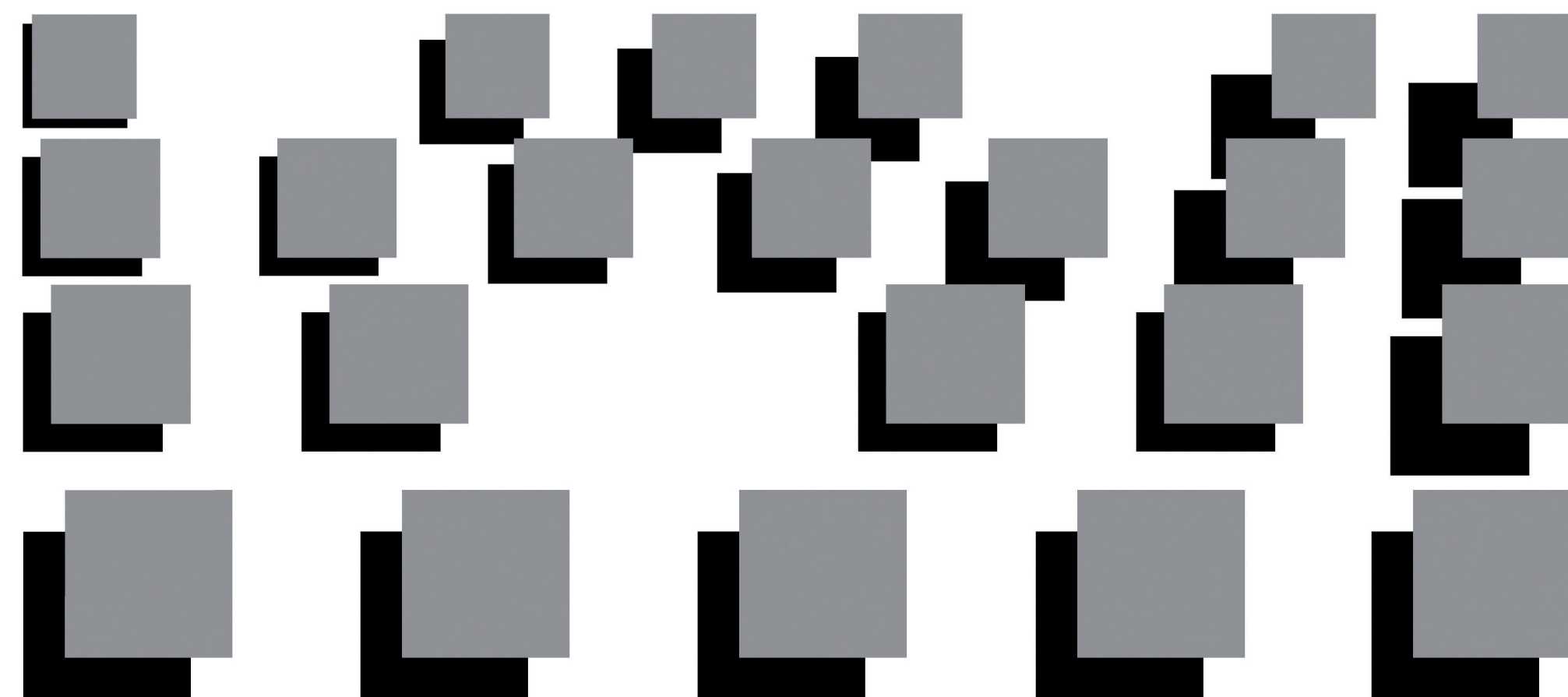
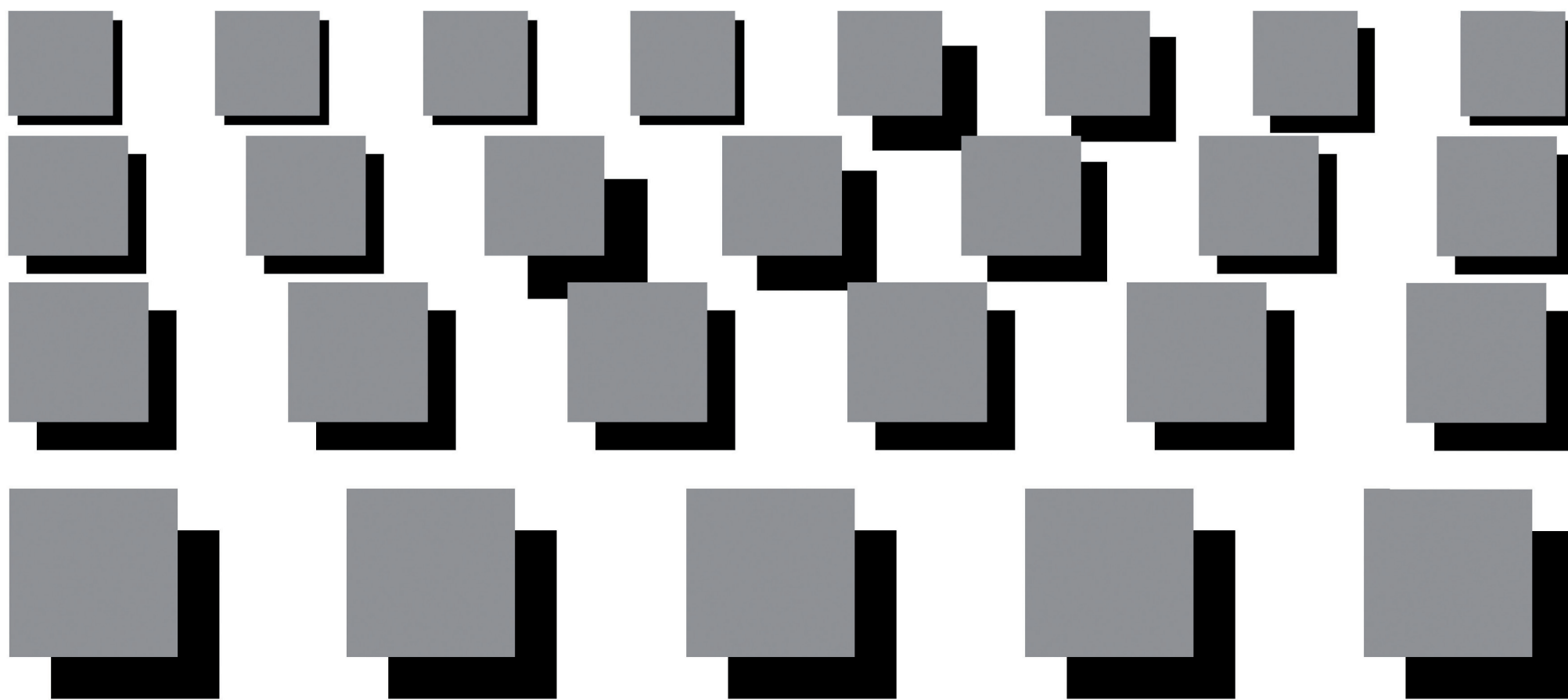


a cura di Andrea Casale

volume secondo

GEOMETRIA DESCRITTIVA
E RAPPRESENTAZIONE DIGITALE



ISBN 978-88-6514-168-7



9 788865 141687

Edizioni Kappa


Edizioni Kappa

Trascrizione ISBN (vedi copertina)

ISBN 978-88-6514-168-7



GEOMETRIA DESCRITTIVA E RAPPRESENTAZIONE DIGITALE

Memoria e Innovazione

volume secondo





Proprietà letteraria riservata agli autori
© Copyright luglio 2013
Edizioni Kappa
Via Silvio Benco 2
00177 Roma
Tel. 0039 06273903
Fax 06 2147053
www.edizionikappa.com

Pubblicato con il contributo del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.

Tutti i diritti riservati. nessuna parte del materiale protetto da questo copyright potrà essere riprodotta in alcuna forma senza l'autorizzazione scritta dell'autore.
Fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, comma 4, della legge 22 aprile 1941 n. 633.



