



### Alberto Sdegno

Professore associato di disegno presso l'Università di Trieste, dove insegna Rappresentazione dell'architettura, Disegno digitale e Tecniche di rilievo avanzato e modellazione plastica. È coordinatore del Corso di laurea magistrale a ciclo unico in Architettura e vice coordinatore del Dottorato di ricerca in Ingegneria civile-ambientale e architettura. Svolge attività di ricerca e didattica nel campo del disegno e del rilevamento dell'architettura.

## Computer Aided Architecture: origini e sviluppo

### *Computer Aided Architecture: origins and development*

Il saggio affronta la nascita del CAD (Computer Aided Design) in rapporto alle tematiche di carattere architettonico (Computer Aided Architectural Design). Lo stretto legame tra CAAD e futuro BIM (Building Information Modeling) consente di chiarire i presupposti che hanno reso possibile la diffusione del BIM come standard di riferimento. In particolare vengono analizzate alcune ricerche degli anni '70 di Charles Eastman, e presentate considerazioni di rilievo della storia dell'informatica grafica e dell'architettura, tra cui quelle di Ivan Sutherland, Steven Coons, Nicholas Negroponte, Christopher Alexander, Douglas Engelbart, William Mitchell, Warren Chalk, Mario Carpo, Jean Nouvel.

Sono poi citati alcuni sistemi che hanno anticipato il BIM, tra cui il Building Description System (BDS), lo General Space Planner (GSP), il COPLANNER, l'URBAN5, il Building Optimization Program (BOP), il BUILD.

*The essay deals with the birth of CAD (Computer Aided Design) in relation to topics of architecture (Computer Aided Architectural Design). The close link between the themes of CAAD and future BIM (Building Information Modeling) can clarify the conditions that have made possible the spread of BIM as a reference standard. We shall both consider research by Charles Eastman in the 1970s, and describe relevant considerations concerning the history of computer graphics and the architectural design, by Ivan Sutherland, Steven Coons, Nicholas Negroponte, Christopher Alexander, Douglas Engelbart, William Mitchell, Warren Chalk, Mario Carpo, Jean Nouvel.*

*There are many systems that have anticipated the BIM, such as the Building Description System (BDS), the General Space Planner (GSP), the COPLANNER, the URBAN5, the Building Optimization Program (BOP), the BUILD.*

**Parole chiave:** architettura, modellazione, BIM, CAAD, disegno

**Keywords:** architecture, modeling, BIM, CAAD, drawing

## ORIGINI

“La premessa fu sviluppare un database informatizzato per consentire una descrizione geometrica, spaziale e relativa alle proprietà, di un numero elevato di elementi fisici, disposti nello spazio e ‘collegato’ come fosse in un edificio reale. Concettualmente, il modello sarebbe simile a un modello di legno di balsa, ma con maggiore dettaglio.”<sup>1</sup> Con queste laconiche parole viene sintetizzata una delle più interessanti ipotesi di ricerca sul tema delle relazioni tra architettura e informatica, registrata nel settembre 1974 all’Institute of Physical Planning della Carnegie-Mellon University. Si tratta della formulazione di un sistema di descrizione degli edifici (Building Description System, o BDS) da cui prese piede la sperimentazione che condusse all’attuale definizione del protocollo BIM (Building Information Modeling). A scrivere quel rapporto era un team diretto da Charles M. Eastman finanziato dalla National Science Foundation e – come spesso avveniva in quel periodo – dall’A.R.P.A. (Advanced Research Projects Agency) del Ministero della Difesa degli Stati Uniti. Sebbene l’architettura fosse entrata fin dai primi anni ’60 in contatto con i sistemi di rappresentazione digitale – il sistema di disegno computerizzato Sketchpad presentato da Ivan Sutherland nel 1963<sup>2</sup> presso il Massachusetts Institute of Technology (Fig. 1) utilizzava già, nella sua formulazione tridimensionale, alcuni schemi sintetici di volumi di edifici<sup>3</sup> – in questo caso si comincia a intuire la reale potenzialità di un sistema integrato di controllo della fase progettuale, che vede al centro proprio il modello matematico/numerico al quale sono associate varie informazioni che amplificano le potenzialità dell’oggetto.

