazioni tecnologiche. (mettere esempi tra cui Aegis sviluppato con Objectile guidato da Bernard Cache)

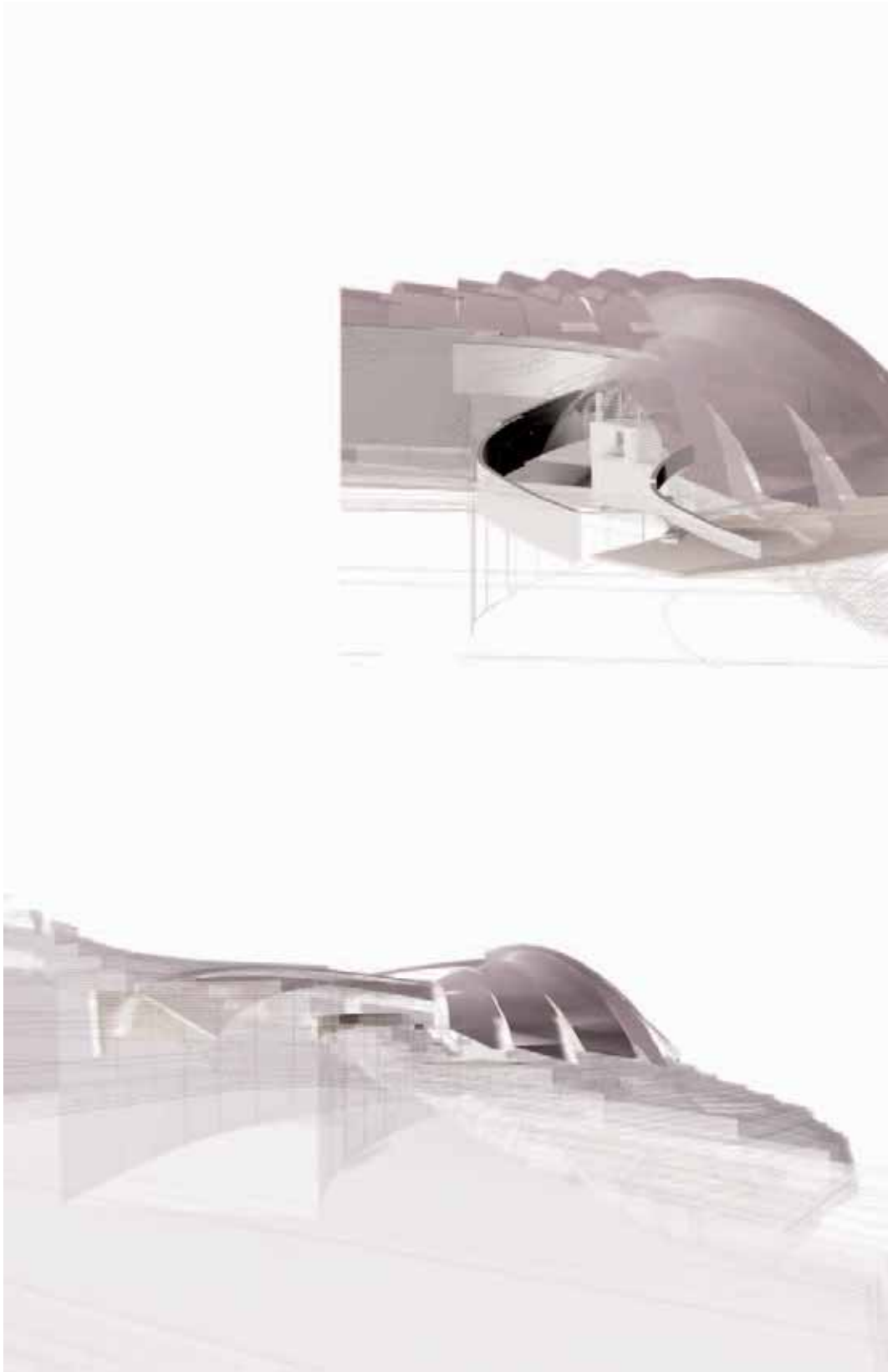




1 Bankside Paramorph,  
London, 2004



2 Dietrich House,  
London, 1999



3 ECO Taal, Philippines,  
1998

## Marcos Lutyens e Tania Lopez Winkler

Marcos Lutyens e Tania Lopez Winkler conducono da anni un progetto sperimentale denominato "Second Skin" (Seconda Pelle), che attraverso un complesso processo ed un software impostato su un algoritmo genetico, ottengono modelli architettonici tridimensionali che inseriscono in ambienti di realtà virtuale.

Second Skin è un progetto che coinvolge studenti e professionisti d'architettura di tutto il mondo allo scopo di creare le basi per un nuovo incipiente approccio all'architettura. Il progetto è iniziato nel Giugno 2001 all'

Architectural Association di Londra ed è proseguito All'Academy of Art di

Gdansk, in Polonia, all'Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores di

Monterrey, in Messico, al Festival Internazionale di Architettura in Video

"Beyond Media", a Firenze nel Maggio 2002 e recentemente a New York, in

occasione di ArtSci2002 all'American Museum of Natural History.

Le strategie urbane ed architettoniche solitamente seguono un vettore che va dal macro al micro, dal generale allo specifico, dalla prescrizione

alla soggettività. Second Skin inverte questa traiettoria, cercando un processo per una nuova "progettazione emergente". Second Skin inizia esaminando elementi, forme e strutture risidenti dentro l'inconscio del singolo architetto e che si relazionano al suo concetto primordiale di "protezione" e di "abitare".

Seguendo l'idea degli archetipi inconsci di Jung e l'investigazione sugli schemi di Kant, scaturiscono degli "intratipi", definibili come i pattern ricorrenti delle

nostre interazioni inconsce e dei nostri programmi mentali, gli stessi che

danno coerenza e struttura alla nostra esperienza vitale e che si manifestano

generalmente come pensieri ed azioni consapevoli.

Queste modalità del processo mentale sono stimulate attraverso tecniche di

induzione ipnotica e proiettate in seguito nel terreno della disciplina architettonica. Attraverso suggestioni di amnesia e di astrazione agnostica,

che scollano il soggetto dalle vigili tendenze ad applicare sempre e comunque

concetti esterni filtrati dai loro pensieri (come per esempio contaminazioni dai

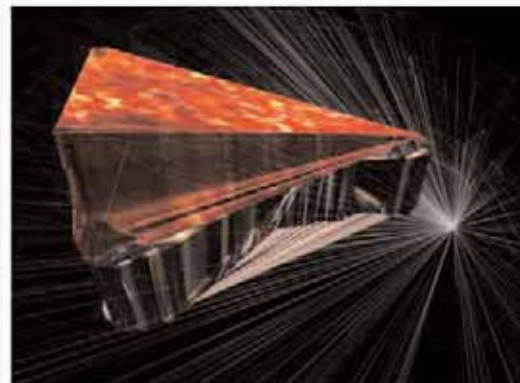
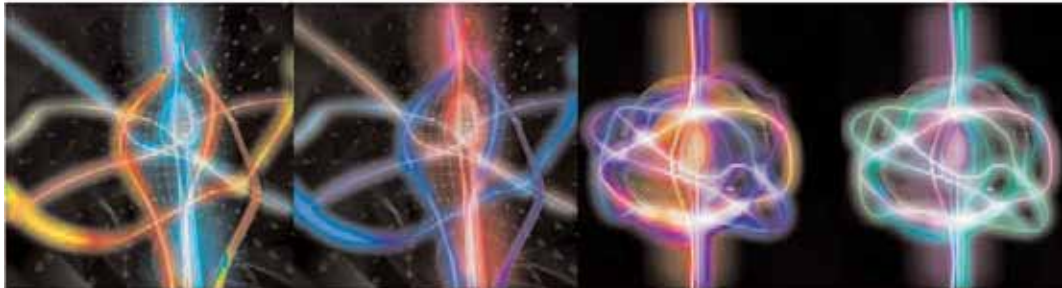
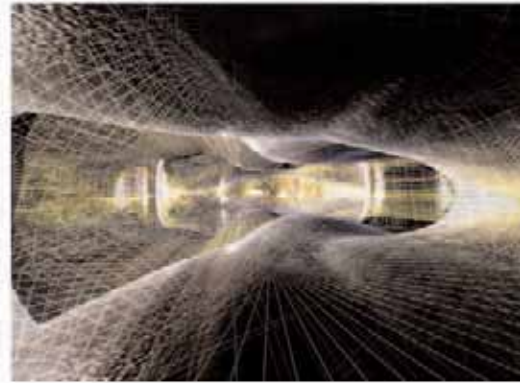
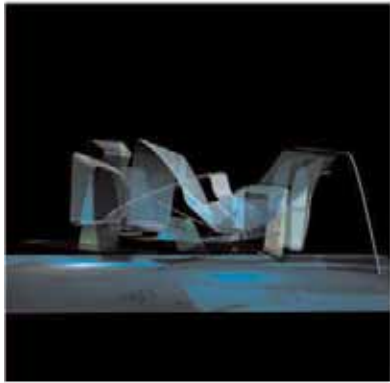
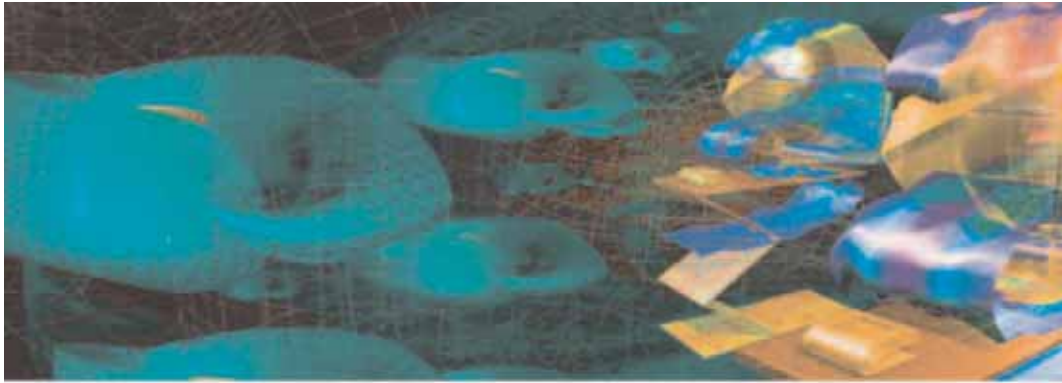
media o dalle persone vicine), gli sperimentatori sono indotti ad estendere la loro consapevolezza con la creazione di una Seconda Pelle. Second Skin è uno spazio architettonico che corrisponde ad un allargamento del proprio io e che risulta infine composto da combinazioni della memoria su nozioni profonde cerebrali che riguardano i concetti di "protezione" e di "abitare". Second Skin utilizza il naturale processo della mente come modello per un approccio architettonico ed al contempo usa l'architettura come una metafora per costruire una nuova casa per uno spazio collettivo della mente. Ogni volontario ascolta una traccia audio che induce alla trance e che è stata appositamente costruita per far scaturire spontaneamente forme architettoniche dall'inconscio. Gli studenti disegnano le loro impressioni sulla carta in questo stato di trance, annotando una dettagliata descrizione delle loro impressioni: specifiche qualità della grandezza, della forma, della struttura, dei materiali, del punto di vista, particolari esperienze cinestetiche e propriocettive, tutto relativamente alla loro Seconda Pelle. La fase successiva del progetto

converte queste informazioni in un formato oggettivamente identificabile, mappabile, manipolabile e riconfigurabile. Lo scopo è di costruire un modello di un modo "intratipico" di abitare o, meglio, di scovare una struttura che scaturisce ed evolve partendo dagli "intratipi" collettivi. Le fasi prettamente progettuali sono le seguenti:

- 1) i modelli 3D vengono disegnati in AutoCad e 3D Studio Max;
- 2) collocati in un ambiente generato e guidato da algoritmi, basato su funzioni che permettono un nuovo comportamento evolutivo, i modelli iniziano a tramutarsi in nuove forme che inglobano gli "intratipi" derivati dall'inconscio collettivizzato;
- 3) le strutture che emergono sono quindi convertite in modelli stereolitografici tridimensionali;
- 4) alcune di queste strutture vengono poi costruite a scala umana;
- 5) in un vicino futuro le tecniche e gli approcci di Second Skin saranno integrate in strategie future per la progettazione reale e l'urban planning.







2 Second skin, 2001

## Peter Eisenman

Peter Eisenman riconosce da subito le potenzialità della progettazione assistita riconoscendo nel computer un alleato importante.

Utilizza la modellazione tridimensionale per l'investigazione dello spazio che può essere sia indagato attraverso sezioni continue che modellato contemporaneamente dall'interno e dall'esterno, con la possibilità di avere un controllo continuo della progettazione.

Tramite il computer riesce a definire un sistema progettuale dinamico che nasce dalle relazioni di figure geometriche diverse che mediante l'utilizzo di diversi parametri vengono modificate attraverso il morphing.

La ricerca formale nella progettazione viene effettuata tramite un sistema di rappresentazione virtuale in cui la manipolazione delle forme si concretizza attraverso lo spazio e non attraverso una materia inerte.

Eisenman si avvale spesso di una tecnica utilizzata nel cinema, chiamata morphing, che nasce come tecnica che interpola fluidamente due differenti livelli di aggregazione formale in una forma continua. La sua importanza è data dalla capacità di mutazione di certe caratteristiche di una configurazione in altre istanze illimitate, comportando quindi una trasformazione di oggetti, di struttura, misura e forma completamente differenti .

In effetti non analizza il rapporto tra figura-progetto e terreno-sito ma le singole figure sovrapposte in modo tale da trasformarle in un nuovo sistema di vita urbana.

Identificate le geometrie di partenza, il progetto comincia il suo sviluppo attraverso il sistema digitale e si genera il diagramma che agisce sul luogo secondo due scale di intervento.

La prima, a livello urbano, in cui il morphing restituisce posizione al sito e commistiona al meglio l'integrazione tra progetto e sito.

La seconda, a livello architettonico, in cui si realizzano una serie di varietà di tipi edilizi capaci di adattarsi alle esigenze di vita.

Fondamentale quindi nella sua progettazione l'utilizzo di modelli sia iconici che diagrammatici che gli permettono di vedere in anticipo e di seguire al meglio l'evoluzione progettuale di ciò che si vuole realizzare.

Contemporaneamente sviluppa durante la fase di progettazione plastici, diagrammi e modelli informatici che dialogano tra loro, ma ognuno di loro allo stesso tempo sviluppa autonomamente nuove prospettive e possibilità che portano alla ottimizzazione finale del progetto.

Come precedentemente detto la progettazione di Eisenman ruota intorno al controllo tridimensionale dello spazio.

I plastici aiutano a anticipare l'evoluzione progettuale di un edificio,

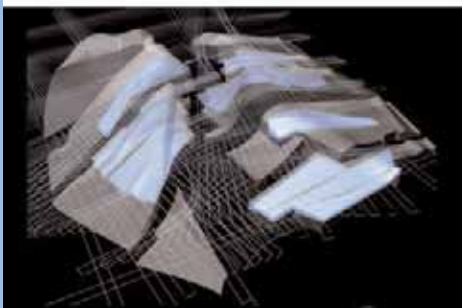
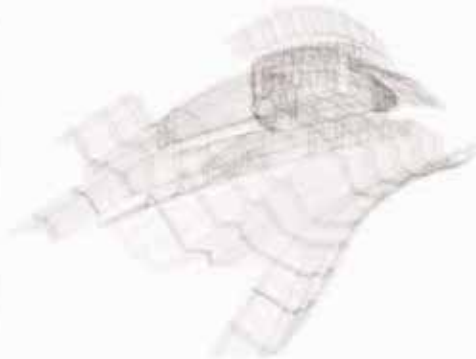
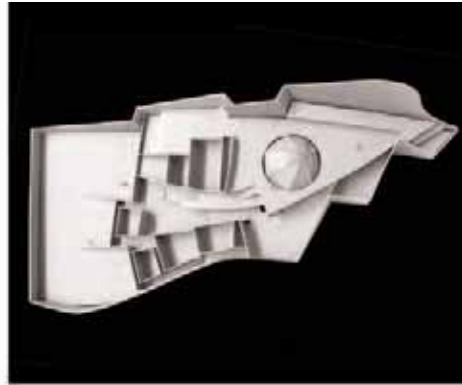
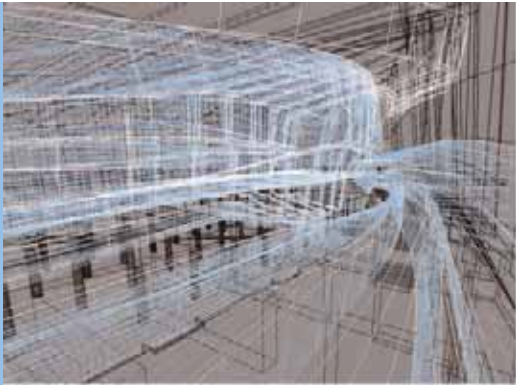
e in ogni progettazione è sempre presente questo strumento di rappresentazione.

I modelli diagrammatici utilizzati sono di tipologie diverse: architettonici, filosofico-scientifici e matematici.

Numerose pure le teorie filosofiche da lui investigate quali la teoria dei frattali, la teoria del caos, la teoria delle catastrofi, il DNA, gli atomi leibniziani, il comportamento dei cristalli liquidi. I modelli diagrammatici diventano quindi una riflessione teorica sul progetto e gli danno la forma.

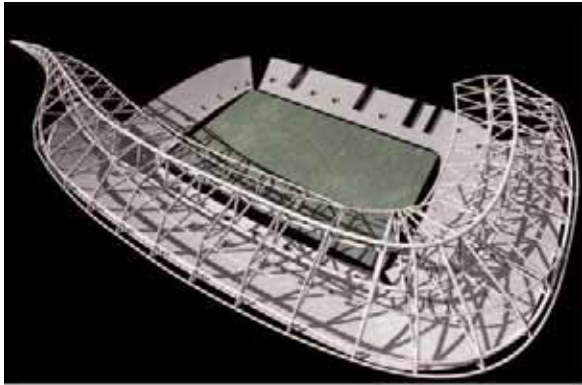
I modelli informatici vengono utilizzati in modo estremamente creativo e sono impiegati in modo tale da poter analizzare e studiare tutte le fasi progettuali in modo assolutamente elastico e dinamico.

La metodologia progettuale nasce dalla produzione di schemi organizzativi, realizzando volumi, modi di aggregazione. Il computer agisce immediatamente sui diagrammi generati e l'operatore gestisce sviluppi e genesi. Dallo studio, analisi ed interpretazione dei modelli vengono realizzati modelli tridimensionali che vengono paragonati e confrontati con i modelli realizzati in precedenza. Proprio dal continuo confronto e dialogo tra il reale (plastico) e il virtuale (diagrammi e modelli informatici) che si arriva alla definizione formale del progetto.



1 Città della Cultura  
della Galizia, Santiago  
de Compostela, 1999





02



03



2 Stadio del Deportivo  
La Coruna, 2001

3 Cardinals /TSA Multi  
purpose Stadium,  
Arizona, 1999

## Frank Owen Gehry

L'attività progettuale di Gehry la possiamo suddividere in due periodi: il periodo ante computer e il periodo in cui introduce gli strumenti digitali.

Nel primo periodo progettuale concentra la sua attenzione nell'elaborazione dei disegni e nella successiva realizzazione di modelli. Si preoccupa di come trasferire le idee realizzate su carta in un modello plastico e di come questi possano essere rispondenti.

Questa preoccupazione mette in relazione il disegno con la "logica" della costruzione, in quanto il modello costruito nello spazio è meno astratto del disegno in quanto realizzato con materiali reali, tangibili, che, in quanto tali, offrono "resistenza".

In questo modo la resistenza del materiale porta il progettista ad essere sempre più correlato con la realizzazione dell'idea piuttosto che ad una completa astrazione ed al contempo permette ai clienti di partecipare al processo creativo ideologico. In effetti considera i disegni, per quanto necessari e quasi sempre incompleti dal punto di vista rappresentativo, non completamente adatti ad una attiva partecipazione percettiva e spaziale. (vedi linea Easy Edges di vitra)

I modelli fisici rappresentano un modo per studiare, sperimentare e comunicare, vengono costruiti, ricostruiti, smontati, modificati con-

tinuamente, adattati alle presentazioni formali ai clienti. Planimetri e sezioni, invece, analizzano gli aspetti funzionali del progetto.

Tra i vari studi e realizzazioni dei modelli ne realizza uno, per il Danziger Studio di Los Angeles nel 1964-65, in calcestruzzo. È costituito da un assemblaggio di volumi essenziali in cui viene data molta importanza al colore e alla texture per la definizione delle pareti.

La sua ricerca continua lo spinge alla definizione di quello che Charles Jencks definisce "un nuovo linguaggio delle forme curve".

I software di progettazione fecero comparsa nello studio di Gehry in occasione della realizzazione del modello del progetto del Barcelona Fish per il Villaggio Olimpico di Barcellona (1992). Il progetto è stato inizialmente sviluppato a partire da schizzi di Gehry e poi trasposto in un modello in metallo. Ultimato il lavoro di progettazione nacque il problema di come costruire e sostenere il modello a forma di pesce.

Conoscendo già le potenzialità e le ricerche effettuate nella realizzazione di modelli digitali, ottenute utilizzando il software Alias (era stato realizzato un modello di una forma complessa, costituito da una griglia di poligoni, a cui però mancava l'informazione di superficie per costruire la forma), lo studio acquistò il programma CATIA,



software sviluppato da un'industria aerospaziale francese, la Dassault. Fu realizzato così un modello digitale, basato sul completo controllo numerico da parte del software in cui le superfici erano descritte da equazioni polinomiali. In tal modo si realizzò un modello in cui era possibile localizzare la posizione spaziale di ogni punto sulla superficie. I modelli realizzati venivano usati per realizzare un modello fisico in carta tagliato con il laser, che veniva comparato al modello fisico originale per verificarne la corrispondenza. Identificati i punti di connessione che collegavano la struttura con la superficie-rivestimento, sono stati convertiti in formato AES e utilizzati dagli ingegneri della SOM per sviluppare lo scheletro della struttura. Il rivestimento è stato scostato solo di un decimo di grado dalla struttura. Questa nuova metodologia, utilizzata poi per il Guggenheim Museum di Bilbao (1991-97) ed altri, parte dal rivestimento, quindi dal modello digitale, ed è una procedura molto comune nell'industria automobilistica.

Il processo evolutivo della progettazione di Gehry, quindi, parte dalla sua realizzazione di un disegno, "A volte può essere una specie di gesto, una reazione automatica a qualcosa che esiste nelle topografie urbane, e un'ispirazione da qualcosa che ho visto, un quadro....I miei progetti si sviluppano sempre attraverso una successione

di prove con mezzi diversi che tendono a far sì che il gesto si evolva in edificio "(El Croquis 1995), che rappresenta "l'argomento proiettivo" per un progetto. I disegni di Gehry sono stati influenzati dal grado di libertà concesso dal computer, e, sapendo di poter gestire qualsiasi complessità geometrica, ha potuto estendere le qualità gestuali dei suoi disegni.

La fase successiva è rappresentata dalla trasposizione del "gesto-disegno" in numerosi modelli fisici, che, partendo da dimensioni ridotte, diventano più grandi per test formali, spaziali e materiali. Sono realizzati con vari materiali, carta, legno, metallo, e velocemente, in modo tale da poterne effettuare continuamente verifiche e studi nell'intento di realizzare e formalizzare l'idea progettuale iniziale di Gehry. Con il progetto sviluppato formalmente, che corrisponde cioè ai disegni e comincia a risolvere le relazioni funzionali e spaziali, viene realizzato un modello di progetto finale. Questo a scala maggiore e strutturalmente e architettonicamente studiato, viene immesso nel computer e trasposto in formato digitale. Cioè a dire che oggi il computer viene utilizzato anche nei modelli di studio. Le superfici vengono catturate, e dal modello digitale si traggono delle sezioni utilizzate per realizzare modelli cartacei adoperati per realizzare modelli fisici. (Viene utilizzata la laminazione usando pannelli di polistirolo).

Ottenuto il modello-prova, ottenuto con varie tecniche (stereolitografia, modelli di carta tagliati al laser LOM, Laminated Object Manufacturing), viene paragonato al modello di progetto. Ultimato il modello finale viene tradotto in modello digitale. Sono stati utilizzati convertitori analogici (FARO), simile ad un pantografo, che produce linee curve che corrispondono ai punti del modello.

L'acquisizione dei punti del modello viene ottenuta con tre metodologie diverse: si acquisiscono le linee di quota a intervalli regolari; si individuano i punti alle estremità del modello e si ripassano i bordi delle curve più importanti; si rileva una griglia sovrapposta al modello attraverso i punti di intersezione.

E' stata usata pure una macchina TAC Scan (tomografia assiale computerizzata) attraverso cui sono state ottenute delle sezioni del modello fisico.

Ottenuti i punti e quindi le linee curve che essi individuano, si crea la superficie che coincide con essi. Queste operazioni individuano propriamente un processo di rilevamento nella realizzazione di una forma "compiuta".

A modello ultimato si realizzano tre modelli digitali: un modello della superficie esterna, un modello geometrico della maglia strutturale, un modello della superficie interna.

L'uso più radicale dell'informazione è stato utilizzato per arrivare al

completo controllo anche della costruzione dei componenti di un edificio, attraverso la procedura CAM (Computer Aided Manufacturing). Dai modelli digitali sono stati realizzati pannelli prefabbricati in calcestruzzo realizzati utilizzando frese CNC (Computer Numeric Control) che tagliano casseforme in polistirolo. Questo processo è stato utilizzato per la realizzazione del Zoll-hof Complex a Düsseldorf (1994-99), nel DG Bank Building di Berlino (1995-2001) e per la realizzazione di elementi strutturali d'acciaio curvi nella realizzazione dell'EMP (Experience Music Project, 1999-2000).



01



02

1 Guggenheim Bilbao,  
1999

2 Tower Walker 2004

## NOTE

<sup>1</sup> PETER EISENMAN, *Oltre lo sguardo: l'architettura nell'epoca dei media elettronici* "Domus" 734, (1992).

<sup>2</sup> MICHAEL BENEDICT, ed.: *Cyberspace: First Steps*, Boston, MIT Press, pp. 2, 122.

<sup>3</sup> Noam Chomsky è nato nel 1928 negli Stati Uniti. Ha rivoluzionato gli studi linguistici con la teoria generativista che ha avuto fondamentali ricadute nell'ambito della ricerca psicologica, logica, filosofica. Attualmente insegna nel Department of Linguistic and Philosophy del Massachusetts Institute of Technology [MIT]. E' uno dei pochi grandi intellettuali che non hanno mai rinunciato ad essere coscienza critica della società occidentale. Per oltre trent'anni le sue opinioni e i suoi giudizi, sempre attenti a cogliere l'essenza delle cose dietro l'apparenza della realtà, hanno sensibilizzato un crescente interesse del pubblico verso la reale natura del potere. Fin dagli anni '60 è sempre in prima fila nelle lotte della sinistra radicale americana.

<sup>4</sup> Il primo a Londra nel 1962 a cui partecipano Christopher Alexander e Christopher Jones, e i successivi coinvolgendo gruppi di giovani architetti, principalmente in Inghilterra e negli Stati Uniti

<sup>5</sup> Alan Turing (Londra 1912- Manchester 1954) è stato uno dei precursori dello studio della logica dei computer ed il primo ad interessarsi all'argomento dell'intelligenza artificiale. Come matematico ha applicato il concetto di algoritmo ai computer digitali e la sua ricerca nelle relazioni tra macchine e natura ha creato il campo dell'intelligenza artificiale. La cosiddetta macchina di Turing, per grandi linee, non è altro che l'odierno computer: descrisse infatti una macchina che sarebbe stata capace di leggere una serie su una banda composta dalle cifre uno e zero.

<sup>6</sup> ANDREW BENJAMIN, *Architectural Philosophy*, London, Athlone Press, 2000.

<sup>7</sup> TOYO ITO, *Le opere i progetti gli scritti*, a cura di LUIGI PRESTINENZA PUGLISI, Milano, Electa, 1999.

<sup>8</sup> ".....La strategia di marketing della Nike sviluppa la forma (sviluppo del prodotto) in direzione del mercato, e viceversa - prima la creazione di un'immagine e di uno stile di vita (creazione del mercato) e poi il progetto del prodotto che risponde a tale cambiamento di stile di vita. Per esempio, un ragazzo di Harlem gioca a basket, Nike rappresenta quest'immagine, la commercializza e questa immagine torna nel cortile da dove era partita, e ora il ragazzo indossa scarpe Nike". (John Hoke, Marketing Strategico Nike)

<sup>9</sup> STEPHEN PERRELLA, *Teoria dell'ipersuperficie: Architettura, cultura*, 2003

<sup>10</sup> JEFFREY KIPNIS, *Towards a New Architecture*, AD profile (n° 102).

<sup>11</sup> ENRIQUE LIMON, *Paul Virilio and the Oblique*, in Sites & Station. Provisional Utopias, Lusitania Press, New York 1995

<sup>12</sup> PETER EISENMAN, *Oltre lo sguardo* Op.cit. alla nota 1

<sup>13</sup> MICHEL DE CERTEAU, *The Practice of Everyday Life*, 1974.

<sup>14</sup> KARL S. CHU, *Genetic Space: Hour glass of the demiurge*, Architectural design, vol. 68 n. 12, (nov-dic 1998) pag 69.

<sup>15</sup> John Frazer è un architetto americano promotore di un interessante progetto: la creazione di un ambiente virtuale grazie alla partecipazione globale su Internet. Partendo dall'idea che uno spazio virtuale può evolversi e modificarsi nel tempo così come in natura ogni cosa si basa sulla

moltiplicazione e scissione di cellule, Frazer ha messo a disposizione degli internauti una forma base. Ogni visitatore virtuale ha potuto così inviare informazioni e ogni informazione inserita ha permesso di modificare all'infinito questo spazio virtuale. Il modello evolutivo della natura quindi viene proposto, da Frazer, come base per un processo generatore delle forme architettoniche ed il computer, in questo processo, non è più un semplice strumento per disegnare ma è un acceleratore di questa evoluzione

<sup>16</sup> Nella sua "Fenomenologia della Percezione" Merleau-Ponty cerca di dimostrare come il nostro rapporto con il mondo sia in relazione all'orizzonte infinitamente vasto della percezione antecedente a ogni oggettivazione scientifica. Ovvero il mondo esiste indipendentemente dall'uomo ma è l'uomo che con un atto di coscienza dà senso al mondo. Ciò che realizza il rapporto di uomo e mondo è il "corpo" in quanto soggetto e organo della "percezione".

<sup>17</sup> MARCOS NOVAK, *trans-testo*, CENTIFUGE, [www.centrifuge.org/marcos/](http://www.centrifuge.org/marcos/)





# MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE

"Il virtuale possiede piena realtà in  
quanto virtuale"  
(Gilles Deleuze, *Differenza e ripetizione*, 1968)

In questi ultimi anni l'architettura sta subendo un susseguirsi di continue mutazioni che la costringono a ridefinire i propri codici.

Le motivazioni più significative che spingono a questi cambiamenti sono in gran parte riconducibili alla forte attenzione investigativa nei confronti delle nuove geometrie topologiche. Caratterizzate queste dalla peculiarità di poter scolpire lo spazio attraverso la modellazione generativa e cinematica.

Le possibilità di esplorare molteplici varianti diventa elemento fondamentale di una progettazione che intende studiare il comportamento della superficie sottoposta a deformazione e registrarne le modificazioni spazio-temporali continue. In effetti le possibilità di continua modifica, sostanzialmente in tempo reale, permettono al progettista una continua analisi della propria idea progettuale che trova la sua rappresentazione su un monitor.

## Cenni storici sulla topologia

"Parmi di scorgere ferma credenza che nel filosofare sia necessario appoggiarsi all'opinioni di qualche celebre autore, sì che la mente nostra, quando non si maritasse col discorso d'un altro, ne dovesse in tutto rimanere sterile ed infertile; e forse stima che la filosofia sia un libro e una fantasia d'un uomo, come l'Iliade e l'Orlando Furioso, libri ne' quali la meno importante cosa è che quello che vi è scritto sia vero. La cosa non istà così. La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto." Parole di Galileo Galilei scritte ne Il Saggiatore, pubblicato in Roma nel 1623. Secondo Galilei, quindi, senza le strutture matematiche non si può comprendere la natura. La matematica è il linguaggio della natura.

Il nome Topologia deriva dal greco Topos ed indica il luogo, lo spazio, tutto lo spazio e tutto incluso in esso. Le riflessioni sullo spazio per i greci cominciavano dal punto

(atomo). Nel greco antico per descrivere un punto venivano usati due termini: stigma, una puntura di uno spillo e semeion, un segno. Quindi un punto contrassegna uno spazio o è un segno in quello spazio. Proprio dai punti i greci hanno generato linee, superfici e volumi, determinando così la nascita della geometria.

I primi abbozzi sullo studio della topologia possono essere attribuiti a Leibniz, ma il primo lavoro che può essere considerato relativo alla topologia è attribuito ad Eulero che nel 1736 teorizzò le prime invarianti topologiche che vengono conservate attraverso ogni deformazione delle superfici, fintanto che ne rispettiamo la continuità. In quell'anno infatti pubblicò un articolo sulle soluzioni per il ponte di Königsberg, dal titolo "Solutio Problematis ad geometriam situs pertinentis", in cui gli veniva posto il problema dei ponti di Königsberg. Gli abitanti di Königsberg si domandavano se fosse possibile compiere un cammino semplice lungo i ponti della città in modo tale da percorrerli tutti e ciascuno una sola volta'; *[immagine 1-2]*

Eulero trovò la risposta in quanto aveva capito che la soluzione non era da trovare nella geometria (le distanze, le lunghezze dei ponticelli e gli angoli non entravano in gioco), ma nella "geometria della posizione", termine utilizzato per

la prima volta da Leibniz per la determinazione della posizione o per la ricerca delle proprietà che derivano dalla posizione, senza considerare le dimensioni degli stessi.

Il grafico ottenibile dai calcoli di Eulero [immagine 3] è la prima manifestazione di Topologia, in cui il problema è ridotto alla sua essenza e dove la struttura geometrica si è trasformata in una struttura molto flessibile, appunto ciò che tratta la topologia.

Dal grafico applicato alla città e percorrendo con una matita il tracciato ci si rende conto che pur toccando tutti i nodi non si ripercorre più di una volta ciascuna linea (ponte). Ci si rende conto che nella rappresentazione topologica della città di Königsberg, possiamo variare i dati geometrici (lunghezza dei ponti, superficie delle isole), deformare la mappa della città, ma la struttura topologica e il risultato non cambiano.

Questo indica che Eulero stava studiando un nuovo tipo di geometria nella quale il parametro distanza non era rilevante.

Il passo successivo nel dimostrare che la matematica ha una sua autonomia a prescindere dalla misurazione viene compiuto sempre da Eulero con la dimostrazione della formula che regola i rapporti tra

poliedri:

$$v - e + f = 2$$

dove  $v$  è il numero di vertici di  $n$  poliedro,  $e$  è il numero di lati e  $f$  è il numero delle facce, e cioè stabilisce che la somma del numero dei vertici di un poliedro, aumentata del numero delle facce e diminuita del numero degli spigoli, rimane costante per qualunque poliedro.

Questa formula costituisce la prima invarianza topologica. È interessante vedere come questa semplice formula sia stata ignorata da Archimede come, tanti secoli dopo, da Renè Descartes (Cartesio) sebbene essi abbiano notevolmente discusso sui poliedri. Questo probabilmente perché per le generazioni precedenti ad Eulero era impossibile pensare alla proprietà geometriche senza considerare la misurazione. La strada percorsa da Eulero venne continuata da matematici successivi, in particolare da Féléix Klein e da Simon Lhuilier che apportò delle modifiche alla formula già citata. Egli infatti scoprì che la formula di Eulero non funzionava se la figura considerata era bucata, questo lo portò a riscriverla nel modo seguente:

$$v - e + f = 2 - 2g$$

dove qui  $g$  sta per i buchi contenuti nel solido. Questo fu il primo risultato conosciuto riguardo all'invarianza topologica.

Da questo momento la strada era aperta. Nel 1858 August Ferdinand Moebius descrisse una nuova superficie tridimensionale da allora nota col nome di "nastro di Moebius" attraverso la quale per la prima volta provò a descrivere le proprietà delle monosuperfici in termini di non orientabilità.

Le proprietà, molto interessanti, di questa superficie consistono nel fatto che se la si percorre lungo l'asse più lungo con un dito, ci si accorge che la si percorre tutta ritornando esattamente al punto di partenza, senza dover attraversare il bordo della striscia; il nastro di Moebius ha cioè una sola faccia, non due, una esterna ed una interna, come avviene in una superficie cilindrica. Mentre nel caso della superficie cilindrica, infatti, se si percorre con un dito il bordo superiore non si arriverà mai al bordo inferiore, nel caso del nastro di Moebius partendo da un punto qualsiasi del bordo lo si percorre tutto ritornando al punto di partenza, si ha cioè un solo bordo. Tutto questo ha importanti conseguenze dal punto di vista topologico; tra l'altro, la striscia di Moebius è il primo esempio di superficie su cui non è possibile fissare una orientazione, cioè un verso di percorrenza

Il primo ad usare la parola topologia, nel 1848, fu tuttavia J. B. Listing le cui idee sulla topologia furono dovute essenzialmente

all'opera di Gauss. Egli pubblicò una serie di scritti sull'argomento della connettività delle superfici tra i quali anche una bozza di descrizione del nastro di Moebius, quattro anni prima che questi lo teorizzasse.

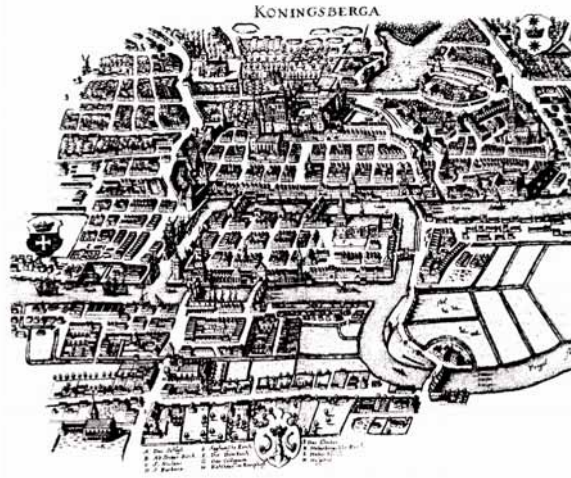
Listing però si limitò ad esaminare la connettività delle superfici in tre dimensioni, Enrico Betti (1823-1892) lo estese ad  $n$  dimensioni.

L'idea di connettività venne ulteriormente sviluppata da Poincaré in una pubblicazione dal titolo "Analysis situs" del 1895<sup>2</sup> "Per quanto mi riguarda, tutte le diverse ricerche delle quali mi sono occupato mi hanno condotto all'Analysis Situs (letteralmente Analisi della posizione)". Poincaré definiva la topologia come la scienza che ci fa conoscere le proprietà qualitative delle figure geometriche non solo nello spazio ordinario ma anche nello spazio a più di tre dimensioni.

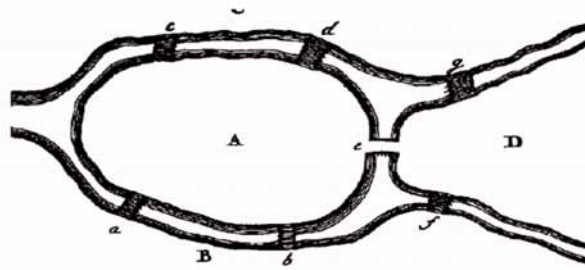
Altro punto che sviluppò della topologia fu la convergenza, la cui definizione era data non basandosi sul concetto di distanza, ma su quello di punto limite e di punto di accumulazione. Altri contributi allo studio della topologia vennero dall'interesse per le equazioni differenziali maturato da Poincaré in seguito al porsi di alcuni problemi astronomici.



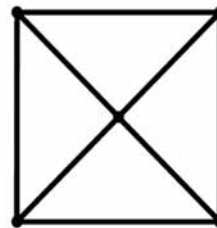
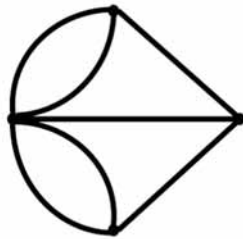
01



02



03



1 Città di Königsberg

2 Ponte all'interno della  
città di Königsberg

3 Grafici ottenuti dai  
calcoli di Eulero

## Cenni sulla Topologia

Una definizione semplice ed esauriente della topologia e dei suoi contenuti può essere la seguente: "la topologia ha come oggetto lo studio delle proprietà delle figure geometriche che persistono anche quando le figure sono sottoposte a deformazioni così profonde da perdere tutte le loro proprietà metriche e proiettive"<sup>3</sup>.

Nell'esempio della ciambella  $A$  che si deforma in una ciambella  $A'$   $A \rightarrow A'$ . [immagine 4]

Si può parlare di proprietà topologica di  $A$  in quanto vi è "una corrispondenza  $p - p'$  tra i punti  $p$  di  $A$  e i punti  $p'$  di  $A'$ , che gode delle seguenti due proprietà: 1) la corrispondenza è biunivoca. Questo significa che ad ogni punto  $p$  di  $A$  corrisponde uno ed un solo punto  $p'$  di  $A'$ , e viceversa. 2) La corrispondenza è continua nei due versi. Questo significa che se si prendono due punti  $p$  e  $q$  di  $A$  e si fa muovere  $p$  in modo che la sua distanza da  $q$  tenda a zero, la distanza fra i punti corrispondenti  $p'$  e  $q'$  di  $A'$  tende anche a zero, e viceversa" (op. cit, pp 361-362).

La topologia (dal greco  $\tau\omicron\pi\omicron\lambda\omicron\gamma$ , luogo, e  $\lambda\omicron\gamma\omicron\sigma\omicron$  discorso) è una delle più importanti branche della matematica moderna. Si caratterizza come lo studio delle proprietà delle figure e delle forme che non cambiano quando su di esse viene

esercitata una deformazione senza "strappi", "sovrapposizioni" o "incollature". I concetti come convergenza, limite, continuità, connessione o compattezza trovano nella topologia la loro migliore formalizzazione.

La topologia si basa essenzialmente sui concetti di spazio topologico<sup>4</sup> e omeomorfismo<sup>5</sup>.

Per esempio un cubo solido e una sfera solida sono omeomorfi, cioè si può deformare l'uno fino ad ottenere l'altro senza ricorrere a nessuna incollatura, strappo o sovrapposizione: non è possibile invece, per esempio, deformare una sfera in un cerchio con lo stesso sistema, perché la dimensione di un oggetto è una proprietà topologica che non cambia con le trasformazioni. In questo senso la topologia indaga le proprietà più profonde delle figure geometriche.

Gli spazi topologici sono usati quotidianamente dall'analisi matematica, dall'algebra astratta, dalla geometria: questo rende la topologia una delle grandi idee unificanti della matematica. La topologia generale (o topologia degli insiemi di punti) definisce e studia alcune proprietà utili degli spazi e delle mappe, come la loro connessione (uno spazio topologico non vuoto si dice connesso se l'unica coppia di sottoinsiemi aperti disgiunti la cui unione sia  $X$  è  $\{\emptyset, X\}$ ). Questa

definizione è equivalente alle seguenti:

- L'unica coppia di sottoinsiemi chiusi disgiunti la cui unione sia  $X$  è  $\{\emptyset, X\}$
- Gli unici sottoinsiemi di  $X$  che siano contemporaneamente sia aperti che chiusi sono  $\emptyset$  e  $X$

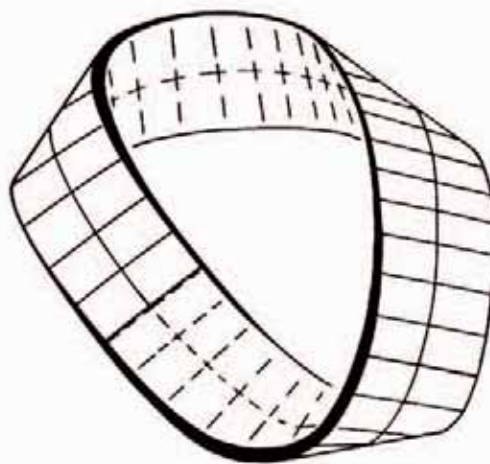
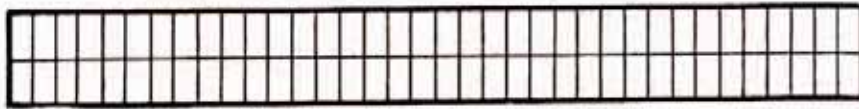
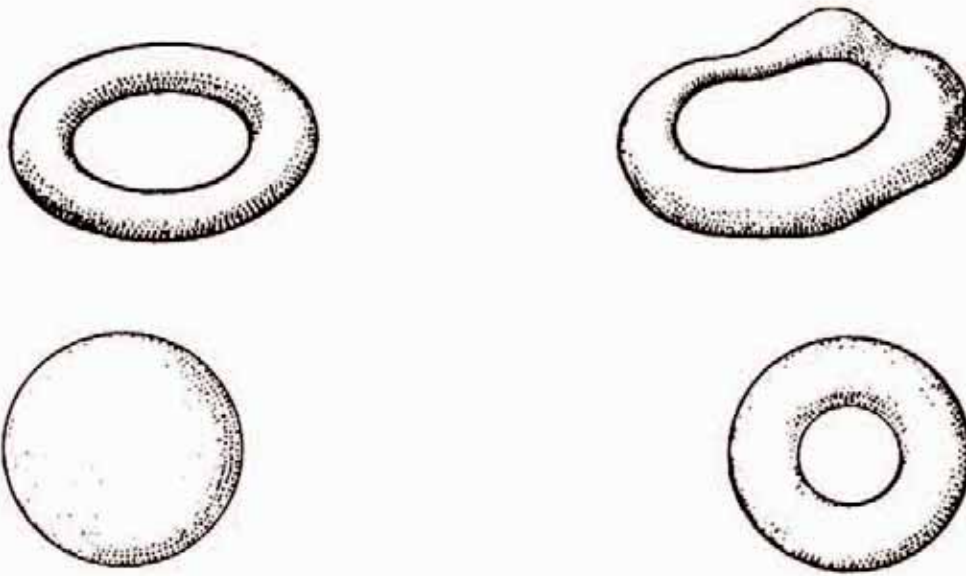
Un sottoinsieme di uno spazio topologico si dice connesso se è uno spazio connesso con la topologia di sottospazio.

I sottoinsiemi connessi massimali di uno spazio topologico  $X$  sono le componenti connesse di  $X$ . In altre parole, un sottoinsieme di  $X$  è una componente connessa se è connesso e non è contenuto in nessun altro sottoinsieme connesso. Le componenti connesse di  $X$  sono disgiunte e la loro unione è  $X$ : formano cioè una partizione di  $X$ . Nella maggior parte dei problemi è sufficiente considerare soltanto spazi connessi, perché sono i "blocchi fondamentali" con cui sono fatti tutti gli spazi topologici.

Ogni componente connessa di  $X$  è un sottoinsieme chiuso di  $X$ , ma non necessariamente aperto: ad esempio, le componenti connesse dei numeri razionali sono i punti. Uno spazio le cui componenti connesse sono i suoi punti viene chiamato totalmente disconnesso, la compattezza<sup>6</sup> e la continuità<sup>7</sup>. La topologia algebrica invece è un potente strumento per studiare gli

spazi topologici e le mappe fra essi.

Con il concetto di equivalenza topologica si intendono due spazi tra cui esiste un omeomorfismo<sup>8</sup>. Se tra due spazi esiste una corrispondenza del tipo che definisce l'omeomorfismo, tali spazi possono considerarsi come astrattamente identici, e quindi deformabili l'uno nell'altro senza strappi, sovrapposizioni o incollature, cioè come dotati della stessa struttura topologica): in questo caso sono detti omeomorfi e sono, ai fini topologici, esattamente identici. Una definizione meno formale restituisce meglio il senso di quanto sopra: due spazi sono topologicamente equivalenti se è possibile trasformare l'uno nell'altro senza tagliare né incollare insieme pezzi dei due. Ad esempio, una tazza ed una ciambella sono omeomorfi. *[immagine 5]*



4 Figure topologiche  
equivalenti

5 Figure Topologiche  
non equivalenti

## Dalla Topologia all'Architettura

Scrivono ancora Richard Courant e Herbert Robbins "Dapprima, la novità dei metodi usati nel nuovo campo non diede modo ai matematici di presentare i loro risultati nella forma deduttiva tradizionale della geometria elementare: invece i pionieri, come Poincaré, furono costretti a basarsi largamente sull'intuizione geometrica. Anche oggi (il libro di Courant e Robbins è del 1941) uno studioso di Topologia troverà che insistendo troppo nel rigore formale dell'esposizione si può facilmente perdere di vista il contenuto geometrico essenziale di una quantità di particolari formali."<sup>9</sup>

In effetti la chiave di svolta sulla topologia risiede nel punto di vista geometrico. Sono proprio le proprietà geometriche delle superfici topologiche che vengono studiate ed investigate dagli artisti prima e dagli architetti poi. Una interessante esempio di approccio artistico alla matematica e più precisamente di incontro tra arte e superfici topologiche è quello sperimentato da Max Bill<sup>10</sup>; la scoperta delle superfici di Moebius ce la racconta lui stesso in un suo vivace scritto<sup>11</sup>: "Marcel Breuer, il mio vecchio amico della Bauhaus, è il vero responsabile delle mie sculture a faccia unica. Ecco come accadde: fu nel 1935 a Zurigo dove, insieme a Emil e Alfred Roth stava costruendo le case di Doldertal

che ai loro tempi ebbero grande seguito. Un giorno Marcel mi disse di aver ricevuto l'incarico di costruire, per una mostra a Londra, un modello di casa dove tutto, persino il caminetto, doveva essere elettrico. Ci era ben chiaro che un caminetto elettrico che splende ma non ha fuoco non è un oggetto dei più attraenti. Marcel mi chiese se mi sarebbe piaciuto fare una scultura da metterci sopra. Cominciai a cercare una soluzione, una struttura che si potesse appendere sopra ad un caminetto e che magari girasse nella corrente d'aria ascendente e, grazie alla sua forma e al movimento, agisse come sostituto delle fiamme. L'arte invece del fuoco! Dopo lunghi esperimenti, trovai una soluzione che mi sembrava ragionevole..... Non passò molto tempo che qualcuno si congratulò con me per la mia reinterpretazione fresca ed originale del simbolo egiziano dell'infinito e del nastro di Moebius. Non avevo mai sentito nominare né l'uno né l'altro. La mia conoscenza matematica non era mai andata al di là dei comuni calcoli architettonici e non avevo un grande interesse per la matematica." Il Nastro senza fine venne presentato per la prima volta alla Triennale di Milano nel 1936". E continua "Già fin dagli anni '40 pensavo ai problemi di topologia. Da essi sviluppai una specie di logica della forma. Le ragioni per cui venivo continuamente attratto da questo tema par-

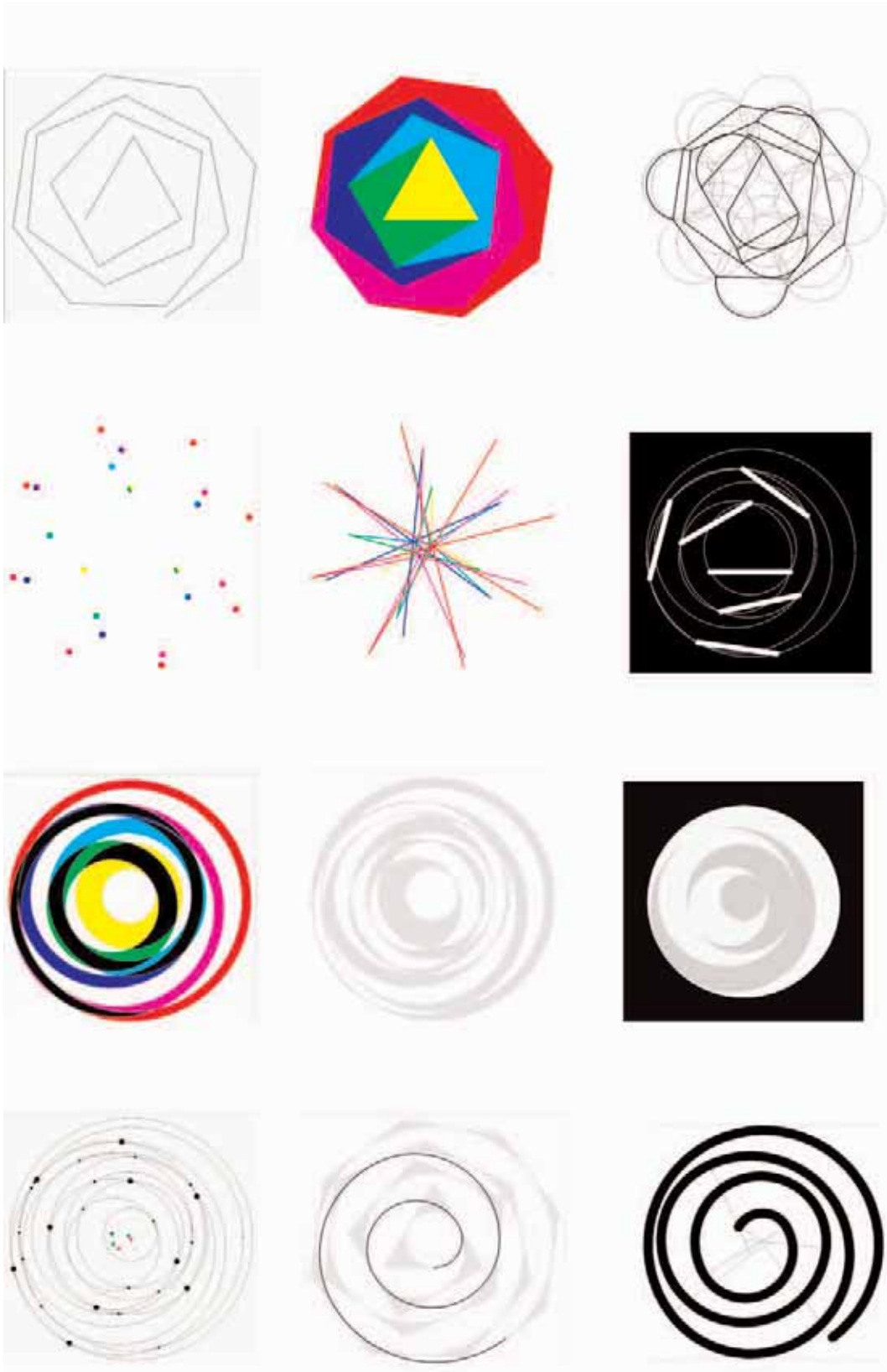
icolare sono due: 1) l'idea di una superficie infinita - che è tuttavia finita - l'idea di un infinito finito; 2) la possibilità di sviluppare superfici che - come conseguenza delle leggi intrinseche sottese - portino quasi inevitabilmente a formazioni che provano l'esistenza della realtà estetica. Ma sia 1) che 2) indicavano anche un'altra direzione. Se le strutture topologiche non orientate esistessero solo in virtù della loro realtà estetica, allora, nonostante la loro esattezza, non avrei potuto esserne soddisfatto. Sono convinto che il fondamento della loro efficacia stia in parte nel loro valore simbolico. Esse sono modelli per la riflessione e la contemplazione". Queste forme hanno naturalmente affascinato ed intrigato gli architetti che con la diffusione della computer grafica hanno avuto la possibilità di manipolare e gestire questi oggetti matematici.

Al termine "Spazio" molti architetti associano una forma topologica, che anziché modello statico di vari elementi costitutivi, intende lo spazio come malleabile, variabile in cui la sua organizzazione e distribuzione diventano elastiche. L'avvento della computer grafica derivante dall'uso sempre più assiduo delle tecnologie digitali ha portato a produrre sempre nuove ipotesi formali nel progetto di architettura. In architettura, "la topologia nasce da uno spostamento d'interesse dalla teoria del

linguaggio (Derrida) verso materia e sostanza (Deleuze) nella loro dimensione teoretica". (Stephen Perrella articolo "*Teoria dell'ipersuperficie: Architettura><Cultura*")

La topologia architettonica è una modificazione della forma, della struttura, dell'ambiente e progetto in dinamiche che diventano sempre più complesse. Lo spazio topologico reagisce attivamente ai software di modellazione e animazione, dai sistemi CAD e si differenzia dallo spazio cartesiano in quanto include nella forma eventi legati al fattore tempo.





6 MAX BILL, Variazioni sul tema, 1934-1938

## Computer Grafica

La computer grafica è il campo delle tecniche informatiche in cui il computer viene utilizzato per generare e/o modificare immagini, fisse o in movimento, generare disegni, integrare o modificare informazioni visive e spaziali.

Il campo può essere suddiviso in molte aree ma fondamentalmente possiamo individuare due campi fondamentali: grafica 2D e grafica 3D.

La grafica 2D, inizialmente ottenuta grazie all'introduzione dei monitor CRT (cathode ray tube), utilizza due approcci per la rappresentazione: il vettore e la grafica raster (Il termine raster trae origine dalla tecnologia della televisione analogica e, nel campo dell'informatica, indica un'immagine costituita da punti o pixel. La densità dei pixel che costituiscono una immagine viene detta risoluzione ed è espressa in pixel/pollice o pixel/centimetro). La grafica vettoriale gestisce precisamente dati geometrici, topologia e le coordinate e la posizione dei punti, la connessione tra essi (linee, polilinee, percorsi) e il colore, lo spessore e il riempimento delle forme. Molti software che usano sistemi di tracciamento vettoriale possono usare primitive di forme standard (cerchi, rettangoli, ecc.). Spesso un'immagine vettoriale per poter essere vista deve essere trasformata in immagine raster. L'immagine

raster è costituita da una griglia bidimensionale di punti (pixel). Ogni pixel ha uno specifico valore come luminosità, colore, trasparenza o la combinazione di questi valori. Ogni immagine raster ha una definizione riferita a due specifici parametri numerici delle colonne e delle righe (un computer visualizza un'immagine raster standard con una definizione di 1280, colonne, x 1024, righe, di pixel). La grafica 3D è basata sulla grafica vettoriale, ed invece di considerare le coordinate di un punto, di una linea o di una curva, su un piano bidimensionale, le considera in uno spazio tridimensionale.

### *Visualizzazione di un oggetto 3D su di uno schermo.*

Il computer ci permette di visualizzare oggetti tridimensionali, anche in movimento, sul piano dello schermo. Tutte le operazioni compiute da questi software sono fondamentalmente basate sui principi della geometria proiettiva, e cioè la proiezione e la sezione, non differenziandosi dai metodi di rappresentazione della geometria descrittiva.

Il computer, quindi, attraverso delle operazioni di calcolo, individua dei raggi proiettanti che, colpendo la superficie, permettono di definire l'intersezione con il piano di proiezione e quindi di formalizzare l'immagine attraverso una serie di punti che definiscono l'oggetto rappresentato.

Per la visualizzazione di un oggetto 3D su di uno schermo si deve stabilire da dove l'osservatore sta guardando e verso quale direzione. Sarà quindi assegnato un punto nello spazio E (detto centro della prospettiva) che rappresenta l'occhio dell'osservatore ed un punto  $P=(x_0,y_0,z_0)$  verso cui si sta guardando.

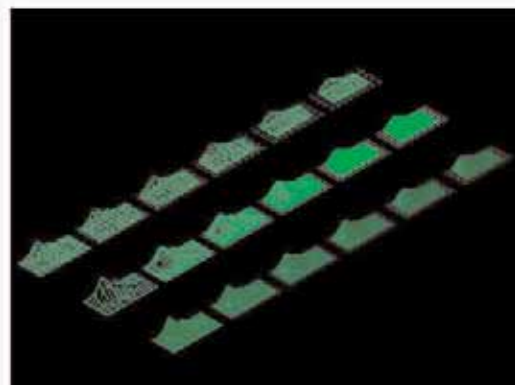
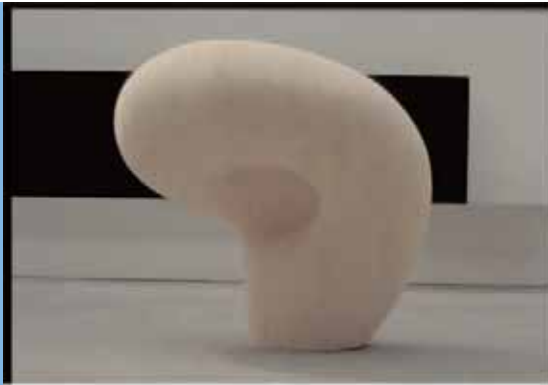
Visualizzare un punto 3-dim su uno schermo significa calcolarne la proiezione su di un particolare piano nello spazio, chiamato viewplane (individuato dal punto P e da un vettore normale n).

Infine si deve determinare la "finestra" (porzione di piano) da visualizzare, individuata dai quattro vertici A,B,C,D (punti nel piano).

