

**Cristina Candito**

Laureata in Architettura (1991) e Lettere Moderne (1998), ha conseguito il Dottorato in Disegno e Rilievo (1999). Dal 2006 è Ricercatrice presso la Facoltà di Architettura di Genova. La sua attività didattica e di ricerca è incentrata sulla Geometria Descrittiva, la Storia della Rappresentazione e il Disegno, con tecniche tradizionali e digitali.

Quale fondamento? Quale immagine? *Which basis? Which image?*

La rivoluzione digitale pone molti quesiti agli studiosi della rappresentazione architettonica. Risulta oggi problematico parlare di Geometria, perché si distinguono diverse geometrie e si ampliano le potenzialità conformative attraverso le applicazioni della topologia e il *form finding* delle relazioni parametriche.

Si pone anche il problema circa l'attuale funzione del Disegno: da indiscusso fondamento delle arti, infatti, oggi il disegno può essere sostituito da immagini spesso ottenute con un processo che comincia con la costruzione di un modello 3D, poi rivestito di materiali e inserito in un'ambientazione esistente o immaginaria che prevede l'introduzione di sorgenti luminose. Tale processo presenta forti analogie con le pratiche artistiche tradizionali, denunciando un fondamento nelle loro radici in contrasto con la sua carica rivoluzionaria.

The digital revolution poses several questions to scholars of architectural representation. It is now difficult to speak of Geometry, because we have to distinguish between various geometries, and we can expand the potential construction of topology and form finding of parametric relationships.

It also raises the question about the current function of Drawing: from the undisputed foundation of the arts, in fact, drawing can now be replaced by images obtained by a process that often begins with the construction of a 3D model, then coated with materials and inserted in an existing or imagined setting that provides light sources. This process has strong similarities with the traditional artistic practices denouncing a foundation in their roots in contrast to its revolutionary potential.

Parole chiave: disegno, geometria, geometria descrittiva, modellazione

Keywords: drawing, geometry, descriptive geometry, modelling

“In quell'impero, l'arte della cartografia giunse ad una tal perfezione che la mappa di una sola provincia occupava tutta una città [...]. Ma le generazioni seguenti, meno portate allo studio della cartografia, pensarono che questa mappa enorme era inutile.”

Louis Borges, *Historia Universal de la Infamia*, 1935

La rivoluzione digitale ha posto molti quesiti agli studiosi ed operatori della rappresentazione architettonica. Dopo un primo momento in cui si trovavano nettamente separate le schiere dei sostenitori e dei detrattori del rinnovamento, si è poi creato un dialogo tra le due posizioni: questa apertura ha permesso di sviluppare riflessioni circa il contesto nel quale inquadrare il fenomeno nel campo scientifico, artistico e professionale. Sembra, però, che il momento presente coincida con una fase di crisi dello statuto della rappresentazione tradizionale che si spera possa raggiungere una sua nuova formulazione, di cui già si possono individuare significativi elementi.

QUALE GEOMETRIA?

Alla base di ogni rappresentazione dello spazio nel piano si trova la geometria, intendendo un campo più esteso della geometria descrittiva o della geometria proiettiva, che ne regolano classificazione e genesi¹. Nel passato questo fondamento si identificava con la geometria euclidea, ma il concetto si presenta oggi più ampio e diversificato. Nelle presenti riflessioni si cercano di riassumere sinteticamente le più notevoli evoluzioni in questo settore 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 sono sorti i dibattiti scientifici che ne contestano la concezione e il carattere di unicità. Gli *Elementi* euclidei², dopo circa venti secoli di incontrastato dominio, hanno quindi cessato di costituire fonte unica 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”³, 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 iperbolica* ad opera di János Bolyai e Nikolai Ivanovich Lobachevsky e nel 1854 segue la formulazione della cosiddetta geometria ellittica di Reinhard Riemann⁴. Nel 1872 è Felix Klein che attribuisce gli appellativi delle nuove geometrie riferiti alle sezioni coniche riservando alla geometria euclidea il soprannome di geometria parabolica⁵. 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, che comprende le precedenti, si basa sulle trasformazioni *proiettive*. A questo modo, la geometria proiettiva assume il ruolo di forma generale che comprende altri tipi di geometria.