Il ruolo del disegno, quindi, sarebbe ben presto mutato, in favore di una maggiore automazione della rappresentazione del modello: “In futuro – si legge ancora nel rapporto – ci aspettiamo di focalizzare l’attenzione sulla composizione automatica di disegni architettonici di alta qualità. Tra i problemi che ci proponiamo di investigare vi sono i metodi automatici di dimensionamento e determinazione automatica dello spessore e del tipo delle linee. Anticipiamo che i disegni non saranno generati da una vista prospettica con il punto di vista all’infinito ma da sezioni a coordinate cartesiane degli elementi di interesse”<sup>4</sup>. Un disegno dinamico, flessibile, parametrico, quindi, è nelle intenzioni di

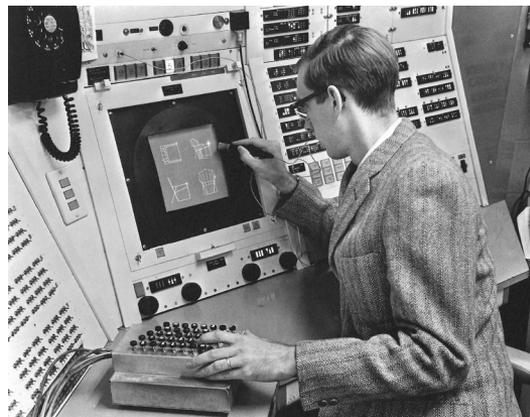


Fig. 1. Ivan E. Sutherland al lavoro con il suo sistema di disegno Sketchpad (c.a. 1963); da Blau, Eve, Kaufman, Edward (eds.) (1989), p. 140.

questi ricercatori, molto diverso dal disegno tradizionale delineato a matita o a china su di un foglio di carta. Dietro queste riflessioni, però, c’è un lungo lavoro di ricerca sui temi della manipolazione assistita del progetto di architettura. Lo stesso Eastman, infatti, proponeva qualche anno prima un sistema per la pianificazione dello spazio (General Space Planner, o GSP) che consentiva di ottimizzare la distribuzione spaziale di unità abitative, grazie all’impiego di algoritmi speci-

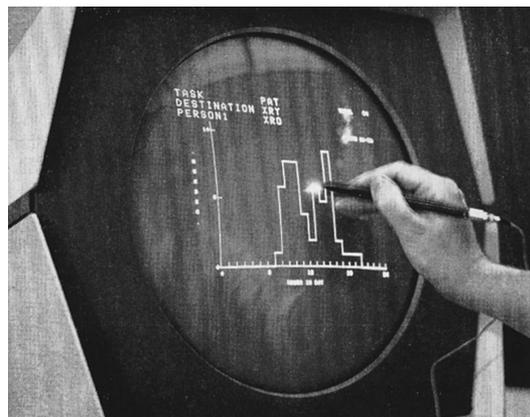


Fig. 2. Diagrammi di analisi con il software COPLANNER; da Souder, James J., Clark, Welden E., Elkind, Jerome I., Brown, Madison B. (1964), p. 141.

fici<sup>5</sup>, sicuramente alla base del sistema BDS. Dall’altro lato, però, molteplici risultano essere gli esperimenti antecedenti che intendono affrontare la questione. Si pensi ad esempio al sistema COPLANNER<sup>6</sup>, un metodo di Computer-Aided Planning basato sull’analisi funzionale-distributiva degli ospedali, che consentiva di controllare statisticamente e graficamente gli spazi necessari alla progettazione di complessi ospedalieri. Il lavoro, coordinato dagli architetti James Souder e Welden Clark, si basava su informazioni statistiche e diagrammi di flusso (Fig. 2) per aiutare il progettista nella composizione planimetrica degli ambienti. Sebbene la grafica fosse ridotta all’essenziale – i muri

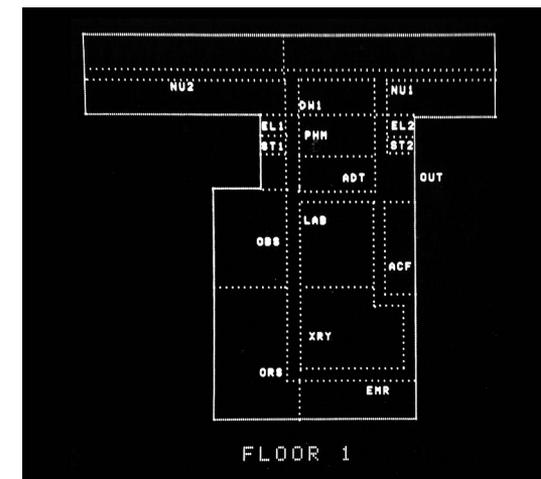


Fig. 3. Schema di un piano tipo con COPLANNER; da Souder, James J., Clark, Welden E., Elkind, Jerome I., Brown, Madison B. (1964), p. 148.

erano rappresentati dal sistema senza spessori e la distribuzione interna era ancor più rarefatta, descritta solamente in forma puntinata – gli sforzi nell’utilizzo di un sistema computerizzato di progettazione e i risultati raggiunti erano oltre ogni aspettativa (Fig. 3). Vi sono poi altri tentativi di sistematizzare le relazioni tra progettazione architettonica e computer. Si va dalle ricerche di David Campion<sup>7</sup> – che descrive meticolosamente tutte le possibili procedure – a quelle di Nicholas Negroponte<sup>8</sup> – che invece esplora in maniera sistematica le sperimentazioni più ardite. L’Architecture Machine Group – da quest’ultimo attivato presso il MIT



