

Università degli Studi di Palermo
Dipartimento di Rappresentazione
Dottorato di Ricerca in Scienze del Rilievo e della Rappresentazione
settore disciplinare ICAR/17

Giuseppe Dalli Cardillo

**Sistemi di rappresentazione ed anastilosi virtuale del tempio di Castore e Polluce di
Agrigento**

Scuola nazionale di dottorato in Scienze del Rilievo e della Rappresentazione

Indice

Introduzione

1. La valle dei templi di Agrigento e il tempio di Càstore e Polluce	7
2. Schedatura fonti iconografiche	
2.1 Introduzione	17
2.2 Schede	18
3. Il rilievo	
3.1 Introduzione	31
3.2 La fotogrammetria per il texturing	35
3.3 Nuvola di punti e scanner laser	39
4. Triangolarizzazione e mesh	43
5. La scheda video	51
6. Retopology	55
7. Normal mapping	63
8. Anastilosi e modello ideale	70
9. Modellazione	79

10. Motori di rendering real-time	83
11. Shader, texture mapping e tecniche di filtraggio	89
12. Conclusioni	95
Bibliografia e Sitografia	97

Introduzione

Fino al 1836 il tempio dei Dioscuri (Castore e Polluce) era completamente in rovina, poi Valerio Villareale e Francesco Saverio Cavallari, per conto della Commissione delle Antichità della Sicilia, ne ricostruirono l'angolo nord-ovest. Questo gruppo inizialmente di tre colonne divenne di lì a poco uno dei simboli di Agrigento per la sua collocazione nella valle dei templi e il suo aspetto pittoresco. In seguito per problemi di staticità, si aggiunse una quarta colonna. L'operazione di anastilosi fu inizialmente molto criticata. Infatti la tra-

beazione apparteneva ad un periodo posteriore rispetto alle colonne come si evince facilmente da un'analisi stilistica delle parti. Solo in seguito, Marconi che pure era stato il primo ad avanzare riserve, si persuase che l'operazione era stata corretta in quanto la discordanza temporale e quindi di stile tra colonne e trabeazione fosse dovuta al fatto che quest'ultima, nel III sec. A.C., in epoca quindi romana, aveva sostituito quella originaria distrutta o danneggiata durante la dominazione Cartaginese.



1/ Veduta del tempio di Castore e Polluce di Agrigento

La tesi si prefigge come compito quello di terminare il processo di studio, anastilosi e ricostruzione del tempio iniziato nel XIX con l'ausilio delle più moderne tecnologie e senza intaccare il manufatto originale ma solo attraverso l'uso di un modello digitale.

L'inizio della ricerca è stato dedicato alla raccolta dei dati storici, iconografici e metrici dell'oggetto in esame, utili per una corretta documentazione e descrizione del manufatto. Le immagini e le stampe d'epoca rappresentano infatti un utile mezzo per capire come l'attuale ricostruzione sia stata affrontata e come affrontare quella virtuale.

Un secondo momento è quello della raccolta dei dati metrici ottenuti attraverso la nuvola di punti ricavata dalla scansione laser, il rilievo fotogrammetrico e i sistemi tradizionali. Si procede quindi ad operare un processo di discretizzazione e sintesi dei dati raccolti al fine di ottenere un modello 3D gestibile, tramite retopology della mesh e uso di normal map.

Quindi è stato effettuato il processo di anastilosi e ricostruzione virtuale quanto più possibile esatto basandosi sui dati metrici reali e sulle ipotesi archeologiche avvalorate dagli studi condotti.

Infine vi è la ricerca di tecniche di rappresentazione adatte alla descrizione dell'oggetto di studio in esame.

La realizzazione del modello e la ricerca svolta avranno infatti come fine ultimo la sperimentazione di varie tecniche di rappresentazione utili ad una migliore fruizione turistica del bene archeologico attraverso un modello navigabile in real-time e un altro simile da visualizzare in augmented reality.



2/ Francesco Lojacono, dipinto dei Dioscuri

1. La valle dei templi di Agrigento e il tempio di Càstore e Polluce

Il tempio di Càstore e Polluce, detto anche dei Dioscuri o identificato anche come Tempio I, è sito, come quasi tutti gli altri, sulla collinetta che delimita a sud la “Valle dei Templi” di Agrigento¹. La ricchezza della Valle sta nel suo straordinario patrimonio archeologico, che trova le più alte espressioni nei templi dorici che si ergono da est ad ovest con il tempio di Giunone, il tempio della Concordia, il tempio di Ercole, il tempio di Giove Olimpico, il tempio dei Dioscuri ed il tempio di Vulcano al di là della Colimbetra.

Il tempio di Càstore e Polluce è ubicato nella grande area del Santuario delle divinità Ctonie, nei pressi della porta V, accanto ad un altro tempio detto “L” di cui rimane visibile solo l’altare e, a poche decine di metri dal tempio di Giove.

Le denominazioni con le quali i templi vengono indicati furono proposte nel Cinquecento dallo storico saccense

Tommaso Fazzello ma alcune di esse sono infondate o non sufficientemente provate².

Esistono solamente certezze per i templi di Giove (Diodoro, I.XIII), di Ercole (Cicerone lib. VI delle Verine, Plinio), di Esculapio (Cicerone e Polibio ci fornisce precise notizie sulla sua ubicazione) e mediocri notizie per quello di Demetra che non è ubicato a sud e che il Fazzello non cita (le notizie sono ricavate da Polieno e soprattutto da ritrovamenti archeologici sul sito avvenuti nel secolo 1900). Lo storico saccense denominò il Tempio della Concordia in tal maniera solamente perché nelle sue vicinanze venne trovata una lapide del periodo romano in cui era scritto che: “La Repubblica dei lilibetani consacra un tempio alla Concordia degli Agrigentini”³. Diodoro fece menzione di un tempio dedicato a Giunone Lacinia che potrebbe non essere quello attualmente indicato con tal nome. Infatti lo stesso



3/ Vista aerea “Valle dei Templi”.
In rosso è evidenziato il Tempio dei Dioscuri



4/ Panoramica Tempio dei Dioscuri

Fazzello accennò ad un tempio della Pudicizia lontano dal tempio della Concordia poco più di mezzo miglio, posto in un cantone della città verso levante che secondo lo storico Giuseppe Picone dovrebbe coincidere con quello attualmente chiamato di Giunone⁴. Scrisse poi di un tempio detto di Proserpina, di uno dedicato a “Càstore e Polluce” come si evince da Pindaro nelle sue Olimpie (Inno III), “Il quale era di bello artificio, e di meravigliosa architettura” e di un tempio di Vulcano fuori dalle mura di Agrigento come accennò Solino⁵.

Tommaso Fazello, per quanto riguarda il tempio dei Dioscuri, aggiunse che: “Gli agrigentini fecero questo tempio, perché eglino avevano Càstore e Polluce in grandissima venerazione, e facevano in onor loro le feste, dette Teogenie o Feste Ospitali. Ma in che parte della città fossero questi due ultimi Tempj (Proserpina

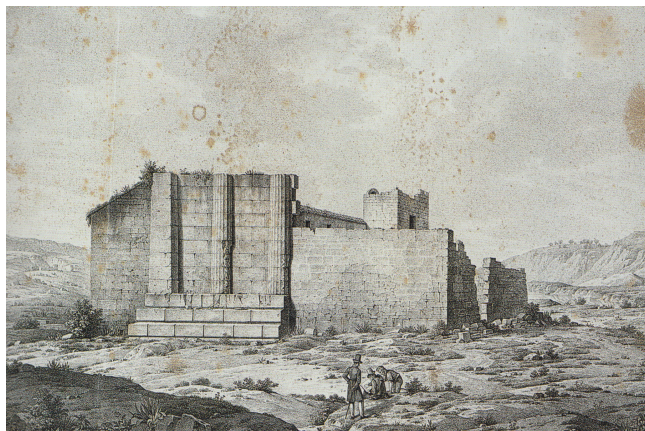
e Càstore e Polluce) io non l’ho potuto sapere per vestigio alcuno”⁶.

Nel 1750, ai tempi di Carlo III di Borbone, la costruzione del molo di Porto Empedocle fu fatta sicuramente a spese del tempio di Giove Olimpico e molto probabilmente del vicinior tempio dei Dioscuri e di quello accanto cosiddetto tempio “L” di cui non rimane quasi niente.

Parte delle condizioni attuali sono comunque dovute alle conquiste devastanti della città avvenute ad opera dei cartaginesi e dei romani, poi al periodo che vide un crescente fervore religioso che portò all’edificazione di tante chiese e monasteri. I templi vennero utilizzati come vere e proprie cave di pietra. Anche i privati li utilizzarono per delimitare i confini delle proprie terre o per costruzioni e persino dei coloni trovarono conve-

niente nei secoli usare i ruderi dei templi di Vulcano ed Esculapio, per costruire le loro case.

Nel 1751-52 il teatino Giuseppe Maria Pancrazj nel suo secondo volume intitolato: “Antichità siciliane spiegate”



5/ Domenico Lo Faso; veduta pittorica casa colonica costruita sui resti del tempio di Esculapio

te” accennò al tempio di Càstore e Polluce che però venne confuso con l’attuale tempio di Vulcano (tav. 8, II vol. pag. 80).

Anche diversi viaggiatori stranieri nella seconda metà del Settecento, probabilmente sulla scia del Pancrazj, riportarono l’iconografia del tempio di Vulcano indicando lo stesso come tempio di Càstore e Polluce. Così fece J. Houel nel suo “Viaggio in Sicilia e Malta” del 1782 e D. Vivant Denon nel “ Voyage pittoresque ou description des Royaumes de Naples et de Sicile”, vol. IV, Paris 1785.

L’interesse degli studiosi per i templi agrigentini si svegliò nel 1788, quando il principe di Torremuzza intervenne pesantemente sul tempio della Concordia per spogliarlo di tutte le aggiunte del periodo cristiano e riportarlo alle forme originarie. L’Ottocento vide interventi più oculati. Hauss, Lo Presti, Politi, i fratelli Cavallari, Villareale, Lo Faso, Schubring, Holm furono straordinari personaggi ai quali si devono i lavori di maggiore portata e gli studi più basilari.

Nel 1826 Raffaello Politi nativo di Siracusa ma agrigentino di adozione, pubblicò la prima Guida su Girgenti, ed egli fu anche il primo ad individuare chiaramente la zona dei resti del probabile tempio di Càstore e Polluce. A pag. 43 nella sua guida si legge che: “Il tempio di Càstore e Polluce, sfuggito alle diligenze del Fazzello, è vicinissimo al prospetto occidentale di Giove Olimpico; ma di esso altro non si vede al presente, che un bel capitello dorico-greco impellicciato di stucco simile ai già veduti, del diametro di palmi 3,7 nel sommo scapo, e pochi rottami di fusti di colonne malconce dal tempo, avvallate, e coverte d’opunzie. Siamo poi certi che tali avanzi di colonne siano appartenute al tempio di Càstore e Polluce?”⁷.

Fondamentale per la storia e l’iconografia della Sicilia fu l’opera di Domenico Lo Faso Duca di Serradifalco: “Le antichità di Sicilia esposte e illustrate”, Palermo 1832-42, V volumi in foglio con 174 tavole. Membro della Commissione per le antichità, si avvalse soprattutto dell’opera dell’architetto Saverio Cavallari.

Il terzo volume fu dedicato ad Agrigento e pubblicato alla fine del 1836 subito dopo che il professore Valerio Villareale e gli architetti Domenico e Francesco Saverio Cavallari, per conto della Commissione delle Anti-



6/ Vivant Denon D. - Saint Non R. erronea vista del Tempio dei Dioscuri

chità della Sicilia, ricostruirono l'angolo nord-ovest del Tempio di Càstore e Polluce. Così a pag. 77 riportò la nuova notizia: "Felicissima riuscì l'impresa mercè la quale è già tornato alla luce un nuovo tempio policromo siffattamente conservato nella sua pianta e ne' suoi particolari, che fu agevole rialzarne le tre colonne dell'angolo nord-ovest, insieme all'intera trabeazione, ed al principio del frontispicio. ...Le tre colonne dell'angolo, sgombrate dalla terra e dalle macerie, onde per tanti secoli restaron coperte, tornano adesso a far mostra delle loro belle proporzioni in quel luogo medesimo, ove, quasi tre secoli addietro, il diligentissimo Fazello cercò inutilmente qualche lieve vestigio di un tempio ch'ei supponeva dedicato a Càstore e Polluce".

Fu comunemente detto "Tempio delle Tre Colonne", e subito suscitò una grande simpatia presso gli agrigentini ed i visitatori stranieri per la sua immagine aggraziata, al punto da assurgere nel mondo a simbolo di Agrigento

ed anche della Sicilia classica.

Nel 1842, per problemi anche di staticità, si aggiunse una quarta colonna. Dagli antichi storici, né da alcun testo si può evincere che il tempio sia stato dedicato proprio ai Dioscuri.

Il Lo Faso continuò descrivendo il ricostruito tramandandoci che: "L'intera trabeazione conserva ancora gli avanzi degli antichi colori...la cornice con la cimasa fornita di teste lionine, ...un'altra cornice di forma diversa, la cui cimasa vedesi sgraffiata e vagamente dipinta a meandri e palmette di rosso e di azzurro, anch'essa fornita di teste di lioni".

Anche il Vito Amico nel suo: "Dizionario topografico della Sicilia" del 1855 alla voce Girgenti (I° vol. pag. 513 e seg.) accennò alla recente ricostruzione del tempio effettuata: "Dall'esimio Villareale e dai peritissimi fr. Cavallari...e che è parere del sig. Lo Faso Duca di Serradifalco essere di greca costruzione e restaurato po-



7/ Domenico Lo Faso, *Le Antichità delle Sicilia esposte ed illustrate*. Il tempio è rappresentato con le sole tre colonne della prima operazione di anastilosi.



8/ Dopo il 1842 il tempio per problemi di natura statica è oggetto di una nuova operazione di anastilosi che aggiunge una quarta colonna.



9/ Domenico Lo Faso, *Le Antichità della Sicilia esposte ed illustrate*, particolare delle decorazioni del tempio di Castore e Polluce in una Litografia colorata

scia dai Romani”.

Nel 1887 il tedesco Giulio Schubring ritornò a scrivere, tra l'altro, sull'edificio, nella sua pregiata pubblicazione dal titolo: *Topografia Storica di Agrigento*. Egli affermò che: “È cosa sicura che fosse peripetro con cella in antis e verosimile che fosse esastilo”. “In strettissima relazione col culto di Eracle è quello dei Dioscuri e della loro sorella Elena (figlia di Giove e di Leda). Ebbe origine nei tempi antichi, e fu portato qui dal Peloponneso, da Sparta o da Argo, ed era il culto domestico nella casa di Terone. La vittoria riportata da questi in Olimpia (Ol. 76) venne celebrata da Pindaro con un'ode (Olimp. III) che fu cantata dal coro in Acragante nella processione delle Dioscurie o Teossenie. In queste feste gli Dei, specialmente Castore e Polluce, o il loro rappresentante il re, trattavano liberalmente il popolo

con pubblici banchetti, ed in ciò mostravasi la generosa ospitalità dell'amica coppia divina, della chiara famiglia del re e del popolo acragantino. Gli è verosimile che essi abbiano avuto culto in un bel tempio forse eretto dagli Emmenidi (Akragas era divisa in tanti quartieri quante erano le tribù. Ci rimangono solo due nomi Ellei ed Emmenedi, quest'ultima da Emmeo, avo di Terone). Che fosse quello oggi così chiamato, non abbiamo un punto d'appoggio per poter ciò con ragione affermare. Questo santuario fu certamente costruito nel migliore tempo, cosa che, malgrado le posteriori restaurazioni, è manifestamente riconoscibile”.

Anche Adolfo Holm nella sua monumentale opera: “*Storia della Sicilia nell' Antichità*” del 1896-1901, alla fine del I° volume (pag. 552 e seg.) non mancò di scrivere sul tempio di Castore e Polluce di Agrigento: “A

poca distanza dal tempio di Giove Olimpico, in direzione di occidente, vi sono gli avanzi del tempio che comunemente si crede consacrato al Dioscuri, Càstore e Polluce...il nome è dato arbitrariamente per Pind. Ol. III...Le sue proporzioni sono un pò più piccole di quelle del tempio di Giunone... È degno di nota che la parte superiore della trabeazione principale, cominciando dal mezzo delle metopi tagliate orizzontalmente e dei triglifi, è lavoro di epoca posteriore, evidentemente romana. Il tempio doveva essere in parte rovinato e all'epoca romana ristorato secondo il gusto di allora. Se ne sono anche conservate delle palmette di embrice di terra cotta e alcuni frammenti di scultura”.

L'ultimo grande archeologo che si occupò del tempio fu Pirro Marconi con gli scavi iniziati nel 1927 e continuati negli anni seguenti. “Nel 1928 la fondazione venne integralmente scavata e liberata dai detriti; nel 1932 ne

furono scoperti i lati; vennero raccolti nuovi elementi che portano luce...sulla costituzione della fondazione del tempio e la forma della sima originale (del coronamento del tetto, fittile nel tempio arcaico e di marmo nell'architettura più evoluta; ha ornamenti dipinti o plastici). Allo stato attuale rimane quasi esclusivamente lo stereobate (la piattaforma di base del tempio), come complesso di incisioni praticate sul banco di tufo quasi piano (Foto 10).

Tale incisioni corrispondono alla fondazione della peristasi (il colonnato del tempio) e della cella (l'ambiente centrale, o gruppo di ambienti del tempio. Nella forma più completa si compone di pronao, il vestibolo o ambiente anteriore della cella, naos, l'ambiente principale della cella, da cui ne deriva il termine italiano: navata ed opistodomo, termine convenzionale per indicare l'ambiente posteriore della cella)...le misure esterne



10/ P.Marconi, Agrigento, il basamento del tempio dopo lo scavo del 1928.

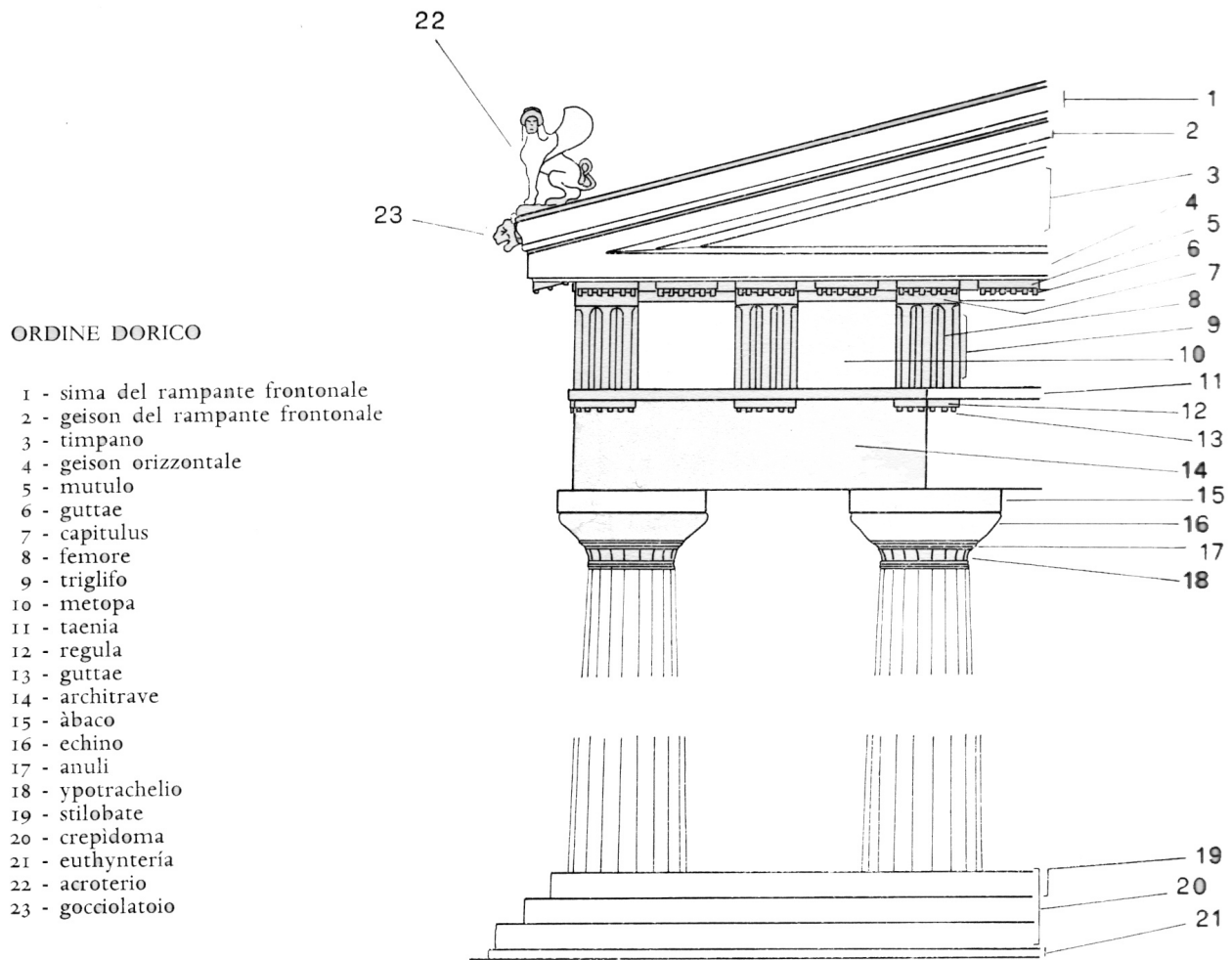
del vero e proprio stereobate del tempio sono di m. 34, 59 x 16, 63... e se dunque la nostra ricostruzione è esatta, avremmo una cella normalmente tripartita, fornita di colonne all'ingresso del pronao e dell'opistodomo, e all'ingresso fiancheggiata da due piloni in cui si svolgono le scalette di accesso al tetto, elemento canonico nell'architettura templare agrigentina. Essa misura nelle incisioni di fondazione una lunghezza di m.23,75 ed una larghezza di m. 8,76".

"La presenza di tutto il tracciato di incisioni per la fon-

dazione e la certezza dell'età di costruzione del tempio, che offre sicuri riscontri con altri templi agrigentini pressochè contemporanei, ha indotto a studiare una ipotesi ricostruttiva della pianta dell'elevato.

Si è pervenuti a ricostruire la pianta possibile dell'elevato del Tempio, che qui si presenta. In essa ritroviamo l'immagine di un tempio canonico dorico... che nelle proporzioni e nei particolari ha le più vive analogie ed affinità con quello detto della Concordia".

"Il Serradifalco, informava di avere rinvenuta una sima



11/ Elementi costitutivi dell'ordine Dorico

policroma con maschere leonine, conservata presso il Museo nazionale di Palermo; di essa dava una riproduzione nella sua grande pubblicazione, e supponeva essa potesse essere la sima interna del tempio se supposto ipetrale (con apertura al centro del tetto, ipotesi non comprovata).

Lo scavo recente non ha portato piena conferma dell'affermazione del Serradifalco;...infatti in vari punti della fondazione e sui suoi margini vennero trovati frammenti più o meno grandi di tale sima, si da permetterci di fissare i dati con precisione, e di tracciarne una ricostruzione, ma nulla ne avvolora la posizione all'interno del tempio".

"A tale identità strutturale e decorativa non può non corrispondere una cronologica, che la plastica delle teste ci permette di localizzare nel ventennio 480-460 a. C.; in tale lasso di tempo deve essere stato costruito e completato il tempio in esame;...non vi ha dubbio che, eretto il tempio nella prima metà del V secolo, con struttura ed elementi canonici, l'altra trabeazione non possa essere stata sostituita alla prima se non dopo una distruzione ed una parziale riedificazione dal geison in su (gheison=Cornice con al di sotto specie di tavolette rettangolare detti mutuli e con tre serie di gocciolatoi cilindrici dette gocce o guttae); e con più facilità potremo collocare tale riedificazione, con elementi ricchi di decorazione, nel III secolo a. C. probabilmente dopo l'occupazione romana.

Dai romani questo tempio sarebbe stato riattato, come è già provato lo furono quelli detti di Giunone e di Ercole".

"Sul suo nome nulla possiamo portare di positivo".

Con Pirro Marconi le ricerche e gli studi specifici sul tempio di Càstore e Polluce si chiudono.

Studi recenti sull'architettura antica dei grandi templi e sui modi di progettazione del tempio classico vengono sempre pubblicati ma in definitiva, come scrive uno dei più noti archeologi viventi, "Permane un sostanziale

disaccordo relativamente ai modi di progettazione del tempio classico" ⁸.

Note

1. Càstore e Polluce sono figlioli gemelli di Giove e di Leda, detti anche Dioscuri (dal greco Diòskoroi (kùroi) composto da Diòs = Zeus cioè Giove + kòroi (kuròi) = figli e pertanto la parola vuol dire: figli di Giove. Furono immaginati presenti alle più grandi imprese come nella spedizione degli argonauti, dove nel più forte della tempesta, quando la nave Argo stava per sommergere, la loro potenza divina calmò, d'un tratto le acque. Assunti finalmente in cielo, formarono la costellazione dei Gemelli. (Vanni Manfredi: Breviario di mitologia, Milano 1948).

Scrisse Tucidide (6,4,4): Circa 108 anni dopo la fondazione della loro città, i Geloi fondarono Akragas, denominando la città dal fiume; furono scelti come ecisti Aristinoo e Pistilo, e alla colonia vennero date le istituzioni, che erano proprie di Gela. Akragas nasce, dunque, intorno al 580 a.C. A un decennio della nascita di Akragas, la sua definizione territoriale e la sua organizzazione sono legate al nome del tiranno Falaride (571 – 556 a. C.). Ma è con Terone (488 – 472 a. C.) che, grazie alla splendida vittoria sui cartaginesi nei pressi del fiume Imera del 480 a. C., i confini di Akragas si dilatano fino allo stesso fiume Imera e la città raggiunse il suo massimo splendore. Migliaia di schiavi furono condotti nella Polis che con il loro lavoro, come riferisce Diodoro nel II libro, l'abbellirono di nuove opere come gli acquedotti e di templi come quello di Giove e dei Dioscuri (480 – 460 a. C.).

2. Fazzello Tommaso: De Rebus Siculis, Palermo 1558. Libro VI pag. 332 e seguenti dell'edizione del 1817.

3. Fazzello, op. cit. pag. 341-42.

4. Picone Giuseppe: Memorie storiche agrigentine, Girgenti 1880.

5. Fazzello op. cit. pag. 344.

6. Fazzello op.cit. pag. 343.

7. Politi R., Il Viaggiatore in Girgenti e il Cicerone di piazza ovvero Guida agli avanzi d' Agrigento, Girgenti 1826.

8. AA. VV., Agrigento e la Sicilia Greca, Roma 1992.

2. Schedatura fonti iconografiche

2.1 Introduzione

La Valle dei Templi di Agrigento nei secoli ha attirato miriadi di viaggiatori italiani e stranieri.

Fu intorno al 1700 che la fama della Valle con i suoi ruderi, fece il giro del mondo. Illustri personaggi provenienti da varie nazioni immortalarono le bellezze del sito con scritti, schizzi, disegni, dipinti e soprattutto, con pubblicazioni di libri arricchiti da splendide incisioni.

Tra gli italiani basta menzionare il teatino Giuseppe Maria Pancrazi, Gustavo Chiesi, Raffaello Politi, Domenico Lo Faso. Fra gli stranieri Dominique Vivant Denon, Jean Houel, William Henry Bartlett, Julius Schubring, Gaston Vuiller.

Grande importanza riveste quindi la catalogazione delle iconografie inerenti il tempio di Castore e Polluce.

La schedatura è stata effettuata seguendo un ordine cronologico e cercando di inserire le informazioni ritenute più rilevanti ai fini di una catalogazione.

2. 2 Schede

Oggetto: Tempio dei Dioscuri

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: Acquaforte

Dimensioni (B x H): 26 x 20

Luogo e anno : Parigi 1785

Incisore: Longueil

Note: L'incisione è probabilmente errata in quanto non sembra rappresentare il tempio dei Dioscuri, ma quello di Esculapio

Titolo pubblicazione: Voyage pittoresque ou description des royaumes de Naples et de Sicile

Foglio: massimo atlantico

Autore pubblicazione: Vivant Denon Dominique – Saint Non Richard

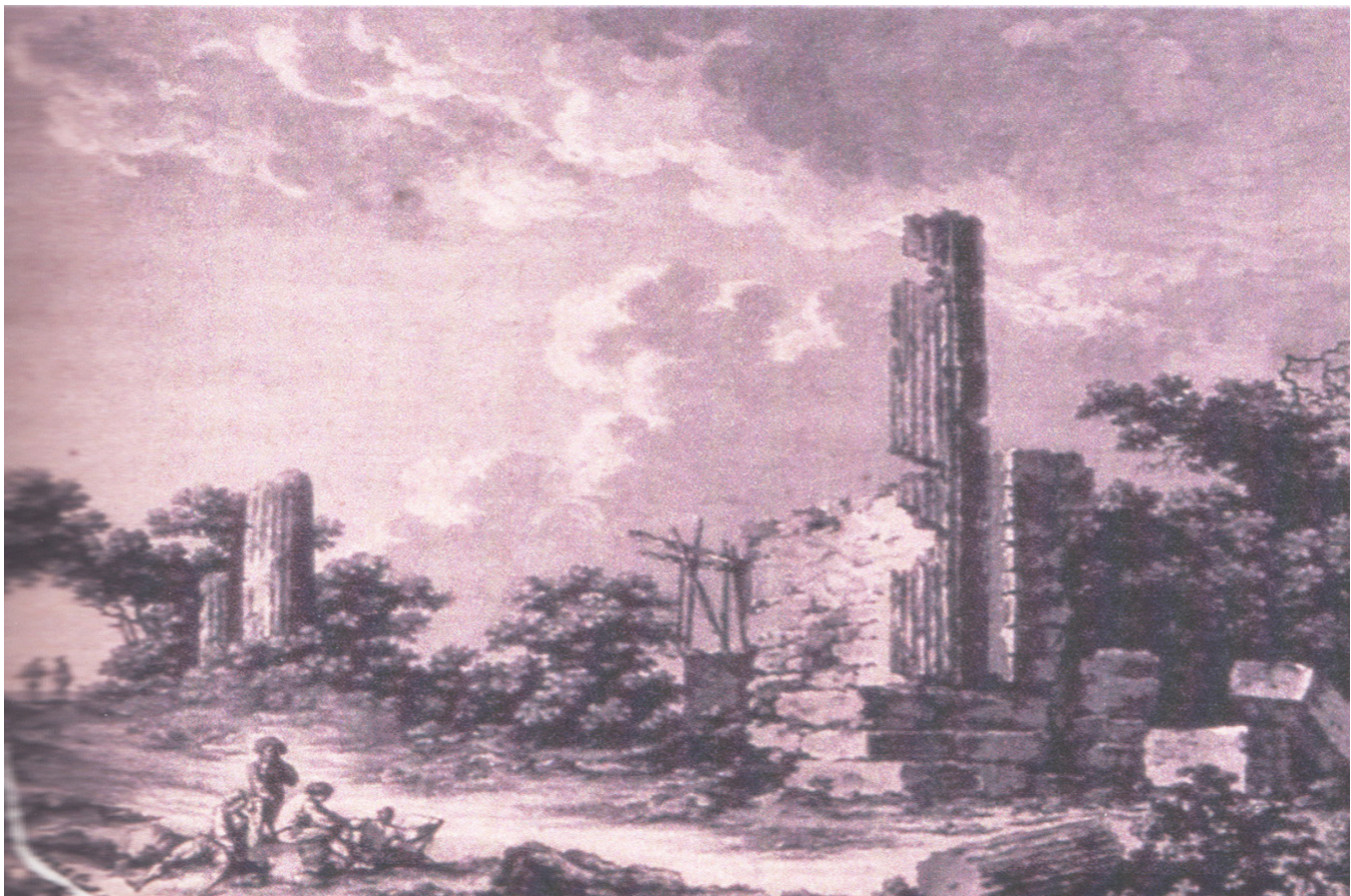
Luogo e anno pubblicazione: Parigi 1785

N. volumi: 5

Volume: 4 volume – parte seconda

Tavola: 91

Didascalia: vue des reste d'un temple de Castor et Pollux a Agrigente



Oggetto: Rovine del tempio di Castore e Polluce

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: Acquatinta

Dimensioni (B x H): 36 x 23

Luogo e anno :

Disegnatore: J. Houel

Note: Animata, stampata in sanguigna.