Indice

5 PARTE III – SAGGI PER UN REPERTORIO DELLE APPLICAZIONI DELLA GEOMETRIA DESCRITTIVA

Giuseppe Amoroso

7 Stereografie, eidografie. La geometria per fabbricare

Francesco Bergamo

17 Problemi stereotomici e modellazione digitale. Il caso della volta anulare risolta con una funzione topologica

Cristina Cándito

23 I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale

Michele Calvano

35 Algoritmi geometrici per il *Reverse Modeling*. Conversione della rappresentazione numerica nella rappresentazione matematica per il progetto di design

Luisa Cogorno

57 Il disegno di progetto nelle riviste di architettura alla fine del XIX secolo

Michela Mazzucchelli

65 Il disegno come elemento unificatore nella definizione di una identità culturale e professionale

Leonardo Paris

73 Fotogrammetria e/o fotomodellazione

Leonardo Paris

81 Teoria geometrica degli ingranaggi

Jessica Romor

101 La prospettiva tra Novecento e albori del terzo millennio

Michela Rossi

119 La forma del colore

131 PARTE IV – SAGGI PER UN REPERTORIO DELLE SUPERFICI

Giorgio Buratti

133 Superfici minime periodiche. La geometria dell'apparente casualità

Andrea Casale, Graziano Mario Valenti, Michele Calvano

141 Le superfici piegate articolate

Massimiliano Ciammaichella

187 Processi di sviluppo delle superfici. Architettura e moda a confronto

Raul Pellarini, Roberto Ranon

197 Un applicazione mobile per l'apprendimento della Geometria Descrittiva

Alberto Sdegno

209 Le superfici rigate in alcune architetture di Le Corbusier

217 PARTE V – PROPOSTE DI INTERFACCE PER LA RAPPRESENTAZIONE DELLO SPAZIO

Matteo Clemente, Tommaso Empler

219 Proposta per un interfaccia grafico standard di un software di modellazione solida open-source finalizzato all'architettura

Maria Linda Falcidieno

231 L'interfaccia grafica tra icone e simbolo. Lettura critica e considerazioni metodologiche

Massimo Malagugini

237 Il modello tridimensionale fra rappresentazione digitale e rappresentazione analogica

Ruggero Torti

243 L'interfaccia grafica tra icone e simbolo. Esemplicazioni a confronto

Camillo Trevisan

251 Configurazioni digitali dedicate alla rappresentazione, all'interazione e alla creazione semplificata di modelli digitali 3D



*Finito di stampare nel mese di Giugno 2013
presso Tipografia Gemmagraf - Roma*





GEOMETRIA DESCRITTIVA E RAPPRESENTAZIONE DIGITALE

Memoria e Innovazione

a cura di Andrea Casale

volume secondo



Edizioni Kappa





Parte III

**SAGGI PER UN REPERTORIO DELLE APPLICAZIONI
DELLA GEOMETRIA DESCRITTIVA**



Cristina Cándito

ricercatore, Dipartimento di Scienze per l'Architettura, Università degli Studi di Genova

I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale

La rivoluzione digitale ha posto molti quesiti a studiosi ed operatori della rappresentazione architettonica. Per una migliore chiarezza sulla situazione attuale può essere interessante individuare le novità offerte dalle tecnologie informatiche attraverso un esame dei loro fondamenti.

Nel presente testo, dopo alcune considerazioni sui fondamenti geometrici e sulla condivisione linguistica e pratica con le arti figurative, si analizza la rappresentazione dei fenomeni luminosi per esemplificare un possibile approfondimento di un confronto tra conoscenze tradizionali e nuove applicazioni.

Geometria e geometrie

Alla base di ogni rappresentazione dello spazio nel piano si trova la geometria, intesa come campo più esteso della geometria descrittiva o della geometria proiettiva, che regola classificazione e genesi delle forme. Nel passato questo fondamento si identificava con la geometria euclidea, ma il concetto si presenta oggi più ampio e diversificato. In questo paragrafo si

descrivono sinteticamente alcune evoluzioni in questo settore ritenute fondamentali in funzione della loro influenza sulla rappresentazione architettonica.

L'ampliamento del significato della geometria non è una novità degli ultimi decenni, ma l'introduzione dei processi informatici ha recentemente accelerato l'individuazione di nuove potenzialità. La geometria, infatti, ha definitivamente cessato di essere una branca inscindibile della matematica quando si sono manifestati i dibattiti scientifici che ne contestano la concezione e il carattere di unicità. Il testo di geometria di Euclide¹, dopo circa venti secoli di incontrastato dominio, ha quindi cessato di costituire l'unica fonte di verità in campo geometrico. La contestazione, com'è noto, sorge dal dibattito intorno al postulato quinto (o delle parallele). Tale postulato, che in chiave moderna afferma che "*Per un punto passa una ed una sola parallela ad una retta data*"², viene messo in discussione anche dai commentatori antichi, ma è nel XIX secolo che tale dibattito condurrà alla comparsa di vere e proprie geometrie alternative rispetto a quella euclidea. Infatti, attorno al 1830, nasce la *geometria iper-*

Cristina Cándito

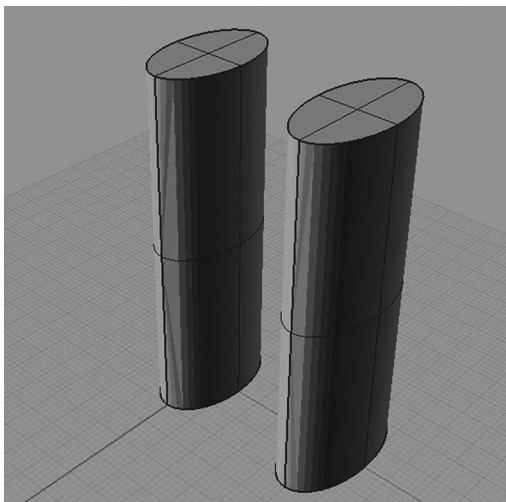


Fig. 1/ Topologia e trasformazioni. Alcune modalità di modellazione di forme fluide: un parallelepipedo e l'applicazione di comandi Bend, Twist, Cage, Taper (Modello 3D di C. Cándito).

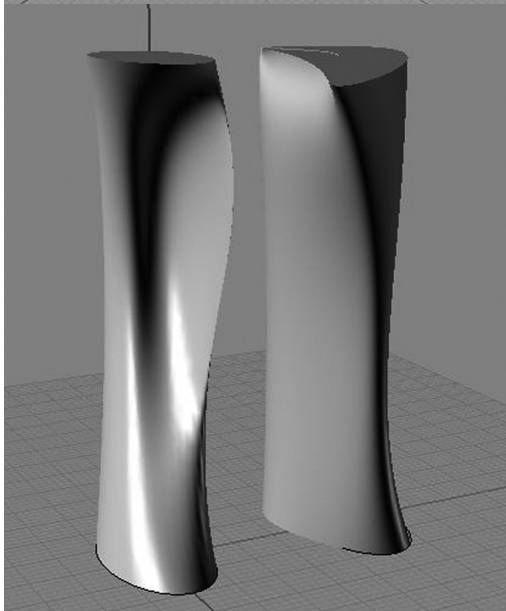
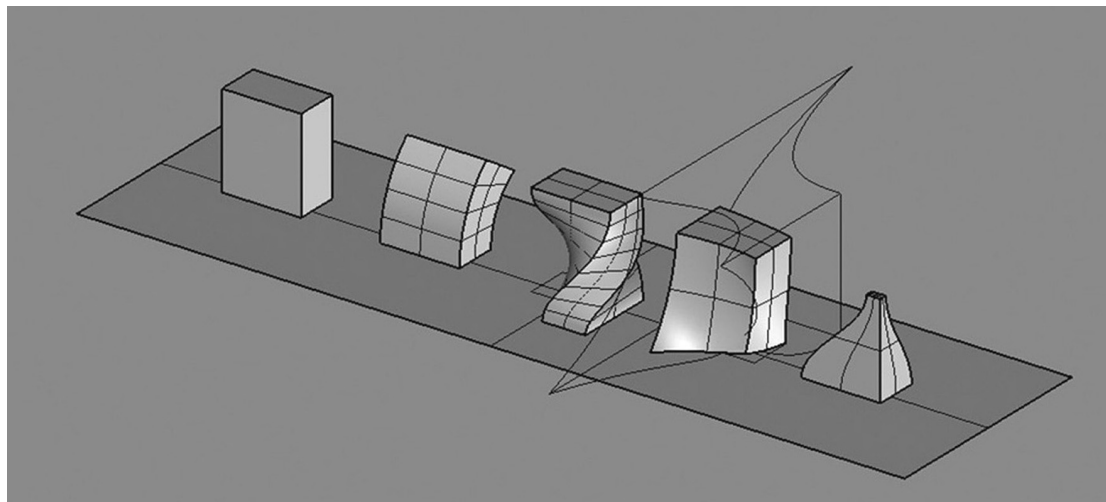


Fig. 2/ Trasformazioni e architettura. Configurazione di base e torsione ispirata all'opera dei Mad Architects, Absolute World Towers (Canada Ontario, Mississauga-Toronto, 2009). (Modelli di A. Kielland, Laboratorio di Rappresentazione, a.a. 2011-2012, Facoltà di Architettura di Genova, prof. C. Cándito).