La visualizzazione di punto si potrà decomporre nelle 3 seguenti trasformazioni (individuate da matrici non singolari):

proiezione prospettica (di centro E) (matrice 4x4);

parametrizzazione inversa che serve per identificare il viewplane (piano nello spazio) con il piano E2: un punto nello spazio è individuato da 3 coordinate la sua proiezione sul piano solo da 2; ed infine un'ulteriore trasformazione del piano che consente di determinare la porzione di finestra da visualizzare; unica condizione da porre è che il "viewplane" non contenga il punto E (in questo modo la matrice rappresentante la proiezione sarà di rango massimo).



7 Esempi di computer grafica e modellazione di superfici complesse

## NOTE

<sup>1</sup> Ecco quanto scrive lo stesso Eulero "A Königsberg in Prussia c'è un'isola A, chiamata der Kneiphof, e il fiume che la circonda si divide in due rami, come si può vedere nell'immagine 2. I rami di questo fiume sono muniti di sette ponti a, b, c, d, e, f, g. Circa questi ponti veniva posta questa domanda, si chiedeva se fosse possibile costruire un percorso in modo da transitare attraverso ciascun ponte una e una sola volta. E mi fu detto che alcuni negavano ed altri dubitavano che ciò si potesse fare, ma nessuno lo dava per certo. Da ciò io ho tratto questo problema generale: qualunque sia la configurazione e la distribuzione in rami del fiume e qualunque sia il numero dei ponti, si può scoprire se è possibile passare per ogni ponte una ed una sola volta?"

Eulero L. (1741) *Solutio Problematis ad geometriam situs pertinentis*, Comment. Acad. Sc. Petrog., t. 8 (1736), pp. 128-140. Eulero L. (1923) *Solutio Problematis ad geometriam situs pertinentis* (ristampa del precedente), *Commentationes Algebraicae*, Teubner, Lipsia, Berlin (edito da L. G. Du Pasquier).

<sup>2</sup> HENRY POINCARÉ, *Analysis situs*, *Journal Ecole Polytechnique*, II (1895), pp. 1-121

<sup>3</sup> RICHARD COURANT - HERBERT ROBBINS, *Che cos'è la matematica?*, Torino, Boringhieri, 1941, p.353.

<sup>4</sup> In matematica, lo spazio topologico è l'oggetto base della topologia: si tratta di un concetto molto generale di spazio, accompagnato da una nozione di "vicinanza" definita nel modo più debole possibile. In questo modo molti degli spazi comunemente usati in matematica (come lo spazio euclideo o gli spazi metrici) sono in particolare degli spazi topologici. Intuitivamente, ciò che caratterizza uno spazio topologico è la sua forma, e non la distanza fra i suoi punti, che può non essere definita. Nel corso della storia sono

state proposte varie definizioni di spazio topologico, ed è servito parecchio tempo per arrivare a quella che oggi viene generalmente usata.

<sup>5</sup> Un omeomorfismo è una funzione tra due spazi topologici con la proprietà di essere continua, invertibile e di avere l'inversa continua. Due spazi topologici tra i quali sia possibile stabilire un omeomorfismo si dicono omeomorfi e, ai fini di molti problemi in cui solo la struttura topologica astratta è considerata, si possono identificare. Infatti, due spazi omeomorfi godono delle stesse proprietà topologiche (separabilità, connessione, semplice connessione, compattezza).

<sup>6</sup> La compattezza è un concetto centrale della topologia. Intuitivamente, uno spazio compatto è "piccolo", nel senso che i suoi punti "non possono allontanarsi arbitrariamente l'uno dall'altro": infatti, ogni successione di punti in uno spazio compatto possiede una sottosuccessione che converge ad un punto dello spazio stesso.

<sup>7</sup> In topologia, la definizione di continuità in un punto è la seguente: dati due spazi topologici X e Y, e x un punto di X, una funzione  $f: X \rightarrow Y$  si dice continua in x se la controimmagine di ogni intorno di  $f(x)$  è un intorno di x; mentre la definizione di continuità in un insieme di punti è la seguente: dati due spazi topologici X e Y, una funzione  $f: X \rightarrow Y$  si dice continua su X se la controimmagine di ogni insieme aperto in Y è un insieme aperto in X. Una definizione equivalente, basata sulla definizione topologica locale, è la seguente: dati due spazi topologici X e Y, la funzione  $f: X \rightarrow Y$  si dice continua, se è continua in ogni punto di X.

<sup>8</sup> in matematica, corrispondenza biunivoca e bicontinua tra spazi topologici.

<sup>9</sup> In *Che cos'è la matematica?*, Op. cit.

<sup>10</sup> artista ed architetto svizzero, allievo di Gropius alla Bauhaus; nasce a Winterthur, Svizzera, nel 1908, lavora come architetto, decoratore, grafico, scultore, pubblicitista e designer) si occupò di superfici topologiche sin dagli anni trenta. Chiamò le sue sculture a forma di nastri di Moebius "Endless Ribbons".

<sup>11</sup> MAX BILL, *Come cominciai a fare le superfici a faccia unica*, trad. ital. a c. di A. C. QUINTAVALLE, in *Max Bill. Catalogo della mostra*, Parma 1977. Cfr. anche (MAX BILL, *A Mathematical Approach to Art*, (1949); ristampato con correzioni dell'autore in M. EMMER, *The Visual Mind: Art and Mathematics*, Boston, MIT Press, 1993).





8 ASYMPOTE, Museo della Mercedes, Stocarda, 2001



# LA RAPPRESENTAZIONE DELLE SUPERFICI

"I recall my delight in writing a computer program  
that could  
display a 2D perspective image of a 3D object  
viewed from an arbitrary vantage point."

(Ricordo la mia delizia nello scrivere un  
programma che poteva mostrare un'immagine  
prospettica 2D di un oggetto 3D  
visto da un punto di vista arbitrario)

(Brian A. Barsky, IEEE, Annali of the History, Vol 20,  
No.2, 1998)

## Curve e Superfici - Cenni storici

Il primo utilizzo delle curve in un ambiente manifatturiero è avvenuto nell'ambito della carpenteria navale e sembra risalire al tempo dei romani i quali per produrre le assi di legno ricurve della chiglia usavano modelli sagomati riutilizzabili più volte, con una sorta di produzione in serie. Lo scopo, una volta trovata una geometria funzionale, era quello di non doverla ricreare.

Queste tecniche sono state poi implementate, dal 13° al 16° secolo, dai veneziani che riuscirono a definire la curvatura delle costole delle loro navi ottenuta attraverso la tangente agli archi di circonferenza (come le NURBS oggi). Lo scafo della nave veniva ottenuto variando le curvature delle costole, prima manifestazione della tecnica con cui oggi modifichiamo le superfici intervenendo sui nodi e sui tensori.

Di tutto questo non ci sono pervenuti disegni, ma queste tecniche intorno al 1600 si diffusero in Inghilterra, là dove la "spline", che altro non era che un raggio di legno utilizzato per disegnare curvature molto morbide, fu inventata. La prima menzione di "spline", sembra comunque risalire al 1752, appunto in un trattato francese di carpenteria navale, *Éléments de l'Architecture navale* di H.L. Duhamel du Monceau, nell'ambito della quale questo strumento,

recentemente descritto e definito da H. Nowacki come "shipbuilding connection" fu il primo in uso per la realizzazione di geometrie dalle forme libere e continuò a lungo ad essere utilizzato.

Più recentemente, tecniche e metodi relativi alla geometria delle curve dall'industria navale si trasferirono a quella aeronautica. Un momento fondamentale di questo passaggio si può individuare nella pubblicazione del libro *Analytical Geometry with application to aircraft*, scritto da R. Liming nel 1944, in cui i metodi classici di disegno vengono combinati con tecniche computazionali. Liming altro non ha fatto che tradurre le curve tracciate a mano in algoritmi, che potevano essere riportati su tavole numeriche; e i numeri, al contrario di quanto accade con i disegni, hanno il vantaggio di non essere soggetti ad interpretazioni. Il lavoro di Liming divenne molto influente negli anni cinquanta influenzando tutte le industrie produttrici di aeroplani.

Sempre negli anni cinquanta venne prodotta la prima macchina a controllo numerico capace di creare parti meccaniche in metallo al MIT (Massachusetts Institute of Technology).

Naturalmente non si parla ancora di computer grafica o di forme geometriche assistite al computer, ma di un inizio, che trovò la sua prima applicazione negli anni sessanta con uno strumento,

Automatically Programmed Tool (APT).

Nello stesso periodo Ivan Sutherland sviluppa il sistema dello "Sketchpad", presso il MIT, capace di generare un progetto attraverso una penna ottica che interagiva su uno schermo attraverso un progettista.

Possiamo in questo caso affermare che questo possa essere considerato il precursore della computer grafica.

Negli stessi anni La General Motors sviluppò il suo primo CAD/CAM chiamato DAC-I (Designed Augmented by Computer) che utilizzava le curve e superfici sviluppate alla General Motors.

Negli anni sessanta le case automobilistiche iniziarono diedero inizio alla realizzazione di geometrie mediante l'utilizzo di personal computer per la definizione della forma delle autovetture.

Fino ad allora il procedimento per la realizzazione delle carrozzerie avveniva attraverso la realizzazione di un modello plastico in argilla, clay, e poi rilevato, per poi essere trasferito alle macchine a controllo numerico.

La nuova necessità divenne quella di poter elaborare superfici direttamente al calcolatore, attraverso l'interpolazione di curve ottenute attraverso interpolazione di algoritmi, che rispecchiassero il desiderio del progettista.

Steve Coons, presso il MIT, nel

1963 elaborò degli algoritmi capaci di realizzare superfici interpolanti (Coons patch) e introdusse la forma parametrica nella rappresentazione delle curve.

Nello stesso periodo in Francia un matematico Paul de Faget de Casteljau cominciò a sviluppare la rappresentazione delle curve, indipendentemente dalle macchine a controllo numerico che avevano spinto lo studio delle curve, per la Citroën .

Partendo dai polinomi di Bernstein, elabora quello che poi prenderà il suo nome la cui novità consiste nell' avere insiti i "courbes à poles" (poligoni di controllo), dove la definizione della curva o della superficie non avveniva più con i punti su di essa ma con i punti vicini ad essa (per modificare la curva non si agisce più sulla stessa ma sul poligono di controllo) (immagine dell'algoritmo di Paul de Faget de Casteljau ). Sempre a Parigi, ma alla Renault, durante i primi anni sessanta, Pierre Bézier, a capo del reparto di disegno, si rese conto della necessità del computer per la rappresentazione delle curve meccaniche.

La sua prima idea fu quella di rappresentare una "basic curve" che nasceva dall'intersezione di due cilindri ellittici (mettere immagine) contenuti all'interno di un parallelepipedo, in cui le trasformazioni delle curve erano diverse da quelle del parallelepipedo.

Successivamente Bézier spostò l'attenzione sulle funzioni polinomiali estese ai gradi più alti, che hanno la caratteristica di rappresentare curve e superfici geometricamente e non analiticamente e il risultato fu lo stesso ottenuto da de Casteljau (divenne lo standard per la generazione di superfici nella computer grafica sotto il nome di curve di Bézier).

Attraverso le curve e le superfici di Bézier la Renault realizzò un primo sistema CAD/CAM chiamato UNISURF, e tale sistema rivoluzionò anche il mondo della compagnia aeronautic francese Dassault, che realizzò il sistema chiamato EVE successivamente evolutosi in CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application).

Le caratteristiche utili al progettista delle curve di Bézier si possono individuare in: curve a controllo globale che consentono di limitare il rischio di descrivere curve con ampia curvatura (la curvatura è l'inverso del raggio, e, maggiore è la curvatura, maggiore sarà il raggio) in cui siano presenti flessi non desiderati, che sta a significare che non sono in grado di produrre una modifica locale all'interno della curva; il legame tra il numero dei poli di controllo ed il grado della curva è semplice ed intuitivo, ma con la possibilità di non potere usare molti poli di controllo, si alzerebbe troppo il grado del polinomio della curva, con un difficoltà

di calcolo da parte dell'elaboratore. Per gestire al meglio le curve si deve tenere basso il grado (3 o 5) e quindi spezzare la forma da costruire in tante curve facendo attenzione alla transizione fra curve adiacenti; le curve di Bézier non sono in grado di descrivere delle curve e delle superfici coniche in maniera analiticamente precisa, ma approssimandole.

La necessità di tracciare delle curve, ed in maniera continua, per la realizzazioni di chiglie di navi, è sempre esistita.

Un modo meccanico, chiamato "spline", veniva utilizzato ed era costituito da una striscia flessibile di legno plasmata, nel posto, attraverso dei pesi metallici chiamati "ducks".

Questo termine poi è stato introdotto nella progettazione quando si voleva raccordare due superfici complanari con una curva morbida, ma anche in matematica il nome viene utilizzato per individuare una curva parametrica.

La geometria differenziale delle curve parametriche era conosciuta sin dal 1800. Dal 1950, la Boeing, sviluppò software basati sulla costruzione di coniche studiate da Liming. Contemporaneamente, J.Ferguson e D.MacLaren, svilupparono un tipo di curva, specializzata per le ali di aeroplani, composta da una serie di curve interpolate da una serie di punti. Altro non fecero che creare la funzione matematica della curva "spline", realiz-

zata manualmente.

Da allora il termine "spline" veniva utilizzato per indicare curve polinomiali o curve razionali polinomiali con proprietà di "morbidezza".

I matematici allora non soddisfatti dei risultati ottenuti, erano alla ricerca di una curva che contenesse al contempo le proprietà delle curve di Bézier e quello delle funzioni delle "splines".

Negli anni settanta Rich Riesenfeld, del gruppo di ricerca di S. Coons, studiò e formulò le B-spline che racchiudevano le teorie di Bézier e quelle delle Splines. La sua formulazione fu semplificata e tradotta in forma matriciale da S. Coons.

Successivamente fu messa a punto la B-spline non uniforme, la cui parametrizzazione non variava più di 0 e 1 ma si legava alla lunghezza cordale della curva, semplificandone la generazione interattiva della stessa, e, successivamente una versione razionale della curva B-spline che dava la possibilità di rappresentare curve coniche.

La generalizzazione della curva B-spline in NURBS (Non Uniform Rational B-spline) divenne una curva standard in tutte le industrie che utilizzavano sistemi CAD-CAM, grazie alla possibilità di rappresentare qualsiasi tipo di forma e curvatura.

L'origine del nome non è ben chiara, ma la prima trattatistica risale alla tesi di dottorato di Versprille.

Lo sviluppo delle NURBS trovò

largo impiego alla Boeing che sviluppò il primo modellatore che le utilizzò e si chiamava "Tiger", nel 1979.

Sempre Versprille convinse la Computervision, che aveva messo in commercio il primo sistema CAD nel 1969, ad adottare le NURBS come sistema per implementare la modellazione.

Oggi le NURBS rappresentano lo standard più diffuso per la generazione e descrizione delle curve e delle superfici e la rappresentazione NURBS è stata inserita nello standard IGES (Initial Graphics Exchange Specification) a partire dal 1983.

I modelli progettati possono essere rappresentati sia in due dimensioni che in tre, attraverso sistemi CAD. Il formato IGES è un formato standard (neutro) che viene utilizzato per trasferire disegni tra sistemi incompatibili. Tale formato è stato sviluppato per essere completamente indipendente da tutti i sistemi CAD/CAM. La particolarità consiste nel fatto che ogni sistema CAD è predisposto per essere compatibile con il formato IGES, avendo all'interno due traduttori, uno detto preprocessore che trasforma il file in IGES, e, un altro, detto postprocessore che converte il file IGES in quello utente. Le specifiche IGES definiscono un file neutro che si può presentare in tre formati: ASCII, ASCII compresso, binario, e questa forma è quella comunemente usata.



Il file IGES è composto di un record di ottanta caratteri ed è logicamente suddiviso in *cinque sezioni* (sections):

- start section* che è un insieme di commenti leggibili in cui il produttore del file inserisce qualunque tipo di messaggio;
- global section* che contiene informazioni per il corretto funzionamento del postprocessore come fattore di scale del disegno, data di elaborazione ecc;
- directory entry section* (DE) che contiene una sorta di indice generale contenente informazioni e indirizzi sulle entità;
- parameter data section* (PD) contiene in dettaglio i dati di ogni entità; terminate section.
- Terminate Section*.

## Curve e Superfici - Modellazione

Fino alla fine degli anni ottanta i modellatori erano di tipo statico, cioè a dire che se si desiderava cambiare qualcosa durante la fase di modellazione si era costretti a ripartire dall'inizio. Tutto questo è continuato fino a quando, intorno agli anni novanta, è comparso il primo modellatore parametrico, Pro/Engineer's UNIX X-Windows, che permetteva di agire sul modello, modificandolo, intervenendo su parametri.

Le principali tecniche utilizzate dai modellatori per la rappresentazione degli oggetti tridimensionali le possiamo individuare in: rappresentazione poligonale; curve e superfici; geometria solida costruttiva.

La rappresentazione degli oggetti in un ambiente 3D hanno le seguenti caratteristiche: sono finiti; sono chiusi (non sempre); sono continui.

La rappresentazione poi degli oggetti o comunque di regioni dello spazio si suddivide in due: quella basata sul contorno (boundary) che delinea la superficie che descrive (boundary representation o b-rep); quella basata sullo spazio occupato o volumetrica.

## La Rappresentazione Poligonale

Il requisito fondamentale nelle rappresentazioni basate sul contorno degli oggetti è che questo sia una *varietà bidimensionale*, intendendosi col termine varietà una superficie in cui ogni suo punto ha un intorno omeomorfo su un disco piano (topologicamente equivalente). Tutti gli oggetti reali hanno bordi complessi ma sempre descrivibili attraverso le curve.

Proprio per questo motivo il calcolatore per semplificare la grafica 3D usa spesso una *approssimazione poligonale* degli oggetti e del loro contorno, approssimando una superficie bidimensionale con un insieme di poligoni convessi, opportunamente connessi gli uni agli altri. Talvolta se la superficie da approssimare è una varietà si hanno limitazioni sull'approssimazione. Può succedere che i modelli poligonali possano essere non utilizzabili nel caso in cui si volesse un alto grado di approssimazione di una superficie curva, in quanto per la descrizione sarebbero necessari un numero elevato di poligoni che renderebbero difficoltosa la gestione della stessa. *[Immagine1]*

Gli elementi **descriventi** di una rappresentazione poligonale (mesh) di una superficie bidimensionale sono:

*Vertici*: sono gli elementi 0 dimensionali e sono identificabili con punti nello spazio 3D  $(x, y, z)$ ; tal-

volta può essere utile associare ai vertici altre caratteristiche oltre alla loro posizione (tipo il colore).

*Spigoli*: sono elementi 1 dimensionali e rappresentano un segmento che unisce due vertici. Solitamente non contengono altre informazioni. *Facce*: sono rappresentate dai poligoni bidimensionali, formati da un certo numero di lati e di vertici. I vertici o spigoli si usano per identificare la faccia e possono contenere ulteriori informazioni, tipo il colore.

*Normali*: è fondamentale sapere quale è l'esterno della superficie rispetto all'interno e proprio per questo motivo si associa ad una mesh poligonale anche l'informazione della normale uscente.

I dati che si ottengono sono: posizionali, ottenuti attraverso i vertici che sono gli unici elementi a cui è associata la posizione e la loro disposizione determina la forma dell'oggetto; connettivi attraverso gli spigoli che, connettendo i vertici, introducono il concetto di vicinanza tra vertici e danno informazioni di tipo topologico.

Le normali, invece, sono calcolabili attraverso il prodotto vettore tra due vettori opportuni, la normale ad una faccia è data dal prodotto vettore di due qualsiasi dei suoi lati.

Le tipologie di mesh poligonali più diffuse sono:

*Generiche*: i poligoni possono

avere qualsiasi numero di lati e non è detto che ci sia un solo tipo di poligono (sono raramente usate).

*Quadrangolari:* tutti gli elementi poligonali sono quadrilateri, sono usate quando i dati da rappresentare hanno una simmetria spaziale particolare.

*Triangolari:* sono le più diffuse per il fatto che i triangoli, una volta specificati i tre lati, non sono ambigui. Infatti in una mesh triangolare, ripetto ad una quadrangolare, presi tre punti questi sono sempre complanari. Inoltre le schede grafiche accelerano le operazioni sui triangoli e se il programma ammette anche suddivisioni quadrangolari (OpenGL, Direct3D) il processore divide automaticamente il quadrilatero in due triangoli con una diagonale.

Una metodologia per generare mesh poligonali è quella di disegnare un contorno poligonale di una sezione dell'oggetto e generare quindi la mesh replicando tale contorno.

Una mesh poligonale può essere generata proceduralmente (ad esempio i frattali), o da un oggetto 3D reale e ne esistono varie tecniche che vanno sotto il nome di *model shape acquisition*.

[Immagine 2]

Le mesh triangolari costituiscono la geometria chiave nelle operazioni di rendering.

Si può affermare che una superficie mesh può essere assimilata ad un solido e quindi può essere soddisfatta la condizione dei poliedri semplici di Eulero per cui vale

$V + F - E = 2$ , dove  $V$  = numero dei vertici,  $F$  = numero delle facce,  $E$  = numero degli spigoli.

Soddisfano in particolare *la regola di Eulero* le mesh in cui :

Tutte le facce sono semplicemente connesse (hanno semplicità 1), cioè che non contengono alcun foro e sono limitate da un unico ciclo di spigoli. Ognuna di esse equivale topologicamente ad un disco.

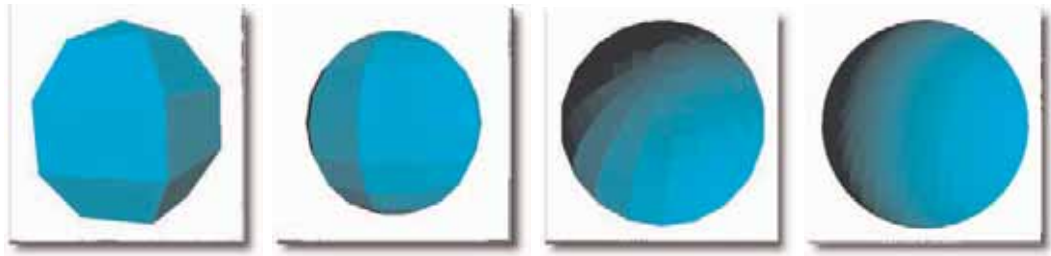
L'oggetto solido è semplicemente connesso e non possiede fori passanti.

Ogni vertice possiede almeno tre spigoli incidenti.

Una mesh può essere associata ad un poliedro anche in presenza di fori se soddisfa la generalizzazione della formula di Eulero, che si riferisce a poliedri con facce e oggetto solido non semplicemente connessi, e vale dunque

$V + F - E - H = 2(C - G)$ . Dove  $V$  = numero dei vertici,  $F$  = numero delle facce,  $E$  = numero degli spigoli,  $C$  = numero di parti separate dell'oggetto,  $G$  = numero dei fori passanti,  $H$  = numero dei fori sulle facce.

## Varie approssimazioni di una sfera



( $v=36$ ,  $f=50$ )

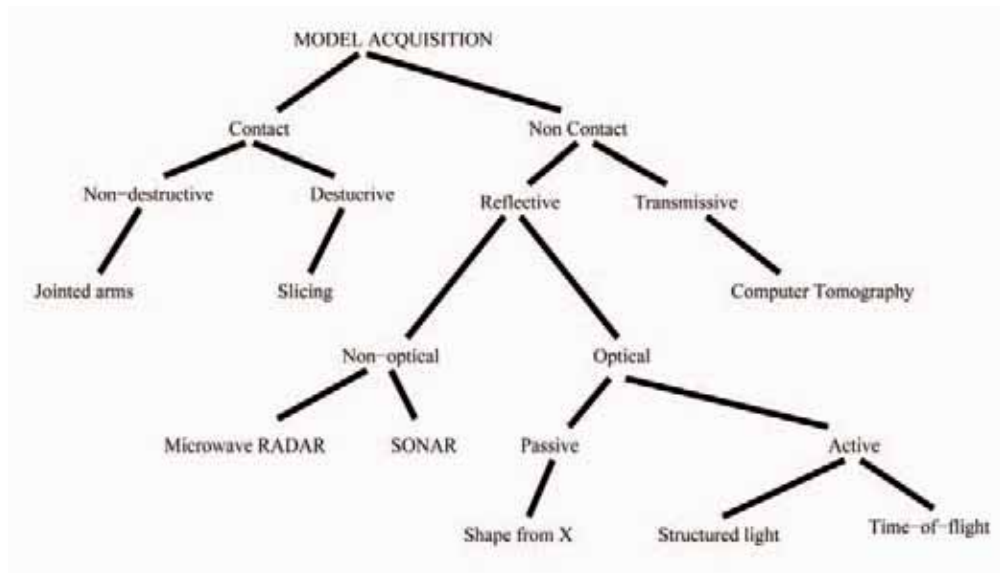
( $v=121$ ,  $f=200$ )

( $v=441$ ,  $f=800$ )

( $v=2601$ ,  $f=5000$ )

01

02



1 Diversi gradi di approssimazione di una superficie curva

2 Model Shape acquisition

## Curve e Superfici

Verranno analizzate alcune curve fondamentali utili per la realizzazione di oggetti complessi.

L'analisi partirà dalle curve unidimensionali.

Le curve o le superfici possono essere rappresentate, matematicamente, in forma *esplicita*, *implicita* e *parametrica*.

Le rappresentazioni *esplicite* sono quelle del tipo  $y(x) = \pm \text{sqrt}(r^2 - x^2)$ , dove, per esempio  $y = ax + b$  rappresenta una retta in un piano oppure  $y = a x^2 + bx + c$  per la parabola. In tutte queste funzioni al variare della  $x$  viene ricalcolata la  $y$ , tramite la funzione di partenza, in cui riverranno ritabellate le coordinate delle  $x$  e delle  $y$ , per la rappresentazione della curva. Questa tipologia di calcolo presenta dei fattori non adatti all'uso all'interno dell'ambito della geometria computazionale.

Le rappresentazioni *implicite* sono quelle del tipo  $x^2 + y^2 = r^2$ , che rappresenta una circonferenza. Questa tipologia di calcolo riesce a superare solo alcuni dei problemi precedenti, che resta dipendente dalla posizione della curva rispetto al sistema di assi di riferimento.

Questa formulazione viene comunque usata nella computer grafica ma gravosa per il calcolatore nella modellazione nel momento in cui si devono effettuare operazioni di rotazione, scalatura e spostamento.

Nella rappresentazione di una curva o di una superficie generica e quindi la forma nello spazio è necessario avere la posizione relativa dei singoli punti tra di loro e non la relazione tra loro e il sistema di coordinate arbitrario.

Attraverso la rappresentazione *parametrica* è possibile effettuare ciò sopra detto. La forma parametrica richiede di trovare funzioni  $f(t)$  e  $g(t)$  di un parametro  $t$  tali che la curva possa essere descritta dalle equazioni  $x = f(t)$  e  $y = g(t)$  al variare di  $t$  in un certo intervallo (di solito  $[0,1]$ ).

Analogamente una curva nello spazio in forma parametrica sarà descritta dalle equazioni  $x = f(t)$ ,  $y = g(t)$  e  $z = h(t)$  variare di  $t$  in un certo intervallo (di solito  $[0,1]$ ).

Per comprendere immaginiamo di la formula funzione di un parametro che identifica un determinato intervallo di tempo, e, quindi, ad ogni istante  $t$  corrisponde un unico punto  $x,y$  della curva.

Per comprendere meglio si prendono in considerazione due funzioni  $x(t) = \sin(t)$  e  $y(t) = \cos(t)$  con  $t$  compreso tra  $0$  e  $2\pi$ , e, al crescere di  $t$  le funzioni saranno in grado di fornire i valori di  $x$  e  $y$  che definiscono la circonferenza, senza generare risultati doppi.

La rappresentazione parametrica è quella che, per la sua logica operativa, si avvicina a quella del computer.

La rappresentazione digitale tende a discretizzare qualsiasi tipo di



informazione, e la rappresentazione parametrica di una curva diventa espressione di un numero definito di punti in funzione del valore incrementale che si decide di applicare alla variabile  $t$ : il punto diviene quindi elemento base della geometria parametrica.

Riportando, tratto da i Modelli Geometrici di M. E. Mortenson, i pregi della formulazione parametrica si ha:

le equazioni parametriche hanno più gradi di libertà nel controllo delle curve e superfici rispetto ad altre formulazioni, cioè con un numero maggiore di coefficienti da far variare per controllare la curva; trasformazioni di rotazione, scalatura e traslazione si possono effettuare direttamente sulle equazioni in quanto indipendenti dal sistema di riferimento;

la formula parametrica gestisce le pendenze infinite senza difficoltà; le equazioni parametriche separano completamente i ruoli delle variabili dipendente ed indipendente e ne permettono qualsiasi numero. In questo modo è possibile trasferire una curva da uno spazio bidimensionale in spazi a tre o quattro dimensioni senza alterarne le proprietà nello spazio bidimensionale;

le geometrie parametriche sono delimitate poiché i parametri sono normalizzati;

gli elementi geometrici si possono esprimere in forma matriciale o

vettoriale, che permettono elaborazioni numeriche semplici ma efficaci per la logica operativa del computer;

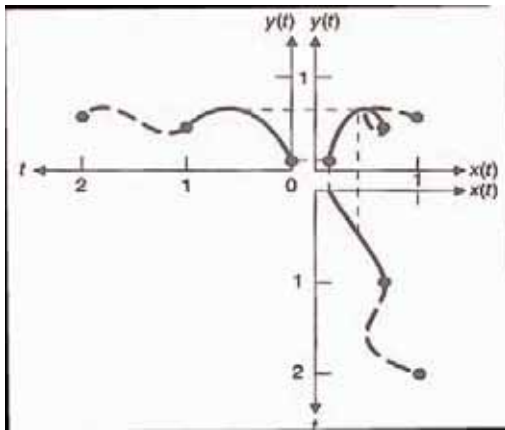
le funzioni parametriche consentono di descrivere porzioni di superficie i cui bordi e l'interno sono definiti da un reticolo di curve parametriche dello stesso formato;

una sola funzione parametrica è in grado di poter descrivere tutte le curve ed avere al contempo una grande analogia con quella in grado di rappresentare tutte le superfici.

## Curve Parametriche

Le curve parametriche sono del tipo

$$P(t) = (p_x(t), p_y(t), p_z(t), 1)$$



ed in genere si usano *polinomi* di grado fissato per le funzioni di  $t$  che descrivono la curva, ad esempio per le rette

$$P(t) = Q + tu = (q_x + tu_x; q_z + tu_z; q_z + tu_z; 1)$$

mentre per un vettore tangente ad una curva

$$P'(t) = \frac{dP(t)}{dt} = (p'_x(t); p'_y(t); p'_z(t); 0)$$

e quindi la derivata di un punto in forma parametrica è un vettore (lo si vede anche perché l'ultima coordinata omogenea derivata si annulla).

Però non tutte le curve nel piano ammettono una rappresentazione parametrica polinomiale e per questo motivo si introducono le curve razionali.

Considerando una curva parametrica in cui anche la quarta compo-

nente è descritta da un polinomio in  $t$

$$P(t) = (p_x(t), p_y(t), p_z(t), p_w(t))$$

Si sa che non è un punto nello spazio (l'ultima coordinata è diversa da 1) e normalizzando si ottiene

$$P(t) = \left( \frac{p_x(t)}{p_w(t)}, \frac{p_y(t)}{p_w(t)}, \frac{p_z(t)}{p_w(t)}, 1 \right)$$

che è una curva *razionale* (per esempio il cerchio in due dimensioni non è descrivibile con una curva polinomiale ma lo è con una curva razionale).

Nella computer grafica le curve si descrivono con l'ausilio di punti e, quindi, bisogna distinguere le curve in due tipologie: *le interpolanti* e *le approssimanti* (le prime interpolano punti le seconde adattano la propria forma ai punti, ma non è detto che vi passino).

Le curve interpolanti si usano in genere per specificare le traiettorie nelle animazioni, caso in cui si voglia far passare una traiettoria per due punti definiti.

Le curve approssimanti sono invece utilizzate più per la modellazione e si possono

descrivere come combinazioni lineari di  $n$  punti  $P_1, \dots, P_n$  i cui coefficienti sono opportune funzioni polinomiali o razionali di un parametro  $t$  del tipo

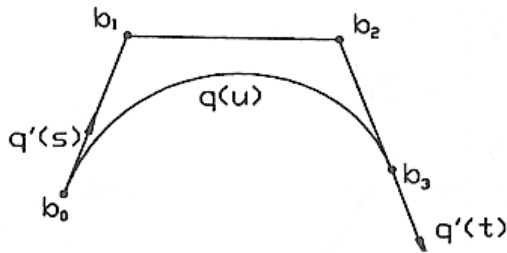
$$P(t) = \sum_i B_i(t) P_i$$

(Polinomio di Lagrange)

In cui le funzioni di *blending*  $B_i(t)$  determinano il tipo di curva.

## Curve di Bézier

Le curve di Bézier hanno la possibilità di poter rappresentare differenti tipi di curve. La forma più diffusa di tali curve è quella cubica che, per essere rappresentata deve essere definita da una poligonale con quattro punti; uno iniziale ed uno finale, interpolati, e altri due che sono, quelli centrali, che sono approssimati. Il segmento che collega i primi due punti è tangente alla curva al primo, mentre il segmento che collega gli ultimi due è tangente all'ultimo.



Si prenda in considerazione una porzione di una parabola, in uno spazio cartesiano bidimensionale, passante per i punti (0,1) e (1,0), e tangente agli assi in questi stessi punti. La sua rappresentazione parametrica sarà:

$$f(u) = au^2 + bu + c$$

con  $a$  e  $b$  che sono coefficienti vettoriali ed  $f(u)$  una funzione vettoriale con due componenti e scrivibile come

$$f(u) = (x(u), Y(u))$$

che, esplicitata, fornisce due funzioni parametriche, una per  $x$  e una per  $y$

$$x(u) = 1 u^2 + (-2) u + 1$$

$$y(u) = 1 u^2 + (0) u + 0$$

ovvero

$$x(u) = u^2 + -2 u + 1 = (1 - u)^2$$

$$c = u^2$$

ricompattando tutto in forma vettoriale, si ottiene:

$$f(u) \begin{pmatrix} x(u) \\ y(u) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} (1-u) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} 2u(1-u) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u^2$$

così, la parabola, è il risultato di una funzione i cui coefficienti assumono un significato geometrico preciso e vengono chiamati poli di controllo, mentre la poligonale che li lega viene chiamata poligonale di controllo.

Tale curva, che interpola gli estremi del poligono di controllo ed è tangente al poligono di controllo, rappresenta la curva di Bézier. Tale curva mantiene le caratteristiche enunciate anche variando i coefficienti, cioè, spostando i punti di controllo la curva cambierà forma, ma manterrà inalterate le proprie caratteristiche.

La formula di Bézier per rappresentare una parabola è

$$f(u) = P_0 (1 - u)^2 + P_1 2u (1 - u) + P_2 u^2$$

che è esattamente come la

$$f(u) = au^2 + bu + c$$

ma con i punti  $P_0$ ,  $P_1$  e  $P_2$  che sono i punti di controllo.

Le caratteristiche delle curve di Bézier sono:

le funzioni della base sono reali; il grado del polinomio che definisce la curva è sempre uno meno del numero dei punti di controllo; generalmente la curva ha un anda-

mento che segue la forma del poligono di controllo;  
 gli estremi della curva coincidono con gli estremi del poligono di controllo;  
 i vettori tangenti agli estremi della curva hanno la stessa direzione del primo e dell'ultimo lato del poligono, rispettivamente;  
 la curva è interamente compresa all'interno della poligonale chiusa definita dai punti di controllo;  
 la curva possiede la proprietà di minimizzare i flessi, e la curva non oscilla mai più di quanto faccia il poligono di controllo;  
 la curva non cambia quando è assoggettata a trasformazioni [Nota 3].

La formula usata per definire una curva di Bézier di grado  $n$ , è:

$$f(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \quad 0 < u < 1$$

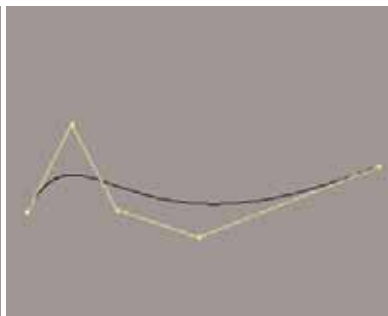
in cui  $P_i$  sono i punti di controllo  $B_{i,n}(u)$  base di Bernstein o blending function. Queste ultime sono delle funzioni in  $u$ , tante quante i punti di controllo, il cui valore determina l'effetto dell'informazione della

curva.

Spostando un punto di controllo si spostano tutti i punti della curva; tutti i punti di controllo sono *non locali*, nel senso che una qualsiasi loro perturbazione si ripercuote su tutta la curva e questo deriva dal fatto che le funzioni di blending per le curve di Bézier hanno supporto su tutto l'intervallo  $[0,1]$ . Il legame che intercorre tra la curva di Bézier e il numero dei punti di controllo rende possibile modificare il grado della curva stessa. Infatti è incrementare o diminuire il numero dei punti di controllo, ma solitamente il grado della curva viene contenuto tra 3 e 7, per il motivo che incrementandone il grado ne conseguirebbe una perdita di semplicità nell'uso. La riduzione del grado della curva, invece, fa sì che l'equazione venga semplificata ma con conseguente modifica che potrebbe essere più o meno accentuata, aumentando il grado la forma non subisce dei cambiamenti ma, invece, viene modificata la posizione del nuovo polo che è il risultato di un algoritmo chiamato *degree elevation*.



Curva di Bézier prima dello spostamento



Curva di Bézier dopo lo spostamento

## Curve di Bézier razionali

All'interno della grafica tridimensionale, e più precisamente nell'ambito della modellazione tridimensionale, le curve vengono rappresentate in uno spazio bidimensionale o tridimensionale. Questo anche perché una curva polinomiale può esistere in uno spazio a  $n$  dimensioni.

Quindi è possibile, con quanto sopra detto, ottenere curve proiettando le curve polinomiali a  $n$  dimensioni in uno spazio a  $n - 1$  dimensioni, con la possibilità di proiettare la curva polinomiale a 3 dimensioni su un piano a 2 dimensioni ed, inoltre, una curva polinomiale a 4 dimensioni può essere proiettata in uno spazio a 3 dimensioni. Analizzando una curva polinomiale di Bézier in uno spazio a 3 dimensioni e rappresentata in uno spazio a 2 dimensioni, la sua proiezione su un piano parallelo al piano  $xy$ , a  $z = 1$ , avremo che qualunque punto della curva originaria è dunque:

$$f(u) = \begin{cases} x(u) \\ y(u) \\ z(u) \end{cases} \quad \text{con } 0 \leq u \leq 1$$

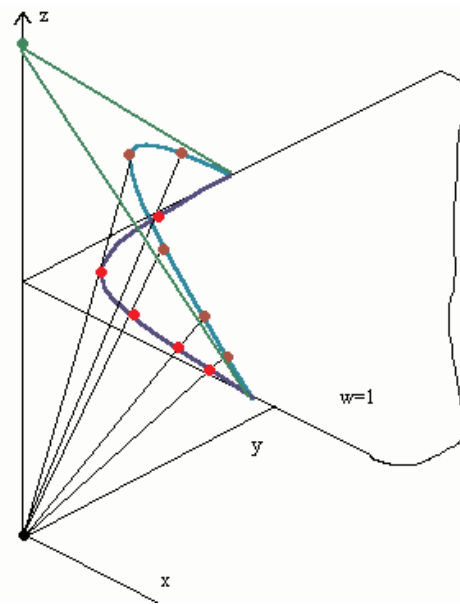
e viene proiettato il punto

$$r(u) = \begin{cases} x(u) \\ z(u) \\ y(u) \\ z(u) \end{cases} \quad \text{con } 0 \leq u \leq 1$$

la curva ottenuta nello spazio bidimensionale è chiamata curva razio-

nale (scritta in forma di rapporto e risultante da una divisione tra due polinomi).

Con le curve razionali è possibile rappresentare tutti i tipi di curve cosa che non è possibile con quelle polinomiali (curva di Bézier classica) che non gestiscono le curve coniche, cioè che non è possibile gestire un arco di circonferenza.



Una curva di Bézier in 3 dimensioni è scritta in

$$f(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \quad \text{con } 0 \leq u \leq 1$$

ma può anche essere scritta

$$f(u) = \begin{cases} w_i x_i \\ w_i y_i B_{i,n}(u) \\ w_i \end{cases} \quad \text{con } 0 \leq u \leq 1$$

dove  $w_i$  è la coordinate della  $z$  e la

corrispondente curva razionale sarà

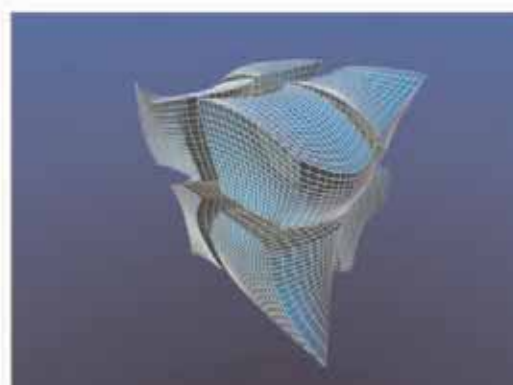
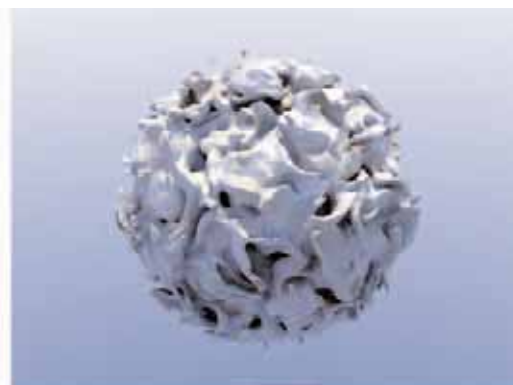
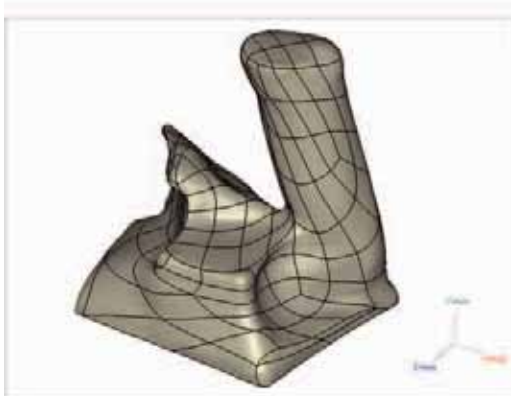
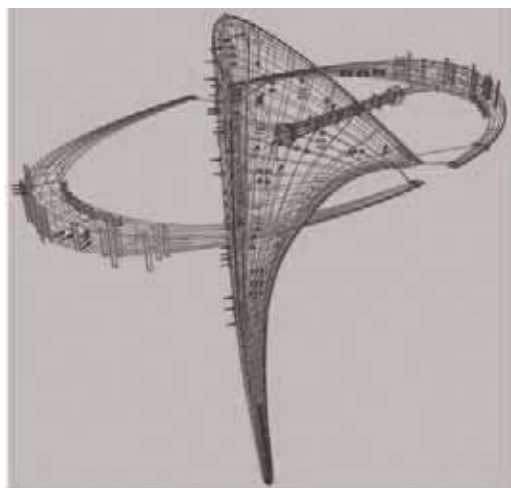
$$r(u) = \frac{\frac{\sum w_i x_i B_i(u)}{\sum w_i B_i(u)}}{\frac{\sum w_i y_i B_i(u)}{\sum w_i B_i(u)}} \quad 0 \leq u \leq 1$$

ora se  $P_i = (w_i, x_i)$  la curva di Bézier razionale diventa

$$r(u) = \frac{\sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i y_i B_{i,n}(u)} \quad 0 \leq u \leq 1$$

Tutto ciò significa che ogni polo di controllo  $P_i$  avrà associato un valore  $w$  chiamato peso (weight). Il peso del punto di controllo è l'intensità che ogni punto ha nell'influenzare sulla forma della curva. Analiticamente se ogni punto di controllo avesse peso  $w=1$  la curva risulterebbe uguale alla curva di Bézier canonica.

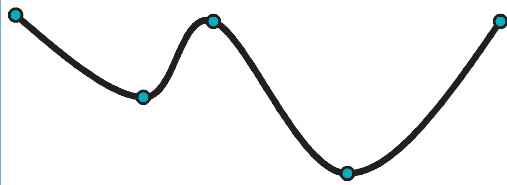




1 Elaborazioni di superfici NURBS

## Curve Spline

Le curve spline, come lo strumento da cui riprendono il nome, sono calcolate in modo tale da passare per dei punti prefissati e che mantengono, al variare dei punti, un cambiamento di curvatura graduale senza che si possano formare cuspidi o intrecci all'interno della stessa.

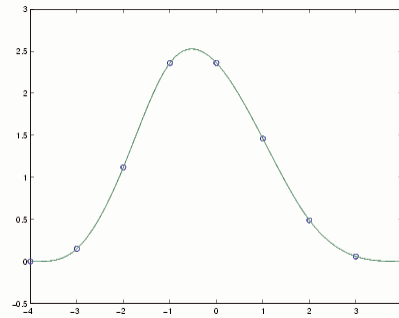


Curva Spline

Le spline hanno la caratteristica di essere formate da tanti tratti che devono rispondere a due condizioni dette di continuità; una è che due segmenti di curva adiacenti e con un estremo in comune devono avere in comune anche la retta tangente nell'estremo in comune, l'altro è che il raggio di curvatura deve essere uguale, per i due segmenti di curva, nell'estremo comune.

La parametrizzazione avviene assegnando un valore al parametro  $u$  (degli estremi di ogni segmento della curva) e  $u=0$  nel primo e  $u=1$ , in modo tale che ogni punto di controllo avrà, alternativamente assegnati i valori  $u=0$  e  $u=1$ , a seconda che appartengano al segmento precedente o successivo

rispetto ad un generico punto di riferimento.



Parametrizzazione curva spline

Gli svantaggi sono due: uno è che sono curve a controllo globale nel senso che modificando la posizione di qualsiasi dei punti di controllo tutta la curva viene modificata nella sua forma; l'altro consiste nel fatto che la modificazione della curva nel momento in cui viene spostato un punto di controllo è imprevedibile.

Le potenzialità delle curve spline consiste nel fatto che possono descrivere, contrariamente a quelle di Bézier, curve molto complesse gestite anche da una grande quantità di punti di controllo.

Le curve spline sono generalmente rappresentate di grado tre.

## Curve B-Spline

Le curve di Bézier hanno alcuni difetti tra i quali il fatto di avere natura *non locale*, che significa che l'interazione su un punto di controllo si ripercuote su tutta la curva, e che la curva, generalmente, non passa in prossimità dei punti di controllo e nel caso si volesse costringere la curva a farlo bisognerebbe aggiungere lo stesso punto più volte, generando pesantezza numerica, obbligando a lavorare su curve polinomiali di grado elevato.

Tutte queste peculiarità sono dovute al polinomio adottato per le blending function che vengono chiamate *basis*, note come basi di Bernstein.

Per ovviare e risolvere il problema del controllo locale e che quindi l'influenza del punto di controllo interagisse soltanto sulla porzione di curva interessata si sono introdotte le *B-spline* (basis spline) intervenendo sulle funzioni di base che non sono più a supporto di tutto l'intervallo del parametro  $[0,1]$ , ma lo sono solo su sottoinsiemi.

Le B-spline si possono considerare come una serie di curve di Bézier concatenate, in cui, però, la sua complessità formale e il numero dei punti di controllo non influenzano il grado della curva.

Sia dunque  $[0,1]$  l'intervallo di variazione del parametro  $t$  che descrive la curva  $P(t)$  e si parti-

zioni l'intervallo in  $m$  sottointervalli definendo  $m + 1$  valori ordinati compresi tra 0 e 1

$$(t_0, \dots, t_m)$$

con

$$t_0 = 0 \text{ e } t_m = 1 \text{ e tali che } t_i < t_{i+1}.$$

Tali valori si dicono *nodi* della B-Spline e la  $(m + 1)$  scritta sopra si dice *vettore dei nodi*.

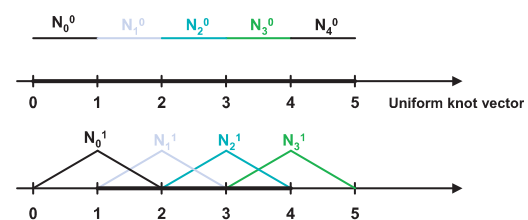
In generale non si richiede che i nodi siano tutti diversi; se un nodo compare  $k$  volte in sequenza, allora si dirà avere *molteplicità  $k$* , altrimenti si dice *semplice*, se i nodi sono equidistanti, allora la B-Spline si dice *uniforme*.

L'intervallo chiuso-aperto  $[t_i; t_{i+1})$  si chiama *span* dell'*i-esimo* nodo. Stabilito quindi un intero  $p$  come grado della B-spline si avrà:

$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1 & t_i \leq t < t_{i+1} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

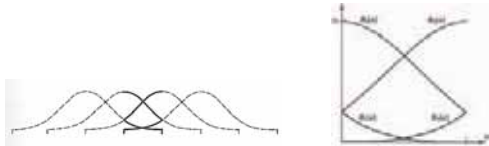
altrimenti

$$N_{i,p}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+p} - t_i} N_{i,p-1}(t) + \frac{t_{i+p+1} - t_i}{t_{i+p+1} - t_{i+1}} N_{i,p-1}(t)$$



Quindi una B-spline è rappresentabile attraverso  $n+1$  punti di controllo  $(P_0, P_1, \dots, P_n)$  che definiscono  $n-2$  tratti di curva collegati tra loro in punti chiamati *knot*.

In una B-spline si possono avere  $n-1$  knot con  $n$  che può assumere qualunque valore, definito nella creazione della curva e con il grado sempre maggiore o uguale al grado del polinomio che descrive i singoli tratti della B-spline ( $n > 3$ ).

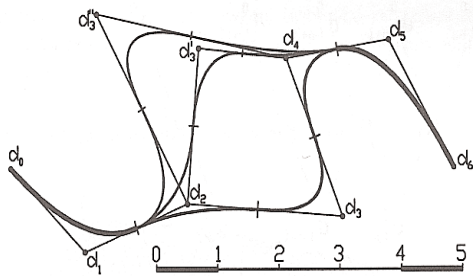


Analiticamente la B-spline è data dalla seguente formula

$$P(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)P_i$$

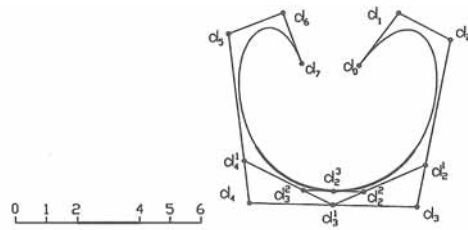
in cui vale la relazione  $m = n + p + 1$ , con  $m$  numero degli intervalli in cui è diviso  $[0,1]$ .

La curva è solo definita sull'intervallo  $[t_p, t_{m-p}]$ , il grado  $p$  è indipendente dal numero dei punti di controllo. Le B-spline sono versatili in quanto si può mantenere il grado del polinomio basso, agendo solo su  $k+1$  segmenti di curva, aumentando il numero dei punti di controllo.



Le proprietà delle B-spline si possono riassumere in:

- $P(t)$  è l'unione di curve di grado  $p$ ; più basso è  $p$  e più la curva segue i punti di controllo;
- la curva è completamente contenuta nell'involuppo convesso dei punti di controllo;
- la curva è locale, nel senso che se si cambia  $P_i$  si modifica solo la porzione di curva per  $t$  compreso tra  $t_i$  e  $t_{i+1}$



## Curve Non Uniform B-Spline

Le B-spline possono essere parametrizzate in due tipologie: uniformi e non-uniformi. Le prime hanno i *knot* posizionati ad intervalli regolari  $u$  ( $0 = u = 1$  per ogni tratto di curva) con le blending functions sono uguali in tratto di curva; le seconde presentano intervalli del parametro  $u$  non uguali tra loro nei vari tratti della curva.

Questa ultima parametrizzazione consente di disporre i punti di controllo in maniera più intuitiva e di aver segmenti di curva di lunghezza nulla.

Questa caratteristica consente la formalizzazione di cuspidi.

## NURBS - Non Uniform Rational B-Spline

Le curve NURBS sono una generalizzazione delle B-spline e rappresentano la proiezione in 3 dimensioni di B-spline in  $n$  dimensioni. Le NURBS si possono descrivere in:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)P_i$$

con

$$R_{i,p} = \frac{w_i N_{i,p}(t)}{\sum_{j=0}^n N_{j,p}(t)w_j}$$

Le proprietà delle curve NURBS sono:

$P(t)$  è un insieme di curve razionali di grado  $p$ ;

una curva NURBS passa per il

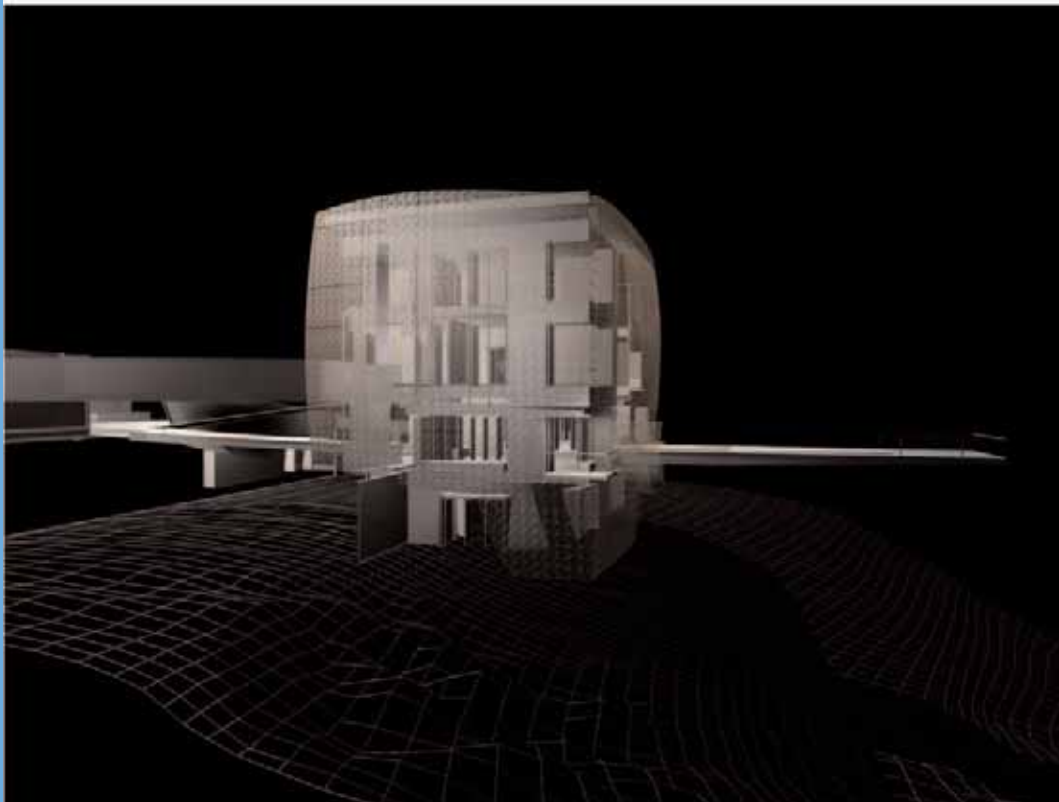
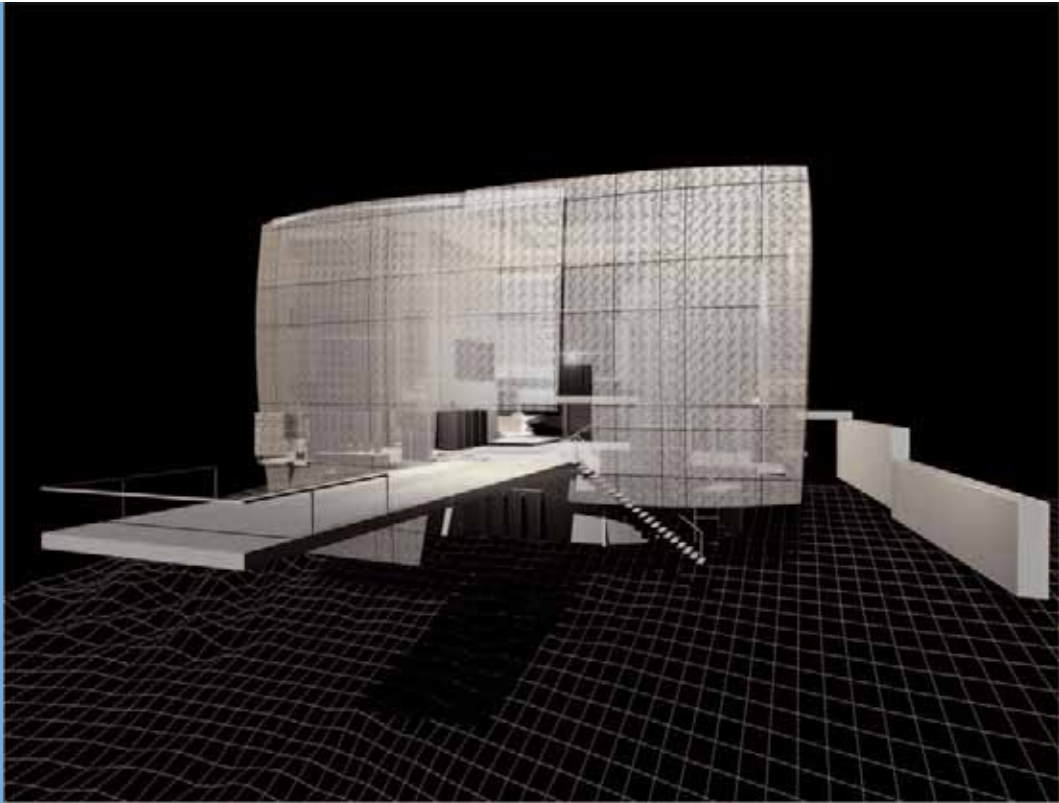
primo ed ultimo punto di controllo;

la curva è locale e quindi variazioni  $P_i$  modificano la curva per  $t$  in  $[t_i, t_{i+1}]$ ;

se si aumenta il peso  $w_i$  di del punto  $P_i$  la curva si avvicina a tale punto, se lo si diminuisce la curva si allontana.



Curve NURBS

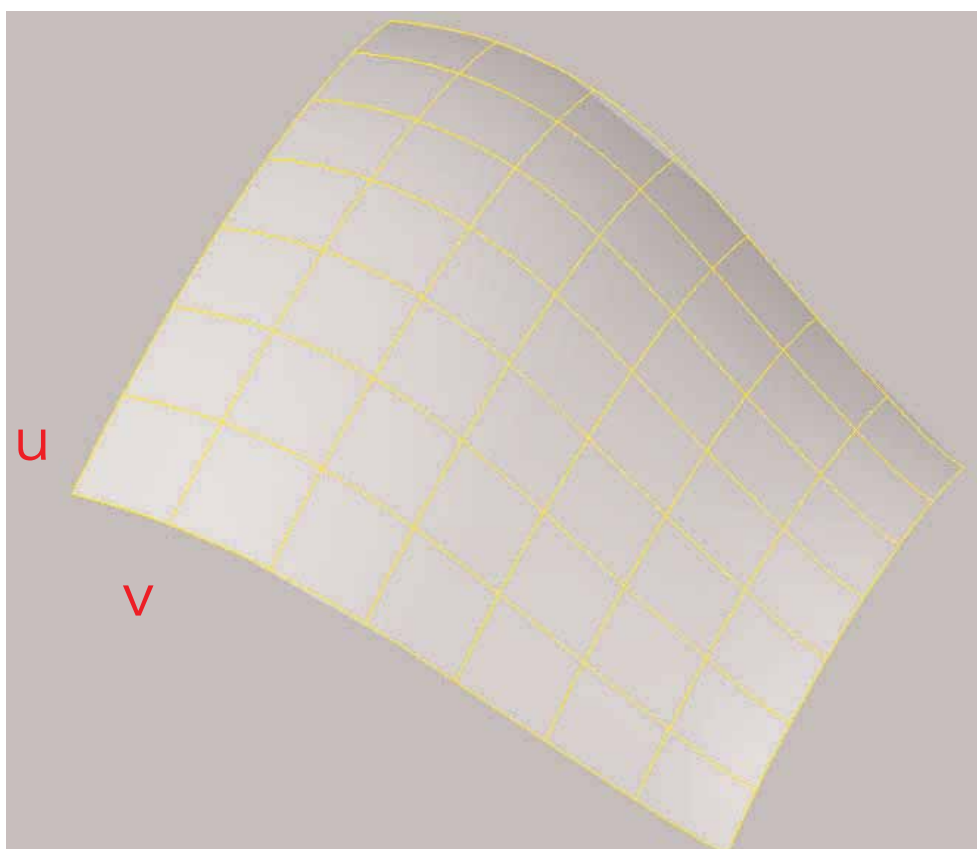


2 dECOi, Pallas House,  
Kuala Lumpur, 1996



## Superfici

Le superfici parametriche, a questo punto, si possono considerare delle estensioni delle curve in cui la sua dimensione dipenderà da due parametri ( $u, v$ ) anziché da un solo parametro  $t$  come nel caso delle curve. Se pensiamo ad una superficie come una successione di varie curve o come lo sviluppo di una di una curva obbligata a percorrerne un'altra che percorrendola genera la superficie.