L'incisione è probabilmente errata in quanto non sembra rappresentare il tempio dei Dioscuri, ma quello di Esculapio

Titolo pubblicazione: Voyage pittoresque des iles de Sicile, de Malte et de Lipari...

Foglio: massimo atlantico

Autore pubblicazione: Houel Jean

Luogo e anno pubblicazione: Parigi 1787

N. volumi: 4

Volume: 4

Tavola: 230

Didascalia: Ruines du temple de Castor et Pollux d'Agrigente



Oggetto: Topografia del territorio di Agrigento

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: Incisione su metallo

Dimensioni (B x H): 21,5 x 13,5

Luogo e anno : Agrigento 1842

Disegnatore: R. Politi

Note: incisione in rame

Titolo pubblicazione: Atlante al viaggiatore in Girgenti

e il Cicerone di piazza ovvero antichi Monumenti greco

– siculi agrigentini

Foglio: massimo atlantico

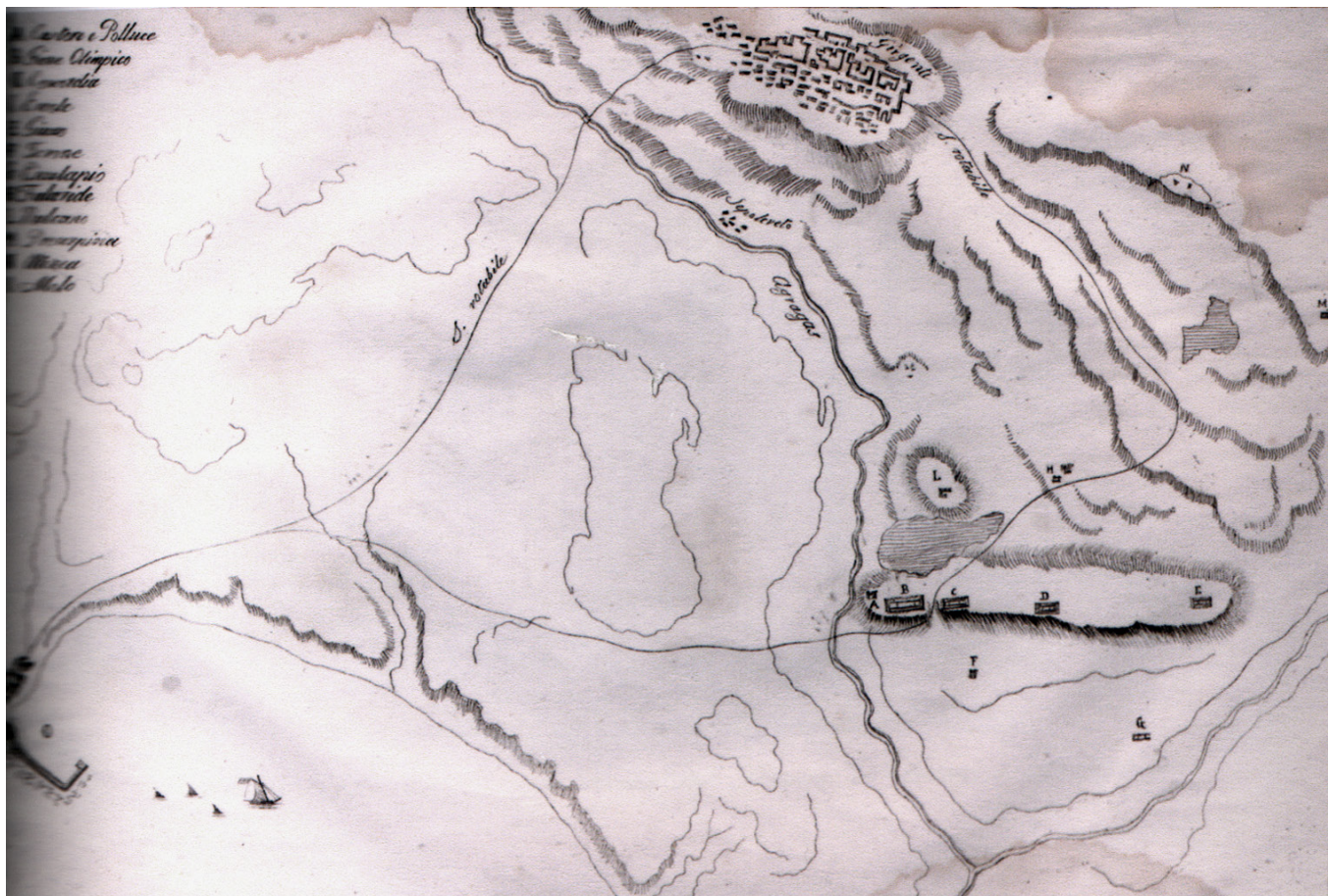
Autore pubblicazione: Politi Raffaello

Luogo e anno pubblicazione: Girgenti 1842

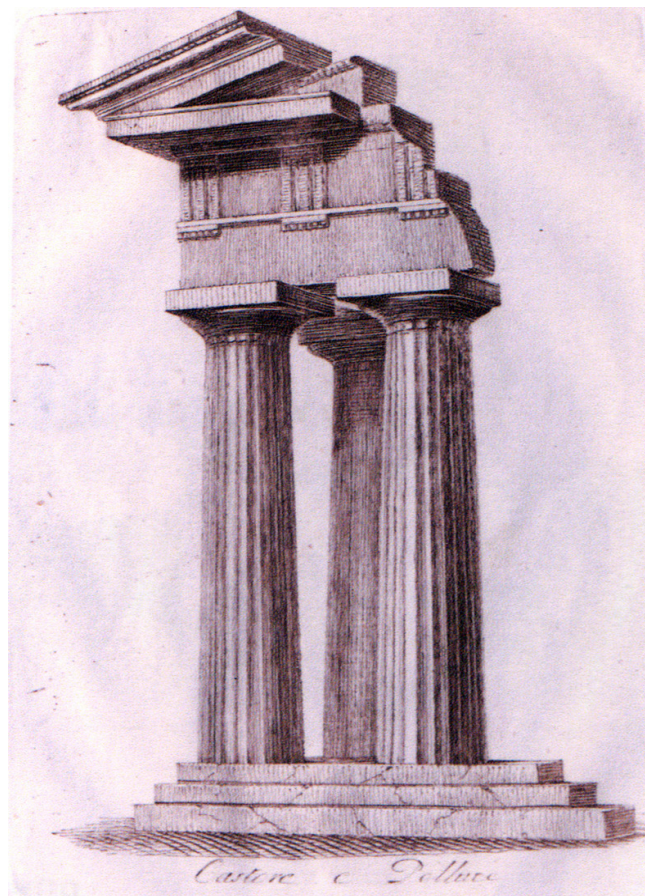
N. volumi: 1

Tavola: 1

Didascalia:



Oggetto: Il tempio di Castore e Polluce
Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco
Tecnica di stampa: incisione su metallo
Dimensioni (B x H): 10.2 x 15.5
Luogo e anno : Agrigento 1842
Disegnatore: R. Politi
Note: Incisione in rame. Il tempio presenta tre colonne
Titolo pubblicazione: Atlante al viaggiatore in Girgenti
e il Cicerone di piazza ovvero antichi Monumenti greco
– siculi agrigentini
Foglio:
Autore pubblicazione: Politi Raffaello
Luogo e anno pubblicazione: Girgenti 1842
N. volumi: 1
Pagina:
Tavola: 19
Didascalia: Castore e Polluce



Oggetto: Tempio dei Dioscuri

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: Litografia

Dimensioni (B x H):

Luogo e anno : Palermo 1844

Incisore: Wenzell

Note:

Titolo pubblicazione: Vedute pittoriche degli antichi monumenti della Sicilia su disegno del Duca di Serradifalco

Autore pubblicazione: Lo Faso Domenico Duca di Serradifalco

Luogo e anno pubblicazione: Palermo 1844

N. volumi: 1

Pagina:

Tavola: 33

Didascalia: Veduta pittorica del tempio di Castore e Polluce.

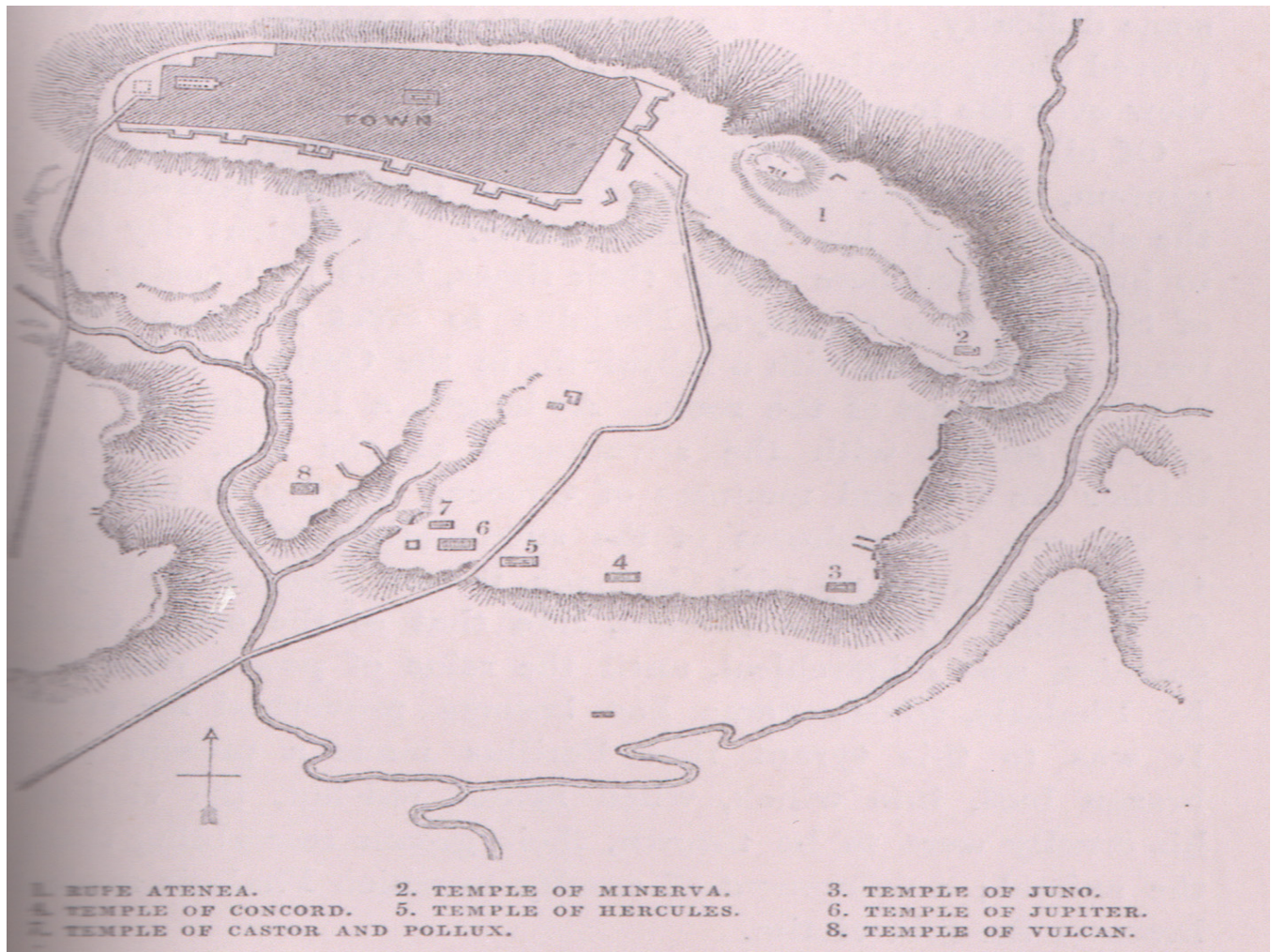


Oggetto: Pianta della città di Agrigento
Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco
Tecnica di stampa: Silografia
Dimensioni (B x H): 11 x 10
Luogo e anno : Londra 1853
Disegnatore: Branston
Note: Incisione su legno
Titolo pubblicazione: Picture from Sicily
Foglio: massimo atlantico
Autore pubblicazione: Bartlett William Henry
Luogo e anno pubblicazione: Londra 1853
N. volumi: 1

Pagina: 133

Tavola:

Didascalia:



Oggetto: Il tempio di Castore e Polluce

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: incisione su metallo

Dimensioni (B x H): 25 x 16,5

Disegnatore: E. Brandard

Note: Incisione in acciaio. Tavola fuori testo animata

Titolo pubblicazione: Picture from Sicily

Foglio:

Autore pubblicazione: Bartlett William Henry

Luogo e anno pubblicazione: Londra 1853

N. volumi: 1

Pagina:

Tavola: 19

Didascalia: Temple of Castor and Pollux



Oggetto: Tempio dei Dioscuri

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa:

Dimensioni (B x H):

Luogo e anno :

Disegnatore:

Note:

Titolo pubblicazione: Stampa estratta dal testo di Graziella Fiorentini “La valle dei templi tra iconografia e storia” pubblicata nel 1994

Foglio:

Autore pubblicazione: Von Hoffweiler G.F.

Luogo e anno pubblicazione: Leipzig 1870

N. volumi:

Pagina:

Tavola: 213

Didascalia: Tempel des Castor und Pollux



Oggetto: Tempio dei Dioscuri

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: silografia

Dimensioni (B x H): 12.5 x 10

Luogo e anno :

Disegnatore: Barberis Giuseppe

Note: incisione su legno. Animata

Titolo pubblicazione: La Sicilia illustrata nella storia,
nell'arte, nei paesi

Foglio:

Autore pubblicazione: Chiesi Gustavo

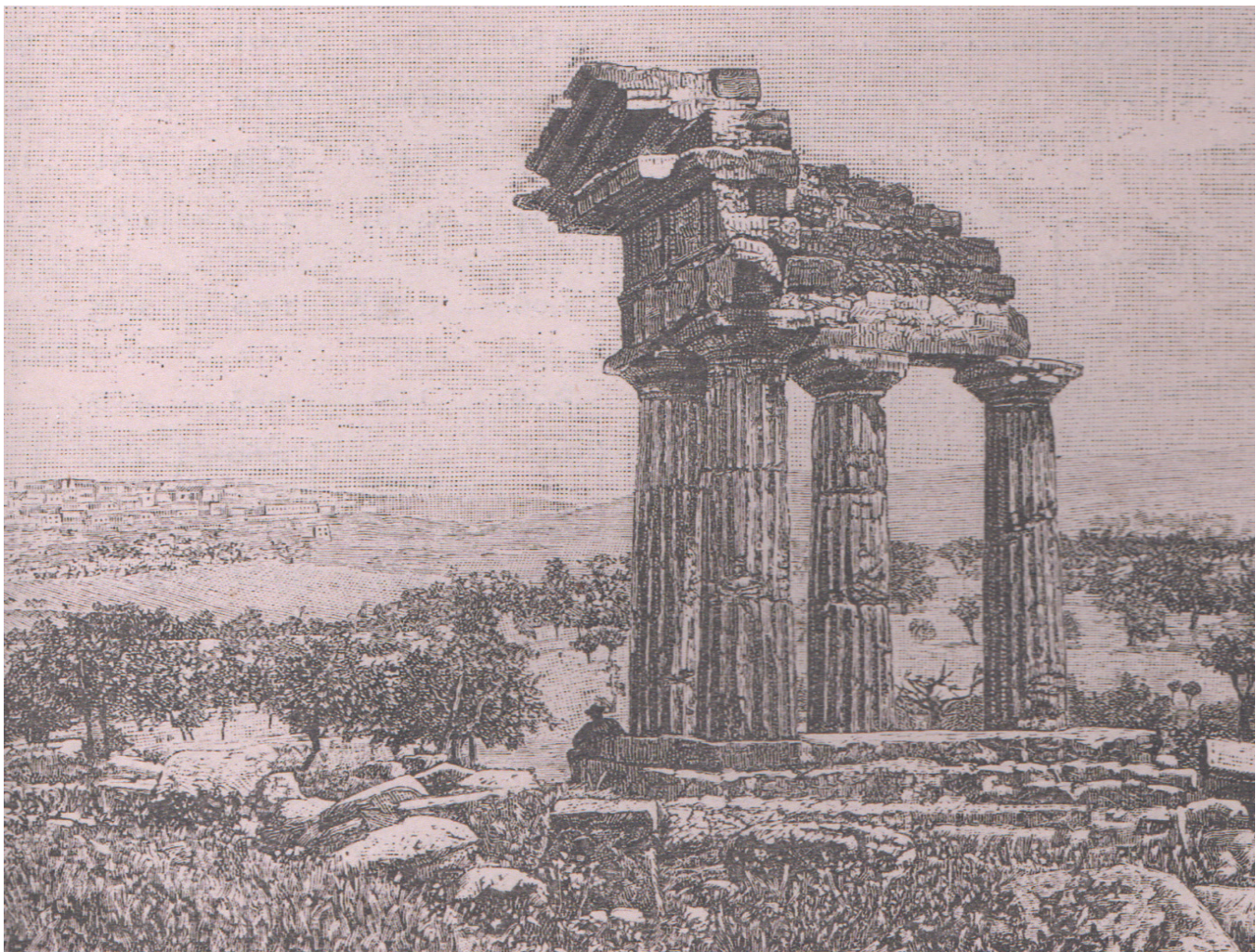
Luogo e anno pubblicazione: Milano 1892

N. volumi: 1

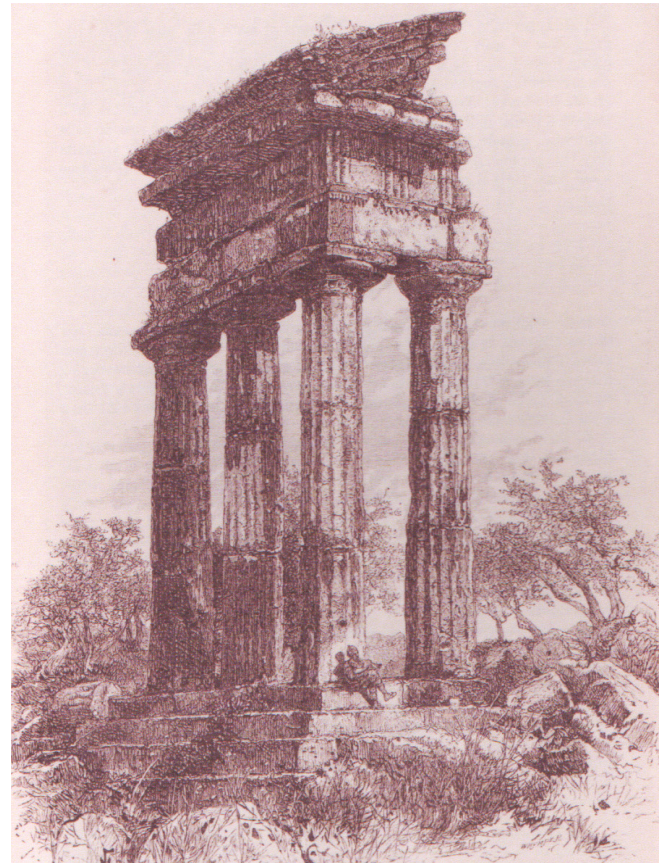
Pagina: 113

Tavola:

Didascalia: Girgenti: tempio di Castore e Polluce



Oggetto: Tempio di Castore e Polluce
Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco
Tecnica di stampa: silografia
Dimensioni (B x H): 16 x 19
Luogo e anno :
Disegnatore: Whympers
Note: animata
Titolo pubblicazione: La Patria Geografia dell'Italia -
Sicilia
Foglio:
Autore pubblicazione: Strafforello Gustavo
Luogo e anno pubblicazione: Torino 1893
N. volumi:
Volume: n°7 – Sicilia parte quinta
Tavola: 85
Didascalia: Girgenti: Tempio di Castore e Polluce



Oggetto: Pianta delle rovine di Agrigento

Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco

Tecnica di stampa: silografia

Dimensioni (B x H): 7 x 11.7

Luogo e anno :

Disegnatore:

Note:

Titolo pubblicazione: La Patria Geografia dell'Italia -
Sicilia

Foglio:

Autore pubblicazione: Strafforello Gustavo

Luogo e anno pubblicazione: Torino 1893

N. volumi:

Volume : Volume n°7 – Sicilia parte quinta

Tavola: pag. 349 tavola 89

Didascalia: Pianta topografica delle rovine di Agrigento
nel loro stato presente



Oggetto: Il Tempio di Castore e Polluce
Fondo e/o Collocazione: Biblioteca Ente parco
Tecnica di stampa: litografia
Dimensioni (B x H): 15.5 x 23.5
Luogo e anno :
Disegnatore: G. Vuiller
Note:
Titolo pubblicazione: La Sicilie. Impressions du present
et du passè
Foglio:
Autore pubblicazione: Vuiller Gaston
Luogo e anno pubblicazione: Paris 1896
N. volumi: 1
Pagina: 213
Tavola:
Didascalia: Le temple de Castor et Pollux a Agrigente



3. Il rilievo

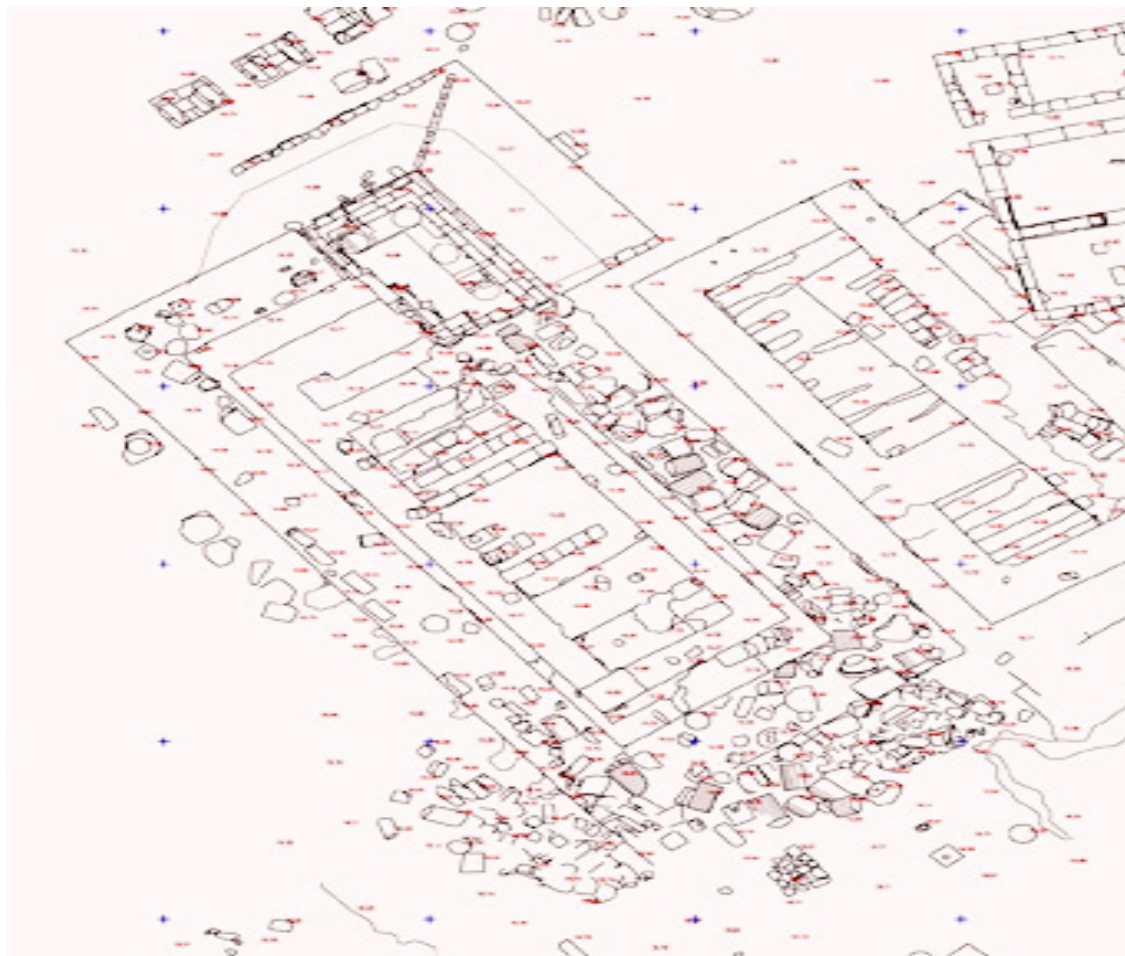
3.1 Introduzione

La complessità dell'argomento trattato ha richiesto l'uso in fase di rilievo di una profonda analisi dell'oggetto possibile sono attraverso l'uso di più sistemi integrati di rilevamento. Una parte della conoscenza del tempio è stata infatti possibile acquisirla attraverso l'uso della nuvola di punti ottenuta dal rilievo con lo scanner laser, mentre al fine di un corretto texturing si sono adoperati i sistemi di fotogrammetria terrestre semplificata e per la realizzazione di una corretta anastilosi dei frammenti più piccoli e difficili da identificare nella nuvola di punti si è proceduto con i sistemi di rilevamento diretto tradizionali.

Secondo B.P.Torsello il rilievo costituisce il primo mezzo di conoscenza e indagine dell'architettura e serve a "(...) produrre senso e comprensione della fabbrica"¹ e ciò attraverso "la capacità di scegliere, tra le infinite possibili, l'insieme più efficace delle misure e delle informazioni"². Infatti "al fine di definire le caratteristiche e la collocazione nel contesto urbano o ambientale dei manufatti è necessario ne vengano definiti i parametri dimensionali in modo da poter fornire il necessario supporto alle successive analisi specialistiche. Il rilievo parte dalla collocazione nello spazio dei manufatti attraverso la georeferenziazione del sito, il suo rilievo planoaltimetrico e topografico. Successivamente gli elaborati devono essere finalizzati alla specifica conoscenza dei manufatti per cui di volta in volta va scelta la scala più adeguata". Il rilievo è quindi momento conoscitivo

della fabbrica, ma nello stesso tempo è anche un'operazione critica fatta di scelte derivate dall'impossibilità di rappresentare gli infiniti punti della materia nonostante l'uso dello scanner laser sembri vanificare in parte questo concetto. R. Migliari in un dibattito sul rilievo tenutosi presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" afferma riguardo il rilievo che: "Il modo migliore per definire questa importante attività dell'architetto che si occupa di edifici storici sia rispondere: è la ricostruzione del progetto, definizione che può apparire semplicistica, ma ha il vantaggio di essere immediata. Il rilievo, infatti, è evidentemente un processo inverso, nel quale, a partire da un manufatto esistente si ricostruiscono gli elaborati necessari per realizzarlo, così com'è ora, e si interpreta l'idea progettuale, che quasi sempre non coincide esattamente con la sua realizzazione. Un edificio storico, infatti, è il risultato di una stratificazione a volte secolare di interventi e di intenti progettuali, non è mai il risultato di un ciclo breve e concluso in sé stesso come avviene in un edificio di recente realizzazione. La definizione suddetta è quindi ancora valida, se si dà al progetto il senso della sua storia, cioè di quella evoluzione continua che lo caratterizza.

Il rilievo architettonico può articolarsi in due momenti distinti: quello in cui dall'opera viene desunto un modello numerico, discreto e discontinuo, e quello in cui dal modello numerico viene desunto, se è possibile, un modello continuo e perfetto, che cerca di raffigu-



12/ Planimetria di rilievo area tempio dei Dioscuri

rare l'idea progettuale e può essere applicato alle fasi evolutive dell'edificio, dalla sua prima concezione allo stato di fatto attuale, naturalmente non senza una approfondita ricerca di natura filologica". Il rilievo architettonico è quindi una forma di conoscenza complessa, che ci consente di documentare il bene architettonico nelle sue caratteristiche metriche e dimensionali, nella sua storia, nella sua realtà strutturale e costruttiva così come in quella formale e funzionale.

Il rilievo aiuta a comprendere le origini di un edificio e le sue vicende storiche, ne evidenzia gli aspetti ca-

ratteristici e le anomalie, la distribuzione geometrica, la morfologia, le caratteristiche strutturali e lo stato di conservazione.

Nel progetto di rilievo si distinguono delle fasi operative ben distinte per arrivare ad ottenere un elaborato il più possibile preciso ed aderente alla realtà.

La regola seguita nel caso specifico si è basata su un approccio che va dal generale al particolare per meglio appropriarsi delle caratteristiche del tempio ed evitare che la sua estensione e la complessità delle rovine, divenissero elementi di difficile astrazione grafica e se ne

pregiudicasse la precisione.

Un primo approccio è stato di tipo ricognitivo, quindi una seconda fase strettamente connessa alla prima, è la realizzazione di primi schizzi di campagna, dai più semplici, su cui si segnano ad esempio le viste migliori o i coni ottici delle prime foto, a quelli più complessi. In questi la percezione soggettiva diviene sintesi ed interpretazione, rappresentando, con disegni e simboli grafici elementi di interesse che vanno isolati per maggiori approfondimenti. Infine schizzi di campagna generali, che abbracciano tutta l'area, schematizzandolo in modo ordinato e preciso, e che costituiranno un valido supporto per le successive realizzazioni di elaborati grafici. Un'importante fase preliminare è la realizzazione di un'esauriente documentazione fotografica. Il rilievo fotografico è stato di inquadramento, con foto generali dell'intero tempio, e "di dettaglio", con particolari architettonici più complessi. In apposite schede sono stati appuntati i punti di presa delle foto e una breve descrizione dell'elemento fotografato. La realizzazione di un buon rilievo fotografico è utile alle successive fasi di restituzione grafica perché costituisce un elemento di facile verifica e di riscontro immediatamente consultabile. Da non trascurare è poi l'importanza di



13/ Distanziometro laser

una documentazione fotografica dei beni archeologici come monitoraggio che ne attesti e ne descriva in modo puntuale e immediato lo stato di fatto in un determinato momento.

Le considerazioni preliminari, permettono di svolgere successivamente in modo scientifico e rigoroso un corretto progetto di rilievo, in cui si decidono le fasi, il metodo da utilizzare più adatto alla fabbrica in questione, gli strumenti che saranno necessari, i piani di rappresentazione (sia orizzontali che verticali) e la quota di riferimento per effettuare gli elaborati grafici. Ciò aiuta a stabilire un corretto iter progettuale, evitando inutili dispendi di energie e di tempo, con la certezza di rilevare tutte quelle misure necessarie ad una corretta fase di rappresentazione.

Nel caso del tempio di Castore e Polluce i sistemi di rilevamento utilizzati sono stati sia di tipo tradizionale come semplici longimetri per semplici verifiche o per meglio comprendere i particolari più minuti, che di "nuova" concezione ed entrati da qualche anno ormai fra le metodologie di rilievo. Tra queste sono da menzionare l'uso dello scanner laser e della fotogrammetria anche se utilizzata non per una restituzione numerica dell'oggetto ma per una corretta rappresentazione materica.

L'uso del metodo della fotogrammetria terrestre semplificata è stato, infatti, utilizzato principalmente per la realizzazione delle texture, attraverso l'individuazione quindi dei piani da raddrizzare, dei punti di presa, cioè in base alle caratteristiche morfologiche e orografiche del sito, e dei possibili punti d'appoggio o di riferimento sui piani dei prospetti. Gli elementi decorativi o le tracce di stucco ancora esistenti sono stati rilevati utilizzando tale sistema e sugli schizzi di campagna sono state appuntate tutte quelle informazioni utili alla realizzazione di una corretta rappresentazione del tempio.