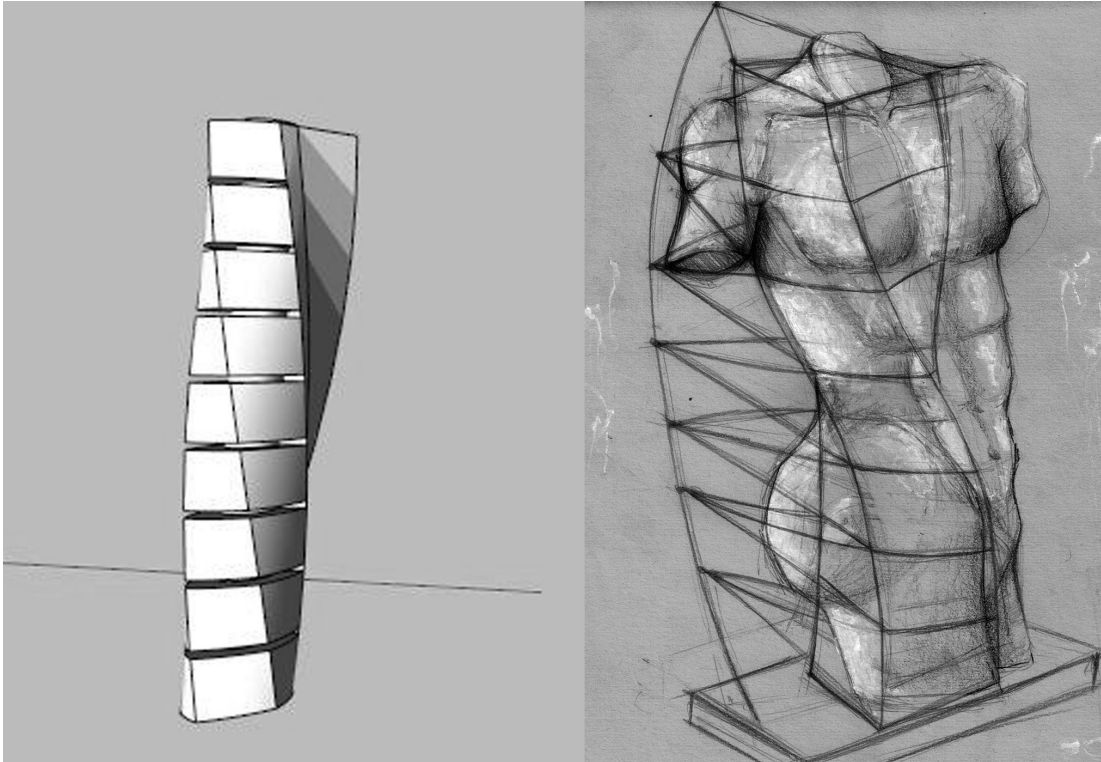
bolica ad opera di János Bolyai e Nikolai Ivanovich Lobachevsky e nel 1854 segue la formulazione della cosiddetta *geometria ellittica* di Reinhard Riemann³. Nel 1872 è Felix Klein che attribuisce gli appellativi delle nuove geometrie riferiti alle sezioni coniche, riservando alla geometria euclidea il soprannome di geometria parabolica⁴.

Klein, inoltre, classifica le *geometrie* attraverso i loro caratteri di trasformazione, identificando la geometria euclidea con quella branca che si basa sulle *congruenze*, ossia le proprietà invarianti rispetto alle isometrie (che non trasformano lunghezze ed angoli), mentre la geometria affine risulta fondata su quelle *affini* (che includono omotetie, rotazioni, traslazioni e riflessioni) e la geometria proiettiva si basa sulle trasformazioni *proiettive*. A questo modo, la geometria proiettiva assume il ruolo di forma generale che comprende altri tipi di geometria.

Interessante ai fini applicativi è anche la geometria topologica che studia le proprietà degli enti e delle forme geometriche invarianti se sottoposte a deformazioni continue. La topologia, infatti, accomuna

quelle forme che procedono le une dalle altre attraverso mutazioni elastiche, ovvero senza strappi, e permette, tra l'altro, l'efficace rappresentazione di fenomeni caratterizzati dalla presenza del fattore tempo (come le mappe isocrone). Essa amplia le possibilità di controllo razionale su forme geometriche non più limitate a quelle indagate dalla geometria euclidea, inducendo all'ideazione di forme fluide o biomorfe, accrescendo la gamma di possibilità espressive. È possibile riscontrare svariate applicazioni da parte di architetti contemporanei, quali Zaha Hadid (Dubai Opera House, 2008) o Frank O. Gehry (Guggenheim Museum, Bilbao 1997), divenute ormai dei classici riferimenti⁵. Si vuole qui sottolineare come tali forme, anche se non costituiscono una novità assoluta degli ultimi decenni, come dimostra ad esempio l'opera di Maurits Cornelis Escher (*Il balcone*, litografia, 1945) o di Antoni Gaudì (*Casa Milà*, Barcellona 1910), possono essere generate e gestite più agevolmente attraverso gli strumenti di modellazione informatica, favorendo un arricchimento del vocabolario architettonico.

I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale



Un'altra potenzialità intrinseca degli strumenti informatici applicati alla rappresentazione è quella della capacità di gestione di linee e superfici curve già governate da formule matematiche. Perfettamente padroneggiate nel campo teorico, molte di queste forme geometriche si possono riscontrare in svariati esempi del passato, come nelle antiche scale a chiocciola, nelle conformazioni ellittiche e nelle lanterne elicoidali del periodo barocco, oppure nei paraboloidi iperbolici di Le Corbusier (Padiglione Philips, Bruxelles 1958) e di Felix Candela (Cappella aperta a Cuernavaca-Messico, 1958).

Nonostante non manchino, anche in questo caso, svariati precedenti, è evidente come l'adozione di complesse linee e superfici abbia sempre trovato un limite nella loro difficoltà di gestione. Attualmente, la loro migliore possibilità di configurazione, offerta dai programmi di modellazione, permette che queste forme entrino più ampiamente nel repertorio linguistico dell'architetto. I software hanno permesso la creazione di tali superfici specialmente attraverso l'impiego delle NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), che costituiscono rappresentazioni matematiche capaci di modellare forme 2D o 3D e superfici orga-

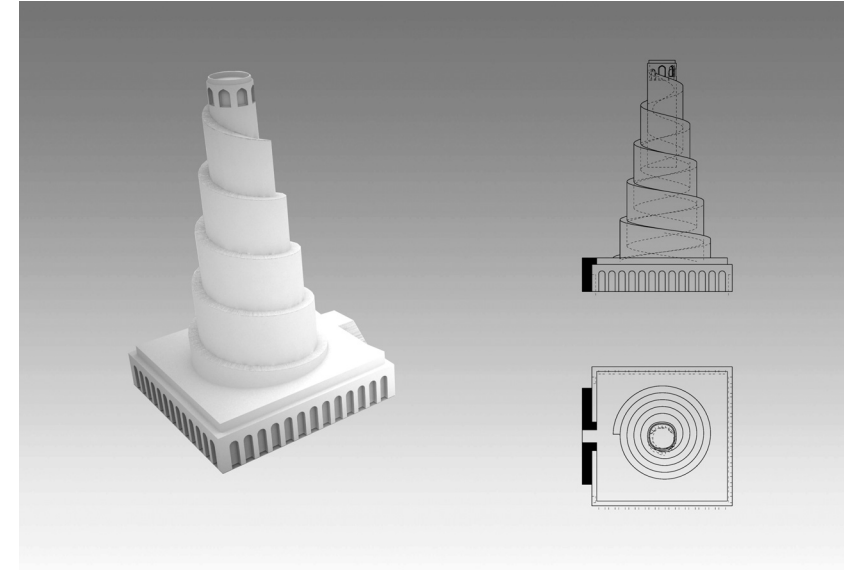


Fig. 3/ Trasformazioni, proporzioni e architettura. A sinistra: Modello schematico. A destra: grafico che evidenzia l'origine antropomorfa del progetto di Santiago Calatrava, Turning Torso Tower (Malmö, Scandinavia, 2005) (modello di Maddalena Giusto e grafico di Alessandro Meloni, Laboratorio di Rappresentazione, a.a. 2011-2012, Facoltà di Architettura di Genova, prof. C. Candito).

Fig. 4/ Spirali e architettura. Modello e proiezioni del Minareto della moschea di Samarra (Iraq, 848-852) (modello di Sara Domenichelli, Laboratorio di Rappresentazione, a.a. 2011-2012, Facoltà di Architettura di Genova, prof. C. Candito; immagini di G.B. Gherzi).