Superficie Parametrica

## Superfici di Bézier

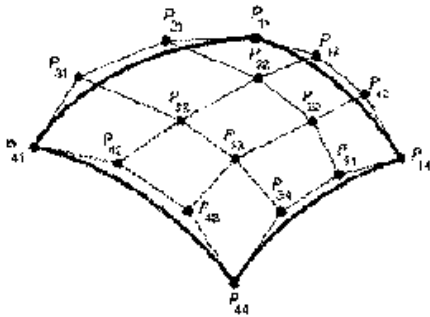
Prendendo in considerazione la curva di Bézier in funzione di un unico parametro  $u$

$$f(u) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(u) \quad 0 \leq u \leq 1$$

ed estendendolo ad un'altra curva in funzione di un parametro  $v$  si ottiene una superficie di Bézier. Considerandola di grado 3 con i polinomi espresso in funzione dei parametri in  $u$  e  $v$ , ed indicando con  $n$  il grado del parametro  $u$  ed  $m$  il grado del parametro  $v$  la superficie di Bézier sarà:

$$f(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{i,j} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v)$$

con  $0 \leq u \leq 1$  e  $0 \leq v \leq 1$  con i punti di controllo  $P_{i,j}$  che rappresentano la maglia, chiamata *control mesh*, in cui è imbrigliata la superficie.



Le caratteristiche principali delle superfici di Bézier, che naturalmente derivano dalle curve di Bézier, sono:

una superficie di Bézier approssima i suoi poli di controllo interpolandoli ai quattro vertici;

le curve di bordo, quattro, sono tangenti ai quattro poligoni di controllo della control mesh agli estremi;

è completamente contenuta all'interno della control mesh, che è un poliedro complesso, definito nell'intervallo  $0 < u < 1$  e  $0 < v < 1$ ;

la superficie di Bézier non varia al variare della posizione nello spazio della control mesh;

in una superficie di Bézier se tutti i punti di controllo giacciono su un piano la superficie è planare.

## Superfici NURBS

Le superfici NURBS derivano da quelle di Bézier e sono una generalizzazione delle B-spline razionali la cui formula è

$$s(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} P_{i,j} B_{i,k}(u) B_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} B_{i,k}(u) B_{j,l}(v)}$$

in cui  $k$  e  $l$  rappresentano il grado della B-spline nelle direzioni  $u$  e  $v$ , mentre  $n$  e  $m$  rappresentano il numero dei punti di controllo diminuito di uno, espressi nelle direzioni  $u$  e  $v$ .

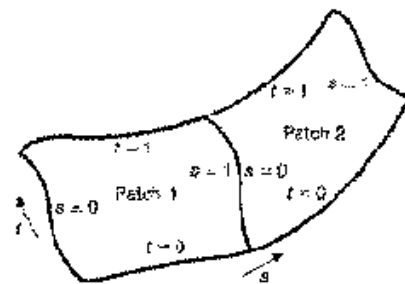
il valore  $w_{ij}$  rappresenta il peso di ogni punto di controllo,  $P_{ij}$  rappresenta la matrice dei punti di controllo e  $B$  sono le blending function.

Le caratteristiche principali delle superfici NURBS sono:  
 la capacità di poter generare qualsiasi tipo di superficie, comprese le superfici coniche;  
 un controllo locale della forma, cioè l'azione di ogni punto di controllo interessa la parte di superficie da lui controllata;  
 la capacità di gestire forme assolutamente complesse senza utilizzare polinomi molto complicati.  
 Tali superfici permettono inoltre la continuità fra diverse componenti, come nelle curve, e per poter ottenere ciò bisogna innanzitutto che

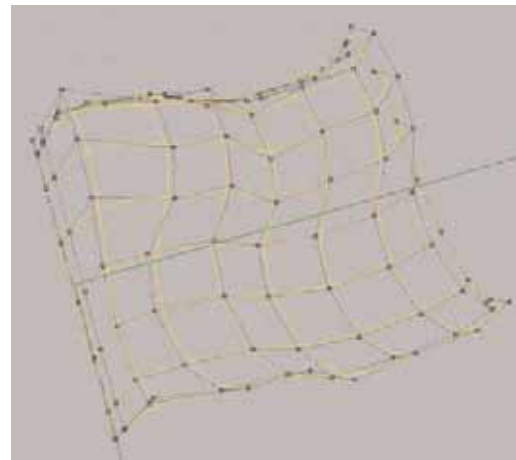
le curve di bordo siano le stesse (continuità), ovvero che i punti di controllo siano identici lungo la curva di unione.

Per avere continuità bisogna che le tangenti attraverso la linea di contorno siano uguali.

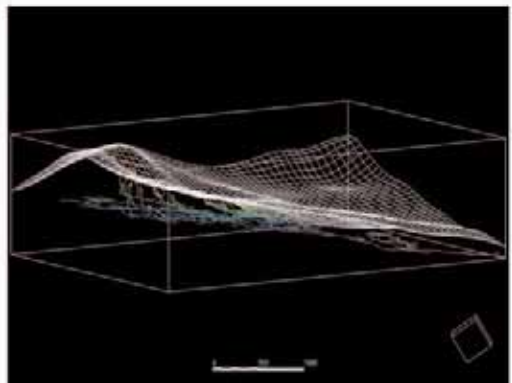
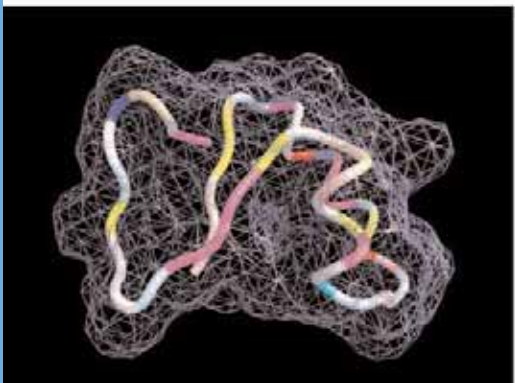
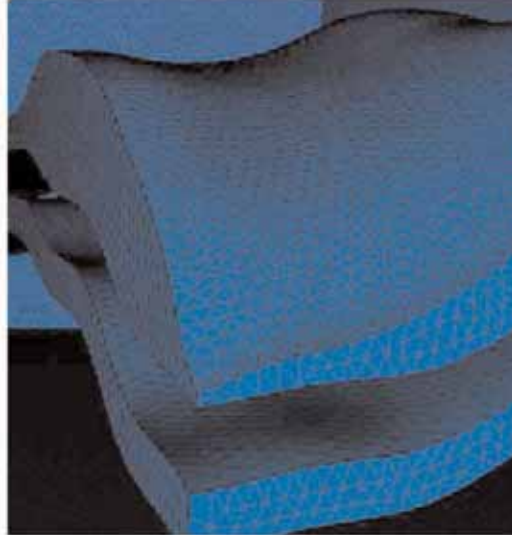
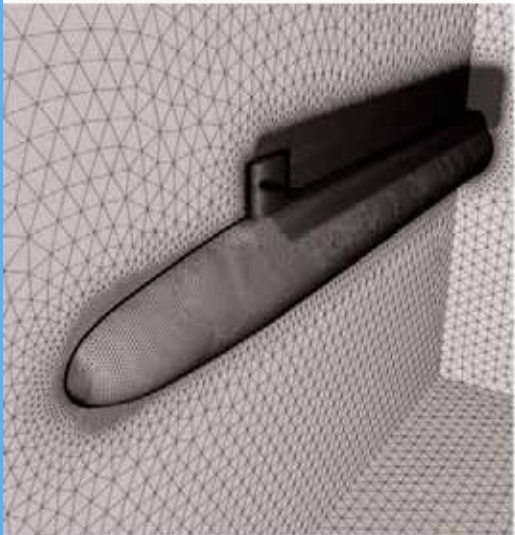
Questo quindi fa sì che un oggetto può essere modellato da un insieme di superfici, che usualmente vengono chiamate patch, opportunamente connesse.



Due superfici unite



Superficie NURBS



3 Elaborazione di superfici Mesh

## Geometria solida costruttiva

Le superfici 3D viste finora permettono la definizione di oggetti nello spazio specificandone la superficie. Vi sono però numerose applicazioni, sia in grafica che in altri campi, in cui la definizione degli oggetti deve essere più accurata, sia perchè è necessario modellare anche l'interno dell'oggetto che per poter applicare algoritmi che necessitano di informazioni volumetriche, ad esempio per stabilire relazioni

di interno/esterno o per controllare possibili intersezioni (in generale non è molto facile stabilire se un insieme di superfici 3D delimita un volume nello spazio senza errori).

Una rappresentazione volumetrica accurata può inoltre rendere possibile la generazione automatica

Geometria solida costruttiva  
Le superfici 3D viste finora permettono la definizione di oggetti nello spazio specificandone la superficie. Vi sono però numerose applicazioni, sia in grafica che in altri campi, in cui la definizione degli oggetti deve essere più accurata, sia perchè è necessario modellare anche l'interno dell'oggetto che per poter applicare algoritmi che necessitano di informazioni volumetriche, ad esempio per stabilire relazioni

di interno/esterno o per controllare possibili intersezioni (in generale non è molto facile stabilire se un insieme di superfici 3D delimita un

volume nello spazio senza errori).

Una rappresentazione volumetrica accurata può inoltre rendere possibile la generazione automatica delle istruzioni alle macchine a controllo numerico che realizzeranno tale oggetto, come è abbastanza comune nella progettazione meccanica.

Le proprietà che, in generale, uno schema di rappresentazione volumetrica dovrebbe avere sono piuttosto stringenti:

deve poter rappresentare un largo numero di oggetti del mondo reale;

non deve essere ambiguo, ovvero ad un dato modello deve poter essere associato un solo oggetto fisico;

deve essere accurato, nel senso di poter rappresentare gli oggetti senza approssimazione (o con approssimazione controllata); dovrebbe essere unico, ovvero tale che un dato oggetto possa essere rappresentato in un solo modo (così è facile effettuare i test di uguaglianza);

deve essere semplice costruire la rappresentazione di un oggetto, anche in modo interattivo; dovrebbe essere impossibile creare una rappresentazione invalida, cioè un modello formalmente corretto che non corrisponde ad alcun oggetto;

deve permettere la rotazione, scalamento ed altre trasformazioni del modello

senza distruggere la validità dell'oggetto;  
deve essere compatto, in modo da risparmiare spazio in memoria;  
deve permettere lo sviluppo di algoritmi efficienti per il calcolo delle proprietà fisiche di interesse del solido;  
deve permettere la visualizzazione grafica del modello in modo efficiente.

Un metodo che permette di lavorare con questo sistema di modellazione è quello che definisce un insieme di primitive (solidi 3D) rilevanti per l'area di applicazioni alle quali si rivolge. Queste primitive sono parametrizzate non solo in termini di trasformazioni geometriche, ma anche in modo mirato. In generale questo metodo è spesso usato per oggetti relativamente complessi che sono noiosi da definire come combinazione di semplici forme geometriche e che sono facilmente caratterizzati da un piccolo numero di parametri ad alto livello. Lo svantaggio di sistemi di questo tipo è che non è possibile creare nuove primitive senza scrivere il codice che le definisce (e, per inciso, anche quello che le visualizza e ne calcola le proprietà). La rappresentazione così detta CSG (Constructive Solid Geometry) che è una rappresentazione particolarmente adatta per il modeling (è diffusa nel settore CAD), ma molto meno nel rendering.

Si tratta, essenzialmente, di costruire degli oggetti geometrici complessi a partire da oggetti elementari (cubi, sfere, cilindri etc) e da operazioni booleane.

Considerando due primitive semplici, una sfera A ed un cilindro B  
*[Immagine 3]*

Si avrà:

Unione: l'unione tra  $A \cup B$  è l'insieme dei punti che appartengono ad almeno uno dei due solidi;

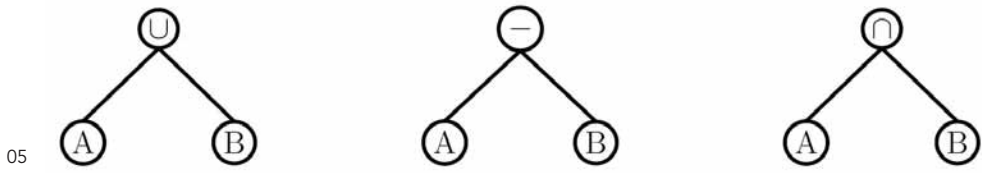
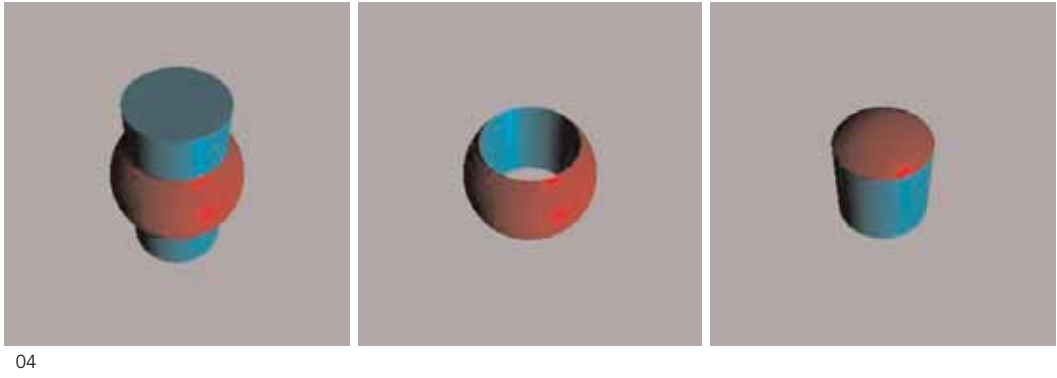
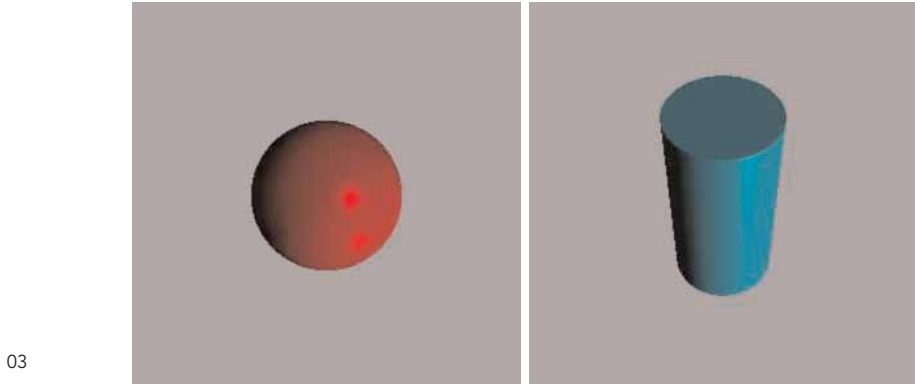
Differenza: la differenza  $A - B$  è l'insieme dei punti che appartengono ad A, ma non a B;

Intersezione: l'intersezione  $A \cap B$  è l'insieme dei punti che appartengono ad A ed a B. *[Immagine 4]*

Le operazioni di CSG possono essere descritte tramite un albero (gerarchia) e in ciascun nodo è presente una delle operazioni elementari U, n o - *[Immagine 5]*

Si possono naturalmente ottenere delle operazioni più complesse.  
*[Immagine 6 e 7]*

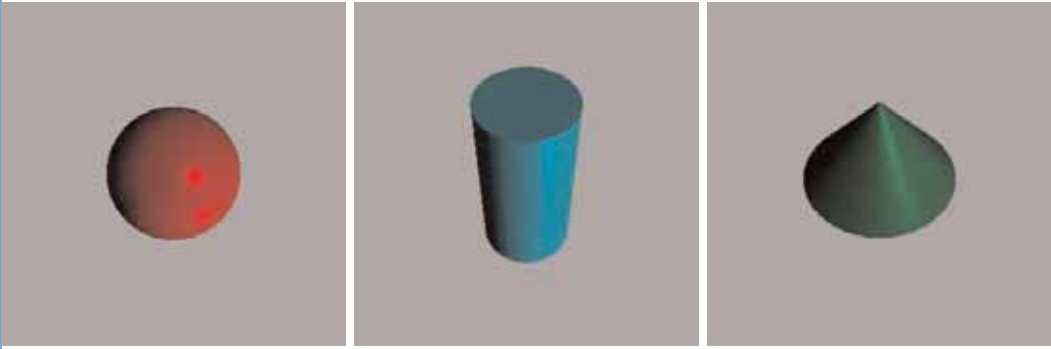




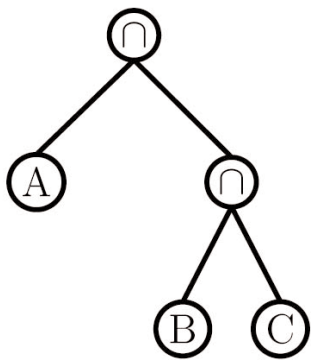
3 Le primitive A e B

4 Operazioni booleane sulle primitive

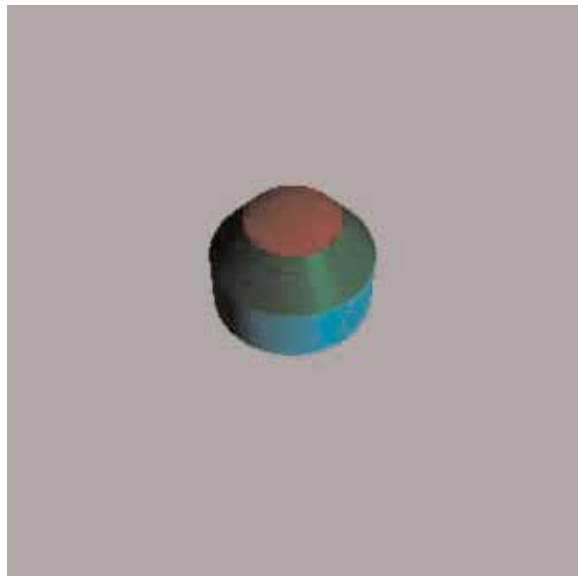
5 Schemi di relazione Booleana tra le superfici



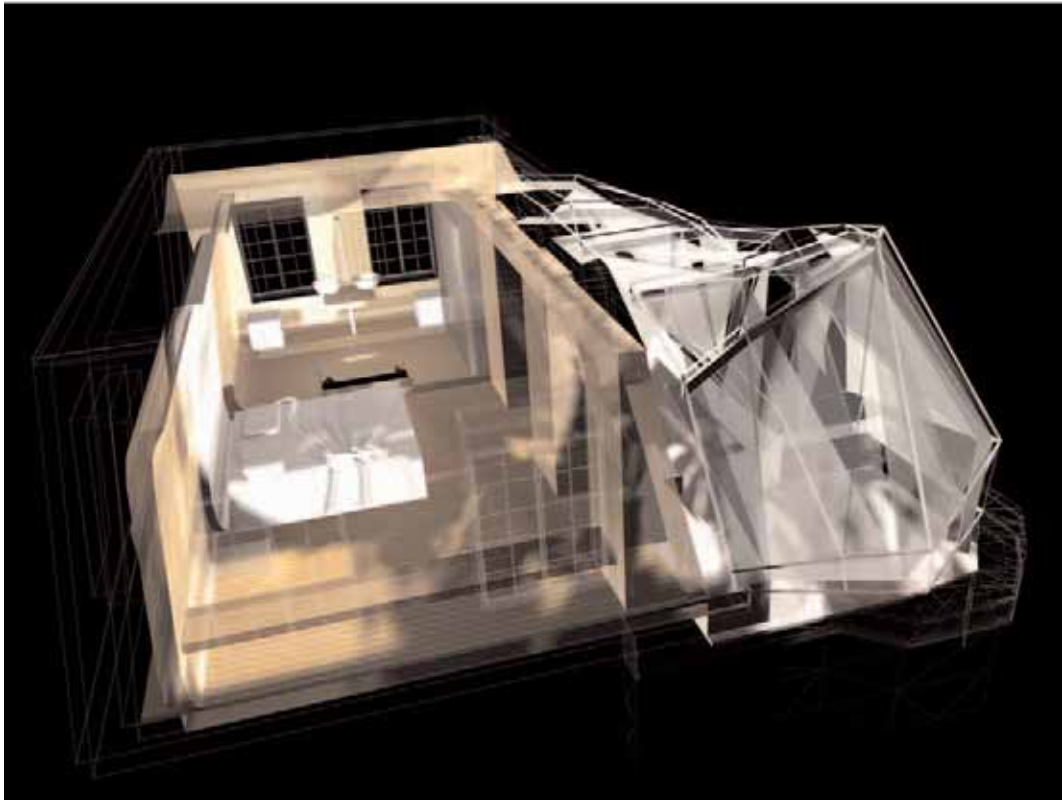
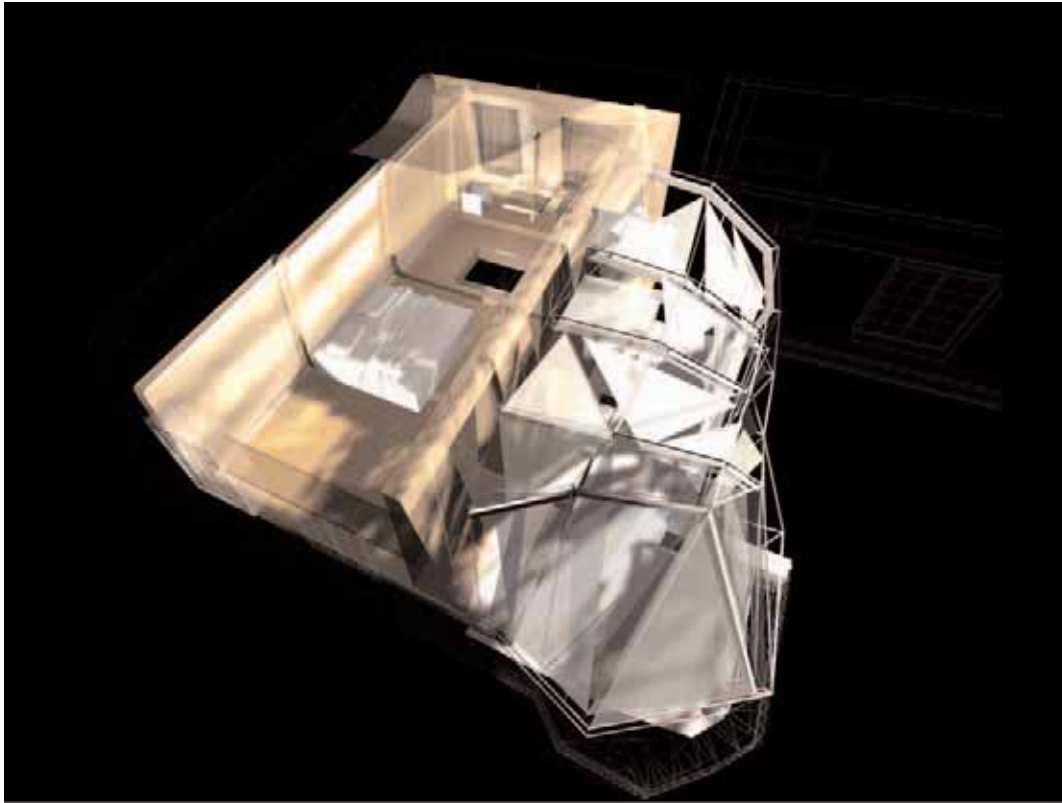
06



07



6-7 Oggetti complessi  
schemi di relazioni complesse  
tra le primitive A  
e B



4 dECOi, Lushwitz  
House, Londra, 2000



# NUOVE METODOLOGIE PROGETTUALI

"Tutto possiede una ragione"

....Questa formula banale basta già a rendere il carattere esclamativo del principio, l'identità del principio e del grido, il grido della ragione per eccellenza.... tutto quanto capita possiede una ragione.  
(G.W.Leibniz, lettera ad Arnauld, 1686, in Saggi filosofici e lettere)

"La costruzione di un edificio non è cosa che si possa improvvisare, troppo complessa è la sua struttura statica, funzionale, estetica, troppo articolati i rapporti che l'edificio intrattiene con il paesaggio circostante. Per progettare un edificio, gli architetti si servono dunque di modelli, che consentono loro di simulare la costruzione e prevederne gli effetti. [...] Il computer permette di costruire con grande facilità modelli numerici tridimensionali e di osservarli da ogni possibile punto di vista, come se si trovasse realmente tra le nostre mani. [...] Lo schermo del computer è dunque una finestra aperta sullo spazio virtuale del modello, che ci permette di osservarlo e di interagire con esso, movendolo e modificandolo" (cfr. Riccardo Migliari, *Modelli grafici e modelli informatici per l'architettura. Corso di Scienza della Rappresentazione*, ed. Kappa, Roma, 2001).

In effetti la modellazione digitale, come quella manuale, può essere quindi considerata una metodologia creativa, conoscitiva, modificabile e perlustrabile in tempo reale. I modelli realizzati virtualmente sono visualizzabili in uno spazio bidimensionalmente percettivo (in proiezione centrale) o misurabile (proiezione parallela), con la grande peculiarità di poter essere investigati ed osservati cambiando continuamente il punto di vista. Con l'utilizzo sempre maggiore dei

software e con le continue sperimentazioni nella manipolazione degli stessi, non rimaniamo più colpiti dalla somiglianza che hanno alcune forme proposte da architetti e designer nelle loro investigazioni della forma.

Ma cosa c'è di simile, e cosa di diverso, in questi "nuovi" concetti che riescono a formalizzarsi e soprattutto, quali sono i "motori" che permettono di determinare, controllare e realizzare queste forme?

Le motivazioni più significative che spingono a questi cambiamenti nelle metodologie progettuali sono in gran parte riconducibili alla forte attenzione investigativa nei confronti delle nuove geometrie topologiche. Caratterizzate queste dalla peculiarità di poter di scolpire lo spazio attraverso la modellazione generativa e cinematica.

Le possibilità di investigare infinite possibilità diventa elemento fondamentale di una progettazione che intende studiare il comportamento della superficie sottoposta a deformazione e registrarne le modificazioni spazio-temporali continue. In effetti le possibilità di continua modifica, sostanzialmente in tempo reale, permettono al progettista una continua analisi della propria idea progettuale che trova la sua rappresentazione su un monitor.

## Definizione della forma del volume

Le tecniche per la definizione del volume, attraverso le superfici topologiche, sono fondamentalmente individuabili in due metodologie, determinate dalla scelta formale del software da utilizzare, e quindi dalle possibilità che questo offre nella creazione delle nuove superfici; e cioè: quelle che utilizzano i prodotti per il design e l'architettura (Rhinoceros, 3d studio Viz, FormZ, ecc) e in quelli che utilizzano prodotti che introducono spazio e tempo come variabili (3d studio Max, Maya, Softimage, ecc). I due approcci differiscono soprattutto in relazione alla metodologia iniziale da cui il progettista vuole partire per la generazione delle superfici.

La modellazione di superfici può essere effettuata in molteplici modi: utilizzando superfici rigate, superfici loft (in cui la superficie viene generata attraverso uno sviluppo di sezioni), superfici di interpolazione monodirezionale e bidirezionale (in cui viene creata una curva generatrice e una o due curve direttrici secondo cui viene fatta sviluppare la superficie), superfici da network di curve, editing delle superfici attraverso i punti di controllo, unione di superfici tramite superfici curve e piane, ritaglio di superfici, proiezioni ed intersezioni con curve.

La modellazione poligonale, con

cui vengono generate geometrie evolutive per una continuità di formazione delle superfici, possono essere generate in molteplici modi: attraverso la generazione di vertici, segmenti, poligoni; traslazioni, rotazioni, estrusioni, connessioni; processi autogenerativi.

Utilizzando le alterazioni spazio temporali le superfici possono essere generate con le tecniche di: keyframing, che è un sistema generico di animazione; morphing, che è un particolare tipo di animazione che utilizza gli stadi geometrico-tipologici intermedi; cinematica inversa, che utilizzata nella simulazione comportamentale complessa. In ogni caso in tutte queste modalità viene utilizzata una variabile fondamentale che è il tempo.

Con le tecniche di animazione è possibile osservare le modificazioni di svariate caratteristiche della superficie nel tempo dovute a molteplici fattori inseriti nel processo di animazione e quindi nel processo progettuale. Ottenute diverse configurazioni di superfici, le si possono utilizzare in svariati modi, come, per esempio, interpolando le più significative, unendole tutte o scegliendone le più prossime al processo concettuale. In questi processi sono fondamentali: la linea temporale; le chiavi per la scelta dei fotogrammi; i parametri; le interpolazioni numeriche; le variazioni; le modifiche temporali;



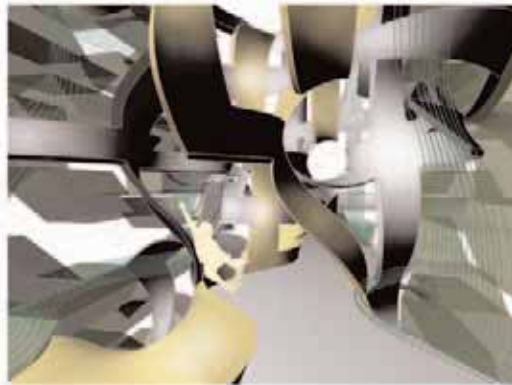
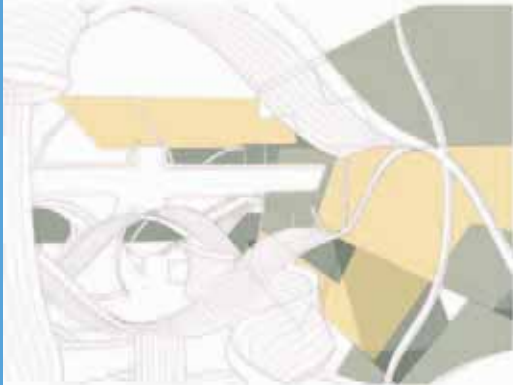
le interpolazioni; i vincoli; le relazioni interne.

Utilizzando come modalità progettuali le interazioni dinamico fisiche possiamo utilizzare delle particolari applicazioni come metaball, sistemi particellari e modificatori spaziali. Tutti questi sistemi utilizzano software di simulazione ed animazione, che mettono a disposizione sistemi di calcolo con cui si può generare la forma utilizzando semplici animazioni o relazioni che intercorrono tra le primitive utilizzate.

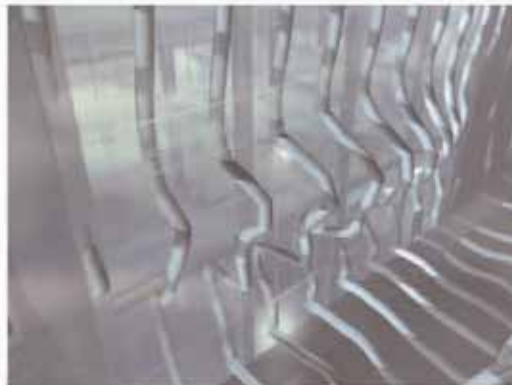
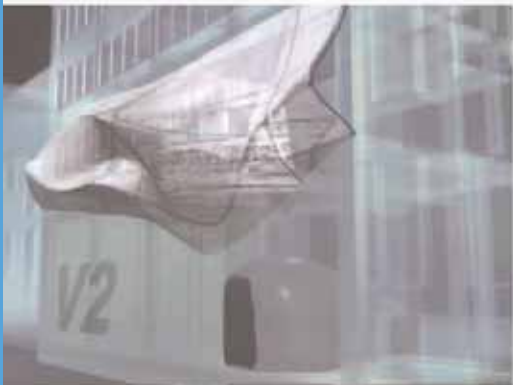
Attribuendo alle primitive una forza interna, attrazione, massa e campo di influenza, e, facendole interagire tra loro, si riesce ad individuare delle configurazioni, intermedie o finali, di un modello dinamico in continua evoluzione. In questi processi sono fondamentali: le primitive, i parametri, i campi di influenza, i flussi, le configurazioni.



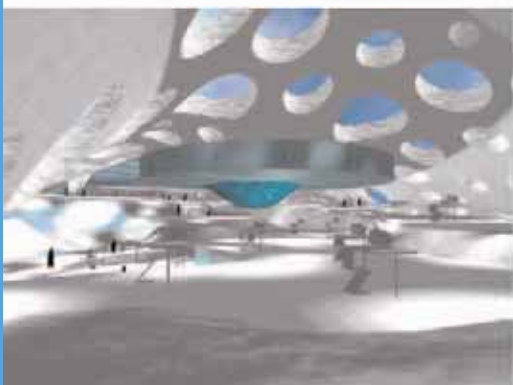
01 02 03



04 05



06 07



08 09

1-2-3 REM KOOLHAAS, Netherland Embassy, Berlino, foto della realizzazione

6 MVRDV, Sylicon Hill, Concorso Poste centrali, Stoccolma, 2000 Vista del modello

4-5 GREG LYNN, Looping, vista del modello 3d

7 MVRDV, Wozocos Apartment, Amsterdam

## Aided Technology - CAD come fase progettuale

Il termine Computer Aided Technology indica quell'insieme di tecnologie di tipo software impiegabili per lo sviluppo e lo studio di nuovi modelli e superfici.

Tipicamente esso si compone delle tecnologie CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) e CAM (Computer Aided Manufacturing). A queste si associa sempre più frequentemente la tecnologia RP (Rapid Prototyping).

La novità consiste nel fatto che la progettazione CAD non è più soltanto uno strumento di visualizzazione, poiché la fase di progettazione è assimilabile ad un percorso in cui lo scopo del progettista è quello di formalizzare e controllare un modello, sia virtuale che fisico. Così come all'interno della fase progettuale CAD anche all'interno dell'intero processo di progettazione sono di fondamentale importanza le relazioni sotto forma di reciproche trasmissioni di informazioni. In questo contesto si inseriscono le nuove tecniche che ci permettono di stabilire un collegamento ed un confronto diretto tra modelli digitali ed oggetti reali sempre nell'ottica di una ottimizzazione della produzione e ricerca di nuove opportunità. I passaggi tra le varie fasi e cioè da un ambiente virtuale ad uno fisico è di tipo *biunivoco* nel senso che è possibile avere ripro-


duzioni fisiche di modelli digitali e modelli digitali da modelli fisici.

La Computer Aided Technology parte dalla creazione di un modello tridimensionale virtuale dell'oggetto realizzato mediante l'impiego di un sistema CAD. Il modello CAD è l'informazione basilare necessaria per le analisi numeriche successive e per la realizzazione di prototipi fisici.

La tecnologia CAE fornisce la possibilità di verificare la risposta fisica di un oggetto direttamente dal modello virtuale CAD, senza la necessità di realizzare campioni reali. Attualmente la tecnologia CAE offre la possibilità di simulare addirittura i processi di fabbricazione, quali la fusione, la solidificazione durante la colata, il rifluimento plastico durante lo stampaggio, il blow moulding e l'estrusione.

Dal CAD, tramite softwares di tipo CAM, è possibile ottenere rapidamente tutte le informazioni richieste dalle macchine utensili per la produzione del prodotto. Infine, la tecnologia RP consente la realizzazione in tempi brevissimi di prototipi fisici direttamente dai dati del modello virtuale CAD; ciò permette non solo di verificare le caratteristiche morfologiche ed estetiche e di assemblaggio del manufatto, ma anche di realizzare rapidamente gli stampi per la produzione dello stesso.

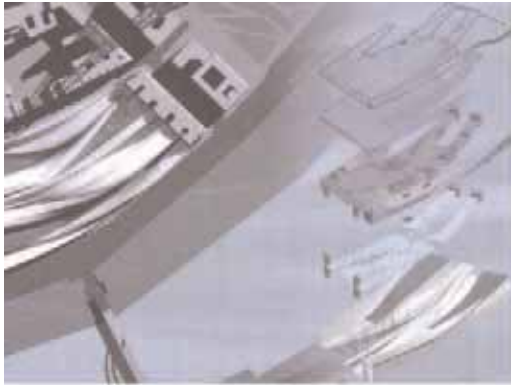
Il CAM, Computer Aided Manufacturing, è il collegamento tra progettazione e fabbricazione.



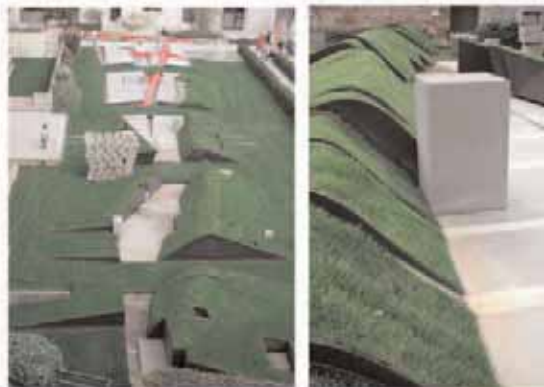
Un software di tipo CAM importa da un software di tipo CAD le informazioni geometriche relative al pezzo da realizzare. A partire dal grezzo, il CAM consente di descrivere la sequenza ottimale che deve essere eseguita da macchine utensili come fresatrici, tornitrici, ecc.. Tale sequenza di operazioni può allora essere tradotta nelle istruzioni necessarie alla macchina utensile per realizzare il manufatto in modo automatico.

La più recente tendenza di sistemi integrati CAD/CAM è rivolta al riconoscimento intelligente delle caratteristiche di forma per la generazione automatica di piani di produzione.

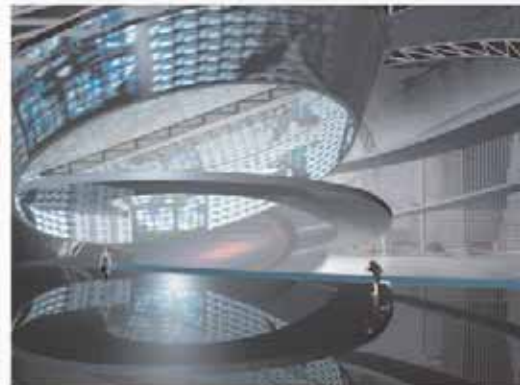
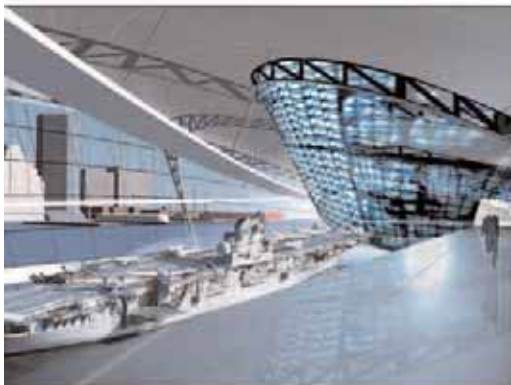
10 11



12 13



14 15



16 17 18



10-11 PETER EISENMAN, Musée du QUAI BRAN-LY, Paris, Progetto del Concorso

11 PETER EISENMAN, MemorialExhibition, Vista

interna

12-13 PETER EISENMAN, Il Giardino dei passi perduti, Castelvecchio

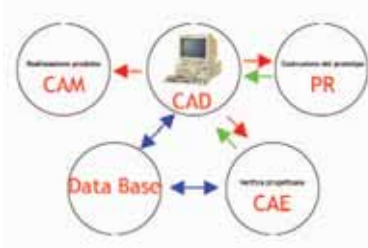
14-15 ASYMPOTE,

Technology Culture Museum, NY, Immagini degli interni

16-17 MARCOS NOVAK, Paracube, Vista del Modello Tridimensionale



## Strumenti per la progettazione virtuale



CAD, Computer Aided Design, software utilizzato per la definizione geometrica del modello virtuale di un oggetto.

CAE, Computer Aided Engineering, software che consente la verifica della risposta ingegneristica dell'oggetto sulla base dei soli dati geometrici del modello virtuale CAD, come pure la simulazione dei processi industriali per la realizzazione dell'oggetto stesso.

RP, Rapid Prototyping, tecnologia che consente di realizzare un modello fisico dell'oggetto (prototipo) direttamente dai dati geometrici CAD.

CAM, Computer Aided Manufacturing, software che traduce i dati geometrici CAD in informazioni per il controllo della fabbricazione dell'oggetto.

### *Dal modello virtuale alla forma generata*

La procedura per cui la forma generata per mezzo di software di modellazione digitale diventa oggetto fisico avviene con la trasformazione ed esportazione dei

dati di superficie del modello tridimensionale. Viene inizialmente tradotto in una superficie costituita, anche nel caso di topologie particolarmente complesse, da una griglia di poligoni triangolari o superficie Mesh (Reticolo). Questo sistema è una sorta di approssimazione della geometria dell'oggetto soprattutto in corrispondenza di superfici curve. In questo caso l'errore, fattore endemico soprattutto nel momento in cui si trasforma una curva determinata da punti di tangenza in una spezzata, può essere ridotto attraverso il sistema della tassellazione, cioè aumentando quanto necessario la densità degli elementi piani (le facce della Mesh) in corrispondenza di superfici curve. La Mesh così generata viene esportata (salvataggio del File o di parte di esso in altri formati diversi da quello originario del software di modellazione) in diversi formati, fra cui i più utilizzati sono il DXF (Drawing Exchange Format) ed il formato STL (StereoLithography per la prototipazione rapida) di tipo ASCII (coordinate X, Y, Z in formato testo) o binario. In seguito sarà compito del software di gestione della macchina di acquisire il modello ed utilizzarlo per l'organizzazione della produzione del pezzo.

### *Rapid Prototyping*

Il Rapid Prototyping, RP, è un'integrazione di tecnologie di tipo analitico e manifatturiero, che consen-



te la trasformazione di un modello virtuale CAD 3D in un prototipo solido. Tale prototipo viene realizzato in tempi estremamente brevi (nell'ordine di ore) per stratificazioni successive, con diversi materiali e metodologie.

#### *Il Reverse Modelling o meglio il progetto attraverso il rilievo*

Il reverse modelling rappresenta un modello di processo di elaborazione per la determinazione di una superficie partendo dall'acquisizione digitale della superficie topologica di un modello fisico per passare successivamente ad un modello digitale in una piattaforma CAD, per poi poterne studiare e modificare la superficie stessa.

L'acquisizione del modello fisico si ottiene secondo due procedure consequenziali: la digitalizzazione e la matematizzazione.

La digitalizzazione avviene attraverso la registrazione delle coordinate di una serie di punti appartenenti alla superficie da rilevare.

Fondamentalmente le procedure di acquisizione si possono individuare, a loro volta, in due tecniche: quelle a contatto e quelle non a contatto. La metodologia che utilizza il contatto è effettuata attraverso dei pantografi digitali, costituiti da un braccio snodabile, e mediante la punta, una volta individuati i punti da rilevare, si passa su di essi; in questo modo vengono trasmesse le coordinate cartesiane dei punti scelti al computer.

Quella non a contatto, detta ottico-topometrica, è effettuata per mezzo di particolari sensori che rilevano i riflessi di luce generati da un raggio laser che rimbalza sulla superficie. Le tecniche di rilevamento si possono individuare in due metodologie: la triangolazione, che determina la distanza di un oggetto; il tempo di volo, in cui viene calcolato il tempo di ritorno del raggio emesso.

I dati acquisiti dal software di gestione sono una nuvola di punti e cioè la rappresentazione tridimensionale dell'oggetto rilevato. Solitamente vengono effettuate più scansioni, stabilite precedentemente attraverso un progetto di rilievo e, per la loro matematizzazione, attraverso vari software ( RapidForm, PolyWorks, Catia, Imageware, Geometric Studio, Softimage, Raindrop ), le nuvole acquisite vengono prima registrate, cioè unite tra loro, e poi trasformate attraverso una serie di processi di editing in cui è possibile misurare, diminuire percentualmente la quantità dei punti (anche soltanto in aree da noi scelte), correggere irregolarità, ecc, fino a trasformarle in un modello mesh o NURBS. Dal modello digitale ottenuto è poi facilmente possibile passare ad una piattaforma CAD, e quindi al controllo dimensionale e alla realizzazione di disegni bidimensionali, attraverso l'esportazione del rilievo per punti ASCII - XYZ - DXF - IGES - VDA, per Mesh STL - DXF - OBJ -

3DS - VRML, per curve IGES, per superfici IGES - VDA - OBJ - STL. Vediamo in estrema sintesi il percorso progettuale del Reverse Modelling.

Il progettista elabora degli schizzi dai quali passa alla realizzazione di un prototipo in scala 1:1 di un materiale di facile lavorazione (cartapesta, cartone, legno, plastica, gesso etc) in modo che questo possa essere modificato e manipolato fino al raggiungimento della forma desiderata. La fase successiva è costituita dal rilevamento del prototipo attraverso dei digitalizzatori laser o meccanici, che acquisiscono la superficie esterna.

Si ottiene così la nuvola di punti secondo una griglia quadrata e con il passo determinabile dall'operatore, in funzione della complessità della superficie da acquisire.

Al termine, la nuvola di punti viene registrata, trasformata in modello Mesh o NURBS e importata in piattaforme CAD per essere studiata, modificata e rielaborata.

Talvolta questi modelli digitali vengono interfacciati con un sistema CAM, quindi inviati a una macchina a controllo numerico con frese a tre o cinque assi con l'intento di realizzare un modello fisico da poter confrontare con il modello fisico di partenza e poterne così studiare tangibilmente le differenze, al fine di ottimizzare il modello

del progetto finale.

## TRE ESEMPI

### Miran Gallery

*dECOi Architects*

La Miran Galerie è parte di un atelier parigino rinnovato che verrà utilizzato come sala di esposizione della moda.

E' stato realizzato con un compensato laminato tagliato da una macchina a controllo numerico. In questo modo si è creato un campo omogeneo di materialità ( muri, pavimenti, soffitto) ottenendo una superficie continua. Sospeso nello spazio vi è un grande oggetto curvilineo che serve a esporre gli abiti e che è ricavato dall'incisione del compensato laminato .

Miran Galerie è quindi uno showroom che consta di uno spazio espositivo centrale, con un sistema espositivo sospeso e scaffalature, circondato da un deposito dove si trovano molteplici esempi degli stessi articoli di moda esposti.

Il duplice aspetto espositivo e di deposito, è risolto attraverso una " distinzione spaziale " che però, al tempo stesso, permette una " connessione visiva ". Così la superficie avvolgente del soffitto e del pavimento dà un senso di apertura al gallery space mentre le altre parti danno un senso di rigidità strutturale.

Questo fa sì che il cliente osserva uno spazio che allo stesso tempo funge da sfondo rilassante per la presentazione degli abiti ma che è

fortemente caratterizzante lo showroom. Lo stesso sistema espositivo è costituito da quattordici " slices " indipendenti che possono sia scivolare, aprendosi, per rivelare gli abiti, oppure chiudersi, creando una forma monolitica che flette reciprocamente con l'insieme del gallery space.

Il primo abbozzo del design fu fatto utilizzando Rhinoceros cercando di dare un senso di morphing all'interno di un sistema statico.

L'idea era quella di aprire il piccolo spazio con una tenda in una curvilinea espansione senza orizzonti.

Il desiderio di evitare l' " affettamento " ortogonale implicò l'uso di tecniche più sofisticate di modelling che, attraverso l'articolazione di piani perpendicolari ad una spline, offrono un immediato dinamismo spaziale seguendo l'andamento di espansione e contrazione della sezione.

La strategia di realizzazione fu pensata in relazione alle necessità tecniche e ai costi di produzione. Fu così escogitata una tecnica che permettesse una facile modulazione della densità e dell'angolazione degli elementi piani. Il tutto si condusse ad un' interfaccia di controllo dove due spline (una relativa all'angolazione del taglio, l'altra alla densità) poterono essere agilmente manipolate per riconfigurare anche interamente la forma.

Le connessioni tra le nervature furono allineate alle isocurve dell'oggetto, come se anch'esse trac-

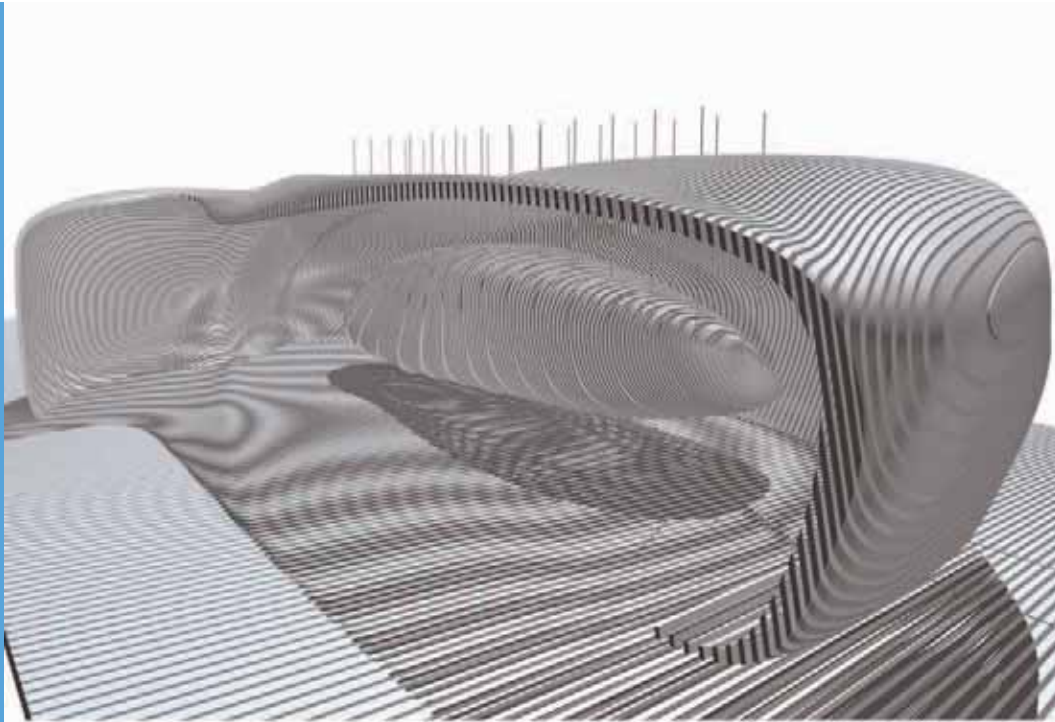
ciassero delle linee nello spazio 3d.

La ricerca ebbe come obiettivo la sperimentazione di un algoritmo generativo, adattabile alle caratteristiche specifiche del disegno. La soluzione fu uno script ispirato agli attuali programmi di realizzazione di forme geometriche complesse. Lo script fu creato con una duplice modalità di esecuzione; in primo luogo per produrre profili con una sola superficie di contorno, adatti a processi di fabbricazione come il taglio laser. Nella seconda modalità si poterono creare nervature curve derivanti dall'affettamento del modello.

Uno script a parte fu creato per la modellazione delle curve di connessione tra le nervature, che rendesse ancora più assimilabile alla forma originaria l'oggetto finito.

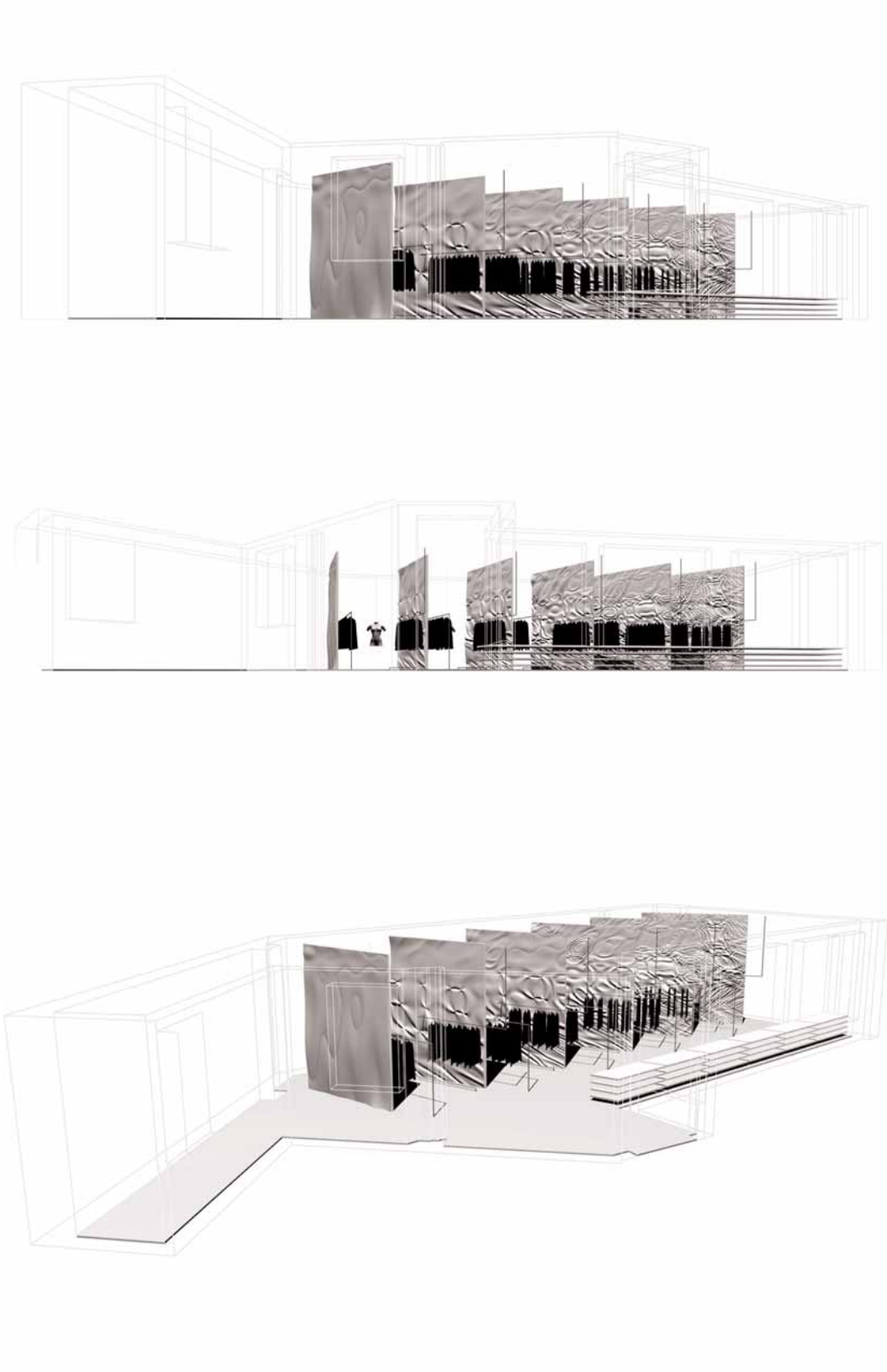


1 Miran Gallery, Vista del modello e schemi strutturali



2 Miran Gallery, Vista del modello e disegni per la definizione strutturale delle superfici





3 Miran Gallery, Modello  
delle strutture interne

## BMW bubble

Franken >< architekten

L'obiettivo del Progetto "EXPO2000" per il Gruppo BMW, per il quale Franken ha ideato e realizzato la sua Bubble, fu una serie di istruzioni su un concetto di comunicazione chiamato Energia Pulita. Energia Pulita è l'iniziativa portata avanti dal Gruppo BMW che si propone di utilizzare l'idrogeno come carburante per le automobili del futuro (cfr sito <http://architettura.supereva.com/extended/19990401/>).

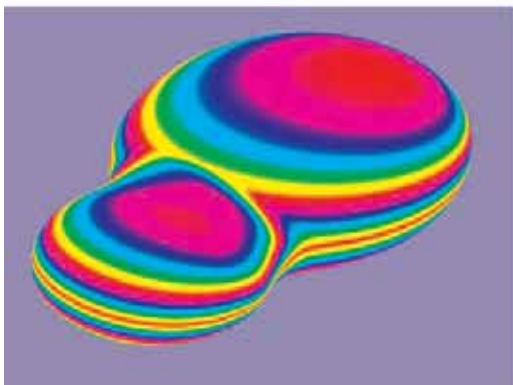
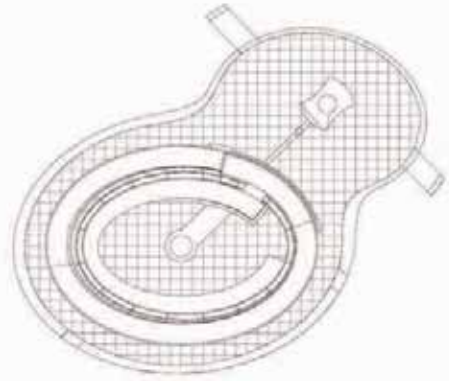
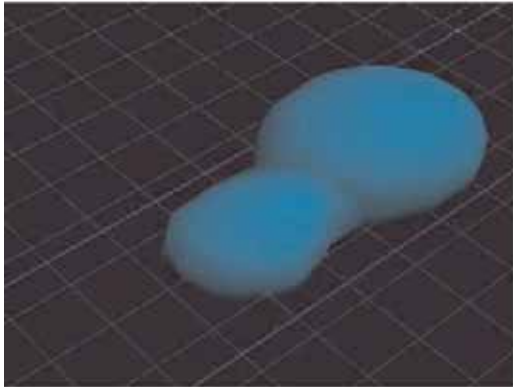
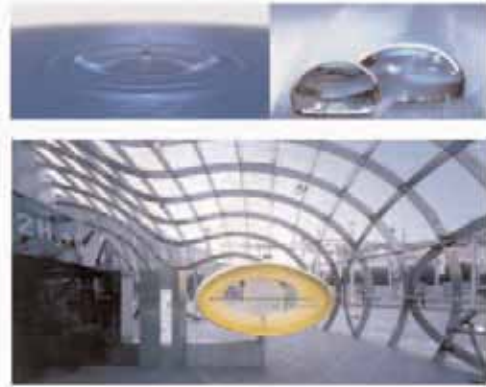
La goccia d'acqua, simbolo che riassume in sé il senso profondo del concetto di Energia Pulita, fu l'idea alla base del progetto.

La Bubble, con la sua forma dinamica, fu generata con l'ausilio di un programma che simula le gocce d'acqua e, attraverso la definizione del campo di forze da esse generato, ne derivò un disegno geometrico di base che successivamente fu verificato strutturalmente per mezzo di un ulteriore software. Da questi dati si ricavò anche che la struttura portante sarebbe dovuta essere in profilati di alluminio e pannelli di plexi-glass.

Per conferire ad un edificio la sensazione della goccia d'acqua, la sua forma dovè esprimere il delicato equilibrio tra la pressione interna e la tensione superficiale di una

goccia d'acqua.

La struttura del padiglione fu realizzata con sistemi CNC (ovvero con macchine a controllo numerico). Il materiale progettato ed adottato fu prodotto in funzione di una risposta strutturale non standardizzata, vista l'irregolarità della forma e della distribuzione degli sforzi.



1 BMW Bubble, Disegni bidimensionali, modelli virtuali, modello fisico e foto della realizzazione

## Emp

Frank Owen Gehry

"Frank voleva ottenere che l'edificio fosse come la musica, per il modo in cui si ondulava."

Commenta Craig Webb, il design architect del gruppo di Gehry.

L'edificio si compone di una serie di volumi separati, caratterizzati dall'essere figure dalla forma totalmente libera, ovvero che ogni punto della superficie presenta curvature non simmetriche ed in diverse direzioni. Questo aspetto necessitò nuove tecnologie per la progettazione e la realizzazione.

Molte strutture curve del passato usavano dei piani che in ogni punto venivano curvati seguendo una sola direzione, oppure con delle curve simmetriche (come nel Boeing Imax Theatre nel Pacific Science Center di Seattle).

Il primo passo per la definizione della geometria scultorea dell'EMP fu la creazione di un modello fisico in piccola scala. Successivamente il convertitore analogico-digitale (FARO) digitalizzò la superficie del modello generando coordinate spaziali finalizzate all'uso del software 3d CATIA. Dopo aver catturato le coordinate in CATIA fu verificata visivamente sugli schermi e fisicamente attraverso la realizzazione di modelli.

Questo confermò che la geometria creata attraverso CATIA si accosta-

va all'intento di Gehry, così il supporto informatico divenne lo strumento fondamentale per tutti i controlli geometrici sul progetto. In fase di razionalizzazione infatti, attraverso l'uso dell'analisi gaussiana, si riuscì a valutare il grado di curvatura composita dei componenti dell'edificio, in particolare modo dei pannelli di rivestimento, usando una gamma di funzioni matematiche. Il grado di curvatura, insieme alle particolari proprietà comportamentali del materiale, può essere rappresentato in un modello digitale, consentendo di identificare le aree di problema. Se il modello digitale cromaticamente codificato mostrava che il materiale non poteva essere piegato in quel modo o che la curvatura era entro i limiti del materiale ma estremamente sagomata -e quindi troppo costosa-, si potevano realizzare le dovute modifiche o prendere una decisione su come intervenire.