Note

1.B.P.Torsello, "Editoriale, Tema, 1996, p3

2.B.P.Torsello, "Editoriale, Tema, 1996, p3

3.2 La fotogrammetria per il texturing

Anche se non propriamente utilizzata ai fini del rilevamento, tale metodologia fa parte integrante di tali sistemi. Il metodo utilizzato si indica col nome di fotogrammetria terrestre semplificata per distinguerla dalla fotogrammetria tradizionale, utilizzata soprattutto per la rappresentazione delle carte geografiche, e che permette la rappresentazione in scala e geometricamente corretta dell'oggetto preso in esame, partendo da due foto, prese da punti diversi e di posizione nota nello spazio rispetto ad esso. Le due foto proiettate in modo opportuno e contemporaneamente, permettono di ottenere un modello tridimensionale ed in scala, dell'oggetto analizzato. Naturalmente tale sistema si rivelerebbe nel nostro caso oneroso anche perché eccessivamente complesso per il nostro fine che non richiede precisione



14/ Immagine utilizzata per la realizzazione delle texture della parte sommitale del tempio, l'architrave.

estrema. Si è deciso così di utilizzare una semplificazione del sistema che si basa su una singola presa fotografica, opportunamente realizzata e alcuni software dedicati che semplificano molto la procedura.

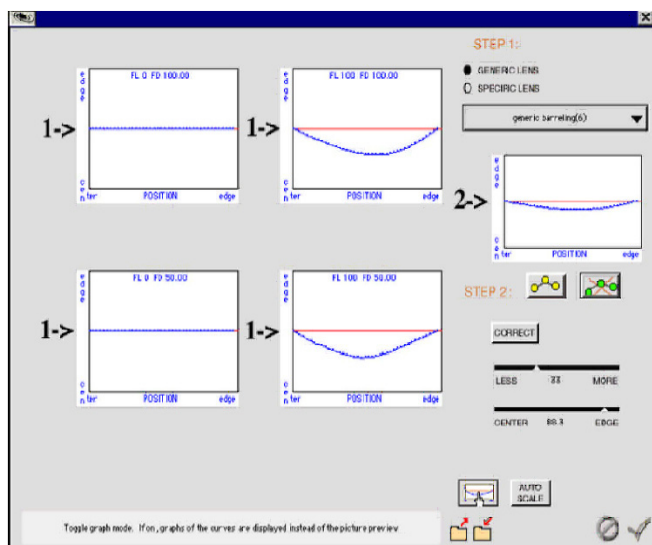
Per eseguire il rilievo e ottenere successivamente delle buone texture è stato opportuno scegliere le ore centrali della giornata con cielo parzialmente coperto da nuvole o comunque in giornate prive di forte illuminazione. Tale semplice accorgimento fa sì che le "ombre portate" siano minime e che la luce sia complessivamente omogenea.

Per eseguire il raddrizzamento di una presa fotografica è necessaria la conoscenza di almeno otto parametri che definiscono la relazione omografica¹ fra il piano dell'immagine fotografica originaria e quello dell'immagine raddrizzata. Ciò naturalmente è stato possibile solo su superfici quasi planari, quindi sulla zona dell'architrave (questo perché la trasformazione omografica avviene fra piani e quindi gli elementi aggettanti o rientranti risultano nell'immagine raddrizzata deformati e geometricamente non corretti sia in posizione che in dimensione). In alcuni casi comunque le prese non sono state effettuate nelle condizioni ottimali e si sono dovuti effettuare più passaggi per ottenere un corretto fotopiano².

Il fotopiano "può essere quindi considerato come una cartografia bidimensionale fotografica"³ sulla quale misurare la realtà rappresentata.

La trasformazione omografica della presa fotografica è svolta da algoritmi matematici che generano una nuova immagine prospetticamente corretta.

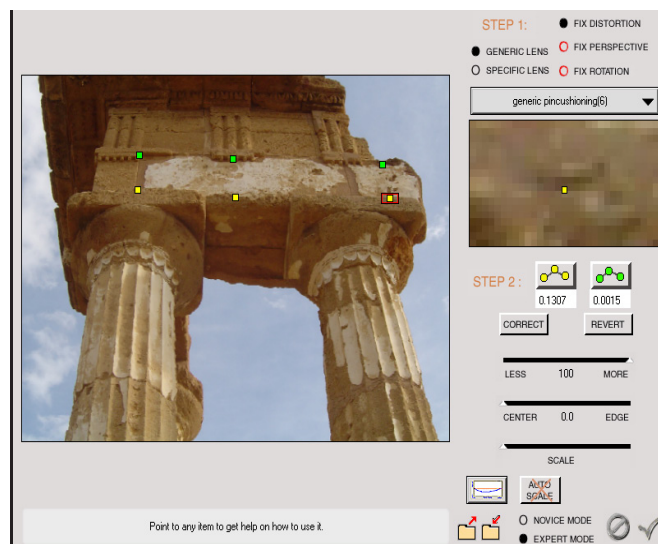
La prima fase del processo di raddrizzamento al fine di ottenere un corretto texturing è stata l'eliminazione delle distorsioni ottiche dovute alla sfericità dell'obiettivo della macchina fotografica con l'ausilio di un software apposito (Lesdoc) che riconoscendo le deformazioni dovute all'errore di sfericità le elimina e restituisce un'immagine corretta, e priva quindi di tale difetto (Foto 15,16). Svoltata questa fase si passa all'elaborazione dei dati con software di disegno automatico (CAD) ed ottenere quindi, le coordinate cartesiane bidimensionali utili al processo di raddrizzamento.



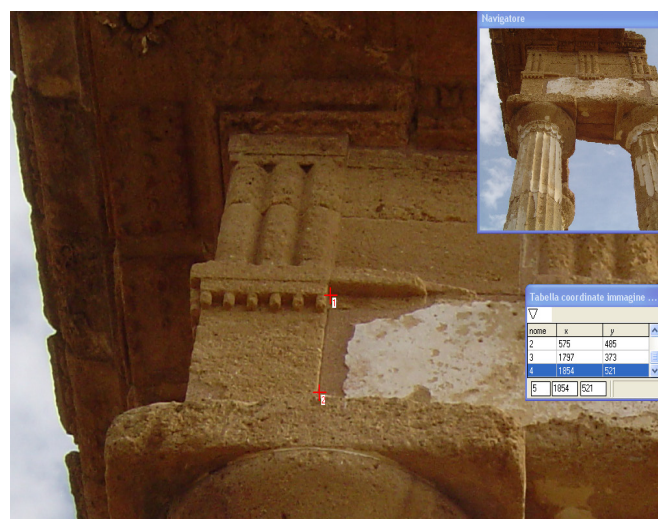
15/ Taratura macchina fotografica

Per eliminare le distorsioni prospettiche e ottenere quindi dei fotopiani in scala e metricamente corretti si sono utilizzati software specifici (RDF) che riconoscendo i punti d'appoggio, tramite l'immissione dei dati ottenuti dalle scansioni o dal rilievo diretto, opportunamente trasformati in coordinate cartesiane, riconoscono e correggono le deformazioni prospettiche, ricavando dalla foto una proiezione ortogonale. Si esegue praticamente una trasformazione omografica fra due

spazi piani, dove i due spazi piani sono rappresentati rispettivamente dal piano ripreso in fotografia e dalla sua immagine trasformata in proiezione ortogonale, e i parametri utilizzati per ottenere ciò sono almeno le otto coordinate bidimensionali X,Y dei 4 punti d'appoggio scelti. Al fine di avere un fotopiano corretto è comunque utile scegliere almeno 5 punti con i quali è

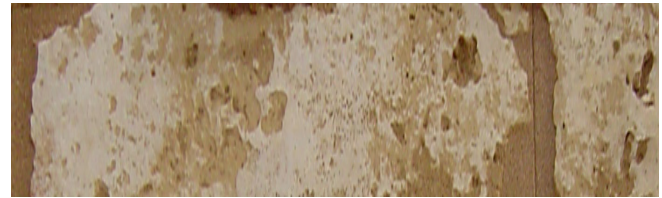


16/ Eliminazione errore sfericità

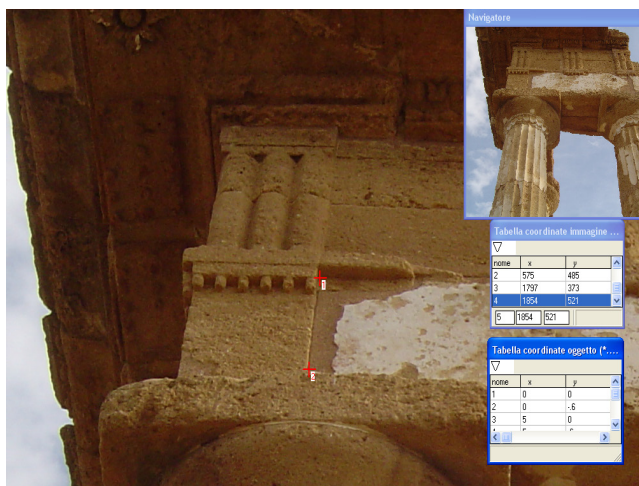


17/ Individuazione punti sulla foto per effettuare il successivo raddrizzamento fotogrammetrico

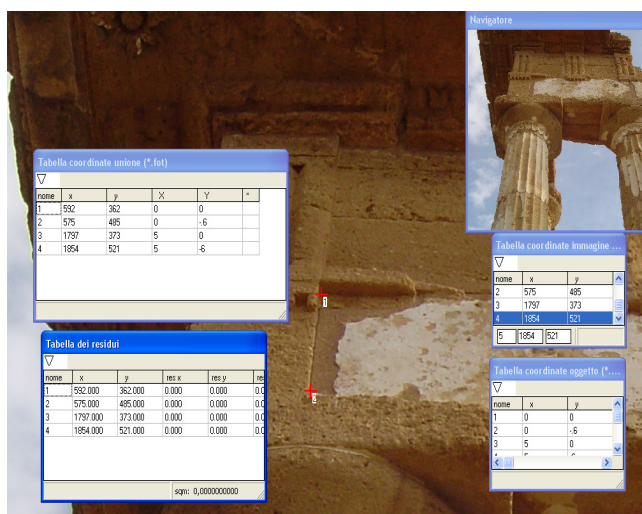
possibile fare il calcolo dello scarto quadratico medio e valutare quindi l'errore complessivo del prodotto ottenuto. Ciò va ripetuto per ogni foto effettuata. L'immagine è stata quindi ripulita da elementi non pertinenti o che si sovrapponevano prospetticamente ai piani di rappresentazione, ma estranei ad essi. (Foto 17-20)



20/ Immagine corretta e ritagliata per essere applicata come texture in fase di rendering.



18/ Fase di immissione delle coordinate dei punti



19/ Controllo dell'errore

Note

1.L'omografia è una trasformazione fra due spazi piani. Nel caso specifico i due spazi piani sono rappresentati rispettivamente dal piano ripreso in fotografia e dalla sua immagine trasformata in proiezione ortogonale, mentre gli otto parametri sono le coordinate bidimensionali X,Y di 4 punti opportunamente scelti e tali che non ve ne siano tre allineati.

2.Il fotopiano è la presa fotografica di un piano sulla quale è possibile operare una trasformazione, (detta anche "raddrizzamento"), che porta questo piano dalla sua configurazione prospettica in proiezione ortogonale.

3.Lusuardi, 2002

3.3 Nuvola di punti e scanner laser

Utilissimo strumento per il rilievo archeologico si è rivelato lo scanner laser. Tale strumento effettua misurazioni automatiche attraverso l'acquisizione di un grande numero di punti sull'oggetto da rilevare. Il suo funzionamento può essere paragonato a quello di una stazione totale dove però la collimazione e il numero di informazioni che si ottengono sono molto superiori. In tempi molto rapidi è infatti possibile acquisire le coordinate 3D di un gran numero di punti che descrivono l'oggetto da rilevare e in molti casi (non nel nostro) anche i valori RGB¹ di colore che possono essere utilizzate per avere informazioni di tipo anche cromatico. I tipi di scanner possono essere suddivisi in base al sistema di acquisizione dei dati.



21/ Scanner laser

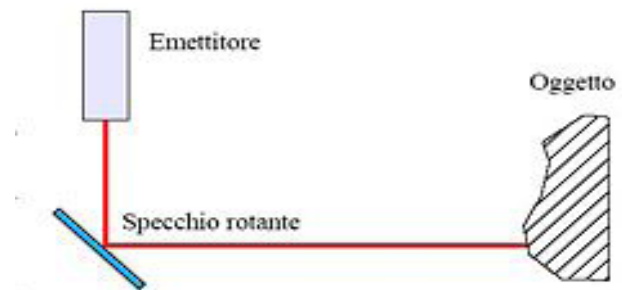
Gli scanner a tempo di volo (TOF) sono dotati al loro interno di uno strumento in grado di misurare la distanza tra lo strumento e la superficie dell'oggetto da rilevare cronometrando con grandissima precisione il tempo di andata e ritorno di un impulso di luce. Un diodo emette un impulso e un cronometro misura il tempo intercorrente tra l'emissione e il ritorno sul rilevatore dello strumento, il fotodiode.

La velocità della luce, essendo una costante nota fa sì che la distanza sia uguale a $t/(2 \cdot c)$.

La precisione del cronometro corrisponde così grossomodo alla precisione dello scanner. Ruotando il diodo emettitore o un sistema di specchi, lo scanner ruota il raggio di luce e intercetta punti differenti sull'oggetto. Tali tipi di scanner sono molto utilizzati per misurazioni di ampie superfici e possono misurare tra i 10000 e i 100000 punti al secondo con un passo che varia tra i 3 e i 5 millimetri (Foto 22)

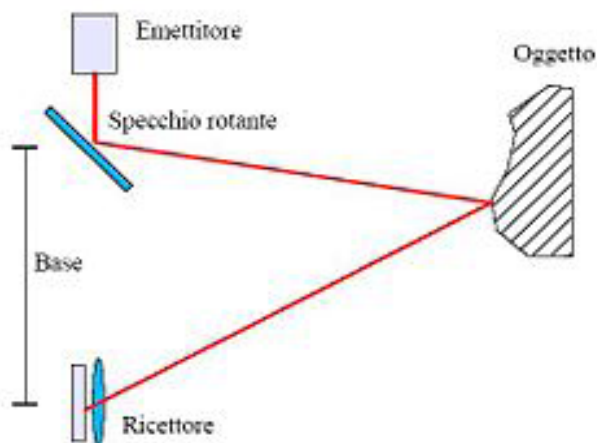
Gli scanner a triangolazione ottica sono invece utilizzati per il rilievo di oggetti più piccoli vista la grandissima precisione di cui sono capaci, riuscendo infatti a raggiungere misurazioni sub-millimetriche.

L'emettitore dello strumento emette un fascio di luce



22/ Schema funzionamento scanner TOF

attraverso delle lenti cilindriche con l'accorgimento che il laser venga emesso da un punto differente rispetto al punto in cui viene rilevato. Essendo la distanza tra questi nota e riconoscendo gli angoli che il laser traccia a partire dalla retta di congiunzione dei due punti, determina univocamente dei lati e l'angolo mancante del triangolo e quindi l'esatta posizione del punto intercettato dalla luce formando appunto una triangolazione. (Fotot 23).



23/ Schema funzionamento scanner a triangolazione ottica

Il rilievo strumentale con lo scanner laser nel nostro caso è stato fornito dall'Ente Parco di Agrigento che si è avvalso della collaborazione della società Geogrà di Mantova. La fase di unione e collimazione della nuvola di punti e la gestione della nuvola ottenuta sono stati oggetto di studio e di ricerca e risultano parte integrante della tesi per le particolari metodologie scelte.

I sistemi di acquisizione di dati 3D permettono infatti di generare milioni di punti dalle superfici rilevate, con operazioni di gestione spesso complesse. L'elevata quantità di dati è però sia punto i forza del metodo che elemento di criticità. È necessario infatti generare una struttura che agevoli i processi di visualizzazione gra-

fica e successiva triangolazione. Nel nostro caso, vista la natura dell'oggetto in esame e la particolarità della pietra arenaria che presenta un grado di conservazione variabile e grande porosità si è presentato il problema del non voler decimare la nuvola per non avere alcuna, anche se minima perdita di informazioni, mantenendo quindi un alto livello di dettaglio.

Si è scelto di adoperare due metodologie alternative e sotto certi punti di vista ancora poco esplorate in campo architettonico ed archeologico. Il primo approccio è stato infatti quello di realizzare una triangolarizzazione della nuvola di punti senza nessuna riduzione ottenendo una mesh molto densa di poligoni, quindi di informazioni, ma di difficilissima gestione da cui si è ottenuto in seguito un modello invece gestibile pur senza perdita di informazioni in fase di rappresentazione. Contemporaneamente si è operato sulla nuvola direttamente, senza passare da operazioni di tassellazione, ottenendo le sezioni necessarie alla costruzione di un modello ideale.



24/ Nuvola di punti

Note

1. RGB è il nome di un modello di colori le cui specifiche sono state descritte nel 1931 dalla CIE (Commission internationale de l'éclairage). Tale modello di colori è di tipo additivo e si basa sui tre colori rosso (Red), verde (Green) e blu (Blue), da cui appunto il nome RGB, da non confondere con i colori primari sottrattivi giallo, ciano e magenta (popolarmente chiamati anche giallo, blu e rosso). Un'immagine può infatti essere scomposta, attraverso filtri o altre tecniche, in questi colori base che miscelati tra loro danno quasi tutto lo spettro dei colori visibili, con l'eccezione delle porpore.

Più specificamente i 3 colori principali corrispondono a forme d'onda (radiazioni luminose) di periodo fissato, quali:

Rosso, con una lunghezza d'onda di 700 nm

Verde, con una lunghezza d'onda di 546,1 nm

Blu, con una lunghezza d'onda di 455,8 nm

L'RGB è un modello additivo: unendo i tre colori con la loro intensità massima si ottiene il bianco (tutta la luce viene riflessa). La combinazione delle coppie di colori dà il ciano, il magenta e il giallo. La scelta dei colori primari è correlata alla fisiologia dell'occhio umano. I tre tipi normali di cellule fotorecettive sensibili alla luce nell'occhio umano (le cellule cono) rispondono infatti più alla luce gialla (lunghezza d'onda lunga), verde (media), e viola (corta). La differenza nei segnali ricevuti dai tre tipi permette al cervello di differenziare un gran numero di colori diversi.

4. Triangolarizzazione e mesh

Uno degli aspetti più tipici in questo campo è la trasformazione della nuvola di punti in una mesh a maglia triangolare o quadrangolare. Tutte le forme geometriche e solide in computer grafica possono essere analizzate secondo operazioni di varia natura.

La maggior parte essendo spesso poligoni riconducibili a elementi semplici, sono definiti da formule matematiche che ne descrivono determinate condizioni. Ad esempio una sfera è il luogo geometrico dei punti dello spazio equidistanti da un punto centrale che rappresenta il centro della sfera stessa. Altre forme all'apparenza più complesse di un semplice parallelepipedo o cubo sono riconducibili a elementi semplici, resi articolati da operazioni, sempre di natura matematica, di unione, intersezione e sottrazione (operazioni booleane). In altri casi si utilizzano superfici complesse come le nurbs (non uniform rational b-spline) che sono formate da una classe di curve geometriche utilizzate per rappresentare superfici che definiscono accuratamente la forma di un oggetto. La difficoltà degli elaboratori a gestire superfici complesse come le nurbs ha prodotto l'esigenza di creare un sistema di approssimazione della forma per elementi piani. Questa modalità è indipendente dalla descrizione analitica dell'oggetto e permette di descrivere qualsiasi forma in base alla suddivisione in triangoli o quadrangoli effettuata¹. La superficie che si ottiene prende la denominazione di mesh poligonale. Il suo punto di forza in computer grafica è quello di discretizzare qualsiasi oggetto in un numero di poligoni semplici che determinano la qualità dell'appros-

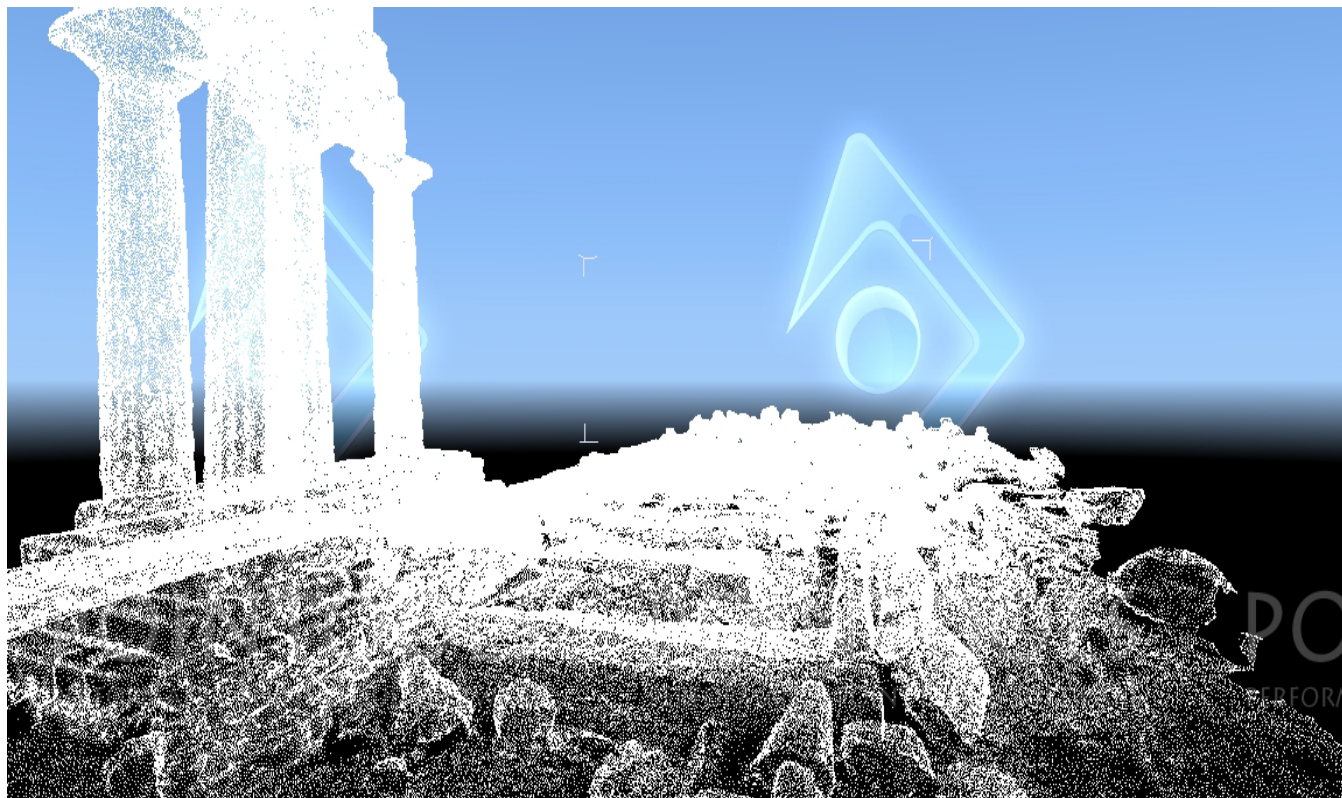
simazione stessa. Ciò fa sì che semplici facce, spigoli e vertici definiscano qualsiasi oggetto senza soluzione di continuità.

La semplificazione del trasformare una nuvola di punti in mesh nasce dalla semplice trasposizione ove possibile delle coordinate x,y,z di un punto in coordinate di vertici di un poligono o triangolo. La generazione avviene secondo algoritmi automatici che trasformano l'oggetto in poligoni che possono essere suddivisi ulteriormente in elementi minimi come i triangoli attraverso la ricorsione.

La trasformazione in mesh implica due tipi di problematiche. Se la superficie è infatti molto semplice e quasi piana, un basso numero di poligoni riesce a descriverla bene senza perdita di qualità in quanto le facce di un solido sono facilmente riconducibili a quadrangoli o triangoli. Nel caso di oggetti molto complessi, curvi, a doppia curvatura o come nel caso del tempio dei Dioscuri, assimilabili ad una forma organica, la semplificazione in facce piane comporta intuitivamente la problematica di dover approssimare con molti elementi semplici una curvatura complessa. Ciò può avvenire solo attraverso l'uso di un grande numero di poligoni ed un'alta suddivisione della mesh con difficoltà oggettive computazionali.

Un alto numero di poligoni e una loro disposizione "ordinata" permettono di avere una maggiore levigatura² ed eliminano il problema di cuspidi inesistenti che rappresenterebbero una linea di rottura della materia.

La complessità e la forma dei poligoni rappresentano



25/ Nuvola di punti

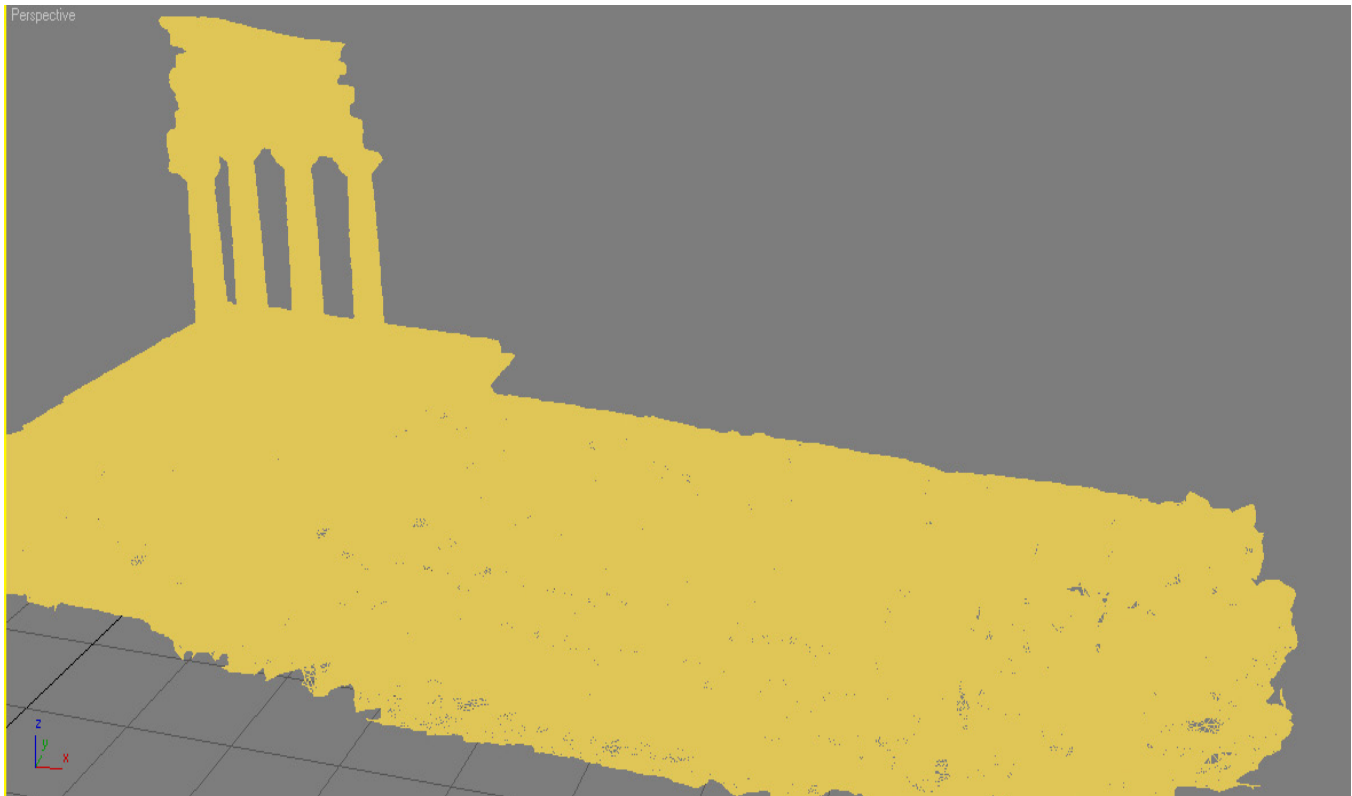
la morfologia finale della superficie e la sua verosimiglianza. La difficoltà nel bilanciare la necessità di conservare la forma desiderata con quella di gestibilità della mesh stessa a causa dell'altro numero di vertici e poligoni è una delle problematiche più affascinanti da risolvere nella grafica computerizzata.

Il tempio dei Dioscuri anche per le caratteristiche intrinseche del materiale è assimilabile ad una forma molto complessa e ricca di asperità dovute alla pietra di cui è costituito. Per tale ragione la mesh di base risultante è molto complessa e presenta quasi cinque milioni di poligoni.

La teoria alla base della creazione delle mesh può essere ritrovata già in Cartesio. Nel suo "Principia Philosophiae" (1644), Cartesio affermò che il sistema solare

è fatto di vortici. In un'illustrazione egli mostrò la decomposizione dello spazio in regioni convesse ognuna delle quali era composta di materia che si avvolgeva intorno ad una stella. Questo concetto comparve successivamente indipendentemente da questa osservazione e si dimostrò subito utile in vari campi della scienza. Sono usati diversi nomi per questo stesso concetto a seconda del campo in cui sono utilizzati: trasformazione dell'asse mediale, in biologia e fisiologia, zone di Weigner-Seitz in chimica e fisica, domini d'azione in cristallografia e poligoni di Thiessen in meteorologia e geografia.

Dirichlet e Voronoy introdussero formalmente il concetto di triangolazione, intorno ai primi anni del Novecento, che prese il nome di Diagramma di Voronoy.



26/ Triangolarizzazione nuvola di punti

Voronoy fu il primo a considerare questa struttura della materia, ma fu Delaunay a stabilirne le proprietà. Il duale del diagramma di Voronoy prese così il nome di triangolazione di Delaunay. Con il tempo, gli algoritmi per la costruzione di quest'ultima struttura si dimostrarono più veloci e soddisfacenti, ed anche più utili nelle applicazioni.

Infatti il metodo ad elementi finiti utilizzato, particolarmente utile nella simulazione numerica e quindi nello studio di molti dei problemi reali, richiede la divisione dello spazio in elementi semplici come, ad esempio, triangoli in due dimensioni e tetraedri in tre dimensioni. In particolare, la triangolazione di Delaunay ha delle proprietà specifiche che la rendono preferibile ad altri tipi di triangolazioni.

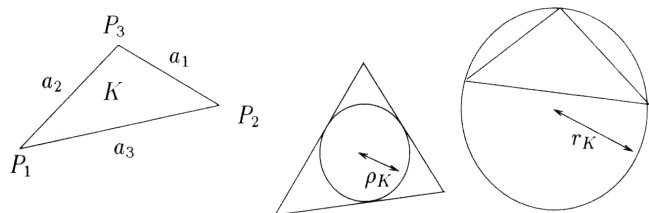
Gli studi sulle triangolazioni risalgono già al tempo di Euclide (330-270 a.C.), ma in epoca più recente possiamo riferirci a Peter Gustav Dirichlet (1805-1859), Georgy Voronoy (1868-1908) e Boris Delone o Delaunay (1890-1980) come ai padri dello sviluppo moderno delle triangolazioni.

Alla fine del 19° secolo Dirichlet dimostrò che è possibile, per un insieme di punti in due dimensioni, dividere il piano in celle basandosi su criteri di vicinanza. Più tardi Voronoy, studiando le forme quadratiche estese il criterio di Dirichlet allo spazio tridimensionale.

Sia “S” un insieme di “n” punti, o siti, “ P_i ”, dove “i = 1 fino ad n”, in dimensione “d”, una cella di Voronoy, “V(A)”, di un sottoinsieme “A” di “S” è il luogo dei punti di “R” equidistanti da ogni sito in “A” e più vicino ad

“A” che ad ogni altro sito che non è in “A”. Quindi per il “A = (a)”, “V (A)” è l’insieme di punti più vicini ad “a” che a qualsiasi altro sito. “V (A)” può essere vuoto o perchè non ci sono punti equidistanti da ogni “a” che appartiene ad “A” o perchè ogni punto equidistante da ogni a che appartiene ad A è anche equidistante da un “a” che appartiene ad un “A-S”.

