

## SAGGI – ESSAYS

### LA RAPPRESENTAZIONE DELL'ARCHITETTURA: SAPER E SAPER FARE

*di Marco Gaiani*

Lo scritto si propone di scandagliare i caratteri odierni della rappresentazione dell'architettura come sistema di saperi intimamente connessi al saper fare e le sue ricadute sulla didattica, soprattutto oggi in cui i sistemi digitali e a base numerica hanno mutato il rapporto fra oggetto della rappresentazione, suoi mezzi e disegnatore in un processo a virtualizzazione crescente, ponendo una forte domanda di rinnovamento dei metodi di insegnamento esistenti.

Il punto di vista proposto dalla rappresentazione di architettura ha un carattere che la rende interessante: quello di presentare un saper fare vasto, con ricadute importanti, e, di contro, un apparato teorico di saperi assai povero e formalizzato sommariamente. Questa dissonanza è certamente un limite della disciplina ma anche un'occasione per una revisione sua e del suo insegnamento. Questo limitato *corpus* teorico di base permette infatti innumerevoli possibilità di sviluppo sia dell'apparato dei saperi, sia della didattica necessaria (temi e metodi) per permetterne la conoscenza, l'uso e la consapevolezza. Anche questo tema è affrontato nell'articolo, sfruttando i portati delle ricerche neuroscientifiche.

Sono poi esaminate le tematiche legate alla informatizzazione dei processi rappresentativi che, portando a una progressiva dematerializzazione e virtualizzazione degli stessi, comportano la necessità di una ridefinizione globale sia delle ipotesi di lavoro, sia dei postulati teorici, sia dei metodi operativi, sia del loro insegnamento. Infine, si è cercato di ricostruire un panorama unitario che sorge dall'analisi di questi argomenti per offrire spunti sia per una

ricodifica del sistema disciplinare (sapere e saper fare), sia per una didattica che ne sappia cogliere e trasmettere caratteri e implicazioni.

The paper aims to analyze the characters of today's representation of architecture as a system of knowledge intimately related to know-how and its impact on teaching.

The point of view proposed by the representation of architecture is interesting presenting a vast know how, with important repercussions, and, conversely, a theoretical apparatus of knowledge very poor and summarily formalized. This dissonance is a limitation of the discipline but also an opportunity for a revision of his theory and his teaching. This topic is faced in the paper, exploiting the portraits of neuroscientific research.

The issues related to the introduction of the computing techniques in the architectural representation processes are then examined. These information techniques leading to a progressive dematerialization and virtualization of the representation process, entail the need for a global redefinition of both the working hypotheses, the theoretical postulates, the operating methods, and their teaching. Finally, we tried to reconstruct a unitary framework arising from the analysis of these topics with the aim to offer ideas for both a recoding of the disciplinary system (knowledge and know-how), and for a teaching able to capture and transmit characters and implications.

## *1. Introduzione*

Andrea Palladio fu certamente il più influente e il più conosciuto tra gli architetti rinascimentali. Le ragioni sono facilmente individuabili in una vasta produzione, oltre 54 siti fra ville, palazzi, edifici pubblici, chiese e ponti; nella sua capacità di innovare l'architettura e inscrivere in un linguaggio facilmente comprensibile grazie a stilemi e morfemi evidenti che hanno connotato un'epoca e un'area geografica; infine in una chiave di lettura

dell'architettura a matrice strutturale esposta su un testo di larga diffusione (*I Quattro libri dell'architettura* pubblicati una prima volta a Venezia nel 1570, ma con innumerevoli ristampe e traduzioni) e capace di fornire un sistema facilmente replicabile nello spazio e nel tempo con poche varianti legate unicamente a istanze regionali (Gaiani & Slossel, 2005).

Palladio non si formò come pittore, al pari di Bramante, Raffaello, Peruzzi e Giulio Romano, o come scultore, al pari di Sansovino e Michelangelo, ma come tagliapietre (Ackerman, 1972; Beltramini & Burns, 2008; Burns, 1975; Puppi & Batilotti, 2006). Sebbene quindi non fosse particolarmente abile nelle arti liberali, fu la sua capacità di figurare in pochi e semplici schemi grafici un modo complesso e articolato di costruire, la chiave del suo successo e il mezzo che gli consentì una produzione così ampia e articolata. E sempre la sua capacità rappresentativa ha permesso alla sua opera, come spiega il titolo dello scritto di Howard Burns, *La creazione di un'architettura sistematica e comunicabile* (2000), di divenire oggetto di grande interesse nella prima età dell'informatica grafica e della digitalizzazione dell'informazione. Il famoso scritto di William Mitchell e George Stiny del 1978, *The Palladian grammar*, ne spiega compiutamente le ragioni (1979):

In this paper a first attempt is made to recast parts of Palladio's architectural grammar in a modern, generative form. The rules of a parametric shape grammar [...] that generates villa ground plans are specified. In many cases these rules are direct translations of Palladio's explicit canons of design; in others they are based on examples of villa plans in the *Quattro Libri*. The grammar so defined generates the main features of most of Palladio's villa plans as drawn in the *Quattro Libri* (p. 5).

La figura dell'architetto della basilica di Vicenza indica chiaramente come la rappresentazione sia un sistema centrale nel processo architettonico e più in generale nei processi creativi basati sul progetto, e certamente ne sia il mezzo produttivo per eccellenza e il più importante tra i saperi di base che permettono di fare l'architettura. Proprio per questa centralità la rappresentazio-

ne costituisce l'oggetto di questo scritto e proprio i temi che nascono dall'osservazione del sistema palladiano, per la loro capacità di essere focali e universali, costituiscono gli argomenti affrontati e quelli attraverso i quali è facile delineare i caratteri del sistema figurativo e le problematiche didattiche attuali, nonché alcuni possibili percorsi futuri.

In particolare, questo scritto si propone di scandagliare i caratteri odierni della rappresentazione dell'architettura come sistema di saperi intimamente connessi al saper fare e le sue ricadute sulla didattica, soprattutto oggi in cui i sistemi digitali e a base numerica hanno mutato il rapporto fra oggetto della rappresentazione, suoi mezzi e disegnatore in un processo a virtualizzazione crescente, ponendo una forte domanda di rinnovamento dei metodi di insegnamento esistenti.

La rappresentazione di architettura ha poi, come vedremo, un altro carattere che la rende interessante: quello di presentare un saper fare vasto, con ricadute importanti, e, di contro, un apparato teorico di saperi assai povero e formalizzato sommariamente. Questa dissonanza è certamente un limite della disciplina ma anche un'occasione per una revisione sua e del suo insegnamento. Questo limitato *corpus* teorico di base permette infatti innumerevoli possibilità di sviluppo sia dell'apparato dei saperi, sia della didattica necessaria (temi e metodi) per permetterne la conoscenza, l'uso e la consapevolezza. Anche questo tema sarà affrontato nell'articolo, sfruttando i portati delle ricerche neuroscientifiche.

Saranno poi esaminate le tematiche legate alla informatizzazione dei processi rappresentativi che, portando a una progressiva dematerializzazione e virtualizzazione degli stessi, comportano la necessità di una ridefinizione globale sia delle ipotesi di lavoro, sia dei postulati teorici, sia dei metodi operativi, sia del loro insegnamento.

Infine, si cercherà di ricostruire un panorama unitario che sorge dall'analisi di questi argomenti per offrire spunti sia per una ricodifica del sistema disciplinare (sapere e saper fare), sia per una didattica che ne sappia cogliere e trasmettere caratteri e implicazioni.

## 2. Il sistema teorico della rappresentazione di architettura

Lo schema del processo rappresentativo architettonico, e quindi la sua teoria di base è ancora oggi tutto racchiuso in un celebre passo di Marco Vitruvio Pollio, l'architetto romano di epoca augustea. Nel suo trattato *De Architectura*, il primo giunto a noi che descriva esplicitamente una procedura rappresentativa del progetto, Vitruvio individua i modi della rappresentazione di architettura ne l'*Ichnographia* (letteralmente la descrizione grafica dell'impronta lasciata sul terreno, cioè la pianta), l'*Orthographia* (letteralmente la descrizione grafica di ciò che nasce a partire dalla pianta, dunque gli alzati), la *Scaenographia* (letteralmente la descrizione grafica dell'edificio secondo le modalità sceniche)<sup>1</sup>.

Globalmente queste rappresentazioni non dovevano permettere una restituzione bidimensionale completa dell'intero progetto costruttivo, ma semplicemente erano il mezzo di concezione della *dispositio*, cioè del corretto posizionamento degli elementi architettonici in un insieme ben strutturato, che dunque doveva emergere attraverso questi tre modi di raffigurare il lavoro da fare.

Sebbene l'interpretazione di cosa fosse per Vitruvio la *Scaenographia* non sia univoca (un problema che ha portato a più di cinque secoli di dibattito dalle interpretazioni dei commentatori quattrocenteschi, fino ai recenti scritti di Ackerman, 2000, Di Teodoro, 2002 e Thoenes, 1993), è comunque certo che il sistema figurativo proposto da Vitruvio costituiva un sistema convenzionale comprensivo sia di tecniche in grado di rendere conto delle "misure" dello spazio, sia di tecniche con cui era possibile illustrare l'immagine dell'edificio così come appare alla vista umana.

I modi che Vitruvio descrive non sono comunque ascrivibili a lui stesso, ma trascrivono in forma organica tecniche figurative già consolidate da secoli e non solo entro la civiltà romana, basti pensare a due bellissimi papiri oggi conservati uno al Museo Egi-

<sup>1</sup> Vitruvio Pollio M., *De Architectura*, I, 2, 1, ed. critica a cura di P. Gros (1997), Einaudi: Torino, p. 27: "Species dispositionis, quae graecae dicuntur i-deae, sunt hae: ichnographia, orthographia, scaenographia".

zio di Torino e l'altro al Petrie Museum of Egyptian Archaeology della London University College. Il primo, un papiro con la pianta della tomba di Ramesse IV, databile tra il 1539 e il 1076 a.C., ne mostra pianta e sezione longitudinale in una perfetta proiezione ortogonale; il secondo, un papiro del santuario di Gurob databile tra il 1550-1350 a.C., presenta una vista laterale di un santuario realizzata in modo tecnicamente impeccabile.

