

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dottorato di ricerca in:
Ingegneria Edilizia e Territoriale
Progetti e tecniche per la riqualificazione dell'ambiente costruito.
XXII Ciclo

Coordinatore:
Prof. Adolfo Cesare Dell'Acqua



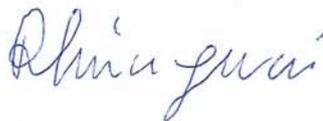
MODELLI DIGITALI E ARCHIVI DI PROGETTO SISTEMI INTEGRATI DI DOCUMENTAZIONE PER L'ARCHITETTURA



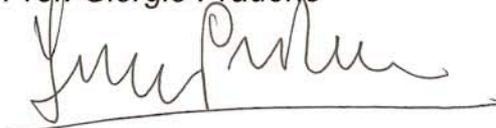
Presentata da:
Simone Garagnani



Relatore:
Prof. Roberto Mingucci



Co-relatore:
Prof. Giorgio Praderjo



Settore scientifico disciplinare di afferenza: ICAR17 – DISEGNO
Esame finale anno 2010

*Le idee sono la cosa più importante,
il resto è una conseguenza.
(R. Feynman)*

*Ai miei genitori, Gabriella ed Erio,
che hanno permesso alle mie idee di arrivare fin qui.*

Indice generale

Premessa	pag. 9
1. Introduzione alla tematica di ricerca	pag. 13
1.1 Il linguaggio della comunicazione tra significante e significato	pag. 13
1.2 La comunicazione in architettura: i modelli della rappresentazione e la rappresentazione dei modelli	pag. 17
1.3 Metodi e tecniche consolidate per progettare il costruito: il modello DBB ..	pag. 29
1.4 I modelli collaborativi in edilizia: vantaggi e limiti del team-working	pag. 32
2. Teorie e tecniche per archiviare e rappresentare il progetto.....	pag. 35
2.1 La rappresentazione digitale in architettura: documenti preliminari e definitivi.....	pag. 35
2.2 Il Building Knowledge Modeling.....	pag. 46
2.3 Interoperabilità strumentale: il linguaggio Industry Foundation Classes (IFC)	pag. 51
2.4 La natura del Building Information Modeling (BIM)	pag. 57
2.5 Analisi dei principali strumenti digitali per la progettazione e per la gestione del progetto di architettura	pag. 61
2.5.1 Software per modellazione geometrica tridimensionale	pag. 65
2.5.2 Software analitici	pag. 83
2.5.3 Software di analisi territoriale (GIS e WebGIS)	pag. 90
2.5.4 Software di rappresentazione visuale	pag. 97

3.	Il flusso di lavoro assistito dal calcolatore nel processo edilizio	pag. 113
3.1	I modelli digitali nel processo edilizio	pag. 113
3.1.1	La fase ideativa e il concept	pag. 116
3.1.2	La fase realizzativa	pag. 120
3.1.3	La fase gestionale	pag. 127
3.1.4	La fase di raccolta dati	pag. 129
3.2	Rapporti tra modelli digitali, standard e strumenti normativi	pag. 130
3.3	Estetica e qualità nel flusso di progetto contemporaneo	pag. 133
4.	Modelli digitali ed archivi di progetto: alcuni casi di studio	pag. 137
4.1	La percezione della musica corale nella Basilica di San Vitale a Ravenna: una simulazione virtuale di suono e luce	pag. 138
4.2	Il rilievo degli ornati nelle sale nobiliari di Palazzo Albergati a Bologna	pag. 154
4.3	Dal modello al cantiere: progetto per un nuovo padiglione per l'Ospedale Macchi di Varese	pag. 160
5.	Verso un sistema integrato per la documentazione d'architettura	pag. 169
5.1	La metafora del "tunnel progettuale"	pag. 170
5.2	Il modello delle "scatole cinesi": un paradigma ricorsivo in architettura	pag. 174
5.3	Valutazioni di efficacia per un sistema di modellazione	pag. 176
5.3.1	Parametri di definizione per le finalità di un modello digitale	pag. 176
5.3.2	Il rapporto di complessità	pag. 180
5.4	La modellazione integrata come risposta alla gestione del progetto	pag. 186
5.5	Conclusioni	pag. 192

Riferimenti bibliografici pag. 197

Testi in lingua italiana pag. 197

Testi in lingua inglese pag. 201

Sitografia e feed RSS di riferimento pag. 204

Ringraziamenti pag. 209





“Recursion”

Modello digitale di S. Garagnani ispirato a *“Salita e discesa”* di M.C Escher, 2010.

Premessa

Gli sviluppi relativamente recenti legati alle tecniche dell'informazione ed ai metodi della comunicazione hanno modificato il modo di concepire documenti e supporti destinati a trasmettere la conoscenza, in un processo che è tuttora in corso di evoluzione.

L'attività progettuale, anche in un settore caratterizzato da una notevole inerzia metodologica quale è quello dell'edilizia, ha conosciuto di conseguenza profonde trasformazioni, in ragione di tecnologie che stanno influenzando pesantemente l'architettura nella propria intima essenza e non solamente nel modo di raccontarla graficamente.

L'evoluzione degli strumenti CAAD (*Computer Aided Architectural Design*) e BIM (*Building Information Modeling*) oltre alla contemporanea dismissione graduale delle tecniche di elaborazione manuale nella pratica professionale, hanno radicalmente mutato il linguaggio della rappresentazione; la transizione dal disegno assistito bidimensionale alla modellazione tri e quadri-dimensionale (dove pure il concetto di tempo esercita un ruolo importante) ha permesso di evolvere da visualizzazioni piane a simulazioni virtuali volumetriche, finalizzate alla comprensione del costruito oltre che alla metodica gestione dei dati cognitivi in esse racchiusi, organizzati in modelli geometrici computerizzati.

Nel corso di questa ricerca si sono affrontate tali tematiche inserite entro un contesto di sperimentazione tecnologica, cercando di affinare sin dalle prime esperienze l'orditura di una matrice informativa volta a documentare ed agevolare lo scambio dell'informazione tecnica, concettuale ed analitica tra le differenti figure coinvolte nel flusso di progetto. Se assemblati in una forma procedurale e ricorsiva con la tecnologia più appropriata infatti, i modelli digitali così come immaginati permettono di produrre disegni bidimensionali finalizzati a trasmettere l'intento progettuale in termini di *rendering*, sezioni, prospetti, assonometrie o prospettive convenzionali, oltre che ese-

guire verifiche dinamiche del processo di costruzione, sino alle simulazioni energetiche o strutturali necessarie per approfondire l'analisi in termini di *performance* degli edifici.

I modelli integrati, concepiti come risultato di un processo e non come prodotto precipuo di un software particolare, permettono dunque di organizzare e gestire il progetto e la sua esecuzione, oltre che valutarne la totalità degli aspetti concorrenti nel proprio ciclo di vita (come ad esempio la regolarità degli interventi di manutenzione sugli edifici oppure la stima dei risultati conseguiti nel tempo, ovvero la *lifecycle analysis* di grande popolarità in questi ultimi anni nel mercato immobiliare).

La letteratura scientifica e gli approfondimenti storiografici ed operativi condotti hanno evidenziato che l'informazione necessaria per realizzare un edificio, dai disegni che lo descrivono fino ai documenti che ne precisano le modalità costruttive, può essere gestita in maniera centralizzata ormai da tempo, mediante archivi informativi trasposti secondo criteri di memorizzazione digitale definiti IPDB (*Integrated Project DataBase*). Tuttavia il sistematico approccio *industrializzante* di questi ausili alla progettazione (sovente sovrastimati in maniera erronea come sucedanei dell'esperienza tecnica pur sempre necessaria al progettista) non rende conto pienamente di tutti gli aspetti che vedono l'opera architettonica come collettore di conoscenze proprie di una cultura costruttiva radicata nel tempo.

La semantica caratteristica della riproduzione digitale è infatti volta alla perequazione degli elementi costitutivi del progetto con l'obiettivo di registrarne le sole caratteristiche fabbricative, non le motivazioni o le conoscenze che ne hanno portato all'invenzione.

Lo scenario emerso dall'analisi della letteratura scientifica mostra come non sia possibile attribuire alle tecnologie presenti sul mercato questa valenza di raccoglitori omnicomprensivi di informazione: tale approccio olistico costituisce, al contrario, il fondamento della *modellazione integrata*, concepita nell'ambito di questa ricerca come processo di rappresentazione della conoscenza architettonica, strutturata secondo il paradigma delle "scatole cinesi". E' questo un modello evolvente e ricorsivo, disegnato per ospitare concetti e linguaggi pertinenti ai differenti attori partecipanti, per questo si configura come un procedimento e non come un software informatico.

L'attuale prassi generativa per i modelli digitali (in particolar modo dedi-

cati a monumenti o architetture storiche interpretate dal rilievo) privilegia purtroppo la mera dimensione geometrica, così che l'utilizzo di strumenti evoluti spesso si riduce alla sola costruzione di componenti definiti prevalentemente nei loro caratteri morfologici e non conoscitivi.

Al fine di superare queste limitazioni, si è cercato di combinare studi avviati nel settore della rappresentazione alle metodologie integrate di documentazione multidisciplinare, destinate alle analisi collaborative ed alle verifiche di validazione e controllo progettuale, già necessarie e richieste dal mercato delle costruzioni.

La struttura integrata che si è immaginata è legata alla scomposizione dell'edificio secondo un ordinamento gerarchico disponibile ad una elevata complessità di simulazione sia visuale che di contenuti; la catalogazione delle proprietà di ogni singolo elemento, per il quale la geometria virtuale costituisce solamente un'amichevole interfaccia di consultazione, può seguire modalità di archiviazione normale secondo formati di scambio aperti e conosciuti.

Evidenziando criticamente i pregi e le restrizioni operative derivanti da questa modellazione semantica, la componente sperimentale della ricerca è stata articolata con l'approfondimento di esperienze condotte in contesti accademici e professionali, che hanno prodotto *basi di conoscenza* interscambiabili; coniugando le tecniche di rilevamento alle potenzialità di memorizzazione dei *dataset* all'interno di "*modelli tridimensionali intelligenti*", dotati cioè di criteri discriminanti per la valutazione interattiva del relazionamento topologico dei componenti con l'insieme globale.

Si è gestita l'informazione e l'interoperabilità disciplinare mediante l'estrapolazione da uno stesso modello di elaborati grafici e viste realistiche per "*raccontare*" il progetto nei suoi aspetti ideativi, insieme all'isolamento delle sole caratteristiche morfologiche e materiche per i processi di calcolo simulativi effettuati con algoritmi specifici appartenenti ai settori impiantistici e strutturali.

Nel corso del primo anno della ricerca si è proceduto alla raccolta sistematica dei dati e delle informazioni relative alla letteratura scientifica esistente, riportata in una bibliografia critica e ragionata, afferente ai diversi percorsi. Nel secondo anno, gli sforzi sono stati rivolti alla definizione di una specifica metodologia critico-operativa per l'articolazione di un processo informativo composto da pacchetti di basi conoscitive dedicate

all'architettura ed all'ingegneria. Il terzo anno ha portato alla verifica ed alla validazione del processo individuato, in grado di unificare conoscenze e linguaggi. I prototipi sviluppati in ragione di questi approfondimenti, riferiti sia ad edifici esistenti che a nuove costruzioni, risultano applicabili nell'analisi di scenari architettonici alle differenti scale (da quella urbana a quella architettonica) attraverso la costruzione di componenti congruenti (sia per l'aspetto tipologico che per quello edilizio e tecnologico) con la dimensione e la complessità dell'oggetto stesso.

Nel tentativo di imbrigliare sperimentalmente gli aspetti salienti di un ambito di saperi certamente molto più ampio, questo lavoro auspica che i modelli digitali presentati possano ibridare, particolarmente in quest'epoca dove la prestazione e la sostenibilità del costruito sono di fondamentale importanza, quell'atteggiamento *biotopo* con quello *tecnotopo* che già citava Giorgio Celli¹ nel 1970; in tal modo la tecnologia può divenire forma di comunicazione tecnica e sensoriale, nella quale l'informazione viene narrata secondo nuovi paradigmi illustrativi volti a raggiungere quel fine ultimo che il secolo scorso ha più volte paventato² nell'attesa di trovare in questi anni l'espressione tecnica per realizzarsi.

1 - G. Celli, "In margine al futurismo: storia di una ambivalenza, il Verri", 33/34 (1970): pagg. 118-123.

2 - Scrive infatti Peter Behrens nel 1910: "La tecnica non può essere intesa a lungo come finalità in se stessa, bensì acquista valore e significato quando la si riconosce come il mezzo più adeguato di una cultura" (P. Behrens, "Kunst und Technik", *Elektrotechnische Zeitschrift*, 22 (1910), pagg. 552-555).

Capitolo I

Introduzione alla tematica di ricerca

“Una rappresentazione grafica di dati ricavati dai banchi di ogni computer del sistema umano. Impensabile complessità. Linee di luce allineate nel non-spazio della mente, ammassi e costellazioni di dati. Come le luci di una città, che si allontanano...”

(William Gibson, “Neuromante”, 1984)

Riportando alcuni degli studi sulle teorie della comunicazione che hanno dato l’abbrivio alla ricerca, in questo capitolo verranno esposti gli elementi fondativi derivanti dall’esame della letteratura scientifica riguardante la trasmissione dell’informazione in architettura mediante i modelli, concepiti sia nel loro senso tradizionale di *maquette* fisiche che in quello contemporaneo di metaversi digitali del reale.

Prima di affrontare le problematiche ed i vantaggi che questi strumenti possono apportare al processo edilizio, verranno introdotte le peculiarità delle principali figure professionali che ne fanno già utilizzo, con una breve indicazione delle relazioni che intercorrono tra di loro e le modalità più diffuse con le quali interagiscono reciprocamente, in una sorta di sintetica indagine prossemica.

1.1 - Il linguaggio della comunicazione tra significante e significato.

Quello da poco conclusosi è stato definito come il *secolo della comunicazione*, un’età durante la quale si è assistito al passaggio dall’epoca meccanica a quella elettrica popolata da un uomo nuovo, abitante di quel villaggio globale teorizzato da Marshall McLuhan¹ e sospeso tra *techne* e *psiche*. Un individuo questo utopisticamente olistico, teso alla ricerca di un rapporto autentico con la natura parallelamente alla conoscenza dei processi creativi propri della vita e della società.

1 - M. McLuhan, “Gli strumenti del comunicare”, Il Saggiatore, Milano 1964.