Un diagramma di Voronoy, “V”, è una collezione di celle di Voronoy, non vuote, “V (A)”, per ogni sottoinsieme “A” di “S”. Le celle di Voronoy sono poligoni (poliedri in tre dimensioni) chiusi e convessi. Così le celle aperte e disgiunte ricoprono tutto lo spazio e costituiscono, nel piano (se $d = 2$), la tassellazione di Dirichlet o più in generale il diagramma di Voronoy in “R”. Basandoci su questa definizione, osserviamo che ogni cella di Voronoy è associata ad un punto e che in due dimensioni ogni cella ha il bordo costituito alternativamente da lati di Voronoy (celle 1-dimensionali) e vertici di Voronoy (celle 0-dimensionali); in tre dimensioni avremo anche facce di Voronoy (celle 2-dimensionali). Osserviamo anche che, se consideriamo il duale del diagramma di Voronoy, otteniamo una triangolazione di Delaunay. Questo fu il fondamentale risultato ottenuto da Delaunay e da lui pubblicato nel 1934 nel trattato “Sur la sphère vide”. Se ora consideriamo il triangolo come elemento semplice. Cioè come rappresentabile attraverso una terna ordinata di vertici, detti “Pi”, dati in senso orario o antiorario avremo un: “K = (P1; P2; P3)”. A questo si associa il concetto di circuncerchio come circonferenza che circoscrive il triangolo teorico



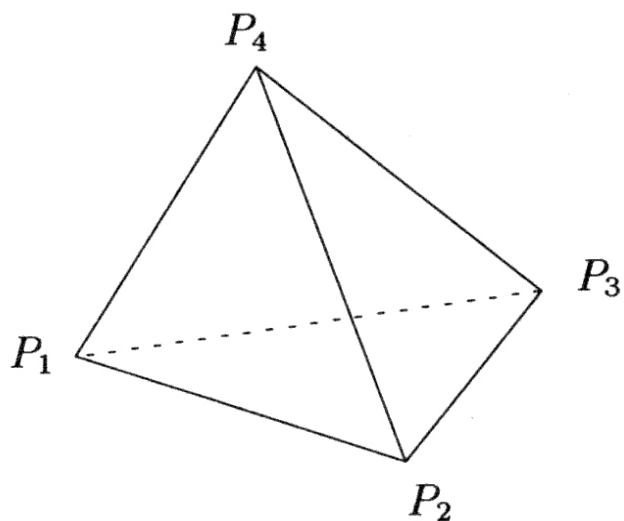
27/ Il triangolo e il circuncerchio

che nasce dall’unione di tre punti e che sta alla base degli algoritmi di decimazione delle mesh. In tali algoritmi infatti si considera il triangolo che circoscrive più triangoli e si crea un poligono di media che ne contenga i vertici o la maggior quantità di area possibile con conseguente deformazione della superficie originaria. (Foto 27)

Quando più triangoli o poligoni si uniscono formano delle figure spaziali tridimensionali che possono essere considerate buone o “errate” per una corretta rappresentazione del modello 3D.

Il tetraedro è un solido con quattro facce triangolari. Esso è ben definito da una lista ordinata dei suoi quattro vertici “Pi: K = (P1; P2; P3; P4)”. In simbiosi con il caso piano, abbiamo la presenza della circumsfera, associata ad ogni tetraedro, ossia la sfera circoscritta ai suoi vertici e che in alcuni software viene assimilata a concetti come “gizmo” o “boundibox”.

La qualità della triangolazione è un valore che serve per misurare la forma dell’elemento stesso. L’interesse di questa quantità è dato dal fatto che per la maggior parte delle applicazioni la qualità degli elementi di una mesh



28/ Tetraedo

è importante per la precisione dei risultati raggiunti. Ci sono molti modi per stabilire la qualità di un elemento e la scelta dell'uno o dell'altro dipende sicuramente dall'utilizzo della mesh che abbiamo in mente.

Per un triangolo "K" la prima misura di qualità può essere data dalla formula: " $QK = y * (h_{max}/P_k)$ " dove "y" è un fattore di normalizzazione in modo da ottenere il più possibile triangoli equilateri e che in tal caso assume valore "1", " h_{max} " è il lato più lungo del triangolo, e " P_k " è il raggio della circonferenza inscritta. Analogamente avviene per il tetraedro. In base agli angoli che si formano e ai diedri si può parlare di buone o cattive triangolazioni.

In generale si hanno il "Round" che il tetraedro ottimale tipico della geometria, poi casi di tetraedri limite non ottimali che sono detti "Needle" se hanno un angolo solido grande ma angoli diedri né troppo grandi né troppo piccoli, "Wedge" se hanno angoli diedri piccoli. Un esempio è un tetraedro che ha la chiusura convessa di due spigoli corti e perpendicolari fra loro; "Sliver" se presenta angoli diedri sia grandi che piccoli ma angoli solidi non troppo grandi. Un esempio è un tetraedro formato da quattro punti quasi complanari e quasi alla stessa distanza sulla superficie della sfera; "Spi-

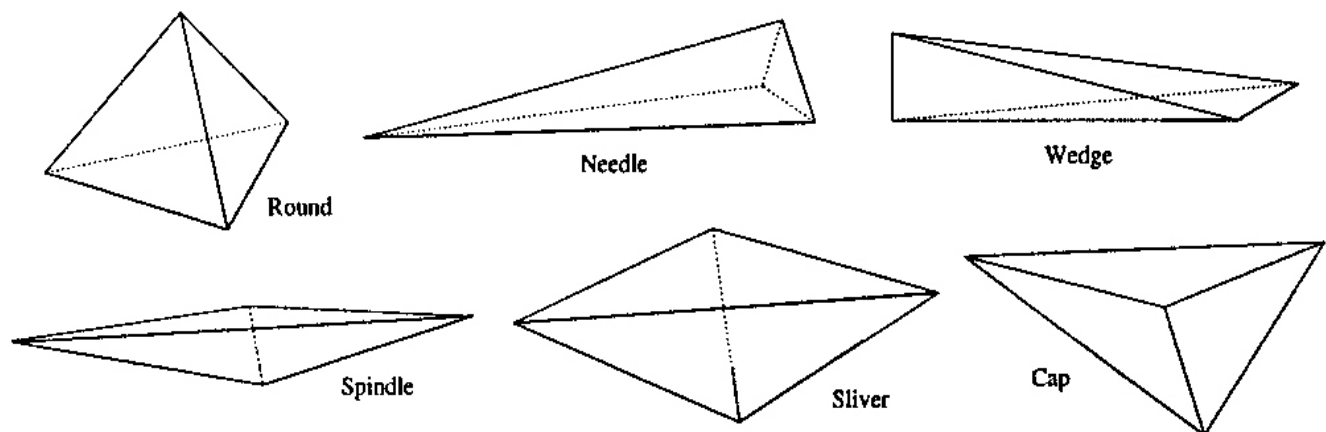
nale" se ha piccoli angoli solidi e grandi angoli diedri; infine "Cap" se ha un angolo solido molto grande, quasi piatto e il raggio della circumsfera è molto più grande dello spigolo più lungo.

La differenza fondamentale tra una triangolazione ed una mesh è che la triangolazione è il ricoprimento della chiusura convessa di un insieme di punti, mentre la mesh è il ricoprimento di un dato dominio, definito, e che comprende la discretizzazione anche di un bordo o di una figura chiusa.

Nasce quindi l'esigenza del "rafforzamento", in qualche modo, del bordo del dominio, nel senso che la triangolazione deve contenere il bordo stesso, quindi è una triangolazione "constrained", cioè con dei parametri fissi e la necessità di costruire un insieme di punti a partire dai vertici che definiscono il dominio, perché in generale l'input è formato solo dai punti che formano la nuvola di rilievo.

Tuttavia, è chiaro che l'algoritmo utilizzato per costruire una mesh può essere derivato, con opportuni accorgimenti, dall'algoritmo utilizzato per costruire una triangolazione.

Costruire una mesh non significa semplicemente trovare un qualsiasi involucro del dominio che ci interessa,

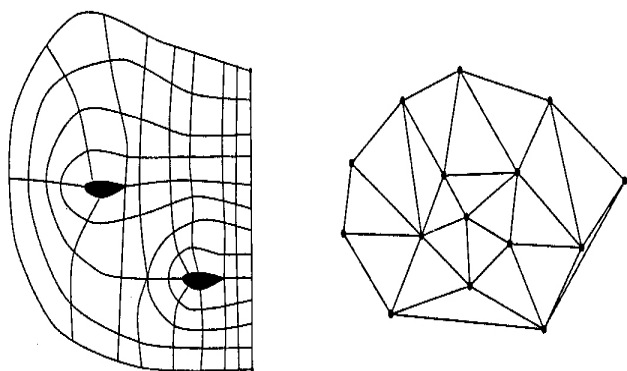


ma significa trovare una mesh di buona qualità.

Chiaramente è difficile dare una definizione univoca di qualità di una mesh o di mesh ottima in quanto deve essere considerata in relazione al motivo per cui abbiamo dovuto costruire la mesh stessa ed al suo successivo utilizzo.

In generale esistono tre tipi di mesh che si differenziano per le connessioni dei punti. Le mesh strutturate hanno connessioni regolari, ciò significa che ogni punto ha lo stesso numero di elementi vicini. Le mesh non strutturate hanno connessioni non regolari, cioè ogni punto può avere un numero diverso di elementi vicini (Foto 30). In alcuni casi parte della griglia può essere strutturata e parte non strutturata, queste mesh vengono dette

motori real-time nella rappresentazione sia in ambito architettonico che per una fruizione virtuale dei beni archeologici è nata negli ultimi anni per superare i limiti dei rendering statici o dei video. L'idea che il regista della rappresentazione sia l'utente attraverso semplici interfacce rappresenta la nuova frontiera della rappresentazione architettonica. Per ovvie ragioni i rendering real-time hanno come limite il numero di poligoni che possono essere mossi durante la visualizzazione.



30/ Mesh strutturata e mesh non strutturata

ibride.

Per un uso statico, come ad esempio per rendering tradizionali l'uso di una mesh, anche se molto onerosa dal punto di vista computazionale può essere nei limiti delle tempistiche del rendering accettabile utilizzando computer performanti, ma in ambito real-time occorre trovare un sistema che pur senza un'eccessiva perdita di qualità e quindi informazioni sull'oggetto garantisca una buona resa, ma a portata di tutti.

Parte della tesi è stata così rivolta alla soluzione di questa problematica. L'esigenza di introdurre l'uso di

Note

1. Le mesh poligonali possono essere viste come caso estremo di rappresentazione formata da elementi semplici a forma libera nello spazio(...) per loro stessa natura sono idonee a rappresentare ogni tipo di oggetto, dal solido delimitato da superfici piane alle forme geometriche libere. M. Gaiani, Della riunificazione di due mondi separati in casa: modellazione e rendering, <<DDD, Disegno e Design Digitale>> anno 1, n.2 2002, p.10

2. "Levigatura di una mesh di triangoli è data, servendosi di una riformulazione di concetti propri della geometria differenziale, della continuità della curvatura ed è da leggersi come la minima variazione dell'orientamento di due facce tra loro" in R. Migliari, Geometria dei modelli, Roma 2003, pag.241-242

5. La scheda video

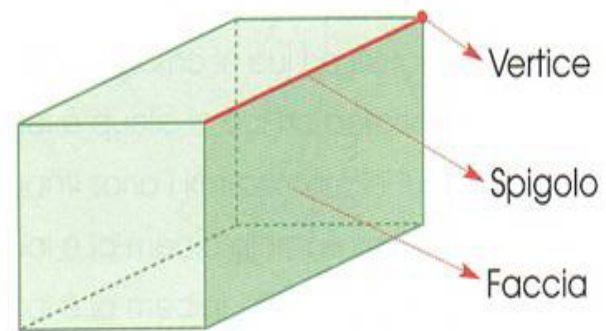
Questo capitolo si prefige come compito quello di dare una piccola spiegazione al funzionamento dello strumento che permette la realizzazione delle visualizzazioni real-time e tutte le applicazioni di realtà virtuale che negli ultimi anni stanno sempre più prendendo piede in ambito architettonico ed archeologico. Per tale ragione ho ritenuto fosse necessario fare una piccola digressione sul componente hardware, la scheda video, che permette tutto questo, con i suoi limiti, ma anche con le sue potenzialità.

Una scheda video è un componente del computer che ha lo scopo di generare un segnale elettrico (output) che possa essere mostrato a video (display).

Tutte le schede video usate per l'accelerazione hardware sono dotate oggi di vari componenti atti a muovere un numero di poligoni variabile in base al modello scelto. La Graphics Processing Unit (GPU) (chiamata anche VPU, acronimo di Visual Processing Unit) è il microprocessore di una scheda video ed è il suo chip fondamentale di funzionamento. Le GPU moderne, sebbene operino a frequenze più basse delle normali CPU cioè i processori centrali dei pc, sono molto più veloci di esse nell'eseguire i compiti in cui sono specializzate grazie ad un sistema di architetture interne molto performanti. Normalmente la GPU entra in funzione realmente solo nell'accelerazione 3D, difatti tutti i dati 2D, spesso più snelli come calcoli in fase di elaborazione, vengono processati dalla CPU e allocati dalla GPU in una parte della memoria chiamata frame buffer; da lì, il RAMDAC (Digital to Analogic Converter) legge

i valori di colore da assegnare ai singoli pixel e genera il segnale per lo schermo, cioè l'immagine che viene normalmente visualizzata su monitor.

Quando viene invece elaborata un'immagine 3D, la CPU del computer si occupa solo del calcolo delle coordinate geometriche dei vertici dei poligoni che compongono gli oggetti della scena, e lascia alla GPU il compito di costruire le "facce" formate da questi vertici, la caratterizzazione materica tramite texture, e del calcolo delle ombre e degli effetti grafici da applicare ai poligoni, sgravandosi da pesanti operazioni di calcolo.



31/ Elementi di un Solido

Dopo di ciò normalmente i dati risultanti verranno posizionati nel frame buffer, per poi passare per il RAMDAC ed arrivare allo schermo.

Le moderne GPU discendono dai chip grafici di fine anni settanta e degli anni ottanta. Questi chip non avevano funzioni per il disegno di forme e si limitavano

esclusivamente alla rappresentazione di sprite, cioè semplici figure bidimensionali che era possibile spostare rispetto allo sfondo.

All'inizio del 1990, la diffusione di Microsoft Windows ha generato un grande interesse verso la grafica raster 2D ad alta velocità e alta risoluzione (che in passato era stato il dominio delle workstation Unix e dei Macintosh Apple). Per il mercato dei PC, la dominanza di Windows ha significato che i produttori di dispositivi grafici per PC adesso potevano focalizzare gli sforzi di sviluppo su una sola interfaccia di programmazione, la GDI. Nel 1991, S3 Graphics ha introdotto il primo acceleratore 2D su singolo chip, l'S3 86C911. Nel 1995, tutti i principali produttori di chip grafici per PC avevano aggiunto il supporto per l'accelerazione 2D ai loro chip. Nel 1999 fu introdotta la prima generazione di schede grafiche GeForce prodotte dalla NVIDIA Corporation, pensate appositamente per la grafica 3D. Un anno dopo ATI Technologies introdusse il primo chip della famiglia Radeon. Questi due brand acquistarono sempre più quote di mercato e ad oggi si spartiscono il mercato delle schede grafiche per i videogiochi e professionali in ambito grafico.

La maggior parte delle funzioni oggi esistenti nella rappresentazione real-time si basano su librerie grafiche private o open source (Glide, DirectX, OpenGL).

Con l'avvento dell'API DirectX versione 8 e di simili funzionalità in OpenGL, le GPU hanno aggiunto l'ombreggiatura (shading) programmabile alle loro funzioni. Ogni pixel poteva adesso essere elaborato da un breve programma che poteva ricevere in input delle texture, e ogni vertice geometrico poteva analogamente essere elaborato da un breve programma prima di essere proiettato sullo schermo. Nel 2003, la parte deputata alla shading, cioè l'ombreggiatura e la caratterizzazione materica (shader) di pixel e di vertici potevano realizzare dei cicli, delle lunghe operazioni a virgola mobile, e in generale stavano diventando rapidamente flessibili

quanto una CPU dedicata all'elaborazione di immagini raster.

L'avvento dell'interfaccia AGP (accelerated graphics port), con standard di interfaccia 2x - 4x e 8x, fece in modo da consentire una maggiore banda passante di informazioni per permettere un accesso diretto alla memoria fisica del computer da parte della scheda grafica, in modo da poter gestire texture e oggetti 3D di grandi dimensioni, garantendo una maggiore velocità nelle operazioni di calcolo grafiche.

L'avvento del PCI Express portò all'inesorabile declino dell'interfaccia AGP, garantendo velocità di trasferimento di molto superiori e permettendo l'utilizzo di schede grafiche con maggiori richieste di consumi energetici. Questo portò alla costruzione di chip grafici molto più evoluti dei precedenti, aprendo la strada ad una sempre più realistica grafica in continuo sviluppo sia per usi professionali che per usi domestici.

L'ultima versione oggi disponibile di DirectX è la 11, con cui sono state introdotte nuove tecniche come il Tessellation (generazione automatica scalare di poligoni su superfici piane e non) che permette di generare minuziosi particolari delle texture senza sconvolgere lo scenario in modo eccessivo.

Le schede video possono essere Integrate, se ricavate direttamente sulla scheda madre, come sulle console e su alcuni PC di fascia bassa, oppure esterne tramite collegamenti: PCI, porta parallela; AGP, porta parallela; PCI Express, porta seriale.

La componente VRAM dedicata è dedicata a memorizzare i dati grafici da visualizzare e che risiede fisicamente sulla scheda stessa.

Già da un po' di tempo il chip grafico è in grado di eseguire alcune funzioni grafiche in modo autonomo, senza che il processore principale debba intervenire: le schede grafiche con questi chip sono dette 2D accelerate, perché possono svolgere da sole una parte del lavoro di disegno che altrimenti spetterebbe al processore. Le

operazioni più comuni da implementare in hardware sono il tracciamento di linee, di archi e di forme geometriche semplici (rettangoli, poligoni, cerchi, ellissi) e il bit blitting, cioè lo spostamento da una parte all'altra dell'immagine di blocchi di pixel.

Nelle schede video con capacità grafiche tridimensionali la VRAM contiene oltre alle informazioni geometriche una serie di dati riguardanti le mappature tramite texture. Ciascuna di queste immagini viene associata ad una particolare superficie bidimensionale di un modello tridimensionale di cui ne costituisce la "pelle". Per ogni fotogramma (frame) da visualizzare in modalità 3D, la scheda video riceve dal processore una serie di punti geometrici (vertici) che specificano delle superfici in uno spazio tridimensionale con l'indicazione di quali texture applicare alle varie superfici: la GPU si occupa di calcolare, a partire dai dati ricevuti, se la particolare superficie sia visibile o no, e, se visibile, la sua forma in due dimensioni (coordinate schermo); poi si occupa di applicare la texture indicata. Il valore di ogni pixel viene quindi calcolato a partire da quali e quanti texel (i pixel delle texture) sono contenuti in esso.

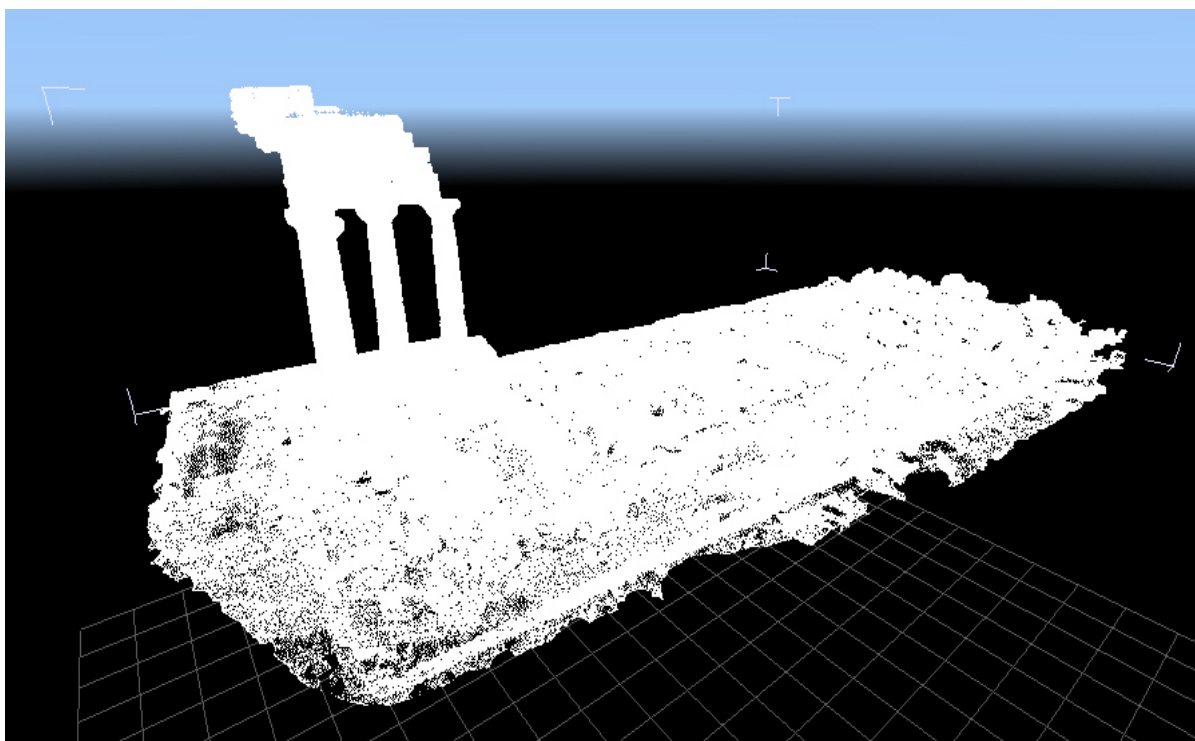
Per fare tutto questo, le schede video 3D accelerate sono equipaggiate con una grande quantità di VRAM, e ricorrono in modo massiccio al calcolo parallelo composto internamente di una serie di unità identiche (dette pipeline) operanti appunto in parallelo, ciascuna su una diversa serie di pixel alla volta.

Ulteriori funzioni di accelerazione, utili per aumentare il livello di realismo delle immagini calcolate, sono il calcolo in hardware delle luci incidenti (Transform and Lighting o T&L), i pixel shader, il vertex shader e il rendering (rasterizzazione), il filtro anisotropico e il filtro antialiasing.

In questo modo le schede video 3D accelerate sollevano la CPU da tutti i calcoli necessari alla visualizzazione, lasciandole solo il compito di aggiornare la geometria dell'immagine (calcolo di spigoli e vertici, di rotazioni,

intersezioni, animazioni ecc.).

6. Retopology



32/ Nuvola di punti

Nonostante le grandi potenzialità delle schede grafiche, il calcolo computazionale per realizzare un rendering real-time, quindi in tempo reale è sempre limitato al numero dei poligoni che è possibile rappresentare in scena senza eccessivi cali di frame rate, ciò per evitare che l'immagine a schermo risulti in gergo "scattosa" e di difficile comprensione ed utilizzo.

Un modello formato da più di quattro milioni di triangoli risulta quindi di difficile utilizzo anche su elaboratori

performanti. A tal fine è utile un processo di riduzione di poligoni che però a differenza dei sistemi automatici non pregiudichi troppo la forma dell'oggetto.

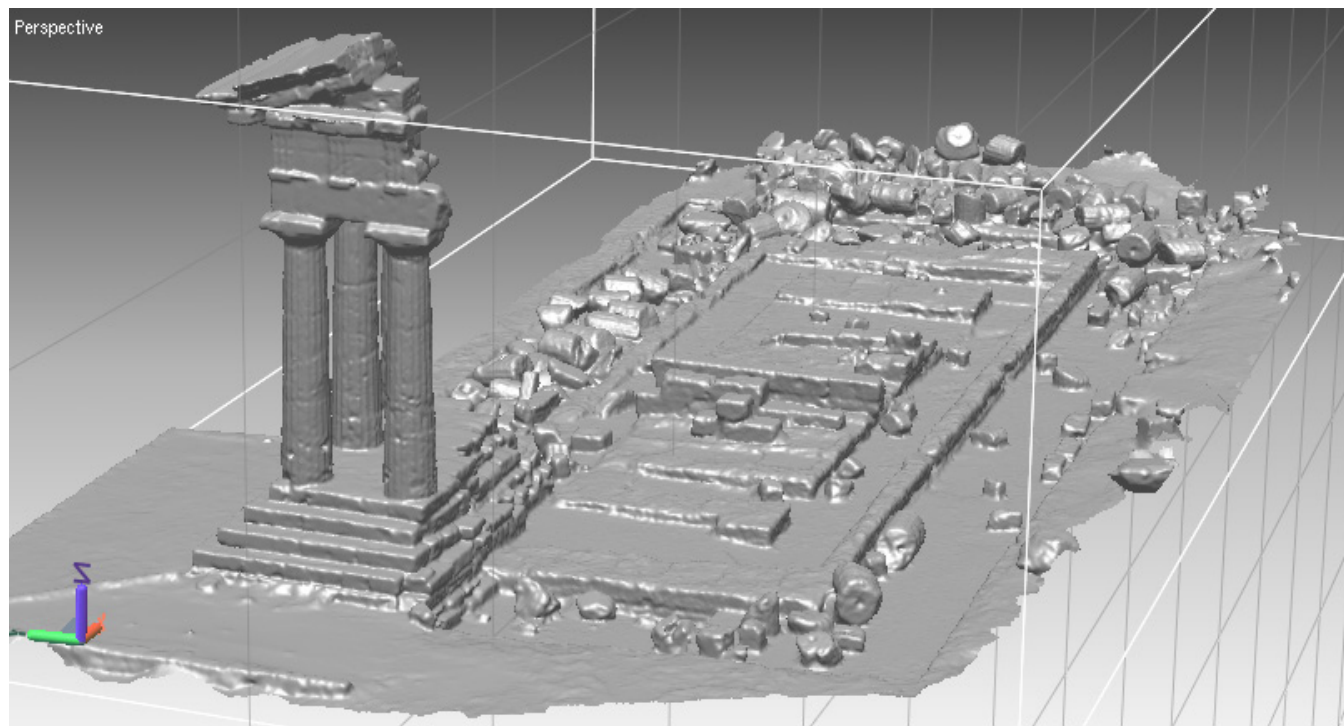
Gli algoritmi automatici utilizzano vari approcci per decimare il numero di punti o di poligoni di una mesh. Le soluzioni attuabili generalmente prevedono o la riduzione del numero di punti della nuvola e conseguente creazione di una mesh semplificata o la decimazione dei poligoni che formano la mesh complessa attraverso

so procedure automatizzate. Principalmente, le ottimizzazioni possono essere divise in metodologie che prevedono il passaggio attraverso una fase intermedia di tassellazione e metodologie che operano direttamente sulla nuvola di punti senza richiedere alcun tipo di triangolazione. Alcune di queste tecniche sono state implementate nei software commerciali. Tuttavia, questi strumenti limitano il controllo sul processo di elaborazione e non sempre forniscono risultati con elevati livelli di qualità poiché spesso si utilizzano strategie di resampling (riallocazione e ridisegno) che forniscono nuvole ridotte aventi punti diversi dagli originali. Inoltre sarebbe opportuno considerare che bisogna limitare la perdita di informazioni nelle zone con alto livello di dettaglio, attraverso una maggior concentrazione di punti nelle regioni a più elevata curvatura.

Gli automatismi spesso non tengono conto di valori

importanti. Tale problematica è stata da qualche anno affrontata da industrie esterne a quelle che si occupano di grafica per il rilievo e progettazione per l'architettura, come quella dai videogiochi o del cinema in larga misura. Spesso in ambito cinematografico accade che personaggi, in gergo, character, virtuali vengano inseriti in set reali. I modelli utilizzati devono necessariamente presentare un alto livello di dettaglio, con conseguente elevato numero di poligoni. A volte la mesh a causa del processo di sculpting, cioè della fase di aumento del dettaglio e della caratterizzazione organica del personaggio, diviene troppo fitta e ciò creerebbe problemi nell'animazione e anche nella gestione in caso di molti personaggi contemporaneamente inseriti in scena e non istanziabili (replicabili).

Nel campo dei videogiochi gioca poi un ruolo fondamentale la leggerezza del modello. A complicare le



33/ Trasformazione in mesh

cose vi è poi l'uso di mesh complesse per la realizzazione di mappature congrue all'oggetto.

In architettura o nel caso del tempio dei Dioscuri, considerando la natura archeologica del sito, è importante anche che la mesh prodotta abbia caratteristiche il più possibile conformi all'oggetto originale e che dia anche spessore a quegli elementi che lo scanner laser non è riuscito per problemi di presa a cogliere.

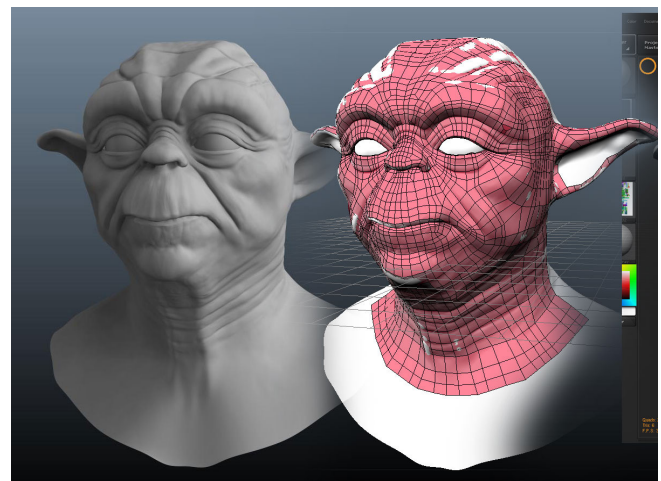
Un modello architettonico o archeologico tridimensionale deve infatti servire come strumento di lettura e analisi di tutti gli aspetti di un edificio. Sia per volumi, che strutturali o di distribuzione dello spazio. In tale ottica la suddivisione dell'oggetto per layer cioè per livelli di materiali o funzionali ai fini di studio, è essenziale e non facilmente attuabile con una mesh "disordinata" come quella che proviene direttamente dalla triangolazione di una nuvola di punti.

La mesh ottenuta direttamente è solo un punto di partenza per una procedura di modellazione tridimensionale o di editing delle superfici. Da operazioni semplici come la chiusura di "buchi" delle zone rimaste in ombra durante il rilievo, che vanno riempite con una nuova porzione di mesh conforme alla forma dell'oggetto e che contenga il contorno, a operazioni di tagli o unioni di più parti diverse.