Cristina Cándito

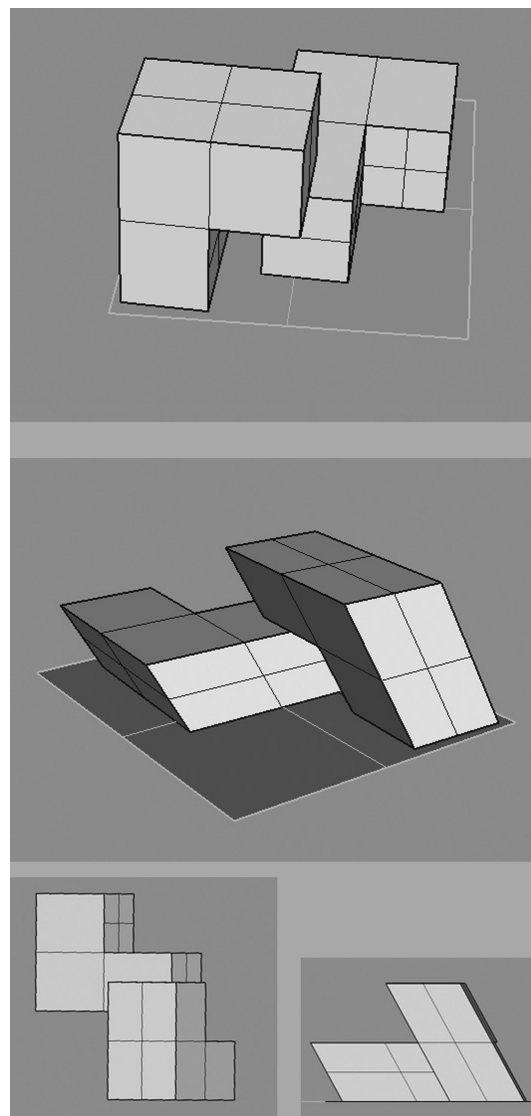
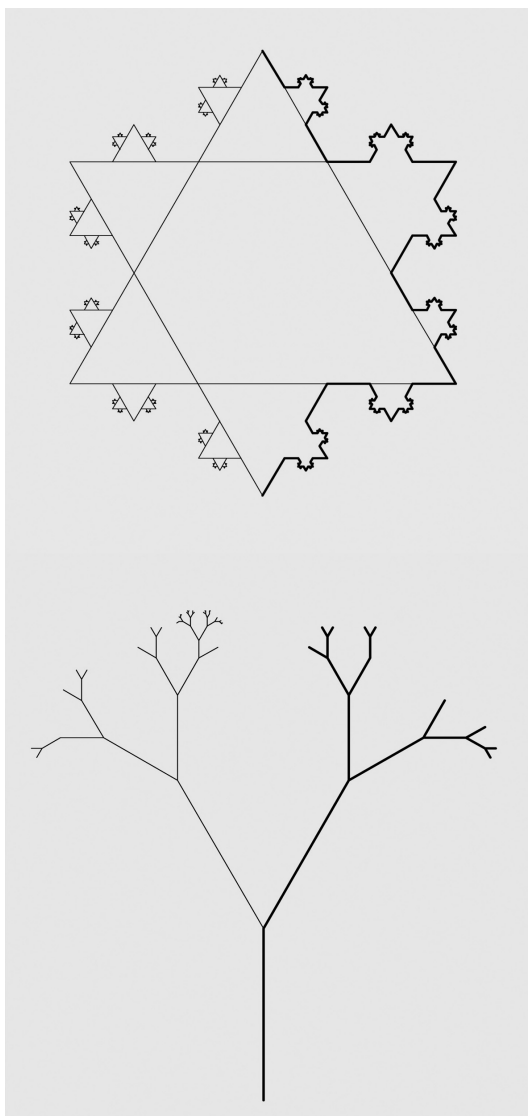


Fig. 5/ Schemi di geometria dei frattali. In alto: il fiocco di neve di Koch (ideato dal matematico svedese N.F. Helge von Kock nel 1906). In basso: applicazione alla configurazione dei rami di un albero.

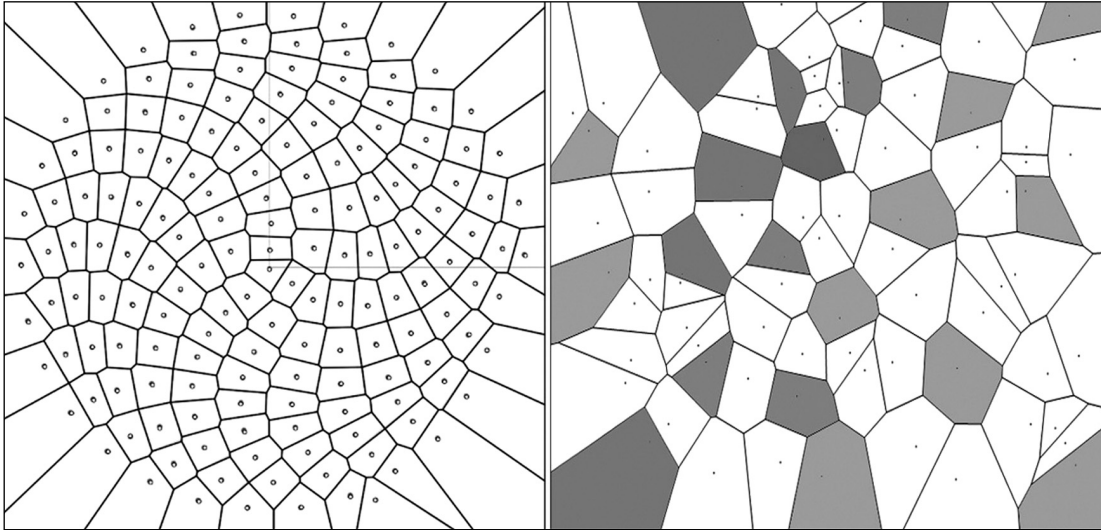
Fig. 6/ Effetto "assonometria". Una interpretazione del gioco di ambiguità dei volumi della House XI di P. Eisenman (1983). In alto: vista assonometrica che fa apparire i volumi regolari; in mezzo: vista assonometrica che svela la distorsione obliqua; in basso: pianta e prospetto dei volumi (modello 3D di C. Cándito).

niche in forma libera, oppure attraverso specifici applicativi⁶.

Per generare le superfici curve, nei programmi di modellazione si impiegano i comandi di estrusione o di rivoluzione, che trovano svariate coniugazioni, come ad esempio il comando *Loft*, che vincola il passaggio di una superficie attraverso più linee rette o curve. Il tracciamento di curve complesse può anche avvenire attraverso comandi che eseguono le operazioni, tipicamente proiettive, di intersezione, proiezione, sviluppo o creazione di isocurve ed esistono poi specifiche impostazioni per la costituzione di linee e superfici curve predefinite, quali le coniche, le spirali o le eliche. L'evoluzione nel tracciamento delle forme tradizionali porta a nuove interpretazioni come dimostra ad esempio il *Tek Center* di Taipei, progettato nel 2011 dal gruppo BIG (Bjarke Ingels Group). All'interno di un volume cubico è scavato uno spazio percorribile gradonato spiraliforme che conduce dall'apertura del piano terra alla copertura dell'edificio in un suggestivo gioco di spazi interni ed esterni. Ugualmente basato sulle forme avvolgenti è la *Turning Torso Tower* realizzata da Santiago Calatrava (Malmö, 2005). La torre contiene abitazioni ed uffici ed è formata da nove moduli cubici, che sono ruotati progressivamente di 10° per raggiungere una torsione totale ad angolo retto: il modello è il corpo umano, con l'allineamento verticale delle sue ideali vertebre il cui snodo ne permette la deformazione elastica.

Un altro tema centrale nella rappresentazione dell'architettura è quello del modulo e delle proporzioni: ogni forma può essere gestita non solo come elemento a sé stante, ma anche in relazione agli altri componenti. Attualmente, le tradizionali proporzioni tra le diverse parti di una composizione e tra la singola parte col tutto vengono affiancate da nuove logiche di rapporto, che creano comunque legami razionali utili al riconoscimento e alla costituzione degli elementi. Ad esempio, la geometria frattale introdotta nel 1975 da Benoît B. Mandelbrot⁷ prevede la creazione di figure che sono scomposte in parti sempre più piccole, ciascuna

I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale



delle quali è riproduzione miniaturizzata dell'ente di partenza. Anche in questo caso, come nell'antica sezione aurea, si possono riconoscere esistenze naturali che precorrono la razionalizzazione attraverso il pensiero. Infatti è possibile osservare fenomeni di ripetizione frazionaria delle forme, ad esempio, nella configurazione dei cristalli di ghiaccio o nella disposizione dei rami di un albero o di un profilo costiero. Inoltre, lo studio delle geometrie impossibili e delle ambiguità percettive può uscire dall'ambito della sua specifica pertinenza per attivare nuove dinamiche conformative, proprio grazie all'ausilio dell'informatica. Ciò che sembrava impossibile diventa infatti adattabile ad uno spazio che si libera dai rigidi riferimenti fisici della realtà. È sempre interessante notare come la fantasia degli artisti spesso precorra una configurazione sistematica. Si cita ancora una volta l'opera di Escher, con le sue rappresentazioni di architetture che risultano impossibili solo se rapportate alle leggi di gravità a cui è soggetto il mondo reale, ma che costi-

tuiscono volumi realizzabili e percorribili se pensati in funzione virtuale. Un esempio in tal senso è costituito dal rincorrersi delle rampe di scale in *Relatività* (litografia, 1953). Altre opere di Escher, come ad esempio *Concavo e convesso* (litografia, 1955), si confrontano con altre categorie di forme impossibili che trovano solamente una soluzione compromissoria nel mondo virtuale, evidenziando contraddizioni tra la realtà tridimensionale e la rappresentazione bidimensionale. Invece ne *Le passeggiate di Euclide* (1953) di René Magritte il tema è quello dell'identità di forme nella proiezione, esemplificato attraverso una tela dipinta che è sovrapposta al paesaggio ed è denunciata dalla sola striscia bianca del suo spessore. Un'interpretazione architettonica fortemente legata alla rappresentazione si ritrova nell'opera di Peter Eisenman nel suo progetto di *House XI* (1983), dove i volumi si identificano con una configurazione assonometrica: ciò che da un certo punto di vista appare come una disposizione stereometrica scontata, da un