È altrettanto certo che questi metodi rappresentativi sono stati mutuati da un processo operativo consolidato, e infatti si confondono a tutti gli effetti con il processo costruttivo: l'*Ichonographia*, cioè la proiezione in pianta, precede tutte le altre rappresentazioni dell'architettura perché simula, cronologicamente, anche con il disegno, la prima operazione di cantiere, quella relativa al tracciamento sul terreno degli "spiccati" delle murature e solo dopo il quale è possibile procedere a innalzare muri e colonne; operazione, questa, la cui traduzione grafica è indicata nel termine *Orthographia*. Infine, a fabbrica ultimata, si ha la *Scaenographia*, risolta grazie alla simulazione grafica che fornisce una visione d'insieme. Per il grande teorico romano esisteva dunque un preciso legame tra le operazioni eseguite, per così dire, sul tavolo da disegno e quelle di cantiere e questo consente di comprendere anche come alcune costruzioni grafiche, si pensi ad esempio alla divisione di una circonferenza in un numero di parti uguali, possano essere condotte, esattamente con le stesse regole, sia sul foglio da disegno sia in cantiere.

Infine, occorre evidenziare come questo modo di procedere per trascrizione di una tradizione consolidata si conservi anche nei secoli seguenti, fino ai giorni nostri. Leon Battista Alberti, il "teorico" dell'architettura rinascimentale, nel suo *De re aedificatoria*, scritto attorno al 1450 ma stampato a Firenze solo nel 1485, trascrive in modo impeccabile, grazie ai suoi studi letterari e in legge a Bologna e Padova, i saperi pratici del tempo, aggiungendo ai contenuti teorici vitruviani solo chiose marginali. L'osservazione dei caratteri della triade rappresentativa vitruviana e delle sue declinazioni nel tempo permette una serie di considerazioni.

Innanzitutto, è possibile affermare che la rappresentazione dell'architettura ha uno scopo semplice e chiaro: consentire la realizzazione della costruzione esattamente come previsto dall'ideatore, affinché il testo progettuale possa essere realizzato tramite la stretta collaborazione dell'architetto e delle forze produttive ed economiche necessarie. Ciò richiede la formazione di un artefatto comunicativo in grado di permettere la comprensione di come il manufatto completato funzionerà, di come convoglierà nelle sue fondazioni tutti gli agenti esterni: terremoti, vento, masse; di come sarà riscaldato, ventilato, illuminato per creare un ambiente confortevole, etc.

La rappresentazione d'architettura non è quindi un fine, come lo è la pittura, ma fondamentalmente un mezzo per tradurre l'idea originaria nella costruzione finale specificandone le qualità formali, materiali e costruttive.

Letteralmente, tradurre (dal latino *trans-ducere*) significa trasferire qualcosa senza alterarlo, tuttavia raramente la traduzione avviene, in architettura come in altri campi, primo fra tutti quello linguistico, senza variazioni o perdite.

Per limitare questo problema sono state accuratamente fissate nel tempo e in vari settori convenzioni e codifiche largamente riconosciute. In architettura, esse mirano sostanzialmente a colmare lo scarto tra manufatto reale e schemi che indicano alle maestranze le condizioni della realizzazione.

Poiché più semplici sono le convenzioni, più facile risulta la nostra capacità di realizzare la traduzione, nel tempo si è affermato un programma apparentemente banale basato su tre sole e semplici ipotesi: la riduzione del 3D al 2D; la costruzione dell'intero sistema continuo per interpolazione, di solito lineare, a partire da pochi punti discreti; la ricomposizione dell'insieme per scene fisse.

I successivi sviluppi sono sempre ripartiti da questo ridotto *set* di convenzioni creandone di nuove, più o meno consapevolmente, per colmare il divario tra la sola figurazione della *dispositio* (lo scopo con cui era stato definito il primo gruppo) e la necessità di rappresentare una complessità via via crescente della costruzione dell'edificio. Il limite principale del fare riferimento ad un ridotto

*set* di convenzioni nasce da una ridotta disponibilità di mezzi tecnici in relazione al tipo di conoscenza da comunicare e allo scopo dell'informazione. Riletto oggi, il problema più rilevante del sistema rappresentativo basato sulla triade vitruviana è quello di una intrinseca incapacità di descrivere con precisione la nuova conoscenza aggiunta all'originale.

Concisione e imprecisione dell'enunciato di base e necessità di ulteriori convenzioni per attuare un'efficace struttura rappresentativa hanno fatto sì che nel tempo il sistema sia stato declinato in vari modi e con varie tecniche in funzione del messaggio da esprimere. Queste convenzioni, assieme alla definizione di base, costituiscono l'insieme dei "saperi" della rappresentazione. Un insieme, quindi, estremamente ristretto.

Globalmente si può quindi affermare che la rappresentazione dell'architettura abbia avuto e abbia una dimensione teorica assai povera. Questa limitatezza dell'apparato teorico, a fronte di una rilevante casistica operativa non sistematizzata (e probabilmente non sistematizzabile a partire dal solo enunciato generale), ha sancito una profonda separazione fra teoria e prassi.

Infine, richiamiamo anche in questo contesto l'osservazione che l'apparato teorico si è sempre formato assai dopo il consolidamento nei modi e nell'uso della relativa prassi, e solitamente in aree del sapere differenti rispetto a quella dell'edificare<sup>2</sup>.

Di questo apparato teorico, sorto grazie ad altre discipline, l'architettura si è poi sostanzialmente disinteressata fino a quando la nascita delle scuole di architettura ha spinto alla costruzione di basi teoriche deduttive capaci di dare scientificità a un sapere in-

<sup>2</sup> Ne è un chiaro esempio quello dell'assonometria obliqua. Il suo uso esattamente nei modi odierni è già nei bellissimi disegni di chiese a pianta centrale e di macchine edili di Leonardo da Vinci e nelle piante di città come la straordinaria mappa di Bologna del 1575 ai Palazzi Vaticani di 6,38 metri per 4,66, ma la sua codifica e la sua dimostrazione grafica e matematica sono avvenute solo poco dopo la metà del XIX secolo, a opera di due matematici tedeschi, Karl Wilhelm Pohlke (1860) e Hermann Schwarz (1864).



duttivo che, in precedenza, raramente si era posto interrogativi sui propri strumenti di base.

La rappresentazione dell'architettura è quindi un campo di grande interesse proprio per questo carattere di essere un corpo di procedure basate sulla prassi, la cui teoria è stata ricostruita a posteriori strutturando un semplice e abbastanza vago sistema base tramite discipline affini, che poi ne sono divenute il sistema dei "saperi" da conoscere e insegnare: sostanzialmente la geometria descrittiva, incoraggiati nella direzione anche dal celebre passo del costruttore piccardo medievale Villard de Honnecourt:

[...] en cest livre pue on trover grand conseil de le grant force de maconerie et des engiens de carpenterie et si troverez le force de la portraiture, les trais ensi come li ars de iometrie le command et ensaigne (1225-35, PL. II)

e l'arte di misurare cose e luoghi, cioè la scienza del rilevamento e della misura. Si tratta di addizioni entrambe limitatamente pertinenti. Lo dimostrano, ad esempio, le semplici considerazioni per cui la geometria descrittiva è stata originariamente un mezzo di dimostrazione della matematica e il fatto che l'architettura non sia basata su misure ma, come conferma il testo di Vitruvio, su proporzioni.

### *3. Caratteri e modi della rappresentazione di architettura*

Intorno al 1520, in un testo destinato a divenire famoso come *Lettera a Papa Leone X*, Raffaello Sanzio e Antonio da Sangallo il Giovane, rielaborando il nucleo della teoria vitruviana e albertiana, formalizzarono operativamente il sistema di rappresentazione del progetto dell'architettura, attraverso i disegni in proiezione piana di pianta, prospetto e sezione<sup>3</sup> (Thoenes, 1998).

<sup>3</sup> I termini della lettera sono: "pianta", "parete di fuori", "parete di dentro".

Da allora, per 500 anni, gli architetti hanno risolto con questi strumenti il problema concettuale di dover rappresentare su un foglio, a due dimensioni, e servendosi di un mezzo tracciante, un edificio che in realtà si estende nello spazio.

Il sistema descritto da Raffaello e Sangallo è al tempo stesso sofisticato, perché capace di compenetrare metodo rappresentativo e pratica costruttiva al pari della formulazione vitruviana, e semplice, perché articolato in più figurazioni per affrontare il problema complessivamente, ma basato su una sola metodologia.

Quest'ultimo carattere, più tardi, favorirà l'arricchirsi dell'apparato teorico e della relativa didattica tramite una sola disciplina: la geometria. Questa, infatti, non solo ha assolto il ruolo imprescindibile di strumento per "trattare" delle forme, ma ha svolto anche quello di sistema grafico-matematico di riferimento per costruire sulla carta la conformazione degli spazi e delle altre configurazioni dell'edificio (Quaroni, 1977). La "proiettiva" di Girard Desargues (Bosse, 1648) e la "descrittiva" di Gaspard Monge (Monge, 1796), spiegando la formalizzazione euclidea della geometria come sistema di proiezioni, hanno fornito così un substrato scientifico unificante e la generalizzazione a un sistema eminentemente pratico, permettendone la codificazione come mezzo di progetto con larga uniformità nel tempo e nello spazio.