Alcuni software riescono anche a riprodurre una sorta di vettorializzazione che riconosce gli spigoli attraverso file di punti allineati collegandoli automaticamente. Ma in un manufatto archeologico con profili erosi ed irregolari anche tali semplificazioni non funzionano nel modo corretto. Per tutte queste ragioni si è deciso di adoperare la tecnica del retopology già cara all'industria cinematografica che consiste in un sistema che crea nuovi poligoni, meglio, una nuova mesh che si



34/ Character virtuale utilizzato nella seconda trilogia di "Star Wars"



35/ Retopology della geometria

adatta a quella esistente che viene tenuta come base e riferimento. I nuovi poligoni creati in modo manuale e quindi con il totale controllo da parte dell'operatore, seguono appunto una nuova "tipologia", ordinata, precisa e solitamente con un numero più basso di triangoli

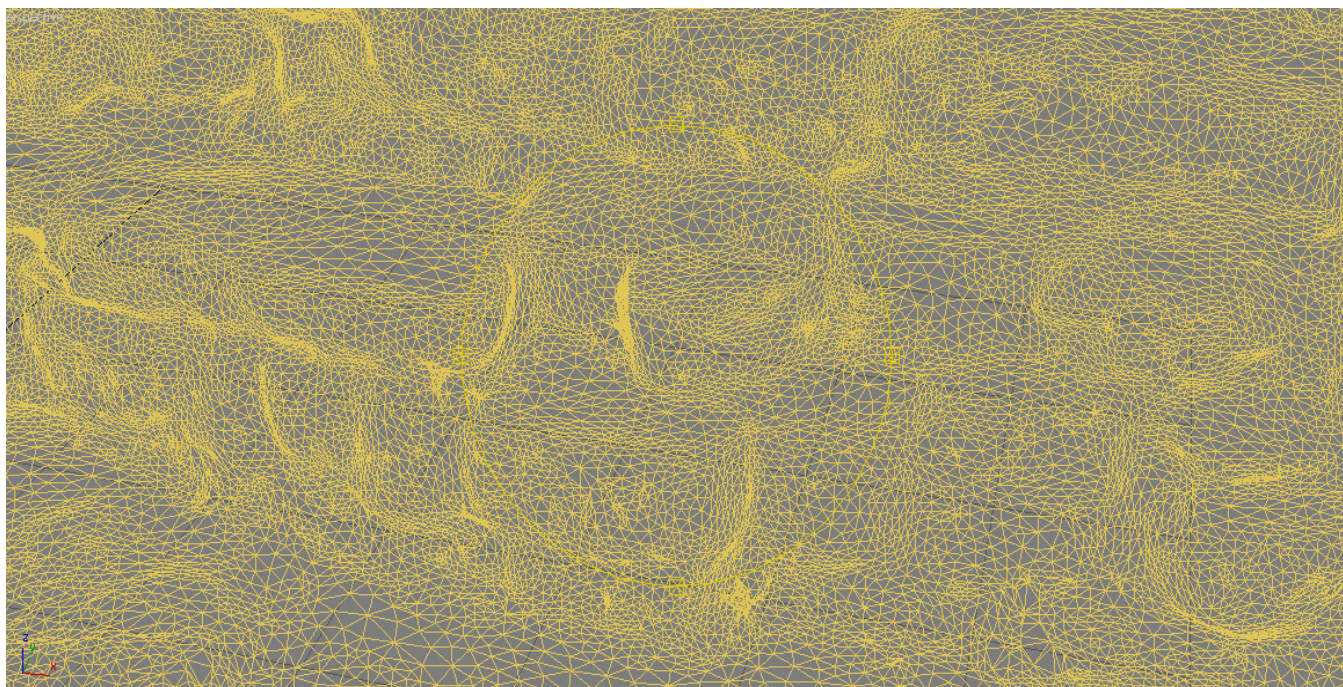
poiché ottimizzata in base alle aree da “ricalcare”.

L’ottimizzazione di una mesh rispetto ad un dato criterio è un’operazione utile perchè unica soluzione per una corretta rappresentazione. Ci sono vari modi per attuare un’ottimizzazione di una mesh. Durante il retopology vi sono in base ai software utilizzati varie possibilità di intervento manuali o semi-automatiche (l’operatore svolge sempre in ogni caso un ruolo attivo).

I più diffusi sistemi, non hanno una nomenclatura vera e propria anche perché il sistema è adattato ad uno scopo architettonico. Si parla di ottimizzazione per punti, per linee, per sezioni, per disegno diretto, per adattamento dei poligoni.

Il sistema per punti consiste nel tracciare sulla mesh originale tre o quattro punti per formare un nuovo triangolo o un nuovo poligono che avrà per vertici quelli indicati sulla mesh. Tale poligono sarà piano e si adatterà il più possibile alla superficie sottostante, mantenendo

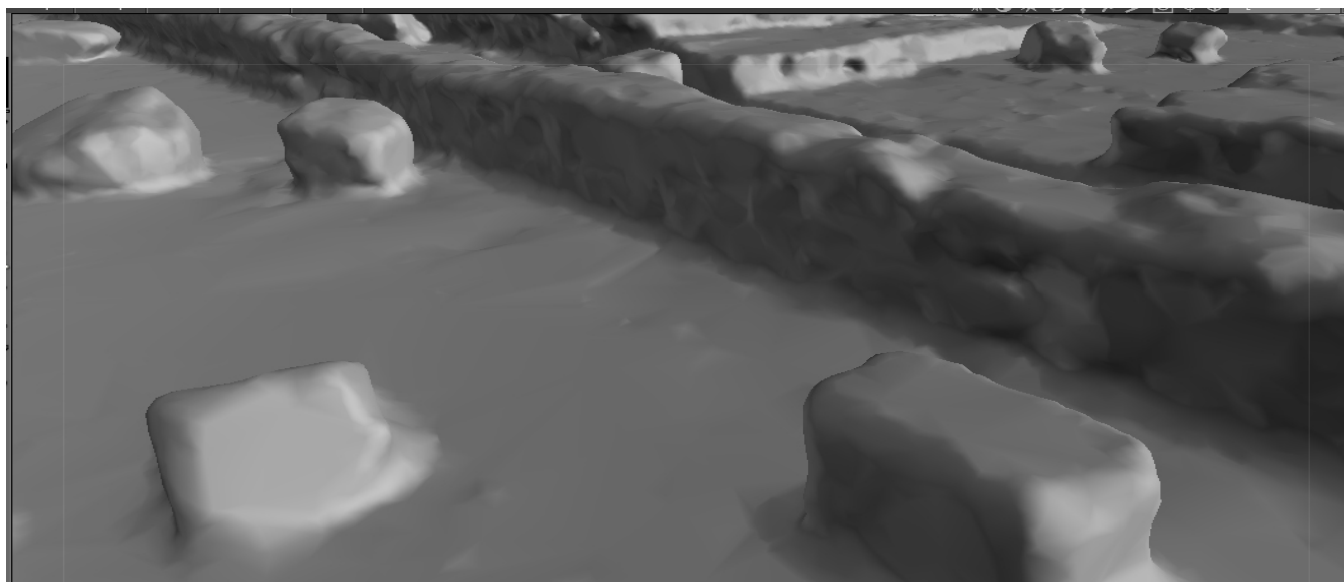
costanti i punti di controllo indicati dall’operatore. Il sistema per linee invece consiste nel disegnare sulla mesh dei vettori guida che andranno suddivisi a maglie creando con delle linee una scacchiera. Questa scacchiera una volta formata, se congrua all’oggetto, si trasformerà in una maglia poligonale ordinata. Il metodo per sezioni è utilizzabile solo in casi particolari, cioè esclusivamente se la mesh ha un profilo chiuso e facilmente riconoscibile. Vengono tracciate delle linee che rappresentano degli ipotetici piani di sezione, ortogonalmente a queste si tracciano vettori guida che indicano il verso di tracciamento dei lati dei quadrangoli, quindi in automatico verrà creata una maglia a contatto con quella originale topologicamente corretta. Il sistema a disegno diretto consente di tracciare i poligoni o i triangoli direttamente sulla mesh originale semplicemente disegnando su di essa. L’ultimo sistema si basa sulla creazione di una forma geometrica semplice come un cilindro o un pa-



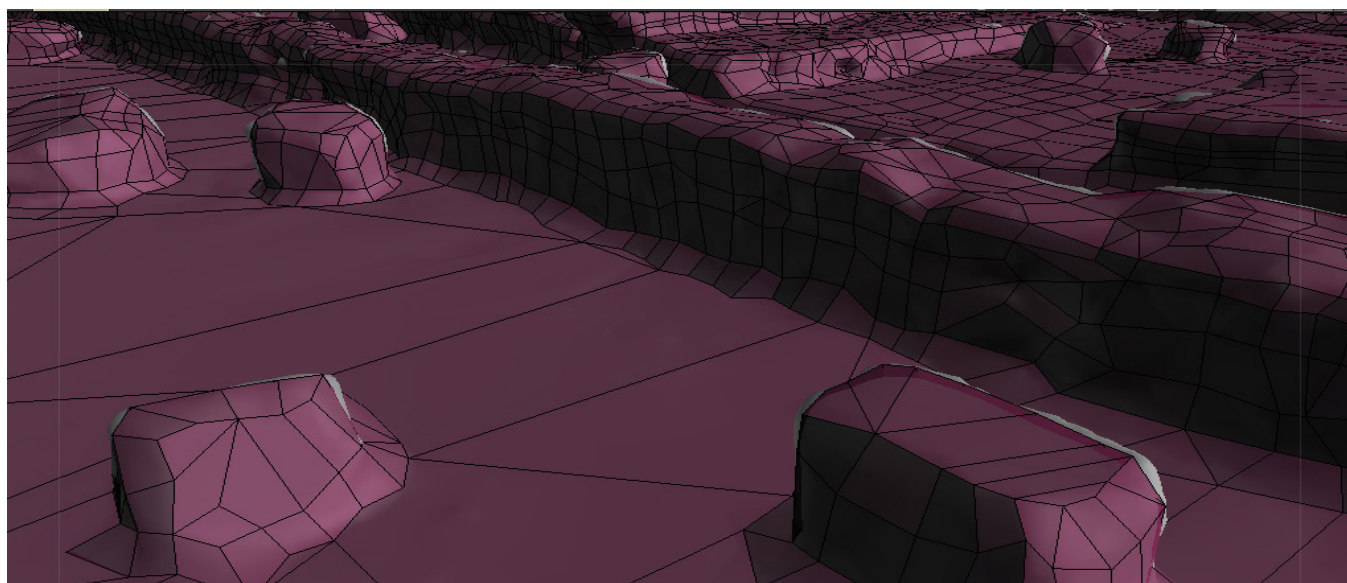
36/ Porzione di gradino del tempio dei Dioscuri. La mesh ottenuta dalla nuvola di punti presenta un altissimo livello di dettaglio che permette di avere grande qualità ma che risulta difficile da gestire

rallelepipedo opportunamente suddiviso in poligoni più piccoli. Tale elemento verrà “adattato” alla superficie sottostante di cui diverrà geometria involupante. La nuova mesh prodotta ha poi la possibilità di essere facilmente modificata attraverso il riposizionamento dei

vertici, edge collapsing per rimuovere un vertice, flip di lati, flip di facce, rilassamento dei vertici, che può essere fatto combinando nel modo opportuno i tre metodi precedenti, divisione di un lato, per aggiungere un vertice, e così via. Una volta ottenuta la mesh corretta



37/ Porzione di mesh su cui verrà eseguita il retopology

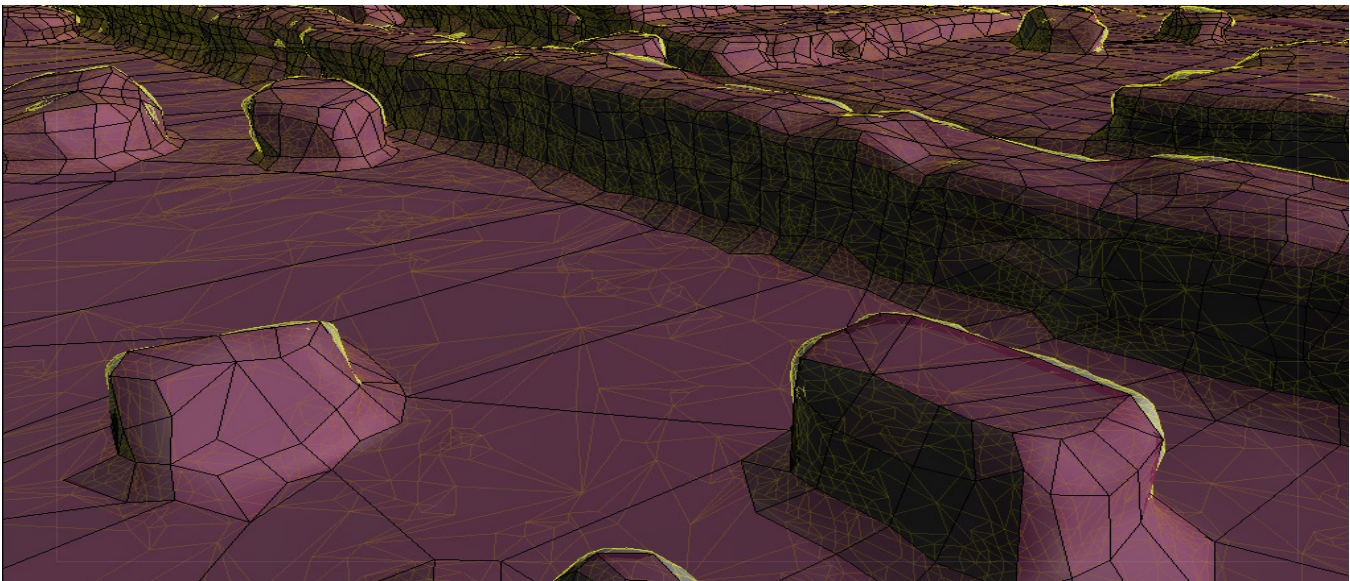


38/ Retopology con una sola iterazione

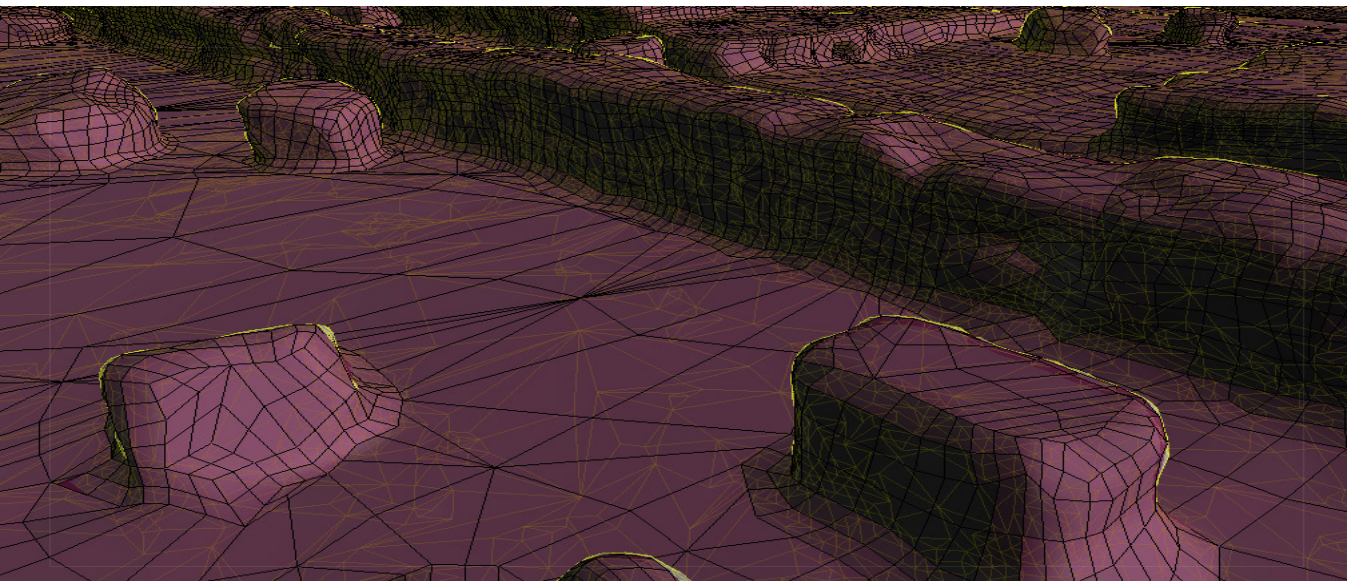
dal punto di vista topologico e notevolmente decimata dal punto di vista poligonale è possibile effettuare un ulteriore “rilassamento” dei vertici che consiste in un riposizionamento della mesh appena creata su quella originale per meglio adattare le due superfici una volta

conclusa la fase di ridisegno. Ciò assicura un’ottima sovrapposizione dei due modelli.

Tale tecnica ha permesso di ridurre drasticamente il numero di poligoni di quasi dieci volte con conseguente miglioramento delle performance su macchine anche



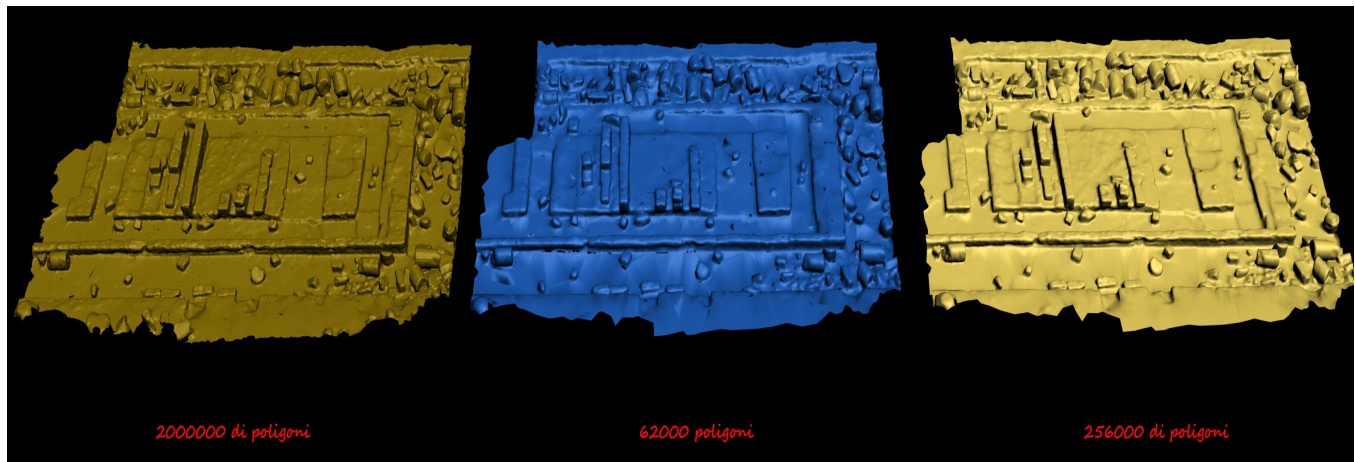
39/ Sovrapposizione delle due mesh dopo il processo di retopology.
In rosa la nuova geometria e in giallo quella originaria.



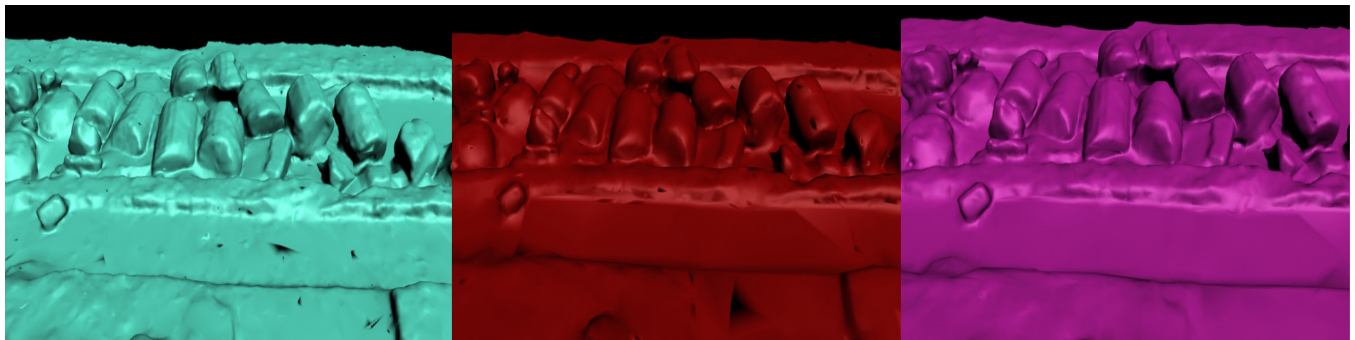
40/ Sovrapposizione mesh con processo di retopology a 2 iterazioni

poco potenti. Qualora non fosse ottimale il risultato è comunque possibile richiedere una suddivisione automatica dei poligoni nei punti critici come le curve, lasciando invariate le zone piane che sono sufficientemente ben rappresentate anche da un solo poligono di dimensioni congrue. Nonostante la mesh ottenuta sia di buona qualità è indubbio che non potrà mai essere identica a quella originale nei particolari più minuti. Per ovviare a tale problematica già nel 2001 si sperimentava una nuova tecnica di mappatura che permetteva a

partire da un oggetto molto complesso di essere come “proiettato” su un altro utilizzato come base, ma a basso numero di poligoni. Tale tecnica si basa sull’uso di mappe particolari dette normal map.



41/ Si nota come il processo riduca drasticamente il numero dei poligoni pur mantenendo una buona qualità. In foto si mostra il paragone fra la mesh originale che presenta circa un milione di poligoni, con quelle ad una iterazione (circa 62000 poligoni) e a 2 iterazioni (circa 250000 poligoni)

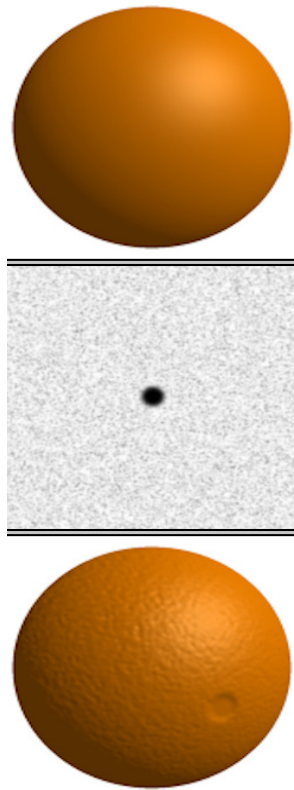


42/ Particolare della foto 41. A sinistra la mesh originale che presenta circa un milione di poligoni, nel centro quella ad una iterazione (circa 62000 poligoni) e a destra la mesh formata da 2 iterazioni (circa 250000 poligoni)

7. Normal mapping

Da molti anni ormai si è diffuso nei rendering statici l'uso del bump mapping per creare oggetti apparentemente complessi a partire da forme semplici.

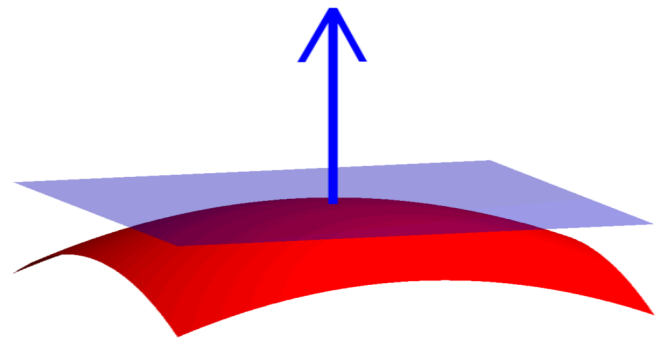
Tale tecnica di rendering aumenta apparentemente la complessità degli oggetti realizzati senza effettivamente aumentarne il numero di poligoni. Alla texture del "canale diffuso", che rappresenta l'aspetto principale del materiale viene affiancata una seconda texture in toni di grigio che il motore di rendering utilizza per si-



43/ Effetto del Bump Mapping

mulare asperità e solchi. Tale aumento di dettaglio non è geometrico, ma è aggiunto solo in fase di rendering. A valori più alti di bianco corrisponde un maggior rilievo dell'oggetto dal punto di vista visivo mentre le zone più scure indicano depressioni. Il grigio formato dal 50% di bianco e 50% di nero corrisponde alla soglia media dell'oggetto che quindi non ha in tale valore nessuna distorsione materica.

Il semplice bump mapping è una tecnica molto utilizzata in ambito statico poiché riesce bene a simulare asperità e dettagli che in realtà non sono presenti nell'oggetto. In ambito real-time la possibilità di muoversi liberamente e la possibilità di avvicinarsi molto all'oggetto rappresentato vanifica l'effetto del bump mapping che è stato così soppiantato per evitare tale limite dal normal mapping che per generare l'effetto utilizza le normali (cioè la retta perpendicolare ad un piano) alla superficie nel punto in cui l'effetto deve essere applicato con un notevole aumento di precisione e realismo.



44/ Rappresentazione delle normali ad una superficie

L'idea di aggiungere dettagli ad un modello poligonale tramite l'uso di mappe è stata teorizzata già nel 1996 da Krishnamurty e Levoy durante la conferenza sulla grafica computerizzata, SIGGRAPH, nell'articolo "Fitting Smooth Surface to Dense Polygon Meshes" cioè sovrapposizione di una superficie levigata su dense maglie poligonali. Ciò diede luogo alla nascita delle displacement map¹. Nel 1998, venne presentata l'idea di trasferire tramite una mappa, normal mapping, dettagli da maglie di modelli poligonali complessi a modelli composti da pochi poligoni, attraverso una proiezione geometrica che veniva memorizzata in una texture in toni di blu e viola.

L'algoritmo presentato non vincola la maglia ad alta concentrazione poligonale a quella a bassa concentrazione poligonale. Ciò permette di creare dettagli in modo indipendente dal modo in cui il modello a bassa concentrazione poligonale è stato creato, e permettendo quindi l'uso della mappa su una geometria qualsiasi che tenderà di conformarsi a quella utilizzata come proiezione iniziale.

Una normal map è generalmente un'immagine RGB che corrisponde alle coordinate X,Y e Z di una normale superficie che descrive una più dettagliata versione dell'oggetto.

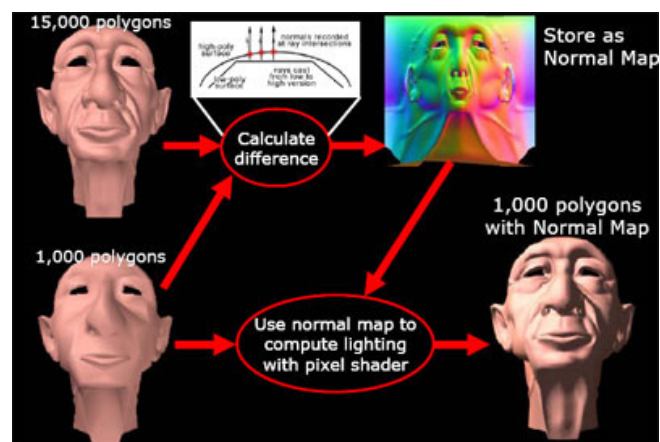
Tomomichi Kaneko nel 2001 migliora ulteriormente l'algoritmo di creazione creando una maggiore illusione di profondità negli oggetti grazie ad effetti di parallasse che seguono il cambio di prospettiva. Più sarà estremo l'angolo di visione, maggiore sarà l'effetto di scostamento e rugosità delle coordinate delle texture.

Normal mapping in real-time, almeno in origine, erano utilizzabili solo su PixelFlow, un computer di rendering costruito in parallelo dall'Università della Carolina del Nord a Chapel Hill. In seguito il perfezionamento dell'algoritmo fece sì che fosse possibile il suo utilizzo su workstation di fascia alta della SGI usando rendering multi-pass e operazioni di framebuffer. Con le Direc-

tX8 e l'avvento degli shader nei personal computer e nelle console da videogiochi, il normal mapping si è diffuso nei software proprietari di tipo commerciale, utilizzati da software house di videogames, a partire dal tardo 2003.

La popolarità del normal mapping per rendering in tempo reale è dovuta all'ottimo rapporto tra qualità e requisiti di sistema necessari ad ottenerne un corretto utilizzo. Il primo utilizzo anche se in termini poco efficaci fu con la console della Sega il Dreamcast.

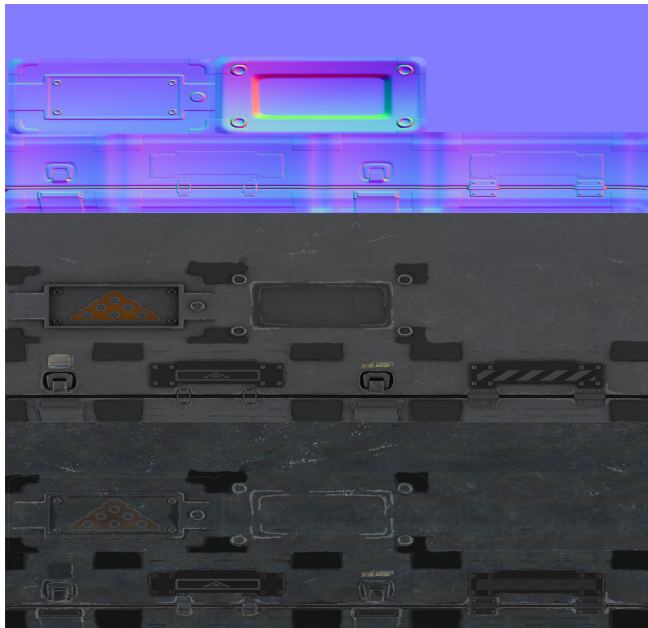
Solo nel 2004 John D. Carmack co-fondatore della Id-Software implementa massicciamente l'uso delle normal map nel gioco Doom 3 che per la prima volta riesce a gestire ombre ed illuminazione in tempo reale e non precalcolate con le baked texture e personaggi ed oggetti per l'epoca di grandissimo realismo ed impatto visivo senza un'eccessiva richiesta in termini di risorse hardware grazie anche alla possibilità dell'uso dello scaling dei dettagli in base alla distanza degli oggetti, una tecnica che permetteva cioè di ridurre selettivamente i dettagli di una normal map di una data texture, facendo in modo che le superfici più lontane richiedessero simulazioni di illuminazione meno complesse. Alle normal map sono state affiancate anche le occlusion map che



45/ Spiegazione delle normal map di J.Carmack

indicano al motore di rendering quanto ogni punto della scena può risultare illuminato da una fonte di luce. Ciò aumenta il realismo del modello senza pregiudicare in modo eccessivo le performance dell'animazione.

Tale mappa tiene conto dell'attenuazione che la luce deve necessariamente avere in prossimità di volumi occlusi da altri, senza effettuare onerosi calcoli di decadimento in tempo reale. Ogni punto è funzione della

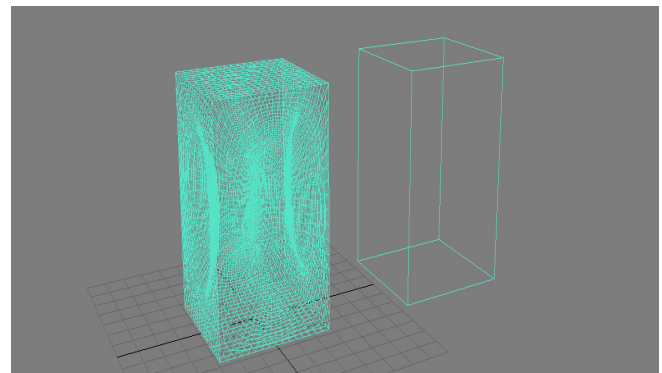


46/ Esempio di normal map

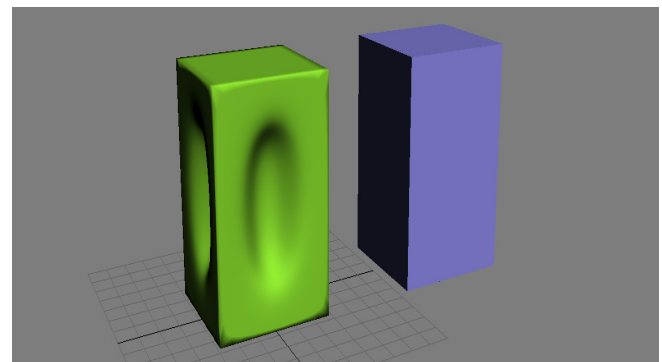


47/ Su un solido semplice l'uso della normal map simula senza alterarne la geometria un maggiore dettaglio senza pregiudicare eccessivamente le prestazioni in fase di rendering

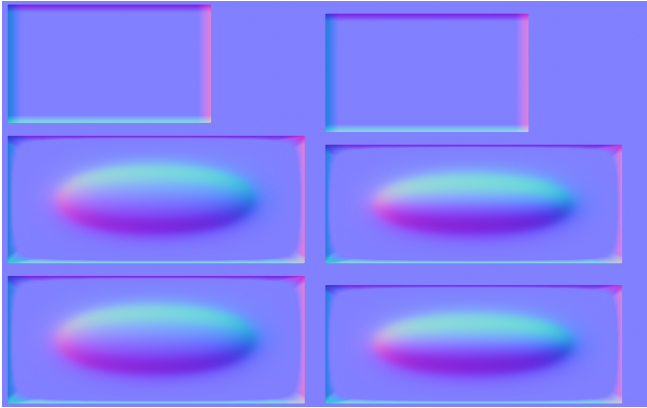
geometria totale della scena e si comporta quindi come se fosse attiva un'illuminazione di tipo globale e non esclusivamente direzionale. Il sistema funziona in modo abbastanza semplice. Vengono tracciati un numero di raggi definito dall'utente da ogni punto della superficie dell'oggetto allo sfondo immaginato come fonte luminosa diffusa. I raggi che raggiungono il "cielo virtuale" creano nella mappa un'informazione di tipo luminoso che indica all'hardware di preservare in quei punti la luminosità che è dovuta alla fonte luminosa principale. I raggi che invece vengono intercettati da altri oggetti diventano informazione di sottrazione luminosa. Ciò aumenta la percezione tridimensionale degli oggetti in scena poiché ne migliora bordi e ombre soprattutto per oggetti porosi.