Fig. 4. Architecture Machine Group, Sistema di controllo e gestione URBAN5; da Negroponte, Nicholas (1972), p. 74.

verso la fine degli anni '60 – registrava e proponeva percorsi di ricerca che coinvolgessero direttamente il progetto di architettura e i nuovi strumenti informatici

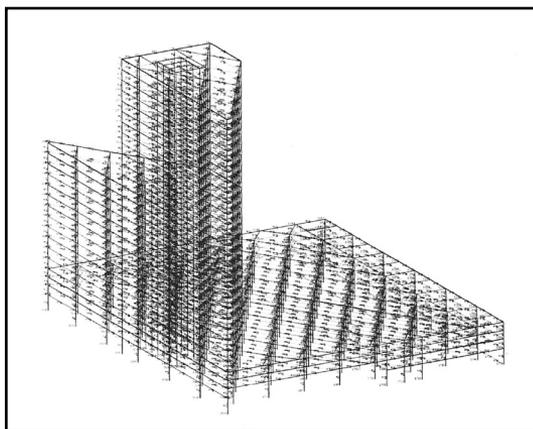


Fig. 5. Esempio di plottaggio di volume strutturale (C.F. Murphy Associates, progetto per Sheraton Hotel in Salt Lake City, Utah); da Blau, Eve, Kaufman, Edward (eds.) (1989), p. 145.

di interazione, in funzione di una simbiosi tra architetto e macchina<sup>9</sup>. Tra questi il software URBAN5 prevedeva il controllo e la ricostruzione 3D di un insediamento urbano, con la possibilità di interagire con il modello grazie all'uso di una pulsantiera (Fig. 4).

Non può non venire in mente, in questi casi, il saggio di Joseph Licklider, intitolato proprio *Man-Computer Symbiosis*<sup>10</sup> del 1960, la cui fortuna critica è confermata dalla stabile presenza nella maggior parte dei riferimenti bibliografici di quegli anni sullo stesso argomento.

## ARCHITETTURA E COMPUTER

A tale quantità di ricerche nel settore dell'informatica applicata all'architettura è possibile affiancare le sperimentazioni degli architetti che, progettando con strumenti tradizionali, fanno riferimento alla nascente tecnologia elettronica. Si tratta, cioè, di un riferimento rigorosamente tracciato sul piano evocativo, condotto grazie all'uso di rappresentazioni fortemente caratterizzate dall'astrazione concettuale. Da un lato i nuovi

strumenti di plottaggio digitale mostravano la nettezza dei tratti privi di sfumature (Fig. 5), dall'altro studi di architettura come Archigram e Superstudio generavano disegni equivalenti, sebbene prodotti rigorosamente a mano, anche influenzati dalla grafica dal segno marcato dei fumetti.

D'altronde attraverso i canali informativi cominciano ad essere diffuse notizie sui nuovi strumenti di elaborazione del disegno, che diventano parte integrante dell'immaginario collettivo sul futuro sviluppo dell'informatica grafica, pur se gli altissimi costi delle attrezzature non consentissero ad alcuno studio di architettura di dotarsi di simili strumenti.

E' da sottolineare che spesso l'evocazione era condotta anche sul filo di nuove tipologie abitative e non soltanto sul livello figurativo. La *Computer City* di Archigram era riferita ad una nuova proposta insediativa a livello urbano basata proprio sull'impiego intensivo dell'informatica, così come la *Capsule Home Project* di Warren Chalk, inserita nella *Plug-In City* (Fig. 6), propone un'abitabilità dello spazio domestico ad altissimo contenuto tecnologico, in cui l'idea concettuale alla base