Sempre secondo McLuhan, la nuova tecnologia elettrica, elettronica od informatica che dir si voglia, si è resa organica per l'umanità, estendendo la percezione non solo propria degli occhi ma anche dell'intero sistema nervoso, così che l'organismo fisico è divenuto esso stesso una rete di comunicazione, latore di una realtà *"ricca di scambi, di influenze, di un afflusso continuo di dati"*. L'uomo elettrico è dunque l'uomo totalizzato, colui che esperisce attraverso un'estensione del proprio cervello e del proprio corpo, dove *"su un pianeta ridotto dai nuovi media alle dimensioni di un villaggio, persino le città appaiono strane ed eccentriche, forme arcaiche già ricoperte da nuovi modelli di cultura"*².

Tale scenario non appare tuttavia scevro di pericoli, dal momento che il ricco interscambio sviluppatosi conduce, come sostiene il filosofo e psicanalista James Hillmann, ad una *"intossicazione comunicativa e informatica"* per la quale il surplus di informazioni di cui l'uomo è bersaglio lo rende schiavo della necessità di conoscere, per mantenersi "al passo" con l'evolversi della società in cui è collocato e vive³. Gli strumenti nuovi divengono "velocizzatori" della capacità umana di svolgere ricerca, lavoro, interazione come sostiene Derrick De Kerckhove, allievo di McLuhan e direttore del *McLuhan Program in Culture & Technology*. Attraverso i media elettronici, sempre secondo De Kerckhove, è possibile dominare il tempo, la simultaneità: *"Per la prima volta ora possiamo realmente creare il tempo e controllarlo, nello stesso modo in cui abbiamo gradualmente imparato ad organizzare e controllare lo spazio"*⁴. L'attualità vede perciò l'uomo impegnato dalle tecnologie, da un lato in grado di abbattere le barriere spaziali tra popoli e individui, dall'altro di crearne di nuove in virtù del fatto che, ad esempio, le chiavi di lettura del messaggio veicolato variano da emittente a ricevente a causa sovente di diversità culturali e regionali, forse tali in quanto difensive rispetto ad una globalizzazione selvaggia accusata di appiattare le ricchezze individuali: *"Più diventiamo globalmente consapevoli e più ci troviamo consci e protettivi nei confronti della nostra identità locale: nasce di qui il paradosso del villaggio globale. L'iperlocale è il necessario completamento dell'iperglobale"*⁵. Come verrà esposto più oltre nel corso di questo lavoro, particolarmente nel capitolo secondo, tracciare il rapporto esistente tra tec-

2- M. McLuhan, *"Gli strumenti del comunicare"*, Il Saggiatore, Milano 1964.

3- M. Arcangeli, *"Lingua e società nell'era globale"*, Meltemi, Roma 2005.

4- D. de Kerckhove, *"La conquista del tempo nell'età della rete"*, Editori Riuniti, Roma 2003.

5- D. de Kerckhove, *"The Skin of Culture"*, 1995. Traduzione italiana *"La pelle della cultura"*, Milano 1996.

nologia e comunicazione è stato un atto necessario per comprendere come declinare alla rappresentazione d'architettura strumenti dalle potenzialità forse ancora non totalmente espresse. Attingendo ai lavori di coloro che a ragione si possono assumere come capisaldi degli studi sul linguaggio comunicativo, in particolare il linguista ginevrino Ferdinand de Saussure (1857 - 1913), il filosofo viennese Ludwig Wittgenstein (1889 - 1951) ed il linguista russo Roman Jakobson (1896 - 1982), ci si è ricondotti all'analisi di modelli validi per la documentazione del progetto attuata finanche con *medium* digitali: l'attenzione è stata concentrata sul significato di comunicazione, informazione e linguaggio, fattori tornati di grande attualità in un settore disciplinare, quello della rappresentazione e del disegno, che da sempre li relaziona tra loro. De Saussure intende il linguaggio (*langue*) come sviluppo di un sistema iconico di segni che formano il codice di un idioma, distinguendolo dalla *parole*, ovvero dall'atto linguistico del parlante, "individuale" ed "irripetibile". Non esiste il concetto di lingua come *nomenclatura*, intesa come corrispondenza naturale di parole e cose, mentre il segno linguistico è un'entità costituita dall'unione arbitraria di un concetto (*significato*) e della sua immagine acustica (*significante*). L'associazione tra significato e significante per De Saussure non è legata ad alcuna legge naturale, come dimostra la varietà degli idiomi esistenti nella società moderna, anche se una volta istituita in ciascuna lingua diventa canonica e non può più essere modificabile dal singolo parlante. Sebbene questo aspetto sia stato aspramente discusso, le analogie con il disegno e la rappresentazione sono importanti. Scrive infatti Marcello Petrucci "nulla è intrinsecamente segno o veicolo segnico, ma diventa e rimane tale solo in quanto consenta la trasmissione di un'informazione, rendendo noto qualcosa a qualcuno"⁶. Appare evidente come la codifica grafica di un segno in architettura rappresenti un messaggio portatore di una informazione che può essere ampia ed eterogenea, individuabile pertanto come un significante riferito ad un significato intrinseco nella tradizione costruttiva. Dal momento che significante e significato esistono solo l'uno in rapporto all'altro condividendo una simbiosi non determinabile a priori, la tecnologia può creare nuovi segni e nuove convenzioni, dove il significato può variare in base a fattori sociali o soggettivi. Se ne trova conferma già in Wittgenstein: "Lavorare filosoficamente vuol dire lavorare su se stessi e questo vale spesso anche nell'attività

6 - M. Petrucci, "Disegno e progettazione", Dedalo, Bari 1967

dell'architetto: lavorare sulle proprie percezioni, su come si vedono le cose e su ciò che chiediamo da esse". Il significato dunque si oggettivizza, esprimendosi con significanti che possono condurre ad interpretazioni varie⁷. Il *Tractatus Logico-Philosophicus* postula la convinzione di Wittgenstein che le proposizioni siano immagini, raffigurazioni di uno stato di cose ad esse coordinato (definite proprio come *Sachverhalt* - relazione di cose), dove i singoli elementi semplici sono espressi e legati con quelli più complessi della situazione che la proposizione stessa intende descrivere e rappresentare: *"La proposizione deve produrre un modello logico di uno stato di cose. Ciò è possibile solo perché ai suoi elementi furono arbitrariamente coordinati oggetti"*. Anche per Roman Jakobson il rapporto tra concezione ideale e trasmissione comunicativa è fondato sulla contestualizzazione della proposizione esplicativa: il messaggio espresso deve seguire delle regole che siano note in tutto o in parte sia al mittente che al destinatario, deve cioè riferirsi a un codice condiviso da entrambi. In un senso più generale poi, perchè la comunicazione avvenga si deve stabilire un canale, una connessione empatica tra mittente e destinatario.

Ad ogni forma di comunicazione Jakobson attribuisce sei fattori essenziali aventi funzionalità precise:

- una funzione *referenziale o informativa*, nella quale l'attenzione è rivolta proprio verso il contesto, quando cioè la comunicazione è soprattutto finalizzata a fornire una precisa informazione sulla realtà;
- una funzione *emotiva o espressiva*, secondo la quale il messaggio è generato per esprimere l'atteggiamento del mittente rispetto al contenuto del messaggio stesso, con prevalenza dell'immagine soggettiva emozionale;
- una funzione *conativa o esortativa*, dove la trasmissione è incentrata sul destinatario, destinata ad influire sul pensiero o sui comportamenti di chi riceve il messaggio;
- una funzione *di contatto*, stabilita con lo scopo di mantenere aperta la comunicazione tra mittente e destinatario;

7- Anticipando le considerazioni che questo aspetto disvela, è interessante sin da ora prendere in considerazione quanto espresso da Rudolf Arnheim (*"The dynamics of architectural form"*, University of California Press, Berkeley 1977, trad. it. *"La dinamica della forma architettonica"*, Feltrinelli Editore, Milano 1981, p.143), il quale analizzando *"il rapporto tra la forma architettonica oggettiva ed il suo particolare modo di apparire"* osserva che *per comprendere appieno l'opera architettonica si debba ricorrere ad idee espresse da modelli, ovvero "immagini mentali che prima o poi andranno verificate con modellini fabbricati nello studio". In tal modo il significato si esplicita attraverso significanti oggettivi, percepibili soggettivamente ma riconducibili ad un segno che la convenzione e la logica rendono universale.*

- una funzione *estetica o poetica*, che si espleta quando l'attenzione del mittente è diretta verso la struttura stessa del messaggio, verso la sua organizzazione formale, come accade nella produzione artistica;
- una funzione *metalinguistica*, che presuppone l'oggetto del discorso come codice stesso. L'immagine fotografica ne è un comune esempio, in quanto viene utilizzata per reclamizzare se stessa.

Allontanandosi dall'applicazione meramente linguistica di queste teorie, comunicare lo spazio, descrivere l'architettura, raccontare il costruito sono operazioni di trasmissione informativa che necessitano esattamente di queste traduzioni oggettive tra significanti e significati, contestualizzati con proposizioni logiche relazionate tra loro attraverso codici metalinguistici predefiniti, nei quali possa risultare ancora possibile avvicinare la descrizione empatica a quella tecnica esecutiva⁸.

Fornite queste doverose premesse, questo studio ha individuato nel modello della rappresentazione digitale lo strumento latore della comunicazione d'architettura, responsabile ultimo della trasmissione di elementi cognitivi eterogenei, per ragioni che saranno espresse più oltre nella trattazione.

1.2 - La comunicazione in architettura: i modelli della rappresentazione e la rappresentazione dei modelli.

Fin dall'antichità il ricorso alla generazione dei modelli per comunicare idee ed opinioni è stato considerato come un sistema di comunicazione veloce e disambiguo. Il termine stesso infatti scaturisce etimologicamente dal latino *modellus* diminutivo di *modulus*, inteso come forma o stampo.

Non è un caso che, soprattutto nella terminologia utilizzata in alcuni documenti scritti in epoca rinascimentale, l'utilizzo della parola *modello* si sovrapponga talvolta a quella di *disegno*⁹.

Sempre in epoca classica la robusta connessione esistente tra modellazione e realtà viene ascritta ai termini greci *tùpos* e *paràdeigma*, traducibili

8- Anche se non citato più diffusamente in questa parte del testo, sono apparsi di interesse i pensieri espressi da Jurgen Habermas riguardo alla sua teoria dell'agire comunicativo (*Theorie des kommunikativen Handelns*, Frankfurt a.M. 1981), secondo la quale tra il mondo oggettivo degli eventi e quello soggettivo dei dialoganti interviene la dimensione comunicativa linguistica che, attraverso codici composti da segni e definizioni, porta all'azione finalizzata al raggiungimento weberiano di scopi comuni.

9- R.A. Goldthwaite, "La costruzione della Firenze rinascimentale", Il Mulino, Bologna 1984.

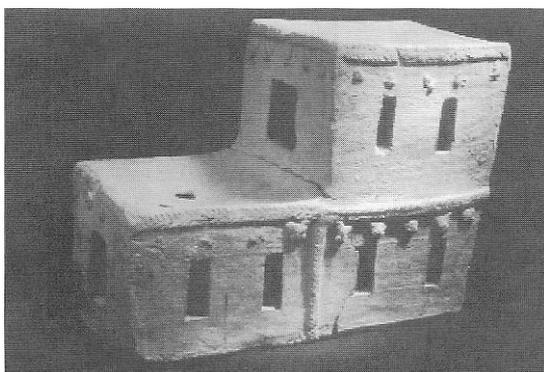


Figura 1.1 - Modello architettonico rinvenuto a Selemiye, in Mesopotamia, risalente con buona probabilità al XIV secolo (fonte: N. Sardo, "La figurazione plastica dell'architettura", Edizioni Kappa, Roma 2004, pag. 23).

come "oggetti da riprodurre", "modelli di costruzione", "simulacri" o "prototipi". Muller opera una prima importante distinzione per il significato di modello nell'antichità¹⁰. Egli distingue tra *modelli architettonici* e *modelli a carattere architettonico*: i primi, decisamente più rari, sono quelli destinati alla prefigurazione di edifici da realizzare, mentre i secondi sono quelli che rappresentano oggetti architettonici già costruiti e che vengono in tal modo duplicati ad una scala più modesta. Sono un esempio di questi ultimi i numerosi oggetti rinvenuti in Medio Oriente, soprattutto in Siria e Palestina, relativi alla civiltà dell'antica Mesopotamia e raffiguranti architetture soprattutto in forma di ossari e tabernacoli. Se gli ossari riproducono abitazioni, i tabernacoli sono fondamentalmente raffigurazioni in miniatura di edifici sacri¹¹.

Anche i modelli risalenti alla civiltà egizia d'altro canto sono numerosi e sono di norma risalenti ad un periodo che si estende da un'epoca anteriore alle dinastie sino, per i progetti più recenti, all'età greco romana.

Successivamente Vitruvio, nel suo *De architectura*, non fa esplicito riferimento a modelli nella pratica costruttiva o nella trattazione dei sistemi di rappresentazione, tuttavia alcuni traduttori rinascimentali hanno individuato nel termine *scaenografia* da egli utilizzato, un possibile significato di "riproduzione in scala". E' da segnalare però che Vitruvio fa invece menzione

10 - B. Muller, "Avant-propos, in *Maquettes architecturales de l'Antiquité, Actes du Colloque de Strasbourg*", De Boccard, Paris 2001.

11 - P. De Miroshedji, "Les maquettes architecturales palestiniennes, *Les Dossiers d'archéologie*", Faton, Dijon, 1989.

dell'uso di modelli nella parte conclusiva del suo trattato, quando descrive le cosiddette macchine per la guerra¹², dove il simulacro replicante il vero costituisce uno strumento utile nell'arte dell'inganno. Anche in epoca medievale è difficoltoso rintracciare informazioni sull'utilizzo di modelli per raccontare o tramandare l'architettura. E' probabile che ciò sia da imputare al costume allora molto comune di distruggere tutti gli esemplari non necessari alla costruzione. A tale proposito, scrive Recht¹³: *“Per quali ragioni i disegni di architettura si sono conservati o, in altri casi, sono andati distrutti? La decisione del 18 novembre 1367 con la quale la fabbrica del Duomo di Firenze ordinò la distruzione di tutti progetti o modelli relativi al campanile ad eccezione di quello che doveva essere realizzato, è forse un caso meno eccezionale di quanto non si creda”*.

Nel 1550 Giorgio Vasari scrive le *“Vite de' più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri”*, rassegna biografica di artisti tra i quali spicca la figura mirabile di Filippo Brunelleschi, il genio autore dell'avveniristica cupola di Santa Maria del Fiore, in quella Firenze quattrocentesca nella quale umanesimo e rinascimento sono straordinariamente confluiti in un'antologia urbana di architetture uniche al mondo.