Attraverso l'uso di un modello digitale approfondito, che includeva rappresentazioni digitali di tutti gli elementi più importanti, si giunse a coordinare i vari sistemi costruttivi, tra cui fondamentale il sistema impiantistico che altrimenti sarebbe stato di difficile gestione.

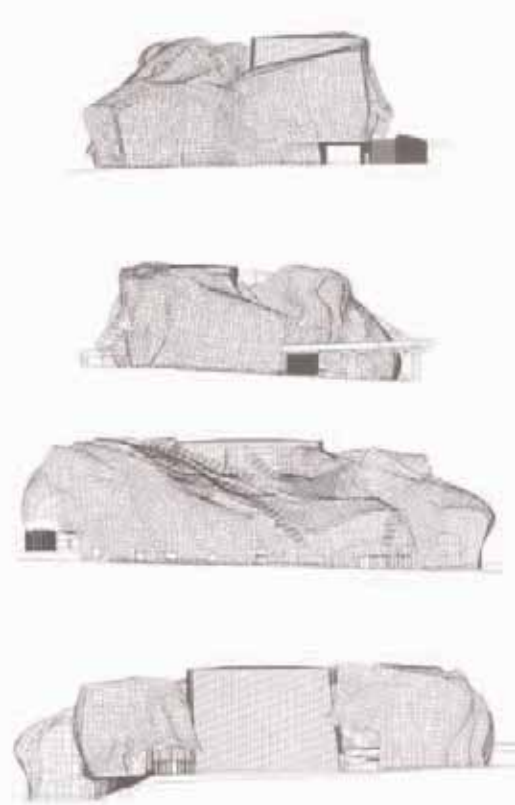
Questo procedimento, seppure in questo caso fu molto più avanzato, era stato utilizzato da Gehry in pro-

getti precedenti all'EMP. Il vero passo avanti , fu il livello di integrazione tra lo studio della geometria al computer e la fabbricazione effettiva dei componenti usati per costruire l'edificio, mediante l'ausilio della procedura CAM.

In fase di realizzazione sono state usate frese CNC per tagliare i bordi degli elementi strutturali di acciaio curvi, molti dei quali lunghi anche fino a 1200 metri. I bordi sono stati quindi piegati con l'ausilio di apparecchiature digitali e di un carrello automatico, che effettuava le saldature.

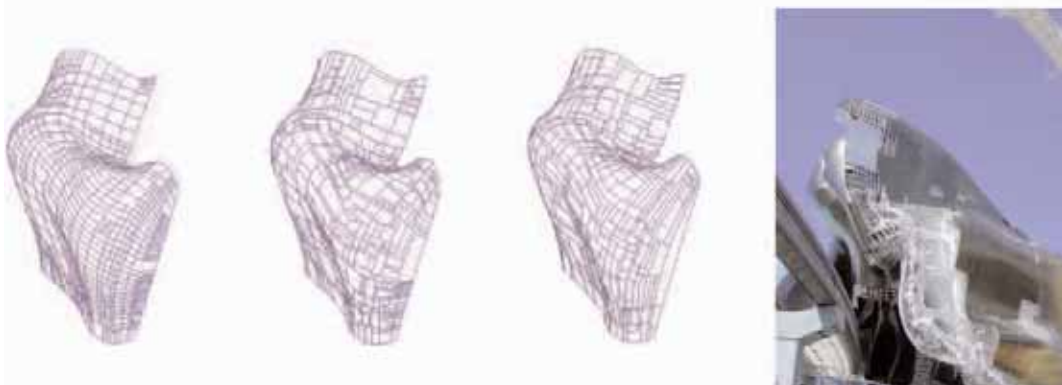
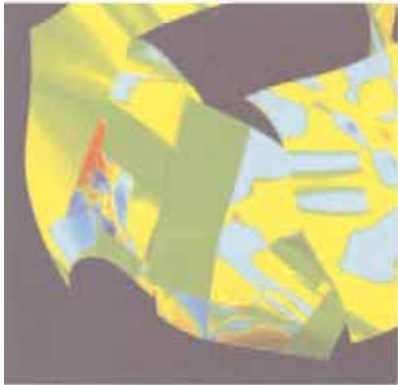
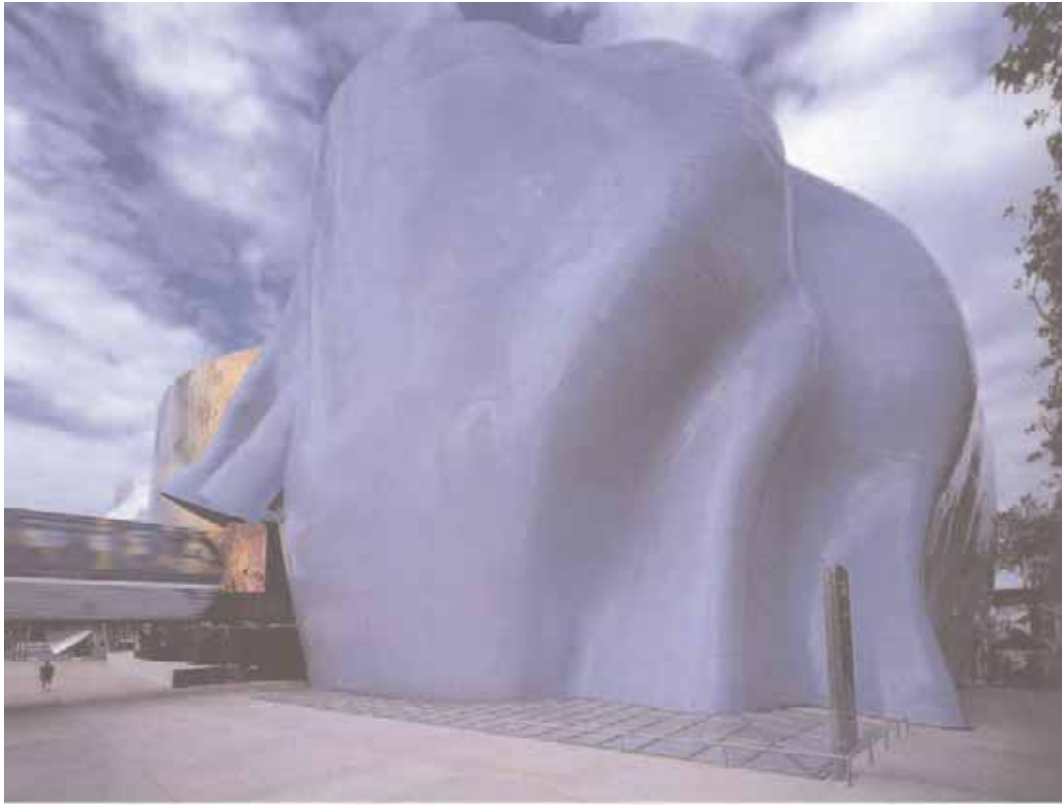
Oltre alla costruzione degli elementi strutturali nel progetto, CATIA è stato usato per produrre modelli sviluppati di ciascuno dei ventunomila elementi del rivestimento in acciaio inossidabile e alluminio, che sono stati assemblati in 4800 pannelli prefabbricati.





1 EMP Disegni bidimensionali, foto del plastico, vista interna della realizzazione





2 EMP Dettaglio della superficie esterna dell'edificio



Nuove Metodologie Progettuali

**ELABORAZIONE DEI DATI  
E ANALISI DI VARIE  
METODOLOGIE**

Le metodologie adottate per la definizione delle superfici, nelle successive elaborazioni le possiamo così distinguere:

**Metaball** - Modellazione interattiva tramite la deformazione di oggetti semplici e deformatori parametrici

**Modello per sezioni** - Dalla rappresentazione bidimensionale alla costruzione del modello tridimensionale complesso

**Modello tramite animazione** - Modellazione di oggetti complessi a partire da oggetti non deformati, tramite i processi di animazione con la tecnica del Keyframing

**Modellazione tramite strumenti di deformazione statica** - Modellazione di oggetti complessi tramite processi di deformazione di oggetti semplici

**Morphing** - Modellazione di oggetti complessi tramite processo di deformazione dinamica di oggetti tridimensionali

Per la realizzazione delle simulazioni sono stati utilizzati i seguenti software:

**Rhinoceros v. 3.0**  
**3d Studio Max v. 7.0**

## I software

### *Rhinoceros*

Rhinoceros è un software di modellazione Nurbs per il sistema operativo Windows.

Il software offre una serie di molteplici comandi dedicati alla modellazione:

Comandi di base, quali curve o superfici semplici che si possono articolare sul piano e nello spazio; comandi relativi alla creazione indiretta di oggetti complessi con operazioni di loft e rails; comandi booleani per la creazione di solidi da interazione di oggetti tridimensionali.

Il software offre inoltre una serie di tools dedicate all'affinamento dei modelli con esso realizzati, garantendo una corretta e controllata definizione di flessi bidimensionali e tridimensionali; raccordi tra curve, superfici e superfici complesse; controllo di qualità intrinseche delle forme realizzate con plug in dedicate alla nautica etc.

La duttilità e la precisione del software in questione, permette di creare facilmente oggetti di notevole complessità in 3d; di utilizzare curve generatrici definite in fase di progetto; di controllare il modello nella sua interezza.

Il software permette di passare facilmente dallo schizzo al modello digitale, attuando un processo di creazione/generazione del modello da generatrici assunte come dati di

progetto, verifica spaziale tridimensionale (con il supporto di visualizzazione shade, capaci di rappresentare velocemente il modello e la sua consistenza), modifica degli elementi generatori di progetto; successiva rielaborazione in forma digitale. Il tutto mantenendo un controllo totale sull'intero processo di generazione.

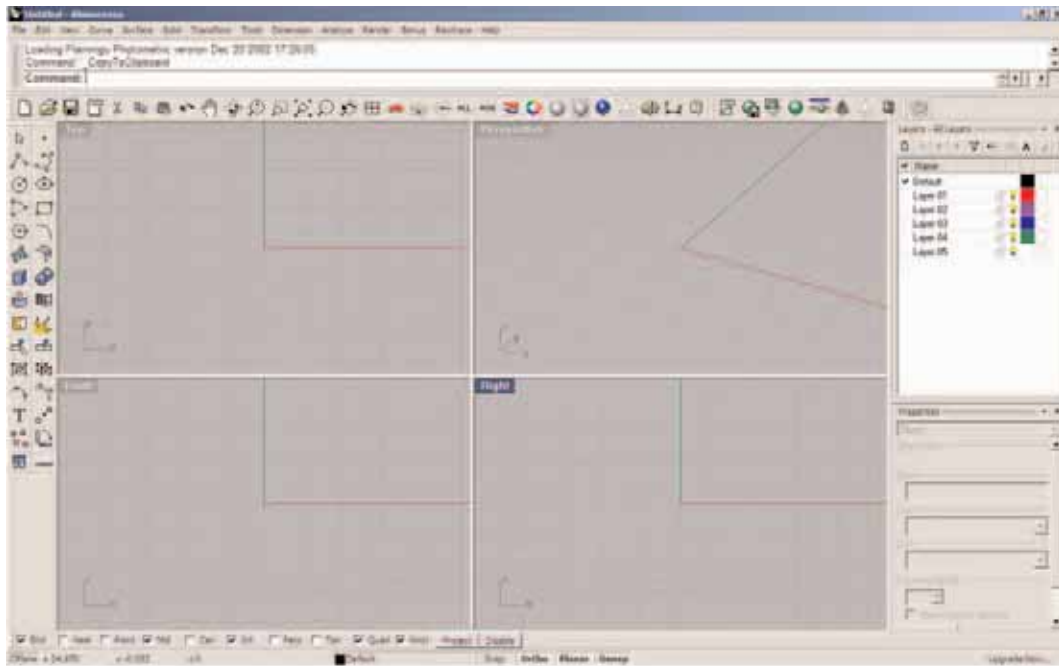
### *3d Studio Max*

Software parametrico di modellazione ed animazione tridimensionale che sfrutta l'utilizzo delle mesh e dalle ultime versioni, è stato dotato di funzioni per la creazione, la modellazione e la modifica di oggetti Nurbs.

Oltre ai classici strumenti di modellazione, il software offre strumenti complessi di deformazione degli oggetti bidimensionali e tridimensionali nonché strumenti per la trasformazione dinamica e intuitiva di forme tridimensionali.

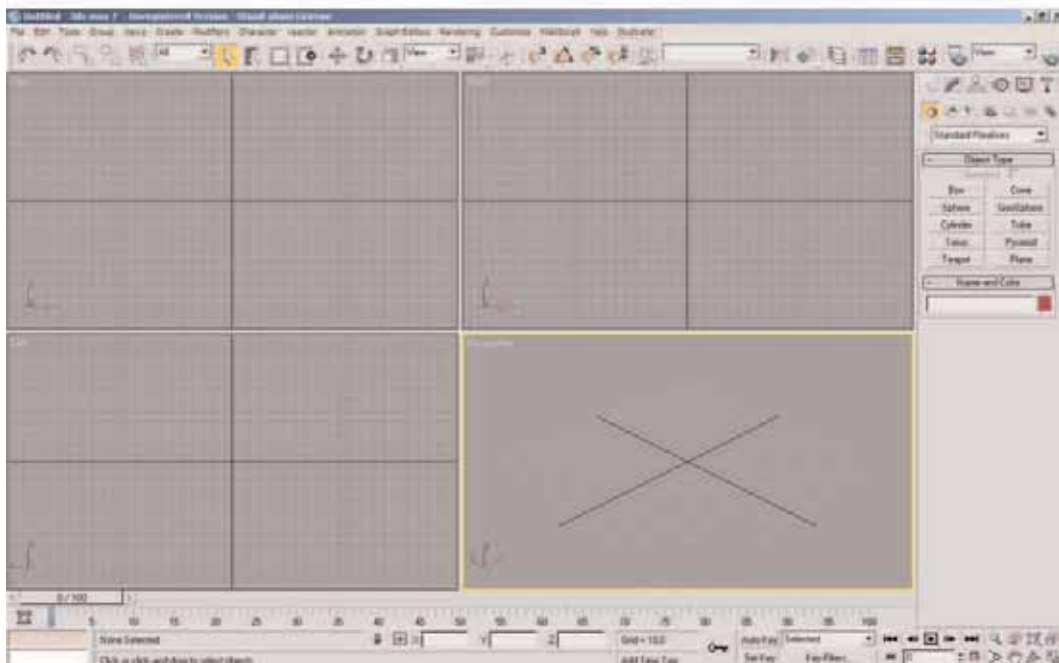
Il software è inoltre implementato con tutta una serie di plug in che sfruttano le operazioni di Cinematica Inversa per la trasformazione del modello in maniera dinamica.

A questo si unisce un potente motore di rendering, sempre più implementato con plug in dedicati alla rappresentazione del modello che va dallo shading base, alla simulazione fotorealistica che sfrutta il radiosity per il calcolo di luce.



01

02



1 Interfaccia del software Rhinoceros v3.0

2 interfaccia del software 3dStudio Max v7.0

## METABALL

*Modellazione interattiva tramite la deformazione di oggetti semplici e deformatore parametrici*

Realizzazione di modello tridimensionale di oggetto complesso a partire da oggetti semplici che verranno deformati in maniera dinamica tramite deformatore parametrici

Per la realizzazione del modello si utilizza il software 3ds Max e un software aggiuntivo (plug in) denominato Clay Studio capace di attribuire delle proprietà parametriche agli oggetti.

Le superfici generatrici sono superfici Mesh.

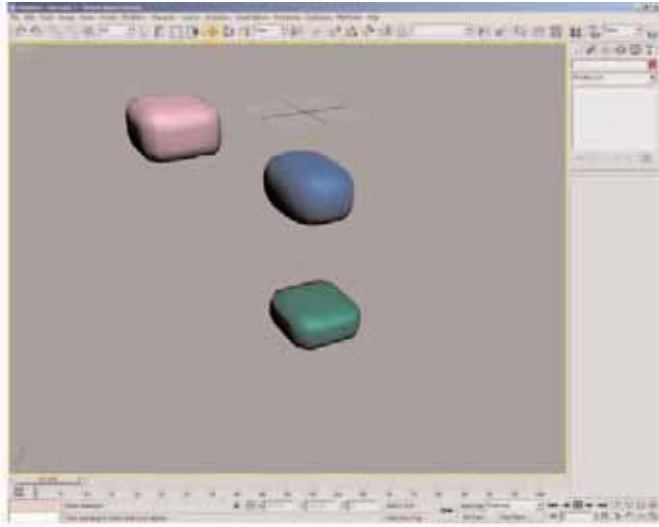
Per proprietà parametriche si intende la definizione (in uno spazio virtuale di regole di modificazione che incidono sulle caratteristiche geometriche, di posizione etc.) degli oggetti virtuali inseriti nel contesto virtuale. Nello specifico gli oggetti vengono circondati da campi di attrazione capaci di deformare gli oggetti stessi in prossimità del campo.

Il software crea oggetti continui e privi di discontinuità, ma non permette un controllo geometrico sull'oggetto prodotto. Per un migliore utilizzo del modello ai fini compositivi si è proceduto, successivamente alla sua creazione, all'im-

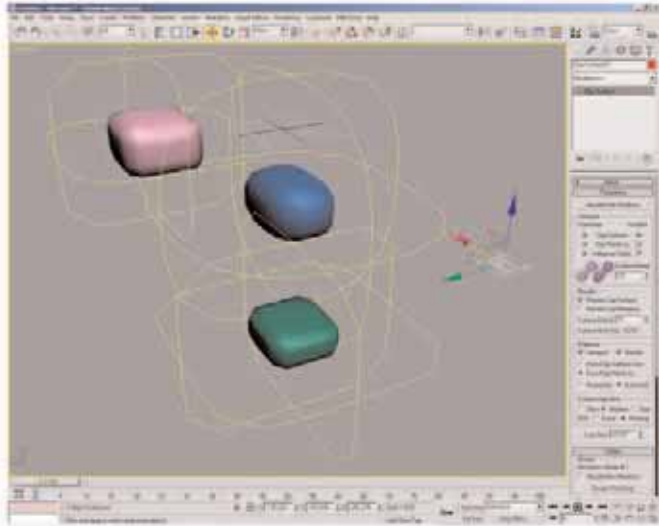
portazione dello stesso su Rhinoceros. Successivamente si è proceduto alla trasformazione dei punti costituenti le mesh in curve nurbs, geometricamente definite e controllabili.



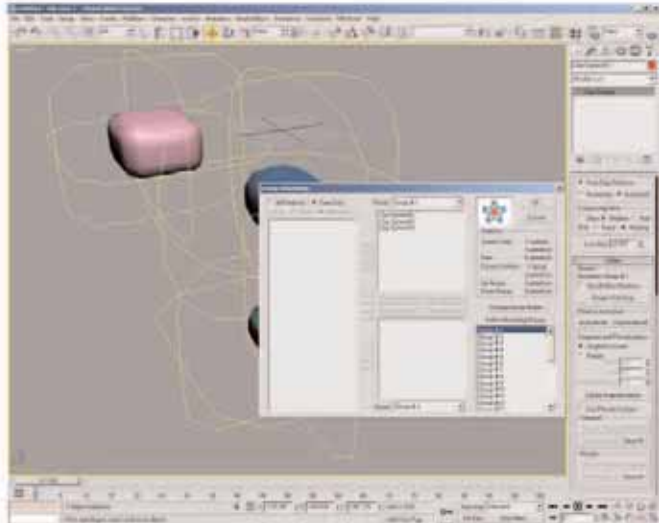
01



02



03

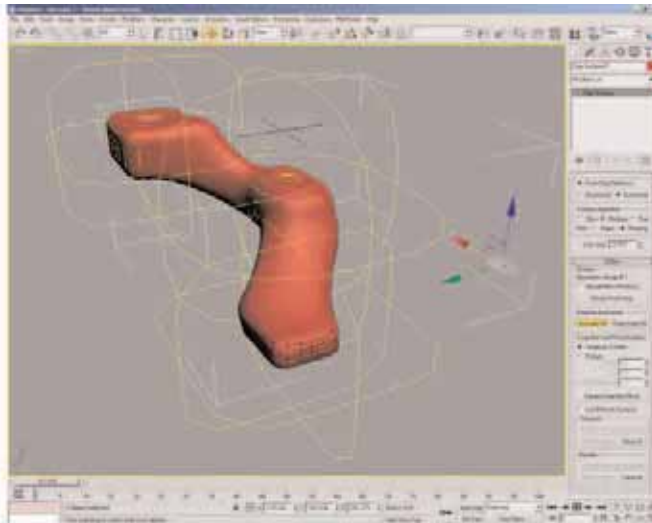


1 impostazione degli oggetti che generano la forma.

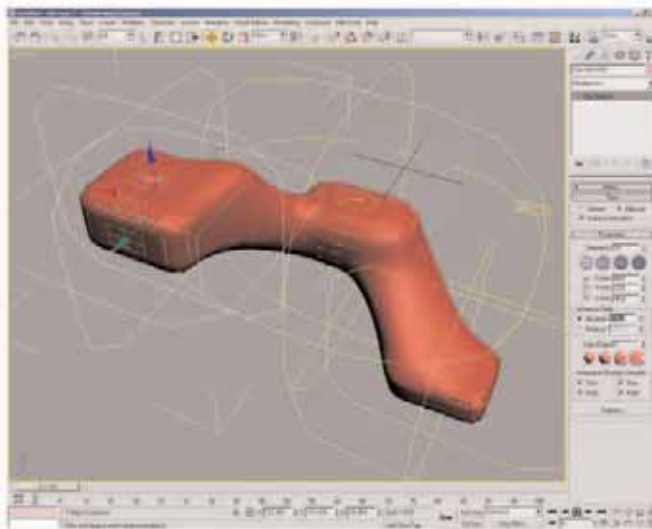
2 attribuzione di un campo di forza (linee gialle intorno agli

oggetti) relativo ad un oggetto inserito nello spazio tridimensionale. Il campo di forza in questione diviene parametro dell'oggetto.

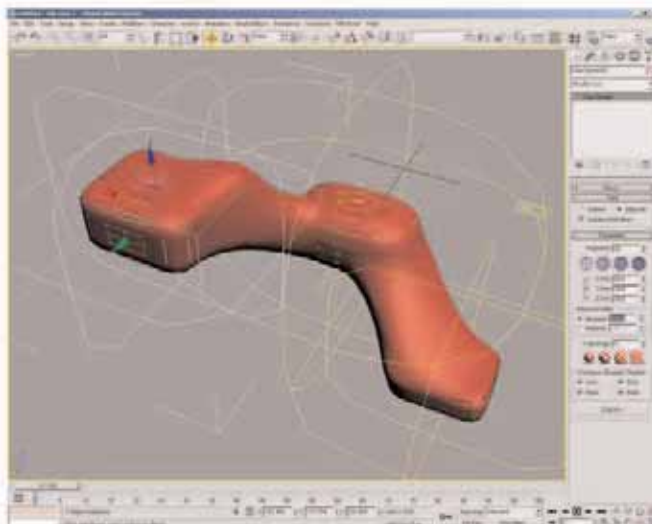
3 link degli oggetti e messa a sistema dei diversi campi di forza.



04



05



06

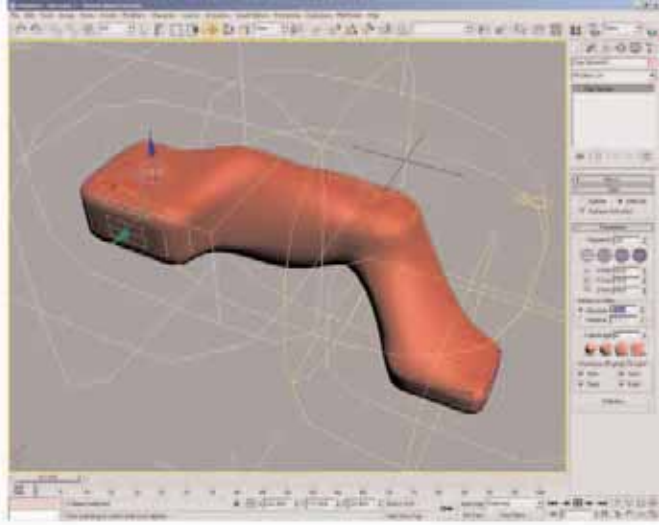
4 creazione di una membrana che unisce e ingloba gli oggetti e che è funzione dell'oggetto (della sua dimensione) e dei parametri (forze di interazione)

presenti sul campo di lavoro tridimensionale. 5 l'oggetto rosso che è parte del sistema, ha in sé i singoli oggetti generatori. 6-9 tramite il movimento

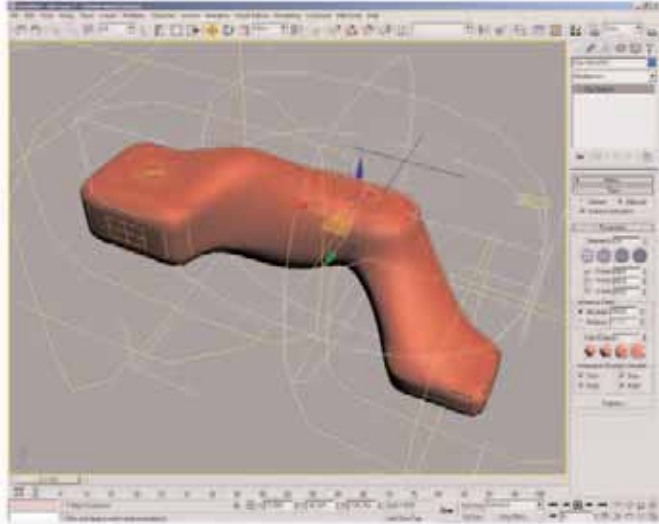
degli elementi generatori e tramite l'azione sui parametri relativi alle singole aree di influenza è possibile modificare l'oggetto in questione che appare come reag-

re alle modifiche di giacitura degli oggetti producendo in maniera dinamica una reazione sulla forma rossa finale.

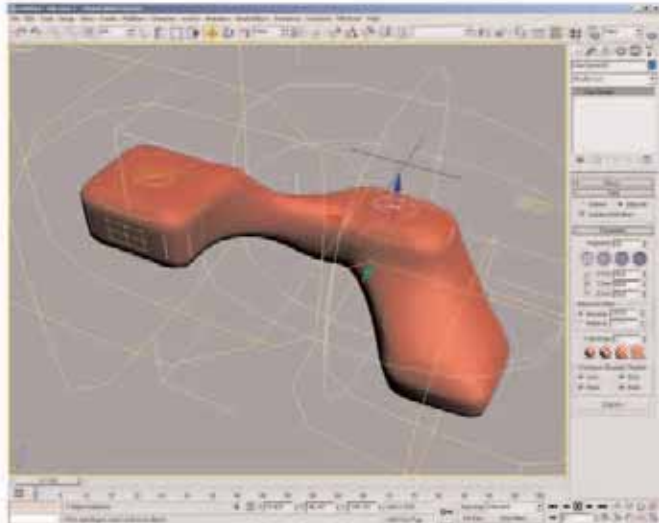
07

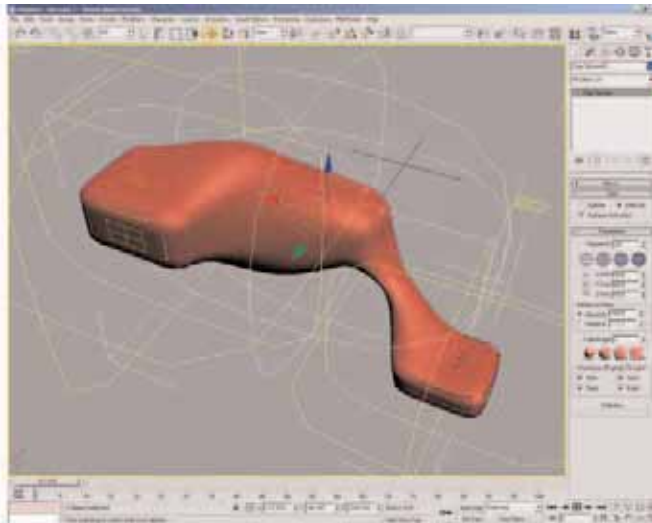


08

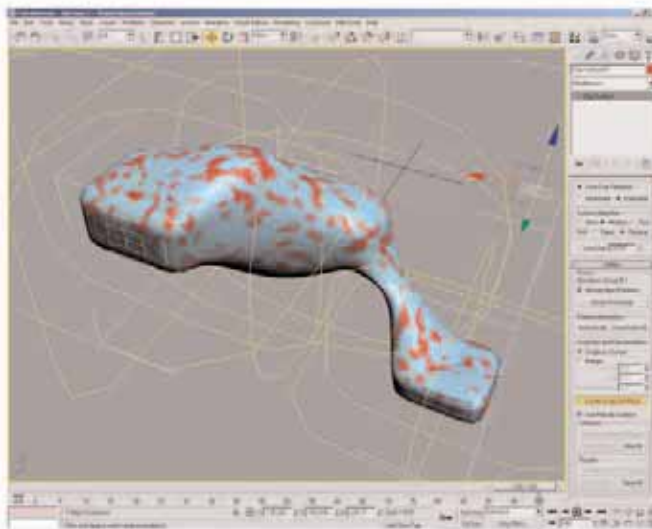


09

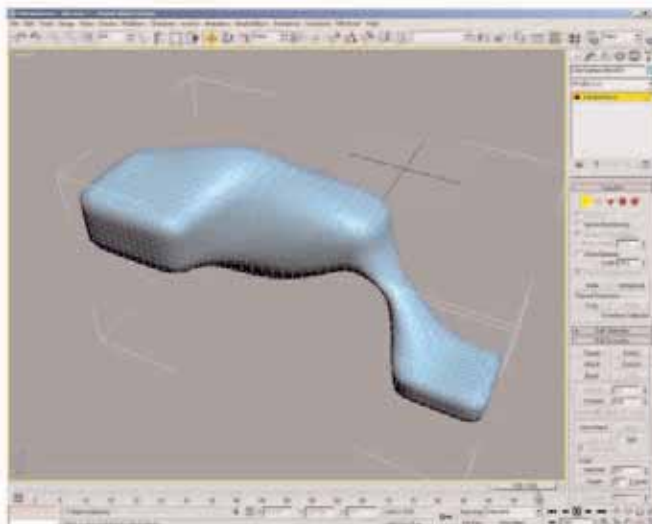




10



11



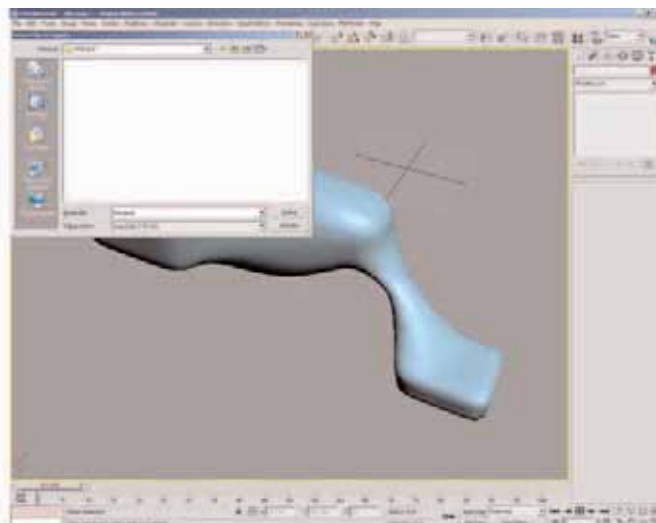
12

10 trasformazione dell'oggetto da nurbs a nuvola di punti/mesh.

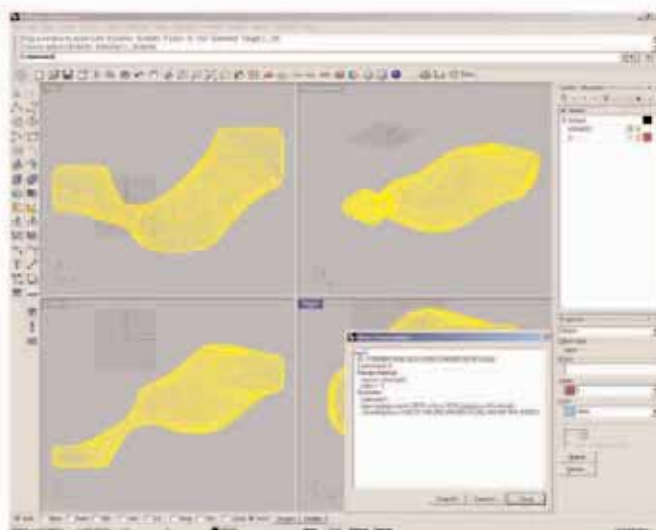
11-12 definizione dei punti che generano le mesh del modello e

importazione in questione in Rhinoceros.

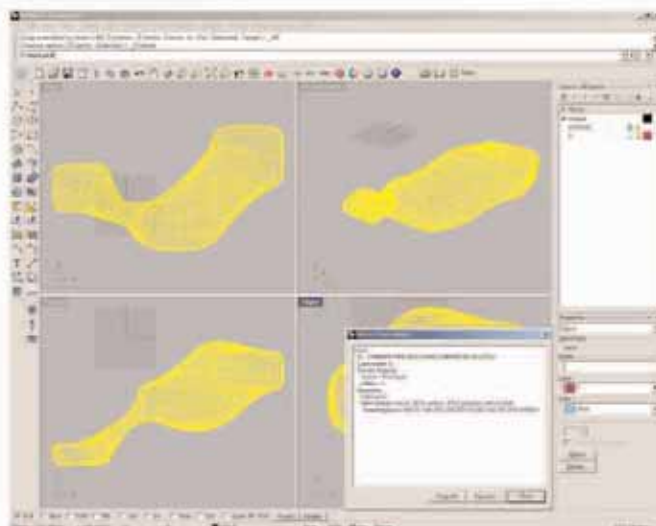
13



14

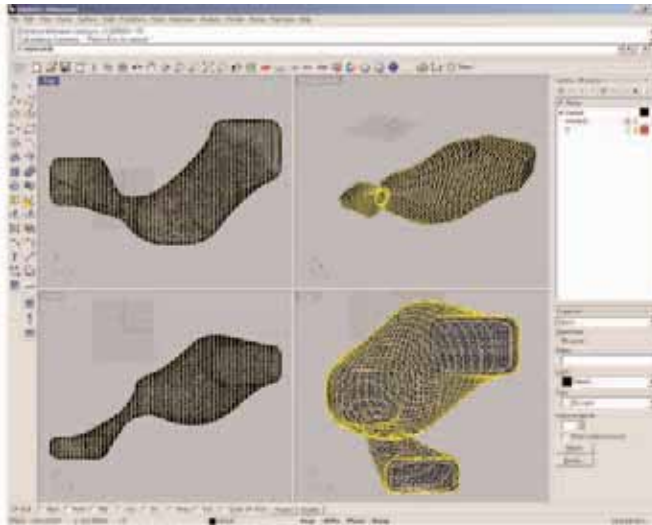


15

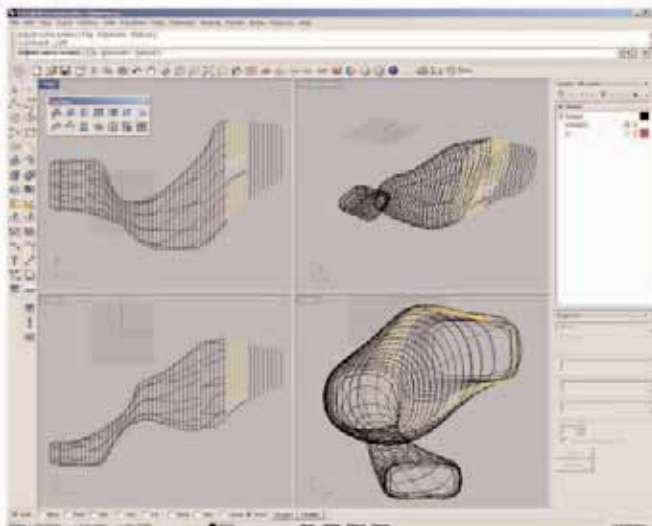


13 importazione del modello che appare come una serie di punti.

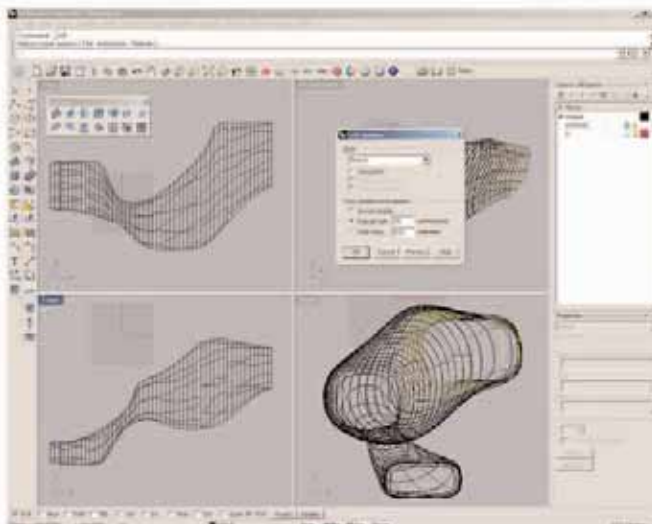
14-15 trasformazione dei punti in Superficie Nurbs.



16



17



18

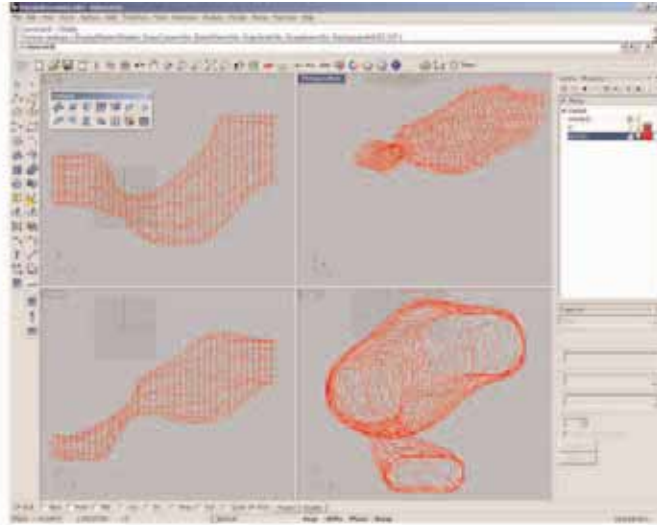
16 creazione di sezioni a distanza costante che discretizzano il modello.

17 le linee di sezione sono curve Nurbs.

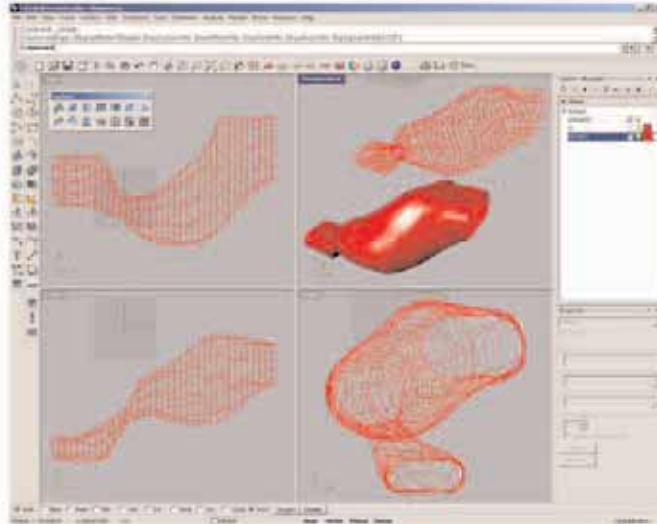
18 utilizzo della funzione loft per trasformare le curve Nurbs create in polisuperfici Nurbs che ricreano porzioni del modello.



19



20



19-20 modello ricreato con le polisuperfici Nurbs e sua visualizzazione attraverso una funzione di shade; sono evidenti i tagli sulla superficie del modello

che non risulta continuo in quanto ricreato dalla discretizzazione di punti.

## MODELLO PER SEZIONI

*Dalla rappresentazione bidimensionale alla costruzione del modello tridimensionale complesso*

Realizzazione di modello tridimensionale di oggetto complesso a partire da un disegno bidimensionale matita su carta.

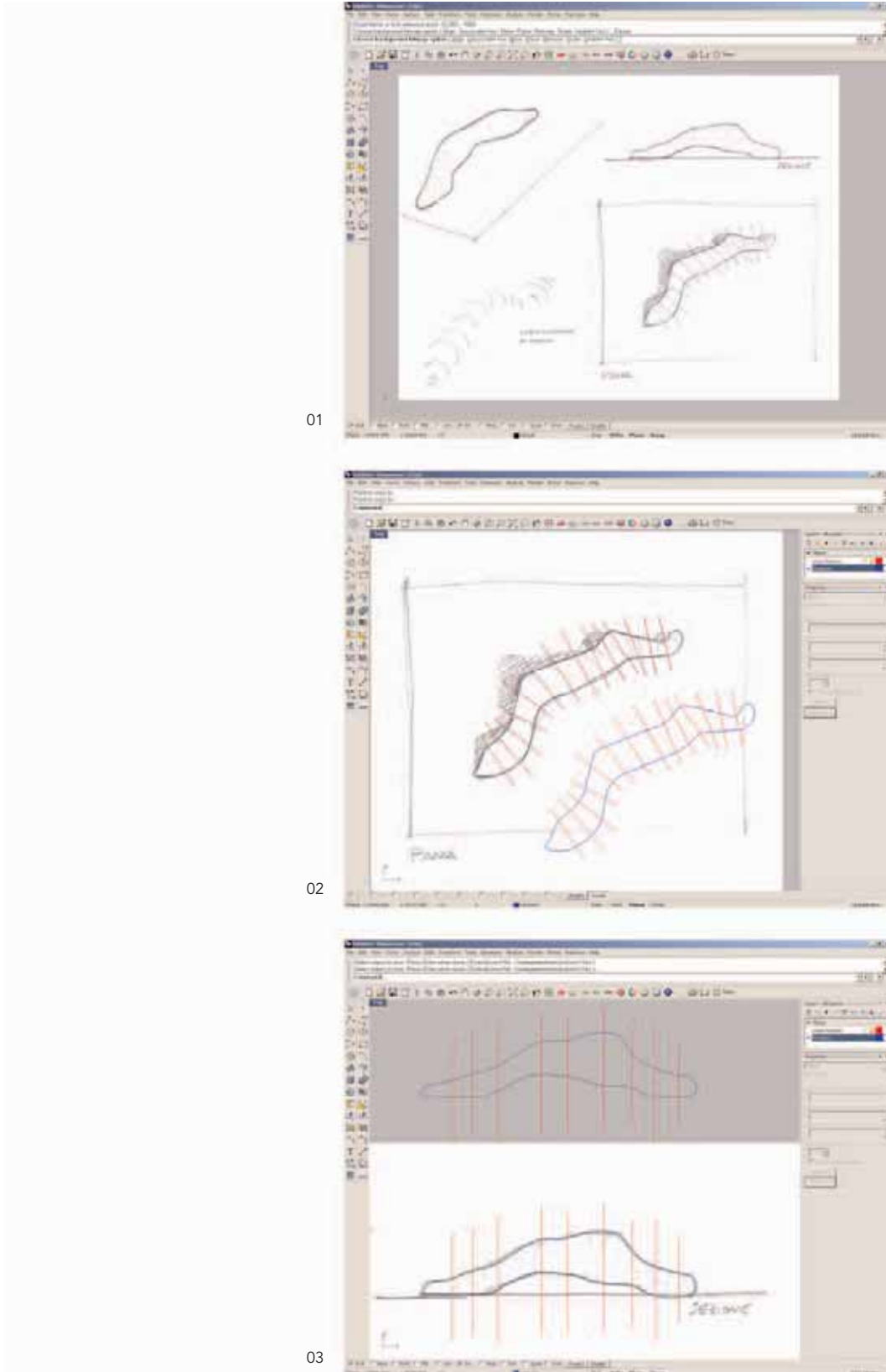
Per la realizzazione del modello si utilizza il software Rhinoceros e il modello ha come primitive di costruzione curve nurbs, quindi controllabili geometricamente in ogni loro punto.

Dopo aver acquisito tramite scanner piano il disegno cartaceo, si procede alla vettorializzazione delle linee fondamentali che definiscono il modello da realizzare; si individuano: le sezioni, le linee di contorno, le quote delle stesse rispetto al piano di riferimento su cui verrà formalizzato il modello.

Si procede al posizionamento nello spazio tridimensionale del software delle curve così definite, ed eventualmente deformate, per una corrispondenza perfetta tra il modello ed il disegno scansionato.

La polisuperficie nurbs che costituisce il modello viene realizzata tramite il comando LOFT capace di unire i punti che costituiscono le curve in una superficie complessa. Si procede poi a lavoro di deformazione del modello nurbs ottenu-

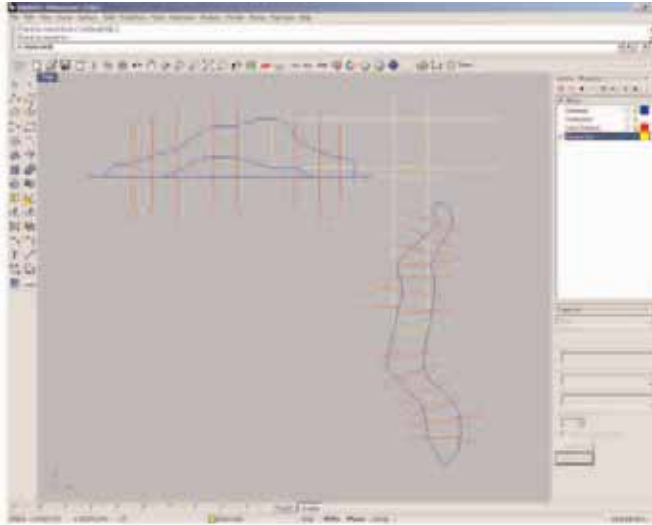
to agendo sui punti di controllo della superficie ottenuta.



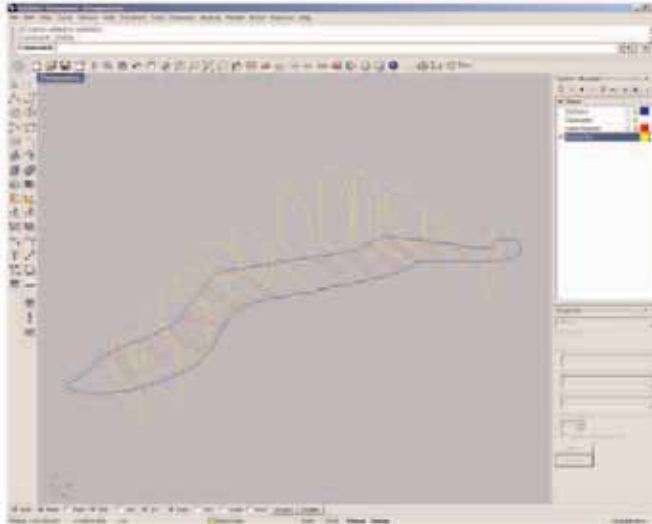
1 schizzo di progetto

2 definizione su carta delle sezioni di progetto e trasposizione nel software

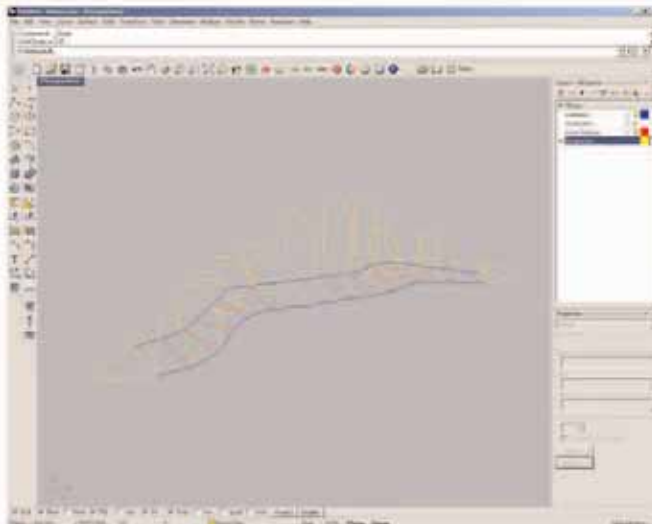
3 definizione su carta del profilo in alzato del modello e trasposizione delle curve in alzato nel software



04



05



06

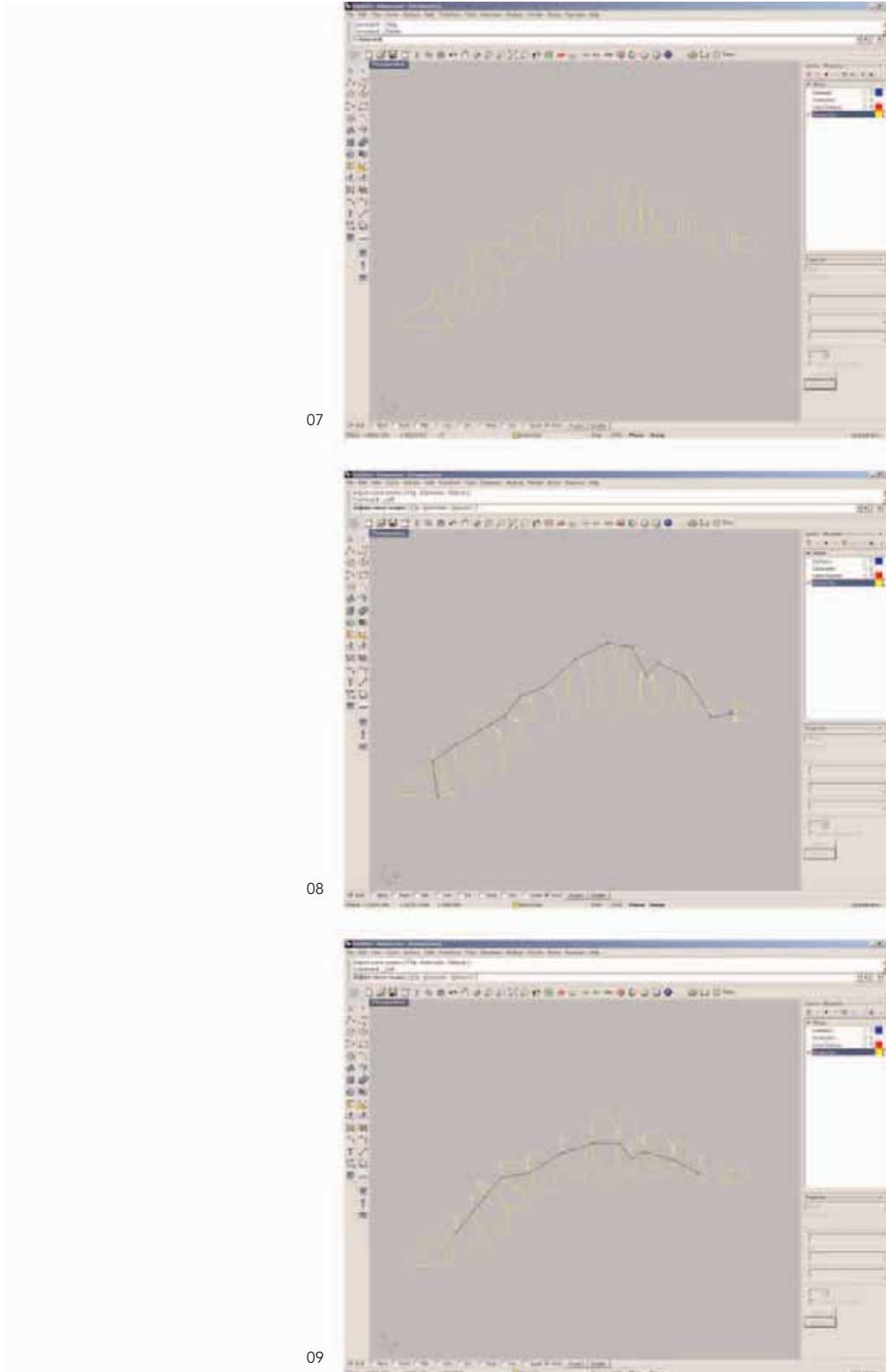
4 definizione della sezione tipo di progetto mettendo in relazione l'ingombro (di progetto) della curva in questione in pianta e prospetto

5 posizionamento nello spazio digitale delle generatrici ricavate dall'interazione di pianta alzato

6 definizione delle curve

limite che definiscono il profilo di attacco a terra del volume da realizzare. La pianta sempre presente in fase di elaborazione costituisce il tracciato guida per la

realizzazione del modello



07

08

09

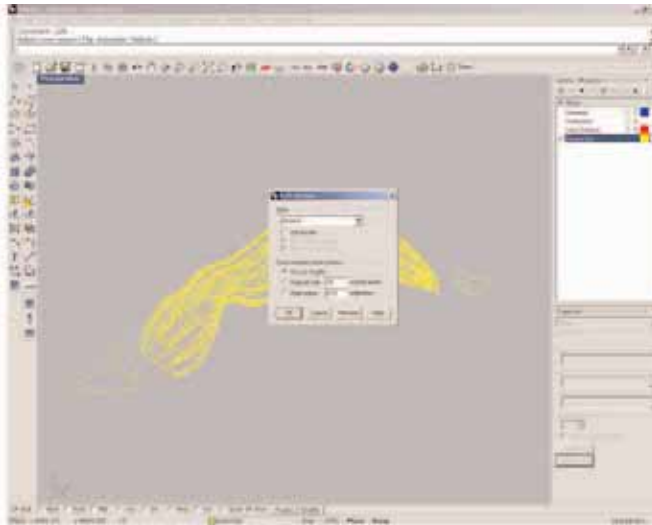
7 vista delle solo curve generatrici

8 visualizzazione delle "direzioni" delle singole curve. Per la realizzazione del modello con il

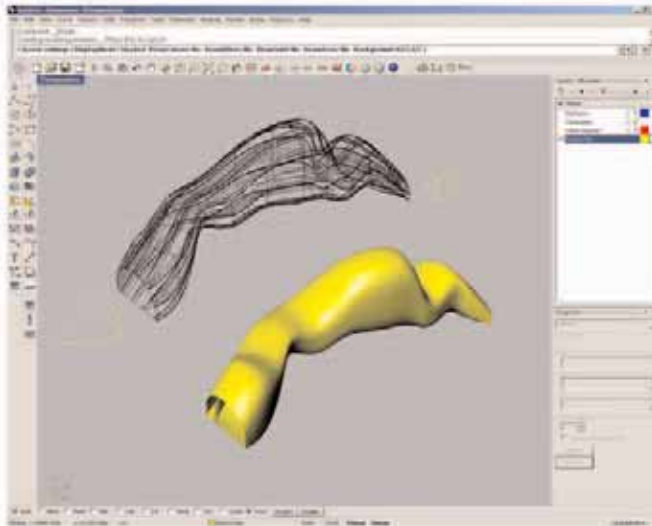
comando LOFT è necessario che le "direzioni" delle curve siano coincidenti

9 selezione e correzione delle "direzioni" delle

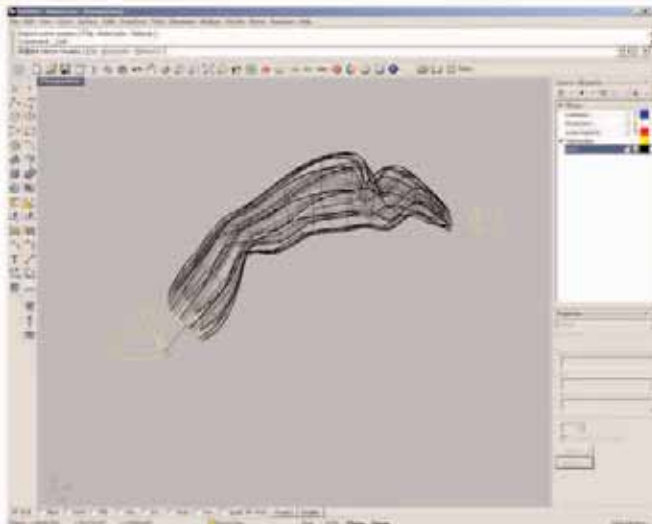
curve andando a selezionare le singole curve e modificando il verso. Selezione delle curve centrali per la prima operazione di LOFT



10



11



12

10 comando LOFT ,  
avendo selezionato il  
sottocomando freeform  
che agisce interpolando  
le normali ai punti che  
compongono le singole  
curve creando una

forma di classe 3

11 il modello NURBS e  
la sua visualizzazione in  
shade

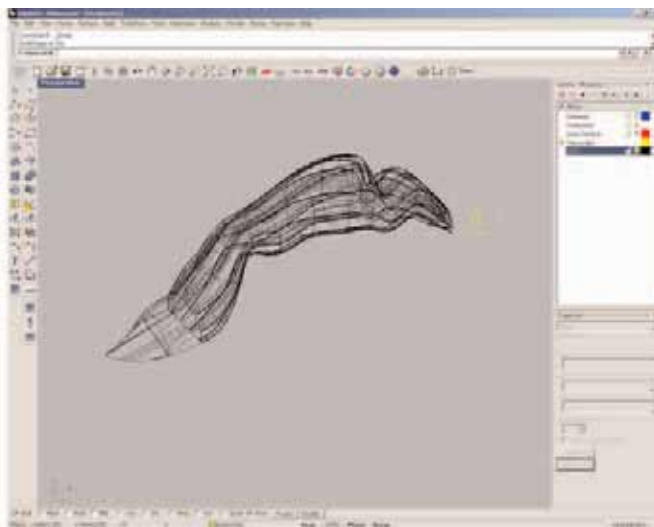
12 per semplicità di cal-

colo e maggiore controllo sul modello si è  
deciso di procedere alla  
realizzazione del modello e degli attacchi a  
terra in maniera indipendente. Creazione del

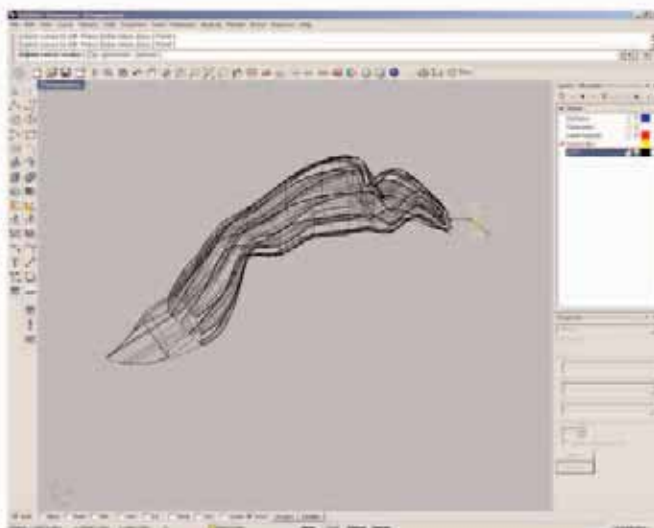
modello sempre con il  
comando LOFT



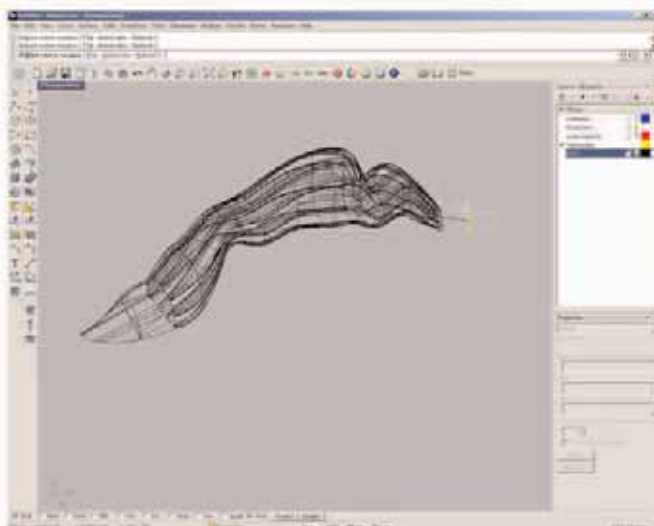
13



14



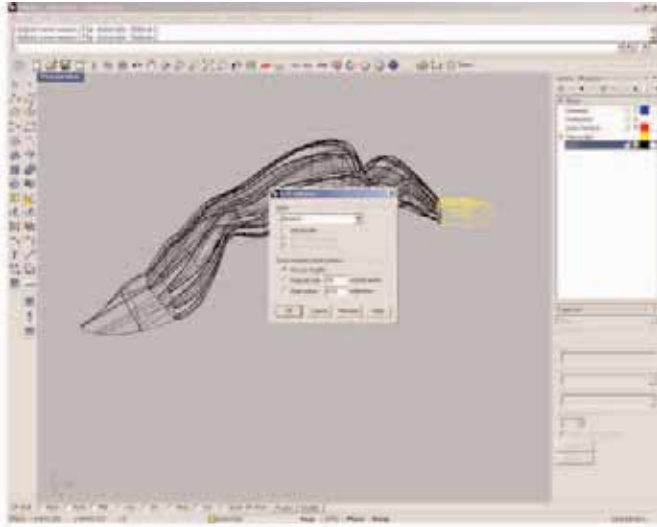
15



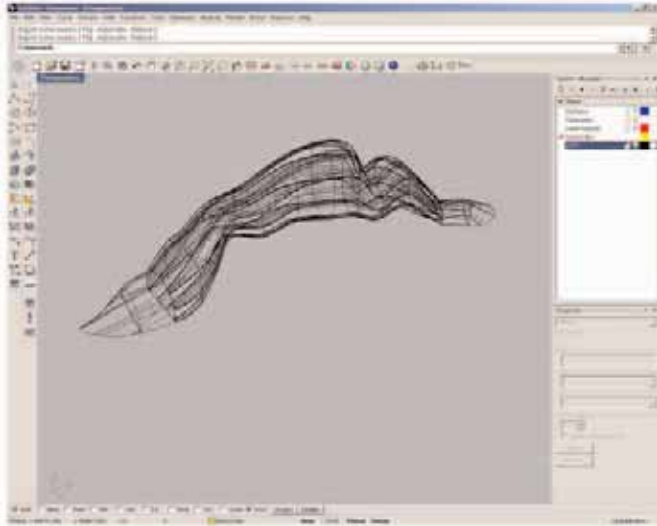
13-14 individuazioni e modifica delle *direzioni* delle curve che costituiscono "attacco a terra"

con il comando LOFT e visualizzazione in shade dell'intero modello

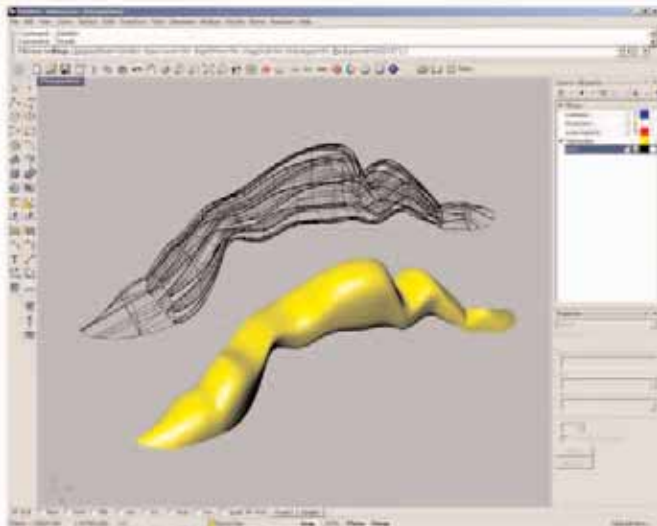
15-16-17-18 realizzazione degli attacchi a terra



16

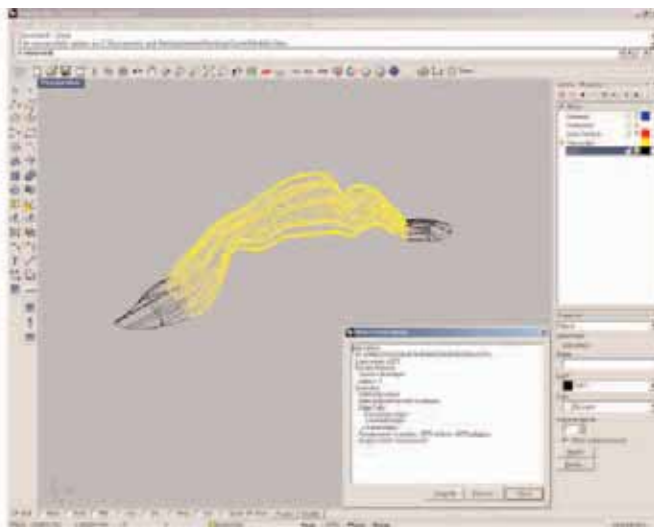


17

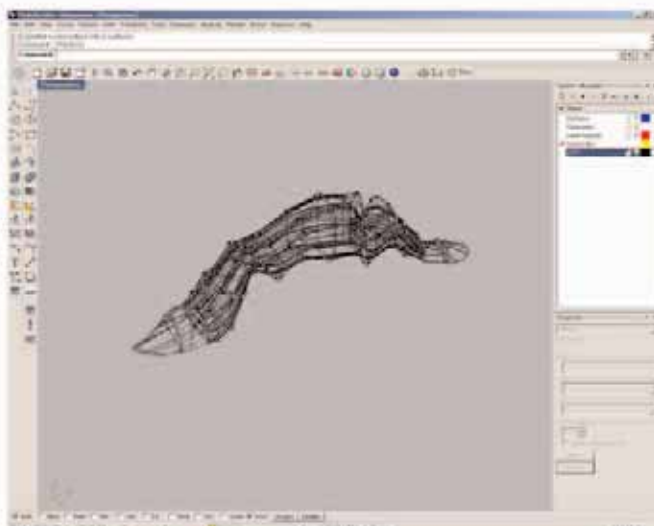


18

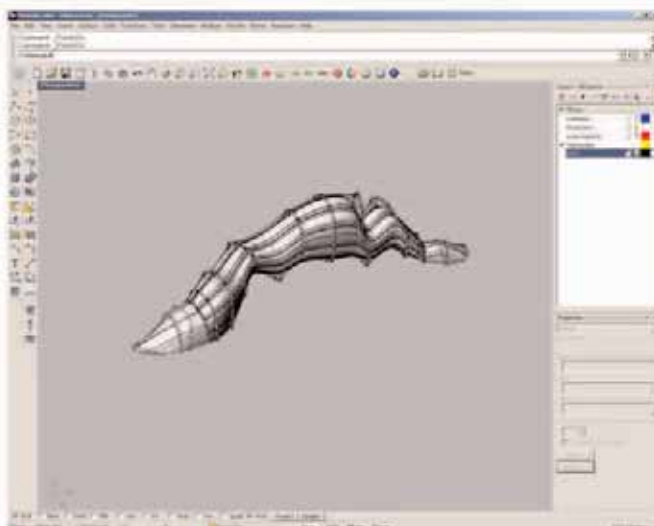
19



20



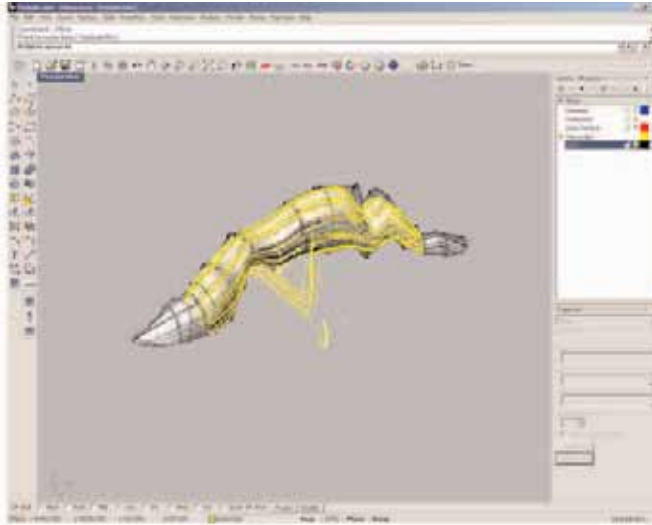
21



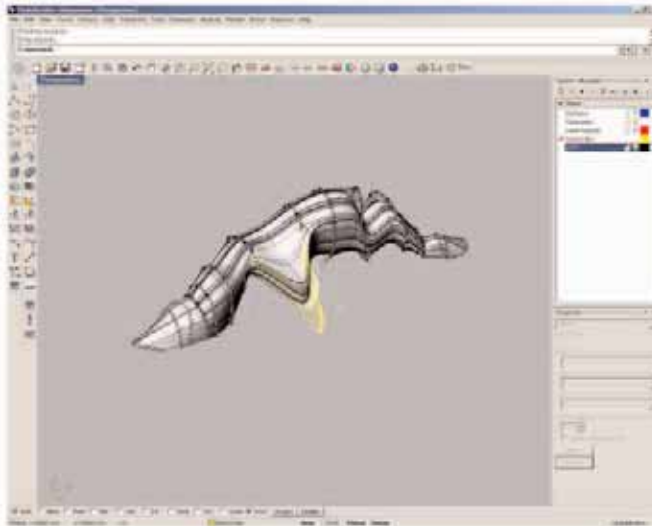
19 selezione del modello costituente il corpo centrale dello stesso

20 individuazione dei punti notevoli che costituiscono la curva NURBS

21 selezione di punti notevoli



22



23

22-23 spostamento di punti notevoli. La curva nurbs che costituisce il modello dell'oggetto in questione si deforma proporzionalmente allo spostamento dei punti

notevoli

## MODELLO TRAMITE ANIMAZIONE

*Modellazione di oggetti complessi a partire da oggetti non deformati, tramite i processi di animazione con la tecnica del Keyframing*

Realizzazione di modello tridimensionale di oggetto complesso a partire da una primitiva semplice che subirà mutazione delle sue dimensioni o della sua posizione.