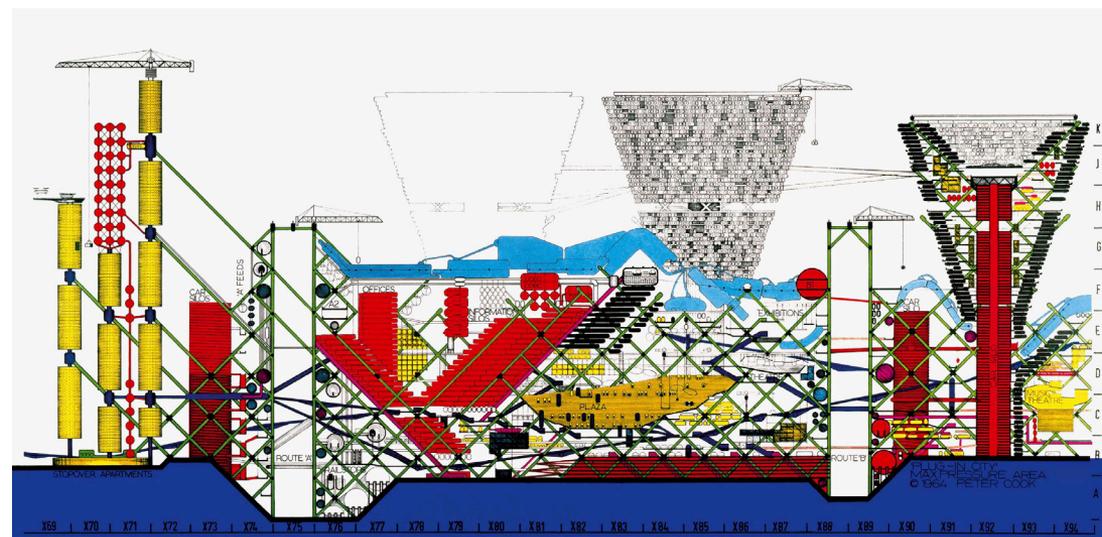


Fig. 6. Archigram, Plug-In City.

rimanda indubbiamente all'ergonomia ed efficienza modulare di una capsula spaziale. E anche alcuni degli schemi compositivi proposti da Superstudio – gli istogrammi d'Architettura, ad esempio (Fig. 7) – rinviano a rappresentazioni astratte simili a diagrammi di composizioni prodotte elettronicamente tramite assemblaggio di parti meccaniche. Le stesse che useranno nei fotomontaggi descrittivi di una delle loro opere più famose e più spregiudicate: il Movimento Continuo, con cui avvolsero grandi città come New York e Roma. Città e architettura si presentano, quindi, sotto forma di complesse aggregazioni di morfologie meccaniche, distando nei confronti di coloro che avrebbero dovuto abitare quegli spazi grande preoccupazione e senso di disagio. Non è un caso che proprio Chalk precisò in un breve testo del novembre 1965 la non pericolosità di queste idee rivoluzionarie: “in definitiva vorrei rassicurare tutti che non siamo dei mostri. Non stiamo cercando di fare case che appaiono come automobili, città che assomigliano a raffinerie, e sicuramente non è la nostra intenzione, anche se potrebbe sembrare. Sebbene questo immaginario analogo è molto forte in questo periodo, sarà eventualmente recepito come un sistema creativo, ci auguriamo, tale da far emergere naturalmente la potenzialità positiva”<sup>11</sup>.

Ma il livello sicuramente più significativo della ricerca sulle relazioni tra architettura e computer si ha nelle premonizioni di carattere teorico che molti cultori del-

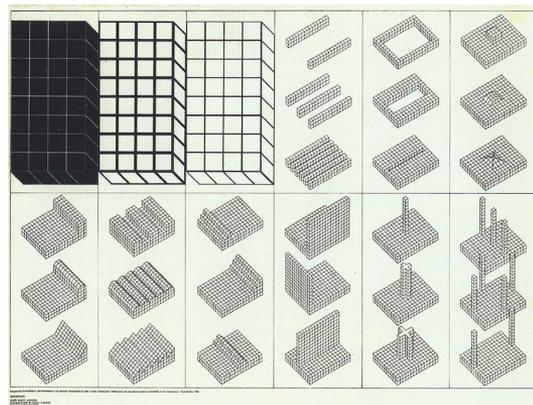


Fig. 7. Superstudio, catalogo degli Iistogrammi d'Architettura, 1969; da Angelidakis, Andreas, Pizzigoni, Vittorio, Scelsi, Valter (2015), p. 273.

le scienze informatiche cominciano a prevedere con straordinaria visionarietà. Douglas Engelbart – figura di primo piano della storia dell'elettronica applicata al disegno, e inventore del dispositivo ‘mouse’ per il puntamento a video – già nel 1962 prefigurava l'architetto ‘aumentato’, colui cioè che opera con le nuove tecnologie: “Consideriamo un architetto aumentato al lavoro. Siede davanti ad una stazione di lavoro che ha un visore a circa tre piedi di distanza da un lato; questa è la sua superficie di lavoro, ed è controllato da un computer (il suo ‘assistente’) col quale può comunicare grazie ad una piccola tastiera e vari altri dispositivi. Egli sta progettando un edificio”<sup>12</sup>. Engelbart continua descrivendo tutte le fasi di costruzione, dal rilievo del sito, alla visualizzazione dello scavo per le fondazioni, alla costruzione delle murature, con l'indicazione anche dei materiali utilizzati, tutto grazie all'ausilio della macchina. Infine viene condotta l'analisi funzionale dell'opera da parte del computer che suggerisce come ottimizzare il sistema. “Tutte queste informazioni – osserva l'autore – (il progetto dell'edificio e la sua ‘struttura associativa concettuale’) possono essere registrate su di un nastro per costituire il manuale di progettazione per l'edificio. Avviando questo nastro nel proprio assistente, un altro architetto, un costruttore o un cliente possono operare all'interno del manuale di progettazione per individuare qualsiasi dettaglio o approfondimento di suo interesse – e può allegare note particolari che sono integrate nel manuale di progetto a futuro vantaggio proprio o di chiunque altro”<sup>13</sup>.