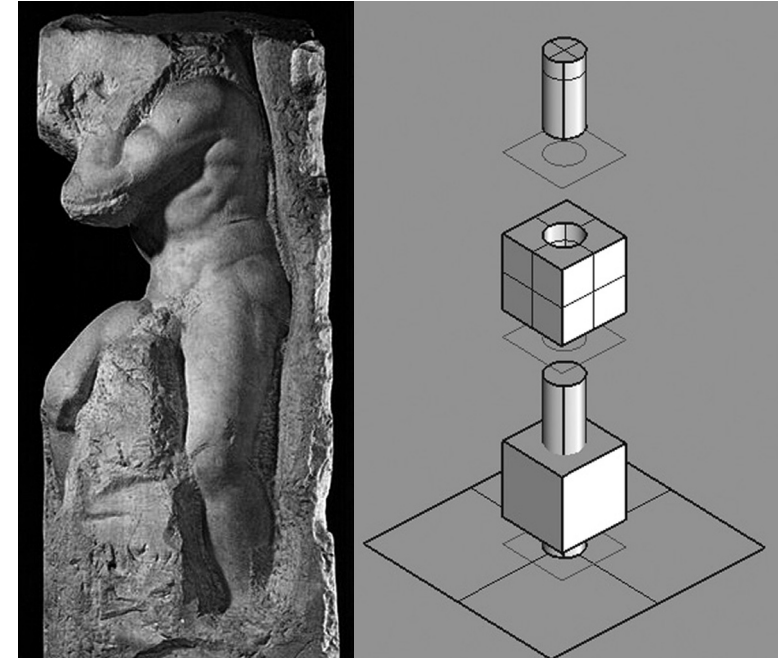


Fig. 7/ Tassellazioni di Voronoi. Esempi di diagrammi di Voronoi basati su geometrie definite o attraverso la disposizione casuale di punti.

Fig. 8/ Le sottrazioni scultoree e le operazioni booleane. A sinistra: Michelangelo, Schiavo Atlante (Serie dei Prigioni, Galleria dell'Accademia, Firenze, 1525-1530). A destra: Schema esemplificativo delle operazioni booleane (dal basso: unione, sottrazione, intersezione; Modello 3D di C. Candito).

Cristina Cándito

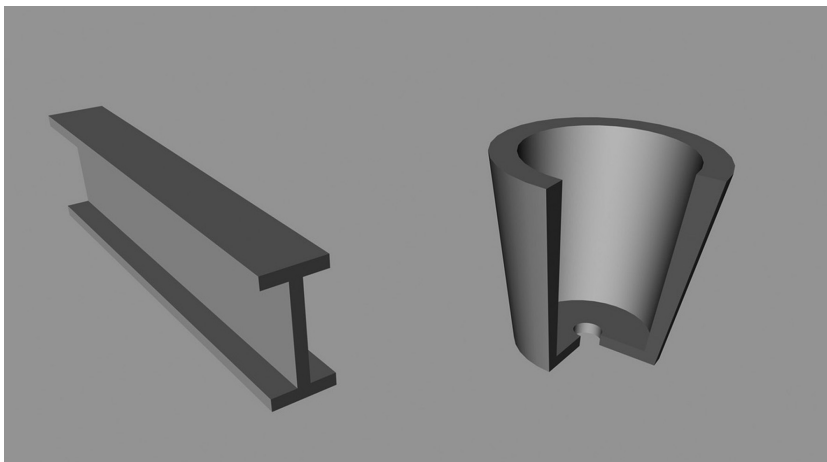


Fig. 9/ La Rivoluzione e il tornio. L'estrusione e la siderurgia. L'estrusione deriva direttamente dalle tecniche adottate dall'industria, ad esempio nella produzione delle travi HP; la rivoluzione materializza le operazioni compiute dal vasaio con il tornio (modello 3D di G.B. Ghersi).

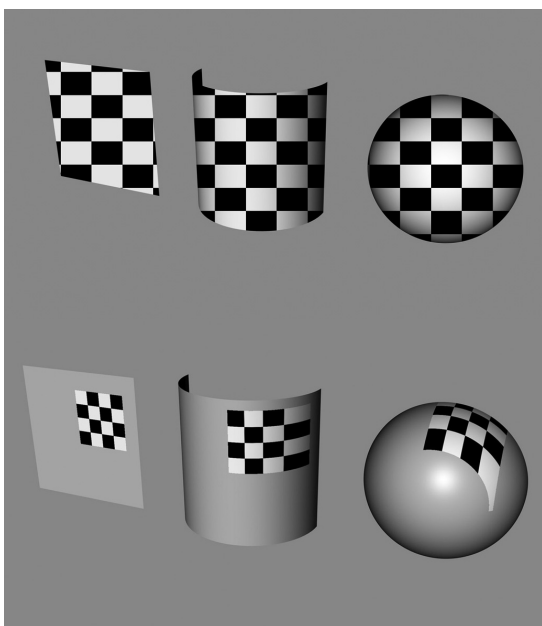


Fig. 10/ Textures e carta da parati. Il posizionamento delle textures sul modello virtuale può essere assimilato al rivestimento di superfici con carte da parati, ma con la possibilità di applicazione su superfici a doppia curvatura (modello 3D di G.B. Ghersi). In alto: texture senza deformazioni rispetto al piano; In basso: texture adattata elasticamente alla superficie del modello.

altro luogo di osservazione rivela la sua stupefacente difformità dalle forme tradizionali⁹.

Nuove potenzialità generative sono fornite anche dall'architettura parametrica, in cui le potenti capacità di calcolo informatiche sono sfruttate per generare e, soprattutto, gestire nuove forme grazie alla definizione di relazioni stabili tra i diversi aspetti di un progetto. Attraverso le modificazioni di alcuni parametri, in maniera arbitraria o razionale, è possibile ottenere diverse versioni di un progetto che viene aggiornato in tempo reale⁹. È possibile, in questo modo, verificare come alcuni mutamenti progettuali possano generare diversi risultati formali oppure analizzare particolari tematiche tecniche, come i costi o i consumi energetici. Rimane sempre sovrana la capacità del progettista di individuare i problemi e di scegliere tra le soluzioni proposte. Un esempio di questa potenzialità è fornito dalla tassellazione di Voronoi, che, sistematizzata a fine Ottocento dal matematico russo Georgij F. Voronoi (o Voronoj), è oggi spesso applicata alla creazione di nuove forme. Il diagramma prevede che, dato un insieme finito di punti, si crei una partizione del piano (poi estesa a quella spaziale) tale che i perimetri delle celle di partizione risultino equidistanti da due punti contigui. Ad esempio, una regolare griglia bidimensionale triangolare di punti genera il caso particolare di una tassellazione di esagoni regolari, ben nota in natura e nell'arte del passato. Esistono altri casi particolari che generano forme governate dalla geometria classica, ma l'aspetto interessante è quello fornito dalla creazione di una disposizione casuale di punti che permette la generazione di forme dall'aspetto biomorfo, mutabili in tempo reale grazie all'ausilio del calcolatore. Ad una analisi più attenta, non sono le forme geometriche a svilupparsi, bensì le relazioni che intercorrono tra di esse.

L'arte nella modellazione

Insieme alle domande relative all'ampliamento dei fondamenti geometrici della rappresentazione effet-

tuata per scopi scientifici, si deve anche indagare circa la forma che ha assunto il disegno, osservando una continuità con le attività artistiche tradizionali.

Per documentare tale ipotesi, si deve ricordare il ruolo che il disegno ha avuto nel passato come fondamento delle arti figurative. Tale argomento, com'è noto, trova una sua espressione nell'opera artistica e teorica di Leon Battista Alberti e si possono citare anche altri significativi riferimenti nelle opere di Cennino Cennini, di Giorgio Vasari e di Leonardo da Vinci¹⁰.

La tradizione rinascimentale, quindi, ha valorizzato la pratica grafica nella sua funzione ideatrice rispetto alle arti pittoriche, scultoree e architettoniche, estesa poi alle cosiddette arti minori o applicate. È, però, difficile parlare oggi di *Disegno* come fondamento delle arti. Questo dogma è stato messo in discussione fin dall'avvento della fotografia, ma la diffusione della virtualità nella rappresentazione rende il dibattito ancora più articolato. Il disegno, infatti, può essere ora sostituito da immagini di varia natura che provengono da fotografie o *rendering*, liberamente composti a seconda della loro funzione per la documentazione di una realtà esistente o per lo sviluppo di un progetto nel campo reale o virtuale.

Spesso tali immagini sono ottenute grazie alla preventiva realizzazione di un modello digitale. Il *modello* è legato al concetto di misura, come dimostra la comune radice etimologica con il termine *modulo*, oltre a rivestire una evidente funzione di riproduzione e simulazione delle forme e dei fenomeni che rappresenta: tali caratteristiche rimangono valide anche nelle attuali versioni digitali. Il legame tra le logiche costruttive del modello virtuale e le pratiche tradizionali legate alle arti figurative si manifesta già nel termine *modellazione*, che si riferisce ad una delle modalità di realizzazione di elementi figurativi plastici attraverso la consapevole trasformazione di un materiale plasmabile come la creta o la cera. Il riferimento specifico in campo architettonico è costituito, però, dalla *maquette* fisica, che simula, sempre in maniera parziale, la caratterizzazione tridimensionale di un progetto.