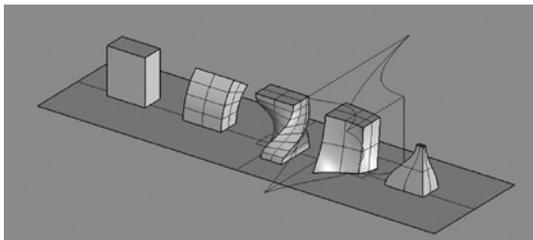


Fig. 1 - Topologia e trasformazioni. Alcune modalità di modellazione di forme fluide (i comandi Bend, Twist, Cage, Taper; Modello 3D di C. Cándito).

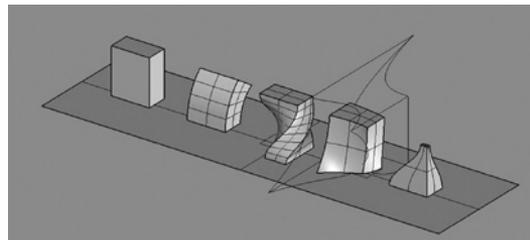


Fig. 2 - Santiago Calatrava, Turning Torso Tower (Malmö, Scandinavia, 2005). A sinistra: modello schematico. A destra: grafico che evidenzia l'origine antropomorfa del progetto (modello di M. Giusto e grafico di A. Meloni, Laboratorio di Rappresentazione 2011-2012, Facoltà di Architettura di Genova, prof. C. Cándito).

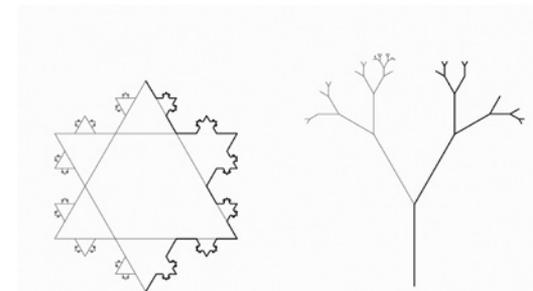


Fig. 3 - Schemi di geometria dei frattali. A sinistra: il fiocco di neve di Koch (ideato dal matematico svedese N.F.Helge von Kock nel 1906). A destra: applicazione alla configurazione dei rami di un albero.

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 permette di ampliare 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 e ampliando la gamma di possibilità espressive. È possibile riscontrare svariate applicazioni da parte di architetti contemporanei quali Zaha Adid (*Dubai Opera House*, 2008) o Frank O. Gehry (*Guggenheim Museum*, Bilbao 1997) divenute ormai dei classici riferimenti⁶. 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 più agevolmente essere generate e gestite attraverso gli strumenti

di modellazione informatica, favorendo un arricchimento del vocabolario architettonico. 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 le antiche scale a chiocciola, oppure le conformazioni ellittiche e le lanterne elicoidali del periodo barocco. 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 generazione e 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 organiche in forma libera, oppure

attraverso specifici applicativi⁷. 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