Si procede, utilizzando il Keyframing (individuazione dello stato di un oggetto in punti chiave di una tabella temporale definita da un certo numero di frame) modificando l'oggetto nella sua posizione e nelle sue caratteristiche posizionali ottenendo una animazione dello stesso.

L'oggetto complesso deriva dall'analisi di una visione dell'animazione effettuati (screenshoot).

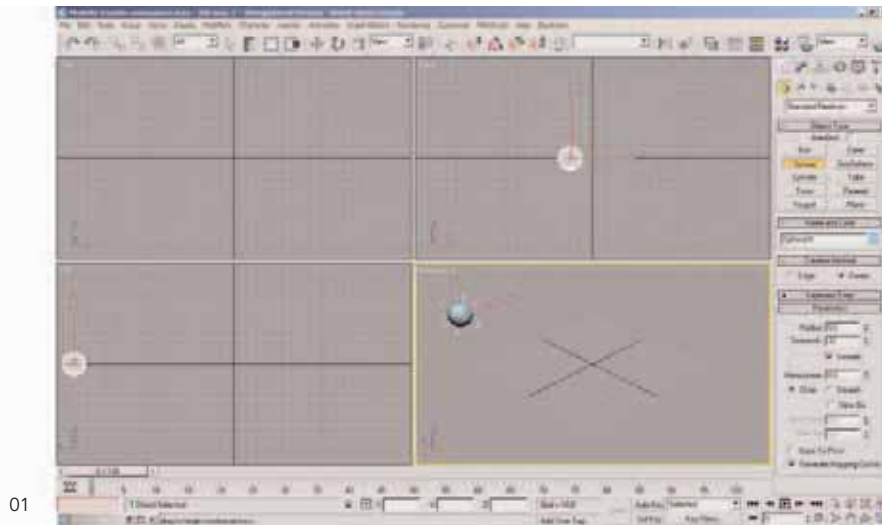
Definita una primitiva sferica, si procede attribuendo all'oggetto una erie di modificazione nei vari frame della timeline che si ritengono fondamentali.

Attraverso un processo dinamico si genererà una animazione. La visione dei vari momenti dell'animazione creerà un unico solido complesso frutto dell'animazione.

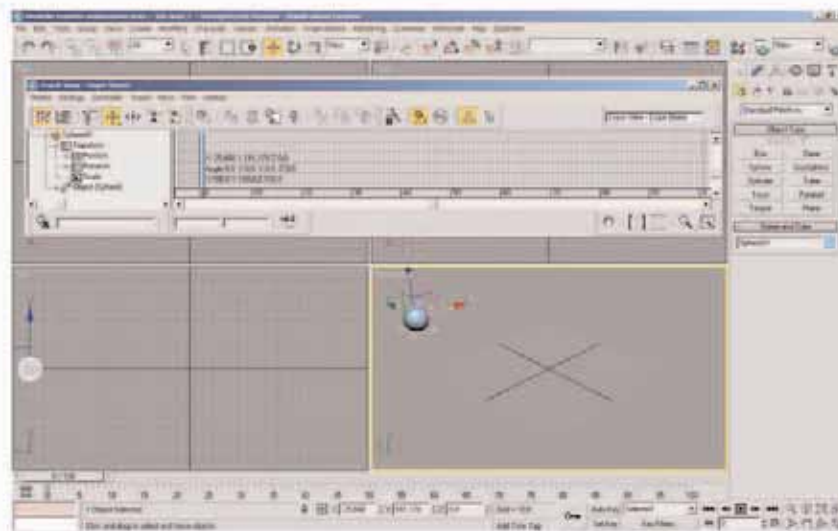
Per la realizzazione del modello si utilizza il software 3ds Max.

Le superfici generatrici sono superfici Mesh.

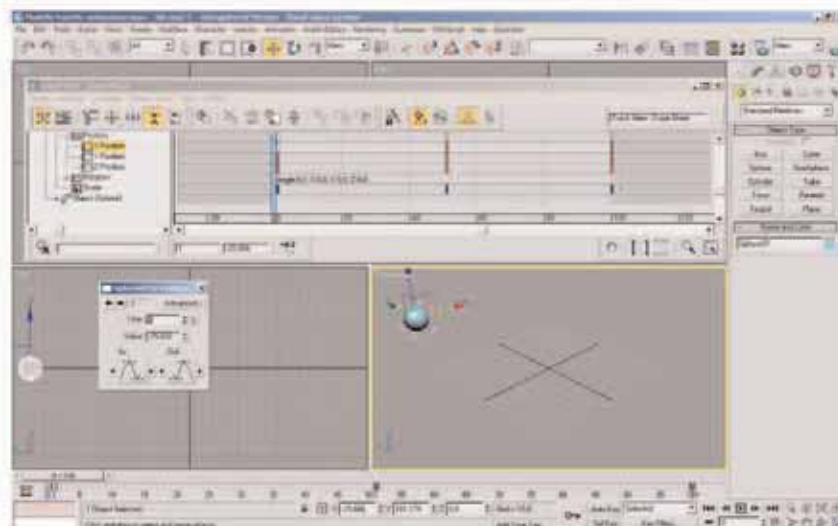
P punti costituenti le mesh in curve nurbs, geometricamente definite e controllabili.



01



01



01

1 Definisco una primitiva costituita da una sfera.

2 Attivo la tabella del Keyframing (una tabella che pone sulle ascisse il

tempo, costituito da frames, e sulle ordinate le caratteristiche *spaziali* dell'oggetto

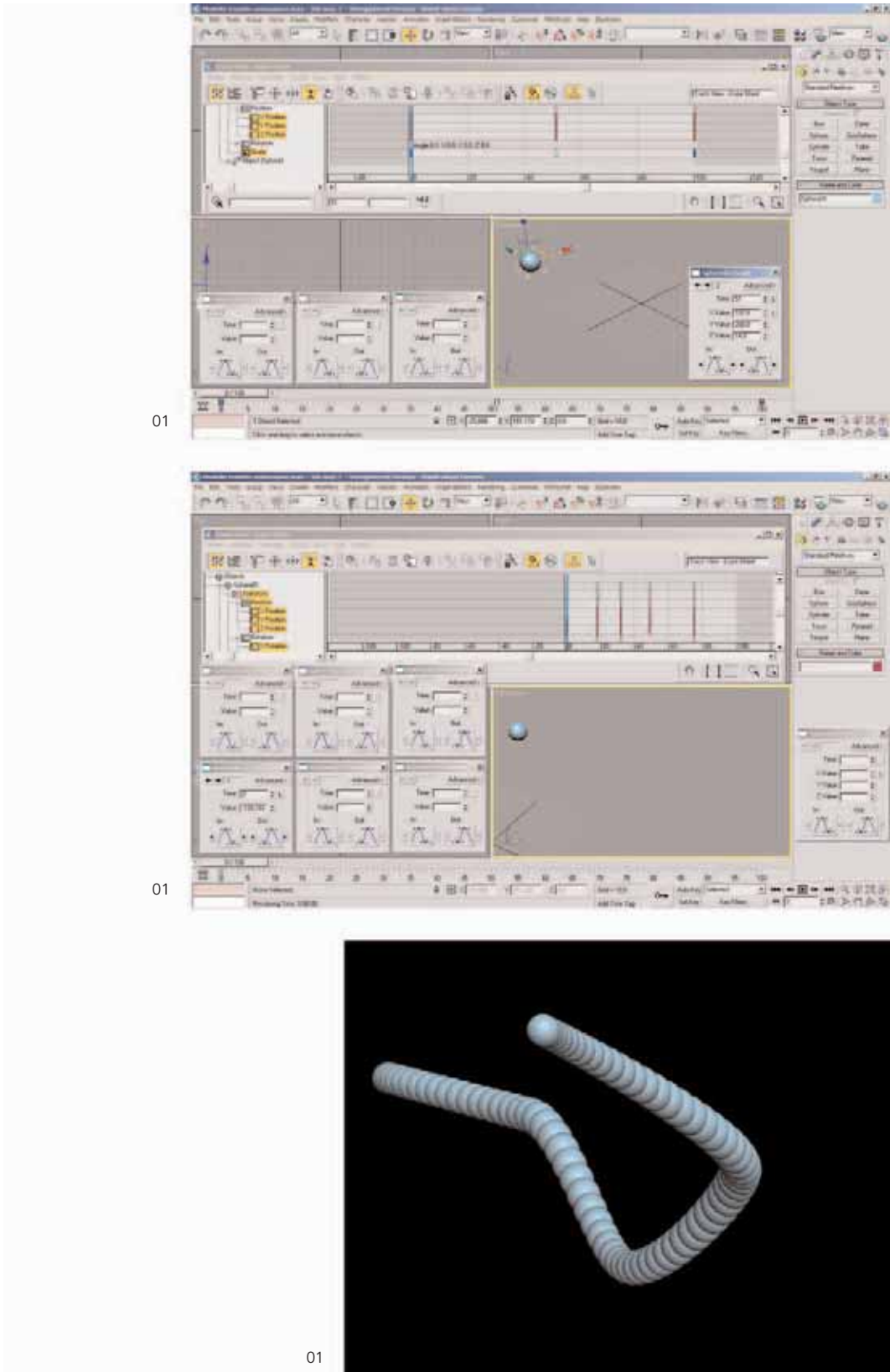
3 Stabilisco dei punti chiave (keyframe) al

frame 0, 50 e 100 che definiscono nel tempo le caratteristiche formali e posizionali dell'oggetto.

E' visibile inoltre una tabella per la deforma-

zione dell'oggetto in x, nel tempo.





4 Definisco nei frame chiave la posizione dell'oggetto. Si definiscono la posizione in x, y e z dell'oggetto e la sua rotazione

5 Definisco i punti chiave e la posizione dell'oggetto, la sua dimensione, sue eventuali rotazioni. Sono visibili le tabelle per l'inserimento del dato dimen-

sionale rispetto al tempo (una tabella per ciascuna caratteristica)  
6 Lo screenshot mostra i frame dell'animazione. Il risultato è che la sfera

compie una traiettoria in x, y e z. E' possibile altresì considerare il risultato visibile nello screenshot oggetto esso stesso.

## MODELLAZIONE TRAMITE STRUMENTI DI DEFORMAZIONE

*Modellazione di oggetti complessi tramite processi di deformazione di oggetti semplici*

Realizzazione di modello tridimensionale di oggetto complesso a partire da una primitiva semplice che subisce trasformazioni tramite strumenti di deformazione parametrici.

Definito un oggetto complesso composto da un parallelepipedo rettangolo ed una sfera, uniti tramite operazione booleana, si procede alla creazione di nuovi oggetti applicando alla primitiva vari strumenti di deformazione del software 3ds Max.

I comandi di deformazione sperimentati sono i seguenti:

*Bend*

*Noise*

*FFD 4x4x4*

*Ripple*

*Wave*

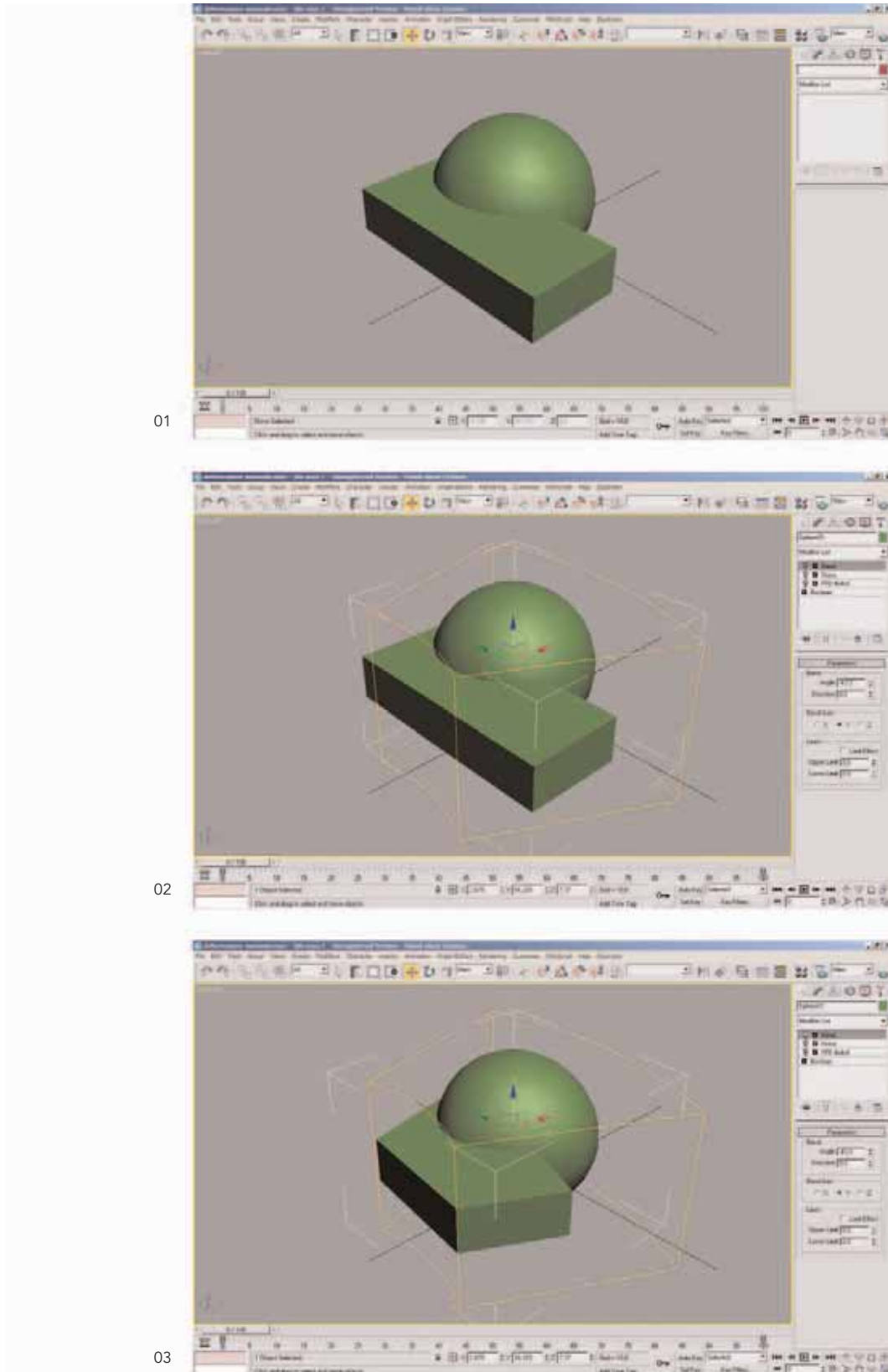
Ciascuno degli strumenti indicati genera una matrice di deformazione. Ciascuna matrice di deformazione ha come generatore una serie di parametri che l'utente può controllare in maniera autonoma.

L'applicazione della matrice di deformazione all'oggetto fa sì che la forma in questione si deformi anch'essa. Lavorando sui parametri

del deformatore è possibile modificare in maniera dinamica l'oggetto.

L'unico strumento di deformazione che permette una trasformazione tramite punti di controllo totalmente indipendenti, è costituito dai deformatore FFD. In questo caso una griglia composta di 16 punti di controllo per faccia circonda l'oggetto. Attuando uno spostamento dei punti in questione, selezionabili indipendentemente o in gruppi, trasforma l'oggetto secondo una diretta proporzionalità. L'oggetto in questione può dunque venir plasmato e modificato liberamente dall'utente.

Per la realizzazione del modello si utilizza il software 3ds Max. Le superfici che definiscono gli oggetti sono superfici Mesh.

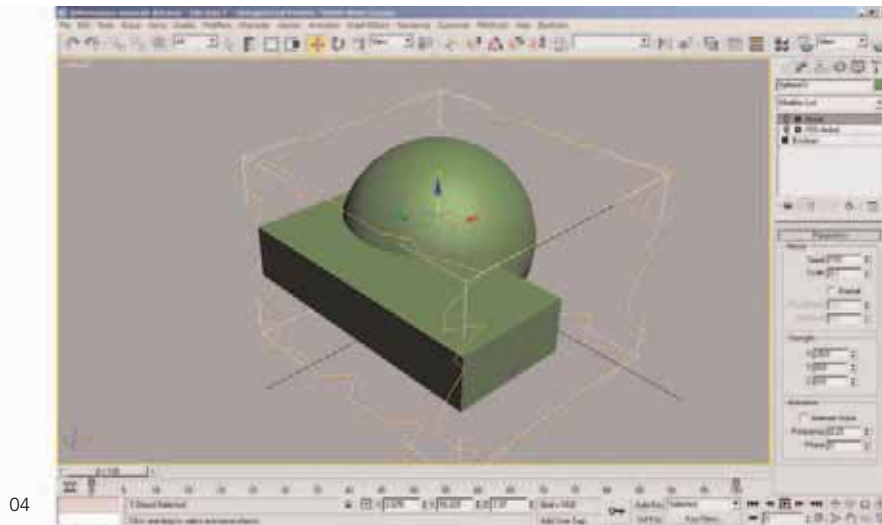


1 Definizione dell'oggetto sul quale attuare le operazioni di deformazione.

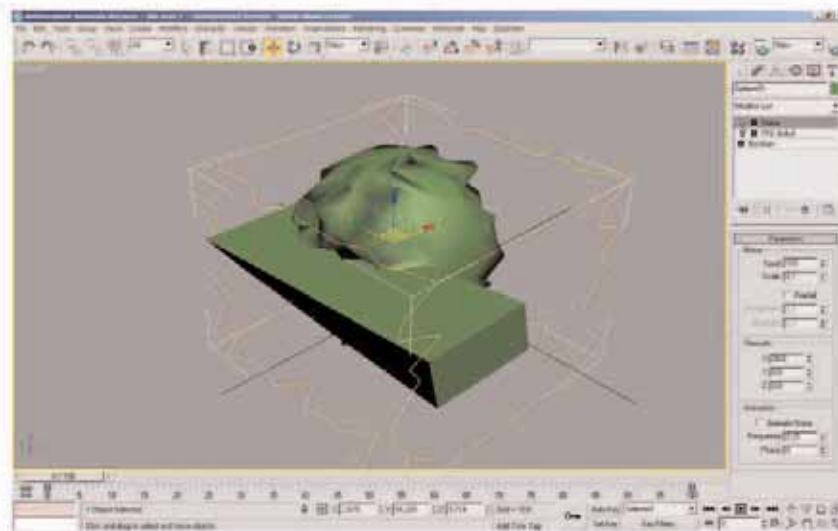
2 *Deformatore Bend*:  
In arancione è possibile

vedere come la forma ottenuta dalla matrice di deformazione. La forma di quest matrice è controllata dai parametri del deformatore.

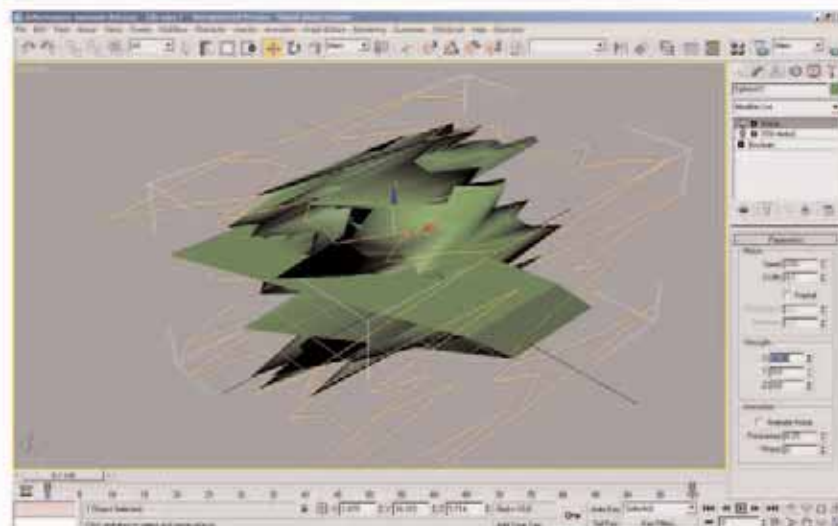
3 Attribuzione della matrice di deformazione all'oggetto che a sua volta si deforma.



04



05

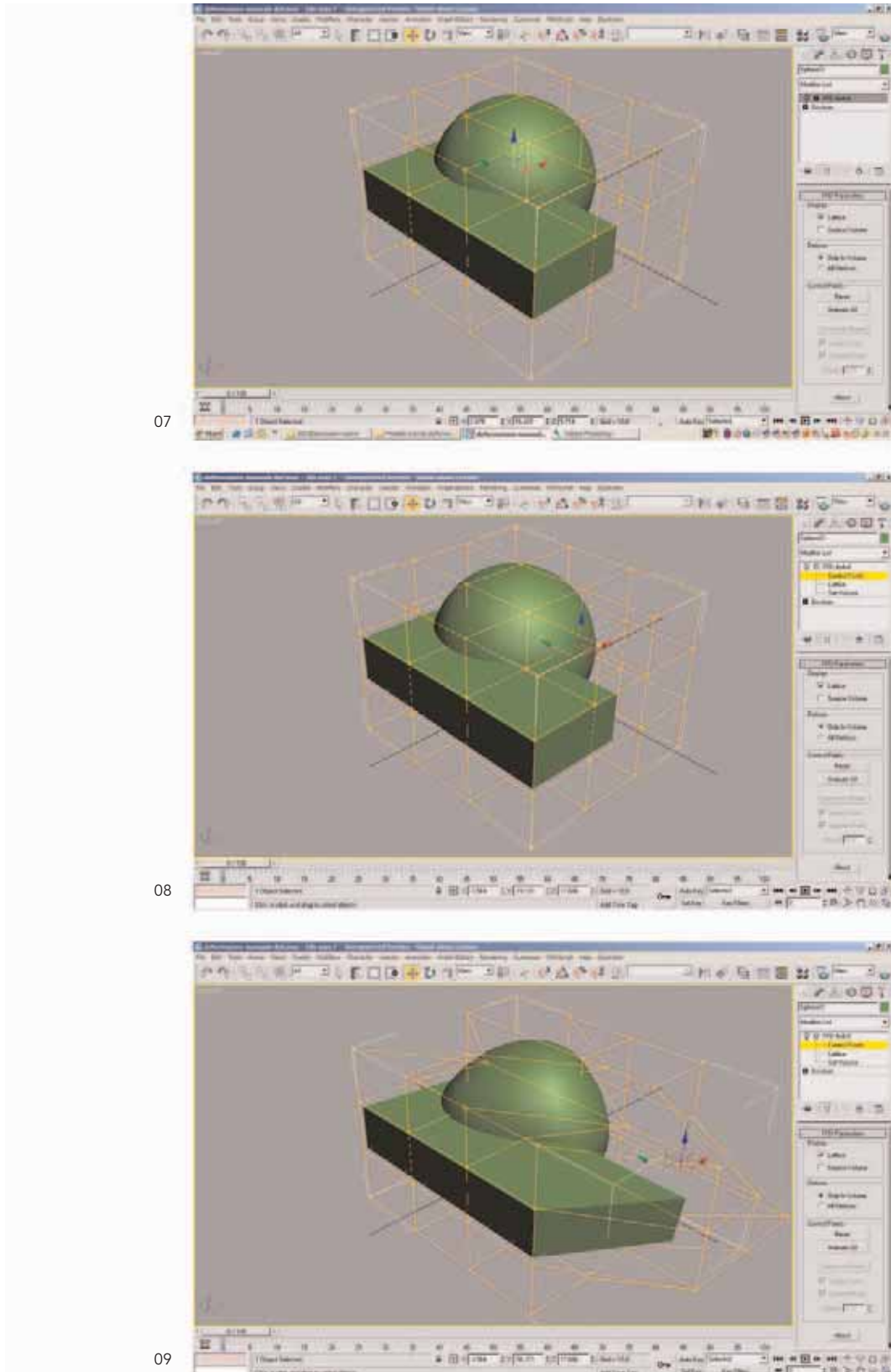


06

4 *Deformatore Bend:*  
Il deformatore Noise  
attuata un "disturbo"  
all'oggetto. I parametri  
che lo definiscono sono  
la forza e l'intenità del  
disturbo.

5 L'applicazione del  
disturbo all'oggetto. Il  
disturbo definito dalla  
voce "Forza" e secondo  
una direzione ha valore  
30.

6: Aumentando il valore  
della "Forza" a 100  
[valore in blu] si ottiene  
una notevole modifica-  
zione della forma super-  
ficiale che costituisce  
l'oggetto.



7 Deformatore FFD  
4x4x4:  
La griglia 4x4x4 circonda l'oggetto.

8 E' possibile selezionare i nodi che costituiscono

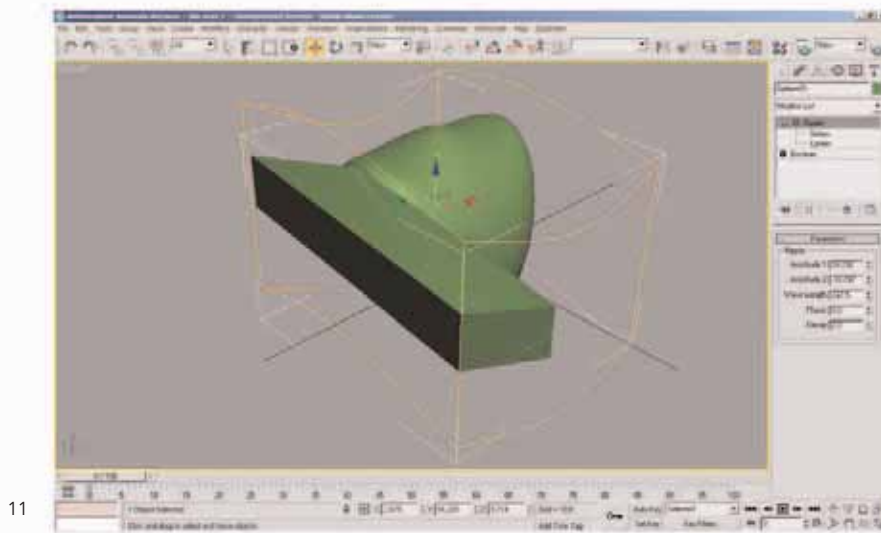
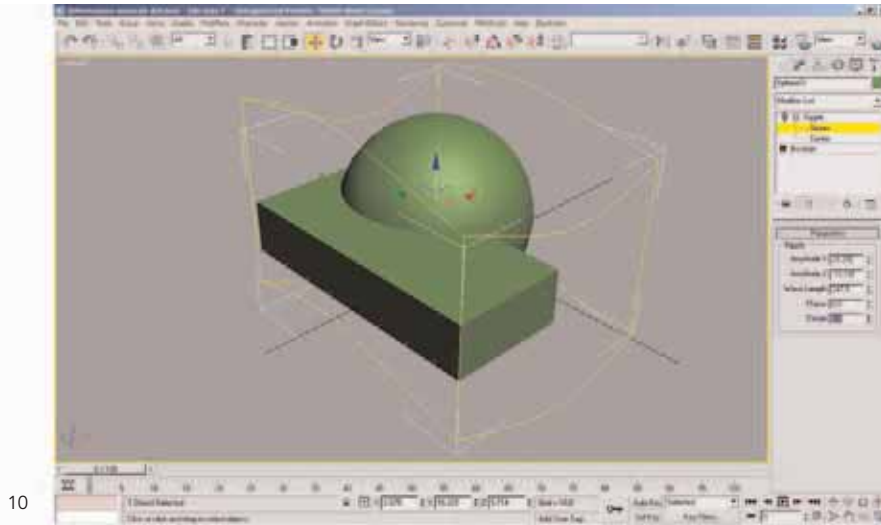
questa griglia di deformazione

9 Spostando i nodi selezionati, oltre alla deformazione della griglia nei nodi selezionati, è possibile

vedere come l'infero oggetto subisca una deformazione proporzionale allo spostamento dei nodi.

Maggiore sarà lo spostamento dei nodi mag-

giore sarà la deformazione ottenuta.

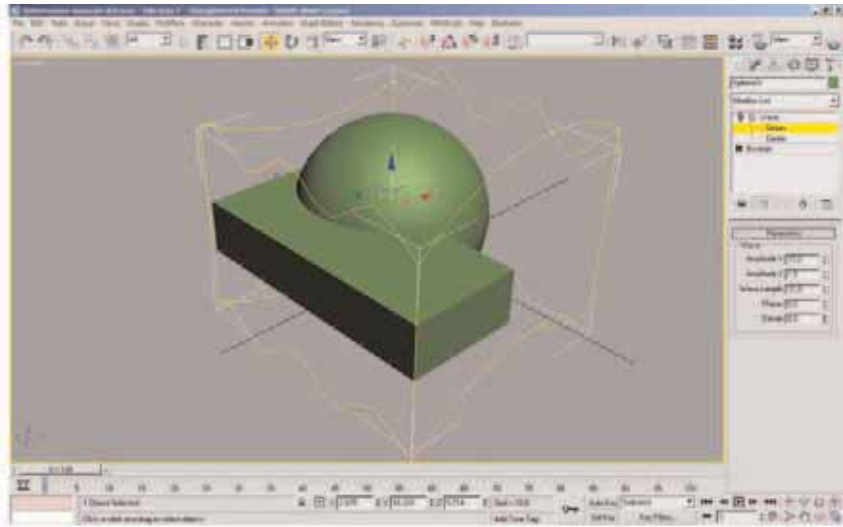


10 *Deformatore Ripple:* della sperimentazione  
 Il deformatore in questione crea delle increspature.

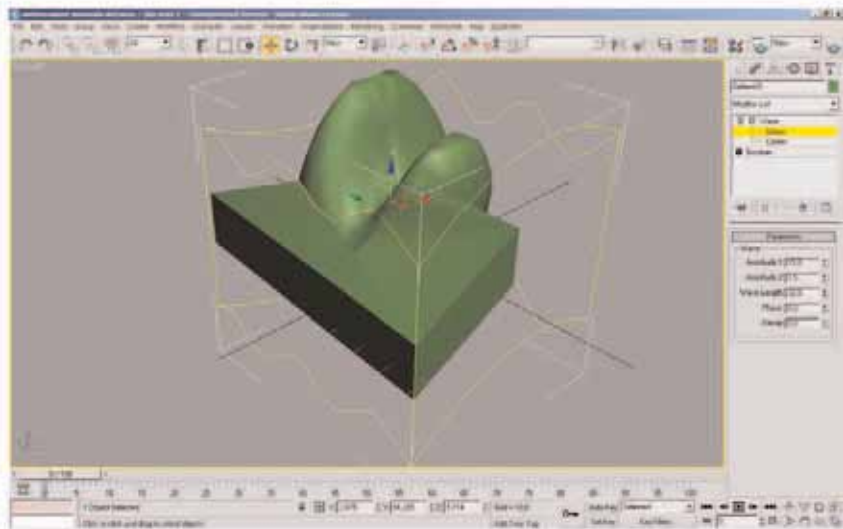
11 Applicazione del deformatore all'oggetto



12



13



10 *Deformatore Wave*:  
Il deformatore in questione crea delle onde caratterizzate da altezza e periodo, su tutte le

doformatore all'oggetto della sperimentazione

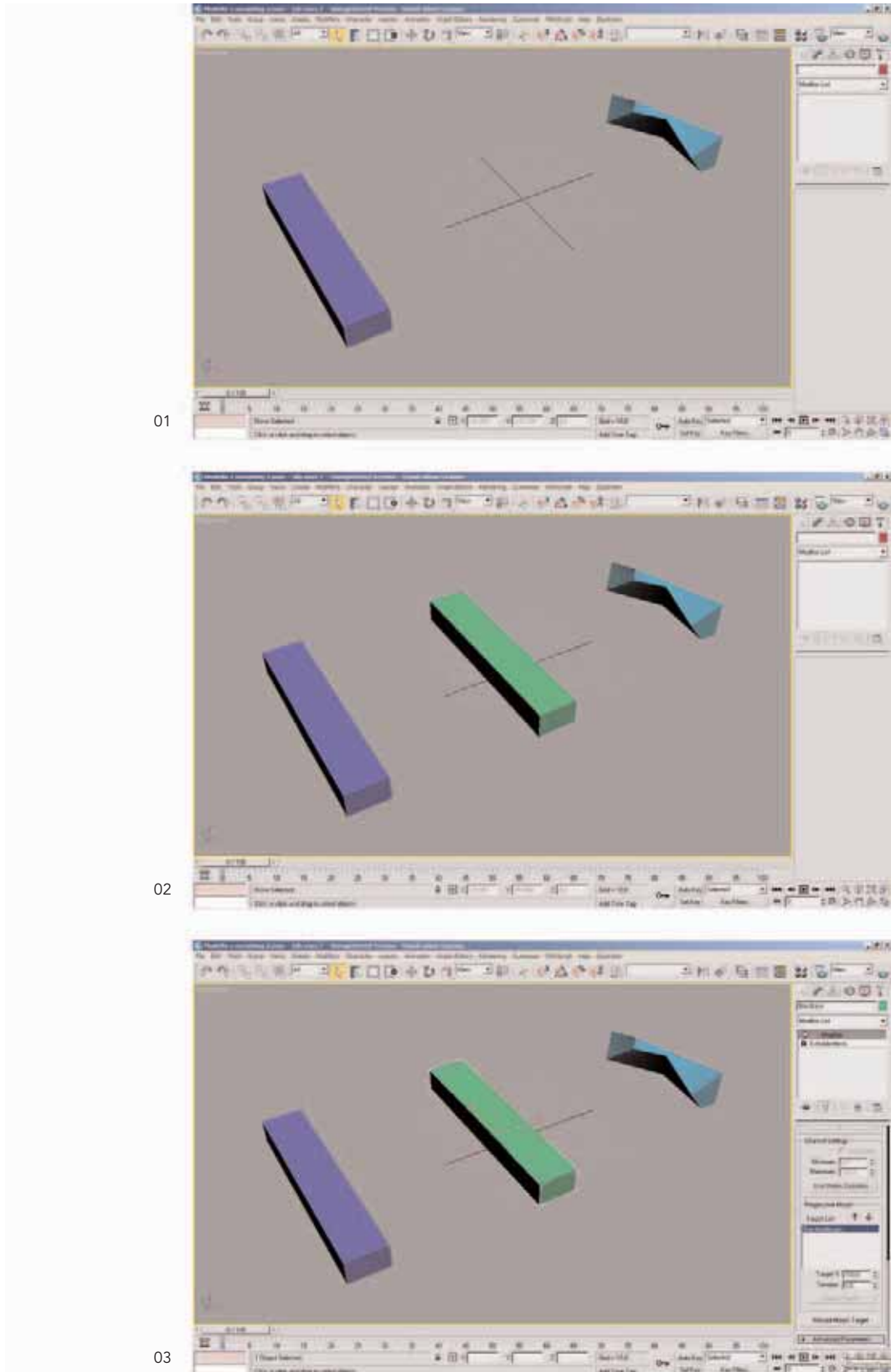
11 Applicazione del

## MORPHING

*Modellazione di oggetti complessi  
tramite processo di deformazione  
dinamica di oggetti tridimensionali*

Partendo da due oggetti deformati derivanti da uno stesso oggetto generatore si procede a individuare in maniera dinamica tutti gli oggetti che permettono di trasformare il primo oggetto deformato nel secondo.

Tutti gli oggetti deformati nella timeline impostata costituiscono deformazioni di uno stesso oggetto e offrono nuove e inesplorate possibilità formali alla ricerca spaziale relativa agli oggetti digitali.

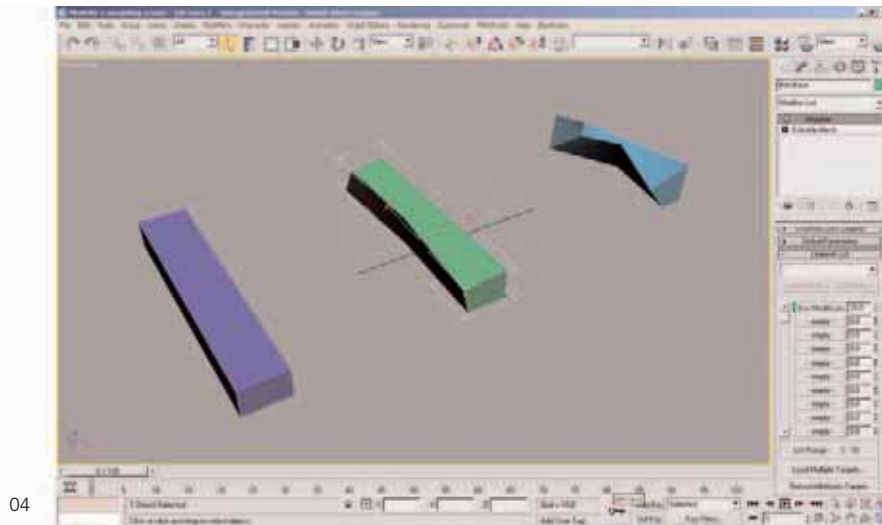


01 Definiti due oggetti definiti A (parallelepipedo Blu) e B (oggetto ciano) costituiti da superfici mesh e da uno stesso numero di vertici ma di forma differente.

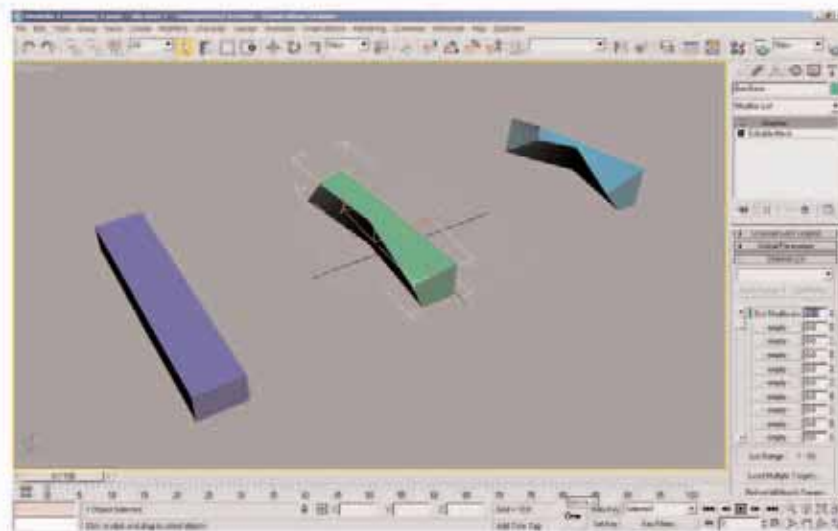
02 Definizione di un terzo oggetto C (oggetto verde) che dovrà deformarsi partendo dall'oggetto A all'oggetto B.

03 Applicazione del

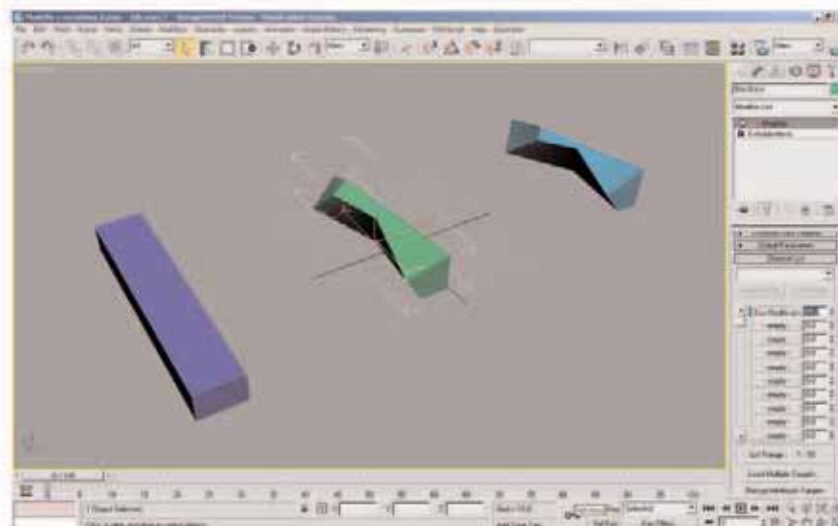
deformatore Morpher. Definito l'oggetto A si indica come oggetto nel quale C dovrà deformarsi nell'oggetto B.



04



05



06

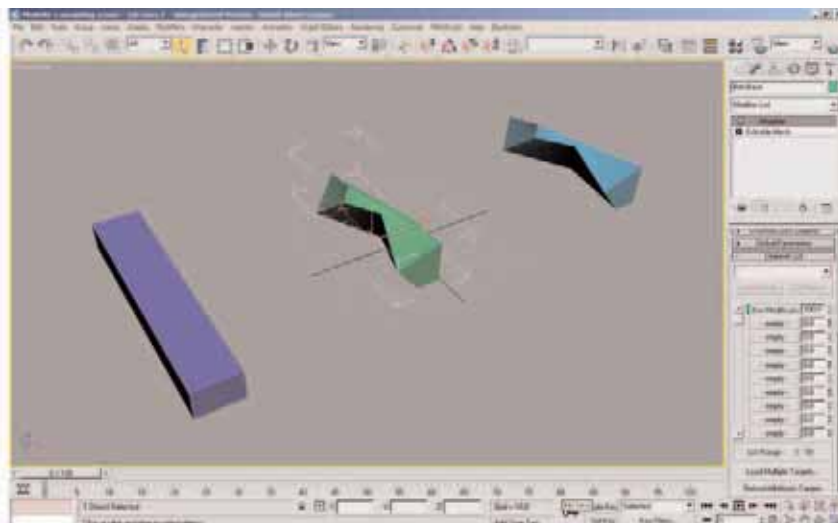
4 E' possibile dinamicamente agire sul motore del deformatore stabilendo: si definisce la forma di C con il valore "0 " quando l'oggetto è uguale all'oggetto A e

con il valore "100" la forma dell'oggetto C quando è uguale a B; si agisce sul valore e si nota la trasformazione dell'oggetto C. Imposto il valore "25".

5 Imposto il valore a "50".

6 Imposto il valore a "75".

07



08

6 Imposto il valore a "100". L'oggetto C ha assunto la forma di B.

7 Tramite la trasformazione dinamica di C nel tempo e nello spazio

con la tecnica dell'animazione, ottengo un oggetto ulteriore derivante dalla trasformazione in se. E' qui riportato uno snapshot dell'animazione. E' possibile

individuare una serie di ulteriori passaggi intermedi che derivano dal processo di deformazione/trasformazione.



# APPLICAZIONI DEL REVERSE MODELLING ED INDIVIDUAZIONE DEI LIMITI

"Non sempre la virtualizzazione è legata a una  
scomparsa.  
Spesso, anzi, essa innesca un processo di  
materializzazione,  
come nel caso della virtualizzazione tecnica."  
(Pierre Lévy, Il virtuale)



## Sistemi di acquisizione non a contatto Sensori 3D attivi

Le tecniche di misurazione senza contatto sono di due tipologie: quelle passive o stereoscopiche; quelle attive basate sulla luce strutturata.

Le tecniche passive utilizzano la luce ambiente ed è possibile ottenere le coordinate tridimensionali dei punti solo quando sono chiaramente identificabili e hanno variazioni di luminanza ben contrastate (vertici geometrici); nel caso in cui vi è omogeneizzazione di texture, per la determinazione delle coordinate spaziali bisogna utilizzare targets da applicare sulla superficie.

I sistemi attivi di misurazione sono basati sulla luce laser (Laser è l'acronimo inglese di Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation, ovvero Amplificazione di Luce tramite Emissione Stimolata di Radiazioni) di bassa o bassissima potenza e sono capaci di ottenere la misura dell'oggetto da misurare attraverso una codificazione della luce.

Con il concetto di "luce codificata" si intende una luce contenente una quantità di informazioni che vengono riconosciute e codificate da un sensore elettronico (CCD Charge Couplet Device).

Nella scansione 3D ci si occupa fondamentalmente della informatizzazione di superfici e quindi del loro andamento spaziale.

Attraverso il sensore 3D è possibile

formalizzare all'interno di un software dedicato le coordinate spaziali corrispondenti attraverso punti. Attualmente i metodi 3D attivi sono i più diffusi in quanto consentono l'individuazione delle superfici in analisi in maniera automatica. Gli strumenti che impiegano la luce laser, scanner 3D, si basano sul principio della triangolazione piana, o utilizzano il tempo di volo (time of flight - TOF).

## Sensori 3D attivi

### *Sensori a triangolazione*

La luce laser è quella che permette ad un scanner 3D di poter rilevare utilizzando le proprietà fisiche della stessa in quanto consente di generare spot luminosi estremamente focalizzati su intervalli di distanza elevati.

I sensori a triangolazione piana li possiamo individuare in: quelli basati su spot laser, quelli a lama di luce laser e quelli a luce strutturata.

I sensori basati su spot laser sono fondamentalmente costituiti da una sorgente luminosa e da un sensore piano, rigidamente vincolati tra loro. Generato un fascio di luce che produce un puntino luminoso, questo colpisce la superficie, mentre il sensore di ripresa, spostato rispetto alla sorgente luminosa, riprende l'immagine del puntino luminoso; così facendo viene a formarsi un triangolo costituito dalla sorgente luminosa, dal centro di proiezione del sensore e dal punto luminoso riflesso dalla superficie. La distanza tra sorgente di luce e sensore viene indicata come baseline  $b$ . L'immagine del puntino luminoso viene focalizzata sul piano di presa del sensore posizionato ad una distanza  $f$  dall'ingresso della luce (distanza focale o distanza principale), e la sua traccia è disassata rispetto al centro ottico di una distanza  $p$ . Conoscendo (inclinazione della

sorgente luminosa) e  $b$ , è possibile misurare la distanza  $p$  utilizzando il teorema degli angoli opposti all'angolo:

$$\beta: \tan \beta = \frac{P}{f}.$$

I sensori a lama di luce laser estendono il principio sopra enunciato ad un insieme di punti che vanno a formare un segmento. Così facendo si valutano tutti insieme i punti visti dal sensore bidimensionale e per ognuno viene effettuato il calcolo sopra descritto, ottenendo le coordinate del segmento intercettato dal raggio laser. Viene generata una lama di luce che riflette la luce laser attraverso una lente cilindrica o uno specchietto rotante che muovendosi orizzontalmente arriva a coprire la superficie da investigare. La luce proiettata sulla superficie si deforma seguendo le sinuosità delle superfici complesse

I due sistemi sopra descritti producono immagini tridimensionali, o range map, solo se non rimangono statici ma, come nello scanner piano, si muovono in maniera meccanica.

I sensori a luce strutturata attraverso un apposito proiettore emettono lame di luce contemporaneamente e l'immagine viene acquisita con camera digitale. La range map viene calcolata senza elementi in movimento (sistemi a campo intero) (fig. a p.97 - Guidi).

I sensori a triangolazione vengono

solitamente utilizzati per rilevamenti di piccoli volumi.

#### *Sensori a tempo di volo*

Questi sensori sono caratterizzati da un sistema che prevede l'invio di un impulso laser e la successiva misura del tempo impiegato dalla luce per andare dalla sorgente alla superficie e tornare allo strumento (tempo di volo). L'intervallo di tempo consente di risalire alla distanza tra lo strumento e la superficie da rilevare e, utilizzando la conoscenza degli angoli, permette di formalizzare le coordinate tridimensionali della superficie. In effetti misurato l'angolo, grazie al sistema di movimentazione meccanica della sorgente, e misurata la distanza  $\rho$  attraverso la stima del tempo di volo, si risale alle due coordinate ( $x_A$ ,  $z_A$ ) di un punto sulla superficie dell'oggetto:

$$x_A = \rho \sin \alpha ; z_A = \rho \cos \alpha$$

Tali sistemi, a causa dell'elevatissima velocità della luce, producono una aleatorietà nelle stime del tempo di volo, che si traduce in una elevata incertezza di misura. Questa incertezza non scende mai sotto i quattro millimetri ed è quaranta volte meno preciso dell'incertezza di un sistema a triangolazione; vanno Tali sistemi vanno quindi utilizzati per misurare superfici di

grandi dimensioni, per esempio strutture architettoniche.

I sistemi che si basano sul principio della misura della distanza sono chiamati Laser Radar (radio wave Detection And Ranging) o LIDAR (Light Detection And Ranging).

Questa metodologia consiste nell'inviare un raggio di luce laser nell'istante fissato dal segnale di start, che arriva alla superficie da rilevare con un ritardo proporzionale alla distanza. La luce viene retrodiffusa dalla superficie e indirizzata verso il rilevatore che fornisce il segnale di stop. Un blocco funzionale stima il ritardo tra start e stop, che altro non è che il tempo di "andata" e "ritorno" dell'impulso laser (TOF). Moltiplicando la metà del tempo di sola andata per la velocità della luce, si ottiene il tempo di volo.

## Progetto di presa con i sensori 3D attivi

Se si deve procedere all'acquisizione tridimensionale di un modello fisico la prima domanda da porsi è qual è la finalità del modello che si vuole acquisire. Infatti, in funzione di questa si possono effettuare numerosi processi che possono spaziare dalla semplice misurazione ad una modellazione fino ad una presentazione digitale; così dicendo ci si rende immediatamente conto che la corrispondenza tra rappresentazione geometrica e realtà dell'oggetto da acquisire, varia in funzione della finalità.

Nella progettazione delle prese di scansione altro dato di cui si deve tenere conto è l'accuratezza, che è direttamente proporzionale al numero di superfici di sovrapposizione al fine di un corretto successivo allineamento o registrazione (il limite massimo solitamente usato non è superiore al 50 %).

L'accuratezza dell'allineamento o registrazione è in funzione di due parametri fondamentali: la precisione dello scanner e l'irregolarità della zona di sovrapposizione (l'algoritmo utilizzato per l'allineamento impiega la forma dell'oggetto come riferimento tra range map differenti').

Considerazione importante è quella riguardante gli allineamenti o registrazioni automatiche e quelle effettuate manualmente dall'operatore. La interrelazione fra queste

deve essere sempre accompagnata da una continua verifica per l'ottimizzazione dell'incertezza della misura.

### *Acquisizioni dei dati*

La fase di acquisizione è conseguente al progetto di presa, che ha già tenuto conto del range di presa (inquadratura) dello strumento scelto per le zone di overlapping (sovrapposizione) necessarie per le registrazioni successive.

Quando si utilizzano i sensori attivi, in alcuni casi la luce necessaria per la scansione è fornita dal sensore stesso, ignorando la fluttuazione dell'illuminazione ambiente; in altri casi la sovrabbondanza di luce, anche naturale, può compromettere la qualità della scansione.

### *Elaborazione della nuvola di punti*

L'acquisizione genera una nuvola di punti che può essere strutturata (structured point cloud) e non strutturata (unstructured point cloud).<sup>2</sup>

La processazione successiva della nuvola di punti è mirata alla pulizia (mediante la quale vengono selezionate e quindi eliminate le parti non utilizzabili) e ottimizzazione della stessa; attraverso l'utilizzo di filtri (Filter Noise, Filter Redundancy, Sampling Points, Smooth Points<sup>3</sup>) si può lavorare sul rumore che sistematicamente viene acquisito (per errori dell'operatore o per l'inserirsi di ele-

menti estranei durante la scansione) e, grazie ad essi, il rumore può essere notevolmente ridotto. Una nuvola ben ripulita presenterà minori problematiche nell'operazione di meshing, che verrà ottenuta con maggiore rapidità e qualità. Questa operazione consente di realizzare un modello poligonale di una superficie aperta o chiusa contenente triangoli (facce - mesh), spigoli e vertici.

#### *Registrazione o allineamento*

Una volta acquisite tutte le range map necessarie per la realizzazione del modello acquisito, è possibile effettuare la fase di registrazione o allineamento.

Viene scelta una range map come riferimento iniziale e, individuata quella adiacente, si procede attraverso un procedimento semiautomatico alla unione- sovrapposizione (registrazione) della seconda range map sulla prima.

Terminata questa operazione, si passa alla registrazione della range map successiva, procedendo con la stessa metodologia fino alla registrazione di tutti i pezzi ulteriori.

La stragrande maggioranza dei metodi proposti per la registrazione si basano su algoritmi di tipo ICP (Iterative Closest Point).

L'algoritmo di tipo ICP è un metodo iterativo che consente di eseguire rototraslazioni rigide ad una delle nuvole rispetto all'altra, al fine di ottenere la migliore sovrapposizione possibile tra le due superfici discretizzate.

posizione possibile tra le due superfici discretizzate.