Negli stessi anni Steven Coons, docente del MIT e supervisore della citata tesi di Sutherland, dà una visione analoga dell'architetto, nonostante la sua formazione sia nell'ambito dell'ingegneria meccanica: “Noi abbiamo previsto anche il designer seduto alla console, che disegna uno schizzo della sua ipotesi sullo schermo di un tubo catodico con una ‘penna luminosa’, modificando il suo schizzo a piacere, e comandando al computer-schiavo di trasformare lo schizzo in un disegno in pulito, per eseguire varie analisi numeriche che hanno a che fare con il calcolo strutturale, con le distanze di parti adiacenti, e altre analisi simili. [...] In alcuni casi l'operatore umano può iniziare una procedura di ottimizzazione in modo da poter essere condotta interamente automaticamente dal computer”<sup>14</sup>. Coons termina il paragrafo aggiungendo che “sta diventando sempre più evidente che la combinazione tra il potenziale intel-

lettuale dell'uomo e della macchina è maggiore della somma delle singole parti”<sup>15</sup>. Uno stretto rapporto si instaura tra questi due attori, l'agente umano e lo strumento tecnico, che, come scrive Daniel Cardoso Llach, può avere diverse declinazioni, di ordine concettuale, procedurale e retorico; ed è proprio grazie a queste considerazioni che si afferma l'idea, sottolineata proprio da Cardoso Llach che “attraverso l'intervento del computer ‘schiavo’, gli umani potranno dedicarsi ad una vita di poetica contemplazione”<sup>16</sup>.

Sempre in quegli anni Christopher Alexander propone metodologie analitiche di descrizione di una forma architettonica, soprattutto in funzione di una classificazione ed un utilizzo in ambito progettuale<sup>17</sup>. Dedicato allo sviluppo dei *Design Methods*, dei quali Alexander è un precursore, lo studio è considerato uno dei primi esempi in cui la descrizione dei modi in cui le parti interagiscono tra loro durante il processo progettuale è precisamente definita. Esempio ne sono le due appendici al libro *Notes on the Synthesis of Form*, la prima dedicata ad un esempio di villaggio agricolo di 600 persone che deve essere riorganizzato<sup>18</sup> (Fig. 8) e la seconda al tema del trattamento matematico della decomposizione, che presenta una serie di equazioni relative alla decomposizione ciclica di un sistema in sottosistemi<sup>19</sup>. Tra i grandi studi che hanno affrontato il tema del controllo del processo progettuale deve essere annoverato anche quello di Skidmore, Owings & Merrill (SOM) che

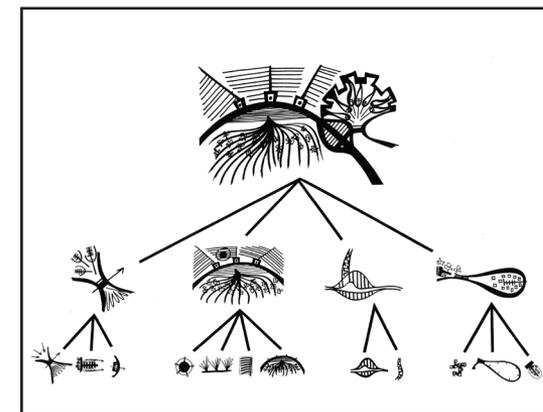


Fig. 8. C. Alexander, schema logico-compositivo per villaggio agricolo; da Alexander, Christopher (1964) p. 153.

dalla fine degli anni Sessanta ha iniziato un processo di informatizzazione in cui anche i temi del *building information design* sono presenti. Tra i fattori di questa operazione vi è G. Neil Harper, associato dello studio SOM che sviluppò l'algoritmo BOP (Building Optimization Program) per il controllo dei costi di costruzione direttamente e automaticamente in fase di progettazione. L'ottimizzazione consentiva di definire il valore stimativo in relazione all'area di intervento<sup>20</sup>. Una più ampia trattazione dei rapporti tra l'elaborazione elettronica delle informazioni e l'architettura si troverà in un volume curato proprio da Harper, intitolato *Com-*

*puter Applications in Architecture and Engineering*<sup>21</sup>, che documenta la ricerca svolta in ambito accademico e in quello professionale. Sebbene quasi tutti i contributi presenti in questo testo affrontino la questione, particolare attenzione va rivolta al testo di Lavette C. Teague Jr., del Massachusetts Institute of Technology, che propone il sistema BUILD, un prototipo di sistema informativo per la progettazione edilizia, i cui esempi sono legati alla sfera della funzionalizzazione degli spazi di lavoro<sup>22</sup>.