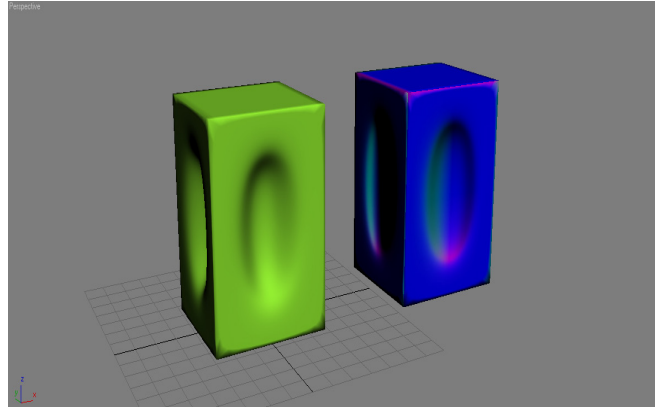
48/ A sinistra si nota il wireframe di un oggetto ad alto numero di poligoni, mentre a destra è rappresentato un oggetto equivalente ma formato da sole 6 facce



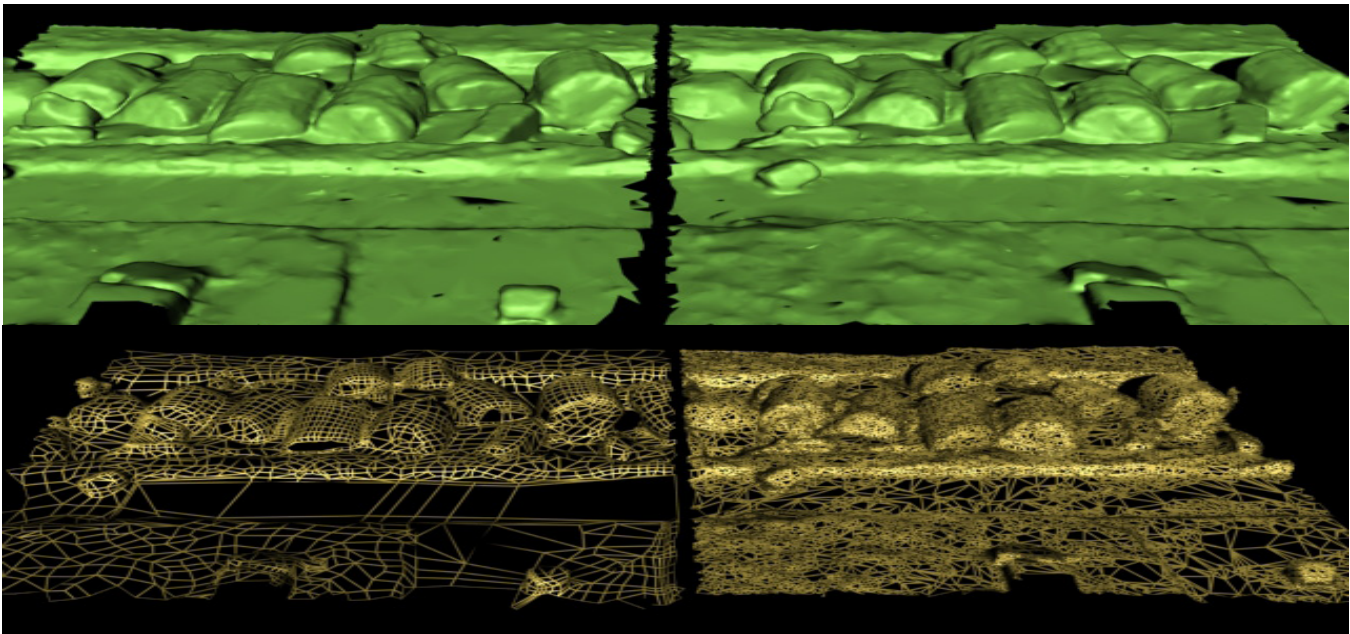
49/ Rendering dei poligoni mostrati in figura 48



50/ Applicazione normal map



51/ Pur restando invariato il numero dei poligoni, l'aspetto finale del solido a destra risulta del tutto simile a quello del poligono di sinistra ad alto numero di poligoni.



52/ Pur risultando identici i rendering dei due modelli, la visualizzazione wireframe mostra la diversa complessità poligonale dei modelli e mette in evidenza le potenzialità delle normal map.

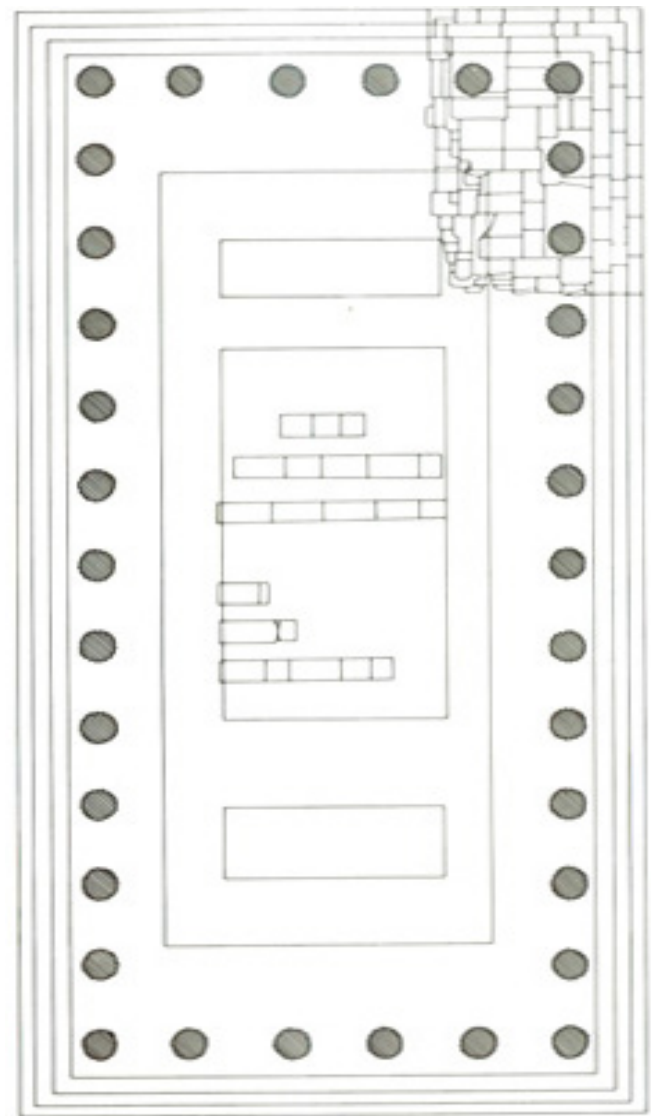
Note

1. Tecnica utilizzata per la modellazione degli oggetti non utilizzando strumenti standard di modifica, ma attraverso l'elaborazione di immagini in scala di grigio. In modo del tutto simile al bump mapping utilizza lo stesso principio, con la differenza che il displacement interviene direttamente sulla geometria del modello, modificandola. Agendo nella direzione perpendicolare alla superficie, la mappa provoca uno scostamento positivo dei punti del modello corrispondenti alle zone chiare dell'immagine, e in senso negativo in quelli corrispondenti alle zone scure con una reale deformazione della mesh.

8. Anastilosi e modello ideale

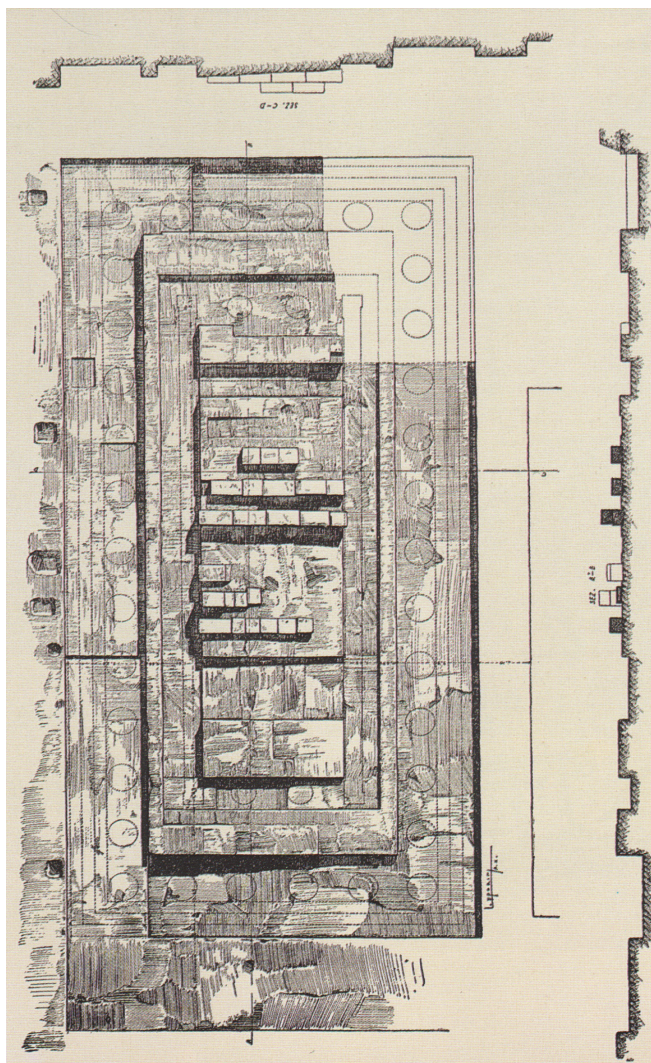
Dalla nuvola di punti sono state effettuate anche le operazioni di misurazione necessarie alla costruzione di un modello ideale del tempio. Il processo di anastilosi è, in archeologia soprattutto, considerata una tecnica di restauro con la quale si rimettono insieme, elemento per elemento, i pezzi originali di una costruzione distrutta a causa ad esempio di un terremoto. Tale tecnica secondo le moderne carte del restauro, non è più molto accettata a causa dell'invasività dell'intervento e della possibilità sempre presente, nonostante gli attenti studi di settore e l'attenzione dell'operatore, di creare un falso storico. Già nel diciannovesimo secolo Camillo Boito, divenuto uno dei massimi esponenti nel campo del restauro, sia a livello nazionale che internazionale, inserisce tra i punti fondamentali delle sue ricerche e teorie, capisaldi, come il rifiuto drastico del restauro stilistico, tipico della scuola di Viollet-Le-Duc, poiché inganno per i contemporanei e falsificazione del monumento per i posteri che non avrebbero più distinto le parti originali dalle successive aggiunte, ricostruzioni o modifiche. Secondo tale visione il monumento va preservato anche con i segni che il tempo lascia su di esso, può essere consolidato, ma non ricostruito¹. Tale ottica fu ben recepita con la Carta Italiana del Restauro, sancendo l'inizio di un nuovo modo di concepire la conservazione dei monumenti e decretando la fine di prassi come l'anastilosi².

Oggi tale tecnica è ancora considerata "sconveniente" ai fini del restauro, ma consentita e ben accettata in caso di restauro virtuale o ricostruzioni virtuali utilizzate ai



53/ Rilievo del tempio dei Dioscuri secondo il De Waele

fini di studio o per ipotesi di progetto. Rendere accessibile e comunicare con il grande pubblico, anche non avvezzo a ricostruzioni basate sulla sola descrizione o a riconoscere le forme, il patrimonio culturale in modo semplice, è infatti importante e di grande impatto comunicativo. Ha un elevato contenuto culturale e scientifico, poichè da alla lettura del passato una visualizzazione “reale” che aiuta l’immaginazione a meglio comprendere le strutture o gli spazi così come erano



54/ Rilievo del tempio dei Dioscuri secondo il Leporini

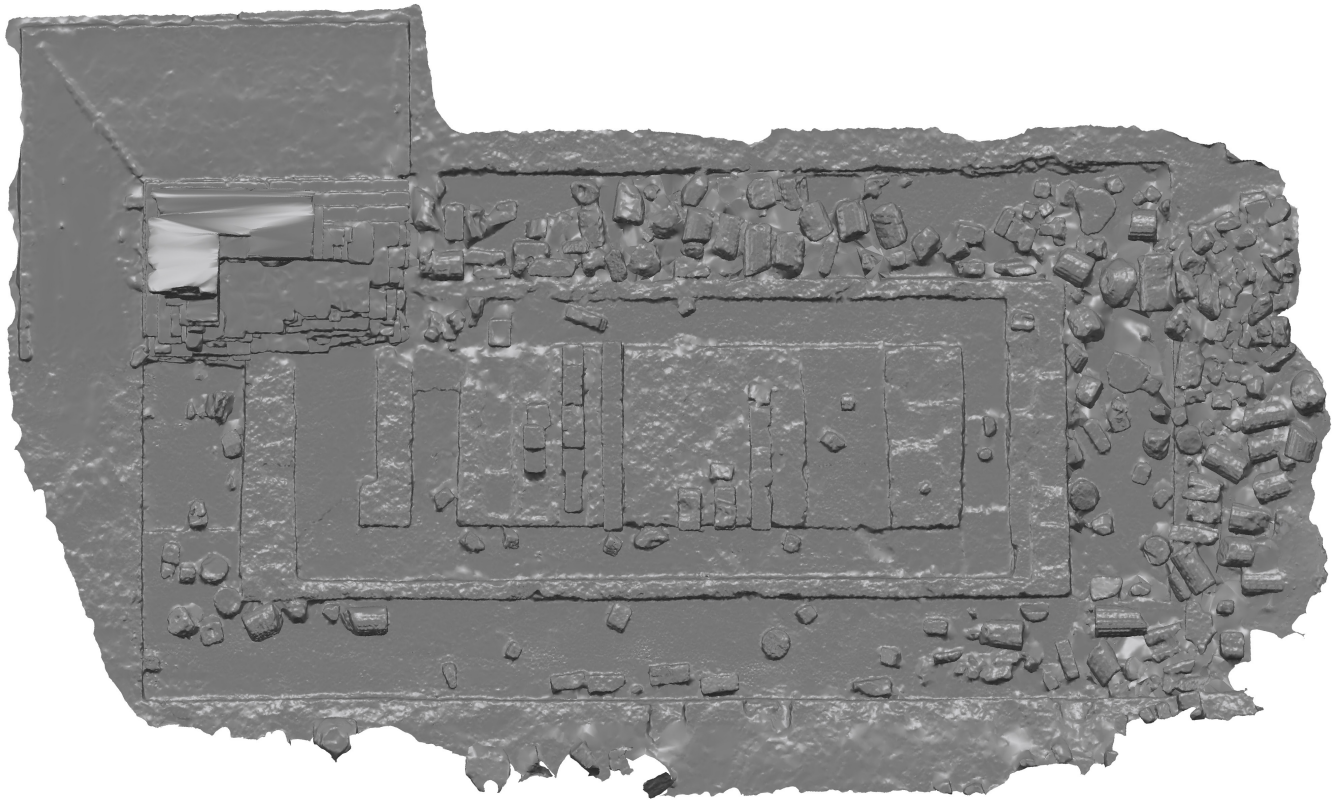
stati concepiti, senza intaccare il monumento stesso.

In quest’ottica accanto al modello ricavato dalla mesh come fin ora spiegato, è stata effettuata un’anastilosi virtuale del tempio partendo dal rilievo per ottenere le dimensioni e le sezioni corrette da utilizzare.

La particolare storia del tempio dei Dioscuri, e le condizioni delle varie parti non hanno consentito però di avere tutte le misure necessarie ad una ricostruzione totale dell’edificio. Dalle scansioni è facilmente intuibile l’area che esso doveva avere, ma le ricostruzioni effettuate nell’800° rendono difficile il compito di distinguere fra i dati reali e attendibili e quelli ricavabili da un’operazione effettuata senza il rigore scientifico che sarebbe stato opportuno adottare. Basti pensare che la quarta colonna del tempio fu inserita in un secondo momento solo per risolvere problemi di natura statica, adattandone l’interasse e vanificando possibili misurazioni di moduli.

Il processo di anastilosi infatti fu condotto utilizzando come moduli e misure i “palmi” siciliani pari a cm 25,8 circa e dove un metro sarebbe quindi di circa 3,87 palmi. Per quanto riguarda le altre dimensioni utilizzate vi erano i multipli e i sottomultipli. Si parla di “once lineari” che corrispondono a 1/12 di palmo, quindi circa 1,79 mm e se ulteriormente suddivisa 1/12 di oncia lineare diviene il “punto”, pari a circa 0,15 mm. Tra i multipli utilizzati nella ricostruzione del tempio vi sono le “canne”, pari a 8 palmi quindi circa 2 metri e se si considerano 16 canne, abbiamo una “corda” pari a m 33 circa e così via fino al “miglio” siciliano che similmente al miglio romano corrisponde a 1,48 km circa cioè 45 corde. Da qui si comprendono le dimensioni ipotizzate dal Villareale e dal Cavallari in base alle dimensioni tipiche del periodo che vedono il tempio lungo circa una corda e le colonne poste fra esse con una distanza imposta di 1,3 metri cioè esattamente di 5 palmi, basandosi su una colonna di circa 4 palmi.

Per tale ragione ho preferito basarmi per l’anastilosi,



55/ Pianta di rilievo ottenuta dalla nuvola di punti

partendo dalle misurazioni reali, dalle dimensioni dei roghi, dei capitelli e dell'area effettiva di sedime del tempio, utilizzare il sistema di misura probabilmente utilizzato dall'architetto che ne seguì la costruzione, il "piede dorico".

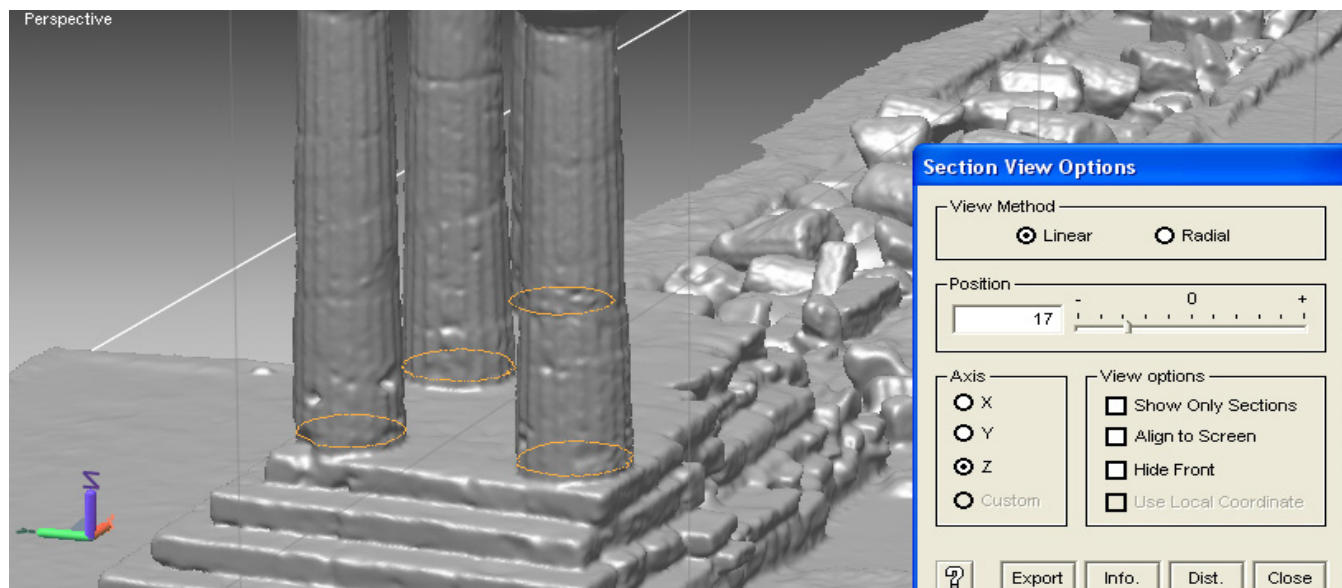
Alla nuvola di punti sono stati applicati dei piani di sezione sia orizzontali che verticali, a varie altezze e posti nelle posizioni più utili al fine di ottenere sezioni significative del manufatto. Più sezioni sono state effettuate a livello dello stilobate e delle colonne, sia alla base che alla fine. Le sezioni così trovate, composte da punti posizionati nello spazio, sono state orientate e vettorializzate. Quindi su queste sono state effettuate le misurazioni adatte ad uno studio scientifico dell'oggetto.

Le dimensioni trovate dovevano essere così poste in

relazione con l'architettura greca del periodo. Per fare questo procedimento si sono effettuate delle comparazioni con gli altri edifici dell'area agrigentina coevi. Guardando gli altri templi presenti ad Agrigento si deduce, dalle misurazioni che è possibile effettuare su di essi, la presenza di un modulo e di uno studio delle proporzioni, tipico del dorico, e fortemente presente anche in queste costruzioni.

L'unità di misura nell'architettura ellenica classica è indispensabile per poi tradurre le misure prese in metri nelle misure in piedi dell'architetto greco antico.

Il primo problema che si ritiene opportuno affrontare è quello quindi di individuare e recuperare l'unità misura, cioè l'esatta dimensione del piede, impiegata probabilmente, quindi tradurre le misure metriche fornite dal

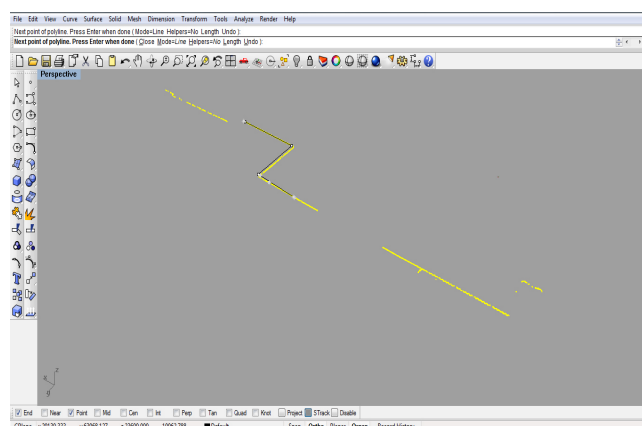


56/ Processo estrazione sezioni

rilievo in piedi e ripercorrere il processo costruttivo del tempio nei suoi elementi a ritroso fino alla ricostruzione di un tempio ideale. Il recupero dell'unità di misura è poi particolarmente importante, in quanto consente di avvicinarsi in modo corretto alla geometria dell'edificio, alle sue dimensioni e ai suoi rapporti attraverso valori ideologicamente corrispondenti a quelli originari. Tale ricerca può essere effettuata sui templi classici della Grecia ma a maggior ragione ad Agrigento, per analogia e per il fatto che ad Agrigento sussistono ancora più o meno dieci templi, per cui la città è famosa come "la città dei templi". Era questo il motivo per cui Empedocle scriveva: "Gli Agrigentini mangiano come se dovessero morire domani, ma costruiscono come se dovessero vivere per sempre". Il fatto che ci siano tanti edifici templari pone nella condizione di determinare un certo sviluppo all'interno di questa ricerca. Il tempio ad Agrigento viene inteso di tipo classico e occupa una posizione chiave nello studio della progettazione del tempio in genere.

Durante gli scavi effettuati sulla Rupe Atenea di Agri-

gento sotto gli auspici della Soprintendenza Archeologica dal 1971 al 1978, venne alla luce un muro di terrazzamento in blocchi isodomi. Nei conci tagliati per il muro di sostegno ricorrevano frequentemente durante la rilevazione le stesse misure, che chiaramente si rivelarono essere misure fisse. Le dimensioni dei blocchi erano di m 1,24 x 0,62 x 0,465. Si notano le proporzioni interne di 4 x 2 x 1,5. L'unità presumibile da tale rilievo sembrò essere circa di cm 31. Vi è da menzionare che



57/ Vettorializzazione sezioni

in iscrizioni attiche sono presenti proporzioni di questo genere abbastanza particolari. Le trascrizioni indicano: “mèkos tetrapodas”, lunghi 4 piedi, “platos dipodas” larghi 2 piedi, “pachos trihèmipodious” alti 1,5 piedi.

Sembrerebbe logico quindi pensare ad un’unità di circa cm 31, che oltre ai blocchi della rupe possa essere utilizzata anche in altri campi.

Se si considerano gli edifici greci classici notiamo che la larghezza interna dell’Erechtheion è di 9,83 m cioè circa 30 piedi ateniesi. La stessa dimensione ha la navata centrale del Partenone: 9,81 m cioè sempre equivalente a circa 30 piedi, perché queste due costruzioni sono edificate nella stessa unità di base. Se si opera una semplice divisione si ottiene che i 30 piedi dell’Erechtheion corrispondono ad un’unità di misura di circa 0,327 m mentre nel Partenone è di circa 0,3065 m.

Il Dòrpfeld, fu il primo ad introdurre questo concetto delle unità di misura in piedi nello studio dell’architettura antica. Naturalmente qualsiasi misura, presa sull’edificio in metri, può essere convertita in piedi, per esempio come si usa nei paesi anglosassoni. Ma non si fa altro che convertire in piedi i valori in metri e centimetri del rilievo, con conseguenti piccole differenze di centimetri che sono facilmente trascurabili se si considera il passaggio da un sistema di misura ad un altro.

Se si considera inoltre come anche in tempi più recenti le stesse unità di misura utilizzate ad esempio in Sicilia prima dell’avvento del sistema metrico-decimale fossero pure, pur presentando lo stesso nome, leggermente differenti da città a città, non è difficile immaginare un gran numero di unità di piede, cubito o braccio che si possano differenziare anche per pochi centimetri l’una dall’altra.

Se analizziamo poi i criteri costruttivi adoperati in Sicilia nel passato si sa che spesso una canna era posta in un punto centrale dell’edificio, e il singolo operaio poteva controllare l’unità ogni qual volta se ne rendeva necessario l’uso. Questo stesso fenomeno probabil-

mente è da immaginare anche nella Grecia antica.

Facendo assoluti i dati misurati, adoperando cioè un unico sistema metrico dimenticheremmo che due costruzioni, diverse in valori metrici, possono essere delle stesse dimensioni in piedi.

Facendo un esempio possiamo dire che il tempio classico di 6 x 13 colonne era costruito su uno stilobate a scacchiera in base alle colonne e agli intercolumni. Per la larghezza (6 colonne) erano necessari quindi 11 blocchi: 6 per le colonne e 5 per gli intercolumni. Per la lunghezza (13 colonne) ci volevano invece: 25 blocchi: 13 per le colonne e 12 per gli intercolumni.

Se questi blocchi erano di 4 piedi in quadrato, le dimensioni dello stilobate sarebbero:

larghezza: 11×4 piedi = 44 piedi

lunghezza: 25×4 piedi = 100 piedi

Con le correzioni ottiche dovute alla contrazione angolare tali valori possono naturalmente variare leggermente.

Le dimensioni dello stilobate possono essere calcolate aggiungendovi la larghezza della krepis e dell’euthynteria.

Se in un tempio classico con uno stilobate di 44 x 100 piedi erano aggiunti, a ciascun lato, 2 gradini larghi 1 piede, avremmo uno stereobate di:

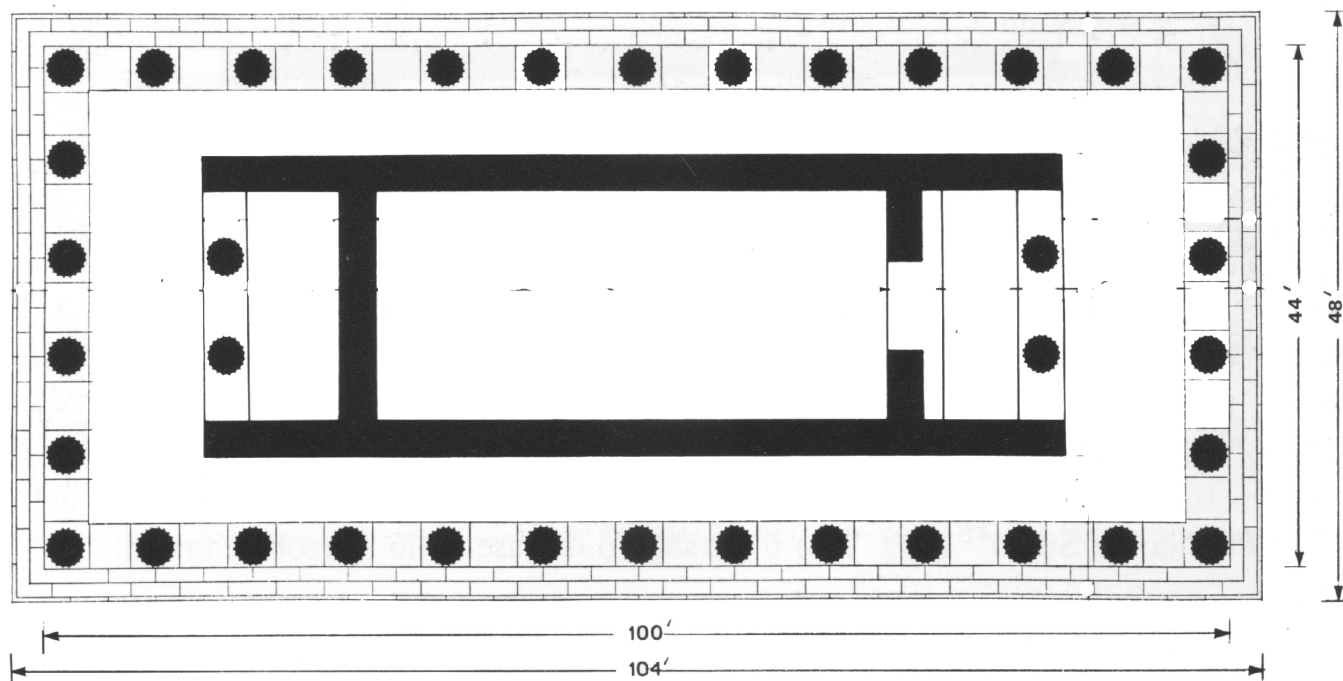
$44 + 4$ gradini x 1 piede = 48 piedi;

$100 + 4$ gradini x 1 piede = 104 piedi.

Avremmo allora nello stereobate le seguenti proporzioni di 48 piedi x 104 piedi.

Facendo una media delle proporzioni degli elementi negli edifici greci effettuati da vari studiosi, è possibile creare una sorta di elenco di dimensioni approssimative del piede dorico che derivano dai rilievi.

29,5	cm	Riemann ³
29,52	cm	Dòrpfeld ⁴
30,0	cm	Falus-Mezòs ⁵
30,8	cm	Ivanoff ⁶ , Stuart-Revet ⁷
30,83	cm	Hultsch ⁸



58/ Pianta tempio ideale

31,3	cm	Theuer ⁹
32,3	cm	Riemann ¹⁰
32,5	cm	Koch ¹¹ , Gruben ¹²
32,515	cm	Bankel ¹³
32,6	cm	Dinsmoor ¹⁴
32,8	cm	Riemann ¹⁵
32,83	cm	Knell ¹⁶

Ed è proprio ad Agrigento, dove si può osservare meglio lo sviluppo nei dieci templi del V secolo a.C., che risulta fruttuosa una tale ricerca.

Facendo una media del piede dorico in base alle misure dei templi di Agrigento si arriva ad ipotizzare come dimensionamento di un'unità di misura compresa fra i 29 cm e i 32 cm circa con ottime analogie quindi a quelle della madre patria.

Facendo le dovute analogie con il tempio ideale abbiamo infatti per il tempio di Ercole un piede di circa 30,75 cm, per il tempio di Giunone Lacinia invece l'unità di

misura oscillerebbe tra i 30,7 cm e i 32,8 cm a causa di asperità del terreno che probabilmente hanno fatto modificare leggermente la costruzione dell'edificio, nel tempio delle Concordia invece la misura del piede varia dai circa 29,1 cm ai 31,2 cm.

Applicando le giuste proporzioni e adottando un piede dorico leggermente variabile in centimetri si ottiene una ricostruzione del tempio di Castore e Polluce molto particolare ed attendibile anche raffrontata all'area di sedime delle fondazioni e al diametro delle colonne che risultano in questo modo di 4 piedi.