I principali metodi presenti in letteratura per la registrazione di coppie di nuvole, possono essere generalmente suddivisi in due categorie: il metodo punto-punto ed il metodo punto-piano.

In entrambi i metodi adottati, la registrazione avviene tramite la ricerca del minimo di una funzione obiettivo. Nel primo metodo (metodo punto-punto) questa funzione è data dalla somma dei quadrati delle distanze dei punti corrispondenti delle nuvole. I punti corrispondenti si definiscono come la coppia formata da un punto di una nuvola e da quello più vicino appartenente alla nuvola opposta<sup>4</sup>. Nel secondo metodo (punto-piano, che è quello che abbiamo privilegiato in questo lavoro) pur rimanendo la stessa struttura della funzione obiettivo, sono da minimizzare però le distanze tra i punti di una nuvola ed i piani di "best-fit" passanti per i punti dell'altra.

Dobbiamo specificare che in questo tipo di procedure una nuvola rimane fissa mentre quella che subisce il movimento per la registrazione viene considerata mobile<sup>5</sup>.

#### *Fusione*

Dopo aver allineato in uno spazio cartesiano comune le range map, queste devono essere fuse tra loro, con l'obiettivo di ottenere un'unica superficie triangolata, superficie

mesh, scartando tutte le informazioni di ridondanza, perdendo le tracce delle riprese originali e, possibilmente, privandola di tutte le lacune.

### *Editing*

Dopo aver allineato il modello, sono spesso presenti piccole anomalie topologiche, buchi o imperfezioni (lacune), che devono essere rimossi o ottimizzati.

Alla fine del processo di registrazione la prima operazione da compiere è quella inerente la topologia del modello. In effetti può capitare che si verifichino delle connessioni anomale tra i poligoni, dando così luogo a errori topologici.

In questo caso occorre "ripulire" la mesh con delle modalità semiautomatiche, che solitamente i vari software di gestione delle nuvole di punti mettono a disposizione. Con il software Rapidform<sup>6</sup> si riescono a valutare gli errori topologici utilizzando le seguenti procedure: Non-manifold face, si ha questo errore quando più di due facce condividono lo stesso bordo; Redundant face, che sono facce anormali e che si possono trovare in una mesh quando in un vertice insistono un numero diverso di vertici e di bordi; Crossing face, che sono le facce che si intersecano con la mesh senza connettersi in nessun modo ad essa; Unstable face, che si ha quando facce adiacenti sono caratterizzate dalle nor-

mali invertite.

Naturalmente nell'intento di ottimizzare il prodotto finale non sempre sono sufficienti gli interventi automatici per la correzione delle anomalie; quasi sempre si devono pertanto integrare con degli interventi manuali.

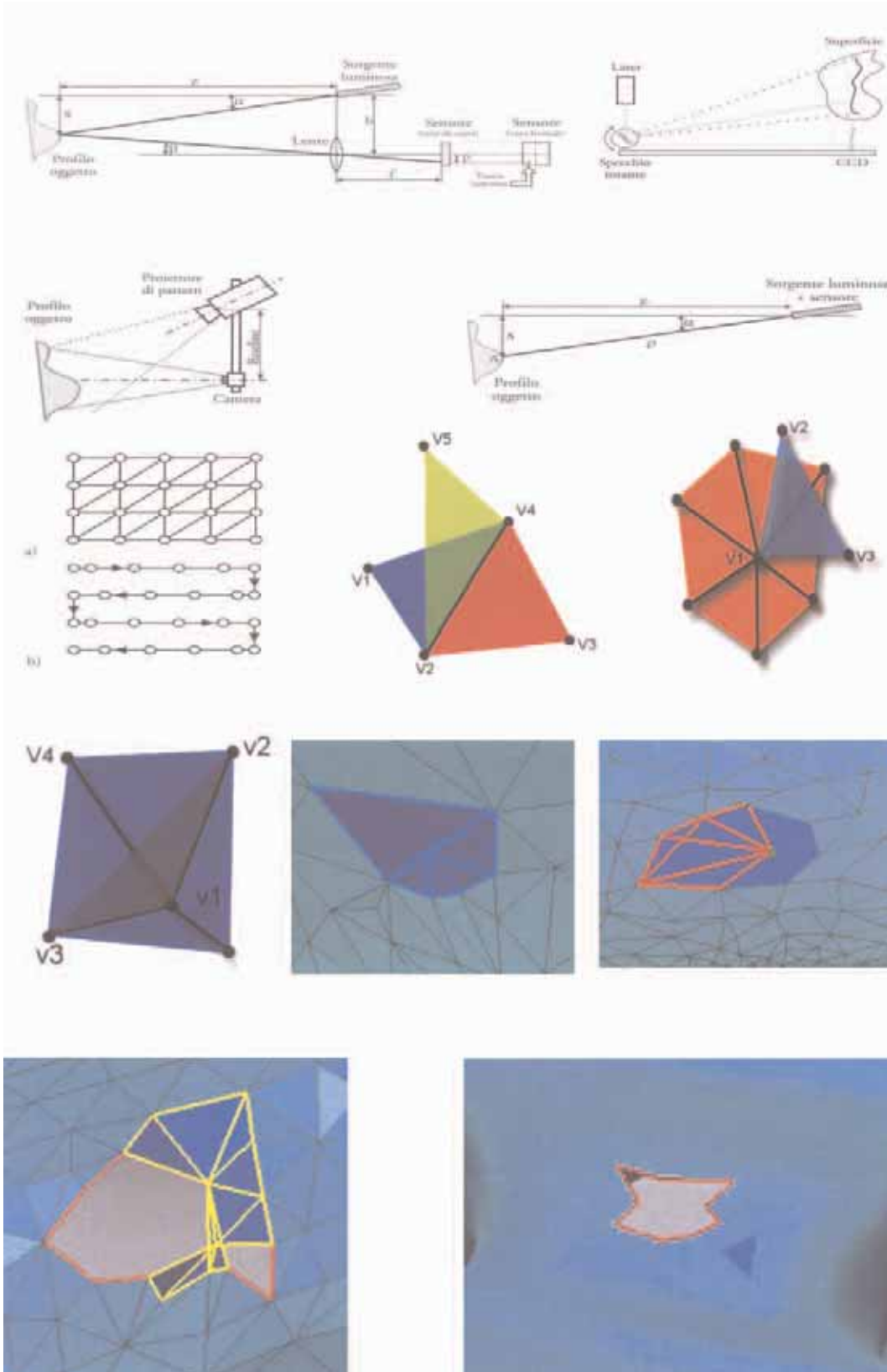
Altra operazione che si può compiere in questo stadio della lavorazione è la ricostruzione delle lacune su aree molto limitate sul modello.

Le lacune possono essere raggruppate in due categorie: lacune su zone piane e lacune su superfici angolate tra loro. L'operazione consiste nel costruire una struttura di poligoni che devono riempire le lacune. Con questa procedura sia le lacune che le regioni intorno verranno ricostruite. Questa operazione può essere completamente automatica, manuale, o la combinazione delle due.

Una volta ottenuto il modello mesh finale, con lo scopo di controllare e ridurre al massimo l'incertezza tra modello digitale e modello reale, si possono effettuare una serie di conversioni 3D utili per il proseguimento delle operazioni di verifica, tra cui la realizzazione un modello matematico (superficie NURBS).



01 02  
03 04  
05 06



07 08 09  
10 11

1 Schema di principio di uno scanner 3D a triangolazione  
2 Schema di principio di range camera a triangolazione basato su una

lama di luce laser  
3 Schema di principio di range camera a triangolazione basata su luce strutturata

4 Schema di principio di uno scanner 3D a tempo di volo  
5 Schematizzazione di una nuvola di punti A) Strutturata; B) Non

Strutturata  
6 Non-manifold face  
7 Crossing Face  
8-9 Pulizia e chiusura di Non Mani-fold face  
10 Unstable face  
11 Lacune



Reverse Modelling

**ELABORAZIONE DEI DATI  
E ANALISI DI VARIE  
METODOLOGIE**

In questa fase la mia ricerca si è concentrata sulle metodologie, sulle tecniche di acquisizione dei dati 3D di un modello, della loro elaborazione e restituzione attraverso due metodologie di reverse modeling e del loro confronto, con l'intento di trovare una strategia operativa che ottimizzasse il risultato.

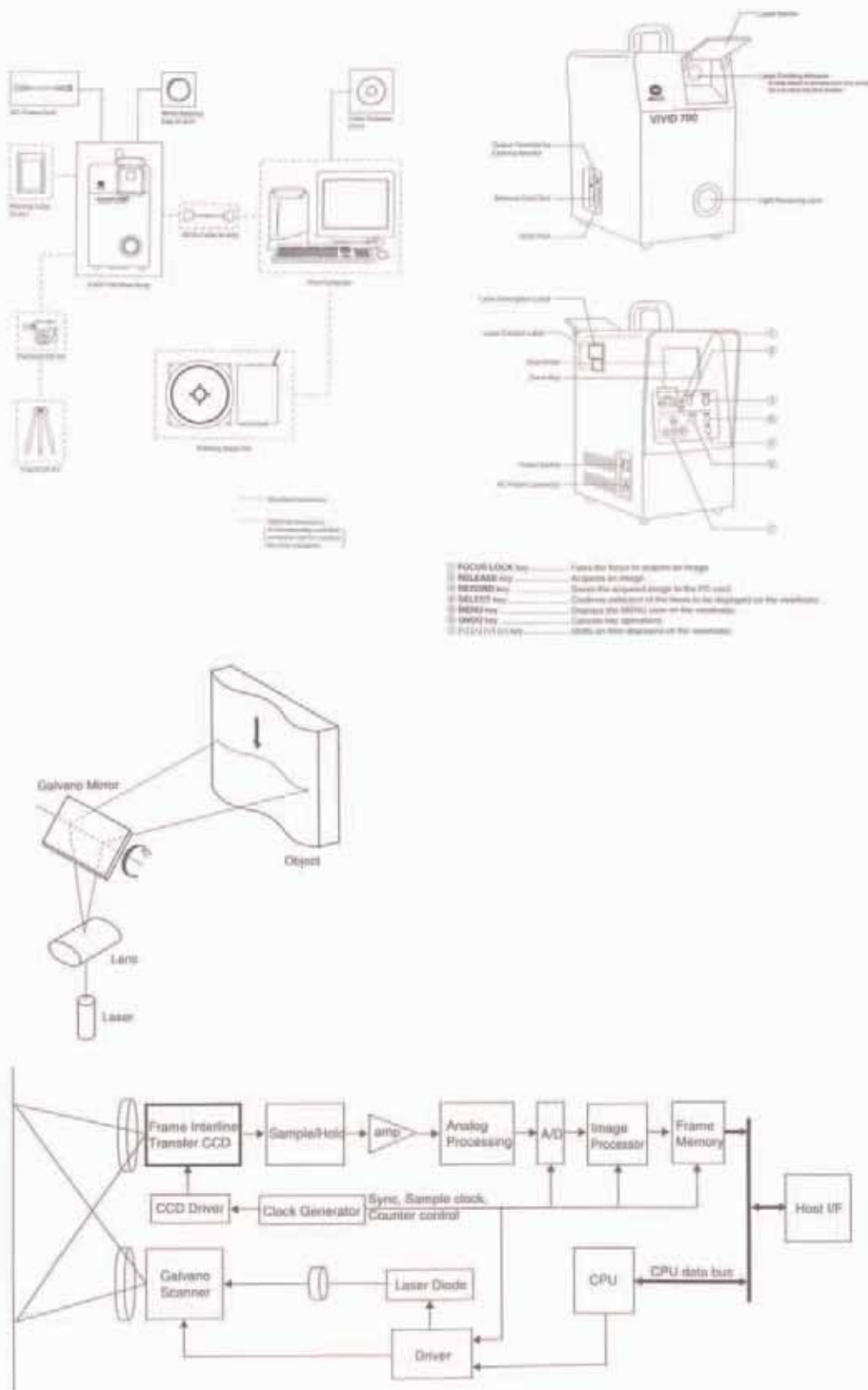
#### *Strumento*

Lo strumento utilizzato per l'acquisizione tridimensionale dei dati è il Laser scanner Minolta Vivid 700. *[immagine 1]*

Il sistema di misurazione usa il metodo della light-stripe (striscia di luce) che emette una luce orizzontale attraverso una lente cilindrica verso l'oggetto. La luce riflessa dall'oggetto è ricevuta dal CCD (Charge Couplet Device) e poi convertita, attraverso una triangolazione, in una informazione di distanza. Questo processo è ripetuto dalla scansione della striscia di luce verticale sulla superficie, usando uno specchio galvanico, per ottenere un dato tridimensionale dell'oggetto.

La risoluzione in x e y è di 200x200 punti per intervallo di scansione.

I formati che il VIVID 700 genera sono DXF, Wavefront, SOFTIMAGE, Open Inventor, ASCII, Alias e VRML.



1 Configurazione del sistema e nome delle parti

2 Sistema di misurazione light-stripe

3 Sistema di processazione dell'immagine

Model Name	VIVID 700
Light-Receiving Lens	f = 9 to 46 mm
AF	TTL pupil division AF method
Laser Power	$\lambda = 685 \text{ nm}$ , Max. 25 mW (Class II or equivalent, controlled and emitted by the internal control circuit and optics)
Beam Spread Angle ( $2\sigma$ )	Horizontal : $21^\circ$ Vertical : $0.1^\circ$
Laser Scanning Method	Galvano mirror
Object Distance Range	0.5 to 2.5 m
Field of View (each side of field of view xy)	70 to 1100 mm
Operative Distance Range ( $\Delta z$ )	Equivalent to each side of the field of view (when image input distance is 1.5 m)
Scanning Time	0.6 sec.
Image Data Transfer Time to Host Computer	2.0 sec. or less
Ambient Lighting Condition	500 lx or less
Imaging Device	3D data : 1/2-inch frame transfer CCD (380,000 picture elements) Color data : 1/2-inch color CCD (380,000 picture elements)
Output Data Points	3D data : $200 \times 200$ Color data : $400 \times 400$
Save/Output Format	3D data : Original format (converted to 3D data by the utility software VI-S1) Color data : RGB 24-bit raster scan data
Memory Media	ATA PC card Type I or Type II
Memory Capacity	1.1 MB/card (in total of 3D data and color data) (Up to 36 image data can be saved when an optional PC card VI-A11 is used)
Viewfinder	4-inch TFT color LCD finder
Output Interface	SCSI II, color monitor NTSC terminal
Power	100 to 240 V~ (50 to 60 Hz), 0.4 A (rated 100 V~)
Dimensions	210 (W) $\times$ 367 (H) $\times$ 326 (D) mm
Weight	9 kg
Operating Temperature Range	10 to 35°C (85% RH or less, no condensation)
Storage Temperature Range	-20 to 50°C (85% RH or less, no condensation)

## Metodologia

La metodologia scelta nell'acquisizione ed elaborazione è stata così articolata:

Campagna di acquisizione dei dati 3D;

Elaborazione dei dati 3D;

Realizzazione di un duplice modello digitale 3D attraverso due software differenti;

Confronto tra i due modelli ottenuti e delle loro sezioni

### *Descrizione dell'attività*

Lo scopo dell'acquisizione è stato quello di raggiungere delle geometrie NURBS, sia curve che superfici, attraverso la trasformazione del modello in forma poligonale.

L'obiettivo era quello di individuare un approccio metodologico, adattabile sistematicamente ai diversi casi di studio.

La scelta è stata quella di trasformare la nuvola di punti in un modello poligonale utilizzando due sistemi differenti, ma che portassero entrambi alla definizione di curve e superfici NURBS.

I due software scelti per l'ottenimento delle geometrie NURBS sono Rapidform 2004<sup>7</sup> e Rhinoceros 3.0<sup>8</sup>. In entrambi i casi si è passati dalla nuvola di punti al modello geometrico poligonale.

Successivamente si è analizzato questo e, in un secondo momento, attraverso un processo di costruzione automatica, si è passati a

quello NURBS, che è stato nuovamente confrontato con le superfici poligonali ottenute inizialmente.

Si è inoltre effettuato l'estrazione delle curve caratteristiche e delle sezioni dai due modelli ottenuti tramite i due software e da queste è stato ricostruito il modello.

Molta attenzione è stata posta sulla gestione e sulla velocità di esecuzione di tutte le procedure elencate per un successivo o eventuale studio.



## MODELLO DI STUDIO "SCODELLA"

### *Dati generali dell'oggetto*

Le dimensioni 23,5x21,5 cm e profondità 10 cm. La superficie scansionata si presenta abbastanza continua e omogenea. [Immagini 1-2]

Lo scanner utilizzata è stato il VIVID 700

### *Scansioni*

Per il modello in oggetto non sono state necessarie più prese, ma sono state necessarie più prove di acquisizione per ottenere il miglior risultato e meno perdita di dati in una sola scansione. Tutto questo è stato possibile in quanto il modello in questione era caratterizzato da superfici semplici.

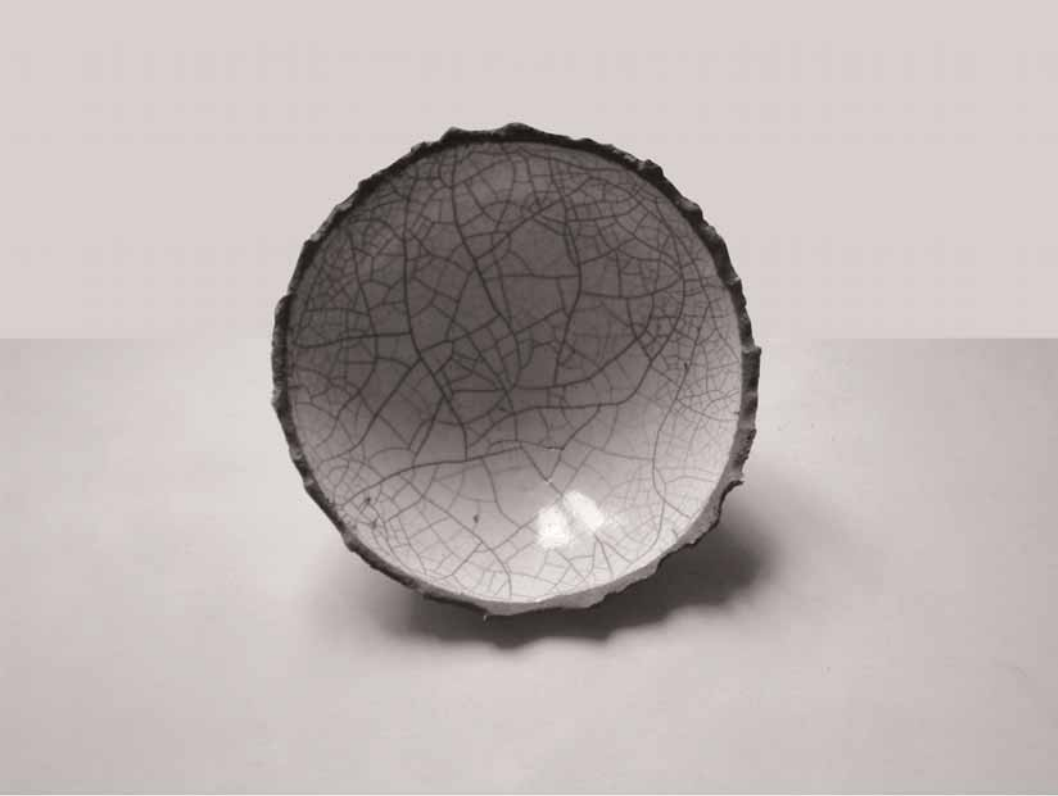
Lo strumento restituisce una nuvola di punti strutturata<sup>9</sup> che può essere direttamente convertita in mesh poligonale.

Le scansioni ottenute possono essere visualizzate sia come punti, sia come mesh e sia con una texturizzazione.

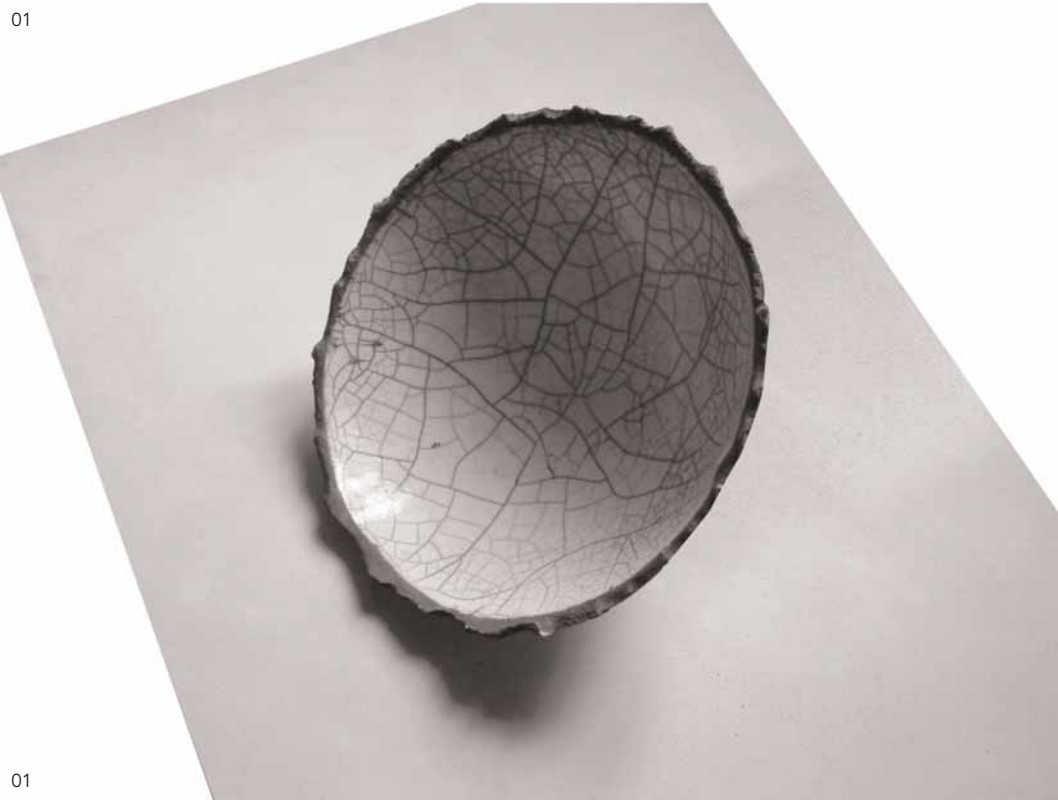
Si è optato per l'acquisizione dei soli punti e di non far generare al software una mesh.

Una volta ottimizzati tutti i parametri di acquisizione, la scansione ha avuto un buon risultato; unica perdita di dati<sup>10</sup> si ha in corrispondenza del punto luminoso presente

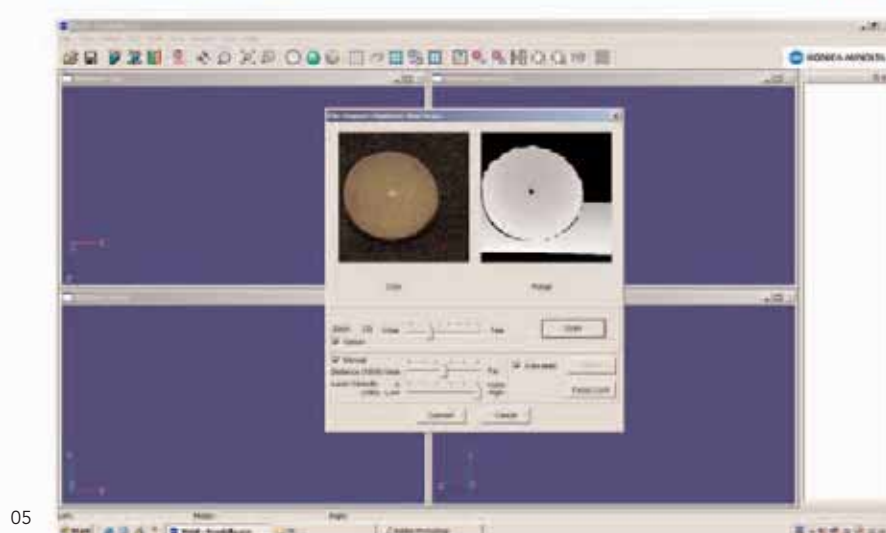
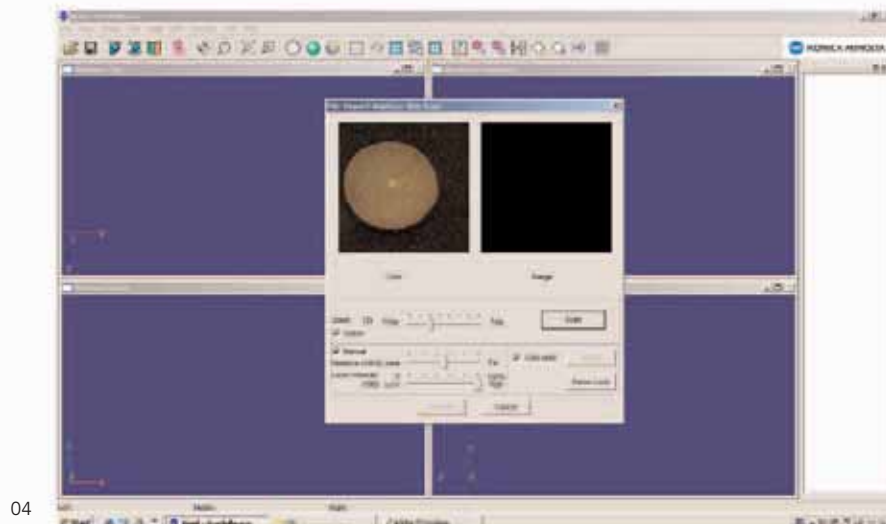
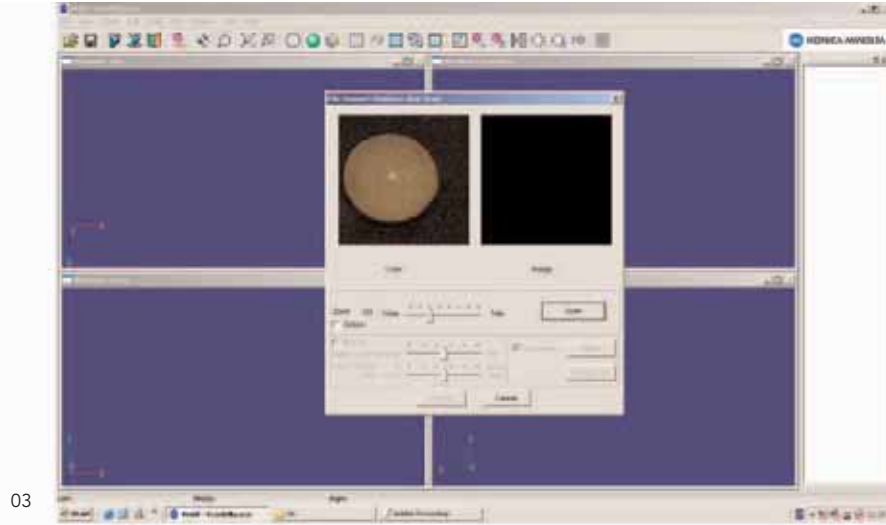
nella finestra di dialogo in cui si gestiscono i dati dell'acquisizione.



01



01



03 - Interfaccia con il Software di acquisizione Polygon Editing Tool V.1.22, in cui è inquadrato l'oggetto da acquisire

04 Impostazione dei parametri di acquisizione. L'acquisizione scelta è di tipo manuale in cui vengono impostati dall'operatore la distanza dell'oggetto dallo scan-

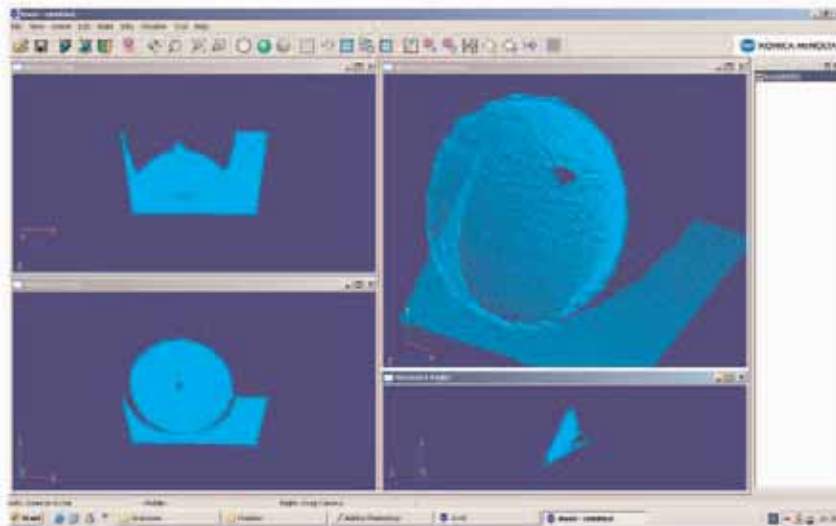
ner e l'intensità del Laser.

05 Preview di acquisizione dell'oggetto. Si noti come in corrispondenza dello spot di luce sia

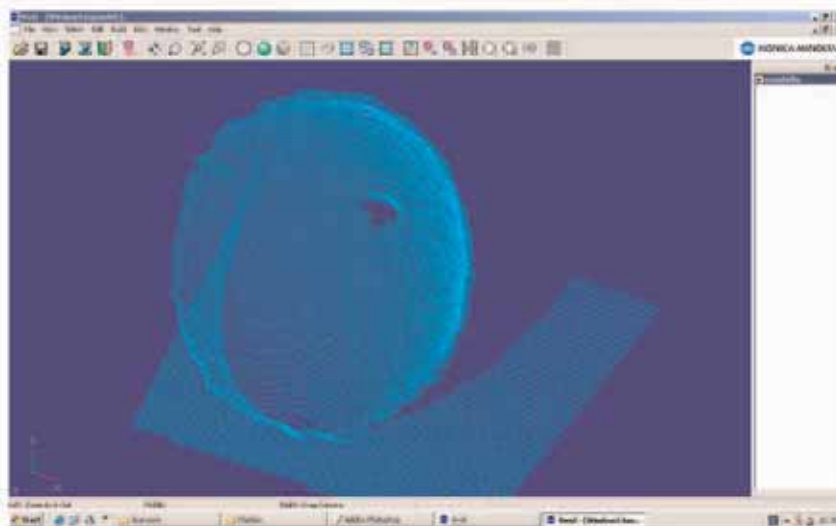
presente una mancanza di dati nel modello tridimensionale acquisito.



06



07



08

06 Importazione del modello acquisito all'interno di una cartella desiderata e individuazione dei parametri di acquisizione in cui viene scelto di non importare

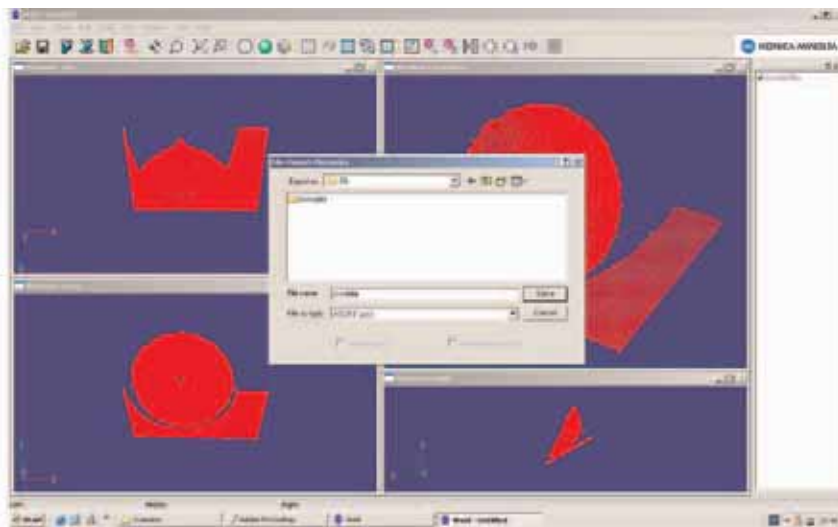
poligoni (Reduction Rate), di non chiudere i buchi (Fill Holes), di non eliminare nulla e di non filtrare la scansione (Filter: None).

07 Visualizzazione della nuvola di punti dalle finestre di dialogo.

08 Visualizzazione della nuvola di punti dalla finestra Isometric in cui

è possibile ruotare l'oggetto acquisito.

09



09 Esportazione della nuvola di punti con estensione ASCII (American Standard Code for Information Interchange ovvero Codice Standard

Americano per lo Scambio di Informazioni).

## Elaborazioni con il software Rhinoceros

La nuvola di punti ottenuta viene importata nel software con un numero di punti pari a 25867.

Il passaggio successivo è stato quello di ripulire la nuvola di punti eliminando tutti i dati inutili, non appartenenti all'oggetto di studio, ottenendo una nuvola di 17223 punti.

Il passaggio successivo è stato quello di trasformare la nuvola in una mesh attraverso il comando MeshFromPoints<sup>11</sup>. Si crea così un reticolo mesh aperto costituito da 5269 vertici e 10175 poligoni con relative normali.

Il passaggio successivo è stato quello di realizzare una superficie NURBS dalla superficie poligonale utilizzando il comando MeshToNurb<sup>12</sup>.

Si ottiene così una polisuperficie<sup>13</sup> aperta costituita da 10175 superfici, e la stessa, per essere renderizzata, ha la Render mesh costituita da 10175 meshes, 171882 vertici e 151772 poligoni.

Successivamente dalla polisuperficie sono state estratte le sezioni caratteristiche, attraverso il comando Contour<sup>14</sup>, con passo costante.

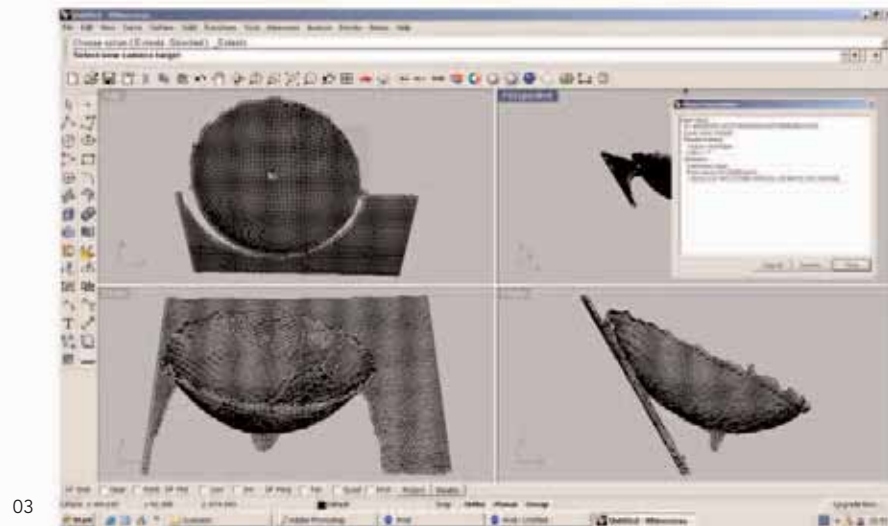
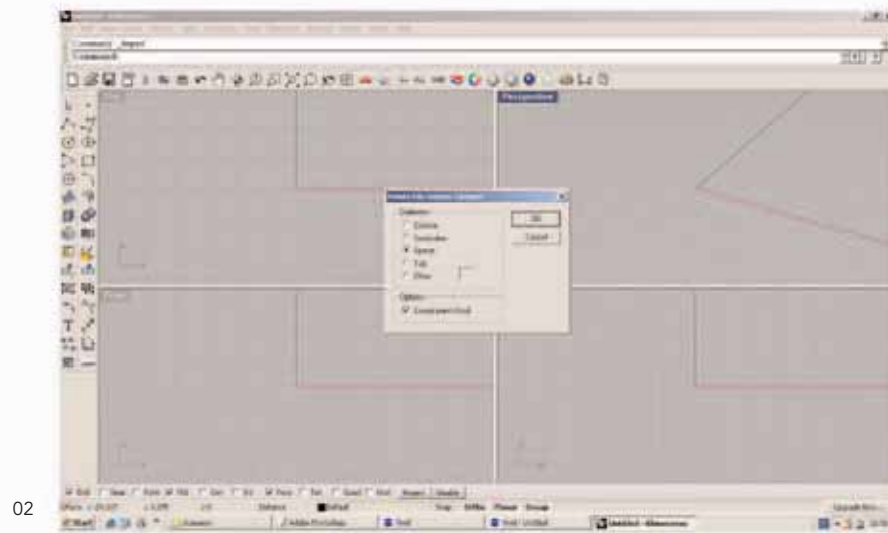
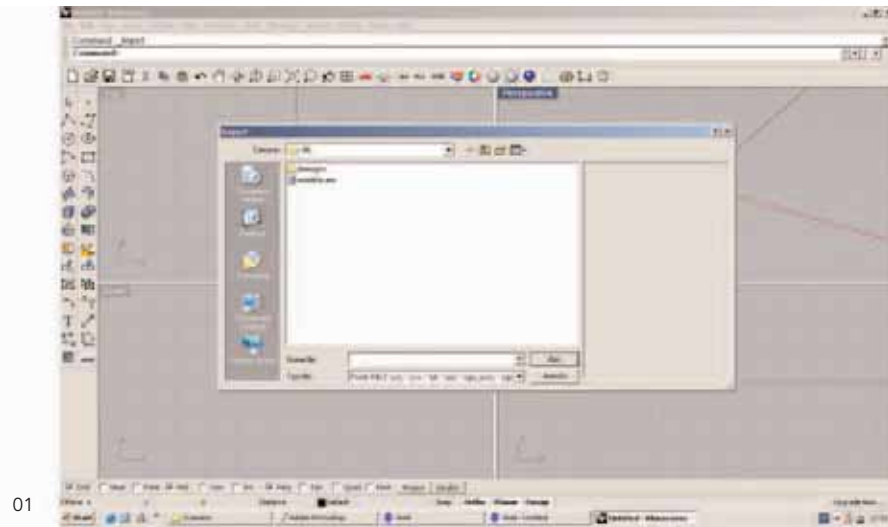
Si ottengono in questo modo 27 curve NURBS e da queste si ricrea una singola superficie NURBS attraverso il comando Loft<sup>15</sup>.

Naturalmente più le curve sono ottimizzate, maggiore è la possibi-

lità di ottenere una unica superficie NURBS (quindi una unica funzione in U e V) capace di approssimarsi all'oggetto reale in precedenza digitalizzato.

Ultima verifica eseguita è stata quella di confrontare il modello mesh con quello NURBS: si notano le differenze di approssimazione locale del modello poligonale (in cui si evidenziano i triangoli costituenti la superficie, di colore arancio) rispetto a quello NURBS (di colore celeste) che risulta localmente continuo; naturalmente altro dato importante è che la quantità di informazioni di cui ho bisogno per definire la stessa superficie: una superficie NURBS è caratterizzata da una unica funzione capace di definire ogni punto della superficie; una superficie mesh necessita invece di un valore x, y, z per ogni punto di ciascun triangolo che costituisce la mesh.





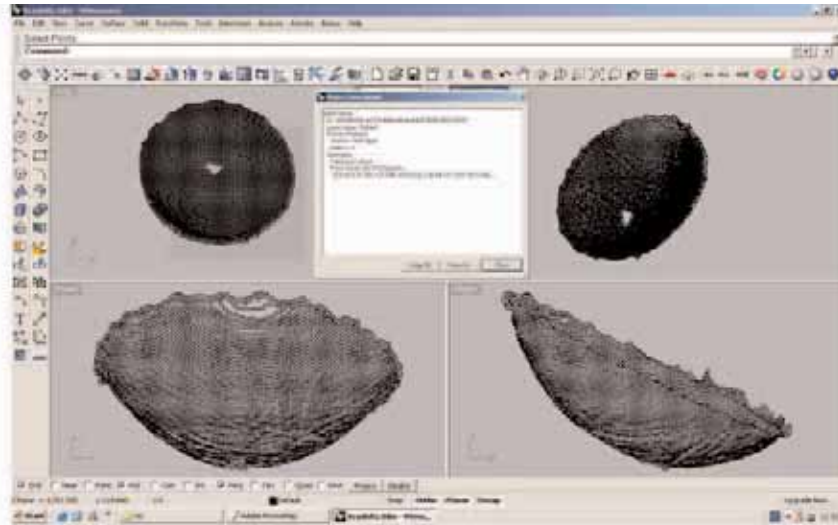
01 Interfaccia Rhinoceros e importazione del file con estensione ASCII.

02 Modalità di importazione del file di inter-

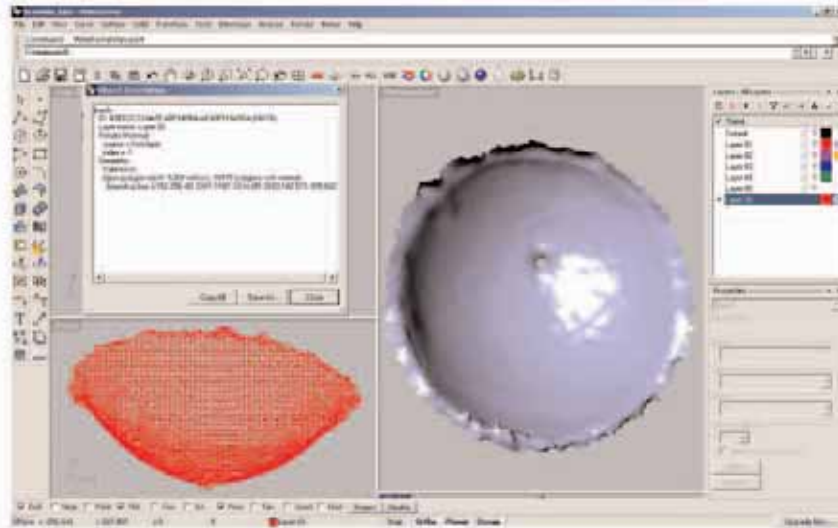
scambio.

03 Visualizzazione della nuvola di punti ottenuta dalla scansione.

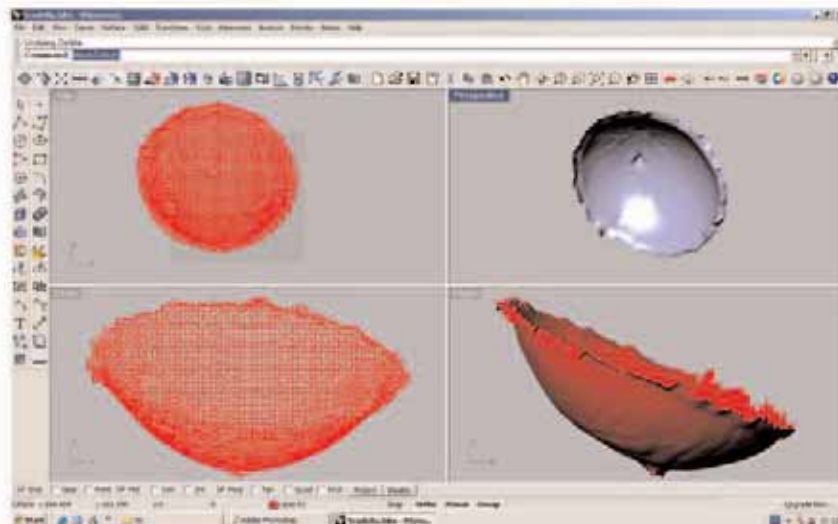




04



05



06

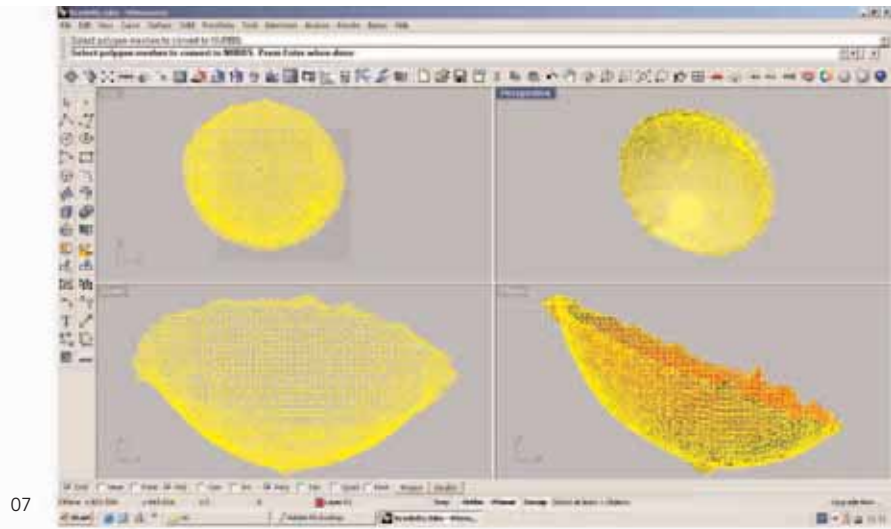
04 Visualizzazione della nuvola di punti ripulita dai dati non necessari all'elaborazione.

superficie poligonale (mesh) attraverso il comando MeshFromPoints.

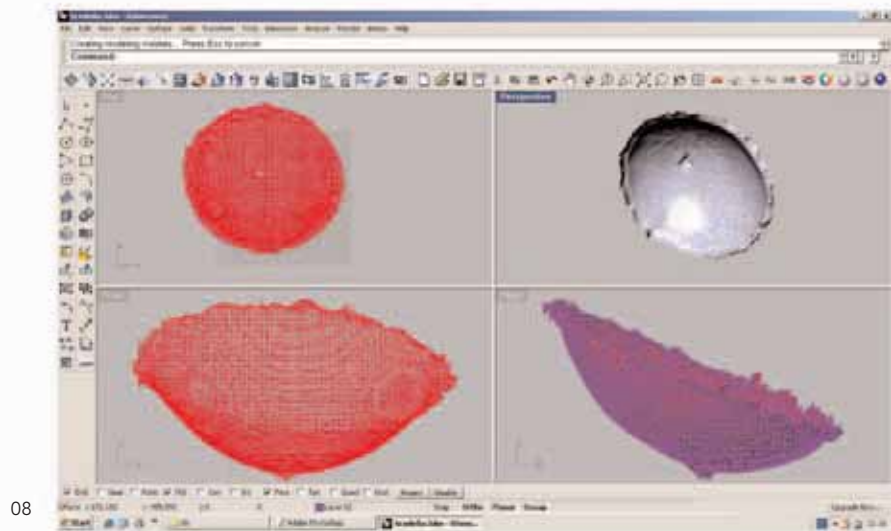
modalità Wireframe Display e Rendered Display.

05 Trasformazione della nuvola di punti in una

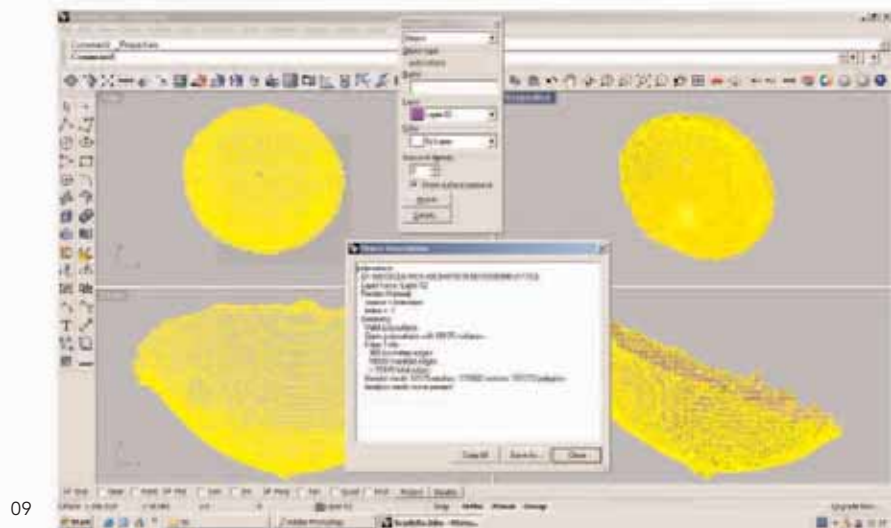
06 Visualizzazione del modello poligonale in



07



08



09

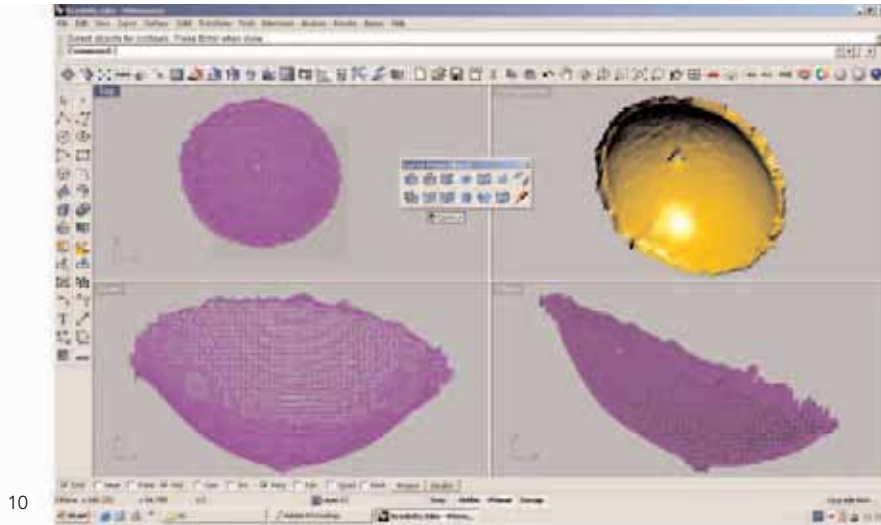
07 Trasformazione del modello mesh in modello NURBS attraverso il comando MeshToNurb, ottenendo una polisuperficie NURBS.

08 Visualizzane dei due modelli sovrapposti.

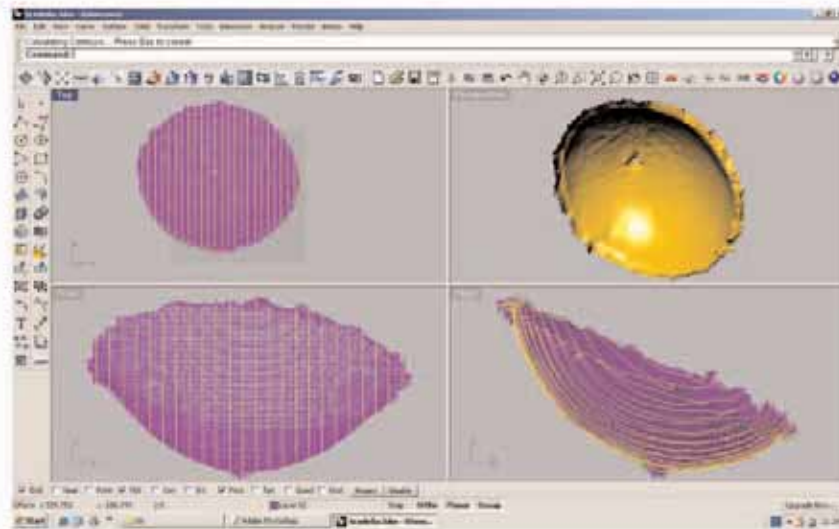
09 Visualizzazione della polisuperficie ottenuta e del relativo numero delle superfici costituen-

ti la stessa.

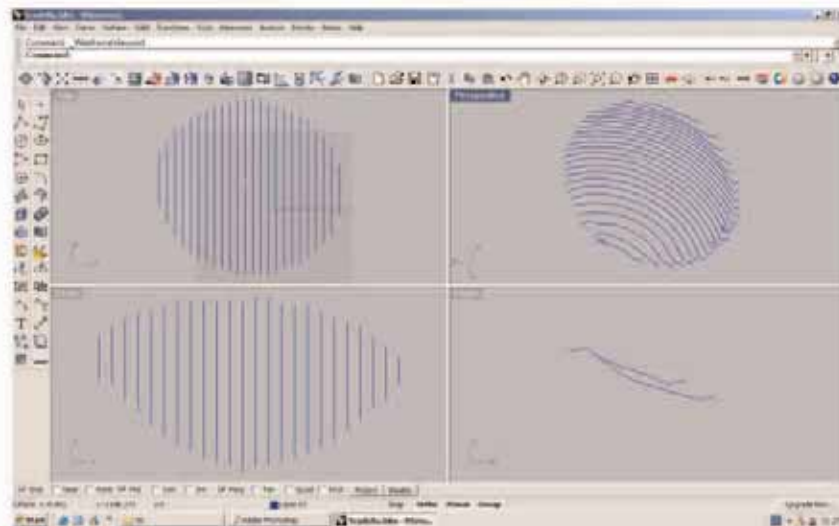




10



11



12

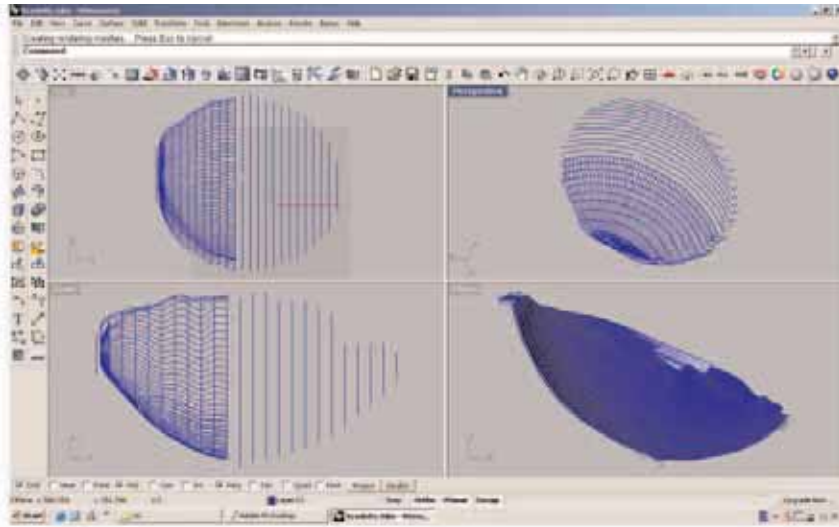
10 Visualizzazione della polisuperficie in modalità Wireframe Display e Rendered Display.

12 Visualizzazione delle sezioni.

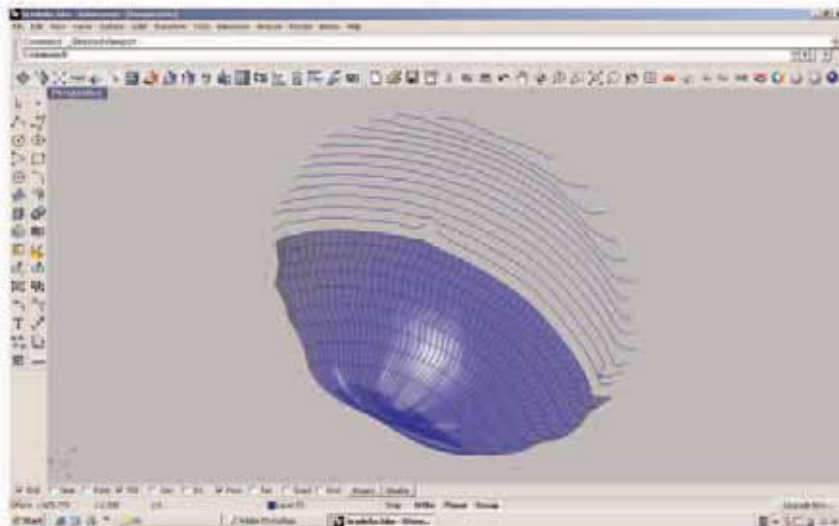
11 Realizzazione delle sezioni.



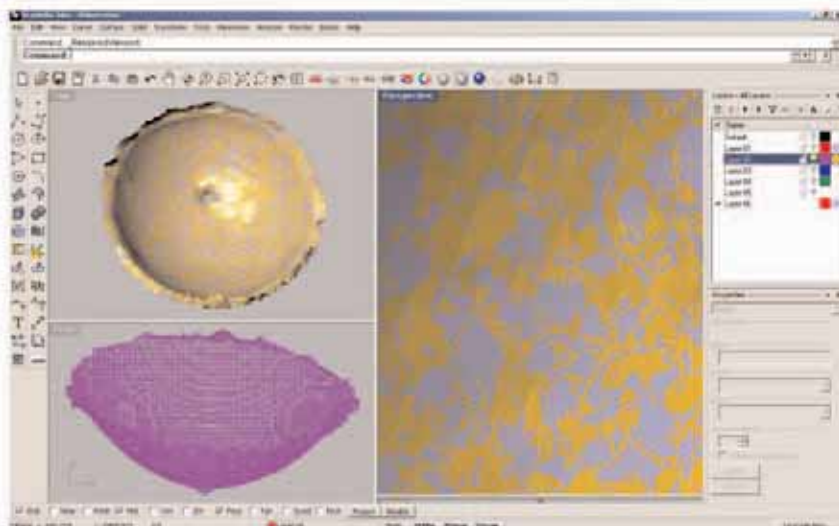
13



14



15



13 Realizzazione di una  
unica superficie NURBS.

14 Visualizzazione delle  
curve NURBS e  
Superficie NURBS.

15 Confronto tra super-  
ficie Mesh e superficie  
NURBS.

## Elaborazioni con il software Rapidform 2004

La nuvola di punti ripulita da tutti i dati non necessari viene importata nel software, e trasformata, attraverso il comando Triangulate 2D, in una superficie poligonale. La superficie ottenuta è contenuta in un Bounding Box (larghezza di 230,337mm, altezza 216,010mm, profondità 132,949mm), che contiene 17222 vertici e 33929 facce, la superficie poligonale è una Open Shell (superficie aperta), la cui area è di 57655,01694 mm<sup>2</sup> e il cui volume è 1520557,08724 mm<sup>3</sup>.

Una volta ottenuta la superficie mesh l'intento è stato quello di realizzare una superficie NURBS. Le metodologie scelte per ottenere tale superficie sono due: una attraverso la realizzazione di curve caratteristiche dalla superficie poligonale; l'altra attraverso la trasformazione della superficie mesh in superficie NURBS.

Attraverso il comando Slice<sup>18</sup> (Taglia) si sono effettuate delle curve di sezione lungo gli assi cartesiani x, y, e z.

Si è scelto di utilizzare il piano di sezione rispetta all'asse delle z perpendicolare ed ottenendo 30 curve di sezione.

La prima metodologia per realizzare la superficie NURBS tramite le curve di sezione, utilizza il coman-

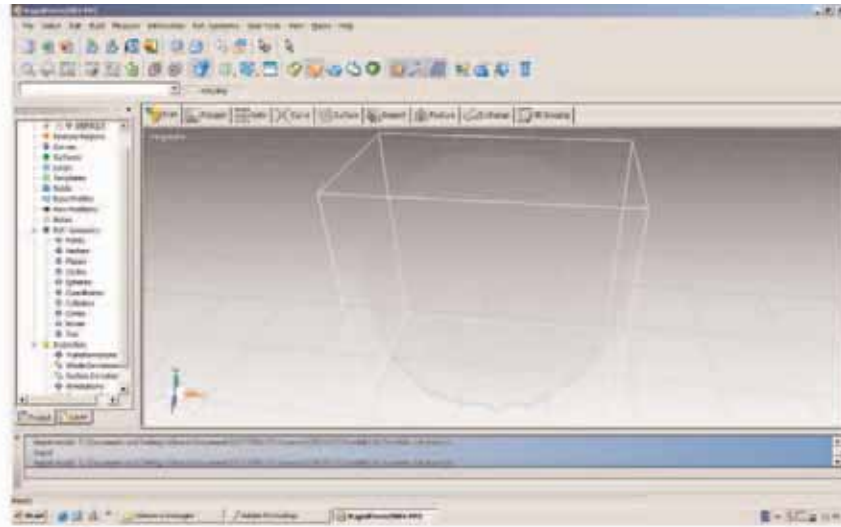
do Loft<sup>19</sup>, inserito nel modulo Surface. In questa procedura si è interagito con il software per la delineazione della superficie stessa utilizzando i comandi Resample Curves e Refit Curves<sup>20</sup>. Per interpolare tutte le curve è necessario realizzare due superfici con una parte sovrapposta.

L'altra metodologia utilizzata per realizzare le superfici NURBS è quella che trasforma la superficie mesh automaticamente. Il comando utilizzato, nel modulo Surface, è Auto Surfacing<sup>21</sup>. In questo caso si è realizzata una superficie NURBS senza modificare i parametri ed una modificando l'accuratezza della superficie da realizzare.