La generalizzazione consentita dalla "descrittiva" ha tuttavia ridotto la differenziazione tra "percepito" e "misurato" (assai marcata in Vitruvio) unicamente alla differente posizione degli elementi base che definiscono un sistema proiettivo (punto di vista, piano di proiezione, rette proiettanti), "schiacciando" i caratteri percettivi del progetto e della rappresentazione dell'architettura e riducendoli a un mero attributo di un sistema oggettivo in cui l'osservatore diviene per lo più un punto improprio. A ciò ha contribuito la scarsa chiarezza con cui Vitruvio aveva descritto il termine *Scaenographia*. Questa stessa ambiguità aveva permesso a vari commentatori della prima metà del Cinquecento formulazioni alternative probabilmente dotate di più attinenza alle tecniche pratiche in voga all'epoca.

Un esempio rilevante è costituito dall'interpretazione di Fra' Giocondo della parola latina *Scaenographia* come costruzione del modello (1511) richiamando la rilevante tradizione, instaurata con i costruttori tardogotici nordeuropei, della costruzione di modelli come strumenti di rappresentazione dell'architettura e soprattutto come strumenti primari di trasmissione formale fra architetti e maestranze. In Italia, la documentazione di modelli architettonici emerge verso il 1350, attorno al cantiere di Santa Maria del Fiore a Firenze (Millon, 1994; Pacciani, 1987).

In realtà anche Vitruvio aveva parlato dei modelli, in un passo che nei secoli seguenti era rimasto un po' dimenticato nel dibattito e nei modi di progettare l'architettura<sup>4</sup>. Ne è ragione, probabilmente, il fatto che la *maquette* era descritta nel *De Architectura* non come uno strumento per la concezione bensì come un sistema illustrativo a posteriori di sicuro effetto sulla committenza, nonché un metodo per la descrizione della componente tecnologica degli oggetti, la verifica di comportamenti statici e la prefigurazione delle macchine. La funzione di rappresentazione, al tempo stesso cristallizzazione di un pensiero e anticipazione di una realtà costruttiva, che le *maquettes* assumono in epoca rinascimentale rimane poi marginale per oltre quattro secoli, riemergendo solo all'inizio del Novecento assieme all'affermarsi degli oggetti di produzione industriale come strumento insostituibile di conformazione e verifica delle ipotesi formali, strutturali o funzionali, e di presentazione ad altri del risultato dello sforzo progettuale prima della costruzione (Polato, 1991).

I modelli presentano modalità figurative e convenzioni proprie, rispetto a quelli dei sistemi grafici. In particolare, se nel caso del disegno il concetto di similarità rispetto al reale è fissato solo dalla scelta del tipo di proiezione che si va a realizzare (ortogonale, assonometrica o prospettica) e rimane comunque costante, così non è per i modelli per i quali gioca un ruolo determinante

<sup>4</sup> Vitruvio Pollio M., *De Architectura*, X, 16, 3, ed. critica a cura di P. Gros (1997), Einaudi: Torino, p. 1356.

l'idea di similarità rispetto alla realtà. Sfruttando differenti similarità è possibile realizzare differenti tipi di modelli.

Tomàs Maldonado ha proposto un interessante approccio al tema che permette di generalizzare e racchiudere in un'intera cornice non solo le differenti tipologie di modelli, ma l'intero sistema della rappresentazione del progetto (Maldonado, 1987). Per il designer argentino si può affermare che siamo di fronte: a realtà da considerare omologhe, quando è simile la loro struttura ma non la loro forma e la loro funzione; a realtà analoghe, quando sono simili struttura e funzione ma non la forma; a realtà isomorfe, quando sono simili struttura e forma ma la funzione può essere o non essere simile. Le realtà omologhe e analoghe sono chiamate poi *eteromorfe*. La *maquette* e il disegno, cioè i modelli iconici, sono una rappresentazione isomorfa nei riguardi della realtà che vogliono rappresentare. I modelli non-iconici (diagrammatici e matematici), utilizzati nella progettazione quando si tratta, per esempio, di raffigurare problemi inerenti alle funzioni in un edificio, ai loro rapporti reciproci e alle connessioni in verticale e in orizzontale, sono invece analoghi alla realtà, in quanto in essi la similitudine è di tipo strutturale e funzionale, ma non formale. Oggi è poi possibile disporre di modelli informatici che consentono simulazioni tridimensionali che racchiudono tutte e tre le proprietà dei modelli: sono infatti omologhe, isomorfe e analoghe. I modelli informatici sono quindi in grado di coprire, in un unico sistema di rappresentazione, la totalità dei meccanismi di "visione" possibili: da un lato forniscono le medesime prestazioni dei modelli iconici, dall'altro di quelli non-iconici.

L'analisi e la classificazione dei sistemi rappresentativi per rapporto al loro modo di descrivere la realtà, secondo l'approccio proposto da Maldonado, permettono così la formazione di un rapido ed efficiente sistema capace di legare sapere e saper fare. Tuttavia, nessun sistema didattico odierno ha tentato il suo impiego.

Altri caratteri della rappresentazione dell'architettura sono illustrabili tornando al tema delle convenzioni, già introdotto nel precedente paragrafo.

Le convenzioni sono, teoricamente parlando – scrive Antoine Chrysostome Quatremère de Quincy (1823/1980), colui che certamente all'inizio del XIX secolo ha sistematizzato la maggior parte delle convenzioni che oggi usiamo in architettura e il sistema didattico a esse pertinente – i mezzi dell'imitazione, poiché senza esse, la sua azione non potrebbe avvenire (p. 262).

Approfondisce poi spiegando come le convenzioni siano essenzialmente di due ordini: quelle necessarie all'esistenza di ciascuna arte e quelle cosiddette “poetiche” tramite le quali ogni arte giunge al proprio “ideale”.

I mezzi necessari (tale è ad esempio la tecnica grafica della prospettiva piana) sono a loro volta di due tipi: convenzioni pratiche (ad esempio la pittura non può rappresentare più di un istante e di un'azione, la scultura non dà il colore dei corpi) e convenzioni teoriche (ad esempio l'unità di tempo, luogo e azione in teatro).

Le “convenzioni poetiche” sono quelle che consentono l'accomodamento tra la realtà e ciò che si deve guardare e trascrivere per operare la rappresentazione delle cose. Sono in definitiva quei grandi cambiamenti attraverso i quali l'architetto opera una selezione del reale e la maniera di restituirlo. Relativamente alle convenzioni poetiche, che sono per l'architettura quelle che hanno bisogno di maggiore codifica per evitare incomprensioni, le possibili azioni sono, secondo Quatremère, generalizzare, trasformare, trasportare. Questi sono anche per noi i possibili modi per realizzare un mutamento efficiente ed efficace del sistema rappresentativo in essere.

Le convenzioni non sono poi costanti nel processo rappresentativo del progetto. Il linguaggio notazionale dell'architettura procede infatti dallo schizzo, il cosiddetto linguaggio *autografico*, all'esecutivo, il cosiddetto linguaggio *allografico*, secondo due fasi entrambe indispensabili che hanno convenzioni differenti:

I disegni – spiegava James Stirling (1992), uno dei maggiori architetti del XX secolo – all'inizio sono per me una conversazione fra ciò che ho nella testa e quello che vedo sul foglio. Una specie di interazione fra pensieri quasi inconsci e le forme che assumono i piccolissimi disegni

che appaiono. Più tardi, quando diventano un poco più grandi sono anche strumenti per comunicare con chi mi aiuta nello studio.

Ernst Gombrich (1965), infine, ne spiega assai bene il carattere di non-costanza spazio-temporale:

Parte non si realizza nel vuoto, [...] non c'è artista che non dipenda da predecessori e modelli, che l'artista, al pari dello scienziato e del filosofo, è legato a una precisa tradizione e lavora in una ben strutturata area di problemi. Il grado di padronanza all'interno di questa struttura e, almeno in certi periodi, la libertà di modificare questi vincoli fanno parte, presumibilmente, della complessa scala in cui si valutano i risultati.

Le convenzioni sono dunque definite in rapporto a chi ci ha preceduti e le ha utilizzate rappresentando, e a chi lo fa contemporaneamente a noi.

Un determinato impiego di convenzioni non può consistere allora nell'impiego di una sorta di procedura aritmetica da seguire o da capovolgere o modificare, ma è l'insieme delle condizioni al contorno che fissano la nostra rappresentazione nel proprio stesso "essere" ed "esistere" nello spazio e nel tempo. Per questo ogni movimento architettonico ha sempre cercato di fissare un proprio sistema di convenzioni.

Cambiando forma rappresentativa, la prima cosa che deve essere nuovamente e chiaramente fissata è il sistema delle convenzioni. Citando James Ackerman (2003):

Dal momento che le convenzioni rappresentano il mezzo con cui un architetto comunica gli aspetti essenziali del proprio lavoro a tutti coloro che si interessano alla costruzione architettonica e all'arte dell'architettura, ogni loro alterazione o tentativo di perfezionamento non può che generare una grande confusione (p. 266).

Questo è un aspetto importante che oggi si tende a dimenticare per cui le "convenzioni necessarie" sono ridotte a semplici ricette da recepire passivamente (basti pensare che oggi l'80% dello spazio dei testi didattici che illustrano i metodi di prospettiva pia-

na è dedicato all'illustrazione di metodi completamente inutili perché soppiantati dall'implementazione numerica dei modellatori tridimensionali), e le "convenzioni poetiche" sono ridotte al sistema normativo di simboli concepito dagli enti di unificazione, dimenticando come queste norme nascano da un lungo e complesso percorso di convenzioni condivise che richiedono declinazioni specifiche.