Proprio riferendosi alla presenza del maestro in cantiere, o meglio nella “fabbrica”, scrive Vasari: *“...egli stesso andava alle fornaci dove si spianavano i mattoni, e voleva vedere la terra, et impastarla, e cotti che erano, gli voleva scerre di sua mano con somma diligenza. E nelle pietre a gli scarpellini guardava se vi era peli dentro, se eran dure, e dava loro i modelli delle ugnature e commettiture di legname e di cera, così fatti di rape; e similmente faceva de' ferramenti ai fabbri”*. Brunelleschi di buon mattino si recava dunque tra i banchi del mercato fiorentino per scegliere le rape, che avrebbe poi intagliato nel corso della giornata per illustrare alle maestranze il plasticismo e la morfologia delle sue intuizioni. Brunelleschi era così un modellatore *ante-litteram*, ovvero una mente brillante in grado di tramutare in una visione tridimensionale il proprio pensiero, trasmettendolo ai suoi interlocutori senza ambiguità.

La nascita della nuova figura dell'architetto inteso come figura intellettuale conduce in questo periodo allo sviluppo parallelo di una nuova prassi costruttiva dove in contrapposizione alla pratica medievale conservatrice, basata sulla reiterazione di elementi consolidati dalla tradizione, la richiesta di

12- Vitruvio, *“De Architectura”*, Libro X, cap XVI.

13- R. Recht, *“Il disegno d'architettura. Origine e funzioni”*, Jaca Book, Milano 2001.



Figura 1.2 - Il modello in esposizione della cupola del Duomo a Firenze, di Filippo Brunelleschi (fonte web Wikimedia Commons http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Filippo_brunelleschi_%28attr.%29_modello_ligneo_per_la_cupola_e_le_tribune.JPG).

un'originalità legata ad un rinnovato interesse per l'antico porta allo sviluppo di codici che abbisognano di sistemi di controllo nuovi, per i quali l'utilizzo di modelli di rappresentazione risulta quanto mai necessario nell'ideazione e nella realizzazione dei grandi edifici¹⁴. I modelli fisici appaiono ora come uno strumento destinato al confronto tra le ipotesi progettuali per far comprendere la spazialità dell'architettura anche ai non specialisti, estendendo la riproduzione in scala non solamente agli interi edifici ma anche a quei dettagli di essi caratterizzati da particolarità.

La fonte principale da cui è possibile comprendere quanto diffusa fosse la pratica di realizzare plastici, oltre ai numerosissimi accenni fatti da Giorgio Vasari (ancora nelle "*Vite de' più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri*"), è l'insieme dei documenti in cui sono testimoniati i pagamenti ai diversi artigiani che li produssero.

Nel Rinascimento il modello diventa il principale elemento guida per la costruzione, tanto che sono svariate le testimonianze del posizionamento di plastici lignei all'interno dei cantieri con valenza manualistica per tutto lo svolgimento della costruzione.

Curioso ricordare come per un difetto nella costruzione della copertura dell'emiciclo del transetto della basilica di San Pietro (che con ogni probabilità fu anche causa di crolli e disagi), Michelangelo Buonarroti dimostrò, mediante un modellino da lui appositamente realizzato, la correttezza del proprio progetto e l'errore esecutivo delle centinature compiute dalle maestranze in fase realizzativa¹⁵.

Nonostante questa estrema consuetudine di produrre *maquettes*, solamente una piccola parte dei modelli assemblati tra il XVII e il XVIII secolo si è conservata sino ad oggi.

Ciò che si evince dallo studio di quanto è sopravvissuto, è la ricerca della verosimiglianza, individuabile come espressione più significativa soprattutto nel modello barocco, dove generalmente non si vuole mettere in evidenza solamente il carattere volumetrico e compositivo degli edifici riprodotto, ma si persegue la completa declinazione di ogni elemento spaziale all'architettura, sia esso cromatico, materico o decorativo. Proprio nel periodo barocco il disegno non è forse più adeguato a raffigurare la complessità delle forme

14- N. Sardo, "*La figurazione plastica dell'architettura. Modelli di rappresentazione*", Edizioni Kappa 2004.

15- R. Pacciani, "*I modelli lignei nella progettazione rinascimentale*", in "*Rassegna*", Anno IX, dicembre 1987.



Figura 1.3 - "Michelangelo presenta a Papa Giulio II il modello per la Basilica di San Pietro", dipinto su tela di Domenico Cresti da Passignano (Tavarnelle Val di Pesa 1559-1638). Il dipinto ritrae il momento in cui l'artista presenta a Sua Santità il modello fisico per il completamento di San Pietro (fonte http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Passignano_Michelangelo_che_da_il_modellino_di_San_Pietro_a_Giulio_II.jpg).

e degli spazi: ecco quindi che si fa ricorso a plastici che divengono componenti fondamentali del fare architettura, in particolar modo per lo studio di tutti gli aspetti problematici nella progettazione. Numerose fonti indicano che Francesco Borromini e Gian Lorenzo Bernini fecero in questo periodo grandissimo uso di riproduzioni in scala¹⁶, anche se purtroppo non se ne sono conservate le *maquette* originali. Vale la pena menzionare una lettera di Luigi Vanvitelli al fratello Urbano, nella quale l'architetto famoso per la realizzazione della Reggia di Caserta afferma che i modelli fanno "*molto meglio effetto che i disegni*", riferendosi alla presentazione del plastico della Reggia stessa ai sovrani Carlo di Borbone e Maria Amalia.

Continuando nella lettura di tale corrispondenza¹⁷, è egli stesso a meravi-

16- Come indicato ad esempio nell'inventario compilato alla morte del Borromini stesso dal notaio Olimpo Ricci, il 3 agosto 1667.

17- F. Strazzullo, "Le lettere di Luigina Vitelli della Biblioteca palatina di Caserta", Congedo, Galatina 1976.



Figura 1.4 - Ludwig Mies van der Rohe davanti al modello plastico della sala Crown dell'IIT di Chicago (fonte: N. Sardo, "La figurazione plastica dell'architettura", Edizioni Kappa, Roma 2004, pag. 7).

gliarsi di come con il modello si va *"facendo l'architettura seria più vista in opera che in disegno"*. Durante il XIX secolo invece la pratica di costruire miniature preliminari esclusivamente descrittive della forma per le costruzioni declina, contemporaneamente all'avvento degli studi ingegneristici per le grandi opere. Vengono in questo periodo realizzati veri e propri prototipi, improntati allo studio delle caratteristiche statiche delle costruzioni, come ad esempio quelli fatti assemblare da Alessandro Antonelli per la cupola della chiesa di San Gaudenzio a Novara, dove il sistema strutturale degli archi è replicato in scala 1:20 per valutarne il comportamento sotto i carichi. Ma sul finire del secolo, con grande anticipo sulla modernità incipiente, appare la figura di Antoni Gaudì, per il quale il modello fisico diviene il momento principale di controllo delle caratteristiche plastiche del suo repertorio formale; in particolare il cantiere della celeberrima Sagrada Família a Bar-

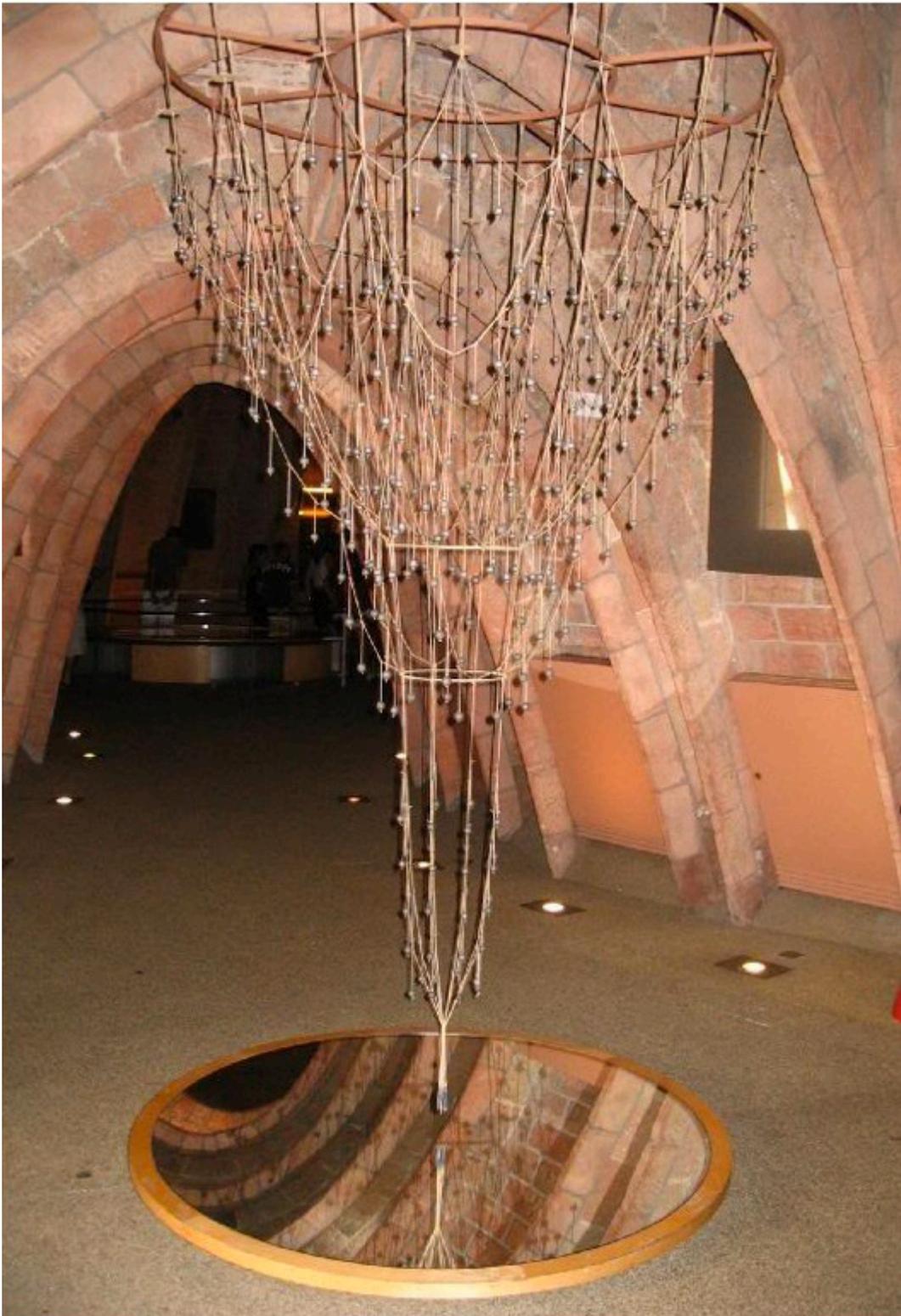


Figura 1.5 - Modello funicolare di Antoni Gaudí per lo studio, visibile nella giusta angolazione attraverso lo specchio sottostante, di una guglia della Sagrada Família, a Barcellona (fonte web <http://travel.webshots.com/photo/2041068680065173667eXYslx>).

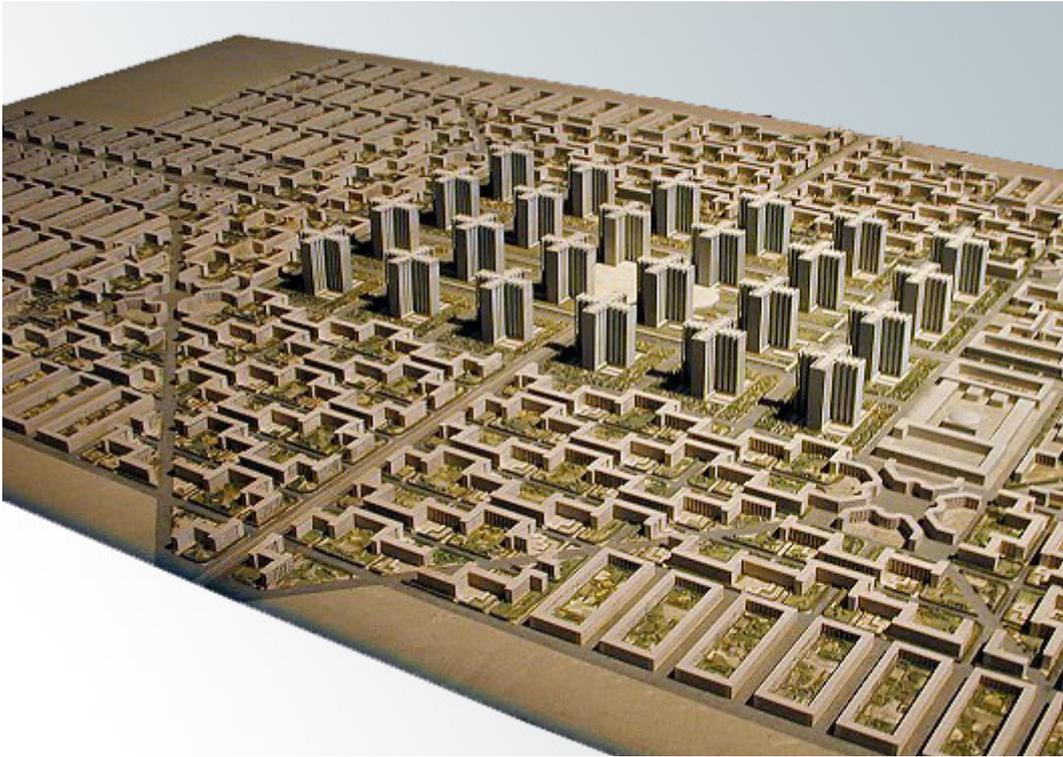


Figura 1.6 - Modello urbanistico del Plan Voisin di Le Corbusier, presentato all'Esposizione Internazionale di Arti Decorative e Industriali Moderne di Parigi, 1925 (fonte web: <http://www.volker-goebel.de/LaDefenseLeCorbusier.html>).

cellona necessita della continua verifica con astrazioni di alta complessità figurativa. Tale consuetudine, profondamente radicata nel processo ideativo dell'architetto, continuerà in cantiere anche dopo la sua morte, accompagnando ancor oggi la costruzione della cattedrale insieme a moderni sistemi di rappresentazione grafica digitale.