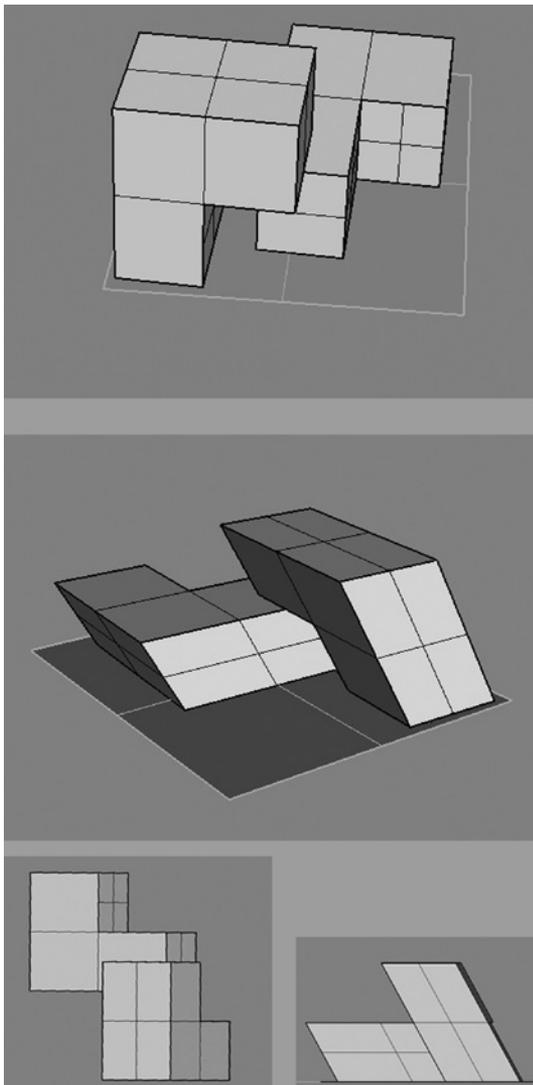


Fig. 4 – Effetto “assonometria”.
 Una interpretazione del gioco di ambiguità dei volumi della House XI di P. Eisenman (1983). In alto: vista assonometrica che fa apparire i volumi regolari; in mezzo: vista assonometrica che svela la distorsione obliqua; in basso: pianta e prospetto dei volumi. (Modello 3D di C. Cándito)

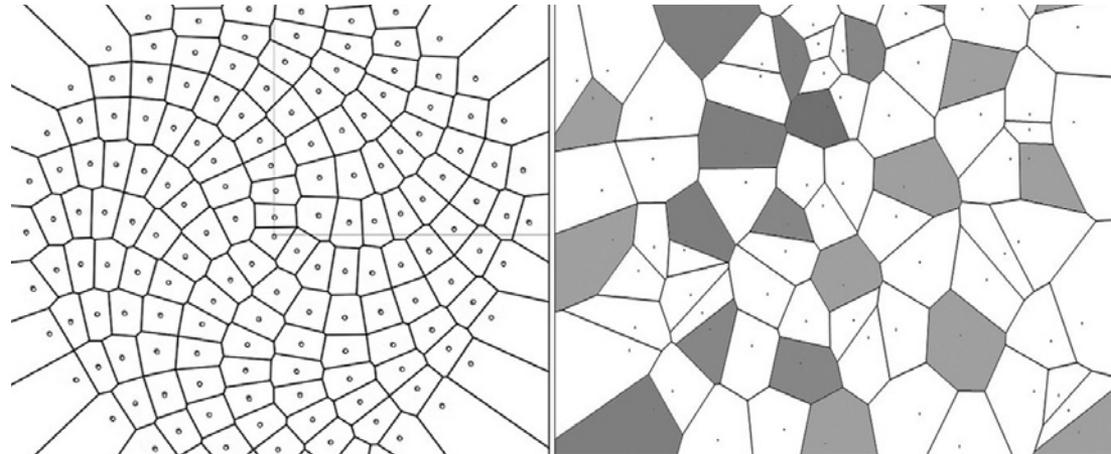


Fig. 5 – Tassellazioni di Voronoi.
 Esempi di diagrammi di Voronoi basati su geometrie definite o attraverso la disposizione casuale di punti.

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 di sue ideali vertebre il cui snodo ne permette la deformazione elastica.

Il tema del modulo e delle proporzioni è sempre stato centrale nell'architettura: le forme possono essere gestite non solo come elementi a sé stanti, ma anche in relazione con gli 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. Mandelbrot⁸ prevede la creazione di figure che sono scomposte in parti sempre più piccole, ciascuna delle quali è riproduzione miniaturizzata dell'ente di partenza. Anche in questo caso, come nell'antica sezione

aurea, si possono riconoscere esistenze naturali che percorrono 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 per essere realizzabile nel mondo virtuale. 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