Anche l'odierna produzione di scene virtuali digitali propone la centralità del tema delle convenzioni e della difficoltà di fissarle e declinarle. Ciò è ben tratteggiato da Brenda Laurel che, nel suo libro del 1991 *Computers as Theatre*, affronta il tema ripartendo dalle convenzioni teatrali esposte da Aristotele nella sua *Poetica*. Tuttavia, se per la Laurel il computer doveva scomparire, lasciando solo l'utente (o seguendo la Laurel, lo "human agent") e il compito manuale, in realtà, dopo oltre un quarto di secolo, ciò non è ancora accaduto. Il problema delle convenzioni dei sistemi digitali rimane tuttora aperto. Le convenzioni del disegno analogico non sono utilizzabili in quanto l'agire corrisponde a un livello di virtualizzazione completamente differente. I paradigmi prodotti finora si sono dimostrati per lo più parziali o sbagliati, ad esempio quello che affermava che ogni rappresentazione sarebbe stata osservata stereoscopicamente. Com'è noto, 10 anni dopo il grande successo del film *Avatar* di James Cameron, le sale cinematografiche in cui si proiettavano film in stereoscopia tridimensionale, che erano divenute oltre il 70% del totale nei due anni seguenti il film con più incassi della storia del cinema, sono progressivamente scomparse.

#### *4. Digitale e sistemi rappresentativi*

L'introduzione dei sistemi digitali nel processo rappresentativo d'architettura ha avuto, come scritto da James Ackerman (2003), una «importanza paragonabile forse a quella dell'introduzione della carta» (p. 256).

I sistemi a base computazionale hanno, infatti, apportato radicali modifiche al processo progettuale sia abilitando al loro inter-

no metodiche propri di altri campi o impossibili in precedenza (ad esempio strumenti e tecniche capaci di fornire risposta alle istanze di partecipazione attiva sincrona e asincrona al processo progettuale da parte di più attori e di condivisione del progetto sia tra membri dello stesso team di lavoro, sia da parte di esterni al processo in essere), sia sviluppando strumenti specifici per la rappresentazione stessa basati sul paradigma digitale (ad esempio soluzioni per la simulazione energetica e strutturale degli edifici basate sulla rappresentazione dell'organismo architettonico).

Questi ultimi, proprio perché specifici, sono quelli che hanno avuto l'impatto maggiore, innanzitutto perché hanno mutato la forma base della rappresentazione grafica.

Il processo di disegno manuale prevede infatti essenzialmente la compresenza di due sole tipologie di elementi: la mano direttamente collegata alle nostre capacità sensoriali, percettive, cognitive e intellettuali che la guidano, e una serie di strumenti che funzionano come mezzi correlati per tracciare, segnare, campire in perfetto accordo tra loro (carta, matite, penne, righe, squadre, etc.) o, al limite, come ausilio meccanico (compassi, tratteggigrafi, pantografi, etc.).

L'uso dei sistemi di rappresentazione informatizzati ha introdotto nel processo figurale un terzo elemento, strutturalmente e funzionalmente differente dai primi due. Come tutti sappiamo, questo terzo termine è il software, cioè un insieme di istruzioni, programmi, banche dati capace di trasformare un chip di silicio nell'intelligenza d'alto livello di un sofisticato sistema dedicato e di fornire un assetto del tutto nuovo alla struttura del "rappresentare".

Questo elemento mediatore tra la nostra mano e il disegno finito non è un semplice accidente o un elemento irrilevante. Il software nel contempo crea una serie di condizioni a priori rispetto al nostro operare limitandoci o costringendoci nell'azione, ma fornisce anche nuovi assist e operatività sia nell'approfondimento del *task* progettuale, sia nell'introspezione del risultato finale.

È chiaro quindi come nell'attivazione di un sistema di rappresentazione con l'ausilio dell'elaboratore sia fondamentale la predisposizione di un modello di riferimento appropriato per attuare la



trasposizione e in particolare come questo debba riguardare il processo di *mnème* che, tra i processi rappresentativi, è quello maggiormente interessato dai mutamenti introdotti dal software. Le condizioni operative offerte dall'elaboratore (ottenute tramite la ricodifica della basi-dati e delle procedure analogiche servendosi di un sistema di numerazione binaria e tramite l'introduzione di specifici *devices* abilitanti la mimesi, cioè mouse, tastiera, tablet...) sono infatti assai differenti rispetto a quelle dell'operare manuale, sia il normale tracciare al tavolo da disegno, sia il creare un modello scavandolo nel legno o plasmandolo nella creta.

Si consideri, esemplificativamente, il modo di conoscenza visiva dell'artefatto grafico che produciamo. Quando si lavora al tavolo da disegno, il risultato dell'elaborazione resta sempre in vista sia nel *processing* sia una volta ultimato. Nel contempo però è raramente possibile possedere una rappresentazione esaustiva dell'intero organismo architettonico perché si procede per viste e quindi occorrono più disegni e più fogli raramente compresenti. Se operiamo coi sistemi digitali, viceversa, raramente possiamo osservare un'intera visione dell'architettura progettata, limitati dalle piccole dimensioni e risoluzioni dei monitor. Viceversa, è possibile avere una rappresentazione completa dell'oggetto edilizio, facilmente richiamabile e dunque osservabile nel suo insieme e nei suoi dettagli con un rapido cambio di vista (oggi chiamiamo questa rappresentazione *Building Information Model*, BIM).

I sistemi di rappresentazione digitale si distinguono poi per un coefficiente di virtualizzazione superiore che, se nulla introduce all'operatore esperto di metodi manuali, tuttavia altera in modo considerevole il rapporto tra realtà e immaginario, mutando fortemente il processo traspositivo, anche quando il software non è altro che la replica computazionale di un sistema manuale come il tecnigrafo (cioè ciò che chiamiamo usualmente *Computer Aided Design*, CAD), o gli strumenti per schizzare e generare immagini dipingendo.

A questo punto occorre rilevare come a fronte di questi grandi cambiamenti nel processo rappresentativo, la riflessione sui modelli di riferimento e sulle condizioni di *mnème* sia stata assai limitata.

Lo si può osservare anche semplicemente rilevando che il modello principale che ha guidato i primi 50 anni di disegno digitale sia stato dato dalla banale riscrittura in sistema binario discreto del già citato connubio geometria descrittiva-geometria analitica, cioè lo stesso schema interpretativo che appassionò e guidò gli studi di Monge nella seconda metà del Settecento (Monge, 1796). Per i caratteri stessi dei sistemi computazionali questa trasposizione della descrittiva all'elaboratore è imperfetta, spesso problematica, incapace di esprimere la verità mongiana se non nell'impostazione e nel rapporto tra le viste, stabilito ancora secondo il classico schema di Desargues. Per il resto ciò che nel sistema analitico e descrittivo del professore all'École Polytechnique era sempre associato indissolubilmente, nei sistemi digitali vive di una dissociazione permanente. Un momento significativo di questa dissociazione è nella descrizione digitale di un'entità geometrica, là dove in Monge analitica e descrittiva erano due facce della stessa medaglia. Nei sistemi informatici la descrizione di un'entità geometrica avviene in modo distinto nella visualizzazione a schermo, definita in forma *raster*, cioè a pixel, cioè a quadratini, e nell'informazione numerica, definita vettorialmente. In questo modo è facile che l'operatore, cioè il progettista, dissoci la visualizzazione dai suoi contenuti numerici e, operando visivamente, compia errori numerici.

Questo semplice esempio fa ben capire come il modello rappresentativo tradizionale richieda, per essere trasposto in forma digitale nuovi sviluppi, anche se un'eredità ingombrante di oltre 2000 anni di processi basati sulla descrizione vitruviana rende difficile abbandonare percorsi e tecniche ben strutturati e sperimentati, e non consente una rapida formulazione di categorie mentali in grado di stimolare nuovi metodi di elaborazione e comunicazione del progetto architettonico.

Il digitale però, accanto a nuovi problemi, presenta anche interessanti occasioni, capaci di offrire nuova materia a un sistema, stretto connubio di sapere e saper fare.

Tra i mutamenti capaci di essere forieri di possibilità e risultati è certamente la generalizzazione delle procedure e delle basi-dati

nata dalla necessità di tradurre codici grafici in sistemi numerici. Questa maggiore astrazione consente di raggruppare procedure isolate in insiemi più consistenti, e quindi di creare classificazioni che si riferiscono a intere aree del sapere e non a specifici casi, il tipico caso della rappresentazione manuale. Un esempio notevole di questa generalizzazione e delle relative ricadute è dato dall'introduzione come primitiva grafica per generare curve e superfici di una espressione parametrica polinomiale chiamata *Non-Uniform Rational B-Spline* (NURBS), unificante di tutti i casi. Le NURBS sono infatti espressioni capaci di rappresentare con esattezza tanto linee luogo geometrico (come le coniche) quanto linee *free-form* definite graficamente, come i profili delle carrozzerie delle auto. Forse il modo di descrivere le coniche tramite NURBS non è il più pratico, ma:

resta il fatto, notevolissimo, che, aggiustando opportunamente i parametri, è possibile descrivere un cerchio e un profilo alare con la medesima equazione. Perciò non solo questa legge comprende molte leggi prima distinte, ma rende codificabili forme che prima erano definite “grafiche” perché potevano essere controllate solo per mezzo dell'intuizione di un bravo disegnatore: che fosse artista o tecnico del *lofting* poco importa (Migliari, 2007, p. 171).

Il metodo rappresentativo dell'architettura sviluppato digitalmente che merita maggiori attenzioni in virtù del fatto che non abbisogna di convenzioni radicalmente nuove a fronte di potenzialità enormi di crescita della qualità del processo che guida, cioè quello progettuale, e di forti capacità di generalizzazione è certamente quello basato su modelli tridimensionali. Per queste loro proprietà i modelli digitali hanno apportato un cambiamento che potremmo definire simile alla “rivoluzione tipografica” introdotta da Sebastiano Serlio e Palladio quando pensarono di comunicare l'architettura attraverso le pagine stampate di un libro (Carpo, 1998), e un successo pari a quello di quei trattati.