Con questa figura di confine si apre l'epoca della sperimentazione e delle avanguardie dell'architettura moderna. Opponendosi all'atteggiamento del secolo precedente in cui l'utilizzo dei modelli era stato posto in secondo piano, i protagonisti della modernità riscoprono la figurazione dello spazio. L'allontanamento dalle espressioni eclettiche ottocentesche, con il loro retaggio di consuetudini, fa del modello il luogo della sintesi per le spinte innovative dell'architettura nuova.

E' in questi anni che l'utilizzo della modellistica vede il cambiamento delle

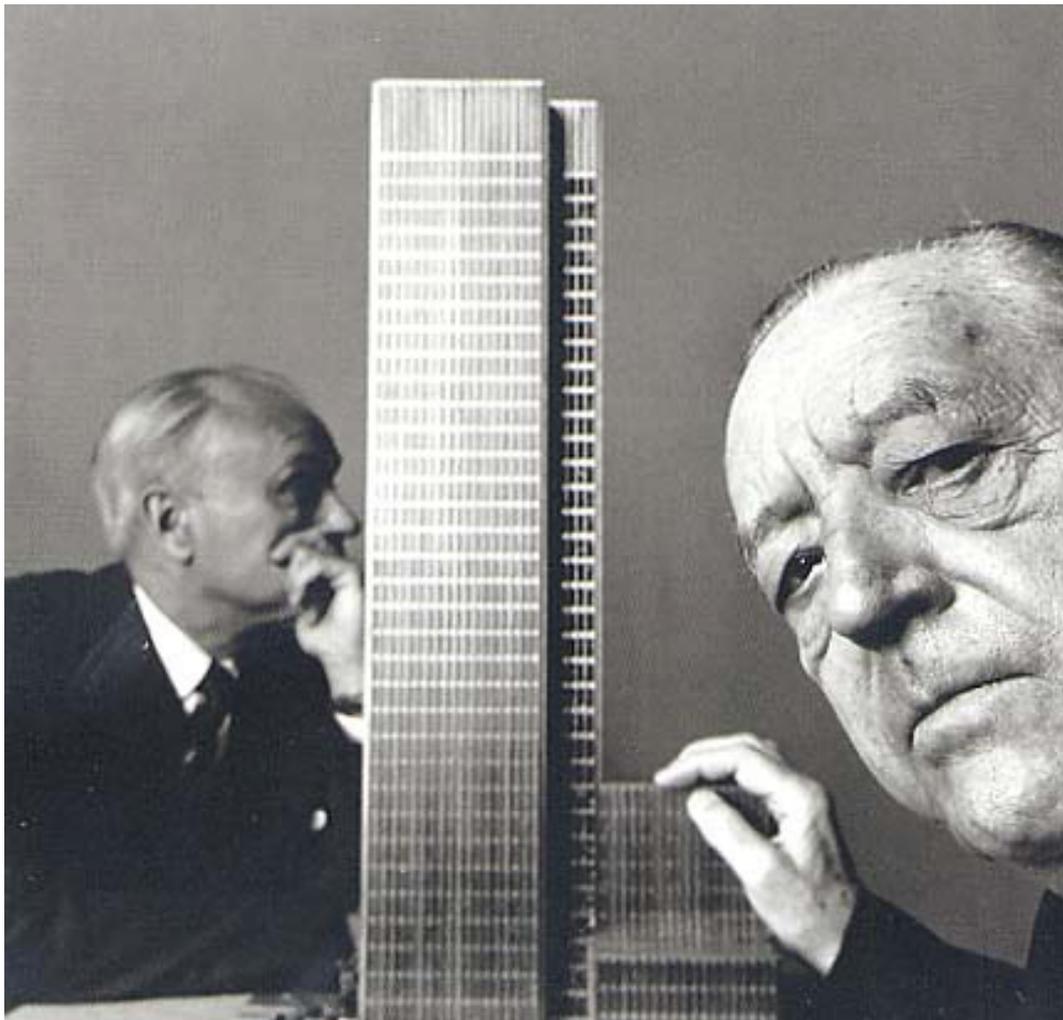


Figura 1.7 - Mies Van der Rohe e Philip Johnson di fronte ad un modello del Seagram Building di New York, nel 1958 (fonte web: <http://209.227.247.203/fa3/it/ricerche-in-mostra/luoghi-critici.html>, fotografia di Irving Penn).

scale di rappresentazione: dalla riproduzione dell'edificio singolo si passa alla raffigurazione di intere città. Esempari sono, a questo riguardo, i modelli di Le Corbusier per la *Ville Contemporaine* del 1922 e del *Plan Voisin* per Parigi, del 1925.

Per il maestro ogni opera è indissolubilmente legata a modelli di studio finali ed essi sono dotati, come i suoi disegni, di un'incredibile forza comunicativa sia negli esempi più sperimentali che in quelli riferibili alla descrizione degli aspetti costruttivi.

Lo stesso si può dire per Ludwig Mies Van der Rohe, dal momento che i

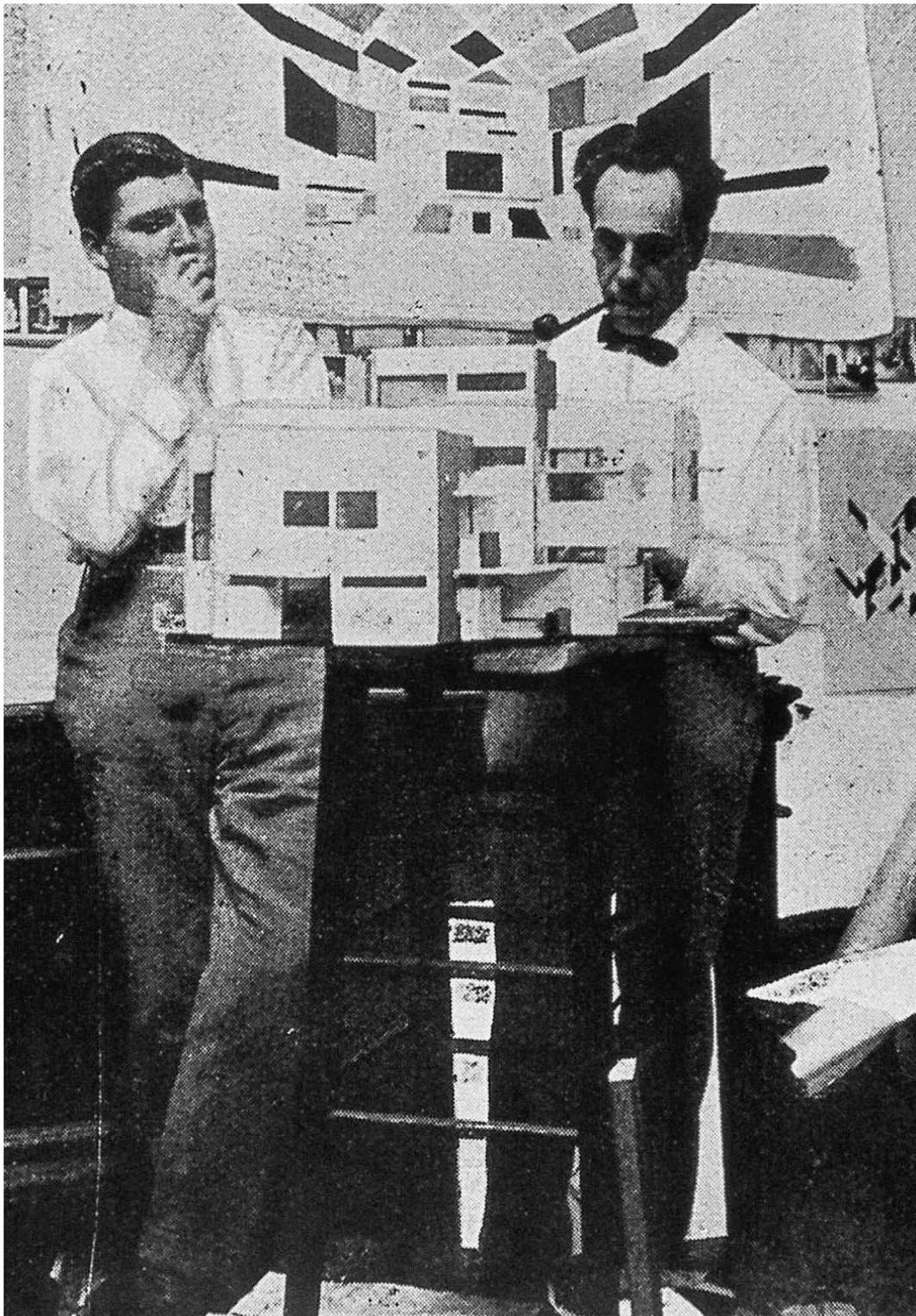


Figura 1.8 - Théo van Doesburg (a destra) e Cornelis van Eesteren (a sinistra) mentre lavorano insieme su di un modello architettonico nello studio di Parigi, nel 1923. Immagine conservata all'Aia, Netherlands Institute for Art History (inv.nr. 5302 - fonte web: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cornelis_van_Eesteren_and_Theo_van_Doesburg.jpg).

modelli delle sue opere testimoniano la transizione tra le prime esperienze espressionistiche ed il successivo approccio minimalista (si cita ad esempio il plastico per il grattacielo di Friedrichstrasse a Berlino, del 1922).

In Italia la modellistica diviene manifesto, come nel caso dei progetti del Novocomum o l'Officina del Gas presentato nel 1928 alla mostra di arti decorative di Monza da Giuseppe Terragni.

Il periodo tra le due guerre mondiali è forse il più fecondo dal momento che numerosi concorsi di architettura spingono le più note firme dell'epoca a presentare modelli per illustrare al mondo le proprie idee.

I concorsi più importanti sono quelli per il palazzo del Littorio del 1934, per il ponte duca d'Aosta (1935) o per i vari edifici dell'E42 (1937-1938) dove le personalità che emergono sono principalmente quelle di Adalberto Libera, dello stesso Giuseppe Terragni, di Luigi Moretti, di Mario Ridolfi, di Luigi Figini e di Gino Pollini per citarne alcuni.

Il secondo dopoguerra costituisce un nucleo di sperimentazione ulteriore dove soprattutto nella definizione di nuove proposte urbane i modelli trovano un fondamentale momento di popolarità: non si possono non citare le opere di Otto Frei, Arata Isozaki, Archigram o Aldo Rossi, dove formalismi e culture differenti si incontrano nell'utilizzo del plastico come strumento declinante cambiamenti linguistici, rivolti contestualmente alla tecnologia informatica sempre più radicata nei repertori espressivi degli architetti.

La nuova architettura contemporanea diviene così narrata e concepita per mezzo di duali digitali nei quali è contenuta la consapevolezza di una nuova funzione creativa e progettuale: la contemporanea presenza del plastico e del suo corrispondente informatico, ottenuto mediante l'utilizzo della computer grafica, è oramai una pratica consolidata e le due modalità di rappresentazione coesistono con la loro capacità di rapportarsi in maniera complementare rispetto all'unitarietà del progetto. Le implicazioni di questa transizione stanno influenzando, ora come mai prima, le correnti architettoniche più affermate. Non è un caso che le recenti realizzazioni di *architettura bio-digitale* (che si rifanno ad un approccio genetico-morfologico ispirato alle forme esistenti come *pattern* in natura) sfruttino diffusamente l'informatica per generare superfici e spazi da scansioni tridimensionali dell'esistente o da algoritmi matematici che ne descrivono numericamente i movimenti plastici o le ricorsività formali, per adattare a nuove morfologie espressive dello spazio costruito.

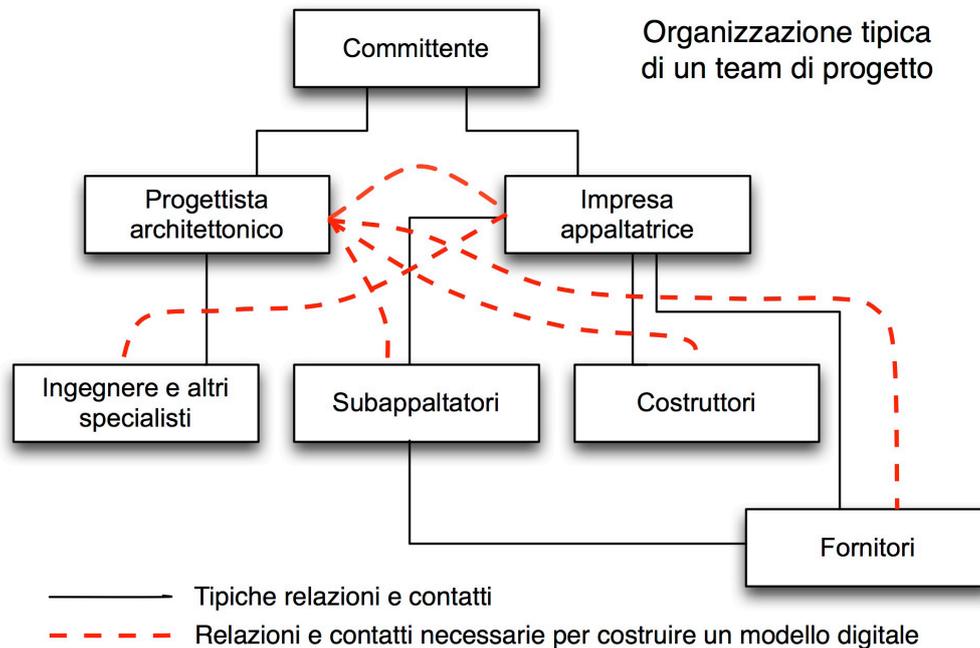


Figura 1.9 - Schema delle relazioni esistenti in generale in un modello Design Bid Build tra le figure professionali coinvolte nel processo di fabbricazione edilizia. Le connessioni specifiche strettamente necessarie per costruire un modello digitale del progetto utile al più vasto numero di attori sono rappresentate dalla linea rossa tratteggiata.

1.3 - Metodi e tecniche consolidate per progettare il costruito: il modello DBB.

Attualmente il processo di progettazione dell'industria delle costruzioni è un'attività piuttosto frammentata che dipende da modalità di comunicazione sostanzialmente basate su documenti cartacei. Errori ed omissioni sono spesso la causa di ritardi, costi non previsti ed eventuali contenziosi insorgenti tra le varie parti che operano nei team di progetto.

Gli sforzi recenti per risolvere questi problemi hanno portato all'introduzione di normative che prevedono disegni esecutivi sempre più precisi, utilizzo di tecnologie che permettono l'elaborazione di informazioni in tempo reale ed implementazione di strumenti CAD tridimensionali; sebbene tutti questi me-

todi abbiano giovato allo scambio corretto delle informazioni, essi non hanno in realtà ridotto la gravità e la frequenza dei conflitti innescabili dalle ambiguità presenti nei documenti cartacei che da essi si continuano a derivare. Uno dei più comuni problemi che scaturiscono durante la fase di progetto è il considerevole quantitativo di tempo e di denaro speso per generare elaborati progettuali decisionali, tali da consentire cioè le stime dei costi, l'analisi dei dispendi energetici, le analisi strutturali, e via di questo passo.