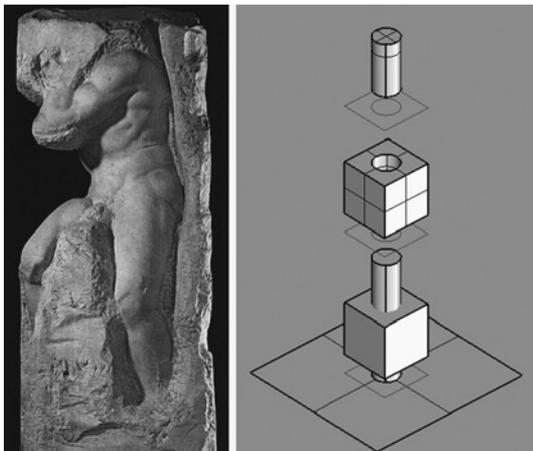


Fig. 6 – Le sottrazioni scultoree e le operazioni booleane.

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. Cándito)

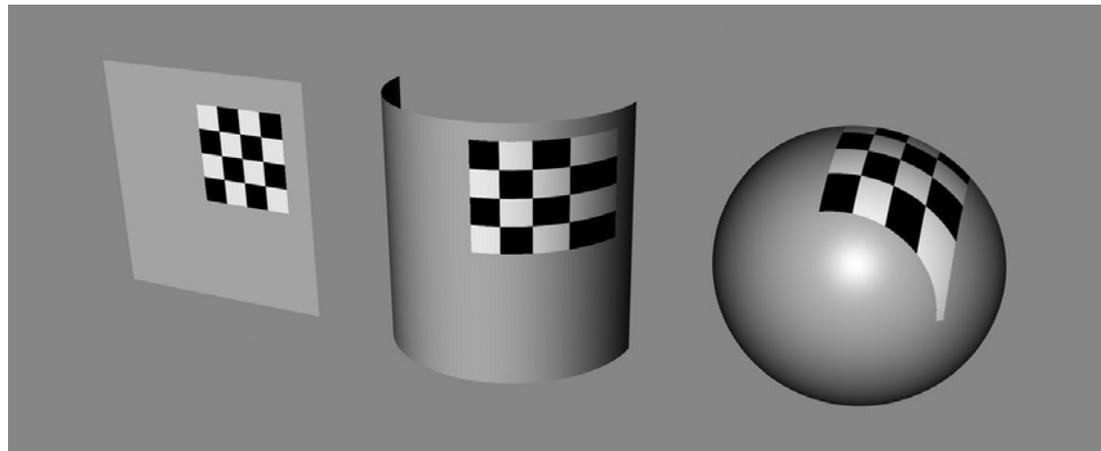


Fig. 8 – Textures e carta da parati.

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. Gherzi)

rapportate alle leggi di gravità a cui è soggetto il mondo reale, ma che costituiscono 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 tema fortemente legato alla rappresentazione si ritrova espresso anche da Peter Eisenman nel suo progetto di *House XI* (1983), dove i volumi si