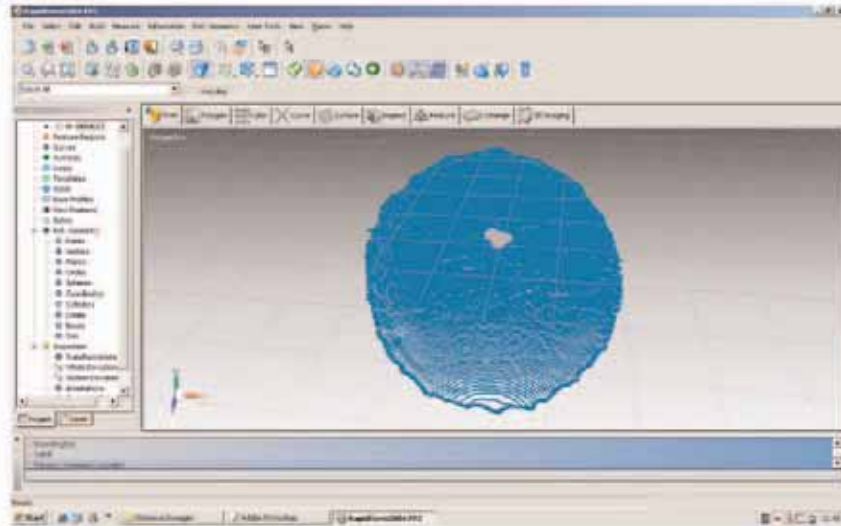
In questo secondo caso il risultato conseguito appare superiore sia del modello ottenuto con trasformazione automatica del modello mesh che di quello ottenuto attraverso l'utilizzo delle sezioni. Anche se mancano dei dati, questi possono essere integrati utilizzando le curve di sezione per colmare le lacune.



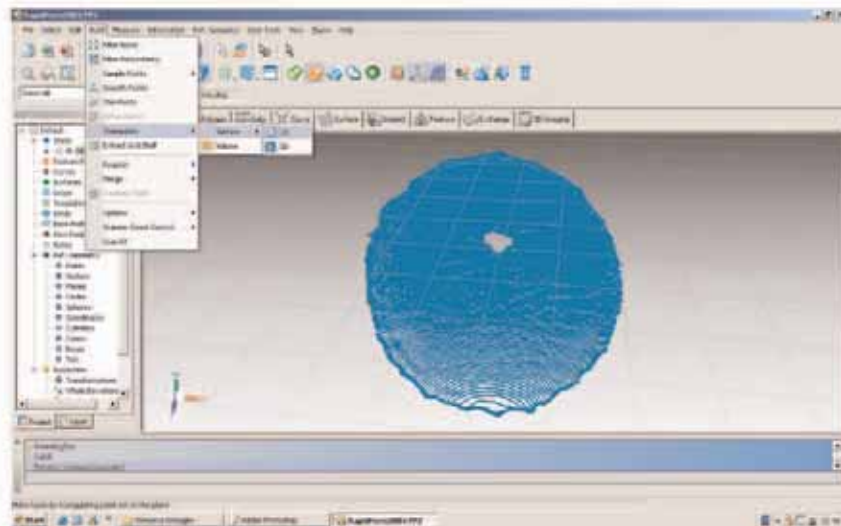
01



02



03



01 Interfaccia Rapidform 2004 e importazione del file con estensione ASCII.

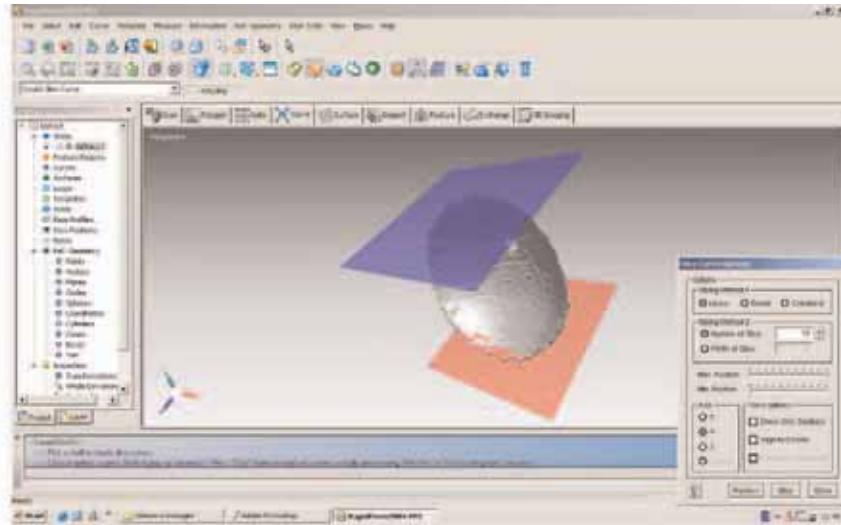
02 Evidenziazione della nuvola do punti.

03 Realizzazione della superficie mesh utilizzando il comando Built-Triangulate-Surface-2D dal modulo Scan.

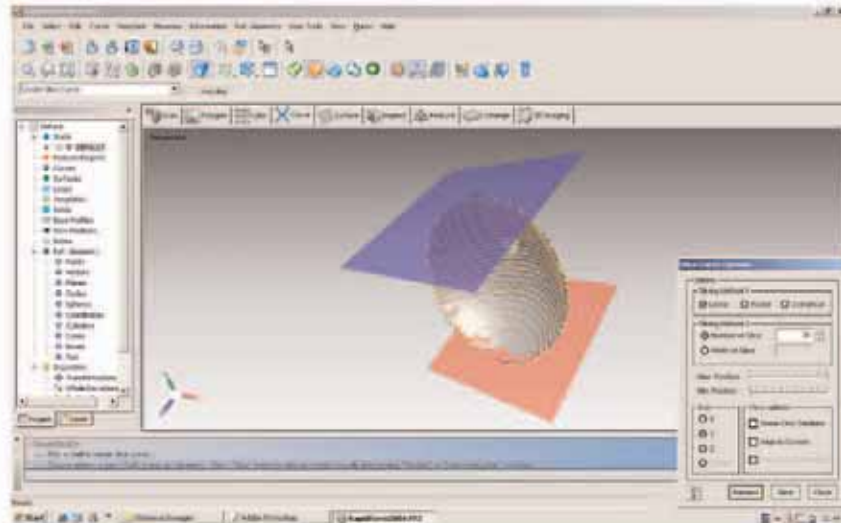




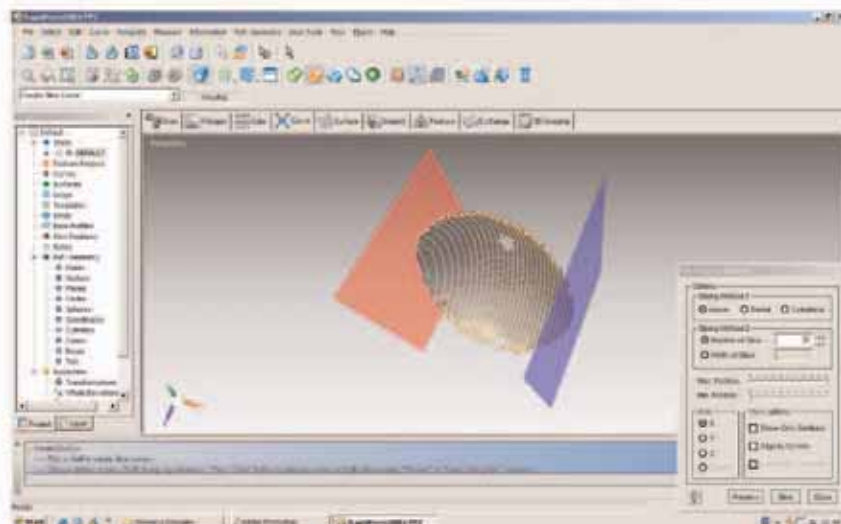
07



08



09

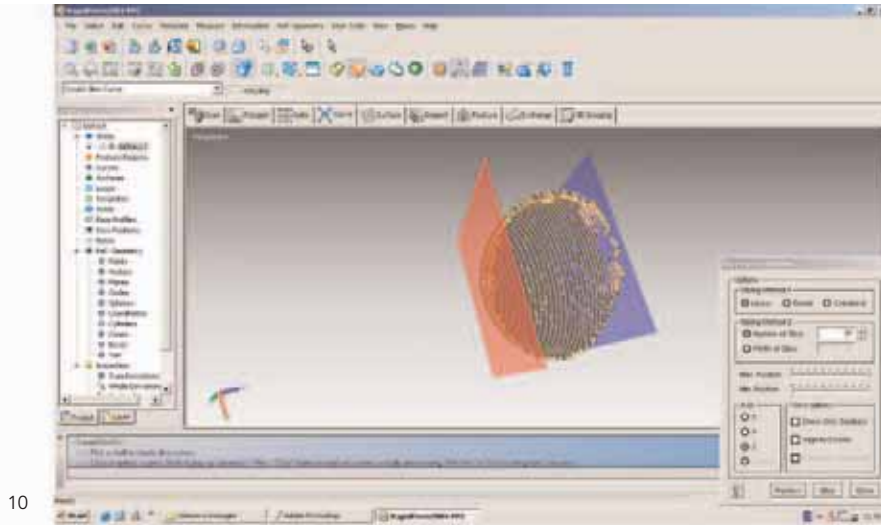


07 Individuazione delle sezioni lungo l'asse y.

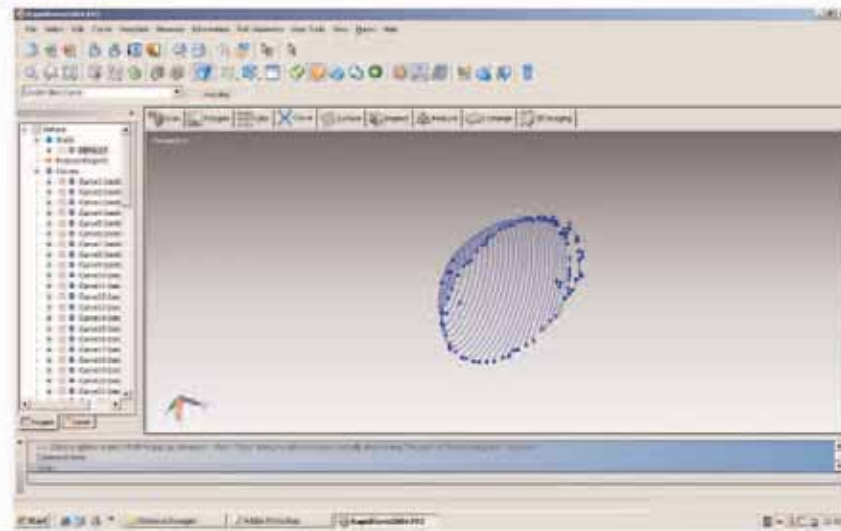
08 Sezioni lungo l'asse y.

09 Sezioni lungo l'asse

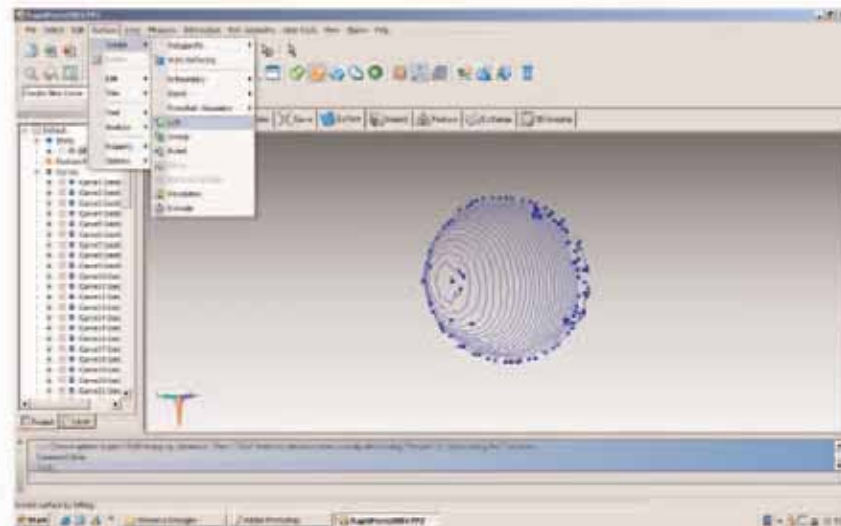
x.



10



11



12

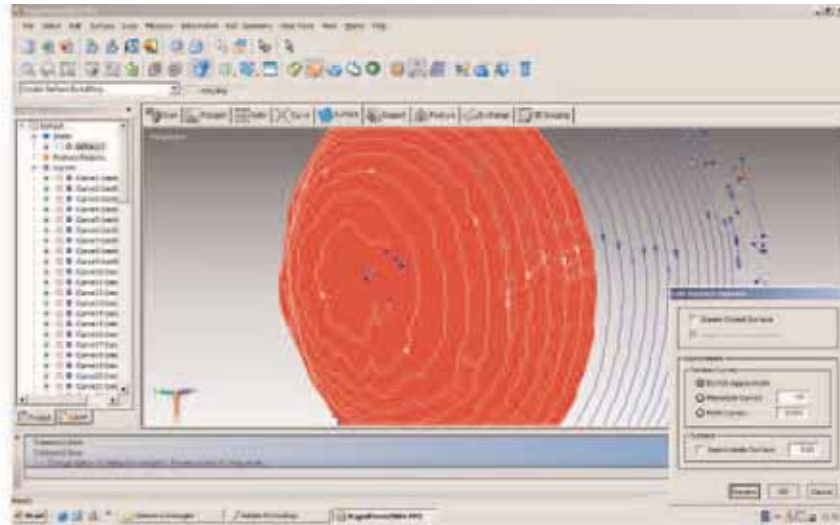
10 Sezioni lungo l'asse z.

11 Isolamento delle sezioni lungo l'asse z.

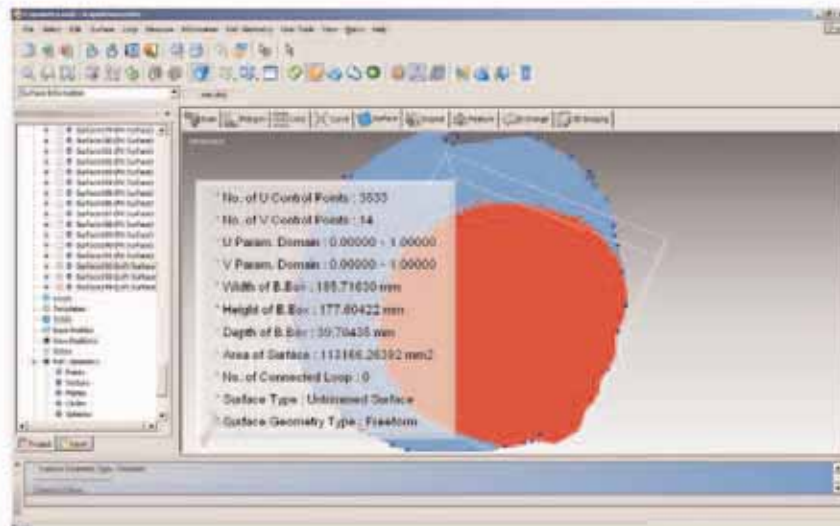
12 Preparazione delle

curve isolate per la realizzazione delle superfici NURBS attraverso il comando Surface>Create-Loft dal modulo Surface.

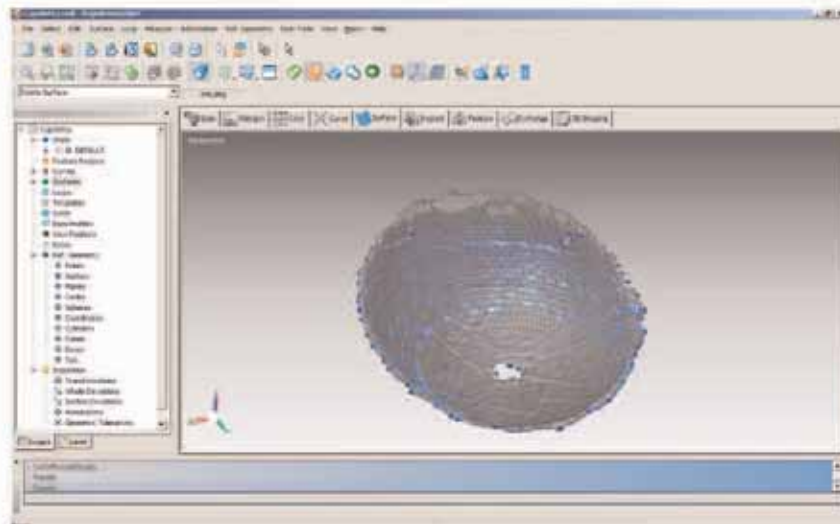
13



14



15



13 Interfaccia Loft con individuazione della maschera per la gestione dei parametri.

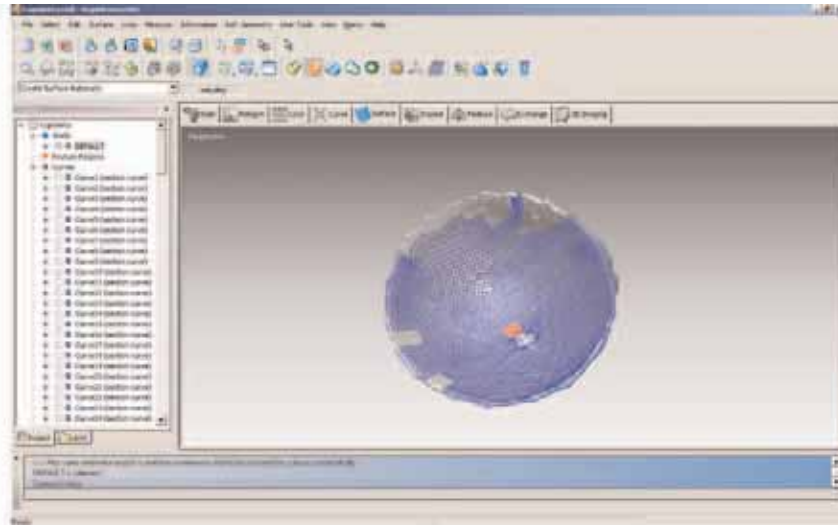
superficie NURBS contenuta all'interno della Bounding Box. ottenute.

14 individuazione delle informazioni inerenti la

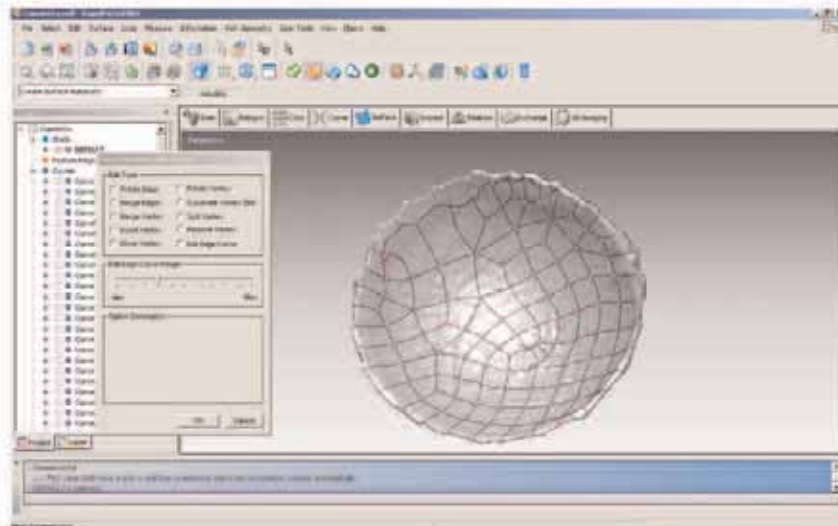
15 Confronto tra la superficie mesh e le superfici NURBS ora



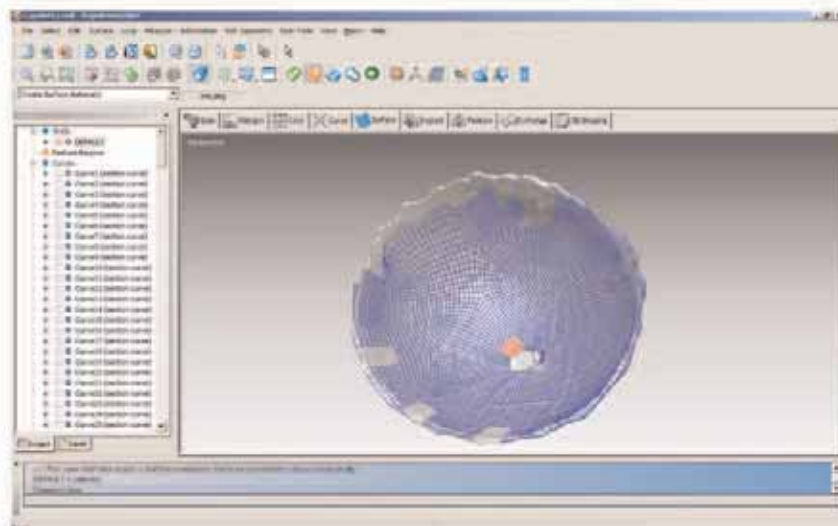
16



17



18



16 Realizzazione della superficie NURBS con il comando Surface>Create-Auto Surfacing dal modulo Surface e facendo realizzare una superficie in modo auto-

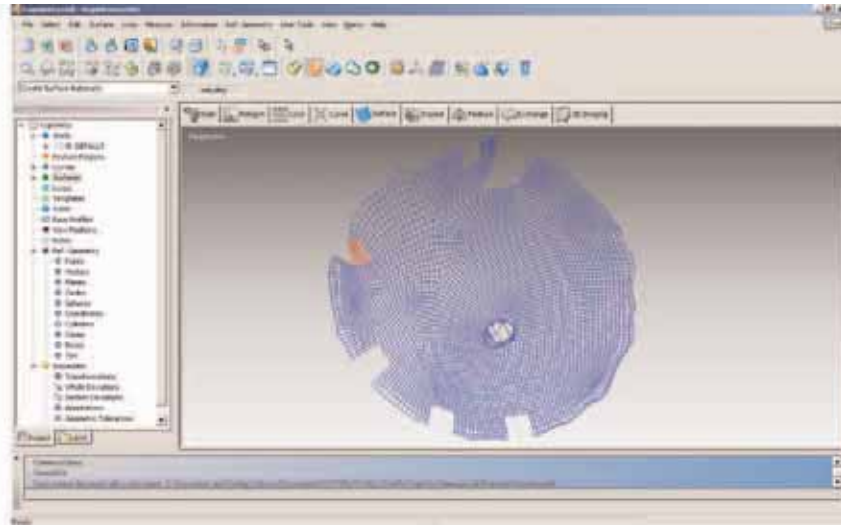
matico.  
17 Realizzazione della superficie NURBS con il comando Surface>Create-Auto Surfacing dal modulo Surface ma

interagendo con i parametri Fitting Accuracy e Geometry Capture Accuracy.  
18 Sovrapposizione della superficie NURBS

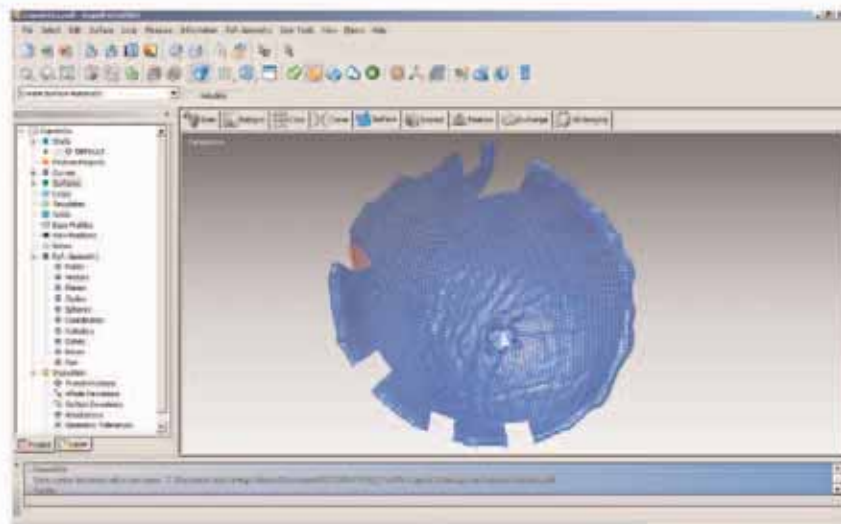
ottenuta con quella mesh



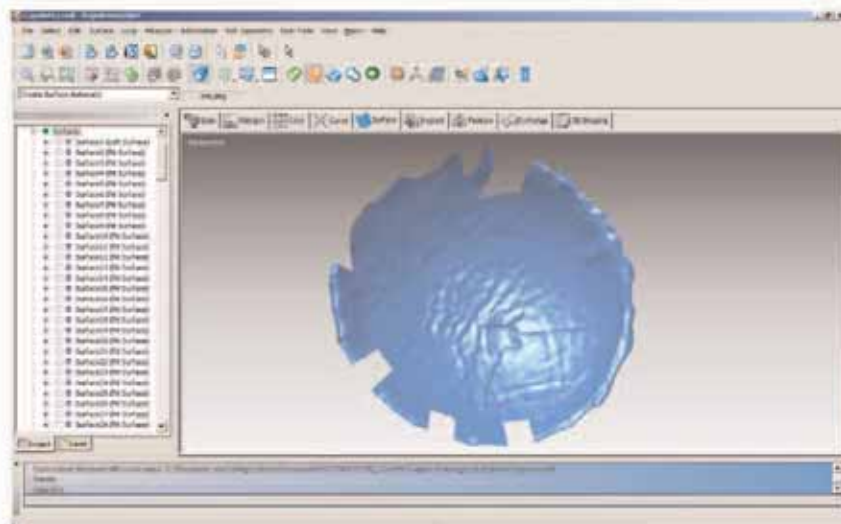
19



20



21



19 Superficie NURBS ottenuta.

21 Renderizzazione della superficie.

20 Renderizzazione della superficie con sovrapposizione curve NURBS.

## NOTE

<sup>1</sup> Nell'acquisizione, le informazioni di profondità (range map) sono ottenute dal sensore per ogni "vista" dell'oggetto e, se possibile, sono arricchite da informazione di colore.

<sup>2</sup> Un nuvola di punti strutturata è composta da una serie di coordinate 3D congiunte da una griglia bidimensionale e può essere visualizzata come un'immagine tridimensionale; nel caso si volesse effettuare processo di meshing (realizzazione di un reticolo di poligoni attraverso trilaterazione dei vertici) questo è immediato. Una non strutturata è costituita da punti nello spazio non organizzati (classico esempio è quello dello scanner TOF, in cui i punti si vanno a posizionare lungo il percorso del laser).

<sup>3</sup> Con Filter Noise si eliminano i punti generati da errori di misurazione, con Filter Redundancy si possono ridurre in modo uniforme il numero di punti in una nuvola composta da punti molto vicini o con molta sovrapposizione (overlapping) tra loro, con Sampling Points è possibile ottimizzare la riduzione dei punti della nuvola determinando la percentuale di riduzione, con Smooth Points si ottiene un miglioramento della rugosità superficiale.

<sup>4</sup> Possiamo quindi schematizzare il processo di registrazione in questi passaggi, che verranno ripetuti ad ogni iterazione: Input delle nuvole e del parametro scelto dall'utente; ricerca e selezione delle coppie di punti corrispondenti; minimizzazione delle distanze con calcolo della matrice di rototraslazione; riduzione del parametro di soglia per la ricerca dei punti più vicini; controllo della percentuale di variazione della matrice di rototraslazione.

<sup>5</sup> Nel metodo di registrazione con minimizzazione delle distanze con metodo punto-piano, ad ogni punto della nuvola mobile

viene associato un certo numero di punti dell'altra nuvola, ottenuti scegliendoli tra quelli più vicini alla normale uscente dal punto della nuvola mobile. Questi punti vengono utilizzati per fare un "best-fit", ossia trovare un piano che li approssima (col metodo dei minimi quadrati). Ogni punto della nuvola mobile si troverà così associato ad un piano (indicato con p) sulla nuvola fissa, la funzione obiettivo in tal caso sarà di minimizzare la somma dei quadrati delle distanze punto-piano di tutti i punti della nuvola mobile.

<sup>6</sup> Software (prodotto dalla coreana Inus Technology) di modellazione 3D, reverse engineering, per la gestione di nuvole di punti, utilizzato nelle parti sperimentali di questa tesi di dottorato.

<sup>7</sup> Vedi capitolo 5

<sup>8</sup> Vedi capitolo 5

<sup>9</sup> Vedi nota 2

<sup>10</sup> Lacuna

<sup>11</sup> Questo comando crea una mesh da punti selezionati o da una nuvola di punti.

<sup>12</sup> Questo comando converte ogni faccia poligonale in una superficie NURBS. Ciò vuol dire quindi che non converte l'intero modello mesh in un unico modello NURBS, ma in una polisurface NURBS.

<sup>13</sup> Superficie composta da più superfici NURBS.

<sup>14</sup> Attraverso questo comando si possono estrarre le curve imponendo un piano sezione; la sua direzione e il passo con cui il piano di sezione deve tagliare la superficie.

<sup>15</sup> Comando di interpolazione delle curve.

<sup>16</sup> Comando attraverso cui vengono create

delle superfici triangolari e loro relativa normale.

<sup>17</sup> Box rettilineo che contiene il modello tridimensionale acquisito dalla scansione.

<sup>18</sup> Il comando Slice, dal modulo (Curve Curve) permette di tagliare la superficie permettendo di decidere il metodo (lineare, radiale e cilindrico), il numero o la distanza delle sezioni, l'asse ed inoltre ammette una preview prima di mandare il comando.

<sup>19</sup> Comando che permette di interpolare le curve e di interagire con il programma nella definizione della superficie Nurbs

<sup>20</sup> Resample Curves permette di dare il numero dei punti di controllo, Refit Curves permette di dare regolare la tolleranza per gestire l'errore di distanza di ogni punto di controllo.

<sup>21</sup> L'Auto Surfacing crea automaticamente superfici patch e interagendo con le opzioni è possibile aumentare la definizione della superficie patch (patch, ovvero l'estensione delle spline, che approssimano curve continue, alle tre dimensioni)



# CASO DI STUDIO: LA CITTÀ DELLA SCIENZA

Massimo Pica Ciamarra

prima che "soluzione", il progetto è "tentativo":

.....Ma poi occorrono progettisti educati alla  
valutazione di progetti alternativi,  
"tentativi" fra cui scegliere quello che assume-  
rà caratteri di "soluzione".

(M.Pica Ciamarra, Lerici - Villa Marigola, 2002,  
in "Il disegno possibile: le discipline dei  
Disegno nei Corsi di Laurea in Architettura e  
Ingegneria e nei nuovi Corsi di Laurea")

## Descrizione della struttura (dati essenziali del progetto)

La superficie occupata dalla Città della Scienza e di circa 7 ettari, in una grande zona industriale a ridosso di Napoli.

Grande stabilimento siderurgico con fabbriche minori fino agli anni '80.

La superficie che investe circa 300 ettari di costa è compresa tra Coroglio e Bagnoli, territorio fortemente caratterizzato dal punto di vista paesaggistico e ambientalistico dai crateri dai Campi Flegrei. Il nuovo piano regolatore del 1991 e la successiva variante della zona occidentale del 1996, destinano a parco urbano e alla balneazione questa linea di costa.

Il complesso, costituito da un insieme di manufatti realizzati a partire dalla seconda metà del XIX secolo, ha caratterizzato fortemente la zona.

L'intervento iniziato nel 1998 ma da progetto del luglio del '93, si trova con lo stato dei luoghi modificato, con alcuni spazi utilizzati in via provvisoria, ed inaugurato nel novembre del 2001 con l'apertura del grande museo.

La Città della Scienza ha forma pressoché quadrangolare con i lati di circa 250 metri.

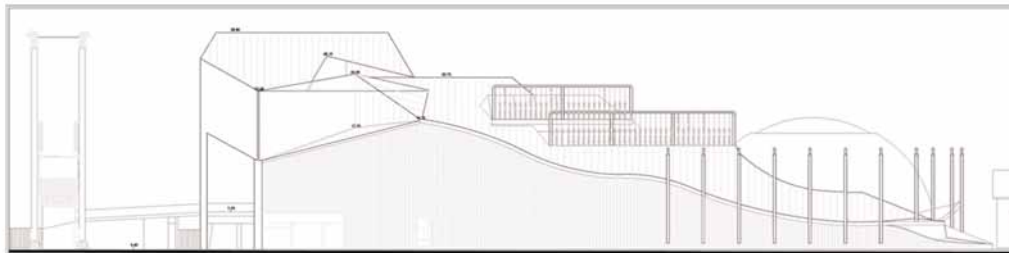
Confina ad ovest con il mare con una grande corte centrale, attraversata da un tratto di via Coroglio, che la divide in due grandi parti di dimensioni simili.

Sulla costa si affaccia il museo vivo della scienza, di circa 11.000 mq che comprende la Città dei bambini, un'area didattica, spazi per mostre temporanee a sud e un grande spazio aperto verso nord. Sono presenti sempre sul lato ovest il ristorante di circa 1.300 mq e degli uffici con servizi di accoglienza e spazi commerciali di circa 600 mq.

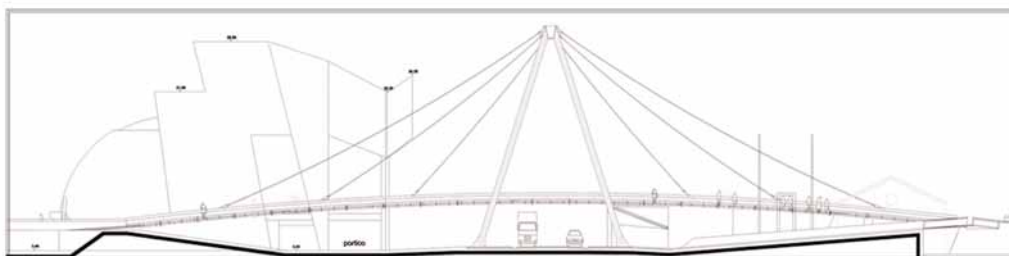
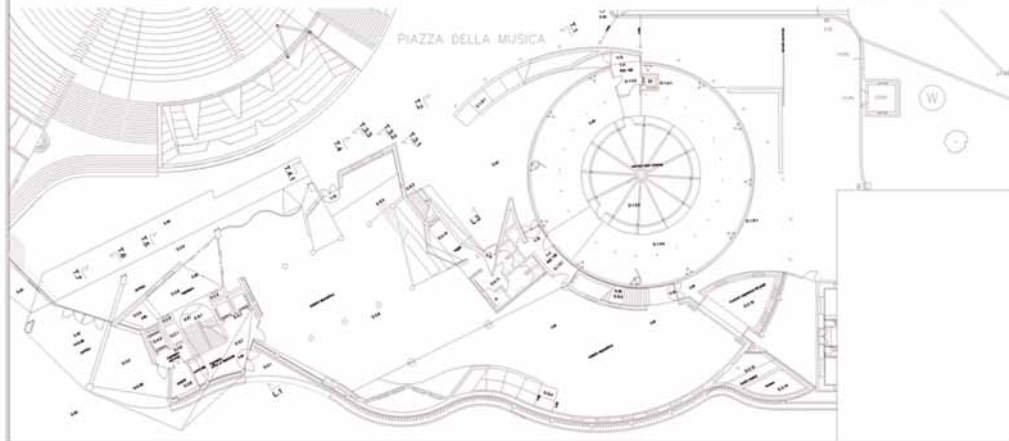
Sul lato est invece è presente una grande costruzione costituita da 17.000 mq, di cui 3.000 porticati, Spazio Eventi per circa 900 posti, una struttura su più livelli con uffici direzionali, area formazione e il laboratorio del B.I.C.

Sempre sul lato est è presente la cavea all'aperto ed altri edifici minori.

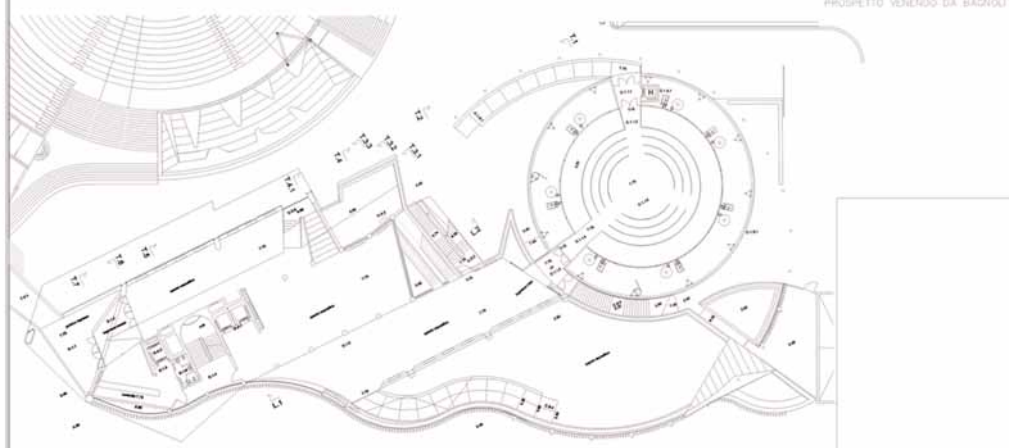
Nel complesso l'intervento investe circa 40.000 mq. per circa 220.000 mc. con una spesa di circa 65 milioni di Euro.



PROSPETTO SU VIA CORCULO



PROSPETTO VENENDO DA BAGNOI



1 La città della scienza.  
Pianta e alzati di progetto



## Descrizione della struttura (architettura e disegno urbano nella Città della Scienza)

La Città della Scienza, a Bagnoli (Na), recupera (riqualifica) sette ettari dell'immensa area industriale a ridosso di Napoli.

L'intento principale della progettazione era non soltanto quello della realizzazione di un museo attraverso un recupero ma anche la volontà di realizzare piccole trasformazioni dell'esistente immettendo un insieme di valori architettonici propri della contemporaneità.

Inizialmente l'area industriale si presentava come un contenitore, spaccata a metà dalla strada di Coroglio, collegamento tra Posillipo e Pozzuoli ed i campi Flegrei. Questa, a ridosso della costa, sviluppandosi con un orientamento nord-sud e chiusa da due muri e a ovest dal mare, con edifici industriali su entrambe i lati divideva in due parti l'area essenzialmente quadrata.

Prima volontà è stata quella di trasformare la separazione in unione dando alla strada un senso di "cortile" e, per l'appunto, lo spazio in cui via Caroglio attraversa la Città della Scienza, di circa 250 metri, si dilata il più possibile. I due terminali, nord-sud, sono individuati da tendoni di "viti maritate", a sud, con apertura verso il mare, e da una passerella pedonale, con stralli che provengono da 30 metri di altezza, sul lato opposto.

Questo ultimo sarà l'accesso principale e, tra le due porte, saranno presenti ampie aree pedonali con pavimentazioni in basalto.

Lungo il percorso delle "porte della conoscenza" (opera di Dani Caravan), ci si immette nella grande piazza, in cui svetta l'antica ciminiera, ulteriormente ampliata con struttura in vetro e acciaio, ottenuta dalla demolizione degli edifici esistenti.

La ciminiera, considerata il "periscopio virtuale", con alla sua base "il buco del mondo", danno l'illusione di vedere gli antipodi.

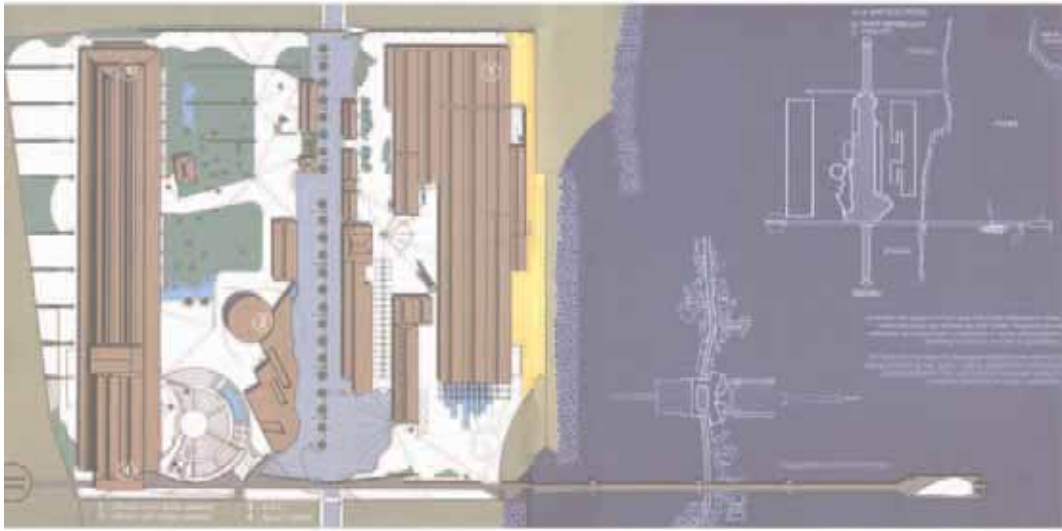
La parte ultimata che conserva continuità prospettica della copertura con annessi piani inclinati, "protesi" con diversa tecnologia, percorsi interni avvolgenti, quasi come un "nastro di Moebius", stabilisce forte contatto con il mare. L'articolazione dello spazio interno è costituita da: il Planetario, su cui si addossa una struttura totalmente in cristallo; le gradinate che facilitano una comunicazione di gruppo; il "muro d'acqua" che separa l'area destinata a mostre temporanee e introduce un particolare intorno sonoro.

Sul lato mare due elementi determinano una forte presenza paesaggistica: un'alta colonna circolare e un recinto con un grande ulivo isolato che si apre verso l'isola di Nisida.

Caratteristica molto forte di questa parte del complesso è la ricerca continua di fratture sui bordi.

Questa ultima caratteristica è presente anche sul lato nord attraverso una sequenza di capriate di copertura in cui alcune vengono lasciate libere in aria, mentre una parete vetrata inclinata a 45° penetra nelle vasche d'acqua che legano in continuità interno con esterno.

Caratteristica importantissima è stata quella della tensione ai principi bioclimatici, attraverso l'utilizzo di materiali specifici, il recupero delle acque piovane (innaffiamento, riserve antincendio, fontane ecc.), sistemi di ventilazione naturale e ibrida, disegno del verde. La Città della Scienza, nata nel 1993, prevede l'integrazione nel Grande Parco che, la variante di PRG, prevede lungo la costa attraverso l'eliminazione dell'alto muro di cinta che la isola, permettendo quindi la realizzazione di parcheggi e della connessione con il pontile per l'arrivo via mare



2 Il complesso della città della Scienza. Planimetria e viste d'insieme dell'area industriale di intervento

## Descrizione della struttura (logiche di sostenibilità)

La struttura, ex Vetreria Lefevre, poi fabbrica "Interconsortile", è un eccellente esempio di architettura industriale dell'800.

Il recupero della struttura, caratterizzato ulteriormente dal rapporto con il mare e dai Campi Flegrei, ha avuto un approccio fortemente ambientalista in cui con la volontà del recupero dell'arenile e del pontile e, attraverso questi due, del rapporto costruito-mare.

La continua ricerca ottenuta attraverso una interazione di molteplici sistemi, che coincidono con tutte quelle risorse proprie ed implicite dell'area, portano ad una qualità ambientale intesa non soltanto dal punto di vista paesaggistico e formale.

L'intera struttura del luogo entra a far parte della progettazione che parte da una analisi del substrato naturale e quindi proprio del luogo, al rapporto tra costruito e non, fino ad arrivare al rapporto tra edificio e quanti all'interno lo vivono.

L'intento è stato quello di realizzare un edificio che proponesse qualità ambientale e al contempo facesse parte del contesto, che interagisse con il luogo e che comunque avesse un elevato comfort per tutti i fruitori.

Proprio per questo nella Città della Scienza la volontà di ricerca di qualità ambientale si unisce a quel-

la delle esigenze funzionali, tecnologiche, che segnano fortemente il progetto architettonico.

Particolare attenzione è stata posta nella scelta di tutti i materiali, nel recupero dell'acqua piovana (riutilizzata per innaffiamenti, fontane, antincendio, circuito idrico non potabile), nel progetto del verde, nella protezione acustica, nella raccolta differenziata dei rifiuti, nella ventilazione naturale.

L'Analisi dell'insieme degli accorgimenti che sono concorsi nella realizzazione del progetto li possiamo individuare in:

**-energia** inerente l'involucro (massa termica, apporto solare, isolamento, luce naturale), fonti rinnovabili (vento, evaporazione dell'acqua per raffrescare gli ambienti, energia fotovoltaica, pompe di calore), illuminazione (sia naturale che artificiale naturalmente a basso consumo), comfort (riferito sia agli utenti che a quello delle esigenze di climatizzazione e quindi raffrescamento, riscaldamento, deumidificazione e ventilazione).

**-acqua** inerente raccolta e riuso di quella piovana e di quella marina desalata per evaporazione.

**-materiali** dal punto di vista della riciclabilità tossicità, consumo di energia per produzione e assemblaggio.

**-rifiuti** inerenti la raccolta differenziata e l'eventuale loro riciclaggio.

**-paesaggio** inteso sotto molteplici punti di vista tra cui microclima,

ambiente naturale per flora e fauna, pedonalità e tempo libero.  
-**trasporti** intesi nell'immediato nell'area di progetto ed inoltre con prospettive a lungo termine.  
-**inquinamento** acustico e del terreno.

Dalla elaborazione e interazione di tutti questi fattori, unite alle motivazioni progettuali portano alla trasformazione dell'impianto esistente.

Vengono introdotte trasparenze attraverso cui si stabilisce un rapporto tra sole e brezza marina ma anche spazi liberi e verde.

Quest'ultimo viene spesso utilizzato sotto forma di barriera visiva tra le parti dell'area, ed inoltre utilizzato in maniera sapiente per mitigare il rumore del traffico.

Il fattore energetico concepito sul principio della scatola nella scatola considera tutti i fattori sopra citati e quindi le variazioni climatiche esterne, gli apporti di energia solare, la ventilazione naturale e la scelta dei materiali.

Quelli che appartengono alla scatola esterna, scelti naturalmente per incrementare la massa termica e l'isolamento ed inoltre attenti all'impatto ambientale, sono costituiti da mattoni, tufo, legno e acciaio per le capriate e pannelli in legno silicizzato per quanto riguarda l'isolamento.

La pietra, sia naturale che ricomposta ed i materiali compatti e drenanti, sono stati scelti per le pavi-

mentazioni interne ed esterne. Altrettanta attenzione è stata riposta sul controllo del microclima interno dove anche grazie all'orientamento est/ovest la problematica maggiore deve essere affrontata nel periodo estivo.


Proprio per questo aspetto è stata posta particolare attenzione all'involucro esterno, progettato con l'intento di essere sensibile alle variazioni di temperatura esterna, ed alla forma dei lucernai.

La temperatura ed il microclima negli spazi abitati viene ottimizzata in inverno con il riscaldamento di serpentine sottopavimento che, abbassando la temperatura ad una consistente massa termica opportunamente isolata, riducono la dispersione di calore verso l'alto.

Per quanto riguarda il raffrescamento estivo non è prevista immissione di acqua refrigerata nelle serpentine ma della sola ventilazione naturale, con innesco automatico negli spazi pubblici, mentre manuale negli spazi più piccoli. Nel fianco ovest del museo, che si affaccia verso il mare, sono presenti grandi vetrate protette con tende scorrevoli in acciaio, con movimento elettrico.

Ambienti come il planetario o piccole aule illuminate da camini di sole sono stati dotati di impianti di tipo tradizionale.

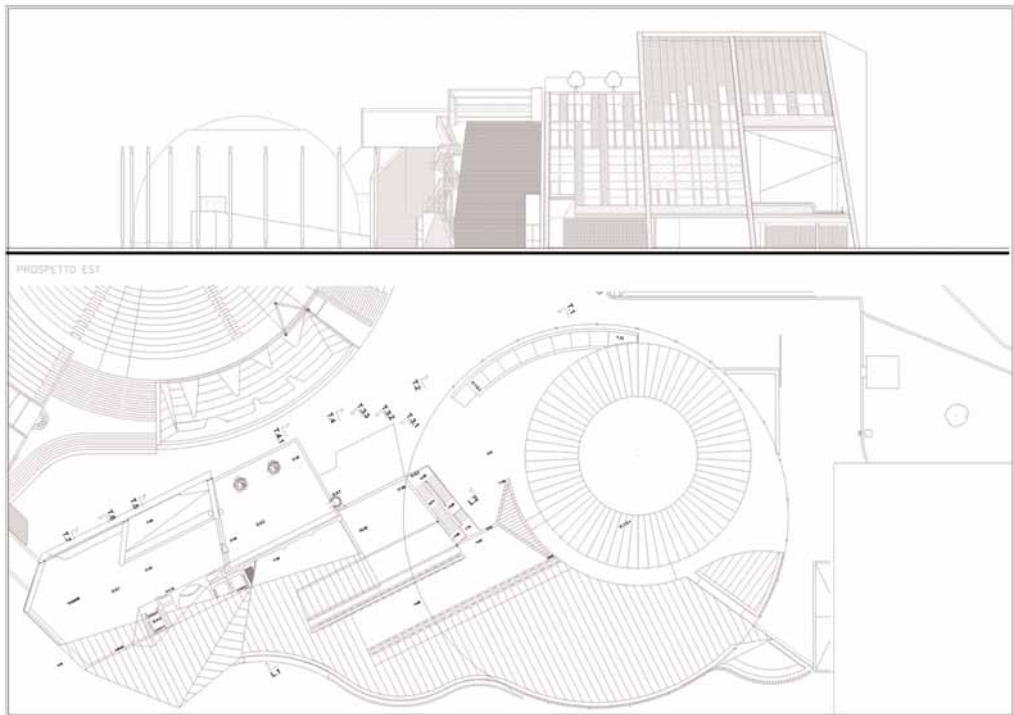
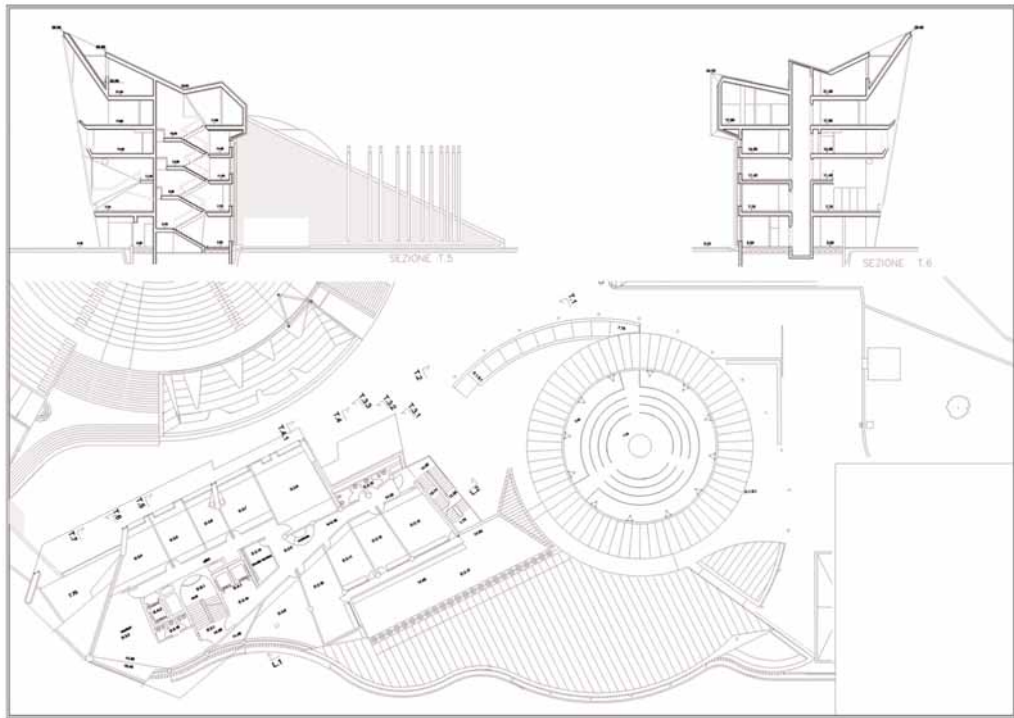
Mentre nell'edificio del B.I.C. il fianco ovest è protetto dagli alberi dello spazio verde posizionato a monte della strada/corte.



In tutto l'insieme viene comunque realizzato un sistema articolato ma tutto sommato abbastanza semplice che permette un corretto scambio di aria tra interno ed esterno accompagnato da un sufficiente ricambio d'aria che determinano un elevato benessere.

Caratteristica fondamentale e che l'insieme delle soluzioni consente un risparmio energetico (caldo/freddo) ed illuminazione pari al 25 % del consumo tradizionale di spazi di pari dimensioni e prestazioni.





3 La città della scienza.  
Sezioni, alzati e pianta  
dell'intervento

## Descrizione della struttura (il programma di progetto)

Il recupero e la riqualificazione dell'area industriale che insiste su una superficie di 70.000 mq ha dovuto confrontarsi con la necessità di ridefinizione dello spazio dal punto di vista tipologico, in quanto la Città della Scienza non è soltanto un'area espositiva ma un insieme di funzioni interattive e interagenti che si accompagnano a quella espositiva come attività formative, culturali, convegnistiche e strutture di supporto come negozi, parcheggi e strutture per la ristorazione.

Nella progettazione si è naturalmente conservata la testimonianza del passato, soprattutto nell'edificio che ospita il Science Centre, attraverso l'uso di materiali caldi quali mattoni e legno, oltre che i segni delle lavorazioni del passato come il verde del solfato di rame presente sui pilastri.

Presenza forte e quella della vecchia ciminiera che identificano questi "contenitori" come luoghi produttivi di sapere, lavoro e conoscenza.

Questi spazi "contenitore" che si trascinano il senso del passato si alternano con nuovi spazi all'aperto che sono stati concettualmente considerati con il senso della piazza o dell'agorà.

L'intento principale quindi è stato quello di creare un sistema intrecciato tra aree di produzione quali

uffici, musei ecc. con luoghi aggregativi (quello sul mare molto panoramico, quello antistante il B.I.C. molto verde, il grande anfiteatro, le cinque piccole agorà all'interno del Science Centre).

05  
04 06



07



4-5 La città della scienza, Viste dell'interno del Museo vivo della scienza

6 Immagine della Cavea del Museo del corpo

umano

7 Immagine della fontana alle spalle della Cavea



Città della Scienza

# ELABORAZIONE DEI DATI

## CASO DI STUDIO ED ELABORAZIONE DEI DATI

### *Metodologia*

La metodologia scelta nell'acquisizione ed elaborazione del modello di studio è stata così articolata:

Campagna di acquisizione dei dati 3D;

Elaborazione dei dati 3D;

Analisi di un duplice modello digitale 3D, ottenuto dalla nuvola di punti acquisita, utilizzando due software differenti, uno un modellatore puro, l'altro una piattaforma per la gestione e trasformazione delle nuvole di punti;

Confronto tra i le due procedure per il raggiungimento delle sezioni;

Confronto tra le sezioni ottenute e quelle dei disegni di progetto.

### *Descrizione dell'attività*

Lo scopo dell'acquisizione è stato quello di raggiungere delle geometrie NURBS, sia curve che superfici, attraverso la trasformazione del modello acquisito dallo scanner laser.

Anche in questo caso l'obiettivo è stato quello di individuare un approccio metodologico, che possa permettere un controllo geometrico tra la rappresentazione bidimensionale e il modello fisico realizzato in fase di progettazione.

La scelta effettuata è stata quella di acquisire la nuvola di punti, e successivamente elaborare da questa

le sezioni, attraverso delle curve NURBS, utilizzabili per lo studio delle geometrie del progetto.

I software scelti sono Rapidform 2004<sup>1</sup> e Rhinoceros 3.0<sup>2</sup>.

In entrambi i casi si è passati dalla nuvola di punti al modello geometrico poligonale. Successivamente si è analizzato il modello geometrico poligonale e, poi, si è passati alle NURBS.

### *Modello di studio*

Dati generali dell'oggetto

Le dimensioni del plastico sono di 80x80 cm. La superficie da analizzare e scansionare si presenta abbastanza disomogenea, nel senso che non esiste continuità da parte del materiale. I materiali presenti sono poliplat, balza, carta, cartoncino e plastica.[immagini 1-2]

Lo scanner utilizzata è stato il VIVID 700

### *Scansioni*

Per l'acquisizione del modello in oggetto è stato effettuata una programmazione delle prese in modo tale da ridurre al massimo le scansioni, a causa della disomogeneità del modello, e la sovrapposizione delle range map per la registrazione del modello non è stata non inferiore del 40%

Si sono effettuate più prese preparatorie per l'acquisizione del modello di quelle stimate in quando lo scanner non riusciva ad acquisire un numero di dati utili per essere processati.

Una volta ottimizzati tutti i parametri di acquisizione si è effettuata la scansione.





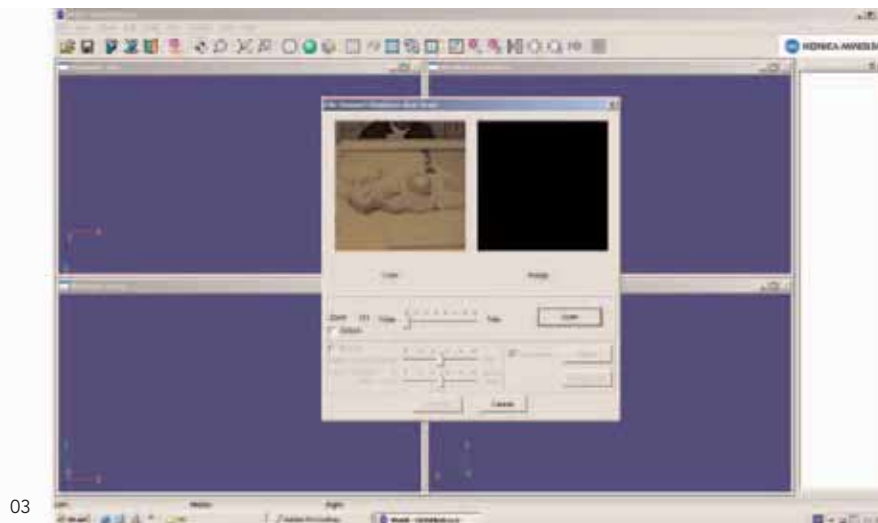
01



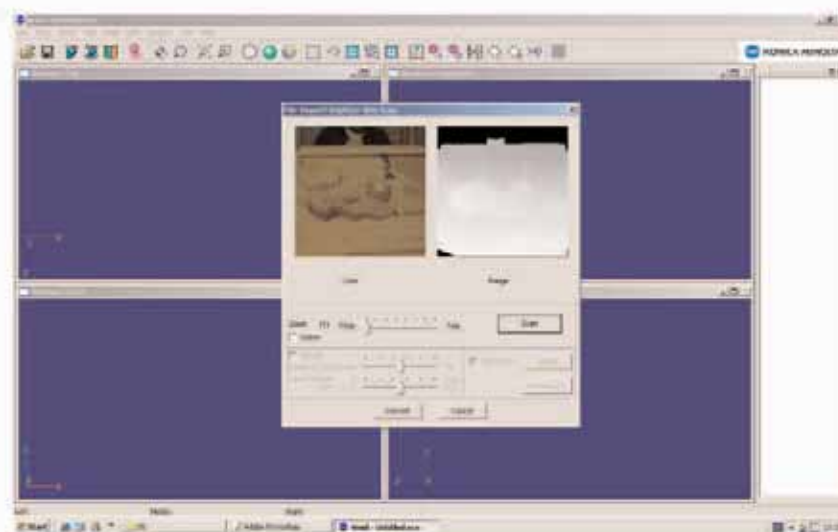
02

1 Fotografia del plastico

2 Fotografia del plastico



03



04



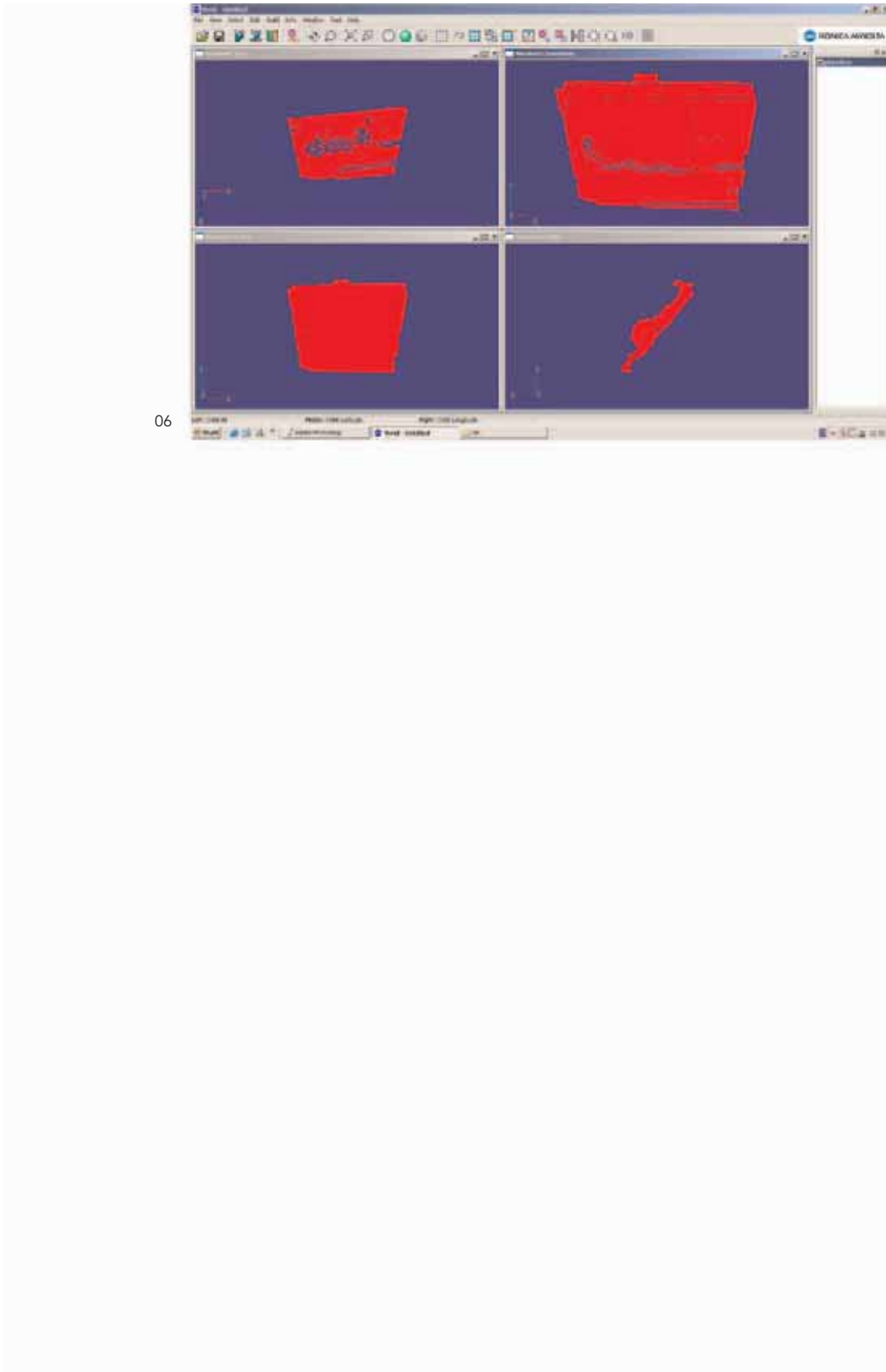
05

3 Interfaccia con il Software di acquisizione Polygon Editing Tool V.1.22, in cui è inquadrato l'oggetto da acquisire.

4 Impostazione dei parametri di acquisizione e l'acquisizione scelta è di tipo automatico. Nella finestra di dialogo è presente la preview di acquisizione del modello.