Normalmente questi approfondimenti vengono prodotti a preliminare concluso, quando è ormai troppo tardi per effettuare importanti cambiamenti: dal momento che non avvengono quasi mai processi di controllo interattivo durante la progettazione iniziale, sovente devono essere inserite delle soluzioni di ripiego a lavori avviati, compromettendo molto spesso l'idea originale.

Una significativa percentuale di edifici sono attualmente costruiti in questo modo¹⁸, usando il cosiddetto approccio DBB (*Design-Bid Build*) che in buona sostanza si configura come un'attività di progettazione che tiene in grande considerazione soprattutto gli aspetti economici della costruzione.

Nel modello DBB, il cliente (proprietario) commissiona ad un ingegnere o ad un architetto, lo sviluppo di una lista di richieste che il futuro edificio dovrà soddisfare insieme alla stesura di un programma degli obiettivi di progetto. Il professionista procede attraverso una serie di fasi: il disegno schematico concettuale, il disegno definitivo e la redazione dei documenti di contratto. Gli elaborati così realizzati devono soddisfare il programma lavori e tutte le normative regionali e nazionali che vedranno il progetto contestualizzato.

Il progettista si può avvalere di impiegati o consulenti per assisterlo nel dimensionamento di massima delle strutture, degli impianti e dei servizi.

Tutti i contributi sono quindi registrati in disegni, generalmente cartacei, che rappresentano piante e prospetti al più insieme a visualizzazioni 3D, che devono poi essere coordinate per rispecchiare tutti i cambiamenti che verranno successivamente introdotti. Il set definitivo degli elaborati specifici dovrà contenere un sufficiente dettaglio per agevolare le successive offerte dei costruttori. I due maggiori benefici derivanti da questo metodo di lavoro sono basati sull'offerta più competitiva per raggiungere il minor prezzo possibile da addebitare al committente e la minor pressione politica possibile per scegliere un dato esecutore (ciò è piuttosto evidente quando si affrontano opere pubbliche).

¹⁸- M. Hallowell, T. M. Toole, "Contemporary Design-Bid-Build Model", in *J. Constr. Engrg. and Mgmt.* Volume 135, Issue 6, 2009.

E' facile comprendere che queste pratiche spesso conducono a dispute con le imprese, dal momento che errori od omissioni possono essere individuati quasi solamente all'atto dell'offerta e gli extra costi o le responsabilità definite in contenzioso al momento della stipula dei contratti.

La seconda fase di questo processo infatti prevede che vengano effettuate, proprio sulla base dei documenti prodotti, delle offerte da parte delle imprese di costruzioni o più generalmente dai *contractors*, che sulla base delle valutazioni dimensionali sviluppano dei computi metrici estimativi per la definizione dei costi di costruzione.

Queste figure il più delle volte, soprattutto nel caso di progetti di rilevante entità, subappaltano la generazione degli elaborati a base di offerta ad altre figure, che sostanzialmente seguono le stesse logiche operative.

A causa dello sforzo richiesto quindi appaltatori e subappaltatori contribuiscono tipicamente a spendere circa l'1% dei costi stimati delle opere da loro stimati nella compilazione delle offerte (stima di Paul Teicholz, 2008).

Di norma il vincitore è quello con l'offerta responsabilmente più bassa ma prima che i lavori possano iniziare è spesso necessario disegnare nuovamente alcune tavole di progetto, per individuare nel processo di costruzione le fasi corrette di lavorazione, con ulteriore dispendio di risorse.

Le imprese specialistiche che si assumono l'onere in subappalto di particolari opere devono produrre anche elaborati per definire esecutivamente i dettagli che le vedranno impegnate (è il caso ad esempio dei produttori di prefabbricati, di elementi in calcestruzzo precompresso e in acciaio, di dettagli tecnologici per pareti, di condotte, ecc.). Se questi disegni non sono accurati o completi, o peggio ancora se sono basati su altri disegni che già contenevano errori ed inconsistenze, allora le spese per le correzioni e per le eventuali opere di adeguamento divengono ingenti.

I problemi tipicamente insorgono quando l'impresario fa un'offerta al di sotto dei reali costi stimati per vincere la commessa.

Da quel momento egli abuserà della propria posizione introducendo varianti più economiche agli elementi di dettaglio nel progetto, al fine di recuperare le perdite naturalmente insorgenti rispetto all'offerta originale.

Ciò conduce verosimilmente a numerose dispute tra il proprietario e il team di progetto, dal momento che il processo DBB richiede che la fornitura di tutti i materiali sia spesso effettuata nel momento in cui il proprietario autorizza l'offerta: ciò significa che alcune componenti potrebbero non esse-

re pronte all'inizio dei lavori introducendo ulteriori ritardi o cambiamenti di emergenza ai cronoprogrammi delle lavorazioni di cantiere.

La fase ultima prevede tutte le operazioni che devono essere effettuate a progetto concluso come i collaudi di strutture e di impianti, per accertarsi che essi funzionino correttamente: tipicamente in questa fase vengono prodotti gli elaborati, soprattutto impiantistici, definiti *as-built*, che verranno poi consegnati al proprietario insieme ai manuali delle strumentazioni impiantistiche installate. A questo punto il processo DBB è completo e le ragioni di molti contrasti individuate.

1.4 - I modelli collaborativi in edilizia: vantaggi e limiti del team-working.

Da studi condotti nell'ambito dei paesi più industrializzati per quanto concerne il mercato delle costruzioni (Carrara et al., 2008), emergono principalmente due fattori di crisi per la pratica di progetto: la crescente complessità del processo edilizio e l'impercettibile ma continua ed oggettiva riduzione della qualità degli interventi, anche a causa delle ambiguità espresse nel radicato processo DBB esposto al paragrafo precedente. La complicazione connaturata al prodotto edilizio può essere ascritta alla sempre più settorializzata normativa tecnica e procedurale, alla crescente dimensione degli interventi da realizzarsi e non da ultimo ai livelli prestazionali richiesti all'insieme od alle singole parti del costruito.

Parallelamente, il risultato in termini di qualità od aspetto puramente formale il più delle volte non risulta soddisfacente sotto i profili dei consumi, delle funzioni, del raggiungimento degli obiettivi tecnici e così via.

Questi fattori disaggreganti sono senza dubbio correlati indissolubilmente, dal momento che la ridotta qualità in edilizia può dipendere direttamente dalle inadeguatezze riscontrabili nella progettazione, espressa dall'inconsistenza tra le sue parti (gli "*errori materiali*" già esposti da parte dei progettisti), dall'incoerenza tra le specifiche progettuali (come nel caso di normative non compatibili tra loro) oppure dall'incongruenza tra i requisiti richiesti al progetto e le soluzioni architettoniche adottate per rispondervi¹⁹.

19- G. Carrara, "*B.K.M. Un ambiente per la collaborazione progettuale basato su tecniche di rappresentazione e gestione della conoscenza*", 2008.

Secondo Gianfranco Carrara queste inadeguatezze sono causate da problemi di comunicazione e di comprensione tra i vari attori partecipanti²⁰, causate dalla presenza simultanea di numerose discipline e competenze specialistiche frammentate. Per esse il termine “informazione” si traduce nel patrimonio conoscitivo che apportano singolarmente al flusso progettuale, acquisito attraverso testi di riferimento, studi scolastici ed accademici, riviste di settore, esperienze personali pregresse e specializzazioni varie delle figure coinvolte.

Nel momento in cui questo patrimonio informativo non si integra in un processo collaborativo, ma sfocia in una sequenza di procedure addirittura concorrenziali, si instaurano delle realtà sincroniche secondo le quali gli attori si scambiano un numero limitato di informazioni, in maniera non lineare e tra ambiti con rigidi vincoli definiti e non omogenei.

In realtà, la collaborazione progettuale (il cosiddetto *team-working*) che si dovrebbe instaurare esiste da molto tempo, pur con modalità e tecnologie dipendenti dal contesto ambientale ed epocale.

Sempre secondo Carrara, le basi fondamentali della collaborazione risiedono nella conoscenza e nel modo con il quale questa è interscambiata dagli attori, indipendentemente dagli strumenti progettuali adottati.

Appare dunque importante l'introduzione di un modello generale rappresentativo della complessità del processo produttivo, all'interno del quale le informazioni siano adeguatamente formalizzate. Secondo questo approccio, la problematica dell'interscambio tra figure provenienti da differenti formazioni professionali e culturali è affrontata colmando le “*lacune di conoscenza*” attraverso l'arricchimento semantico dei documenti tra le parti, evitando per quanto possibile l'informazione implicita, quella cioè nella quale nessuna entità ha un significato intrinseco se non quello che assume nel contesto professionale, scientifico e culturale nel quale è inserita.

E' il caso degli elaborati impiantistici ad esempio, per i quali il tracciato di condotte o il posizionamento di allacci è rappresentato sovente da simbolismi grafici, privati della componente morfologica e dimensionale e dove il relazionamento con il resto del piano progettuale è lasciato all'intuito od alla maestria dell'esecutore.

Come sarà più diffusamente trattato nel corso del terzo capitolo di questo lavoro, l'approccio collaborativo di sviluppo che dovrebbe ottimizzare

20- Si veda in tal senso anche J. Wix, “ISO 10303 Part 106, Building Construction Core Model / T200”, 1997.

il processo produttivo in edilizia necessita di alcuni requisiti fondamentali. La comunità scientifica internazionale ha negli anni intrapreso studi e ricerche per sviluppare metodi di interoperabilità, efficaci e comprensibili, per condividere la conoscenza in rapporto ai differenti contesti operativi di riferimento. Gli strumenti adottati per formalizzare tali linguaggi si sono per lo più basati su principi di *Ingegneria della Conoscenza*²¹, applicati a sistemi CAAD od integrati da strutture parametriche.

Negli ultimi anni gli sforzi si sono concentrati nel *Building Information Modeling*, o BIM, piattaforma pilotata, ma non coordinata, dalle maggiori aziende mondiali che commerciano in sistemi CAD. In questi ambienti informatizzati il controllo dei contenuti è, come si illustrerà, demandato allo strumento elettronico, che archivia e cataloga senza tuttavia applicare filtri al quantitativo di nozioni dirottabili ai differenti membri del team di progetto.

La possibilità di leggere la complessità dell'architettura mediante questi metodi moderni di compendio tra rilievo e conoscenza, conferma quanto aveva già sostenuto Owen Jones nella proposizione della sua *Grammar of Ornament*²²: "...l'architettura è l'espressione materiale dei saperi, dei voleri, delle abilità e dei sentimenti, dell'età e del periodo in cui è creata".

21 - "L'Ingegneria della Conoscenza è una disciplina che riguarda l'integrazione della conoscenza in sistemi informatici al fine di risolvere problemi complessi che tipicamente richiedono un alto livello di specializzazione umana. La disciplina si riferisce alla costruzione, manutenzione e sviluppo di sistemi basati sulla conoscenza. E' correlata all'ingegneria del software ed è utilizzata in diverse aree dell'informatica quali l'intelligenza artificiale, le basi di dati, il data mining, i sistemi esperti e così via. L'ingegneria della conoscenza è anche correlata alla logica matematica e alle scienze cognitive" (fonte: Wikipedia.it).

22- J. Owen, "Grammaire de l'ornement: illustrée d'exemples pris de divers styles d'ornement", Londres, Day, Paris, chez Cagnon 1965.

Capitolo II

Teorie e tecniche per archiviare e rappresentare il progetto

“La simulazione cognitiva, ovvero la costruzione di modelli mentali, è una delle cose che gli esseri umani fanno meglio”.

(Howard Rheingold, “The cognitive connections”, 1986)

La documentazione del paesaggio costruito, così come la narrazione delle idee scaturite nella mente dell'architetto o dell'ingegnere che lo progettano, sono trasmissioni di informazione che possono essere effettuate mediante livelli diversi di precisione.

L'utilizzo di tecnologie informatiche particolarmente adatte alla catalogazione strutturata di nozioni tecniche e proprietà costruttive, mette a disposizione del progettista e del suo team dei dispositivi cognitivi raffinati, che possono fornire aiuto nelle decisioni da prendere a vario titolo.

In questo capitolo verrà presentata una rassegna di metodologie concepite per modellare la complessità in edilizia, sfruttando nello specifico programmi informatici più o meno specialistici, scritti per analizzare e descrivere gli aspetti critici nella progettazione architettonica.

2.1 - La rappresentazione digitale in architettura: documenti preliminari e definitivi.

La *rivoluzione informatica*, termine usato ed abusato negli ultimi anni, sta indubbiamente caratterizzando quella che è stata definita “*architettura digitale*”, definizione generalista che in realtà accoglie una transizione epocale non solo per gli strumenti di comunicazione e rappresentazione adottati ma

più in generale per i processi creativi e generativi introdotti. Reinventando i metodi espressivi tradizionali e producendone di nuovi, i media digitali hanno mutato il concetto fondativo dell'architettura, proiettandola in un *cybercosmo* dove spazio e tempo hanno acquistato valenze del tutto nuove.

Nel mondo dei *bit*, il materiale diventa immateriale, evanescente, la linearità si evolve in flusso, lo spazio diventa informazione, un moto di impulsi che imbrigliano un'espressione olistica della plasticità e della funzionalità architettonica.

Per William J. Mitchell il rapporto tra umano ed elettronico è destinato ad evolvere naturalmente in una connessione tra digitale ed architettura, intesa non tanto come spazio rappresentato bensì come collegamento informativo verso piattaforme tecnologiche: *"la vostra stanza e la vostra casa diventeranno parte di voi e voi diventerete parte di esse"*¹.

Pur tuttavia la potenzialità insita nel *medium* digitale si esprime compiutamente nella prefigurazione di ciò che sarà attraverso modelli, simulazioni numeriche e visive in grado di raccontare lo spazio, esplicitandone i dettagli più tecnici e non solamente grafici.