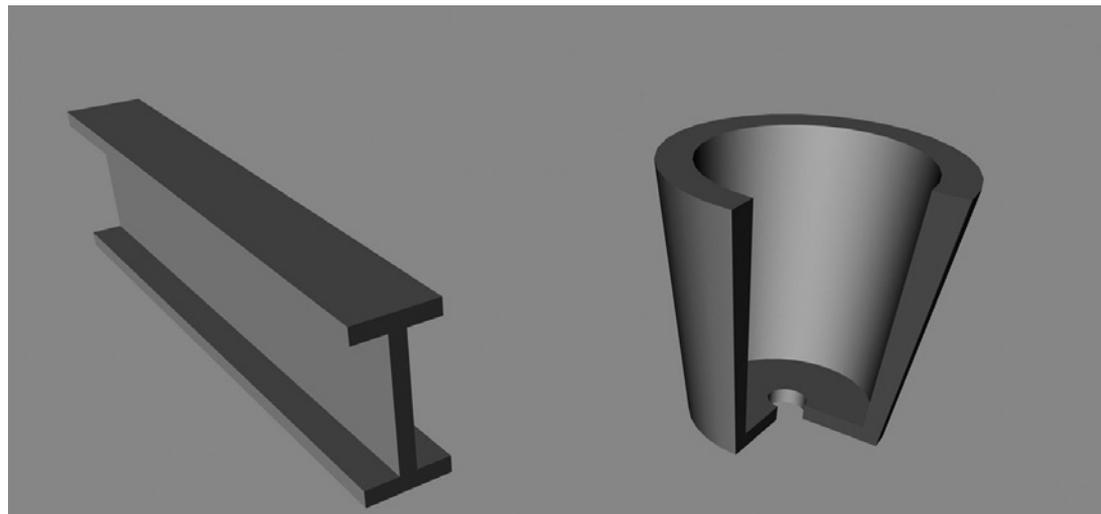


Fig. 7 – La Rivoluzione e il tornio. L'estrusione e la siderurgia.

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. Gherzi)

identificano con una configurazione assonometrica: ciò che da un certo punto di vista appare come una disposizione stereometrica scontata, da un altro luogo di osservazione rivela la sua 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 reale¹⁰. È possibile, in questo modo, verificare come alcuni mutamenti progettuali possono 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.

DISEGNO, MODELLO O IMMAGINE?
Nelle precedenti osservazioni, si è cercato di evidenziare come, insieme alle domande relative al fondamento geometrico della rappresentazione effettuata per scopi scientifici, si ponga anche il

quesito circa la forma che il disegno ha assunto durante questo mutamento. Tali osservazioni permettono di affermare che le procedure adottate nel disegno digitale ripercorrono pratiche tradizionali segnando una continuità con il disegno e le attività artistiche in generale. 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 effettuati da Cennino Cennini, Giorgio Vasari e Leonardo da Vinci¹¹. 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. In questa sede è sembrato interessante osservare come le logiche costruttive del modello virtuale rimandino a pratiche tradizionali legate alle arti figurative. Si noti come già il termine *modellazione* si riferisca ad una delle modalità di realizzazione di elementi figurativi plastici, che indica 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. Se si esaminano poi le operazioni fondamentali che si compiono nella prassi della modellazione 3D¹², 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 michelangiolesca "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 delle cosiddette arti maggiori, 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 delle carte 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, attraverso le operazioni di *matching*. Non può mancare un accurato studio dell'illuminazione che permette di completare la suggestione percettiva. 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 virtuale¹³.

QUALE EVOLUZIONE?

Si è visto come risulti oggi problematico parlare di *Geometria*, non solo perché dobbiamo distinguere i fondamenti 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 fondazione delle immagini della rappresentazione architettonica attuale. Peraltro le tecniche informatiche sottolineano una distinzione tra disegno e modello che risulta procedurale ma che ha delle forti caratterizzazioni di convenzionalità della 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 disegno¹⁴.

A questa evoluzione in corso sembra adattarsi perfettamente la teoria del mutamento di paradigma contenuta nel celebre saggio di Thomas Samuel Kuhn del 1962¹⁵, per il quale la scienza consolidata si basa su un insieme di principi di fondo considerati in qualche misura incontrovertibili, mentre una rivoluzione scientifica è generata da una crisi che apre un dibattito scientifico volto alla ricerca di

nuove soluzioni. Sembra, dunque, di poter affermare che i nuovi paradigmi non sorgano dallo sviluppo della teoria precedente bensì dall'abbandono degli schemi precostituiti dei concetti dominanti.

Può la rivoluzione digitale della rappresentazione architettonica essere paragonata, in quest'ottica, alla rivoluzione copernicana o a quella darwiniana? Se la risposta è positiva, appare evidente come ci si trovi ancora nella fase di riconoscimento di una crisi e di ricerca di nuovi paradigmi, nonostante le numerose tracce del reperimento di strade innovative¹⁶.

Nonostante una certa difficoltà nella diffusione di un rinnovamento del linguaggio, 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 virtuale¹⁷.