Le misure della nuvola di punti sono state infatti trasformate in piedi dorici, e sulla base del nuovo sistema di misura è stata effettuata l'anastilosi virtuale. Le colonne presentano 20 scanalature come da canone classico e presentano alla base un diametro di 4 piedi, considerando quindi un valore da 0,29 cm a 0,32 cm otteniamo una misura totale che varia da 1,16 m a 1,28

m che corrisponde a quella di rilievo ritrovata. Come da regola l'entasi delle colonne prevede una rastremazione in sommità della colonna pari a 1/5 del diametro di base. Anche in questo caso le misurazioni effettuate con la nuvola di punti corrispondono abbastanza bene con i principi dell'ordine dorico restituendo una dimensione variabile che va da circa 0,93 m a 1,03 m.

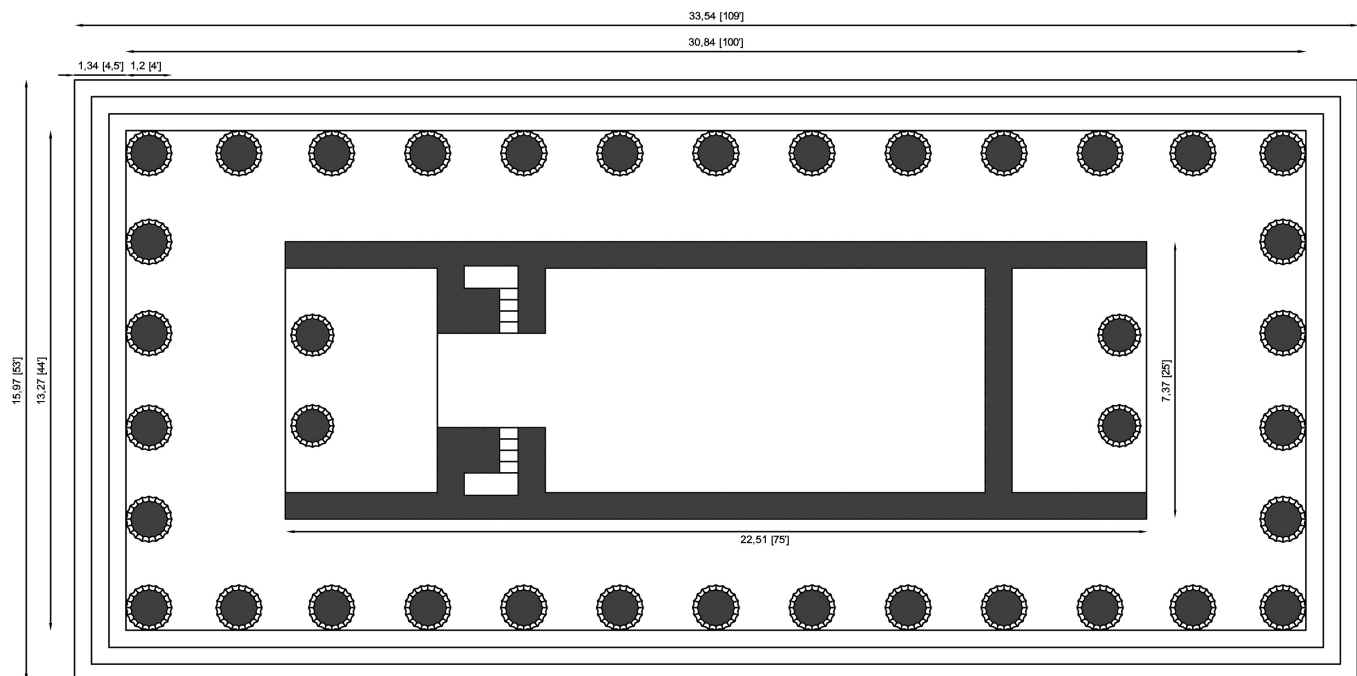
L'altezza della colonna è pari a 5 volte il diametro di base e si assesta quindi a circa 5,90 m. L'interasse delle colonne invece è variabile a causa della contrazione angolare che è presente in tutti i templi delle collina di Agrigento.

Se si mantenesse infatti il valore costante medio in piedi l'interasse di 2,51 m produrrebbe un tempio più grande dell'area di fondazione. Ma con la contrazione angolare che ad esempio nel tempio della Concordia è di 10 cm si possono prendere come interassi nel lato maggiore 2,35 m 2,43 m e gli interni 2,51 m circa. Nei lati minori

adottando la stessa proporzione si ottengono 2,35 m, 2,43, 2,51m, 2,43m, 2,35m. Secondo tali indicazioni il tempio entra perfettamente all'interno dell'area di sedime e corrisponde ai canoni del tempio ideale di 100 piedi x 44 piedi che in metri secondo la nostra stima diviene di circa 30,84 x 13,27 con un rapporto di 2,324 che è praticamente identico a quello del tempio della Concordia pari a 2,332.

Aggiungendo lo stereobate notiamo subito che da rilievo le sue dimensioni sono di circa 1,34 m per la lunghezza e in altezza 1,48 m che possono essere considerate pari rispettivamente a 4,5 piedi e 5 piedi che grosso modo corrispondono sempre ai canoni del tempio ideale che prevede per i gradini un totale di circa 4 piedi, ma contestualmente adattabile alle rispettive condizioni orografiche del terreno.

Le dimensioni della cella risultano sia da rilievo che da calcolo in piedi di circa 75 piedi x 25 piedi cioè di



59/ Pianta tempio dei Dioscuri ricostruita

metri 22,51 e 7,37 sempre consoni ai rapporti tipici del dorico. Dalle tracce di muri ritrovati in situ si può ipotizzare uno spessore murario di 0,70 m circa. Con una larghezza interna costante di circa 5,97 m e pronaos ed empistodomos posteriore.

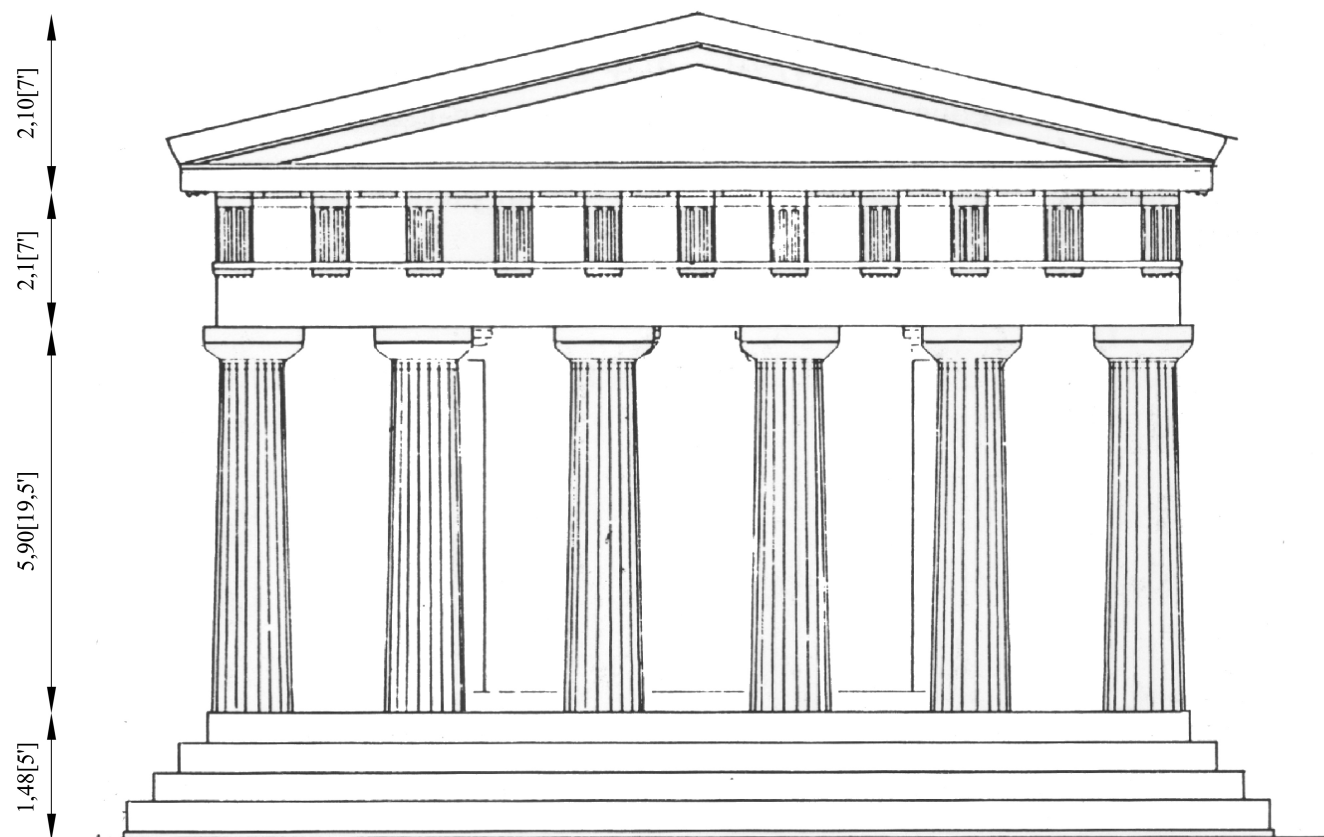
Sono ipotizzabili anche le scalette laterali di ispezione al tetto presenti in tutti i templi agrigentini.

Passando all'elevato si ritrovano le misurazioni anche qui in piedi, con ad esempio echino ed abaco di rispettivamente 1 e 1/3 di piede e di 1 piede pari quindi a circa 30,1 cm e 41,3 cm orientativamente come si evince dalla nuvola di punti.

La zona dell'architrave risulta invece compresa l'area di triglifi e metope di circa 7 piedi per un totale di 2,08

m circa. Mentre sima e geison sono di dimensioni che vanno dai 0,34 m a 0,36 m quindi più grandi dei piedi dorici ipotizzati anche se è ipotizzato che la parte superiore sia di epoca romana e quindi a tale motivazione sarebbe da imputare la diversa corrispondenza delle unità di misura.

L'altezza totale del timpano dovrebbe invece, in base al calcolo dell'angolo e dei paragoni con i templi di Agrigento, attestarsi intorno ai 7 piedi, quindi circa 2,10 m.

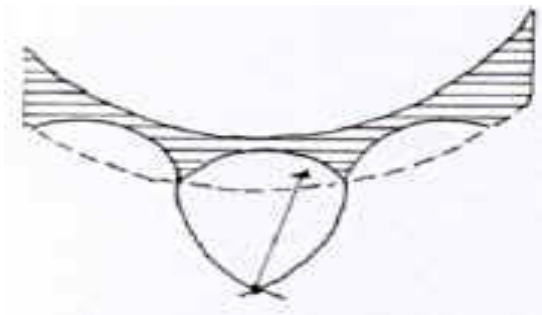


60/ Ipotesi di prospetto tempio dei Dioscuri

Note

1. C. Boito, *Questioni pratiche di belle arti. Restauri, concorsi, legislazione, professione, insegnamento*, Hoepli, Milano, 1893.
2. Estratto dalla carta italiana del restauro: Art. 6. - In relazione ai fini ai quali per l'art. 4 devono corrispondere le operazioni di salvaguardia e restauro, sono proibiti indistintamente, per tutte le opere d'arte di cui agli artt. 1, 2 e 3: 1) completamenti in stile o analogici, anche in forme semplificate e pur se vi siano documenti grafici o plastici
3. Rieman 1960, p. 188; p.196.
4. Dorpfeld 1882, p.296 "Am Theseion habe ich die Axweite der Pteronsäulen an den Fronten zu 2,583 m gemessen; dies sind unverkennbar $8 \frac{3}{4}$ F unii /war ist diese Gleichung genau, wenn 1 Fuss 0,2952 m ausmacht"
5. Falus-Mezos 1979, pp. 289-290.
6. Iwanoff, 1892, p. 18.
7. Stuart-Revett, *The Antiquities of Athens and Olher Monumenta of Greece*, London 1913, Tav. XLVIII.
8. Hultsch, 1880, p. 94; p. 175.
9. Theuer, 1918, p. 53: «Der Umfang des Tempels beträgt $2 \times (14,465 + 32,525) = 93,98$ m, was als die Hälfte eines Stadiums aufgefaßt, einen Fup von 0,3133 m ergeben wtirde».
10. Rieman, 1935, p. 152 s.: «Die Tempelmaße sind in der Unterstufe 47 und 103 Fup, d.h. $39 + 8$ und $95 + 8$. Bringt man die Kontraktion in Anrechnung, so ist klar, daß $6,8 = 48$ und $13,8 = 104$ gemeint sind. Damit ergibt sich eine Grundform ganz der Art, wie wir sie in Gropgriechenland mehrfach angetroffen haben...».
11. Koch, 1955, p. 74; «Während nun dieser von Dörpfeld «äginäisch-attisch» benannte Fu]5 beim Theseion weder in der Unterstufe noeti im Stylobat aufgeht, ist die untere Marmorstufe 32,51 m lang, also gerade 100 Pufi zu je 0,3251 m».
12. Gruben, 1980, p. 207: «Damit mag es zusamenhängen, da(5 offenbar die Entwurfsmaße der Peristasis in der untersten Marmorstufen, d.h. der Mittelstufe (statt im Stylobat), niedergelegt sind».
13. Bankel, 1983, p. 75: «Der Tempel ist also in dem von Koch und Gruben vorgeschlagenen dorischen Fup errichtet».
14. Dinsmoor, 1941, p. 33: «The peristyle pian which thè foundations were destined to accomodate was based on a decision that thè width of thè stylobate rectangle should be exactly 42 Doric feet... The total dimensions of thè bottoni step are $461;2 \times 101U/12'$ Doric feet (15,168 x 33,2445 m)».
15. Coulton, 1974, p. 86: «... a stylobate width of $44]4$ ft. from a stylobate lenght of 100 ft».
16. Knell, 1979, p. 62: «Von besonderem Interesse ist der Entwurfsvorgang, der zum Hephaisteion geführt hat und der sich zumindest teilweise rekonstruieren lapt. Schon friiher ist beobachtet worden, daß der Ausgangsmaß des Tempels in der zweiten Stufe der Krepis angelegt ist. Mit 32,51 m entspri-cht die Länge etwa 100 Fup». KNELL 1980, p. 58: «G. Gruben hat die Vermutung ausgesprochen, daß die Leitproportion des Parthenon vom Hephaisteion-Architekten iibernommen wurde, ohne jedoch die beim Parthenon gezogenen Konsequenzen verwirklichen zu können. Mehr zufällig scheint die in der mittleren Stufe angelegte Proportion von 4: 9 (14,45 m mal 32,51 m) an wenig einseitigen Stellen des Baues wiederzukehren».

9. Modellazione



61/ Sezione costruzione scalanature colonna

La modellazione del tempio ideale è stata effettuata cercando di essere il più canonica possibile nelle costruzioni geometriche e con le classiche procedure che i software cad consentono.

Il procedimento più utile e al quale si fa comunemente ricorso è l'estrusione. Con tale funzione il profilo di qualunque figura geometrica bidimensionale chiusa da una linea di contorno viene proiettato in senso ortogonale a questa per un'altezza o una lunghezza stabilita dall'utente, generando una traslazione della sezione di base. Il comando chiede di default l'altezza dell'oggetto tridimensionale da creare. Se s'immette un valore positivo l'estrusione avverrà nel senso del semiasse z positivo, cioè verso l'alto, altrimenti introducendo il segno meno avrà luogo verso il basso.

L'estrusione funziona solo con figure geometriche chiuse. Esistono altre forme di estrusione tra cui molto utile ad esempio per la creazione delle colonne, quella con rastremazione. Oltre all'altezza del solido da creare si può immettere il valore di un angolo, calcolato a partire

dall'asse verticale, il quale determina una rastremazione uniforme su tutte le facce dell'oggetto.

Un'altra variante del comando è l'estrusione lungo una traiettoria. Si selezionano la figura geometrica da estrarre e una linea che costituisce il percorso dell'estrusione. La traiettoria può essere costituita da una linea singola, rettilinea o ad arco, ma anche da polilinee o spline con percorsi assai irregolari, spezzate aperte o chiuse.

Un altro metodo di costruzione dei solidi, il quale viene adottato per gli oggetti circolari, è la rivoluzione. Si di-



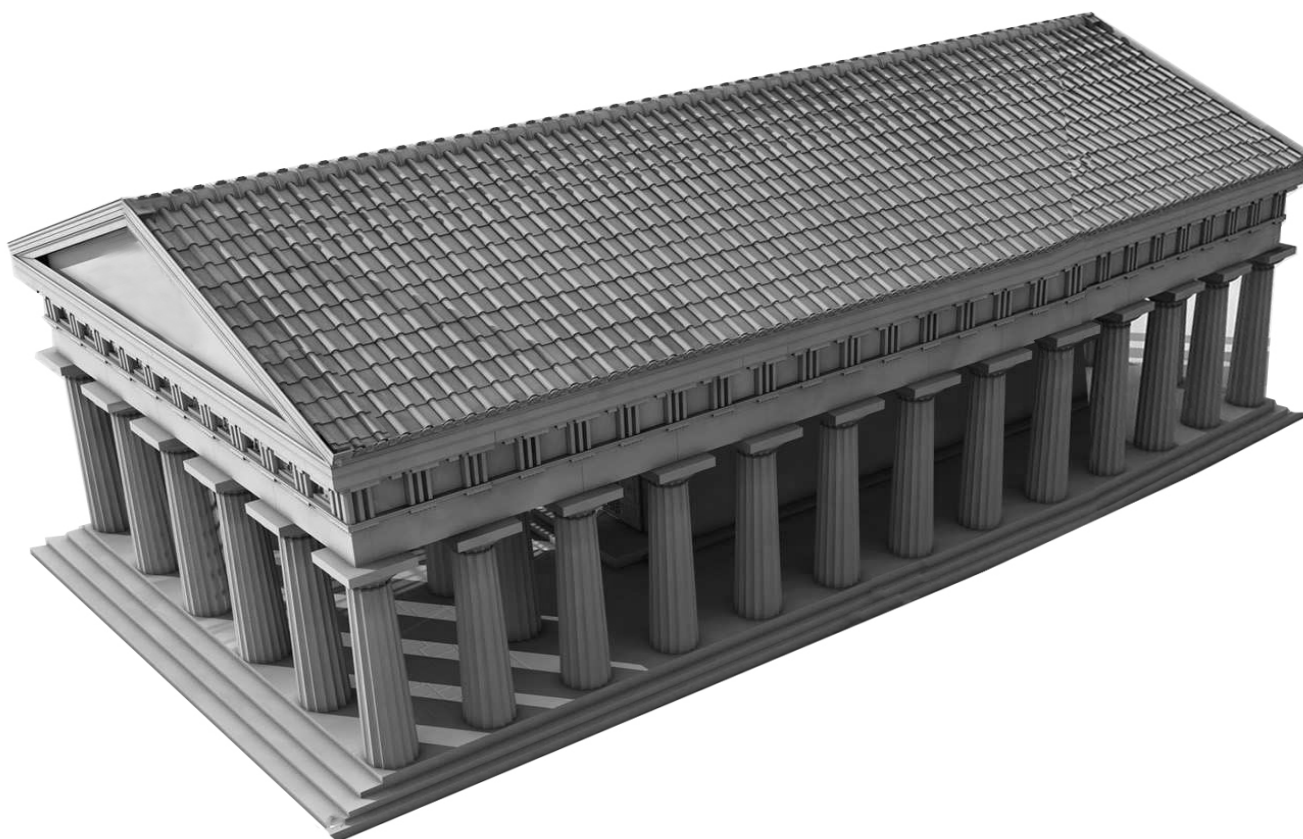
62/ Modellazione colonna

segnano la sezione di una metà dell'oggetto e una linea corrispondente all'asse attorno al quale sarà rivoluzionata la figura. La riga di comando chiede di selezionare la forma 2d da rivoluzionare, di indicare due punti che definiscono l'asse di rotazione e di immettere il valore di un angolo (360 gradi per creare un oggetto circolare; 180 gradi per generare invece un oggetto semicircolare). Anche in questo caso la figura bidimensionale da trasformare in solido deve essere costituita da un contorno chiuso, disegnato con una spline o una polilinea. I solidi possono essere editati innanzitutto utilizzando alcune funzioni semplici ed intuitive come: copia, sposta, serie, specchia, ruota, scala, offset. Tutte le operazioni di trasformazione sono orientate secondo il piano cartesiano di costruzione. Altri comandi sono invece

specifici per le operazioni di trasformazione dei solidi. La funzione "Trancia" consente di tagliare qualunque forma solida. Si determina la direzione del piano di taglio facendo clic su tre punti che ne indicano la giacitura. Altrimenti si può costruire un rettangolo corrispondente al piano di taglio e inserirlo nell'oggetto da secare aiutandosi con gli UCS (sistemi di riferimento) disponibili.

I comandi "Unisci", "Sottrai", "Interseca" eseguono sui solidi le cosiddette operazioni booleane¹.

Il primo di questi consente di unire due oggetti solidi adiacenti o parzialmente sovrapposti trasformandoli in un oggetto unico. Il comando "Sottrai" si utilizza per sottrarre una forma solida da un'altra. È particolarmente indicato per realizzare delle aperture ad esempio



63/ Ipotesi di ricostruzione del tempio dei Dioscuri

nelle strutture murarie. Va creata all'interno della parete ad esempio, una forma corrispondente all'ingombro da sottrarre. Si attiva poi il comando "Sottrai", il quale chiede di selezionare prima l'oggetto da modificare e poi quello da sottrarre che viene eliminato e al suo posto rimane un vuoto. Il comando "Interseca" crea un solido composto dalle sole parti comuni di due oggetti che si compenetrano; i volumi che restano al di fuori dell'intersezione vengono pertanto eliminati.

Altri comandi consentono di modificare gli spigoli o le facce dei solidi, per esempio dando modo di copiarli, colorarli, ruotarli, ecc. Fra i più utili è da segnalare il comando "Estrudi facce" (in alternativa Offset facce che è molto simile) il quale consente di allungare o accorciare un solido in senso ortogonale alla faccia selezionata.

Queste semplici procedure consentono di definire quasi tutte le forme necessarie alla modellazione del tempio ideale.

Il tempio così ricostruito e la mesh ottenuta dal rilievo con lo scanner laser opportunamente trattata, sono stati oggetto quindi di una doppia sperimentazione che si prefigge di raggiungere l'obiettivo di creare dei prodotti di semplice utilizzo per l'utente, finalizzati ad una conoscenza del bene archeologico in questione o di altri edifici. Ciò è stato auspicato attraverso la creazione di un modello navigabile in real-time e di un altro finalizzato all'utilizzo dell'augmented reality su supporti cartacei.

Note

1. Tali operazioni prendono nome dagli studi di algebra e di logica di George Boole (1815-1864) matematico britannico, considerato fondatore della logica matematica.

10. Motori di rendering Real-time

Solitamente si distinguono due tipologie di rappresentazione degli oggetti tridimensionali: i rendering statici e le animazioni.

Rendering è infatti il termine riferito alla grafica computerizzata che identifica il processo di generazione di un'immagine attraverso formule matematiche che definiscono il colore, le caratteristiche fisiche delle superfici e l'illuminazione dell'ambiente simulato. Oggi l'uso di tali tecniche è uno strumento irrinunciabile sia in fase di progettazione che di presentazione alla committenza dell'opera architettonica. Il rendering è la "concretizzazione realistica" di un oggetto tridimensionale e rappresenta concettualmente la naturale evoluzione della modellazione volumetrica. Questa operazione ha come finalità il raggiungimento di una rappresentazione verosimile, ma virtuale della realtà, tutto questo con un'accuratezza dei dettagli e della fisica dei materiali di gran lunga superiore a quanto avveniva in passato, quando, attraverso il disegno prospettico convenzionale, era possibile percepire lo spazio, ma non descrivere con la stessa precisione ogni singolo elemento, la sua fisicità e il rapporto con le fonti luminose.

I software possono rappresentare perfettamente le ombre, i più piccoli dettagli, e attraverso opportune operazioni si possono simulare gli ambienti nelle diverse condizioni di luce in base all'ora del giorno, i materiali, con gli effetti di lucentezza, riflessione e opacizzazione delle superfici. Con il rendering, l'oggetto, l'architettura, acquista le fattezze del reale.

Ricorrendo nella computer grafica alle stesse tecniche

utilizzate nel cinema, cioè creando una sequenza di immagini fisse mostrate con sufficiente velocità da generare nell'osservatore l'illusione del moto otteniamo un'animazione. Il movimento può riguardare esclusivamente la camera, la quale si sposta lungo un percorso riprendendo l'ambiente circostante, ma anche uno o più oggetti presenti sulla scena. I software più evoluti consentono di gestire entrambi i procedimenti.

Per girare un'animazione va innanzitutto configurata all'interno di una finestra del programma la lunghezza del filmato la quale è determinata da due fattori: il numero complessivo dei fotogrammi e il numero di fotogrammi per secondo. Per ottenere un'animazione fluida e senza scatti sono necessari almeno 25 fotogrammi al secondo. Un film della durata di un minuto sarà pertanto composto da $60 \times 25 = 1500$ fotogrammi.

Nelle animazioni realizzate all'interno dei modelli architettonici la camera si muove attraverso gli ambienti riprendendo quanto rientra nel suo campo visivo. Essa deve essere associata a un percorso il quale corrisponderà a all'itinerario virtuale che vedranno gli occhi dell'osservatore. Il filmato viene salvato con un'estensione comune ai file video, come AVI o MOV, cui andrà associato eventualmente un codec di compressione, oppure come sequenza di singole immagini raster da montare successivamente.

Per quanto complessa un'animazione prevede sempre un punto d'inizio e un punto finale di un determinato movimento, il tutto preimpostato dal gusto personale e dalla volontà dell'operatore. Il fruitore può solo decide-

re di fermare la proiezione ma non è libero di muoversi come vorrebbe o farebbe nella realtà.

I motori real-time suppliscono a tali limiti consentendo la massima libertà di movimento e decisione all'utente finale. Le potenzialità dei software più evoluti sono notevoli. Sono in grado tra le altre cose di generare effetti dinamici con vari elementi naturali e atmosferici (nebbia, pioggia, neve, fuoco, ecc.) e di animare le texture dei materiali, ad esempio rendendo i colori cangianti oppure generando elementi come il moto delle onde nell'acqua o dinamica di oggetti in movimento.

Naturalmente la qualità ottenibile per quanto buona non potrà mai essere paragonabile a quella di un rendering statico o di un'animazione professionale.

Quando ci si muove nel modello si cambia continuamente inquadratura; pertanto a ogni minimo spostamento il programma deve ricalcolare le proprietà visive di tutti gli oggetti della scena attivando quindi un rendering che per risultare fluido nel movimento non potrà necessariamente essere prodotto in decine di secondi, minuti o ore.

Per produrre un singolo fotogramma realistico con luci, ombre e descrizioni dettagliate dei materiali, il calcolo deve svolgersi in una frazione di secondo, cioè in tempo reale rispetto al percorso seguito dall'utente.

La navigazione in tempo reale entro modelli tridimensionali con un alto livello qualitativo dell'immagine è stata sviluppata negli anni passati da alcuni software specializzati nelle simulazioni per esercitazioni militari, in particolare nel campo delle simulazioni di volo dove, considerando la velocità con cui si muovono gli aerei da caccia, è necessario arrivare a renderizzare fino a sessanta fotogrammi al secondo. Questo tipo di programmi fino a poco tempo fa potevano girare solamente su computer molto potenti e costosi.

Negli ultimi anni in questo settore della grafica 3D si stanno registrando rapidissimi progressi grazie anche alle cresciute potenzialità di accelerazione grafica del-

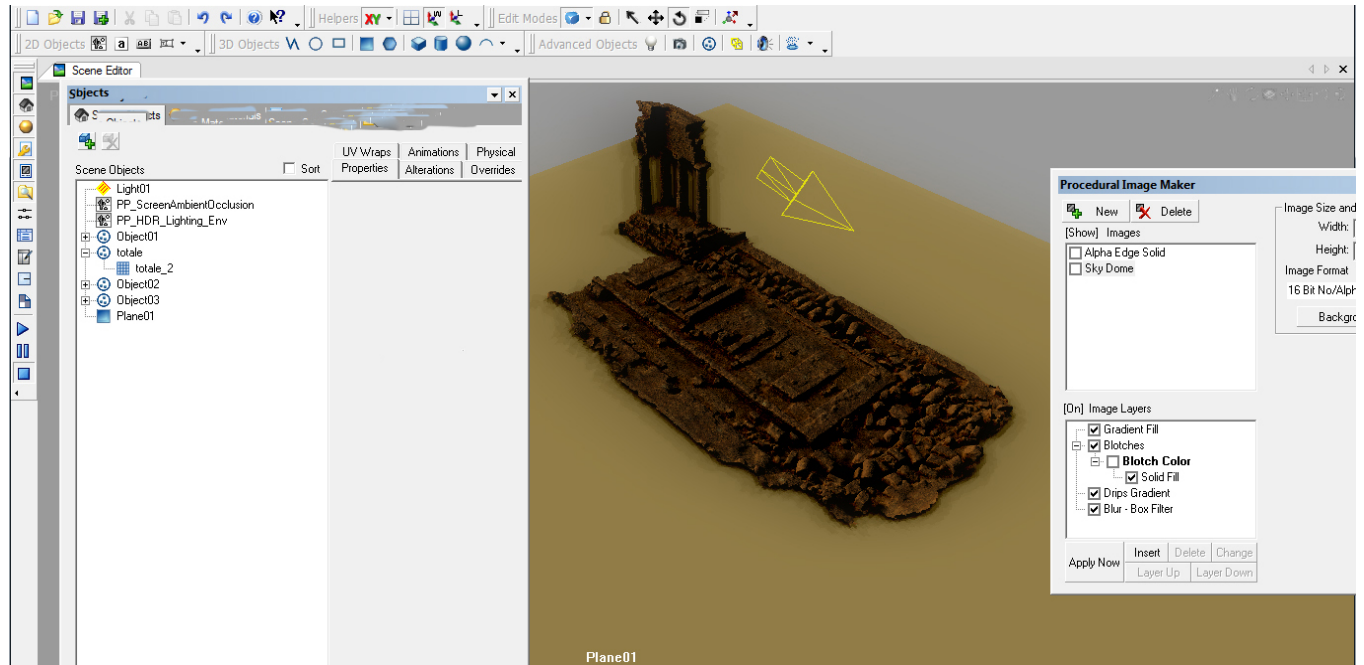
le schede video in commercio. Il risultato è che oggi comincia a essere possibile far girare in tempo reale applicazioni con immagini ad alta risoluzione anche su computer medio-piccoli. Molti software di grafica 3D stanno di conseguenza migliorando le proprie prestazioni in questa direzione.

Tra le tecniche che consentono un'accelerazione dei tempi di calcolo delle immagini in movimento va menzionato il LOD (level of Detail o livello di dettaglio dinamico) che ha trovato larga applicazione nel campo dei videogiochi. Esso consiste nel rappresentare gli oggetti 3D attraverso diversi gradi di approssimazione, a seconda della distanza in cui si trova l'osservatore. Un algoritmo sintetizza la forma degli oggetti lontani, diminuendo il numero dei poligoni che compongono la mesh. Man mano che l'osservatore si avvicina le sfaccettature aumentano gradualmente di densità.

La creazione di un semplice oggetto 3D passa, attraverso più operazioni che ne definiscono le caratteristiche di posizione, forma, colore, consistenza, orientamento e trasformano queste caratteristiche in coordinate che si mettono in relazione con le coordinate di dell'osservatore virtuale e con quelle di altri oggetti per farli interagire tra di loro.

La creazione di una scena complessa passa attraverso alcune tappe elementari:

- la creazione dei singoli oggetti contenuti nella scena
- il posizionamento di questi oggetti all'interno di uno spazio che ne stabilisca una prima forma di relazione reciproca
- la definizione, all'interno di questo spazio, del punto di vista di un ipotetico osservatore e di alcuni parametri, come ad esempio, l'illuminazione
- la definizione dello spazio effettivamente visualizzato dall'osservatore in questione
- la rimozione di tutte le superfici nascoste alla vista dell'osservatore
- le operazioni di rendering



64/ World Space

-la trasformazione di uno spazio 3D in uno 2D che possa essere visualizzato sul monitor di un pc.