Il capitolo precedente ha sottolineato come tale tendenza non sia del tutto originale ed esclusiva della contemporaneità, dal momento che, come scriveva Leon Battista Alberti, *"tra l'opera grafica del pittore e quella dell'architetto c'è questa differenza: quello si sforza di far risaltare sulla tavola oggetti di rilievo mediante ombreggiature e il raccorciamento di linee ed angoli; l'architetto invece, evitando le ombreggiature, raffigura i rilievi mediante il disegno di pianta, e rappresenta in altri disegni la forma e l'estensione di ciascuna facciata e di ciascun lato servendosi di angoli reali e di linee non virtuali: come chi vuole che l'opera sua non sia giudicata in base ad illusorie parvenze bensì valutata esattamente in base controllabili. E' dunque opportuno costruire modelli"*². In questa ottica, il modello di rappresentazione dello spazio costruito si fonda sinteticamente su un principio di *input* e di *output* dell'informazione, dove il cammino oggettivo di quest'ultima attraversa situazioni di disturbo che possono o meno compromettere l'integrità del messaggio comunicato.

Quindi, la figurazione digitale non vuole solamente essere apparenza, visualizzazione, ma anche scambio documentato, come intende de Ruber-

1 - W.J. Mitchell, *"La città dei bits"*, Electa, Milano 1997, p. 23.

2 - L.B. Alberti, *"De re aedificatoria"*, Libro II, I.

tis³, tra *mimesi della rappresentazione e semantica conoscitiva*. Queste le necessarie considerazioni che hanno portato all'analisi di strumenti in grado di implementare il disegno con le basi di dati, per amplificarne le possibilità di esplorazione conoscitiva di entrambi.

Per le scienze informatiche il termine *database*, ovvero *banca dati* ovvero *base di dati*, si riferisce ad un archivio di informazioni strutturato in modo tale da consentire la gestione dei dati stessi (come l'inserimento, la ricerca, la cancellazione ed il loro aggiornamento) eseguibile da parte di applicazioni software. Il database è un insieme di dati che vengono suddivisi in ordine logico per argomenti (*record*) e successivamente per categorie (*campi*). Informalmente ed in maniera impropria, la parola database va spesso ad indicare una abbreviazione dell'espressione *Database Management System* (DBMS), contesto che definisce un insieme più vasto di applicativi che consentono la creazione e la manipolazione efficiente di basi dati anche multiple. La rappresentazione dell'informazione all'interno di un sistema gerarchico, reticolare, relazionale, ad oggetti oppure semantico ha visto susseguirsi nel tempo svariati tentativi di rendere il reperimento di nozioni e contenuti sempre più immediato e agevole. Tale necessità (definita come pratica di *information retrieval*) è individuata in letteratura scientifica come l'insieme delle tecniche utilizzate per il recupero mirato dell'informazione in formato elettronico. Il termine è stato coniato da Calvin Mooers⁴ alla fine degli anni Quaranta del secolo scorso, ed è oggi usato quasi esclusivamente in ambito informatico.

Contemporaneamente l'accrescimento del volume informativo e della complessità degli aspetti derivanti dalla raccolta di molteplici quantità di dati ha introdotto disagi dovuti alla ridondanza delle informazioni duplicate sovente inutilmente, giungendo al perfezionamento di sistemi di database detti relazionali (teorizzati da Edgar F. Codd⁵), in grado di salvare i dati in formati

3 - Nel costruire il modello grafico informatizzato (...) l'obiettivo può essere la riproduzione degli aspetti più propriamente percettivi della realtà, vale a dire delle sue apparenze in termini di visione soggettiva (...) nel qual caso il modello è "mimetico", oppure può essere l'elaborazione di schemi interpretativi variamente ricostruttivi di proprietà non valutabili attraverso la visione diretta (...) nel qual caso il modello è "analogico". (R. de Rubertis, "Il disegno digitale: libertà o coartazione espressiva?" in L. Sacchi, M. Unali (a cura di), "Architettura e cultura digitale", Biblioteca di architettura Skira, Milano, 2003).

4 - E. Garfield, "A tribute to Calvin N. Mooers, A pioneer of Information Retrieval", *The Scientist*, Vol:11, #6, p.9, March 17, 1997.

5 - Significativo a questo riguardo il contributo di Edgar Codd con lo scritto "The relational model for database management" (Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1990), dove l'autore descrive venti anni di esperienze pratiche di data processing finalizzate alla ricerca di un'ottimizzazione e semplificazione della gestione delle informazioni.

collegabili tra di loro (attraverso le relazioni) senza necessariamente abbisognare di una clonazione ricorsiva del contenuto.

Questi modelli di dominio⁶ descrivono quindi senza ambiguità e monodirezionalmente le varie entità che fanno parte o hanno rilevanza nel sistema, verificando che le loro relazioni siano univoche e rendendo omogeneo un vocabolario generale rigoroso e specifico.

L'information retrieval che si occupa della "navigazione informativa" è un campo interdisciplinare che nasce pertanto dall'intreccio di studi e discipline diverse, coinvolgendo tra le altre la psicologia cognitiva, la filosofia ontologica, il design, la linguistica, la semiotica, la scienza dell'informazione e l'informatica. Molte università e biblioteche pubbliche utilizzano da tempo sistemi di information retrieval con profitto, per fornire accesso a pubblicazioni, libri ed altri documenti, sottolineando l'importanza dell'applicazione. E' apparso interessante così coniugare questi concetti relazionali alla documentazione del paesaggio urbano od architettonico in maniera che, utilizzando sintassi di interrogazione basate su comandi testuali, potessero essere messe a disposizione del richiedente le conoscenze inseribili in un archivio informativo dedicato. Due concetti che si sono dimostrati di fondamentale importanza in tal senso sono stati quelli di query e di oggetto.

La *query* (termine originato dall'inglese interrogazione) è una stringa di parole chiave rappresentanti l'informazione richiesta, inseribili dall'utente mediante interfaccia. La domanda informativa così formulata viene messa in relazione con gli oggetti presenti nella banca dati così che il sistema possa fornire in risposta un insieme di informazioni che soddisfino le condizioni richieste. I motori di ricerca che sono presenti in rete, come ad esempio i noti Google e Yahoo, forniscono un esempio aderente a quanto appena esposto.

Le relazioni esistenti tra i singoli elementi conoscitivi memorizzati all'interno dell'archivio garantiscono la formazione della risposta soddisfacente ad una query particolarmente quando rispettano i cosiddetti vincoli di integrità, ovvero predicati che possono assumere il valore di vero o falso quando riferiti all'istanza alla quale vengono relazionati. In generale, ad uno schema di base di dati si associano un insieme di vincoli e si considerano corrette (o lecite, o ammissibili o vere) le istanze che soddisfano tutti i vincoli.

⁶ - In informatica, il termine inglese *domain model* (letteralmente: "modello di dominio") denota un possibile modello concettuale di un sistema (fonte:Wikipedia.it).

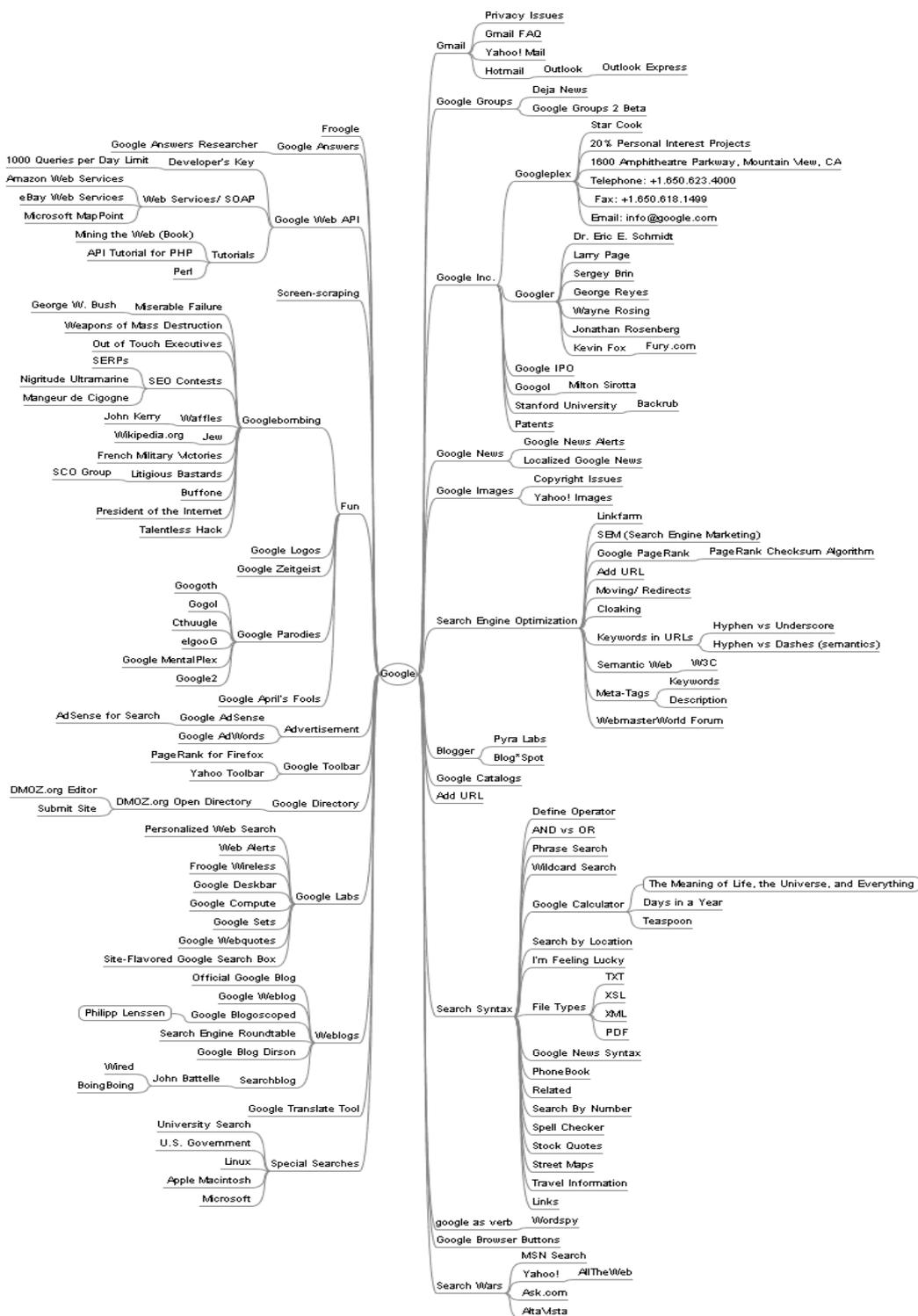


Figura 2.1 - Google Mind Map: per rispondere ad una query formulata dagli utenti, il database centralizzato di Google Inc. sfrutta un complesso sistema di information retrieval, che si apre verso una pletera di componenti strutturate per ambiti specifici di ricerca informativa. I vincoli di integrità sono naturalmente molto importanti e si relazionano tra i diversi moduli secondo logiche aggregative dettate da concetti mutuati dalle scienze cognitive (fonte web: http://www.gogeometry.com/mindmap/google_product_help.html).

Immaginando di generare archivi basati su queste logiche per catalogare elementi precipui di architetture costruite, occorre individuare come sistema informatico la struttura composta dai calcolatori, dalle reti informatiche e da tutte quelle procedure per la memorizzazione, l'acquisizione e la trasmissione elettronica delle informazioni, cercando di mantenere il più possibile disgiunto da questi il sistema informativo, modello di archivio inteso come un prodotto che, come verrà trattato nel quinto capitolo, può essere originato da programmi diversi e non necessariamente comunicanti tra di loro nella fase generativa.

Nell'analisi delle necessità specifiche di archiviazione per gli elementi concorrenti nella descrizione oggettiva di organismi architettonici o di scenari urbani (basi per questo lavoro di ricerca) sono individuabili due possibili e necessari livelli distinti di precisione per l'acquisizione informativa, soprattutto per costruzioni esistenti: uno step *preliminare* di indagine ed uno *definitivo*.

Inizialmente il flusso di lavoro che consente di comprendere come organizzare il contenuto informativo ha come obiettivo quello di acquisire l'informazione che, a livello *preliminare*, può partire da un rilievo per immagini in forma speditiva. Essendo questa la modalità più immediata per conoscere l'oggetto di studio esistente e per documentare in maniera rapida ed efficace il contesto entro il quale esso stesso è inserito, da molti anni si sfruttano panorami immersivi virtuali codificati, utilizzando in prima istanza la consolidata tecnologia **QuickTime Virtual Reality (QTVR)** di Apple.

Si tratta di un particolare formato di archiviazione per immagini digitali che consente di catturare viste panoramiche e renderle esplorabili interattivamente da differenti punti di vista, contribuendo a generare raccoglitori digitali destinati all'esplorazione interattiva di scenari complessi come le architetture storiche o i contesti urbani (Mingucci, 2003).

Le immagini che stanno alla base di questo approccio vengono composte in modo da riprendere il paesaggio che circonda l'osservatore, quindi il punto di presa, così da ottenere un numero sufficiente di viste adatte per la creazione di uno scatto fotografico a 360° (operazione ottenuta per mosaicatura dei fotogrammi, detto processo di stitching).