La convivenza tra le modalità tradizionali e quelle innovative può apparire come il sintomo di una stasi nella fase critica dell'evoluzione dell'immagine e della conformazione architettonica, ma è anche prova di una vivacità nel dibattito culturale che sta cercando di raggiungere forme mature dell'interpretazione digitale della rappresentazione. Nel presente testo si è voluto sottolineare alcune caratteristiche di tale dibattito, prendendo come caso emblematico il riconoscimento di pratiche tradizionali in molte fasi del percorso di creazione delle immagini di architettura. Tale percorso, fondato sulle *geometrie* e su ampliati concetti di proporzioni, comincia spesso con la creazione di un modello virtuale e prosegue con il suo rivestimento con i materiali che lo compongono. L'inserimento di una ambientazione e delle sorgenti luminose completa il magico gioco delle illusioni, già praticato nell'ambito della scenografia teatrale ancor prima dell'avvento della luce elettrica.

NOTE

1 La geometria descrittiva è attualmente sottoposta ad una revisione che ne prevede un ampliamento che consideri le procedure informatiche; cfr. Migliari, Riccardo (2009), *Geometria Descrittiva*, Città Studi, Torino.

2 Il testo di geometria di Euclide è scritto dal matematico alessandrino circa nel 300 a.C. Per la sua struttura, cfr. Boffito, Maura (1989), *Dentro la geometria*. Sui prodomi di geometria proiettiva, evoluzione storica e applicazioni, Genova; nuova ediz. Genova 1996.

3 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, Evandro-Palladino, Dario (1978), *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria*, Mondadori, Milano.

4 Per la complessità della genesi e dell'articolazione delle geometrie non-euclidee, cfr. Giordano, Andrea (2002), *La geometria nell'immagine*. Dal secolo dei lumi all'epoca attuale, Utet, Torino.

5 Klein Felix (1893), *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen* (A comparative review of recent researches in geometry), *Mathematische Annalen*, 43, pp. 63-100; cfr. Giordano (2002) op. cit.. Il testo viene citato come *Prolusione all'Università di*

Erlangen (1872).

6 Non si può compilare in questa sede un elenco seppur sommario di architetture che rispondono a questa categoria. Si rimanda a Sacchi, Livio (2003), *Liquid room*, in Sacchi, Livio-Unali, Maurizio, *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano, pp. 211-216; Empler, Tommaso (2006), *Modellazione 3D e rendering*, Officina Edizioni, Roma; Saggio, Antonino (2007), *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Carocci, Roma.

7 Per approfondimenti, cfr. De Carlo, Laura-Baglioni, Leonardo (2009), *Le linee curve e Migliari, Riccardo-Fallavolita, Federico-Salvatore, Marta* (2009), *Superfici in Migliari Riccardo* (2009), *Geometria Descrittiva*, II, Città Studi, Novara, pp. 97-143 e 144-295.

8 Mandelbrot, Benoît B. (1987), *Gli oggetti frattali*, Einaudi, Torino; ediz. orig. *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*, Flammarion, Paris 1975.

9 Per l'opera di Eisenman, cfr. Saggio, Antonino (1996), *Peter Eisenman. Trivellazioni dal futuro*, Testo & Immagine, Torino.

10 Per una introduzione delle modalità parametriche applicate a Grasshopper, plug in del programma di modellazione Rhinoceros, cfr. Khabazi, Zubin (2010), *Algoritmi generativi*, trad. it. di Marsala Antonino <http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>.

11 Non è questa la sede per specificare tali contenuti o una bibliografia sull'argomento, per cui si rimanda a Camerota, Filippo (2006),

La prospettiva del Rinascimento. Arte, architettura, scienza, Mondadori, Milano.

12 Per un'analisi delle tecniche di modellazione 3D, cfr. Migliari, Riccardo-Valenti, Graziano Mario (2000), *Fondamenti di Rappresentazione geometrica e informatica dell'architettura*, Kappa, Roma. Per il tema della rappresentazione, cfr. De Rosa, Agostino (2003), *Lo sguardo denigrato. Il ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale*, Il Poligrafo, Padova. Sul modello virtuale, si veda Bianchini, Carlo (2007), *Dal reale al virtuale e ritorno: appunti*, in De Carlo, Laura (2007), a cura di, *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*, Gangemi, Roma, pp. 315-324. Un'analisi delle tecniche tradizionali e digitali applicate al tema della luce nella rappresentazione ed una traccia storica si trova in Cándito, Cristina (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*, Alinea, Firenze.