5 Importazione del modello acquisito all'interno di una cartella desiderata e individuazione dei parametri di

acquisizione in cui viene scelto di non importare poligoni (Reduction Rate), di non chiudere i buchi (Fill Holes), di non eliminare nulla e di non filtrare la scansione



(Filter: None).

6 Visualizzazione della nuvola di punti dalle finestre di dialogo.

## Elaborazioni con il software Rhinoceros

La nuvola di punti ottenuta viene importata nel software con un numero di punti pari a 34214.

Il passaggio successivo è stato quello di trasformare la nuvola in una mesh attraverso il comando MeshFromPoints<sup>3</sup>.

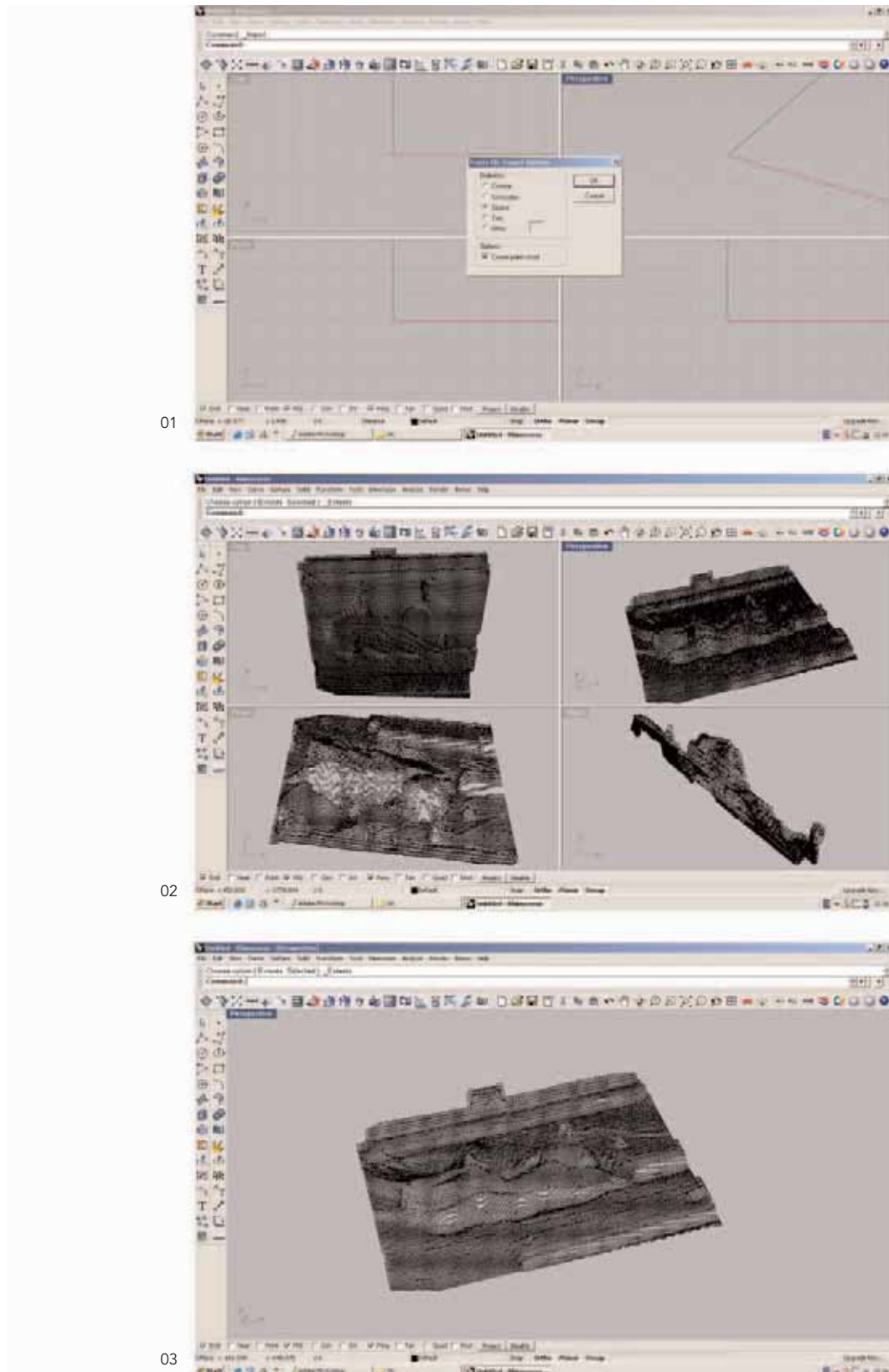
Si crea così un reticolo mesh aperto costituito da 11325 vertici e 21852 poligoni con relative normali.

Il passaggio successivo è stato quello di realizzare una superficie NURBS dalla superficie poligonale utilizzando il comando MeshToNurb<sup>4</sup>.

Si ottiene così una polisuperficie<sup>5</sup> aperta costituita da 21852 superfici, e la stessa, per essere renderizzata, ha la Render mesh costituita da 21852 meshes, 361011 vertici e 317884 poligoni.

Successivamente dalla polisuperficie sono state estratte le sezioni, attraverso il comando Contour<sup>6</sup>, con passo costante.

Si ottengono in questo modo circa 100 curve NURBS a passo costante.

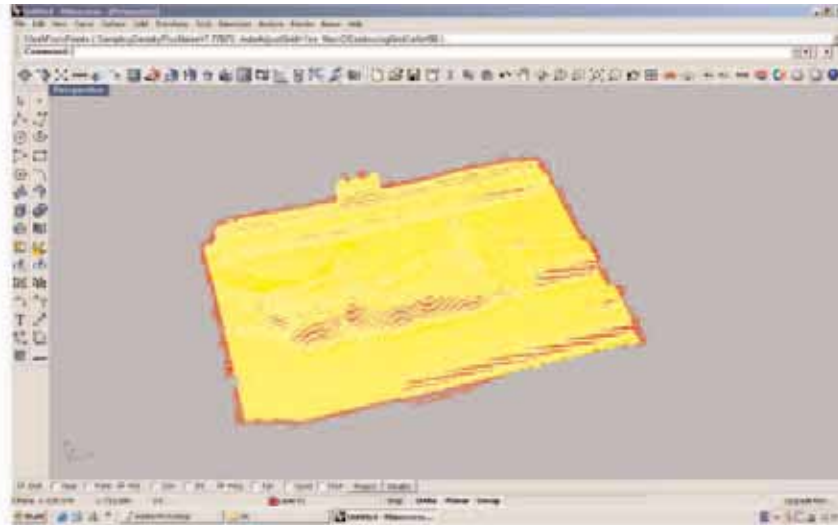


1 Interfaccia Rhinoceros e importazione del file con estensione ASCII.

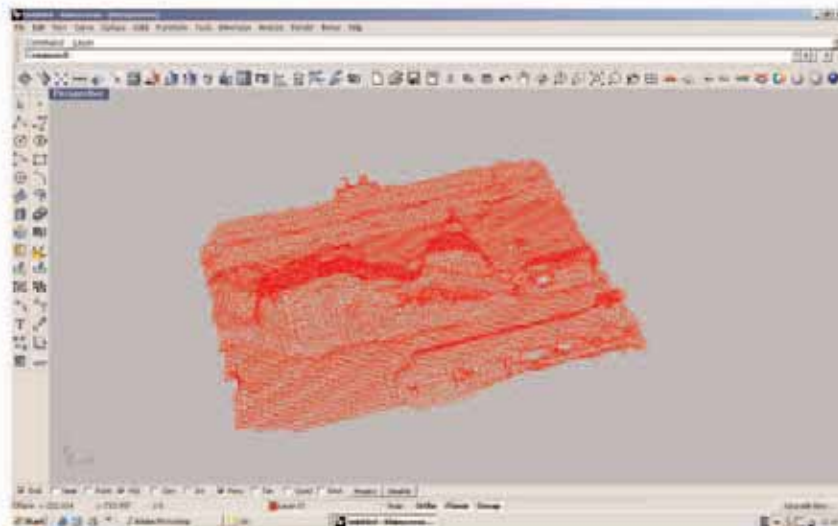
2 Visualizzazione della nuvola di punti ottenuta

dalla scansione nelle quattro finestre di dialogo.

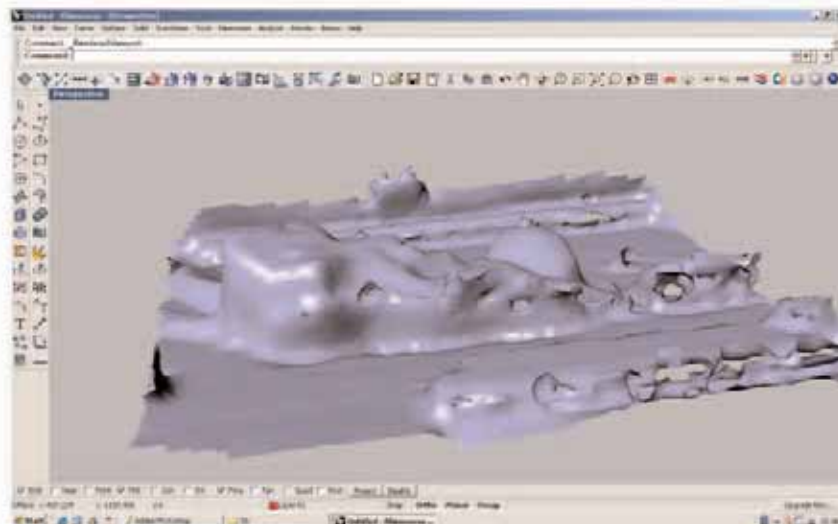
3 Visualizzazione della nuvola di punti nella finestra perspective.



04



05



06

4 Trasformazione della nuvola di punti in una superficie poligonale (mesh) attraverso il comando MeshFromPoints.

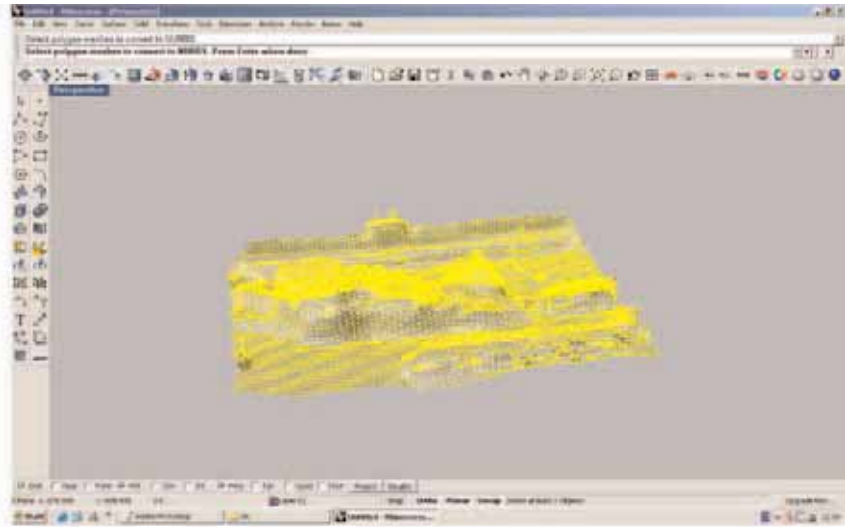
5 Visualizzazione del modello poligonale ottenuto in modalità Wireframe Display.

6 Visualizzazione del modello poligonale

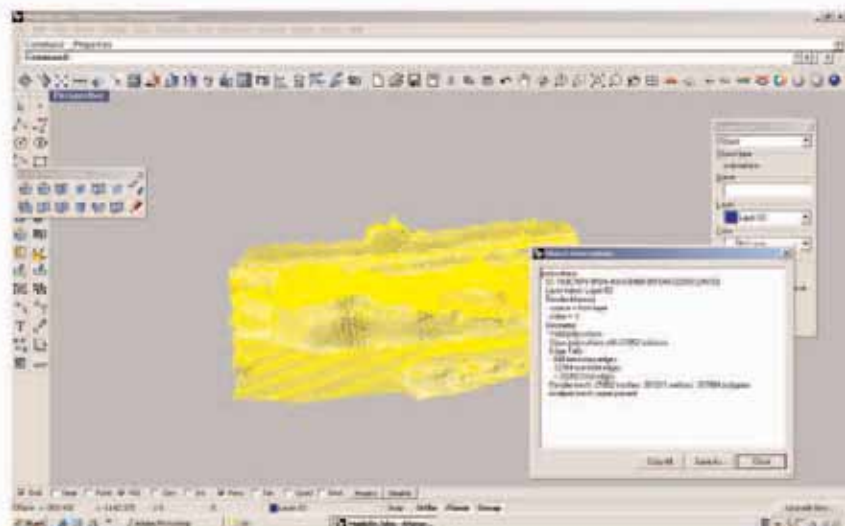
ottenuto in modalità Rendered Display.



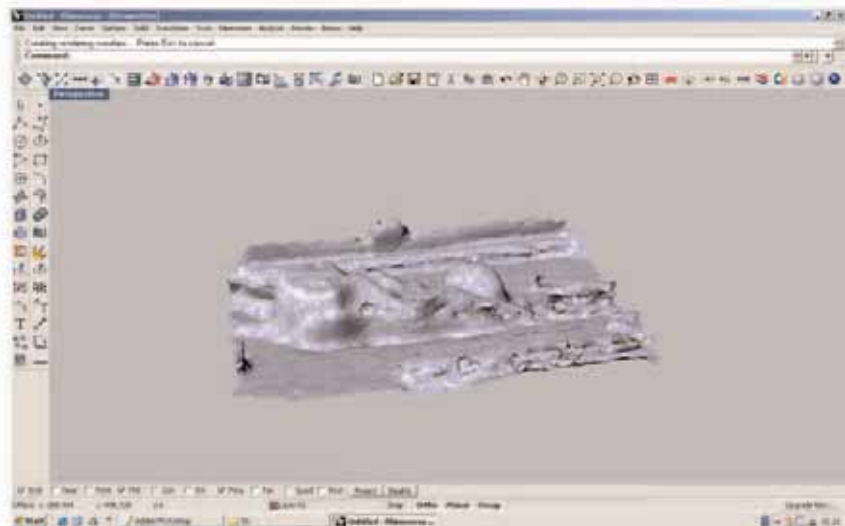
07



08



09



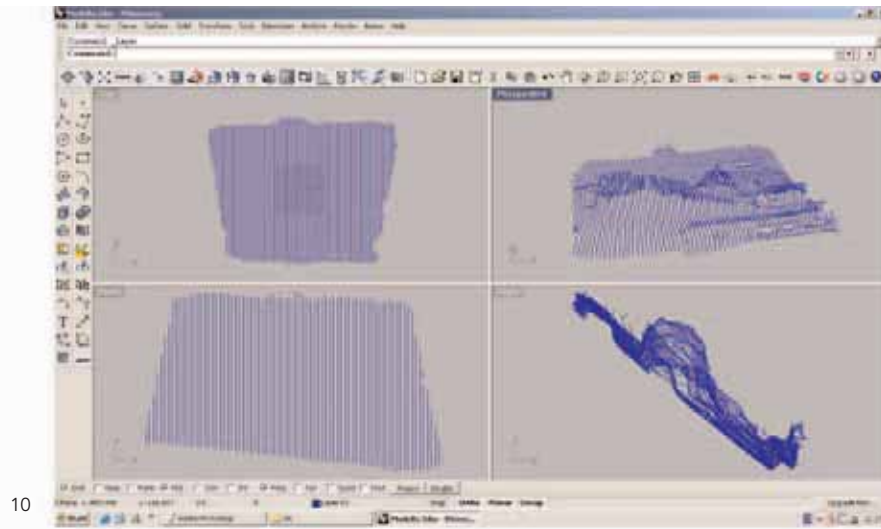
7 Trasformazione della superficie mesh in una polisuperficie NURBS ottenuta e attraverso il comando MeshToNurb.

8 Visualizzazione della

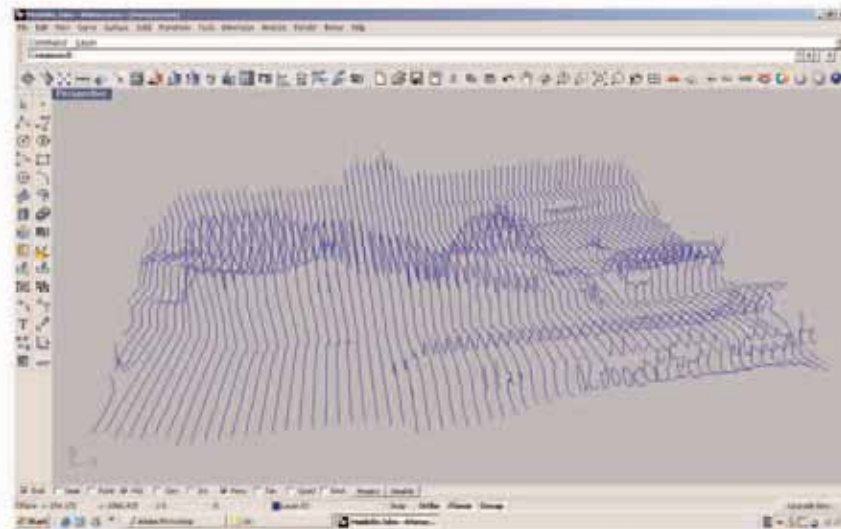
polisuperficie NURBS ottenuta ed i relativi parametri.

9 Visualizzazione della polisuperficie in modalità Rendered Display.





10



11

11 Visualizzazione delle sezioni nelle quattro finestre di dialogo.

12 Visualizzazione delle sezioni nella finestra Perspective.

## Elaborazioni con il software Rapidform 2004

La nuvola di punti viene importata nel software, ed è contenuta in un Bounding Box<sup>7</sup> (larghezza di 747,341mm, altezza 582,139, profondità 450,956), che contiene 34213.

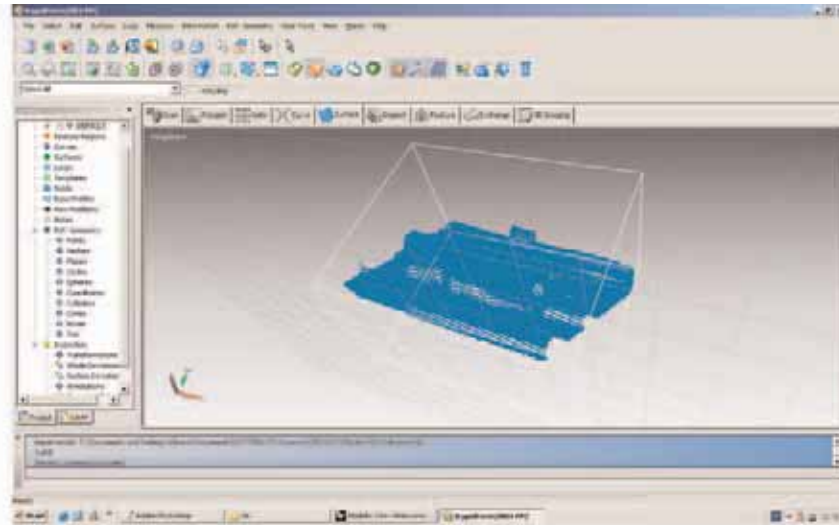
Viene trasformata, attraverso il comando Triangulate 2D<sup>8</sup>, in una superficie poligonale. Le opzioni scelte sono state quelle di orientare le z in maniera negative rispetto al sistema di riferimento (quello della scansione).

La superficie poligonale ottenuta contiene: un modello, 34213 vertici e 65207 facce, la cui area è di 570393,55563 mm<sup>2</sup> e il cui volume è 4980476,93045 mm<sup>3</sup>.

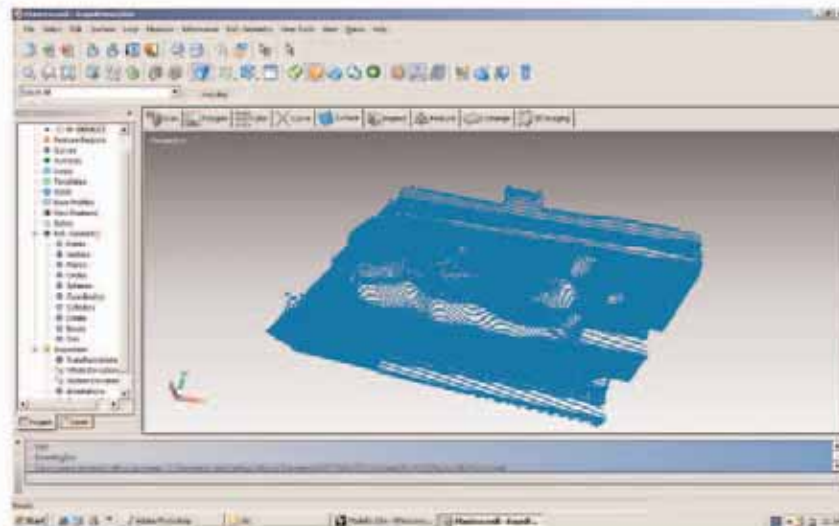
Attraverso il comando Slice<sup>9</sup> (Taglia) si sono effettuate delle curve di sezione lungo gli assi cartesiani x e y.

Si ottengono 243 curve di sezione. Si utilizzano le curve di sezione lungo l'asse delle x per generare il modello NURBS utilizzando il comando Loft<sup>10</sup>, inserito nel modulo Surface, scegliendo l'opzione Do Not Approximate<sup>11</sup>.

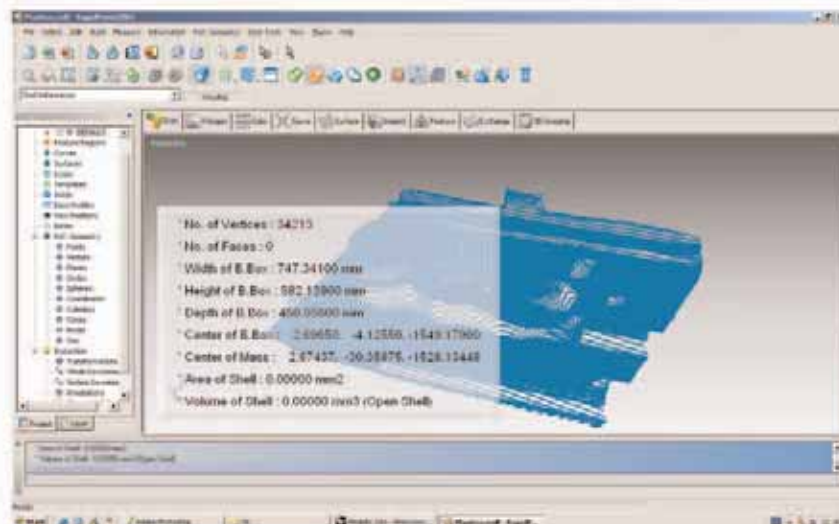
01



02



03

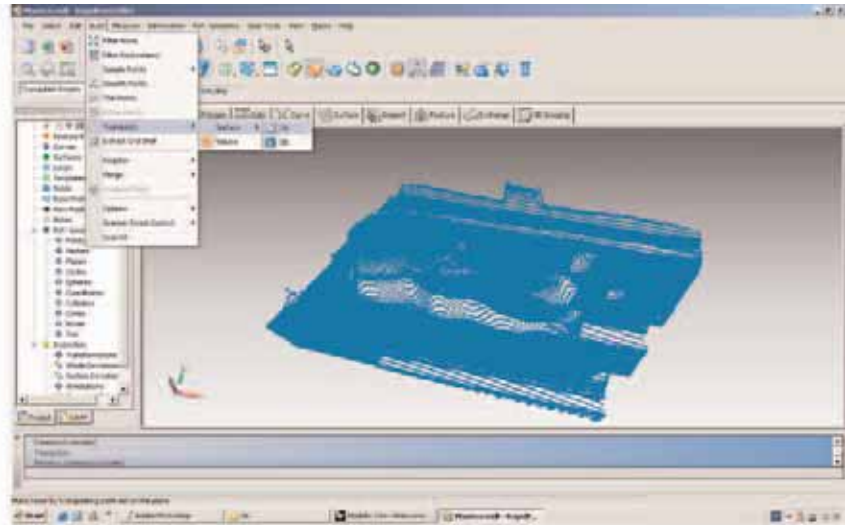


1 Interfaccia Rapidform 2004 e importazione del file con estensione ASCII, la nuvola di punti è contenuta all'interno della Bounding Box.

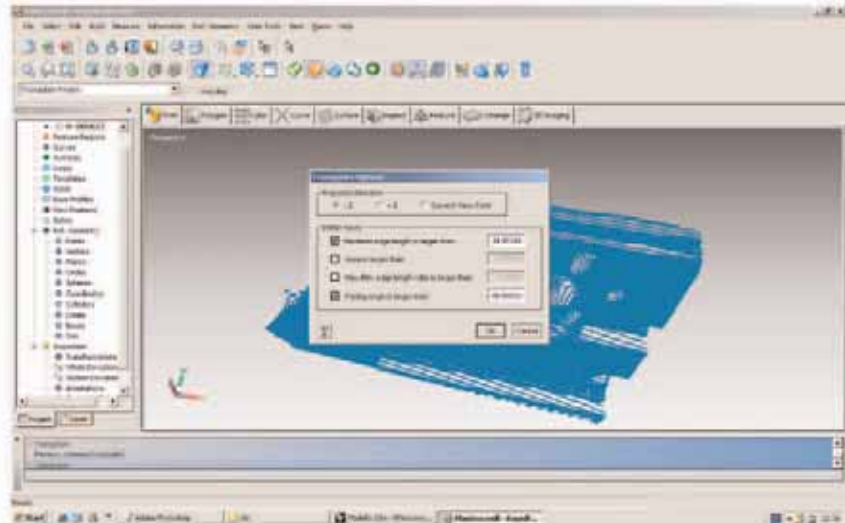
2 Evidenziazione della nuvola do punti.

3 Evidenziazione della nuvola do punti con la schermata dei riferimenti geometrici.

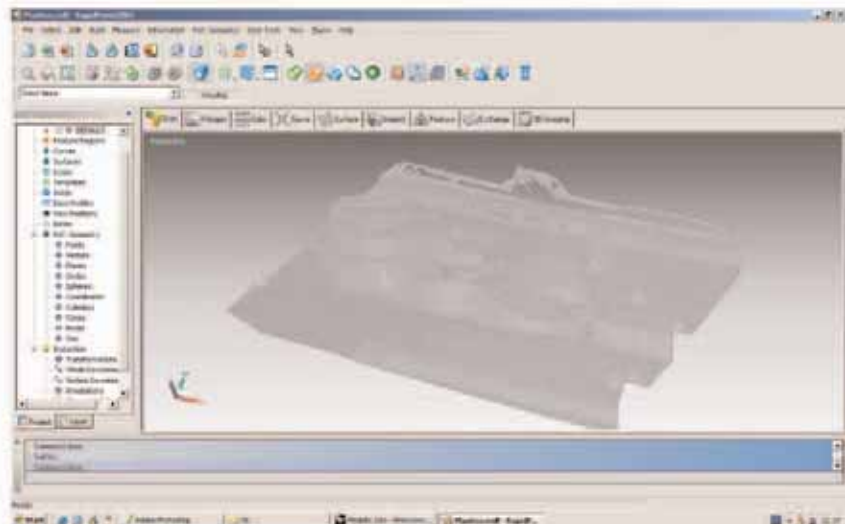
04



05



06



4 Realizzazione della superficie poligonale attraverso il comando Build-Triangulate-Surface-2D.

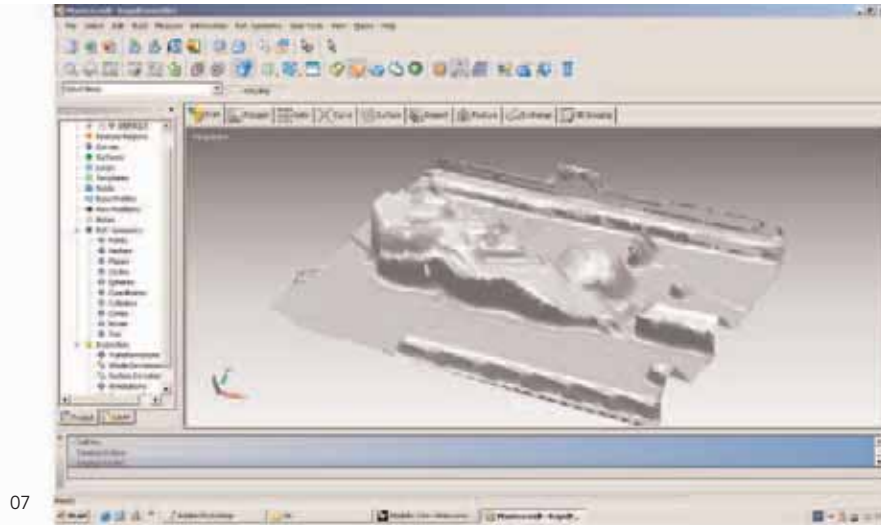
5 Superficie poligonale

ed evidenziazione dell'orientamento delle z.

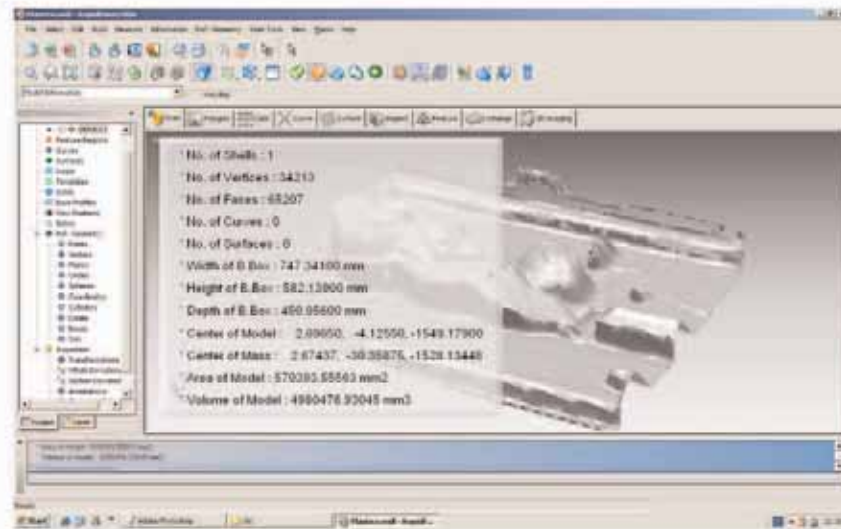
6 Superficie poligonale.



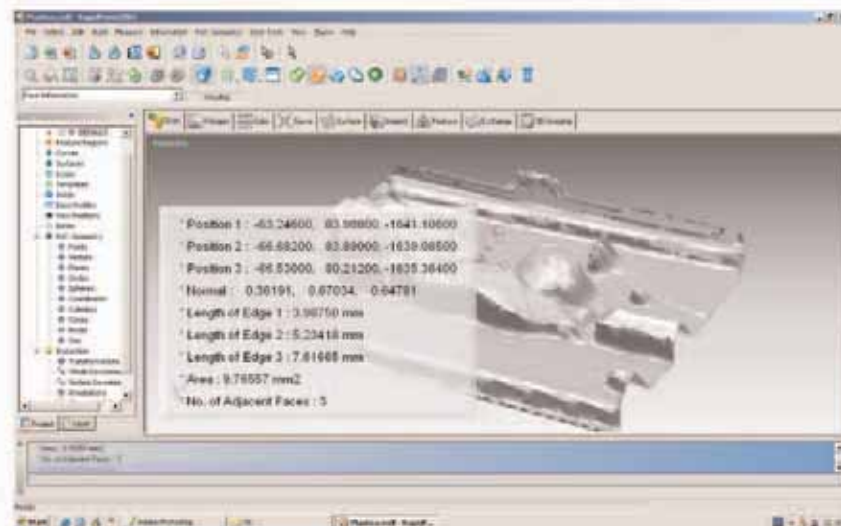




07



08



09

7 Superficie poligonale in modalità Shaded.

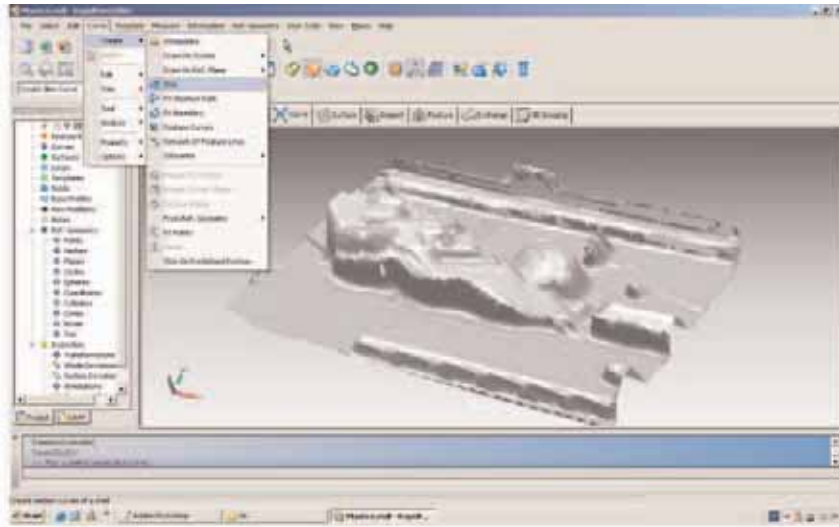
l'area del modello e del volume dello stesso.

8 Evidenziazione sul modello ottenuto del numero vertici, del numero delle facce, del-

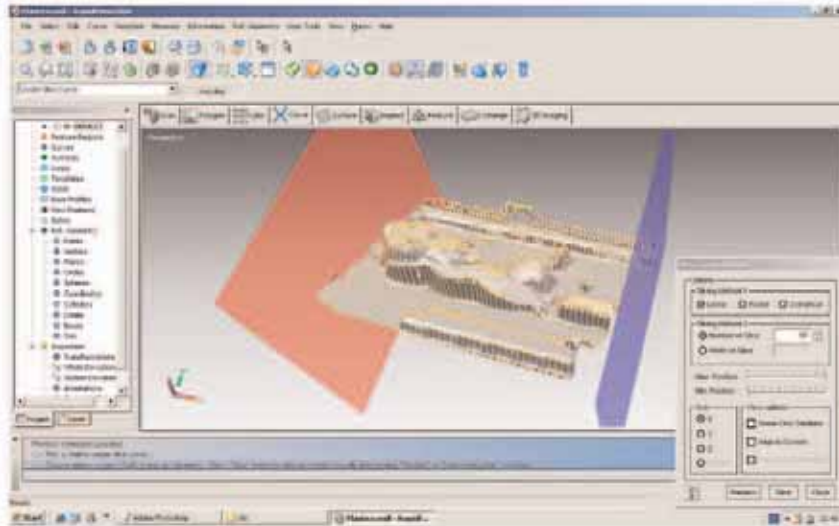
9 Evidenziazione sul modello ottenuto della posizione e distanza di due vertici.



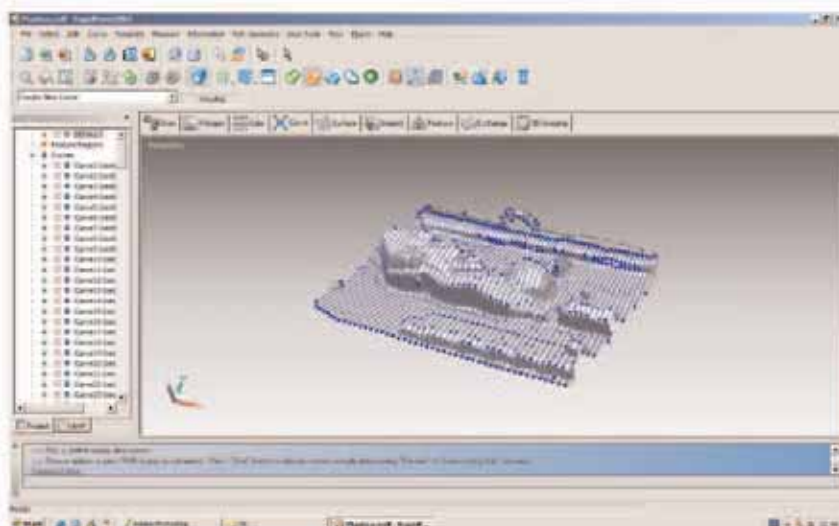
10



11



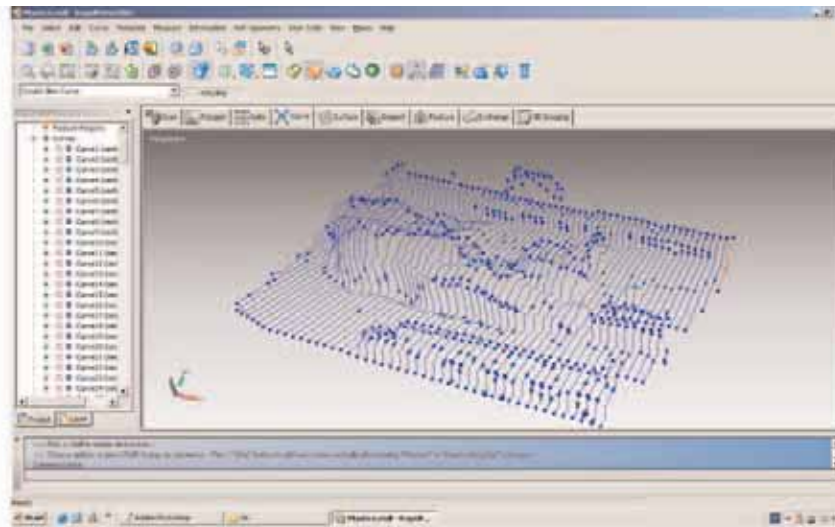
12



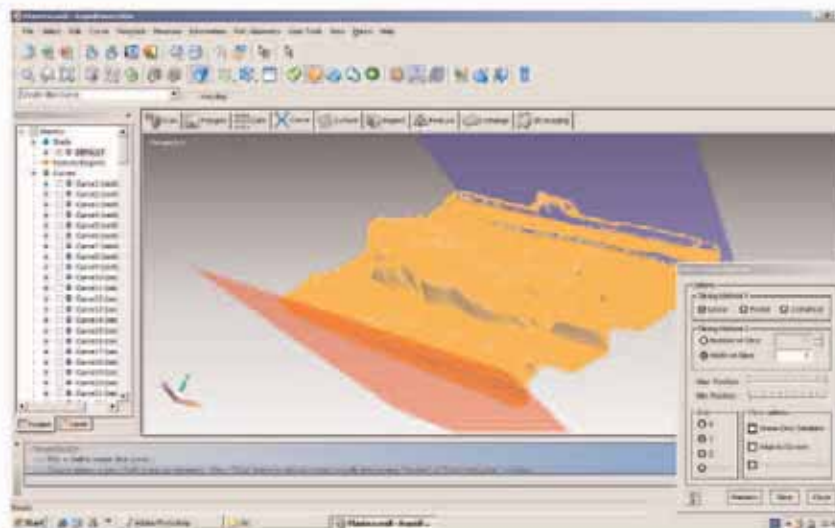
10 Visualizzazione del comando Curve>Create-Slice.

12 Sezioni lungo l'asse x con modello.

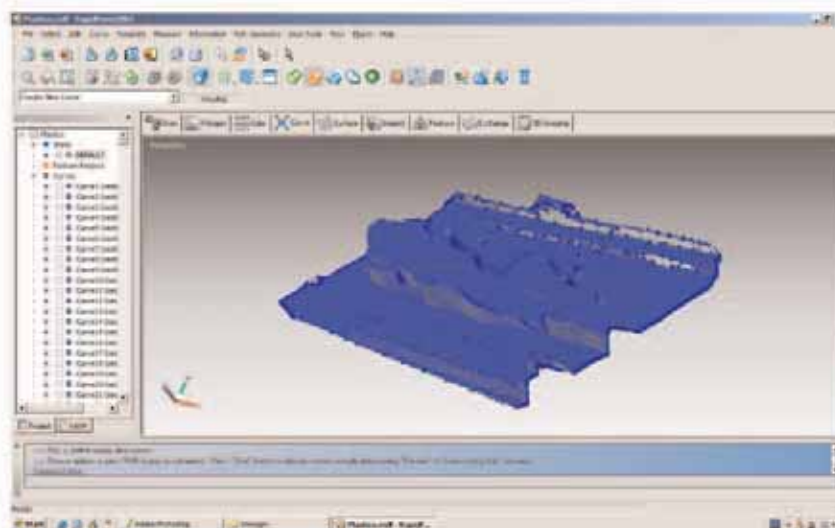
11 Individuazione delle sezioni lungo l'asse x.



13



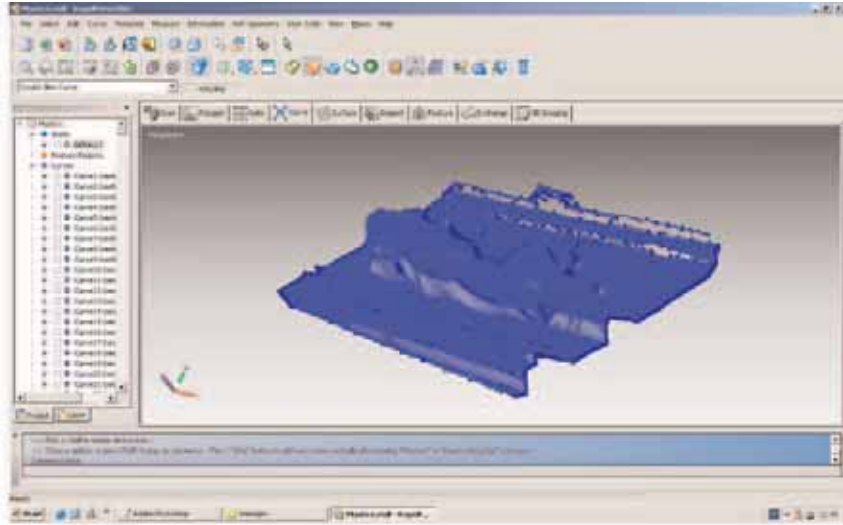
14



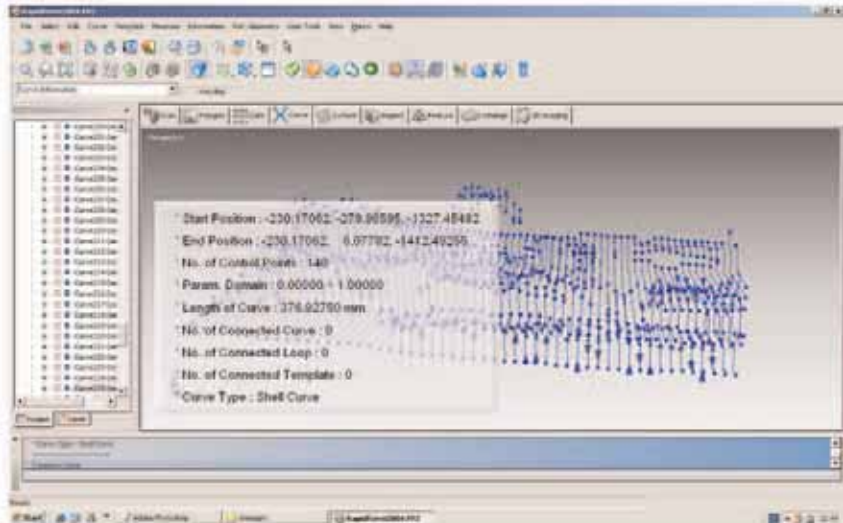
15

Figura 13 Sezioni lungo l'asse x.  
 Figura 14 Sezioni lungo l'asse y.  
 Figura 15 Sezioni lungo l'asse y.

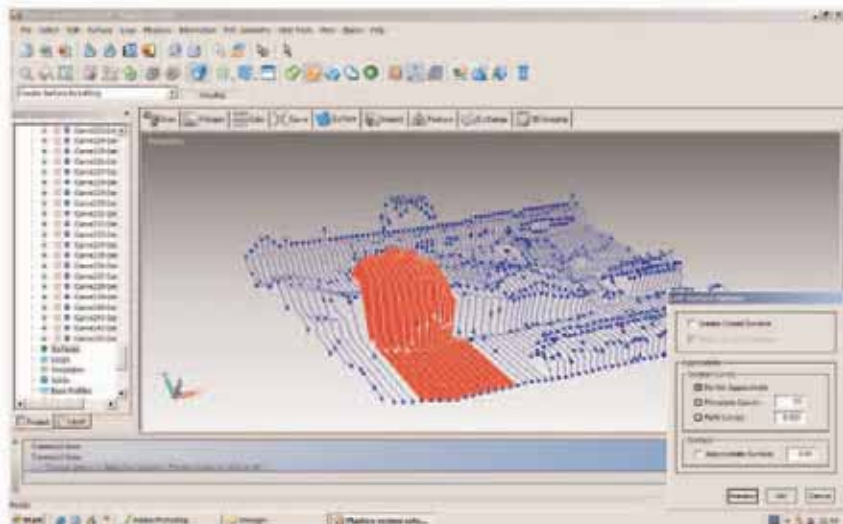
16



17



18



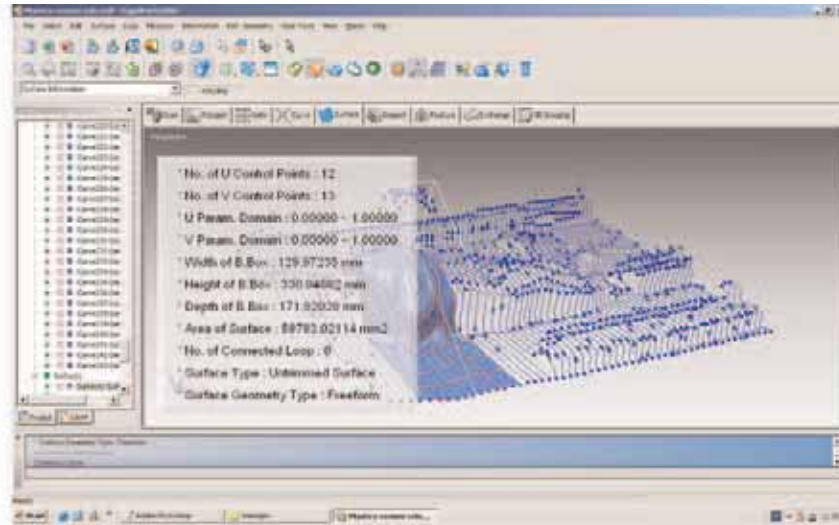
16 Isolamento delle sezioni lungo l'asse y.

17 Sezioni lungo l'asse y e relativi dati riferiti ad una di esse.

18 Preparazione delle curve isolate per la realizzazione delle superfici NURBS attraverso il comando Surface>Create-Loft dal modulo Surface.



19



19 Visualizzazione dei dati della superficie NURBS ottenuta.

## Verifica

Altra operazione effettuata dopo l'acquisizione, gestione e trasformazione dei dati è stata quella delle verifiche mensorie.

Si è effettuato inizialmente un confronto dimensionale tra il modello fisico e quello informatico e ci si è resi conto che le differenze dimensionali sono assolutamente minime, sia con l'utilizzo di Rhinoceros che con Rapidform 2004.

Attraverso le verifiche fatte, si è riscontrato che acquisire un modello fisico con una superficie continua rende le operazioni assolutamente più spedite e in ogni caso più precise.

Le problematiche sono nate invece nella verifica tra le sezioni ottenute dalla digitalizzazione del plastico del progetto della Città della Scienza e i disegni definitivi di progetto.

Dal confronto effettuato [immagine 1] e attraverso la sovrapposizione tra la pianta e la sezione orizzontale corrispondente si sono riscontrate parecchie difformità<sup>12</sup>.

Queste sono assolutamente riconducibili a due fattori: la discontinuità del materiale e la materializzazione del plastico. In effetti utilizzando il plastico definitivo, realizzato a scala non troppo piccola, e con l'approssimazione delle superfici per definire al meglio il dettaglio, fa sì che emergano una serie di difformità.

Naturalmente si può affermare che

per poter ottimizzare il processo la definizione del modello fisico non deve essere quella definitiva, ma quella di un modello di studio, e ancora meglio sarebbe se il materiale che definisce il modello fosse completamente omogeneo. Dato questo assolutamente importante sia per l'acquisizione da parte dello scanner che per la successiva elaborazione dei dati.



01

01 Sovrapposizione tra la pianta di progetto e lacurva di sezione corrispondente (in rosso) ottenuta dalla sezione del modello fisico acquisito tramite scansione

laser 3d



## NOTE

<sup>1</sup>Vedi capitolo 5

<sup>2</sup>Vedi capitolo 5

<sup>3</sup>Questo comando crea una mesh da punti selezionati o da una nuvola di punti.

<sup>4</sup>Questo comando converte ogni faccia poligonale in una superficie NURBS. Ciò vuol dire quindi che non converte l'intero modello mesh in un unico modello NURBS, ma in una polisurface NURBS.

<sup>5</sup>Superficie composta da più superfici NURBS.

<sup>6</sup>Attraverso questo comando si possono estrarre le curve imponendo un piano sezione; la sua direzione e il passo con cui il piano di sezione deve tagliare la superficie.

<sup>7</sup>Box rettilineo che contiene il modello tridimensionale acquisito dalla scansione.

<sup>8</sup>Comando attraverso cui vengono create delle superfici triangolari e loro relativa normale.

<sup>9</sup>Il comando Slice, dal modulo (Curve Curve) permette di tagliare la superficie permettendo di decidere il metodo (lineare, radiale e cilindrico), il numero o la distanza delle sezioni, l'asse ed inoltre ammette una preview prima di mandare il comando.

<sup>10</sup>Comando che permette di interpolare le curve e di interagire con il programma nella definizione della superficie Nurbs.

<sup>11</sup>Non approssimare.

<sup>12</sup>Il processo effettuato si è così articolato: esportazione da Rapidform 2004 delle curve di sezione con estensione DXF (l'abbreviazione per Drawing Exchange Format., era usata originariamente come

un formato di scambio e database per AutoCAD.); importazione all'interno del file di Autocad in cui era già presente il disegno della pianta della Città della Scienza.



# CONCLUSIONI

La ricerca da me condotta ha avuto lo scopo precipuo di individuare una metodologia operativa mirata all'ottimizzazione delle pratiche di rappresentazione dell'idea progettuale.

Dato per scontato che per i progettisti l'utilizzo del modello è stato da sempre un modo per poter comprendere meglio le geometrie da loro studiate e investigate, mi sono fondamentalmente proposto di come poter gestire ed analizzare un modello tridimensionale.

Mi sono pertanto impegnato ad analizzare preliminarmente stimoli e motivazioni creative che hanno spinto i progettisti a delineare le forme e le geometrie libere e, successivamente, le possibili modalità di gestione e rappresentazione delle superfici generate.

La ricerca è stata fondamentalmente impostata sotto il profilo del rapporto tra il disegno e il progetto; più precisamente, quanto il disegno costituisca elemento imprescindibile, da una parte, per la realizzazione e l'ottimizzazione del progetto, dall'altra, per il controllo e la misura del progetto stesso.

Lo studio si è sostanzialmente mosso su due direzioni: la rappresentazione immediata dell'idea della forma attraverso software di modellazione; l'utilizzo incrociato di vari sistemi per l'acquisizione dei dati di un modello tridimensionale attraverso le scansioni laser e la

successiva elaborazione dei dati acquisiti mediante più piattaforme informatiche capaci di gestire e realizzare superfici.

Riguardo alla prima direttrice, ci si è occupati delle nuove avanguardie sperimentali che si sono dedicate ad analizzare le varie possibilità offerte dai modellatori e dai software nati per l'animazione.

Si è cercato di creare una casistica di metodologie e al contempo di realizzare una sorta di campionatura capace di mettere in relazione l'idea creativa e la formalizzazione della stessa. Si è anche trattato di analizzare i presupposti, cioè le varie idee, teorie e concetti che sottendono tali spinte creative, nonché individuare le varie metodologie; tenuto altresì conto che l'utilizzo del movimento e della forza costituisce un dato fondamentale per l'elaborazione del progetto.

Ci si è quindi proposti di stilare una sorta di metodologia procedurale per la rappresentazione delle superfici libere: allo scopo si sono utilizzati due software, un modellatore puro e un modellatore nato per l'animazione e post-produzione.

Duplici aspetto quindi: il primo che fondamentalmente si basa sulla realizzazione di superfici libere ottenute da curve come primitive, e dalla successiva interpolazione di queste per ottenere la superficie; il secondo invece che utilizza primitive generiche e attraverso dei

modificatori le fa interagire fino ad ottenere la superficie desiderata o pensata.

Circa la seconda direttrice di ricerca, ci si è impegnati nell'analisi dei dati ottenuti da un modello fisico, ossia la della formalizzazione fisica dell'idea del progettista ottenuta attraverso materiali concreti.

Anche in questo caso si è voluto sperimentare una metodologia che potesse comunque sorreggere il progettista nella gestione del processo di formalizzazione, e quindi di rappresentazione, di superfici libere che si è riusciti a plasmare fisicamente in un modello.

A tale proposito si è voluto percorrere due strade parallele in cui il dato di partenza fosse lo stesso, e, cioè, una digitalizzazione del modello fisico, la nuvola di punti, e la sua successiva elaborazione attraverso due software nati con scopi diversi: un modellatore puro, Rhinoceros, capace di gestire nuvole di punti, anche se nato per modellare superfici NURBS e gestire superfici poligonali (mesh); l'altro, Rapidform 2004, nato per acquisire, gestire, editare e trasformare in superfici, mesh e poi NURBS, la nuvola di punti.

Si è cercato anche di stilare una metodologia, e cioè campionare un sistema di passaggi che potessero in qualche modo aiutare il progettista ad acquisire il dato "fisico", a gestire lo stesso ma al contempo a poterlo controllare e quindi misurare.

Parliamo quindi di una metodologia di rilevamento completamente informatizzata, che vuole anche tentare di capire in che misura con questa metodologia sia possibile gestire e velocizzare il rapporto tra la rappresentazione dell'idea e il controllo della stessa da parte del progettista.

Altro aspetto importante su cui si è voluto investigare è quello dell'incertezza, e cioè quanta disparità può intercorrere tra un dato acquisito con una piuttosto che con l'altra procedura e, soprattutto rispetto al modello fisico di partenza.

Un dato fondamentale che si è sicuramente accertato è che le procedure, data per scontata l'esperienza dell'operatore, sono in entrambi i casi abbastanza snelle e veloci, offrendo quindi al progettista uno strumento per raggiungere facilmente e velocemente un dato bidimensionale controllabile, e quindi misurabile.

In entrambi i casi ci si è resi conto che la superficie NURBS è quella che si approssima maggiormente alla superficie reale, ed è quella che si trascina meno dati. In effetti lo scopo è quello di realizzare delle primitive NURBS, sia bidimensionali che tridimensionali che, oltre ad avvicinarsi incredibilmente alla superficie da rilevare, sono rappresentate da una funzione unica e non da una sommatoria di dati (coordinate di tutti i vertici) delle superfici mesh.

In entrambi i casi la procedura era

quindi mirata ad ottenere in pochi passaggi il risultato finale, quindi a delle curve primitive, anche per consentire al progettista di poter avere velocemente i dati misurabili e verificabili ed in alcuni casi di prototipare il modello modificato. Possibilità quindi di realizzare una procedura, volendo a circolo chiuso, in cui il rapporto modello-rilievo-progetto sono in continua interazione.

Le procedure sviluppate, testate più volte e con soggetti differenti, si sono dimostrate sempre molto agili e snelle. La differenza nella gestione dei dati da parte dei software si è dimostrata molto minima. Il modellatore, Rhinoceros, ha risposto molto bene alla procedura ipotizzata e ha portato velocemente alle superfici, cosa dimostratasi altrettanto facile da parte di Rapidform 2004. Sulle superfici continue i software si sono dimostrati entrambi eccellenti e nella verifica dimensionale con il modello fisico la differenza era pressoché inesistente.

Con modelli in cui la superficie si presentava discontinua hanno dimostrato entrambi difficoltà, presenti comunque anche nell'acquisizione dei dati. In questo secondo caso (plastico del progetto della Città delle Scienze) Rapidform 2004 è stato superiore nella gestione dei dati per l'ottenimento delle superfici mesh e NURBS.

Entrambi poi, riguardo alla verifica sensoria delle sezioni si sono

dimostrati eccellenti in quanto anche in questo caso le differenze sono risultate minime.

## Individuazione di una procedura

I procedimenti testati e l'insieme dei dati raccolti nell'investigare le varie metodologie ha permesso di poter campionare delle procedure che possono essere considerate dei punti fissi, una griglia, su cui ci si possa muovere.

Il numero di sperimentazioni effettuate mi consentono di poter stilare delle procedure standard ottimizzate, tali da poter consentire, tramite un percorso testato, a qualsiasi progettista di ottenere un risultato in tempi e modalità non particolarmente difficili.

Le fasi si possono racchiudere in due macro aree: fase di acquisizione e fase di elaborazione.

La prima fase consiste in: acquisizione di punti, esportazione degli stessi in un formato di interscambio.

La seconda fase viene anch'essa suddivisa in due metodologie percorribili attraverso due software.

La prima, con un modellatore puro, trasforma con un comando i punti in mesh; la polisuperficie deve essere successivamente verificata e confrontata con il modello fisico. A questo punto la superficie viene trasformata in NURBS e dalla stessa estratte le sezioni caratteristiche, utili per poter confrontare e misurare i dati ottenuti.

La seconda, con un software di gestione delle nuvole di punti, trasforma la nuvola di punti in superficie poligonale. A questo punto

posso ottenere una superficie NURBS attraverso due strade: estraendo le sezioni caratteristiche e, attraverso una interpolazione di queste, una superficie unica; trasformando la superficie mesh, mediante le superfici patch, in una unica superficie. Questo, sempre accompagnando le operazioni effettuate attraverso delle verifiche dimensionali.

In assoluto si può affermare che Rapiform 2004 risulta superiore nei casi in cui i dati ottenuti sono abbondanti e quindi il modellatore si troverebbe in affanno per la gestione della quantità di dati da processare.

La ricerca effettuata non vuole essere la conclusione di un processo ma il presupposto per giungere alla conoscenza piena delle problematiche disciplinari.

Il lavoro fin qui presentato vuole essere il tentativo di definire una procedura: un metodo, che trova il suo ideale campo di sviluppo nelle nuove tecnologie per la rappresentazione del progetto.

Il lavoro è in itinere.

Il futuro lascia ancora aperte molte possibilità, legate allo sviluppo delle tecnologie hardware e software.

La ricerca deve perciò continuare, ottimizzando i risultati con continue verifiche e sperimentazioni; legando imprescindibilmente ricerca e produzione.





01

1 KARL CHU, Dischiudersi organico della forma che collega l'architettura alla natura, 2000