La più completa classificazione delle problematiche relative alla progettazione architettonica assistita da computer di quegli anni si deve forse a William Mitchell che nel 1977 pubblica *Computer-Aided Architectural Design*<sup>23</sup>, libro ricco di esempi e con un apparato bibliografico davvero esaustivo. Dire che quasi ogni capitolo contiene informazioni utili all'argomento che stiamo affrontando è cosa che chiunque sfogli il volume può facilmente confermare. Soprattutto la parte 2, dedicata alle banche dati, però, può essere di grande interesse per comprendere lo stato dell'arte sull'argomento. La riduzione a standard qualitativi e quantitativi, infatti – si vedano i capitoli 6 e 7, ad esempio, dedicati alla descrizione topologica e geometrica degli edifici (Fig. 9, 10) e alla definizione degli elementi standard e di dettaglio<sup>24</sup> – risulterà essere di fondamentale importanza, introducendo di fatto il tema più complesso dell'analisi logica dell'architettura nelle sue declinazioni computazionali<sup>25</sup>.

#### SVILUPPI FUTURI

Bisognerebbe inoltre riflettere sul cambiamento verificatosi nel tempo dell'attività lavorativa dell'architetto all'interno del processo di progettazione, anche alla luce di quella che può essere considerata la 'variabile BIM', vale a dire la necessità di codificare l'idea iniziale di progetto seguendo le rigorose indicazioni prescritte dal Building Information Modeling. Va rilevato anche il fatto che stanno ormai nascendo varie società di servizi che forniscono la trasformazione del progetto in modello BIM, in modo che possa essere controllato direttamente in fase di produzione. A tale scopo ci sembra particolarmente interessante la riflessione fatta da Mario Carpo, che da anni si occupa di indagare criticamente sul tema della variazione di paradigma dall'analogico al digitale che lambisce soprattutto il

campo dell'architettura. Nel suo volume *The Alphabet and the Algorithm*, infatti, l'autore si confronta con i temi dell'allografia e dell'autografia, della riproduzione e della copia, soprattutto a partire da precisi riferimenti albertiani. Nell'affrontare, inoltre, i temi delle nuove tecnologie BIM evidenzia la presenza ormai stabile di due figure principali nel processo di definizione del progetto: colui che si occupa dell'atto creativo ("primary author") e di chi si interessa di trasformare l'idea di base in soluzione finale all'interno del processo produttivo ("secondary author"). La relazione che si instaura tra le due figure è, per Carpo, simile a quella che c'è tra il giocatore e il progettista di videogame: "ogni giocatore inventa (o, in un certo senso, scrive) la propria storia, ma giocando con le regole del gioco e all'interno di un ambiente concepito da qualcun altro"<sup>26</sup>. Similmente avviene per la progettazione e per la traduzione in formato BIM di un'idea così da assolvere a tutte le potenzialità espresse dalle procedure di riduzione.

Le origini della storia del CAAD sono legate in maniera indissolubile all'idea di poter sistematizzare il processo progettuale per generare primitive grafiche orientate all'architettura; primitive, cioè, che conservino, oltre alle caratteristiche formali, anche quelle annotazioni semantiche che permettano la parametrizzazione algrafica di ogni singolo elemento in modo da poter essere impiegato rapidamente nel corso della composizione architettonica. Il sospetto che ci si trovi sempre più di fronte ad un lavoro a ridotta caratterizzazione creativa rispetto al passato – in cui all'architetto veniva richiesto di inventare grazie soprattutto alla sintesi autografica delle proprie elaborazioni mentali – è del tutto lecito<sup>27</sup>. Tanto da far dire a Jean Nouvel – nel corso della nota conversazione con il filosofo Jean Baudrillard: "Cosa c'è di più facile che riutilizzare dati già stabiliti, dal momento che il computer può adattarli molto velocemente? Si cambiano alcuni parametri, il procedimento dura qualche ora e hop!... ecco un nuovo edificio. Tutte queste costruzioni, dunque, non sono cose pensate, ma sono semplicemente il frutto della redditività immediata e di decisioni affrettate."<sup>28</sup> Salvo poi restituire all'architetto – proprio alla fine del dialogo – quell'autonomia decisionale che costituisce il valore aggiunto del fare architettura: "Un'architettura automatica creata da architetti intercambiabili: non è una fatalità incombente; è già oggi l'essenza della realtà. Ci rimane l'eccezione per confermare la regola."<sup>29</sup>