I caratteri cruciali che hanno sancito il successo sono essenzialmente due. Il primo consiste nella capacità di costruzione d'illusioni tridimensionali più efficaci che nel passato, in grado di

limitare enormemente la quantità di informazioni necessarie oltre alla rappresentazione per avere una descrizione accurata di un oggetto. Il secondo è dato dalla loro capacità di organizzare in modo esaustivo e accurato l'intera informazione pertinente alla costruzione di un edificio trasformando il sistema rappresentativo da semplice figurazione a "sistema conoscitivo", vale a dire in una banca dati d'informazioni spaziali, dimensionali e relazionali ben precise.

Quest'ultima proprietà, in particolare, enfatizza le capacità dei modelli di divenire veri e propri prototipi dell'oggetto da realizzare. Se in epoca preindustriale il prototipo coincideva ancora con l'oggetto finito e la simulazione era possibile solo in modo sommario, giacché i modelli fisici consentivano di esercitare solo alcuni dei caratteri propri di un sistema simulativo e in ogni caso uno per volta, l'introduzione del digitale ha permesso l'utilizzo dei modelli come sistema di prototipazione e di simulazione effettiva. E poiché, seguendo Claude Lévi-Strauss (1958), i modelli sono «sistemi di simboli che tutelano le proprietà caratteristiche dell'esperienza, ma che, a differenza dell'esperienza, abbiamo il potere di manipolare» (p. 45), manipolando i modelli digitali siamo in grado di simulare il reale mentre li costruiamo, così che, riuscendo a esaminare la reazione a certe modificazioni, possiamo parallelamente analizzare e creare iterativamente.

Riguardo alle convenzioni, la rappresentazione tramite modelli tridimensionali informatizzati comporta essenzialmente la necessità di affrontare tre tipi di questioni differenti.

La prima riguarda le transizioni da disegno 2D a modello 3D e da modello 3D a dispositivo di visualizzazione 2D a partire dalla stessa base dati. È questo un tema del tutto nuovo perché nella procedura analogica rappresentazioni diverse sono sistemi separati, prodotti indipendentemente l'uno dall'altro e iniziando sempre da zero.

La seconda tematica riguarda le convenzioni inerenti le tecniche di manipolazione dei modelli (*gestures* e interfacce), la cui dimensione immateriale definisce limiti e opportunità.

Il terzo argomento, infine, è inerente il *processing* per cui la tradizionale distinzione tra momento "autografico" e momento "al-

lografico” della rappresentazione d’architettura, spesso così sfumata nella procedura tradizionale, giunge nel digitale a una separazione completa di metodi di produzione e tecniche illustrative, a tal punto da richiedere oggi software specifici e tecniche di *mnème* completamente differenti, nonostante gli ingenti sforzi prodotti dai principali *vendors*.

Queste tre questioni, guardate complessivamente, rinviano alla necessità di approfondire e trovare soluzioni entro un ambito tematico più generale, rimasto marginalizzato nei sistemi tradizionali anche quando l’introduzione delle *maquettes* come mezzo di progetto ha provato a superare i limiti insiti nella *Scaenographia*: quello della percezione delle forme come tecnica base di controllo della progettazione. Ciò costituisce, in fondo, il sogno irrealizzato di ogni progettista di architettura, che vorrebbe sempre conoscere la costruzione ordinata prima ancora di vederla edificare, per valutarne la consistenza, la bellezza, gli aspetti di suo gusto o quelli non conformi alle proprie aspirazioni, suggerire eventuali modifiche, anticipare il futuro.

Si tratta quindi di ricercare un modo capace di rendere conto della nostra esperienza percettiva non solo da un punto di vista analitico ma anche progettuale.

##### *5. La rappresentazione come forma di conoscenza*

I paragrafi precedenti indicano chiaramente il nodo centrale della questione rappresentativa in architettura e delle sue ricadute sulla didattica: la debolezza del legame tra un sapere estremamente limitato e un saper-fare corposo e in progressiva espansione per l’accresciuta complessità operativa causata dai sistemi informatizzati.

Un obiettivo fondamentale è quindi quello di migliorare l’attuale labile connessione tra teoria e prassi, costruendo una struttura complessivamente più congruente di quella esistente.

Provare a fornire qualche apporto in questa direzione non può ridursi a ridiscutere i termini del problema così come è stato

posto fino a oggi, sia per la limitatezza dell'apparato teorico originario che impedisce sviluppi concreti, sia perché il passaggio ai sistemi digitali come strumento preponderante ha spostato i termini del discorso verso la necessità di inquadrarne i termini entro visioni più ampie e generali.

In questa direzione l'ipotesi di lavoro qui proposta è quella di considerare la rappresentazione come una forma di conoscenza. Il campo di riferimento è quello, oggi "hot", delle neuroscienze, in particolare della neuroestetica, ricordando tuttavia la già citata differenza tra pittura e disegno di architettura.

Il riferimento è la nota tesi formulata tra gli altri anche da Semir Zeki (1993), il papà della neuroestetica, secondo la quale il cervello ha un compito fondamentale, «l'acquisizione della conoscenza del mondo» (p.24), cioè delle caratteristiche specifiche e stabili di ciò che ci circonda, null'altro che ciò che gli permette di ordinare gli oggetti per categorie: «The brain is only interested in obtaining knowledge about those permanent, essential, or characteristic properties of objects and surfaces that allow it to categorize them» (Zeki, 1999b, p. 26).

Questo è quanto viene svolto anche dal processo della visione che, come spiega lo stesso Zeki in *The inner vision* (1999b), è oggi intesa come un processo attivo in cui il cervello, nella sua ricerca di conoscenza del mondo visivo, opera una scelta tra tutti i dati disponibili e, confrontando l'informazione selezionata con i ricordi immagazzinati, genera l'immagine visiva. Tale modo operativo è possibile grazie al fatto che la parte del cervello che si occupa dell'elaborazione visiva consiste di molte aree differenti, funzionalmente specializzate e topograficamente distinte, ciascuna delle quali elabora e percepisce un differente attributo della scena visiva.

Ne emerge un quadro per cui i nostri processi cognitivi corrispondono a una serie di *task* ben specializzati e chiaramente identificabili. Sfruttando i sistemi computazionali, caratterizzati da logiche di base simili, è quindi possibile la ricostruzione dei processi cognitivi visivi in forma di sistema rappresentativo. Ciò non solo favorisce i processi di riconoscimento, selezione e classificazione, cioè quelli che ci permettono di generare e accumulare conoscen-

za, ma permette anche un rapido sviluppo di percorsi didattici generali e facilmente assimilabili.

Un secondo riferimento fondamentale del nostro costrutto di rappresentazione come forma di conoscenza è nel lavoro che David Marr scrive 10 anni prima di *The Inner Vision* di Zeki (Stevens, 2012). Marr descrive la visione come un «complex information-processing system», il cui scopo è rivelare «what is present in the world, and where it is» (Marr, 1982, p.76). L'input di questo processo è un'immagine bidimensionale (la luce che entra nella retina) e l'output è la percezione del mondo tridimensionale.

Operativamente, per Marr, la decodifica di una scena avviene tramite una sequenza di rappresentazioni a livello simbolico crescente, progredendo da uno «schizzo primitivo» dell'immagine retinica, composto da primitive visive come bordi, linee e aree, a uno «schizzo  $2^{1/2}D$ » dove queste primitive sono ulteriormente elaborate e includono un'indicazione di profondità relativa all'osservatore, fino a riconoscere oggetti 3D e scene alla fine del processo.

Più estesamente, integrando la teoria di Marr con i contributi successivi, i livelli di questa elaborazione possono essere classificati come visione precoce, intermedia e tardiva. La visione precoce estrae elementi semplici dall'ambiente visivo, come colore, luminanza, forma, movimento e posizione (Livingstone, 2002).

La visione intermedia isola alcuni elementi e raggruppa gli altri per formare regioni coerenti in quella che altrimenti sarebbe una matrice sensoriale caotica e aggressiva (Biederman & Cooper, 1991). La visione tardiva seleziona queste regioni coerenti e le raffronta coi ricordi al fine di riconoscere gli oggetti e i significati a essi connessi (Farah, 2000).

Nella teoria dello «schizzo» di Marr la percezione della complessità visiva è quindi una funzione di primitive visive. Più primitive e più tipi di primitive generano una maggiore complessità visiva. Per questo, più grande e complesso è l'oggetto selezionato, più la percezione umana rileva solo le variazioni rilevanti, standardizzando quelle meno importanti. In questo modo essa può mantenere bassa e costante la complessità della rappresentazione. Questa osservazione spiega una fondamentale proprietà del dise-

gno architettonico. Un *wireframe* 2D è facilmente comprensibile se realizzato utilizzando un insieme limitato di primitive. Quando il numero di primitive aumenta la comprensione dei disegni diventa progressivamente più complessa. Così, quando produciamo una nuova rappresentazione, inconsciamente tendiamo a produrre l'artefatto comunicativo cercando di mantenere una complessità bassa e costante, così da non creare sovraccarico percettivo sia in chi realizza la rappresentazione, sia in chi la deve osservare.

Infine, il sistema computazionale di Marr si basa su alcune ipotesi relative alla natura dell'elaborazione biologica dell'informazione: la separabilità delle strategie computazionali; la separabilità delle rappresentazioni; una filiera semplice dell'elaborazione delle informazioni; nonché il già citato impiego prioritario di primitive a bassa dimensionalità nelle rappresentazioni. Queste caratteristiche rendono il *framework* sviluppato dal neuroscienziato inglese particolarmente adatto ad essere implementato come schema-base di sistemi che rappresentano oggetti complessi come quelli dell'architettura. Infatti, la logica computazionale di Marr consente il facile sfruttamento non solo della visione di basso livello (il solito obiettivo del disegno *wireframe*, spesso troppo semplificato per gli oggetti complessi), o della visione di alto livello (l'obiettivo del rendering fotorealistico, assai oneroso da realizzare in forma completa), ma anche della visione di medio livello, soluzione di grande interesse per la rappresentazione dell'architettura, in quanto consente di codificare e quindi riconoscere un numero sufficiente di specifiche dell'oggetto tali da evitare situazioni equivocate e, al tempo stesso, un'elaborazione relativamente semplice e poco onerosa.