In tal senso esistono due tipi distinti di panorami VR: quelli composti da una singola striscia di immagini orizzontali (*Single row panoramas*) e quelli generati a partire da più strisce sovrapposte di fotografie riprese con differenti

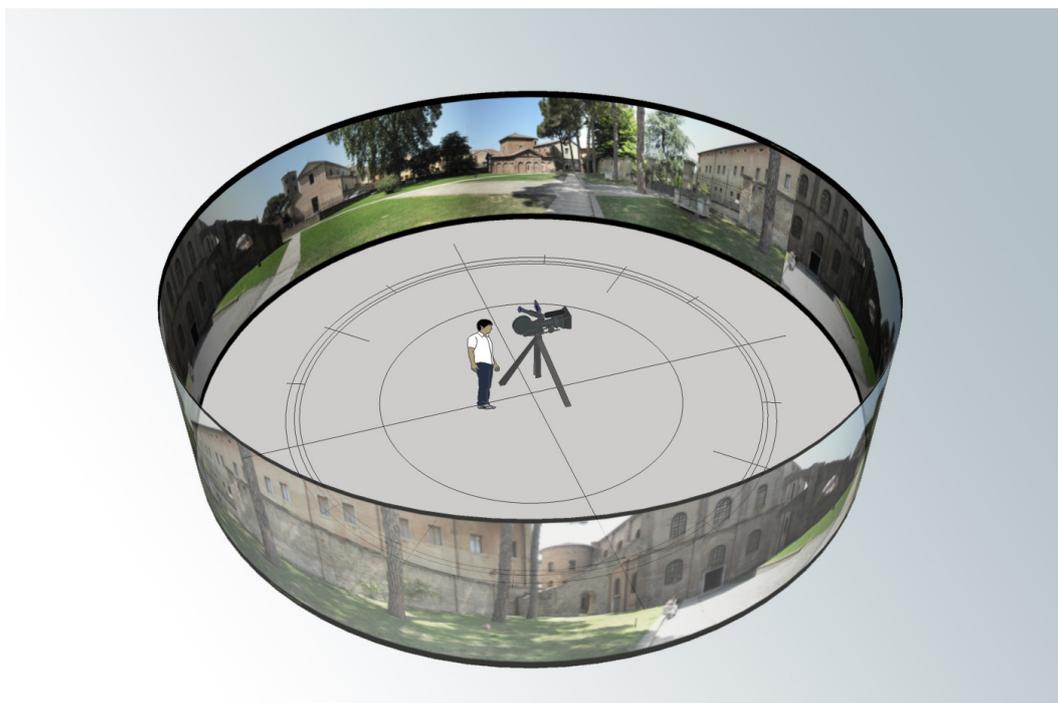


Figura 2.2 - Un panorama *QuickTime Virtual Reality* è un particolare formato di archiviazione fotografico in grado di documentare, mediante viste immersive, scenari anche complessi. Nell'immagine è riprodotto lo schema di presa per un QTVR cilindrico (grafico di S. Garagnani, 2010).

angoli di inclinazione (*Multi-row panoramas*). Se risulta possibile definire anche la vista zenitale e del piano d'appoggio del punto di presa, i panorami non sono solamente cilindrici a 360° ma consentono una rotazione completa, anche verticalmente, del punto di vista prendendo il nome di *VR cubici* o *sferici*; l'artificio matematico che permette la generazione di questi ambienti considera come frontiera visuale un cubo posto attorno all'osservatore, posizionato nel suo baricentro.

Le immagini catturate possono essere composte sulle facce interne di tale cubo ricreando una scena immersiva riproducibile per sintesi, dove gli spigoli vengono approssimati ricreando l'effetto di una continuità tra piani. L'aspetto interessante di tale tecnologia per acquisire la conoscenza del luogo da documentare, è senza dubbio quello di ottenere con operazioni semplici e con l'utilizzo di una strumentazione maneggevole, economica e versatile, un risultato integrabile con crescente accuratezza in un secondo momento. Una caratteristica interessante della tecnica esposta è la possibi-

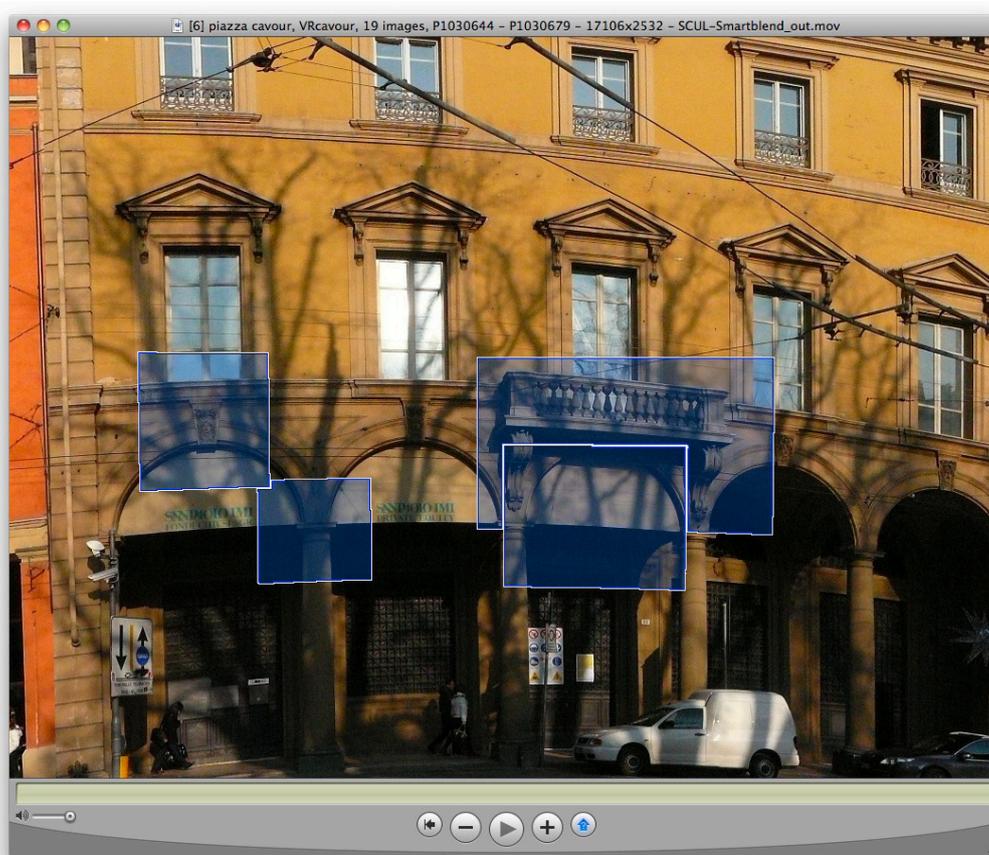


Figura 2.3 - In un *player* di file QTVR (generalmente QuickTime Player di Apple), gli *hotspot* vengono rappresentati con campiture sovrapposte all'immagine raster panoramica, collegati mediante *hyper-link* a pagine web o ad altri nodi, a formare le scene (immagine elaborata da S. Garagnani).

lità di poter generare intere scene a partire dai singoli panorami mosaicati, che prendono il nome di nodi.

Una scena quindi racchiude un insieme strutturato di nodi in grado di documentare, con viste panottiche differenti, i fronti del soggetto individuato.

All'interno dei singoli nodi è possibile inserire in seconda istanza dei punti di navigazione (*hotspot*) che conducono da un nodo all'altro all'interno della medesima scena. Questi elementi interattivi sono immaginabili come una sorta di indice generale utile per l'individuazione e la successiva analisi dei singoli componenti di un complesso più ampio di informazioni.

È bene puntualizzare che le immagini ottenibili mediante una campagna speditiva QTVR potrebbero essere sottoposte anche ad elaborazioni di fotogrammetria digitale, al fine di ottenere delle misurazioni più o meno fedeli

al reale, dipendenti dalla qualità di calibrazione della fotocamera utilizzata per acquisire le viste. I programmi informatici e gli algoritmi che consentono di preparare panorami immersivi presenti a tutt'oggi sul mercato sono svariati e si differenziano fundamentalmente per il motore generativo che ne determina le peculiarità. Sebbene negli ultimi anni la tecnologia QTVR sia stata progressivamente trasferita verso piattaforme più orientate alla distribuzione via rete, si può agevolmente conformare la modalità sintattica con cui il formato originale sviluppato da Apple compone le scene all'impianto di base dati come definito ad inizio capitolo.

Una prima fase di indagine preliminare, confinabile all'acquisizione fotografica, produce materiale manipolabile e trasformabile in scene panoramiche interattive inseribili in un più ampio sistema documentale utilizzabile in forma di interfaccia esplorativa nella risposta grafica alle query.

All'interno di un singolo nodo infatti gli hotspot possono essere impostati come una superficie areale caratterizzata fundamentalmente da tre distinti parametri numerici: *pan* (parametro angolare indicante la direzione orizzontale di vista), *tilt* (parametro angolare indicante la direzione verticale di vista) e *field of view* (parametro indicante il livello di ingrandimento specifico della vista). Queste tre variabili, dichiarate mediante valori numerici, possono essere facilmente individuate nel sistema geometrico che definisce lo scenario e in questo modo associate a schede specifiche di database, latore così di una meta-informazione sull'elemento indagato, invocato da una query grafica individuabile con il puntatore.

La fitta rete di relazioni che in questo modo può essere costruita tra immagini fotografiche e documentazione testuale offre la possibilità di controllare, pianificare e gestire in modo integrato tutte le attività di rilievo e tracciamento dei caratteri propri dell'architettura studiata. Inoltre i già citati vincoli di integrità possono essere affrontati secondo le regole mutuare dalle normative che regolano gli interventi sul patrimonio architettonico esistente nei centri storici del più generale contesto urbano.

I panorami immersivi sono implementabili all'interno di un sistema dinamico di database destinato alla fruizione da parte degli utenti anche attraverso la rete Web se l'infrastruttura software lo consente, così come accade ad esempio per il pacchetto open-source MySQL, un database management system (DBMS) relazionale, composto da un client con interfaccia a caratteri ed un server, entrambi disponibili sia per sistemi Unix, GNU/Linux,

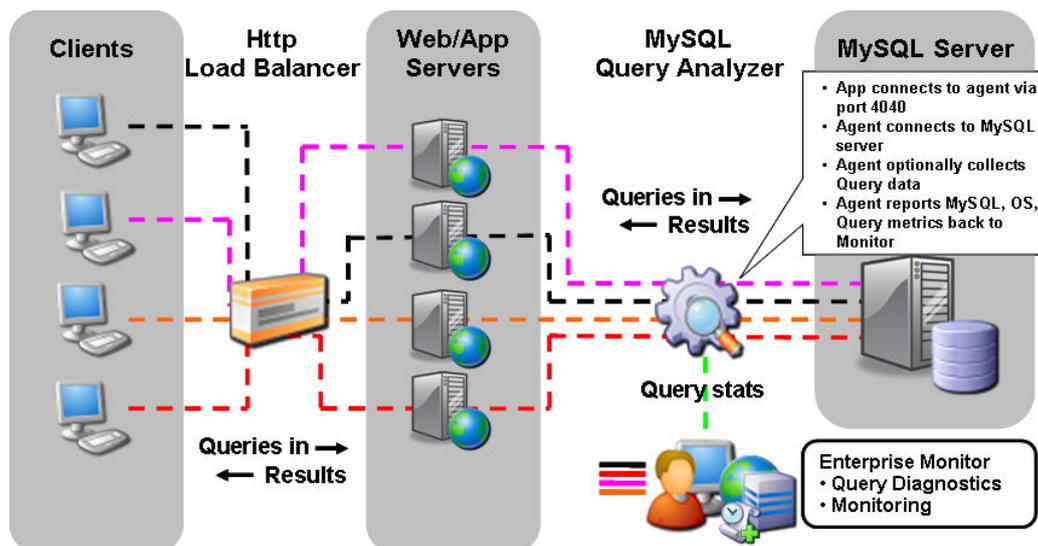


Figura 2.4 - Schema generale degli elementi hardware relazionati per implementare il servizio web di database MySQL (immagine web dal manuale on-line, raggiungibile alla pagina <http://www.mysql.it/products/enterprise/query.html>).

Apple Os X e Microsoft Windows. La versatilità di interrogazione di MySQL consente non solo di poter formulare richieste comprensibili da vari terminali di interfaccia ma anche di inserire nei campi le riprese panottiche QTVR, trattate in modo da associare i tre parametri di vista presenti negli hotspot precedentemente definiti ai campi di query.

Quando alcuni di questi campi vengono compilati mediante l'inserimento di riferimenti a file esterni, prodotti con software di terze parti come nel caso del QTVR e con contenuti audio visuali e tridimensionali, l'archivio può acquisire caratteristiche di multimedialità, permettendo di immagazzinare elementi eterogenei in un *framework* esplorabile in un'unica soluzione di interfaccia. Nel capitolo quarto sarà documentato un caso di studio dove è stato sfruttato un sistema di questo tipo per esaminare l'architettura di un complesso monumentale storico, schedandone le caratteristiche pertinenti il rilievo metrico, la presenza di elementi tipologici, lo stato di conservazione dei componenti e la localizzazione geografica e toponomastica.

Lo sviluppo tecnico successivo, per i casi studiati, riguarda generalmente la diffusione in rete per la fruizione dei servizi di compilazione e consultazione: MySQL si appoggia con successo a sistemi operativi UNIX-like pertanto può

essere agevolmente interfacciato a server in grado di trasmettere via Web le pagine generate dal database, avvalendosi di moduli anch'essi *open-source* come il web server Apache e il preprocessore di ipertesti PHP⁷. Il sistema può essere così attivato su stazioni di calcolo definite LAMP (acronimo derivato dalle iniziali dei termini Linux, Apache, MySQL e PHP, tutti pacchetti liberamente disponibili in rete ed installabili in sinergia su singole macchine) utilizzate oramai nel 50% del totale dei server presenti sulla rete informatica mondiale, a dimostrazione della loro comprovata stabilità.

Scalando il sistema, si può introdurre un ulteriore livello di informazione pertinente agli elementi rilevati, inserendo nella struttura supporti in grado di documentare ed archiviare informazioni di natura geometrica riferite agli spazi indagati (evolvendo pertanto nel *livello definitivo*).

In questa fase la struttura può presentare al fruitore modelli più complessi, derivanti ad esempio da rilievi metrici, scansioni ambientali, fotogrammetrie DSM⁸ e comunque da tutte quelle tecniche della rappresentazione in grado di descrivere dimensionalmente l'oggetto di indagine.

Più oltre sarà esposto come, per raggiungere questo risultato, si sia sperimentata un'evoluzione tridimensionale del *Portable Document Format*, comunemente abbreviato in PDF, un formato di file sviluppato da AdobeTM, basato su un linguaggio di compilazione indipendente dall'hardware e dal software utilizzati per scriverlo o visualizzarlo⁹.

La rappresentazione tridimensionale dell'architettura è infatti una forma di rilievo per oggetti complessi che si fonda su metodologie rigorosamente scientifiche e costituisce un'espressione di conoscenza oggettiva della realtà, strutturabile all'interno di un contesto informativo spaziale immediato

7 - Apache HTTP Server, o più comunemente Apache è il nome dato alla piattaforma modulare in grado di operare da sistemi operativi UNIX-Linux e Microsoft, per implementare funzioni di trasporto delle informazioni attraverso la condivisione di pagine web. PHP invece (acronimo ricorsivo di "PHP: Hypertext Preprocessor") è un linguaggio di scripting interpretato con licenza open source parzialmente libera, originariamente concepito per la realizzazione di pagine web dinamiche ed utilizzato in questa ricerca per la composizione in tempo reale delle pagine di risposta alle query indirizzate da MySQL.

8 - La tecnologia DSM (Dense Surface Modeling), permette di generare per fotogrammetria da copie di fotografie orientate un grande numero di estremi di misura, producendo una nuvola di punti capace di approssimare superfici in maniera simile al risultato ottenibile con apparecchiature di rilievo laser ambientale.