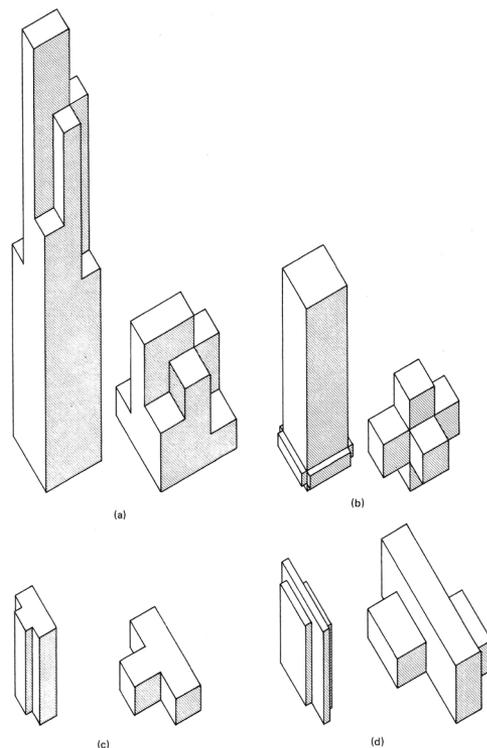


Fig. 9. Esempi di riduzione volumetrica di architetture: a. Sears Tower, Chicago (SOM); b. Place Victoria, Montreal, (Moretti e Nervi); c. One Charles Center, Baltimore, (Mies van der Rohe); d. Thyssen-Rohrenwerke office, Dusseldorf, (Hentrich e Perschning); da Mitchell, William J. (1977), p. 181.

## NOTE

[1] Eastman, Charles M. and others, (1974), p. 5.

[2] Sutherland, Ivan E. (1963).

[3] Cfr. il documentario *Computer Sketchpad* della National Education Television, MIT 1964, relativo al sistema di disegno Sketchpad III di Timothy Johnson. Cfr. anche Sdegno, Alberto (2013). Sulla storia del CAD si veda: Sdegno, Alberto (2009).

[4] Eastman, Charles M. and others, (1974), p. 21.

[5] Eastman, Charles M. (1972), *General Space Planner: a System of Computer-Aided Architectural Design*, in W.J. Mitchell (ed.) (1972), pp. 23.5.1-12.

[6] Souder, James J., Clark, Welden E., Elkind, Jerome I., Brown, Madison B. (1964).

[7] D. Campion, David (1968).

[8] Si veda soprattutto: Negroponte, Nicholas (1972); Negroponte, Nicholas (1975).

[9] A conferma si veda proprio il capitolo intitolato *Architect-Machine Symbiosis*, in Negroponte, Nicholas (1972), pp. 8-29.

[10] Licklider, Joseph C.R. (1960).

[11] Chalk, Warren (1965).

[12] Engelbart, Douglas C. (1962); Bardini, Thierry (2000).

[13] Engelbart, Douglas C. (1962).

[14] Coons, Steven A. (1963), p. 300. Sull'opera di Coons si veda: Sdegno, Alberto (2012).

[15] Coons, Steven A. (1963), p. 300.

[16] Cfr. Cardoso Llach, Daniel (2015), p. 65.

[17] Alexander, Christopher (1964).

[18] Ibidem, Appendix 1. *A Worked example*, pp. 136-173.

[19] Ibidem, Appendix 2. *Mathematical Treatment of Decomposition*, pp. 174-191.

[20] Harper, G. Neil (1968).

[21] Harper, G. Neil (ed.) (1968).

[22] L.C. Teague Jr, *Research in Computer Applications to Architecture*, in Harper, G. Neil (ed.) (1968), pp. 189-214.

[23] Mitchell, William J. (1977).

[24] Ibidem, Cap. 6. *Descriptions of Building Topology and Geometry*, pp. 155-221; e cap. 7. *Standard Element and Detail Libraries*, pp. 223-247.

[25] Mitchell, William J. (1990).

[26] Carpo, Mario (2011).

[27] Sul tema dell'influenza delle nuove tecnologie sul procedimento autografico e allografico di progettazione architettonica si veda: Sdegno, Alberto (1996); e Sdegno, Alberto (2001).

[28] Baudrillard, Jean, Nouvel, Jean (2003), p. 53.

[29] Ibidem, p. 76.

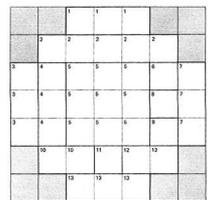
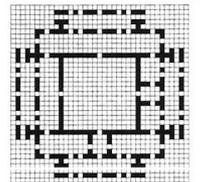
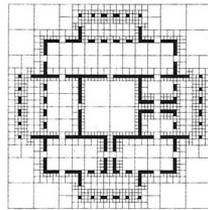
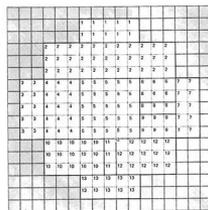
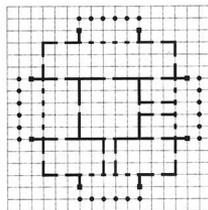


Fig. 10. Comparazione di differenti metodi di descrizione geometrica, da Mitchell, William J. (1977), pp. 218-219.