Quindi, ponendo alla base il pensiero di Marr, è possibile rileggere l'intero sistema rappresentativo dell'architettura, ridefinirne teoria, prassi e i modi della loro integrazione e, infine, trarre indicazioni didattiche.

Una volta chiarite la portata e le ricadute della tesi secondo la quale la visione ha come scopo primario l'acquisizione della conoscenza del mondo, è possibile far rilevare senza perdita di efficacia, come una tale idea non sia nata con le neuroscienze bensì



sia un'affermazione ben radicata nella cultura occidentale. La possiamo infatti ritrovare in uno scritto di Aristotele che, peraltro, la pone già in linea con quanto tracciato in questo scritto, sottolineando il primato del senso della vista:

Tutti gli uomini sono protesi per natura alla conoscenza: ne è un segno evidente la gioia che essi provano per le sensazioni, giacché queste, anche se si metta da parte l'utilità che ne deriva, sono amate di per sé, e più di tutte le altre è amata quella che si esercita mediante gli occhi. Infatti, noi preferiamo, per così dire, la vista a tutte le altre sensazioni, non solo quando miriamo ad uno scopo pratico, ma anche quando non intendiamo compiere alcuna azione. E il motivo sta nel fatto che questa sensazione, più di ogni altra, ci fa acquistare conoscenza e ci presenta con immediatezza una molteplicità di differenze (Aristotele, 1988, p. 3).

Questo passo rimane noto nei secoli successivi ed è popolare nei circoli culturali del Rinascimento italiano. Uno dei suoi principali lettori è Leonardo da Vinci, che era uso alla lettura di Aristotele, come indica la presenza nella sua biblioteca personale di versioni tradotte degli scritti del filosofo greco. Annotazioni che si riferiscono alle opere di Aristotele sono poi contenute nel *Manoscritto M* (Venerella, 1999-2007), e troviamo in particolare un riferimento diretto al citato passo della *Metafisica* in una nota del foglio K/P 144 v, oggi al Castello di Windsor di Londra, in cui Leonardo fornisce alla dottrina aristotelica una dimensione operativa, «Adunque [per conoscere] è necessario figurare e descrivere»<sup>5</sup>. Questo principio coniuga esperienza ed elaborazione teorica, ed è formalizzato da Leonardo tramite un circuito concettuale così schematizzabile:

REALTÀ  
OCCHIO  
MENTE

<sup>5</sup> Royal Library, Windsor, Fol. RL 19013v, K/P 144 v, Nota I.

ELABORAZIONE ATTRAVERSO LA SCIENZA DELLA  
PITTURA  
OCCHIO  
MENTE  
REALTÀ

Questa procedura è chiamata da Leonardo “esperienza” del mondo intorno a lui «acquisito attraverso i sensi» ed è stato il suo punto di partenza per una nuova comprensione.

Essa si basa sul consueto *framework* di rappresentazione bidimensionale di oggetti tridimensionali, ma è inserita in un contesto più generale in cui la rappresentazione è posta come mezzo cognitivo di base. Il *processing* relativo, così come concepito da Leonardo, consiste in una miriade di procedure elementari organizzate semanticamente, completamente in linea con il *processing* tracciato dalle neuroscienze odierne seguendo il “principio del progetto modulare” di Marr (1976): «any large computation should be split up and implemented as a collection of small sub-parts that are as nearly independent of one another as the overall task allows» (p. 485). Per questo il modo di Leonardo per produrre conoscenza rappresenta un fondamento ideale in un'epoca in cui i mezzi computazionali impongono l'utilizzo di questo tipo di strategie, permettendo nel contempo di sfruttare pienamente il connubio sapere e saper fare.

Individuato il metodo, occorre infine interrogarsi, in primo luogo, su come declinarlo per creare un sistema complessivo capace non solo di ricomprendere il disegno, le *maquettes* e la fotografia, ma soprattutto di indirizzare le emergenti tecniche digitali per supportare pienamente le nostre capacità di percezione. In secondo luogo, su come far evolvere l'attuale sistema didattico per renderlo portatore della visione e del *processing* riferibili al circuito concettuale di Leonardo. Nel prossimo paragrafo ci concentreremo proprio su quest'ultimo aspetto.

*6. Rappresentazione e didattica: sapere e saper fare*

Porre il circuito concettuale proposto da Leonardo a base di un sistema didattico richiede, innanzitutto, di affrontare il problema relativo all'approccio metodologico generale di riferimento. Fortunatamente è Leonardo stesso a trarci d'impaccio coi suoi manoscritti. Essi mostrano chiaramente come il suo *workflow* sia inscritto in una logica di formazione del sapere "induttiva" che lo ricostruisce a partire dall'esperienza pratica, completamente in linea col modo consueto delle arti e quindi anche dell'architettura, in cui la dimensione esperienziale è fondamentale, mentre la ricostruzione di regole generali è assai problematica.

Questa logica "induttiva" non corrisponde alla strutturazione odierna del sistema didattico delle scuole di architettura che, al pari del resto dell'università italiana, si è andata tradizionalmente organizzando attraverso la segmentazione in senso verticale degli insiemi di conoscenze e competenze relativi a ciascun ambito. Un'impostazione che ha reso quasi esclusivo per ogni disciplina l'"approccio deduttivo" al sapere.

Basare la formazione sull'approccio deduttivo significa conferire una struttura frazionata, lineare e sequenziale, che pone tutti i contenuti teorici, il sapere, alla base del processo di formazione e lascia i contenuti tecnico applicativi, il saper fare, alla fine di tale processo, o addirittura rinviandoli al momento dell'inserimento degli individui nel mondo del lavoro. Questo è quanto è accaduto anche per la rappresentazione, in cui sapere e saper fare sono stati concepiti come due dimensioni conoscitive completamente separate. La seconda, inoltre, ha assunto un ruolo secondario e così, spesso, l'insegnamento del saper fare è venuto meno. Ciò è ben esemplificato da quanto accade oggi per la rappresentazione digitale della quale, al termine degli studi, gli studenti non hanno appreso alcuna nozione. Di contro, il suo apprendimento è divenuto un requisito stringente del mondo lavorativo, cosicché per acquisirla in qualche modo vi si accostano autonomamente, semplicemente imparando i comandi di questo o quel software e pre-

scindendo da qualsiasi forma strutturata di conoscenza necessaria ad una comprensione consapevole.

Inoltre, ponendo in primo piano l'idea di rappresentazione come forma di conoscenza – la nostra ipotesi di lavoro – va in crisi l'efficacia didattica di un approccio deduttivo a vantaggio dell'adozione di un approccio induttivo. Il primo, infatti, si basa su una logica che va dal sapere al saper fare attraverso processi di applicazione di conoscenze di tipo dichiarativo; il secondo si basa sulla logica inversa attraverso una ricombinazione generativa di conoscenze di tipo dichiarativo, procedurale e condizionale (Boscolo, 2006). Recuperare l'approccio di tipo induttivo (coerente col metodo leonardiano) è quindi l'ipotesi di lavoro di base per costruire un sistema didattico capace di compenetrare sapere e saper fare per la rappresentazione dell'architettura.

In questo contesto metodologico va inserita anche la questione degli strumenti informatizzati, non un mero accidente, ma un potente mezzo capace di introdurre generalizzazioni basate sul processo rappresentativo e non più sul risultato della rappresentazione, come avviene nel caso del disegno per piante, prospetti e sezioni. Questo aspetto è stato ben tratteggiato già oltre 30 anni fa da vari autori in un memorabile numero della rivista "Rassegna" sulla Scuola di Ulm. Faceva notare Maldonado (1984), che di quella Scuola fu Rettore, come il computer mancava solo come presenza fisica, non certo come presenza virtuale preconizzata:

nel nostro metodologismo ad oltranza [...] c'erano anche intuizioni "forti", intuizioni che lo sviluppo della tecnologia informatica, soprattutto dal 1963 in poi, ha confermato ampiamente. Non c'è dubbio, ad esempio, che l'idea di arrivare a una sorta di simbiosi tra "calcolo" e "graficazione" nel processo di risoluzione dei problemi, da molti di noi caldeggiata negli anni '50, è alla base dell'attuale utilizzo, sempre più diffuso, dell'"informatica grafica" (p. 5).

Riccardo Migliari (2002), inoltre, in uno scritto di qualche anno fa relativo allo specifico campo delle applicazioni della geometria descrittiva di cui è stato uno dei maggiori studiosi contemporanei del nostro Paese, scriveva a proposito della capacità da parte

dei sistemi computazionali di introdurre generalizzazioni basate sul processo rappresentativo:

Queste applicazioni [di geometria descrittiva] comprendono per consolidata tradizione: la teoria e le applicazioni delle ombre e del chiaro-scuro, lo studio dei poliedri, la stereotomia, ovvero il taglio delle pietre e dei legnami, il disegno (ma bisognerebbe dire il progetto) degli ingranaggi, il disegno dell'ordine architettonico e la prospettiva (piana e solida). Ebbene, l'inclusione dei metodi matematico e numerico tra i metodi di descrizione della forma, porta alla nascita di nuove applicazioni, proprie dei metodi di rappresentazione informatica, come sono, ad esempio, le tecniche che consentono di imporre continuità alle superfici, ma porta, altresì, all'arricchimento delle applicazioni tradizionali con esperienze del tutto nuove (p. 7).