Il primo passo è quello di definire un oggetto, dal semplice cubo al più complesso tempio dei Dioscuri analizzato. Per farlo si lavora in uno spazio virtuale detto OBJECT SPACE o MODEL SPACE, in cui ogni singolo oggetto è rappresentato con un suo sistema di coordinate. Questo significa che, ad esempio nel caso del cubo, si fissa un punto, sul cubo o interno ad esso, come origine degli assi e si utilizza tale origine per definire la posizione e le dimensioni dell'oggetto in quello spazio; questo punto si definisce anche pivot point o object origin. Se nella scena compaiono altri oggetti, si fa la stessa cosa per ciascuno di essi, prendendo come origine, di volta in volta, un punto su ciascun oggetto.

Quindi ogni elemento risulta avere un suo proprio sistema di coordinate e ad ognuno è associato un pivot point tramite il quale è possibile traslare o far ruotare l'oggetto stesso che si muoverà come un corpo rigido,

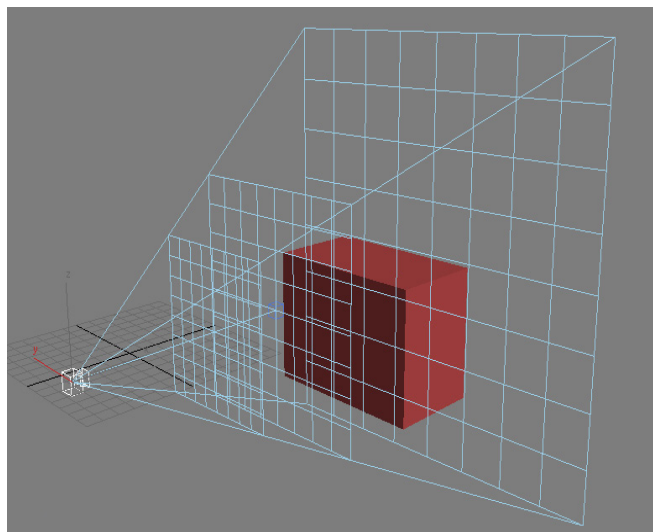
in quanto le sue coordinate restano solidali al punto di controllo.

Una volta definiti, gli oggetti sono posizionati all'interno di uno spazio comune, detto WORLD SPACE, in cui essi sono messi in reciproca relazione spaziale potendo fare riferimento ad un sistema di coordinate unico.

In questo ambiente si definiscono anche le proprietà dei singoli oggetti e delle loro superfici, il tipo di animazione se presente e di illuminazione.

A questo punto, vi è un insieme di oggetti, di cui sono state definite le caratteristiche, posizionati all'interno di un ambiente, a formare una scena complessa. A questa scena, però, mancano ancora diverse caratteristiche come il colore o materiale degli oggetti e la loro consistenza. Inoltre non c'è nessuno che possa muoversi all'interno di questo ambiente per esplorarlo.

Il prossimo passo sarà quello di mettere un osservatore all'interno della stanza e stabilire il suo punto di vista e la porzione o spazio dell'immagine che è in grado



65/ Camera space e clipping plane

di visualizzare. Questo è quello che avviene nel VIEW SPACE o CAMERA SPACE.

Una volta stabilita la posizione dell'osservatore che non coincide necessariamente con l'origine degli assi del WORLD SPACE, si fissa la direzione ed il verso in cui si guarda.

Sono stati, così, definiti, gli elementi costitutivi del VIEW SPACE, aggiungendo allo spazio degli oggetti un osservatore collocato in un punto ben preciso, il cui sguardo è orientato secondo una direzione ed un verso ben definiti.

Ovviamente, però, il campo visivo di questo osservatore non è illimitato in tutte le direzioni e per stabilirne i confini si fissa un angolo solido, con vertice sulla posizione dell'osservatore che si "apre" nella direzione e nel verso in cui si "guarda".

Si compie un'operazione analoga a quella di porre una cinepresa, che proietta l'immagine che viene visualizzata; la differenza rispetto ad una proiezione cinematografica è che il target non è un piano bidimensionale (lo schermo cinematografico) ma uno spazio 3D che sarà delimitato, a questo punto, da una piramide che ha la

sommità posta nell'osservatore e l'asse Z coincidente con l'altezza.

Si fissano, inoltre, due piani perpendicolari all'asse Z (ossia alla direzione in cui si guarda), che servono sia delimitare il fondo del campo visivo (il far clipping plane), sia a definire l'ampiezza di campo visivo in prossimità dell'osservatore che non è assimilabile ad un punto ma ad una superficie (il near clipping plane). In tal modo, il campo visivo risulta limitato, di fatto, da 6 superfici che formano un tronco di piramide.

Queste superfici sono definite CLIPPING PLANE. ed hanno una notevole importanza, in quanto delimitando il "campo visivo" danno una prima indicazione su ciò che è necessario renderizzare in un determinato frame e costituiscono, in tal senso, una prima forma di ottimizzazione per le operazioni di rendering.

Bisogna adesso iniziare a pensare alla destinazione finale dell'immagine, ovvero il monitor. La sua forma rettangolare mal si adatta ad uno spazio a forma di tronco di piramide. Quindi, il passo successivo è quello di traslare l'immagine del clip space all'interno di un altro spazio a forma di cubo di coordinate X, Y.

In questo nuovo spazio che viene generato in automatico, definito talvolta, canonical view volume (CVV), non esiste una "visione prospettica", ma l'illusione della prospettiva è data dalla deformazione degli oggetti in esso contenuti poiché l'immagine che deve essere rappresentata ha 2 dimensioni soltanto, forma rettangolare e deve creare l'illusione di svilupparsi lungo una ormai inesistente terza dimensione.

Per ogni punto di un determinato poligono componente il frame, si avranno una coppia di coordinate (x, y) che ne individuano la posizione nello screen space ed un valore "z" fittizio che ne fornisce la distanza dall'osservatore.

Ovviamente la procedura sarà ripetuta per tutti i poligoni che compongono il frame. In questo modo è possibile confrontare le reciproche posizioni di questi

poligoni rispetto all'osservatore e la loro eventuale copertura ad opera di altri poligoni presenti.

Successivamente a queste operazioni preliminari si affiancano quelle di creazioni di materiali detti shader e che saranno poi i responsabili dell'aspetto degli oggetti in scena. Quindi si aggiunge una fonte luminosa che illumini lo spazio visualizzato.

11. Shader, texture mapping e tecniche di filtraggio

Gli shader sono uno strumento della computer grafica che generalmente è utilizzato per determinare l'aspetto finale della superficie di un oggetto. Consistono essenzialmente in un insieme di istruzioni di tipo matematico, quindi sono un programma vero e proprio.

Gli shader devono riprodurre il comportamento fisico del materiale che compone l'oggetto cui sono applicati. Si può quindi creare uno shader per i metalli, uno per la plastica, uno per il vetro e così via, e riutilizzarli più volte all'interno di una scena.

Gli shader possono anche essere usati per applicare effetti di postprocessing ed essendo programmi a tutti gli effetti, è possibile utilizzarli anche per la simulazione di eventi fisici molto complessi quali collisioni e simulazioni fluidodinamiche. Nell'ambito dell'ottica sono abitualmente usati per simulare: diffusione, riflessione, rifrazione, e dispersione della luce.

Le moderne Graphics Processing Unit dispongono di diverse pipeline adibite alla trasformazione di una scena 3D in un'immagine raster che possa essere rappresentata sullo schermo. Tali pipeline svolgono una serie di operazioni basate su shader programmabili.

Le librerie grafiche DirectX e OpenGL utilizzano tre tipologie di shader, che sfruttano le capacità di shading delle Graphics Processing Unit presenti nelle schede video.

Vertex shader, gestisce la posizione dei vertici di un oggetto, pertanto ne può alterare solamente la forma, Geometry shader, viene usato per combinare una serie di vertici per formare un oggetto più complesso al quale

applicare effetti di pixel shading, Pixel shader, elabora i singoli pixel di un oggetto, per applicare texture o effetti come bump mapping o atmosferici come nebbia ecc. (calcola che colore avrà ogni pixel in base alla texture applicata e all'illuminazione della scena).

Il funzionamento è iterativo e ad albero vengono applicati successivamente.

Il vertex shader programmabile, ad esempio, trasforma la geometria e vengono applicati alcuni effetti di illuminazione quindi, il geometry shader, se presente, trasforma ulteriormente la geometria della scena riproducendola in triangoli, che vengono ulteriormente trasformati in quad (ogni quad è una primitiva di 2x2 pixel). Vengono applicati ulteriori effetti tramite il pixel shader ed infine viene effettuato il test di visibilità (z-test): se un pixel è visibile, viene scritto nel framebuffer per l'output finale su schermo.

L'elaborazione a livello dei pixel permette di evidenziare una ricchezza straordinaria di dettagli che consente di vedere oltre il livello del singolo triangolo.

Un ruolo fondamentale è stato comunque giocato dalle tecniche classiche che si utilizzano anche nei rendering statici. Anche gli shader come i comuni materiali dei motori di rendering tradizionali prevedono l'applicazione di texture per meglio simulare i materiali.

Nell'applicare texture bidimensionali si deve decidere come "incollarle" sull'oggetto; in parole povere si deve stabilire una esatta corrispondenza tra colori dei pixel su cui la texture va applicata e posizione della texture map stessa. Nei motori di rendering real-time si deve

tener conto di due fattori; la forma della texture, il map shape che ci dà informazioni sulle coordinate (x, y, z) che interessano la texture in oggetto e il cosiddetto map entity, ossia il range dei valori (x, y, z) tra cui possono variare queste coordinate. Si parla di sistemi di proiezione della texture sulla superficie da mappare.

La forma più semplice è quella planare; si tratta di una texture bidimensionale applicata su un oggetto, come una pellicola; l'applicazione avviene "proiettando" l'immagine della texture lungo uno dei tre assi di riferimento; in parole povere, si fissa uno dei tre assi e si muove la texture lungo di esso, fino ad incontrare l'oggetto su cui la si deve applicare. Se, quindi, ad esempio, si applica secondo l'asse z come direzione di proiezione, una traslazione dell'oggetto lungo l'asse z non porterà a cambiamenti nella posizione relativa di pixel e texel (i quadratini di cui è formata la texture che si possono considerare per la texture quello che i pixel sono per un poligono).

Una qualunque traslazione del poligono o della texture lungo x o y , invece, provoca uno "sfasamento" tra pixel e texel che porta a trovare, ad esempio, un colore in posizione differente da quella in cui si troverebbe in assenza di spostamenti relativi.

Altra forma utilizzata per le texture è quella cilindrica in cui le coordinate (x, y, z) sono convertite in $(r, \theta, \text{height})$ e in cui, assumendo che l'asse z sia parallelo

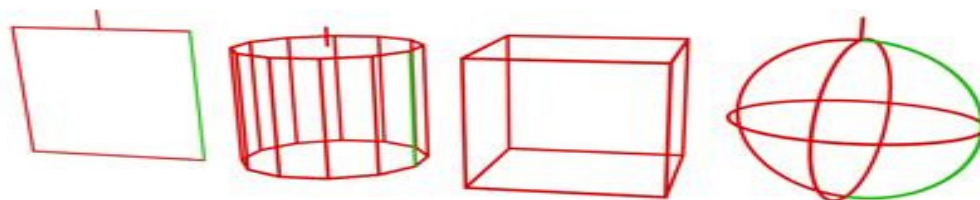
all'asse del cilindro, per trovare i colori applicati sulla superficie dell'oggetto si applica un cambio di coordinate che trasforma l'angolo θ in x e l'altezza in y .

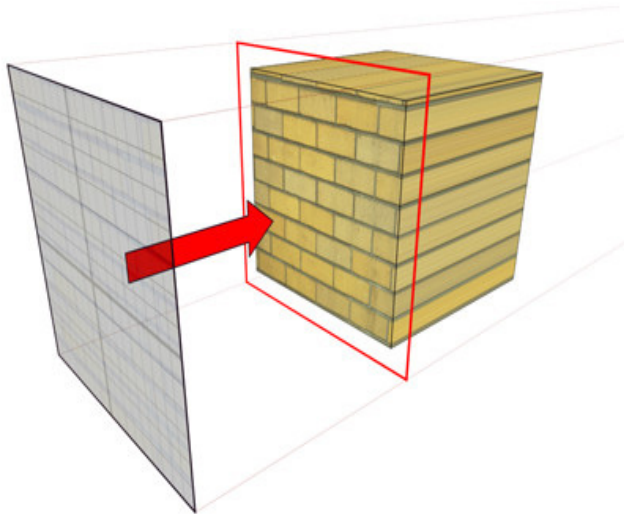
Oltre quella cilindrica c'è quella sferica, in cui si deve operare una trasformazione della latitudine e della longitudine rispettivamente in x e y per ritrovare i colori sull'oggetto.

Sia l'uso di texture cilindriche che sferiche produce distorsioni in prossimità dei valori massimi e minimi di z , ossia nei punti più lontani e più vicini rispetto all'osservatore; per questo motivo, sono state prevalentemente usate quelle che fanno uso di shape di tipo cubico. Queste ultime si applicano sull'oggetto allo stesso modo delle texture planari, conservando lo stesso sistema di riferimento, ma hanno il vantaggio di presentare 6 superfici planari al posto di una sola, unendo i vantaggi delle texture planari e di quelle sferiche o cilindriche che avvolgono completamente l'oggetto.

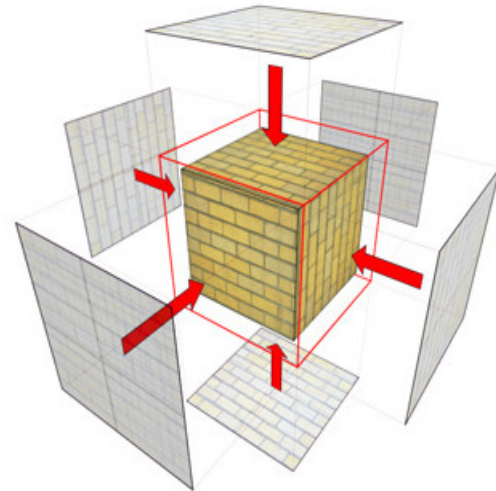
Questa è quella che in gergo si definisce cubemap; una delle feature introdotte dalle DX10.1 e presente, ovviamente, anche nelle DX11. Evidente il vantaggio, in termini di illuminazione globale della scena, dato dalla possibilità di scrivere e leggere più cube map in una sola passata.

Una volta scelto il sistema di proiezione più adatto all'oggetto è importante decidere la scala della texture e il tiling cioè quante volte questa può ripetersi sull'og-

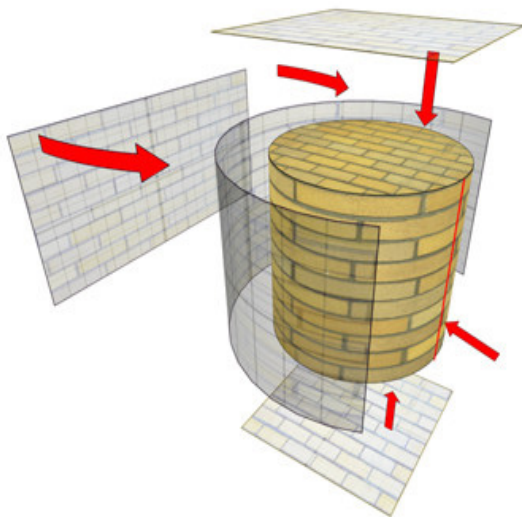




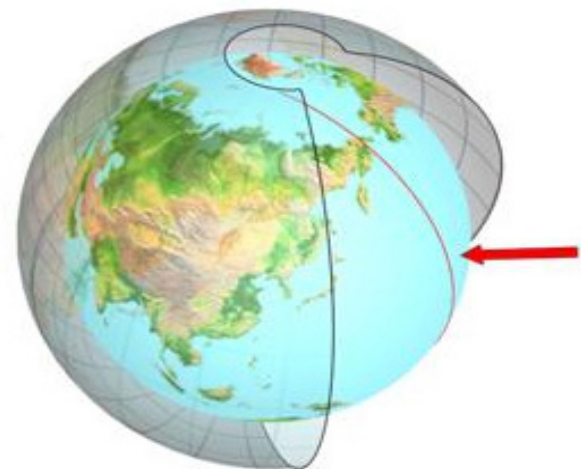
67/ Mappatura planare



68/ Mappatura cubica



69/ Mappatura cilindrica



70/ Mappatura sferica

getto.

Una texture può considerarsi come un manifesto applicato su una superficie liscia e del tutto “anonima”; grazie a questa applicazione, quella superficie può diventare un muro di mattoni o di pietra, un prato, una tenda, oppure un vestito o qualunque altra cosa. Sono, dunque, le texture a simulare la “materialità” degli oggetti presenti in uno spazio 3D virtuale.

Può succedere (non è un caso infrequente) che la texture da applicare sia troppo grande o troppo piccola rispetto alla superficie. In questo caso si può ricorrere ai cosiddetti filtri di magnification e minification che servono, rispettivamente, il primo quando un pixel della superficie risulta troppo grande rispetto alla rispettiva texel che lo deve coprire o quando la superficie è molto prossima all’osservatore, il secondo quando accade che

una texel copra più pixel o quando la superficie è molto distante dall'osservatore.

Un caso tipico è quando ci si avvicina ad un oggetto poiché in questa situazione si deve aumentare il dettaglio della superficie renderizzata e, di conseguenza, servono texture più grandi e dettagliate. Mentre si carica un livello superiore del mipmapping (correzione ottimizzata di immagini bitmap precalcolato), il filtro di magnification maschera la superficie "pixellosa" attraverso una serie di interpolazioni.

Con il termine "mipmapping" si introduce un altro argomento; è sempre importante ricordare che si ha sempre a che fare con immagini 2D (il monitor è una matrice di punti bidimensionale) con cui si cerca di dare l'illusione del 3D creando una prospettiva. Questo significa che, quando pensiamo alla realizzazione di una texture che, ad esempio, deve andare a rivestire una parete, dobbiamo tener conto del fatto che questa parete (o pavimento o qualunque altra cosa) potrà avere dei punti vicini e dei punti lontani rispetto all'osservatore; per questo motivo, sarà necessario pensare a texture più grandi e dettagliate in prossimità dell'osservatore e a texture più piccole e meno dettagliate per i punti più lontani dall'osservatore. Si deve, quindi, in qualche modo, misurare il Livello del Dettaglio (LoD) che la superficie deve avere rispetto al punto di osservazione e, in base a quello, utilizzare le dimensioni più adeguate della texture scelta.

Il LoD è un parametro che si misura partendo dal punto di osservazione; questo significa che i punti più vicini all'osservatore avranno LoD pari a 0 (in realtà si possono impostare anche valori di LoD negativi; la cosa può portare dei miglioramenti ulteriori della qualità d'immagine ma potrebbe anche creare problemi di visualizzazione in caso di non ottimizzazione per questo tipo di impostazioni). Una volta stabilito il LoD si deve scegliere la giusta texture da applicare. Uno dei metodi utilizzati è avere a disposizione più texture dello stesso

tipo ma con livelli di dettaglio differenti.

La creazione di questa struttura a "piramide" è definita mipmapping e serve ad avere, per ogni livello di dettaglio, la texture adeguata da applicare.

Tale soluzione che si è rivelata importantissima per migliorare l'aspetto generale del modello a qualsiasi distanza fa sorgere però un problema: immaginando ad esempio, un pavimento che si estende in profondità, si avranno in prossimità dell'osservatore texture più dettagliate e, man mano allontanandosi, livelli di dettaglio inferiori. Questo dà luogo, nelle zone di transizione tra texture a un differente livello di dettaglio, a brutte quanto evidenti transizioni che, per migliorare la qualità dell'immagine, devono essere rese "poco visibili". A questo scopo si fa uso di tecniche di filtraggio che vanno dal semplice filtro bilineare al più complesso anisotropico.

Uno dei metodi di filtraggio più semplici è quello bilineare; si basa sul principio dell'interpolazione lineare tra coppie di texel contigui a quello su cui si applica il filtro.

Per ogni pixel si scelgono i 4 texel più vicini e si fa un'interpolazione lineare a 2 a 2, utilizzando delle opportune funzioni peso, per determinarne il colore. Questo metodo permette di attenuare le transizioni di colore tra texel contigui.

Si tratta di una tecnica di filtraggio che con le odierne GPU risulta decisamente semplice da realizzare, ma che non risolve del tutto i problemi a cui si è fatto cenno in precedenza. In particolare, il bilinear filtering non risulta efficace quando ci si trova di fronte a transizioni tra differenti sample di una mipmap.

Il trilinear filtering si applica facendo un'interpolazione di tipo bilineare tra due sample contigui della stessa texture, ricavati dall'operazione di mipmapping e, in seguito, interpolando linearmente i risultati così ottenuti. Quindi, di fatto, un filtro trilineare fa uso di 8 campioni di texel, 4 per mappa e di una doppia interpolazione

bilineare seguita da un'interpolazione lineare.

Un ulteriore e più accurato metodo di filtraggio, che fa sempre uso di interpolazioni di tipo lineare, è quello anisotropico. Il nome del filtro deriva dal fatto che la sua applicazione non è uniforme in tutte le direzioni ma varia. Non viene applicato a tutta l'immagine ma alle sole transizioni tra differenti livelli di mipmap e può essere abbinato al filtro bilineare o trilineare sul resto dell'immagine.

Con la generazione DX11, le operazioni di texture filtering sono interamente svolte dallo shader core per permettere l'implementazione di filtri non lineari, di qualità sicuramente superiore.



71/ Modello completo di shader e visualizzato in real-time

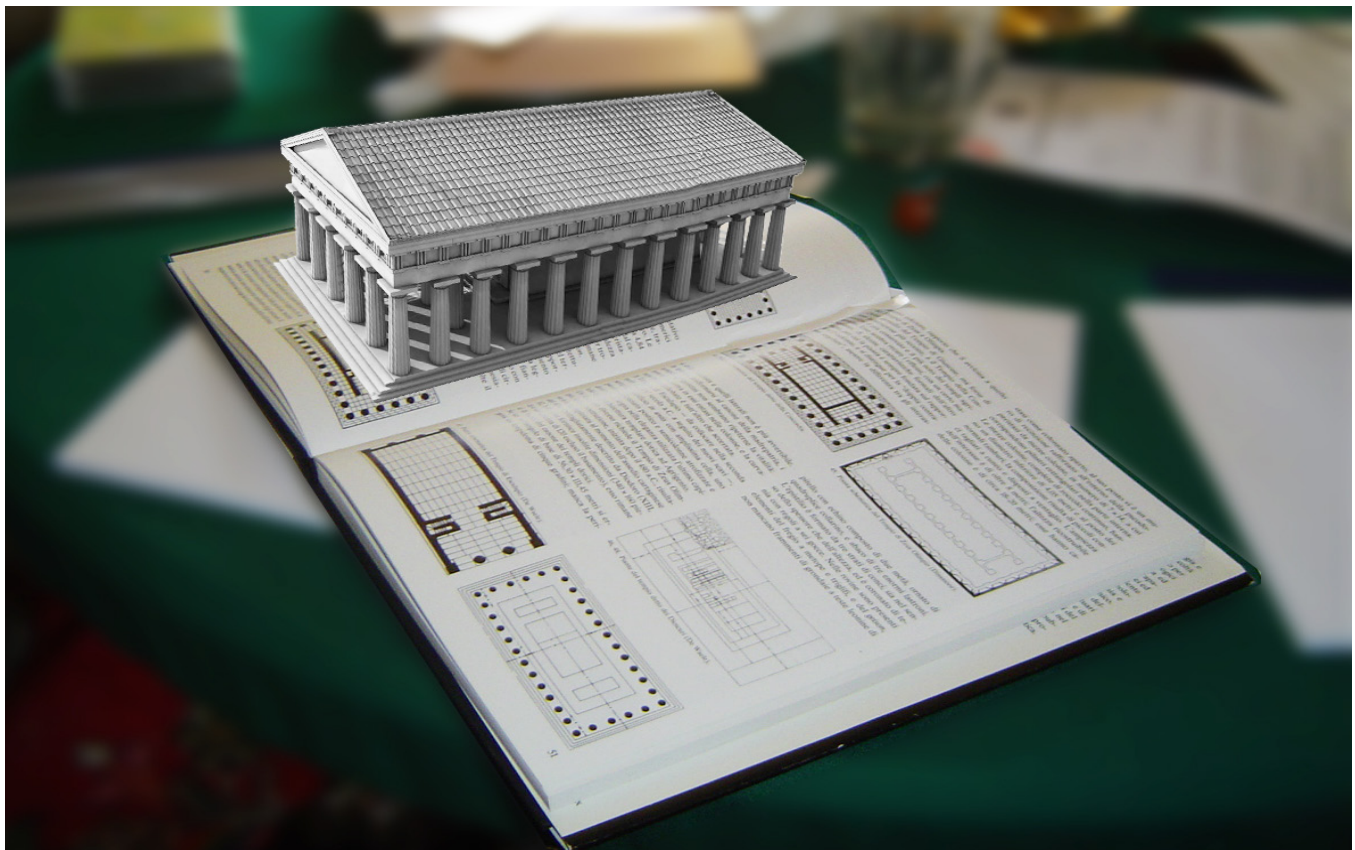
12. Conclusioni

Tutte queste operazioni sono servite alla creazione di un modello liberamente navigabile in ogni sua parte, ed interattivo, dove è possibile ottenere informazioni sul tempio, alternare in tempo reale le varie stagioni e ore del giorno, quindi con condizioni di luce variabili ed è possibile passare dalla visualizzazione del modello di rilievo a quello ricostruito attraverso un semplice click

del mouse.

A questo si è aggiunto anche l'uso dell'augmented reality o realtà aumentata da inserire ipoteticamente all'interno delle normali guide vendute nei musei.

Tale procedura è un sistema interattivo grafico che consente l'inserimento di oggetti virtuali nel mondo reale attraverso semplici dispositivi facilmente disponibili



72/ Modello visualizzato in augmented reality

negli home computer. Il tutto avviene grazie ad un sistema di tracking che viene utilizzato per orientare l'oggetto virtuale nello spazio reale. Tramite una semplice webcam il software individua dei segnali monocromatici o colorati, rispettivamente marker tracking e texture tracking, e aggancia l'oggetto virtuale ad essi. Riconoscendone la deformazione prospettica, l'applicazione è in grado di correggere la forma dell'oggetto in modo congruo alla posizione e prospettiva del marker o della texture di riferimento.

È facile ed intuitivo immaginare le consuete guide cartacee corredate di cd-rom con presenti i file relativi al modello e corredate di marker che permetterebbero al turista o allo studioso di visualizzare in modo semplice ed intuitivo i modelli 3D dei templi e nel nostro caso

del tempio dei Dioscuri e della sua corrispondente ricostruzione.

Tutto ciò può avvenire quindi in modo intuitivo attraverso l'utilizzo delle due tecnologie applicate, il real-time e l'augmented reality, tecnologie molto diverse come concezione di base, ma che hanno come fondamento l'immedesimazione dell'utente e la facilità di utilizzo.



73/ Modello originale visualizzato real-time

Bibliografia

- Tommaso Fazzello, *De Rebus Siculis*, Palermo 1558.
- Giuseppe Maria Pancrazj, *Antichità Siciliane*, Napoli 1751-52.
- Jean Houel, *Voyage pittoresque des isles de Sicile, de Malte et de Lipari*, Paris, 1782.
- Dominique Vivant Denon, Richard De Saint-Non, *Voyage pittoresque ou description des Royaumes de Naples et de Sicile*, IV° vol., Paris 1785.
- Carlo Compagnoni, *Biblioteca storica di Diodoro Siculo*, Milano 1820.
- Jacques Ignaz Hittorf et Ludwig Zanth, *Architecture antique de la Sicile*, Paris 1826.
- Raffaello Politi, *Il Viaggiatore in Girgenti e il Cicerone di piazza ovvero Guida agli avanzi d'Agrigento*, Girgenti 1826.
- Domenico Lo Faso Duca di Serradifalco, *Le Antichità della Sicilia esposte ed illustrate*, Palermo 1832-42.
- Vito Amico, *Dizionario Topografico della Sicilia tradotto dal latino ed annotato da Gioacchino Di Marzo*, Palermo 1855.
- Giuseppe Picone, *Memorie Storiche Agrigentine*, Girgenti 1880.
- Giuseppe Picone, *Novella guida per Girgenti e suoi dintorni*, Girgenti 1883.
- AA.VV., *Studi e Documenti relativi alle Antichità Agrigentine, pubblicati per cura del Reggìo Commissariato degli scavi e musei di Sicilia*, Palermo 1887.
- Giulio Schubring, *Topografia Storica di Agrigento*, Torino 1887.
- Adolfo Holm, *Storia della Sicilia nell' Antichità*, Torino 1896-1901.
- Sebastiano Crinò, *Guida di Girgenti*, Girgenti 1911.
- Pirro Marconi, *Agrigento*, Firenze 1929.
- Pirro Marconi, *Agrigento Arcaica*, Roma 1933.
- AA.VV., *Touring Club Italiano, Sicilia*, Milano 1933.
- Manfredo Vanni, *Breviario di Mitologia*, Milano 1948.
- Pietro Griffò, *Agrigento Guida ai monumenti e agli scavi*, Agrigento 1961.
- Anselmo Prado, *Agrigento testimonianze antiche preistoriche, greche, romane e paleocristiane*, Agrigento 1991.
- AA. VV., *Agrigento e la Sicilia Greca*, Roma 1992.
- Ernesto De Miro, *La Valle dei Templi*, Palermo 1994.
- AA.VV., *La Valle dei Templi tra Iconografia e Storia*, Palermo 1994.
- M. Bern, *Mesh Generation and Optimal Triangulation. In Computing in Euclidean Geometry*, World Scientific 1995.
- George Borouchaki. *Delaunay Triangulation and Meshing. Application to Finite Elements*. Hermes, 1998.
- Giuseppe Burgio, Simone Lucido, *Agrigento Aula Gigantum*, Roma 1999.
- Michael Rush, *New media in late 20th-century art*, Thames & Hudson, London, 1999
- George Frey, *Mesh Generation. Application to Finite Elements*. Hermes Science, 2000.

- Gianni Romano, *Artscape. Panorama dell'arte in rete*, Editori Associati, Genova, 2000
- Mel Slater, Anthony Steed, Chrysanthou, *Computer graphics and virtual environments. From Realism to real-time*, Edimburgo 2002
- Paul Christiane, *Digital art*, Thames & Hudson, London, 2003
- Marco Deseriis, Giuseppe Marano, *Net.Art. L'arte della connessione*, Shake, Milano, 2003
- Riccardo Migliari, *Geometria dei modelli. Rappresentazione grafica ed informatica per l'architettura e per il design*, Edizioni Kappa, Roma 2003
- Andrea Balzola, Anna Maria Monteverdi, *Le arti multimediali digitali*, Garzanti, Milano, 2004
- Silvia Bordini, *Arte elettronica*, Giunti, Firenze-Milano, 2004
- Riccardo Migliari (a cura di), *Disegno come modello. Riflessioni sul disegno nell'era informatica*, Edizioni Kappa, Roma 2004
- Matteo Bittanti (a cura di), *Gli strumenti del videogioicare*, Costa e Nolan, Milano 2005
- Massimiliano Campi, *Disegno + digitale. Esperienze didattiche di rappresentazione e grafica per l'architettura*, Aracne editrice, Roma 2005
- Mark Tribe, Reena Jana, *New Media Art*, Tashen, Koln, 2006
- Fabio Quici (a cura di), *Idee per la rappresentazione*, Form Act, Roma 2008

Sitografia

- <http://www.hyperreview.com/SuperCCD.htm>
- <http://www.guyjbrown.com/technical.html>
- <http://www.cambridgeincolour.com>
- <http://www.squidoo.com/hdr-photography/>
- <http://www.debevec.org/>