## BIBLIOGRAFIA

Alexander, Christopher (1964), *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1964.

Angelidakis, Andreas, Pizzigoni, Vittorio, Scelsi, Valter (2015), *Super Supersudio*, SilvanaEditoriale, Cinisello Balsamo.

Bardini, Thierry (2000), *Bootstrapping. Douglas Engelbart, Coevolution, and the Origins of Personal Computing*, Stanford University Press, Stanford, CA.

Baudrillard, Jean, Nouvel, Jean (2003), *Architettura e nulla. Oggetti singolari*, Electa, Milano.

Blau, Eve, Kaufman, Edward (eds.) (1989), *Architecture and its Image. Four Centuries of Architectural Representation. Works from the Collection of the Canadian Center for Architecture*, Centre Canadien d'Architecture, Montreal.

Campion, David (1968), *Computers in Architectural Design*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York.

Cardoso Llach, Daniel (2015), *Builders of the Vision. Software and the Imagination of Design*, Routledge, New York.

Carpo, Mario (2011), *The Alphabet and the Algorithm*, The MIT Press, Cambridge, Mass.-London.

Chalk, Warren (1965), *Architecture as Consumer Product*, in ARENA. ARCHITECTURAL ASSOCIATION JOURNAL, November, ora in: <http://archigram.westminster.ac.uk/essay.php?id=281>.

Coons, Steven A. (1963), *An Outline of the Requirements for a Computer-Aided Design System*, in Spring Joint Computer Conference, Vol. 23, AFIPS Conference Proceedings,

Santa Monica, CA, pp. 299-304. Eastman, Charles M., and others (1974), *An Outline of the Building Description System*, Research Report No. 50, Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, Pa. Inst. Of Physical Planning, September.

Eastman, Charles M. (1999), *Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction*, CRC press, Boca Raton, FL.

Eastman, Charles, Teicholz, Paul, Sacks, Rafael, Liston, Kathleen (2008), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Engelbart, Douglas C. (1962), *Augmented Human Intellect: A Conceptual Framework*, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, October, Contract AF49(638)-1024. SRI Project No. 3578.

Harper G. Neil (ed.) (1968), *Computer Applications in Architecture and Engineering*, McGraw-Hill, New York.

Harper, G.Neil (1968), *BOP-An Approach to Building Optimization*, in Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference, ACM '68, New York, NY, pp. 575-583.

Licklider, Joseph C.R. (1960), *Man-Computer Symbiosis*, in IRE TRANSACTIONS ON HUMAN FACTORS IN ELECTRONICS, vol. HFE-1, March, pp. 4-11.

Mitchell, William J. (ed.) (1972), *Environmental Design: Research and Practice*, proceedings of the EDRA 3/ar 8 conference, University of California at Los Angeles, January.

Mitchell, William J. (1977), *Computer-Aided Architectural Design*, Petrocelli-Charter, New York 1977.

Mitchell, William J. (1990), *The Logic*

of Architecture. Design, Computation, and Cognition, The MIT Press, Cambridge, Mass.-London.

Negroponte, Nicholas (1972), *The Architecture Machine*, The MIT Press, Cambridge, Mass.-London.

Negroponte, Nicholas (1975), *Soft Architecture Machines*, The MIT Press, Cambridge, Mass.-London.

Sdegno, Alberto (1996), *Computer Aided Deconstruction*, in ARCHITETTURA INTERSEZIONI, 4, dicembre, pp. 123-125.

Sdegno, Alberto (2001), *e-architecture. L'architettura nell'epoca del computer*, in CASABELLA, 691, luglio-agosto, pp. 58-67.

Sdegno, Alberto (2009), *Breve storia della rappresentazione numerica*, in R. Migliari, *Geometria descrittiva, Volume I - Metodi e costruzioni*, CittàStudi-De Agostini, Novara, pp. 245-252.

Sdegno, Alberto (2012), *Sulle origini della teoria del disegno digitale. In memoria di Steven A. Coons (1912-1979)*, in L. Carlevaris, M. Filippa (a cura di), *Elogio della teoria: identità delle discipline della rappresentazione e del rilievo*, Gangemi, Roma, pp. 333-341.

Sdegno, Alberto (2013), *Sketchpad: sulla nascita del disegno digitale*, in DISEGNARE IDEE IMMAGINI, 46, XXIII, pp. 74-81.

Souder, James J., Clark, Welden E., Elkind, Jerome I., Brown, Madison B. (1964), *Planning for Hospitals. A System Approach Using Computer-Aided Techniques*, American Hospital Association, Chicago.

Sutherland, Ivan E. (1963), *Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System*, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. January.