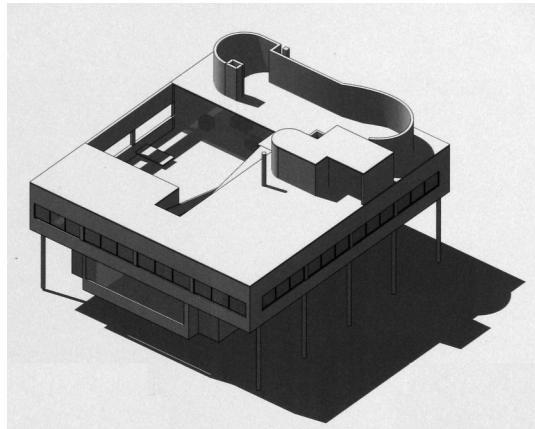
I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale

Se si esaminano poi le operazioni fondamentali che si compiono nella prassi della modellazione 3D¹¹, non si può non ritrovare l'attinenza con altre pratiche scultoree. Ad esempio, l'operazione booleana di sottrazione, molto diffusa nell'individuazione dei volumi, ricorda la michelangiotesca «arte del *torre*» (o del «*levare*»). Michelangelo, com'è noto, si sentiva emotivamente condizionato dalla pietra originaria che gli suggeriva la forma finale della sua opera e sottolineava l'atto principale della tecnica scultorea applicata a materiali non duttili, come la pietra, consistente nella graduale asportazione di materia dal blocco, nelle diverse fasi dalla sbazzatura alla levigatura della forma.

Sempre pensando ai manufatti plastici, è difficile non pensare anche alle procedure adottate nella formazione dei vasi attraverso il tornio, riprodotta nella modellazione digitale con le operazioni di rivoluzione di enti geometrici per l'ottenimento di linee e superfici di rotazione. Inoltre, alcuni riferimenti a prassi precedenti all'avvento dell'informatica possono essere individuati anche al di fuori del campo artistico, come dimostra la creazione di superfici attraverso l'estrusione di curve, in analogia di quanto praticato, ad esempio, nella siderurgia.

Anche l'applicazione delle *textures*, impiegata per inserire il trattamento delle superfici sul modello e prepararlo alla realizzazione di *rendering*, può essere comparata ad una pratica manuale, come la posa in opera della carta da parati. Grazie all'informatica, i rivestimenti, però, possono essere trasformati elasticamente per aderire alle varie esigenze dell'oggetto da rappresentare.

Un gioco di *collage*, poi, permette di inserire il modello, costruito e vestito, all'interno di un contesto esistente o immaginario. Si cita ancora Magritte che, in diverse opere, affronta anche il tema del tempo nella rappresentazione, come ne *Il ritorno* (1940), dove la sagoma della colomba permette di inserire un cielo diurno in un paesaggio notturno. L'introduzione del fattore tempo permette il superamento della semplice tridimensionalità dello spazio con l'inserimento di una nuova



coordinata e consente la realizzazione di inedite realtà. La rappresentazione digitale si serve di questa potenzialità grazie alla successione animata di immagini che esce dal campo di pertinenza dell'arte filmica e si inserisce come ulteriore forma di rappresentazione dell'architettura esistente e virtuale¹².

Luci e ombre delle immagini digitali

Nel processo della rappresentazione dell'architettura si può individuare come argomento di grande interesse quello legato agli effetti luminosi: un tema molto ampio che spesso viene trattato in maniera semplificata in funzione dello scopo della rappresentazione. Infatti, ci si può limitare ad individuare le ombre nelle diverse proiezioni di un soggetto architettonico oppure si possono anche delineare le immagini speculari per verificare effetti spaziali determinati da superfici riflettenti. Oltre a questi elementi, però, altri fenomeni luminosi contribuiscono a creare un effetto realistico nella rappresentazione. Per questo motivo si descrivono le situazioni più interessanti e si accenna alle modalità impiegate nella loro rappresentazione digitale¹³.

Il termine *rendering*, che letteralmente può costituire

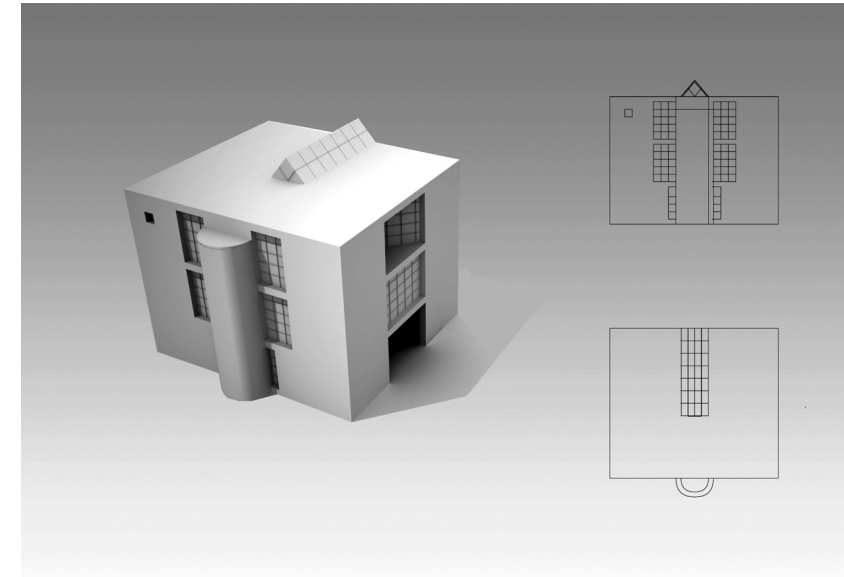


Fig. 11/ Architettura e ombre. Le Corbusier, Villa Savoye (Poissy, 1929-1931) (disegno di Marco Tanzi, Fondamenti geometrici della Rappresentazione II, a.a. 2006-2007, Politecnico di Milano, prof. C. Cándito). Le ombre geometriche che definiscono i volumi e le loro relazioni spaziali.

Fig. 12/ Architettura e luce. Mario Botta, Casa a Pregassona (Ticino, 1980-1984) (modello di Federico Robbiano e Ottavia Pasini, Laboratorio di Rappresentazione, a.a. 2010-2011, Facoltà di Architettura di Genova, prof. C. Cándito; Rendering di G.B. Gherisi). Le ombre e le luci che suggeriscono la percezione dei volumi.

Cristina Cándito

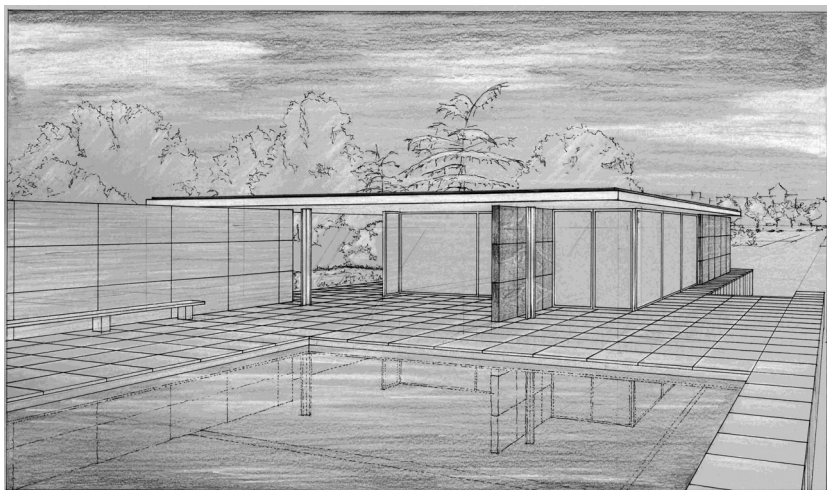


Fig. 13/ Architettura, ombre e luce. Mies Van der Rohe, Padiglione tedesco (Barcellona, 1929) (disegno di Marilena Russo, Fondamenti geometrici della Rappresentazione II, a.a. 2006-2007, Politecnico di Milano, prof. C. Cándito). I riflessi speculari che mostrano le caratteristiche luminose dei materiali.

la traduzione di *chiaroscuro* dall'inglese, è oggi impiegato per indicare immagini prospettiche ottenute con i sistemi informatici e caratterizzate da un intento più o meno realistico¹⁴.

La procedura informatica prevede la realizzazione di un modello tridimensionale, il suo "rivestimento" con un materiale che presenti determinate caratteristiche luminose (comprese quelle cromatiche), la sua esposizione ad un sistema di illuminazione, la scelta del tipo di vista (conica o cilindrica) e l'eventuale posizione della camera (punto di vista). La gamma delle possibilità varia a seconda dei diversi *software* e diventa importante orientarsi sugli elementi effettivamente influenti per il risultato che si desidera ottenere.

Occorre considerare come la trattazione della luce si sia arricchita, rispetto ai metodi tradizionali, di una varietà di sorgenti di luce offerta dalle tecnologie informatiche: dalla fonte propria e impropria e dalle considerazioni sulle dimensioni delle sorgente (puntiforme e non) della trattazione classica, si è approdati gradualmente ad una serie di sorgenti che tentano di simulare gli stati di illuminazione ricorrenti nella realtà e ad una vasta gamma di fonti artificiali che si trovano in commercio¹⁵.