È infine l'impiego dei modelli tridimensionali digitali che per la prima volta dai tempi di Vitruvio ha posto l'attenzione sulla strutturazione dell'oggetto piuttosto che sui metodi della sua proiezione sul foglio di carta. Tema tradizionale, questo, affrontato da testi teorici, dal *De pictura* di Leon Battista Alberti, fino alla *Scienza della Rappresentazione* di Mario Docci e Riccardo Migliari (1992).

Molti intendono liquidare il problema della formazione ai saperi e al saper fare relativi ai modelli tridimensionali digitali dell'architettura, riducendolo a quello dell'insegnamento delle conoscenze legate alle tecnologie informatiche abilitanti. È facile rilevare come questa soluzione sia del tutto inadeguata per un tema che necessita di una capacità manuale e di visione spaziale formidabili:

La costruzione di questi modelli, che chiamiamo “informatici” – ricorda ancora Migliari (2002) – non è affatto automatica, essa ha origine nel pensiero del progettista ed è controllata dalla sua abilità di plasmare le forme tridimensionali dell'architettura e di comporle insieme (p. 7).

Tracciare un programma per la didattica della rappresentazione tramite modelli significa quindi predisporre un programma di tipo induttivo, in cui reputo vi siano quattro temi fondamentali:

- il rapporto virtuale/materiale, ovvero la relazione tra modello fisico (*maquette*, fotografia, ma anche semplice grafia) e modello digitale (riallacciandosi alla questione dei modelli in senso lato);
- il rapporto uomo/tecnologia, ovvero il suo impiego come strumento attivo per il progetto;
- il rapporto metrico/percettivo, ovvero il problema della forma rappresentativa utilizzata per progettare;
- il rapporto progettista/interfaccia, ovvero la questione strumenti per rappresentare e del loro impiego come *tools* per il progetto.

Questo programma didattico pone immediatamente un problema pratico: la necessità di laboratori strumentali, in grado di fornire il substrato operativo e manuale all'approccio teorico e nozionistico, e supportare l'approccio induttivo.

Qualche anno fa durante la mia presenza presso la Facoltà del Design al Politecnico di Milano ho provato a fornire risposta a questo problema progettando una nuova forma laboratoriale, che nell'esperienza milanese è stata chiamata di *Reverse Modeling & Virtual Prototyping* (Gaiani, 2007). Questa realtà si proponeva come un insieme di spazi, attrezzature e risorse la cui funzionalità di base consisteva nel fornire tutti gli strumenti necessari alla formazione nel processo di progettazione e definizione del prototipo digitale, servendosi di sistemi a iconicità e ergonomia crescente, cioè con maggiore capacità di interazione percettiva rispetto agli strumenti tradizionalmente impiegati. L'idea di un laboratorio di prototipazione digitale è differente da quella di un'aula didattica con computer in cui si possono tenere lezioni, ma anche da quella di una *virtual room* (il luogo per la visualizzazione dei prototipi codificato dall'industria informatica): in un'aula informatizzata è il computer o l'utilizzo di un singolo software l'oggetto dell'insegnamento, non il processo di produzione del progetto dell'oggetto; in una *virtual room* si osserva un oggetto passivamente, non lo si crea, raramente lo si manipola, e anche quando lo si

fa la modificazione è marginale. Il Lab di *Reverse Modeling & Virtual Prototyping* si proponeva di superare questi limiti per porre al centro il *processing* rappresentativo come strumento-base della progettazione.

Oggi, quasi 20 anni dopo, di fronte al cambiamento del paradigma computazionale verso sistemi *mobile*, in presenza di una connettività *everywhere* ed *everytime* e una serie di specifiche *app*, questa forma laboratoriale andrebbe nuovamente ripensata sia in termini di organizzazione spaziale sia in termini di flussi lavorativi, ma la validità del concetto-base permane.

Per concludere, reputo importante qualche nota sulle forme espositive e gli strumenti letterari di supporto alla didattica.

A oltre 30 anni dalla nascita dei primi modellatori tridimensionali il principale mezzo di apprendimento è il tutorial basato sui comandi di uno specifico software. Si tratta di uno strumento fortemente limitato poiché produce un sapere di breve durata, strettamente connesso ad una specifica interfaccia e a una data versione del programma, incapace di creare un flusso di lavoro per risolvere un dato problema progettuale e di creare un sapere e non solo un mero saper fare. Oltre al tutorial persiste solo la consueta tecnica base nell'insegnamento del disegno, cioè la sua simulazione tra foglio e matita, o tra lavagna e gesso, che, se era appropriata per insegnare le tecniche di *drafting* 2D manuali, perché ne replicava la *mnème*, risulta fortemente marginale per spiegare saperi legati ai modelli, per diversità sia del mezzo sia della simulazione.

Appare chiaro quindi come urgano forme espositive nuove e appropriate. In questa direzione gli sforzi compiuti negli ultimi anni dai grandi produttori di software sono stati ingenti. Tuttavia, essi non sono riusciti a centrare il focus fondamentale: sviluppare le quattro indicazioni programmatiche precedenti e porre alla base della formazione l'esplicitazione dei concetti generali sottesi alle procedure, giacché questo è il sapere stabile e fondativo sia della disciplina sia del software. Se infatti l'interfaccia finale del sapere cambia per differenti produttori di software e nel tempo, tuttavia i concetti-base su cui si fonda tale sapere sono radicati. Si pensi al fatto che la geometria-base dei modellatori è quella già definita

oltre 40 anni fa. I sistemi di *rendering* più evoluti sfruttano algoritmi e tecniche sviluppati negli anni Ottanta.

Rimane ora da inquadrare un ultimo problema: quale forma espositiva per questi concetti generali?

La forma più diffusa di trasmissione dei saperi delle discipline rappresentative è data tradizionalmente da una folta schiera di manuali (Bertocci & Bini, 2012; Cundari, 2006; Docci, 2005; Docci & Maestri, 2009; Docci & Mirri, 1989). La motivazione principale è rintracciabile nella definizione stessa di manuale, come opera che compendia gli aspetti essenziali di una determinata disciplina o di un argomento, generalmente in funzione delle esigenze divulgative o didattiche del pubblico al quale è destinata (Vigini, 1985). Questa forma organizzativa ed espositiva ben compensa il problema che nasce dalla dissonanza tra povertà teorica di base e necessità di corpose spiegazioni pratiche e operative. L'etimologia del termine "manuale" poi rende conto bene di un altro motivo del successo: "manuale" è la traduzione del greco *ἐνχειρίδιον* che indica un oggetto da tenere a portata di mano, e così è per i saperi del disegno che sono i mezzi che permettono di realizzare il progetto e che quindi devono essere sempre a portata di mano per evitare incompletezze comunicative e mancanza di chiarezza del pensiero creativo.

Appare chiaro come questa sia la prima strada da sondare alla ricerca di una forma espositiva adeguata per il *computer-based representation learning*. Anche chi ha sostenuto che la rappresentazione sia una scienza dotata di una teoria autonoma non ha mai avuto dubbi sulla forma espositiva appropriata. A questo proposito scriveva infatti Riccardo Migliari (2007) solo pochi anni addietro, riferendosi alla necessità di integrazione del disegno digitale ai saperi tradizionali: «Eppure, a tutt'oggi, [...] non esiste un manuale di riferimento che possa aprire la via ad un nuovo assetto della disciplina. Forse è proprio questo, invece, l'obiettivo che dovremmo raggiungere, lavorando insieme» (p. 171).

Partendo da questa ipotesi di lavoro, nell'ultimo ventennio mi sono impegnato, assieme ai miei gruppi di ricerca, nella redazione e pubblicazione di una serie di testi che potremmo definire "gene-



ricamente didattici” del disegno per il *design*, l'architettura e la conservazione del Patrimonio, che sfruttano ancora la formale manualistica e che costituiscono un tentativo di affrontare il tema di fondo: che cos'è un manuale alle soglie del terzo millennio, e soprattutto come può articolarsi un manuale che si occupa di argomenti il cui *corpus* è in continua evoluzione, quali sono quelli relativi alla rappresentazione informatizzata? Gli argomenti affrontati, dalle metodologie di digitalizzazione dei giacimenti documentali storici, al *design* delle superfici, ai metodi di acquisizione 3D, alle tecniche di prototipazione virtuale, si pongono come il tentativo di descrivere il processo di produzione e di rappresentazione del progetto nell'era digitale dal punto di vista del progettista e non dello sviluppatore, cioè oltre la semplice prospettiva del manuale dei comandi del *software* (Brevi, 2004; Gaiani, 2003; 2006; 2015; Gaiani & Beltramini, 2003; Gaiani, Benedetti & Remondino, 2010; Guidi & Beraldin, 2004).

Questi volumi, riguardati a qualche anno dalla loro stampa, se da un lato mostrano una forma compiuta di descrizione del sapere, dall'altro lato evidenziano carenze che mostrano possibili sviluppi: costruzione di percorsi individuali, compresenza di contenuti multimediali di natura diversa capaci di illustrare nella forma iconica più appropriata contenuti sia 2D sia 3D, annotazione dinamica (quanti di noi annotano a matita per poter cancellare e riannotare), creare legami tra differenti parti del testo e tra volumi differenti, autovalutare la comprensione dei contenuti. La strada è tracciata ed esistono ormai i primi esempi di piattaforme on-line che vanno in questa direzione (ne è un esempio l'edizione digitale di *Scienza del disegno*, Docci, Gaiani & Maestri, 2017) tuttavia il più resta da fare. Questo è il lavoro che ci attende.