13 Cfr. Migliari, Riccardo (2008), a cura di, *Prospettiva dinamica interattiva*. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3D di architettura, Kappa, Roma; Emmer Michele (2002), a cura di, *Matematica, arte, tecnologia, cinema*, Springer Italia, Milano.

14 Si veda su questo tema, Valenti, Graziano Mario (2008), *De.form*.

are, Designpress, Roma, 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."

15 Kuhn, Thomas Samuel (1969), *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969; ediz. orig. *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962.

16 Per la geometria descrittiva, si vedano i citati studi di Riccardo Migliari.

17 Franco Purini (*Digital divide*, in Sacchi L.-Unali M. (2003) op. cit., pp. 87-96) parla di disegno digitale, architettura digitale e architettura virtuale.

BIBLIOGRAFIA

Kuhn, Thomas Samuel (1969), *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969; ediz. orig. *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962

Agazzi, Evandro-Palladino, Dario (1978), *Le geometrie non euclidee e i fondamenti della geometria*, Mondadori, Milano

Boffito Maura (1989) *Dentro la geometria*. Sui prodomi di geometria proiettiva, evoluzione storica e applicazioni, Genova; ediz. Genova 1996

Mandelbrot, Benoît B. (1987), *Gli oggetti frattali*, Einaudi, Torino; ediz. orig. *Les objets fractals: forme, hasard et dimension*, Flammarion, Paris 1975

Saggio Antonino (1996), *Peter Eisenman. Trivellazioni dal futuro*, Testo & Immagine, Torino

Migliari, Riccardo-Valenti Graziano Mario (2000), *Fondamenti di Rappresentazione geometrica e informatica dell'architettura*, Kappa, Roma

Emmer, Michele (2002), a cura di, *Matematica, arte, tecnologia, cinema*, Springer Italia, Milano

Giordano, Andrea (2002), *La geometria nell'immagine*. Dal secolo dei lumi all'epoca attuale, Utet, Torino

De Rosa, Agostino (2003), *Lo sguardo denigrato. Ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale*, Il Poligrafo, Padova

Purini, Franco (2003), *Digital divide*, in Sacchi, Livio-Unali, Maurizio, *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano, pp. 87-96

Sacchi, Livio (2003), *Liquid room*, in Sacchi, Livio-Unali, Maurizio (2003), *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano, pp. 211-216

Camerota, Filippo (2006), *La prospettiva del Rinascimento*. Arte, architettura, scienza, Mondadori, Milano

Empler, Tommaso (2006), *Modellazione 3D e rendering*, Officina Edizioni, Roma

Bianchini, Carlo, *Dal reale al vir-*

tuale e ritorno: appunti, in De Carlo Laura (2007), a cura di, *Informatica e fondamenti scientifici della rappresentazione*, Gangemi, Roma, pp. 315-324.

Saggio, Antonino (2007), *Introduzione alla rivoluzione informatica in architettura*, Carocci, Roma

Migliari, Riccardo (2008), a cura di, *Prospettiva dinamica interattiva*. La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione di modelli 3D di architettura, Kappa, Roma

Valenti, Graziano Mario (2008), *De.form*, are, Designpress, Roma

De Carlo, Laura-Baglioni, Leonardo (2009), *Le linee curve*, in Migliari, Riccardo, *Geometria Descrittiva*, II, Città Studi, Novara, pp. 97-143

Migliari, Riccardo-Fallavolita, Federico-Salvatore Marta (2009), *Superfici in Migliari Riccardo*, *Geometria Descrittiva*, II, Città Studi, Novara, pp. 144-295

Cándito, Cristina (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*, Alinea, Firenze

Khabazi Zubin (2010), *Algoritmi generativi*, trad. it. di Marsala Antonino <http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>