Nella pratica della realizzazione dei *rendering* non è possibile collegarsi all'astrazione tipica della geometria descrittiva che prevede la presenza di una sola fonte luminosa, ma diviene essenziale inserire almeno una seconda luce, perché non è possibile basarsi solo sulle semplificazioni grafiche di tipo simbolico (linee di contorno, zone chiare distinte nettamente da zone scure), ma si deve creare un'immagine che risulti leggibile e rievocativa, almeno parzialmente, situazioni percepibili nella realtà¹⁶. È possibile rilevare alcuni limiti anche nelle applicazioni *software*, come può accadere per le difficoltà di ottenimento automatico di *softness* (morbidezza o sfumatura) nei contorni d'ombra generati da fonti di luce infinita, mentre le reali dimensioni del Sole rendono misurabile in maniera precisa l'effetto della penombra¹⁷.

Un altro dei fattori influenti è quello del chiaroscuro,

governato dalle leggi del coseno di Lambert, che permettono la misura dell'illuminazione ricevuta da ciascuna superficie in funzione dell'angolo di incidenza dei raggi luminosi. Nei programmi vengono applicate tecniche di tassellazione delle superfici, che permettono di semplificare il fenomeno del chiaroscuro di una superficie curva con la determinazione del grado di illuminazione di piccole superfici piane di approssimazione della curvatura¹⁸.

La considerazione della posizione dell'osservatore, caratteristica delle proiezioni coniche, rende necessaria la distinzione tra l'*intensità luminosa* di una superficie, misurabile in assoluto, e la *chiarezza apparente*, che invece varia in funzione dell'inclinazione della stessa superficie rispetto al punto di vista¹⁹.

È interessante notare come la storia degli studi fisici della luce sia stata percorsa nuovamente nelle sue tappe essenziali nel corso della più breve storia delle applicazioni informatiche, per ripartire, dunque, dalla teoria ottica geometrica dei raggi rettilinei, passare attraverso la più evoluta teoria ondulatoria ed approdare, ai giorni nostri, alle applicazioni della teoria quantistica²⁰, che permettono la definizione di fenomeni più sofisticati, come, ad esempio, la prospettiva aerea.

La *prospettiva aerea* permette di percepire l'influenza sul colore e sull'intensità luminosa dell'aria interposta tra osservatore e oggetto osservato. Il fenomeno, già noto a Leonardo da Vinci, tiene conto della composizione degli effetti della riflessione e della rifrazione sulle particelle di aria e prevede che, in lontananza, non diminuiscano le sole misure degli oggetti, bensì che anche i loro colori tendano a rivestirsi di una velatura grigio-azzurra, che li rende confondibili tra loro. Le tecniche digitali giungono ad una possibile rappresentazione approssimata del fenomeno, attraverso gli algoritmi basati appunto sulla teoria quantistica della luce, che consente anche la rappresentazione attraverso materiali gassosi o liquidi e l'individuazione di caustiche²¹.

Un altro fenomeno rilevante è quello dei *punti brillanti* che si osservano sulle superfici lucide e che costitui-

I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale

scono l'immagine riflessa della sorgente luminosa²². L'importanza varia in funzione del quadrato della distanza tra luce e superficie ed è direttamente proporzionale al potere riflettente della superficie stessa: quanto più è elevato, tanto più piccolo e luminoso risulta il punto brillante. Per ottenere gli effetti desiderati, non ci si può arrestare all'analisi del solo problema formale, bensì occorre inserire delle informazioni circa le capacità riflettenti dei materiali. La traduzione del fenomeno dei punti brillanti negli algoritmi del *rendering* è ovviamente legata anche all'introduzione del fattore della posizione dell'osservatore nella rappresentazione²³.

La teoria dei punti brillanti, applicata ad un modello schematico dell'atmosfera (ipotizzata come composta da infinite particelle sferiche traslucide), permette l'individuazione del *raggio atmosferico principale*, lungo il quale si percepisce la porzione maggiore dell'irradiazione della luce proveniente dal cielo²⁴.

Peraltro, occorre considerare che, per ottenere un certo grado di realismo, si rende opportuno esporre il modello tridimensionale a *modelli di illuminazione globale*, che tengano conto della potenzialità di ogni oggetto di trasformarsi da elemento passivo ad attivo, capace di interagire con gli altri, poiché assimilabile ad una nuova sorgente di luce riflessa²⁵. Il fenomeno della riflessione, nella sua gamma che varia dalla specularità alla diffusione in funzione della *texture* del materiale, però, non può generare un infinito rimbalzo della luce nei diversi elementi rappresentati, che renderebbe impossibile l'effettuazione dei calcoli anche da parte delle macchine più potenti²⁶.

La sintesi nella rappresentazione

Si è visto come risulti oggi problematico parlare di *Geometria*, non solo perché dobbiamo distinguere i fattori euclidei da quelli proiettivi, ma anche perché è possibile ampliare le potenzialità generative attraverso le applicazioni pratiche della topologia e il *form finding* delle relazioni parametriche.

Alla stessa maniera, appare attualmente ambigua la definizione di *Disegno* come fondamento delle immagini della rappresentazione architettonica attuale. Peraltro le tecniche informatiche sottolineano una distinzione tra disegno e modello, che risulta procedurale, ma che presenta una caratteristica di convenzionalità nella trasmissione del dato progettuale attraverso i tipi codificati di disegno tecnico. È proprio l'aspetto della comunicazione che fornisce il segno di una stasi nel rinnovamento delle convenzioni consolidate. Tale trasformazione spesso si riduce ai soli trattamenti esteriori delle immagini, con l'inserimento, non sempre opportuno, di ridondanti elementi luministici e cromatici, mentre rimane problematico il legame funzionale tra modello e disegno²⁷.

Nonostante una certa difficoltà nella diffusione di un rinnovamento metodologico, l'influenza dell'evoluzione della gestione a livello informatico dei concetti di geometria e di disegno è riscontrabile in un numero ormai molto elevato di esempi architettonici. Si ricorda come i vari filoni di cambiamento derivati dalla rivoluzione informatica investano fatti formali, ma anche sostanziali, poiché si tratta di innovazioni non solo legate al disegno digitale, ma anche all'appropriazione da parte dell'architettura della dimensione virtuale²⁸.

Nella rappresentazione dei fenomeni luminosi, le nuove tecnologie permettono di affinare gli studi per valutare la differente risposta dei materiali alla luce e la loro capacità di trasformarsi in sorgenti di luce riflessa o di evidenziare fenomeni dovuti alla rifrazione della luce, magari con diversificate risposte cromatiche.

Una sempre maggiore importanza deve però essere attribuita alla sensibilità del disegnatore, che garantisce l'ottenimento dei risultati desiderati, finalizzati ad una migliore lettura dei disegni. Occorre, dunque, che si compia l'irrinunciabile sintesi conseguente ad una profonda conoscenza dell'oggetto da rappresentare e dell'influenza percettiva dei fenomeni luminosi a cui è sottoposto.

NOTE

¹ Gli *Elementi* di Euclide sono scritto dal matematico alessandrino circa nel 300 a.C. Per la struttura, cfr. BOFFITO 1996.

² L'enunciato esteso del quinto postulato è il seguente: «Se una retta che taglia due rette determina dallo stesso lato angoli interni minori di due angoli retti, prolungando le due rette, esse si incontreranno dalla parte dove i due angoli sono minori di due retti». Per approfondimenti, cfr. AGAZZI 1978.

³ Per la genesi e l'articolazione delle geometrie non-euclidee, cfr. GIORDANO 2002.

⁴ KLEIN 1893; cfr. GIORDANO 2002. Il testo viene citato come *Prolusione all'Università di Erlangen* (1872).

⁵ Non si può compilare in questa sede un elenco seppur sommario di architetture che rispondono a questa categoria. Si rimanda a SACCHI 2003; EMPLER 2006; SAGGIO 2007.

⁶ Per approfondimenti, cfr. DE CARLO, BAGLIONI 2009 e MIGLIARI, FALVOLITA, SALVATORE 2009.

⁷ MANDELBROT 1987.

⁸ Per l'opera di Eisenman, cfr. SAGGIO 1996.

⁹ Per una introduzione delle modalità parametriche applicate a *Grasshopper*, *plug in* del programma di modellazione *Rhinoceros*, cfr. KHABAZI 2010.

¹⁰ Non è questa la sede per specificare tali contenuti o una bibliografia sull'argomento, per cui si rimanda a CAMEROTA 2006.

¹¹ Per un'analisi delle tecniche di modellazione 3D, cfr. MIGLIARI, VALENTI 2000. Per il tema della rappresentazione, cfr. DE ROSA 2003. Sul modello virtuale, si veda BIANCHINI 2007. Per l'impiego del modello come sistema conoscitivo: GAIANI, GAMBERINI, TONELLI 2002; APOLLONIO 2012.

¹² Cfr. MIGLIARI 2008; EMMER 2002; GAIANI 2003.