### Bibliografia

- Ackerman J.S. (1972). *Andrea Palladio*. Torino: Einaudi.  
Ackerman J.S. (2000). Conventions in Architectural Drawing, North and South, 1220-1550. In M. Seidel (a cura di), *L'Europa e l'arte ita-*

- liana. *Per i cento anni dalla fondazione del Kunsthistorisches Institut in Florenz* (pp. 221-235). Atti del convegno internazionale (Firenze 22-27 settembre 1997), Venezia.
- Ackemann J.S. (2003). Convenzioni e retorica nel disegno architettonico. In J.S. Ackerman (a cura di), *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gebry* (pp. 248-269). Milano: Electa. (I ed. *Origins, Imitations, Conventions*, MIT Press, 2002).
- Ackerman J.S. (2003). Le convenzioni del disegno nel tardo Gotico e nel primo Rinascimento. In J.S. Ackerman (a cura di), *Architettura e disegno. La rappresentazione da Vitruvio a Gebry* (pp. 45-61). Milano: Electa. (I ed. *Origins, Imitations, Conventions*, MIT Press, 2002).
- Alberti L.B. (1485). *De re aedificatoria*. Firenze.
- Aristotele (1988). *Metafisica*. (Trad. di A. Russo), Bari: Laterza.
- Beltramini G., & Burns H. (2008) (a cura di). *Palladio* (catalogo della mostra). Venezia: Marsilio Editori.
- Bertocci S., & Bini M. (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Milano: Città Studi Edizioni.
- Biederman I., & Cooper E.E. (1991). Priming contour deleted images: evidence for intermediate representations in visual object recognition. *Cognitive Psychology*, 23, 393-419.
- Boscolo P. (2006). *Psicologia dell'apprendimento scolastico. Aspetti cognitivi e motivazionali*. Torino: UTET Università.
- Bosse A. (1648). *Manière universelle de Mr. Desargues pour pratiquer la perspective par petit-pied, comme le Geometral*. Parigi.
- Brevi F. (2004). *Il design delle superfici*. Milano: Edizioni Polidesign.
- Burns H. (1975) (a cura di). *Andrea Palladio 1508-1580. The Portico and the Farmyard* (catalogo della mostra). Londra: Arts Council of Great Britain.
- Burns H. (2000). Andrea Palladio (1508-1580): la creazione di un'architettura sistematica e comunicabile. In G. Beltramini & P. Guidolotti (a cura di), *Andrea Palladio: atlante delle architetture* (pp. 35-45). Venezia: Marsilio.
- Carpo M. (1998). *L'architettura dell'età della stampa. Oralità, scrittura, libro stampato e riproduzione meccanica dell'immagine nella storia delle teorie architettoniche*. Milano: Jaca Book.
- Cundari C. (2006). *Il disegno. Ragioni, fondamenti, applicazioni*. Roma: Edizioni Kappa.
- de Honnecourt V. (1225/1235). *Livre de Portraiture*. Bibliothèque Nationale de France, fr. 19093.

- Di Teodoro F.P. (2002). Vitruvio, Piero della Francesca, Raffaello: note sulla teoria del disegno di architettura nel Rinascimento. *Annali di architettura, rivista del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio di Vicenza*, 14, 35-54.
- Docci M. (2005). *Manuale di disegno architettonico*. Roma-Bari: Laterza Edizioni Scolastiche.
- Docci M., Gaiani M., & Maestri D. (2017). *Scienza del disegno*. Milano: Città Studi Edizioni, seconda edizione. [www.pandoracampus.it/store/details/10.978.8825/175080](http://www.pandoracampus.it/store/details/10.978.8825/175080) ISBN: 9788825175080.
- Docci M., & Maestri D. (2009). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Roma-Bari: Laterza.
- Docci M., & Migliari R. (1992). *Scienza della rappresentazione*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.
- Docci M., & Mirri F. (1989). *La redazione grafica del progetto architettonico*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.
- Farah M.J. (2000). *The Cognitive Neuroscience of Vision*. Hoboken, New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Gaiani M. (2003) (a cura di). *Metodi di Prototipazione Digitale e Visualizzazione per il Disegno Industriale*. Milano: Edizioni POLI.design.
- Gaiani M. (2006) (a cura di). *La rappresentazione riconfigurata: un viaggio lungo il processo di produzione del progetto di disegno industriale*. Milano: Edizioni POLI.design.
- Gaiani M. (2007). La rappresentazione riconfigurata: modelli dal design all'architettura per un nuovo processing e una nuova didattica. In *De amicitia - XXVIII Convegno internazionale delle discipline della rappresentazione – relazioni e contributi* (pp. 116-136). Genova: Graphic Sector editore.
- Gaiani M. (2015) (a cura di). *I portici di Bologna - Architettura, modelli 3D e ricerche tecnologiche*. Bologna: Bononia University Press.
- Gaiani M., & Beltramini G. (2003) (a cura di). *Una metodologia per l'acquisizione e la restituzione dei giacimenti documentali dell'architettura - I materiali per lo studio di Andrea Palladio*. Milano: Edizioni POLI.design.
- Gaiani M., Benedetti B., & Remondino F. (2010) (a cura di). *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*. Pisa: Edizioni della Normale. ISBN 978- 88-76423536.
- Gaiani M., & Slossel S. (2005). Andrea Palladio e il suo mito: tre secoli di disegni di architettura palladiana a Vicenza. *Ikhnos*, III, 41-92.

- M. Vitruvius per *Jocundum solito castigatior factus cum figuris et tabula...*, Venezia, G. da Tridentino, 1511, 9-10.
- Gombrich E. (1965). *Arte e illusione. Studio sulla psicologia della rappresentazione pittorica*. Torino: Einaudi, 35.
- Guidi G., & Beraldin J.-A. (2004). *Acquisizione 3D e modellazione poligonale: dall'oggetto fisico al suo calco digitale*. Milano: Edizioni POLI.design.
- Laurel B.K. (1991). *Computers as Theatre*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing.
- Lévi-Strauss C. (1958). *Anthropologie structurale*. Paris: Plon.
- Livingstone M. (2002). *Vision and Art: The Biology of Seeing*. New York: Abrams.
- Maldonado T. (1984). Ulm rivisitato. *Rassegna*, 19(5).
- Maldonado T. (1987). Questioni di similarità. *Rassegna*, 32.
- Marr D. (1976). Early processing of visual information. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 275, 483-524.
- Marr D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Migliari R. (2002). *Modelli grafici e modelli informatici per l'architettura. Corso di Scienza della Rappresentazione*. Roma: Kappa.
- Migliari R. (2007). Per una geometria descrittiva attuale. In *De amicitia - XXVIII Convegno internazionale delle discipline della rappresentazione - relazioni e contributi* (pp. 169-181). Genova: Graphic Sector editore.
- Millon H.A. (1994). I modelli architettonici nel Rinascimento. In H.A. Millon & V. Magnago Lampugnani (a cura di), *Rinascimento da Brunelleschi a Michelangelo* (pp. 19-73). Milano, catalogo della mostra (Venezia, Palazzo Grassi, 31 marzo - 6 novembre 1994).
- Monge G. (1796). *Géometrie Descriptive - Leçons données aux écoles normales l'an 3 de la République*. Parigi: J.M. Hachette (redazione).
- Pacciani R. (1987). I modelli lignei nella progettazione rinascimentale. *Rassegna*, 32, 6-19.
- Palladio A. (1570). *I Quattro libri dell'architettura*. Venezia: de' Franceschi.
- Pohlke K.W. (1860). *Darstellende Geometrie*. Berlin.
- Polato P. (1991). *Il modello nel design*. Milano: Hoepli.
- Puppi L., & Battilotti D. (2006). *Andrea Palladio*. Milano: Electa.
- Quaroni L. (1977). *Progettare un edificio - Otto lezioni di architettura*. Milano: Mazzotta, 150-151.
- Quatremère de Quincy A.C. (1823). *Essai sur la nature, le but et les modes de l'imitation dans les Beaux-Arts*. Parigi. Ristampa anastatica (1980), Bruxelles: AAM, 262.

- Schwartz H.A. (1864). Elementarer Beweis des Pohlkeschen Fundamentalsatzes der Axonometrie. *Crelle's Journal*, LXIII, 309-314.
- Stevens K.A. (2012). The vision of David Marr. *Perception*, 41(9), 1061-1072.
- Stiny G., & Mitchell W.J. (1979). The Palladian grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 5, 5-18.
- Stirling J. (1992). L'architettura in un'epoca di transizione, intervista di E. Morteo a James Stirling. *Domus*, 741.
- Thoenes C. (1993). Vitruv, Alberti, Sangallo. Zur Theorie der Architekturzeichnung in der Renaissance. In A. Beyer, V. Lampugnani & G. Schweikhart (eds.), *Hülle und Fülle: Festschrift für Tilmann Buddensieg* (pp. 565-584). Alfter: VDG, Verlag und Datenbank für Geisteswissenschaften.
- Thoenes C. (1998). Vitruvio, Alberti, Sangallo. La teoria del disegno architettonico nel Rinascimento. In AA. VV., *Sostegno e adornamento. Saggi sull'architettura del Rinascimento: disegni, ordini, magnificenza* (pp. 161-175). Milano: Electa.
- Vecera S.P., & Behrmann M. (1997). Spatial attention does not require preattentive grouping. *Neuropsychology*, 11, 30-43.
- Venerella J. (1999-2007). *The manuscripts of Leonardo da Vinci in the Institut de France*. Milano: Ente Raccolta Vinciana, 12 volumi.
- Vigini G. (1985). *Glossario di biblioteconomia e scienza dell'informazione*. Milano: Editrice Bibliografica, 70.
- Vitruvio Pollio M. (1997). *De Architectura*. (Ed. critica a cura di P. Gros), Torino: Einaudi.
- Zeki S. (1993). *A Vision of the Brain*. Oxford: Blackwell.
- Zeki S. (1999a). Art and the Brain. *Journal of Consciousness Studies: Controversies in Science & the Humanities*, 6(6-7), 76-97.
- Zeki S. (1999b). *Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain*. Oxford: Oxford University Press.