¹³ Per approfondimenti, cfr. MIGLIARI, VALENTI 2009. I temi accennati in questo paragrafo sono sviluppati nei testi: CÀNDITO 2009; CÀNDITO 2010; CÀNDITO 2011.

¹⁴ Per le tipologie e le tecniche di *rendering*, cfr. MIGLIARI, VALENTI 2009.

¹⁵ I primi algoritmi degli anni Settanta, ispirati all'ottica geometrica, prevedevano il solo impiego di sorgenti puntiformi di uguale intensità. Ogni programma di *rendering* oggi presenta una sua gamma di sorgenti luminose. Un elenco delle loro caratteristiche si trova in MIGLIARI 2003.

¹⁶ Normalmente si tratta di inserire una luce ambiente e di disatti-

varne, se necessario, la capacità di proiettare ombre portate.

¹⁷ FASOLO, DI CLEMENTE, FASOLO 1993.

¹⁸ Lo *shading*, ideato da J. E. Warnock nel 1969, trova successive precisazioni grazie a sistemi di interpolazione (*smooth shading*) che graduanò l'intensità luminosa nell'estensione delle *mesh*, ideati in primo luogo da Gourand e da Phong; cfr. MIGLIARI, VALENTI 2009.

¹⁹ Cfr. MIGLIARI 2003, p. 263 e MIGLIARI, VALENTI 2009, pp. 594-595.

²⁰ Non si dimentica l'anticipazione degli Atomisti greci che, pur in minoranza, sostengono la teoria corpuscolare.

²¹ Si tratta della *Global illumination*. La sua ottimizzazione può andare nella direzione del *raytracing* (attraverso il calcolo chiaroscurale per un numero finito di punti), ideata per considerare prevalentemente la riflessione diffusa, e della *radiosity*, che permette tra l'altro la costruzione delle immagini speculari. Una equazione generale del fenomeno è formulata da Kajiya nel 1986, come funzione dell'esposizione alla luce, dell'emissione propria e della sua capacità di essere percepito dall'osservatore di ogni singolo elemento.]

²² In generale è possibile determinare punti e linee brillanti sulle superfici curve.

²³ Tale innovazione, insieme all'interpolazione bilineare, è da attribuire agli studi di Bui Tuong Phong, a partire dal 1972. Altri perfezionamenti sono dovuti alle considerazioni sulle peculiarità dei materiali metallici (nel 1977 con le *microfaches* di Blinn) e di quelli porosi, come il gesso e i tessuti (nel 1994, con Michael Oren).

²⁴ Cfr. DOCCI, MIGLIARI 1992, p. 597.

²⁵ Attorno al 1980 questi risultati sono ottenuti da *software* che si basano sui principi adottati anche per la determinazione delle radiazioni termiche e sono basati sulle equazioni di Maxwell, che tengono conto degli effetti ondulatori della luce.

²⁶ Per il problema delle lunghezze dei tempi di calcolo, inoltre, le modalità informatiche hanno spesso adottato scorciatoie basate sul calcolo probabilistico.

²⁷ Si veda su questo tema, VALENTI 2008, p. 10: «Finché la rappresentazione sintetica e schematica sulla superficie bidimensionale sul del foglio di carta, intesa come riduzione esplicativa di problemi complessi, sarà necessaria per la realizzazione di progetti, disegno bidimensionale e modellazione tridimensionale resteranno inevitabilmente strettamente legati.»

²⁸ PURINI 2003, pp. 87-96 parla di disegno digitale, architettura digitale e architettura virtuale. Alcune delle considerazioni sui temi delle presenti note sono contenute in CÀNDITO 2012.

I fondamenti scientifici e artistici dell'immagine digitale

References

- AGAZZI, E., PALLADINO D. 1978. *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria*. Milano: Mondadori, 1978. ISBN: 88-350-9450-X
- APOLLONIO F. I. 2012. *Architettura in 3D. Modelli digitali in sistemi cognitivi*. Milano: Mondadori, 2012. ISBN: 88-615-9683-5.
- BIANCHINI C. 2007. Dal reale al virtuale e ritorno: appunti. In DE CARLO L., *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*. Roma: Gangemi Editore, 2007, pp. 315-324. ISBN: 88-492-1323-2.
- BOFFITO M. 1996. *Dentro la geometria. Sui prodromi di geometria proiettiva, evoluzione storica e applicazioni*. Genova: Graphic Sector, 1996 (1989'). ISBN 88-897-3823-5.
- CAMEROTA F. 2006. *La prospettiva del Rinascimento*. Milano: Mondadori, 2006. ISBN: 88-222-5986-6.
- CÀNDITO C. 2009. *Il disegno e l'ombra. Fondamenti, metodi e applicazioni attuali della teoria delle ombre*. Firenze: Alinea, 2009. ISBN 88-605-5417-9.
- CÀNDITO C. 2010. *Il disegno e la luce. Fondamenti e metodi, storia e nuove applicazioni delle ombre e dei riflessi nella rappresentazione / Drawing and light. Bases and methods, history and new applications of shadows and reflections in representation*. Firenze: Alinea, 2010. ISBN 88-605-5585-X.
- CÀNDITO C. 2011. *Specchi e ombre nella rappresentazione*. Firenze: Alinea, 2011. ISBN: 88-605-5665-3.
- CÀNDITO C. 2012. Quale fondamento? Quale immagine? / Which basis? Which image?. *DisegnareCON. Geometria – costruzione – architettura* (a cura di R. Migliari), 9, 2012, pp. 5-12.
- DE CARLO L., BAGLIONI L. 2009. Le linee curve. In R. MIGLIARI. *Geometria Descrittiva. II*. Novara: Città Studi, 2009. pp. 97-143.
- DE ROSA A. 2003. *Lo sguardo denigrato. Il ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale*, Padova: Il Poligrafo, 2003. ISBN: 88-711-5380-4.
- DOCCI M., MIGLIARI R. 1992. *Scienza della rappresentazione. Fondamenti e applicazioni della geometria descrittiva*. Roma: La Nuova Italia Scientifica, 1992. ISBN: 88-430-0414-X.
- EMMER M. 2002. *Matematica, arte, tecnologia, cinema*. Milano: Springer Italia, 2002. ISBN: 88-470-0155-2.
- EMPLER T. 2006. *Modellazione 3D e rendering*. Roma: Officina, 2006. ISBN 88-604-9017-0.
- FASOLO O., DI CLEMENTE A., FASOLO M. 1993. *Le ombre in proiezioni ortogonali: dall'immagine alla teoria*. Roma: Kappa, 1993. ISBN 88-7890-090-7.
- GAIANI M. 2003. *Elementi per un approccio al disegno a partire dalla sua dimensione temporale*. In DE ROSA 2003, pp. 341-354
- GAIANI M., GAMBERINI E., TONELLI G. 2002. A framework to use virtual worlds generated from real world 3D models as a Work Tool for Architectural & Archaeological Restoration on the Web. *International Journal of Design Computing*, 4, 2002.
- GIORDANO A. 2002. *La geometria nell'immagine. Dal secolo dei lumi all'epoca attuale*. Torino: Utet, 2002. ISBN: 88-020-5760-5.
- KHABAZI Z. 2010. *Algoritmi generative*. Italian translation by A. Marsala, 2010. <http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>.
- KLEIN F. 1893. Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen. *Mathematische Annalen*, 43, 1893, pp. 63-100.
- MANDELBROT B. B. 1987. *Gli oggetti frattali*. Torino: Einaudi, 1987. Original edition: 1975. ISBN: 88-061-5566-0.
- MIGLIARI R. 2003. *Geometria dei modelli*. Roma: Kappa, 2003.
- MIGLIARI R. 2008. *Prospettiva dinamica interattiva. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3D di architettura*. Roma: Kappa, 2008. ISBN 88-7890-941-0
- MIGLIARI R., VALENTI G. M. 2000. *Fondamenti di Rappresentazione geometrica e informatica dell'architettura*. Roma: Kappa, 2000. ISBN 88-7890-356-2.
- MIGLIARI R., VALENTI G. M. 2009. La rappresentazione delle ombre e del chiaroscuro. In R. MIGLIARI. *Geometria Descrittiva. II*. Novara: Città Studi, 2009, pp. 589-616.
- MIGLIARI R., FALLAVOLITA F., SALVATORE M. 2009. Superfici. In R. MIGLIARI. *Geometria Descrittiva. II*. Novara: Città Studi, 2009, pp. 144-195.
- PURINI F. 2003. Digital divide. In L. SACCHI, M. UNALI. *Architettura e cultura digitale*. Milano: Skira, 2003, pp. 87-96.
- SACCHI L. 2003. Liquid room. In L. SACCHI, M. UNALI. *Architettura e cultura digitale*. Milano: Skira, 2003, pp. 211-216.
- SAGGIO A. 1996. *Peter Eisenman. Trivellazioni dal futuro*. Torino: Testo & Immagine, 1996. ISBN: 88-864-9808-X.
- SAGGIO A. 2007. *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Roma: Carocci Editore, 2007. ISBN: 88-430-4094-0.
- VALENTI G. M. 2008. *De.form. are*. Roma: Designpress, 2008. ISBN: 88-898-1916-2.