9 - Un documento archiviabile come PDF non comprende informazioni specifiche riferite al software, all'hardware od al sistema operativo usato per compilarlo: ciò rende il file visualizzabile nella stessa esatta maniera indipendentemente dalla piattaforma e/o dal dispositivo utilizzato per consultarlo, rendendo il formato estremamente adatto all'interscambio informativo, a prescindere da programmi generativi scritti in versioni differenti spesso fonte di ambiguità interpretative o addirittura impossibilità di retro compatibilità nell'apertura di file già realizzati.

e di grande potenzialità comunicativa, base del livello *definitivo* di analisi. Non si può infatti negare come la tradizionale resa cartacea bidimensionale delle misure rilevate non sia più sufficiente alle esigenze della restituzione di contesti particolarmente complessi¹⁰.

La prassi consolidata per l'acquisizione di informazione geometrica non strutturata o da strutturare per topologia, soprattutto nel campo del rilievo architettonico e dei beni culturali, conduce nella maggioranza dei casi all'utilizzo di strumentazioni quali la scansione laser (*Range based*) o la fotogrammetria digitale, parallelamente all'acquisizione speditiva VR (*Image based*). La scelta di metodo e strumento, come emerso dalle esperienze applicate nel corso della ricerca, deve essere fatta in base alle dimensioni dell'oggetto da studiare ed alle condizioni operative del luogo nel quale è collocato, oltre che dal tipo di risultato e di precisione che si vuole conseguire. Nella filosofia propria della modellazione d'architettura, intesa come collettore informativo, raccogliitore ultimo del dato acquisito, si deve privilegiare necessariamente l'aspetto dinamico della rappresentazione digitale, in ragione dell'intrinseca possibilità di aggiornare, integrare, sostituire i campi informativi, multimediali, senza intaccare il patrimonio dati (*dataset*) precedentemente acquisito e non imponendo dunque una rigida sequenza di operazioni vincolanti per le fasi successive.

2.2 - Il Building Knowledge Modeling.

La rappresentazione della conoscenza è una disciplina vera e propria, che da svariati anni si interroga sulla possibilità di applicare linguaggi in grado di produrre *inferenze*, ovvero trarre conclusioni, in rami disciplinari che dalla logica giungono alle frontiere dell'intelligenza artificiale.

Tabelle, regole, connessioni e reti semantiche sono da decenni studiate per originare teorie¹¹ su come possa il cervello umano processare informazioni, in una modalità decisionale simile al *database* digitale per quanto riguarda

10 - A tal proposito si rimanda sempre al contributo di R. de Rubertis, "Il disegno digitale: libertà o coartazione espressiva?" in L. Sacchi, M. Unali (a cura di), "Architettura e cultura digitale", Biblioteca di architettura Skira, Milano, 2003.

11 - Interessante a tal proposito la storia di Prolog, un linguaggio di programmazione del 1972, scritto per simulare processi decisionali come nel contesto cognitivo umano, a partire da ristretti domini di dati. R.J. Brachman, "What IS-A is and isn't. An analysis of taxonomic links in semantic networks", *IEEE Computer*, 16 ottobre 1983.

la memorizzazione del dato, ma evolvente in una sofisticata struttura logica per permettere decisioni a partire da esso.

Il calcolo computazionale appare naturalmente un valido strumento per formalizzare questo tipo di scelta e per organizzare la conoscenza, conformandola alle esigenze degli specifici campi di applicazione nei quali deve essere contestualizzata ed applicata.

Secondo consolidati studi teorici (Schmidt, 1996 e Kim, 1997), la complessità del processo di progettazione in architettura non ha ancora trovato un sistema di simulazione capace di imbrigliarne tutti gli aspetti comprendenti procedure, gerarchie decisionali, tempi, proprietà intellettuali e così via. I metodi oggi esistenti si riferiscono generalmente a singole basi di dati comuni, all'interno delle quali l'edificio è catalogato in componenti e processi senza però tenere conto della multidisciplinarietà che il costruire comporta. Svitati gruppi di ricerca (Reffat e Gero, 2000; Kalay, 2001; Eastman, 1998; Rosenman e Wang, 2001) hanno presentato negli anni ipotesi per ridurre questa limitazione, cercando di confinare l'impoverimento dei dati utilizzato per semplificare i modelli di rappresentazione nel tentativo di renderli conformi alle espressività richieste da attori con linguaggi propri.

Questi studi hanno in comune il paradigma dell'*arricchimento semantico*, formalizzazione che si basa sul modello di un'unica omnicomprensiva struttura rappresentativa del processo/prodotto, capace di raccogliere tutte le singole specificità (caratteristiche, attributi e comportamenti) di tutte le entità (i "*semantemi*", secondo Carrara e Fioravanti, 2008) di cui esso è costituito.

Nonostante ciò tanta complessità, per quanto possa essere lungimirante ed accurato ogni singolo progettista collaborante, rende gli oggetti logici componenti fragili di una interoperabilità forse troppo ottimisticamente legata a modelli ancora troppo frammentati.

Sostanzialmente, ogni attore produce modelli arricchendo il proprio punto di partenza cognitivo riguardo all'oggetto di progettazione, dove medesimi semantemi acquistano per ognuno significati propri, portando ad una "Babele" di modelli differenti con enormi problemi di coerenza logica e geometrica (Rosenman e Gero, 1996). Secondo Carrara, gli attori devono interagire in modo da integrare reciprocamente nella soluzione progettuale complessiva le soluzioni parziali di ognuno, via via che vengono elaborate. Per ciò è necessaria una corretta comprensione delle informazioni associate alle soluzioni progettuali. Tuttavia le differenti formazioni culturali e le competen-

ze tecniche specialistiche difformi definiscono una *simmetria dell'ignoranza* che costituisce la barriera, talvolta insormontabile, alla reciproca comprensione, impedendo una corretta e proficua interazione progettuale.

Perchè una rappresentazione sia utilizzabile da più soggetti culturalmente differenziati dunque, ai dati devono essere associati i concetti cui si riferiscono insieme con la conoscenza impiegata per generarli: si deve cioè passare da una definizione *implicita* ad una *esplicita*.

Se si considera la progettazione architettonica ed ingegneristica come l'abilità di scegliere tra diverse opzioni per conseguire un risultato ottimale, occorre declinare alla collaborazione costruttiva un metodo innovativo che aiuti nelle scelte: un modello generale di struttura per la conoscenza gestibile in forma collaborativa dovrebbe essere quindi composto da logiche sequenze iterative per azioni standardizzate, con attori operanti nel medesimo contesto, pur essendo il loro dominio conoscitivo eterogeneo e discontinuo. I significati e la loro spiegazione (*ontologie*) se associati alla loro definizione formale (*semantiche*) possono favorire relazioni dinamiche tra la rappresentazione usata da ogni professionista nel proprio ambito specialistico.

I modelli generati a partire da queste considerazioni vengono definiti *Base-Knowledge Models* ed hanno la finalità di considerare tutti gli aspetti di *conoscenza comune* rapportandoli alla *conoscenza privata* degli specialisti.

La rappresentazione formale della conoscenza impiegata durante il processo progettuale viene, secondo questo approccio, strutturata in Basi di Conoscenza (KB, *Knowledge Bases*), termine utilizzato per indicare sia la struttura delle entità considerate con i relativi aspetti progettuali (significati, geometria, proprietà e relazioni), sia i modelli formali (generalmente matematici) che consentono simulazioni e verifiche.

Le basi di conoscenza sono sinteticamente composte da:

- una semantica delle definizioni ed una ontologia dei significati da essi espressi;
- un insieme di proprietà geometriche, fisiche e funzionali associato ad ogni entità;
- un insieme di relazioni di appartenenza di ogni entità ad un insieme che le contiene;
- un insieme di relazioni di eredità (*parent-child*) per caratterizzare la stratificazione di relazioni per ogni entità;
- un insieme di regole di compatibilità inferenziale tra gli oggetti per unifor-

mare la sintassi espressiva e verificare il comportamento generale della loro globalità.

Interpretando l'organismo edilizio (ossia l'edificio) come un sistema di spazi posto in essere da elementi fisici interconnessi, il dominio degli oggetti si articola in due insiemi principali: l'insieme degli spazi elementari e delle loro aggregazioni (*sistema spaziale*) e l'insieme degli elementi fisici e delle loro combinazioni (definito dall'UNI *sistema tecnologico*). Questi due sistemi nel loro complesso costituiscono le entità di una Base di Conoscenza indipendente dal progetto (*project independent*) per un contesto architettonico.

In questo modello, l'intero patrimonio cognitivo utilizzato risulta articolato in una *conoscenza centrale* ed una molteplicità di *conoscenze distribuite*, specializzate, complete nel proprio ambito. Per garantire la collaborazione e la corretta integrazione delle soluzioni progettuali specialistiche nell'insieme complessivo la teoria auspica di instaurare una corrispondenza biunivoca tra le entità considerate nella Base di Conoscenza Comune e quelle nelle Basi di Conoscenza Specialistiche, relazionando direttamente le ontologie presenti in entrambe, articolate parallelamente in proprietà, attributi e relazioni. Attraverso questa corrispondenza identitaria le entità, specifiche se non addirittura esclusive di un dominio disciplinare, vengono poste in relazione con le corrispettive della Base di Conoscenza Comune, ove è presente tutto e solo quanto è richiesto di essere conosciuto in quella sede.

Si definisce così un meccanismo filtrante che consente di semplificare e tradurre direttamente le informazioni proprie di ciascuna personale soluzione progettuale, nel linguaggio comune della soluzione complessiva, garantendone la comprensione a tutti gli attori coinvolti. Questa traduzione semplificata viene chiamata "*vista*".

La Base di Conoscenza Comune, includendo tutta e solo la conoscenza condivisa da tutti gli attori coinvolti consente ad essi di interagire e di comprendersi a vicenda direttamente sulla soluzione progettuale (definita come "*istanza*") durante l'elaborazione. In altri termini, l'istanza complessiva (soluzione progettuale generale) viene costituita dall'integrazione delle diverse istanze specialistiche (le soluzioni progettuali personali di ciascun attore specialista), elaborate tramite le Basi di Conoscenza Specialistiche, opportunamente tradotte dalla Base di Conoscenza Comune in "*viste*", tramite filtri gerarchicamente strutturati a livello dei concetti e a livello dei dati. Ogni soluzione progettuale specialistica (istanza personale) è costituita da

entità (classi, attributi, relazioni e valori) di proprietà dell'attore che le ha definite e che ne diventa a pieno titolo il "*dominus*". In questo caso l'istanza di un'entità può essere modificata da chi non ne è necessariamente il dominus, generando in tal modo una possibile inconsistenza; per ovviare a tale eventualità si introduce il concetto di "*valenza*", ovvero una differente e personale istanza della medesima entità.

Questo termine, che in chimica indica un diverso stato elettromagnetico dello stesso atomo in contesti differenti, indica in questo ambito una differente situazione che condiziona e modifica la medesima istanza, quando presa in considerazione da un altro attore.

In generale, quindi, una istanza specialistica include istanze le cui valenze possono avere corrispettive valenze in altre istanze specialistiche.

Per evitare contraddizioni, nella soluzione progettuale complessiva tutte le valenze dello stessa istanza sono relazionate le une alle altre tramite l'unica istanza loro corrispondente, quella della Base di Conoscenza Comune mentre le eventuali incongruenze sono automaticamente segnalate a tutti gli attori per permettere loro di convergere verso una soluzione progettuale più "consistente". Dal confronto tra la struttura dei sistemi CAD generici e quella del sistema derivante da Basi di Conoscenza si evidenzia come la principale caratteristica di questo consista nella modellazione della conoscenza, ed è per questo motivo che il processo descritto viene denominato *Building Knowledge Modelling* (BKM). Peraltro BKM, a differenza del BIM o di qualsiasi sistema CAD corrente (come verrà descritto al paragrafo 2.4), può modellare una istanza progettuale (specialistica o complessiva) sia in forma digitale sia in forma astratta, a livello meramente concettuale, in termini di ontologie, relazioni e attributi.

Questo aspetto risulta particolarmente interessante e significativo specialmente nelle prime fasi di impostazione di un progetto, quando la collaborazione tra gli attori specialisti avviene a livello di concetti, prima ancora che di qualsiasi elaborazione grafica.

L'introduzione di espressioni fisiche o matematiche come la teoria dei giochi, il principio del caos o lo studio dell'entropia informativa hanno dato abbrivio negli ultimi anni ad applicazioni teoriche molto avanzate, pensate per rendere conto di processi e metodi atti a favorire scelte e decisioni confluenti in principi di intelligenza artificiale: la "*macchina per l'architettura*" di negropontiana memoria tuttavia è ancora ben lungi dall'essere avviata.

2.3 - Interoperabilità strumentale: il linguaggio Industry Foundation Classes (IFC).

Nel variegato universo professionale il termine *interoperabilità* sembra essere diventato sinonimo di *chimera*, uno standard che di fatto non esiste e che è lontano dall'essere raggiunto.

Nell'agosto 1994, dodici software house ubicate negli Stati Uniti si sono consorziate per esaminare la fattibilità di stesura per un linguaggio di scambio dati comune a pacchetti di programmi applicativi differenti.

Basando i loro sforzi attorno alle librerie ARX sviluppate per AutoCAD release 13 da Autodesk, sono giunte a dimostrare che garantendo l'interscambio dei dati manipolati da ogni singolo software esiste realmente un significativo risparmio economico quantizzabile.

Il NIST (*National Institute of Standard and Technology, U.S. Department of Commerce Technology Administration*) ha pubblicato uno studio che evidenzia chiaramente questi possibili vantaggi derivabili dall'applicazione di tecnologie interoperabili nel settore delle costruzioni.

I costi dovuti al mancato utilizzo di tali strumenti sono stati valutati sulla base di un patrimonio edilizio di 3,6 miliardi di metri quadri, che si incrementa ogni anno di 106 milioni di metri quadri; in sintesi i risultati ottenuti sono stati così ripartiti:

Totale in milioni di \$	Programmazione e progettazione	Costruzione	Gestione	Totale	%
Progettisti	1007	147	16	1170	7
Imprese	468	1265	50	1802	11
Costruttori	442	1762	0	2204	14
Gestione	723	898	9027	10648	67
Totale	2658	4072	9093	15824	100
%	17	26	57		

Il gruppo dei partecipanti originali costituitosi in consorzio decise in quell'occasione che i risultati conseguiti dal loro progetto dovessero essere resi pubblici e liberamente consultabili da tutte quelle industrie e quegli enti di ricerca che ne avessero fatto richiesta. Operando in questo modo, si capì che sarebbe stato possibile sviluppare un nuovo standard di interoperabilità, di fatto neutrale e scevro da ogni implicazione commerciale: pertanto

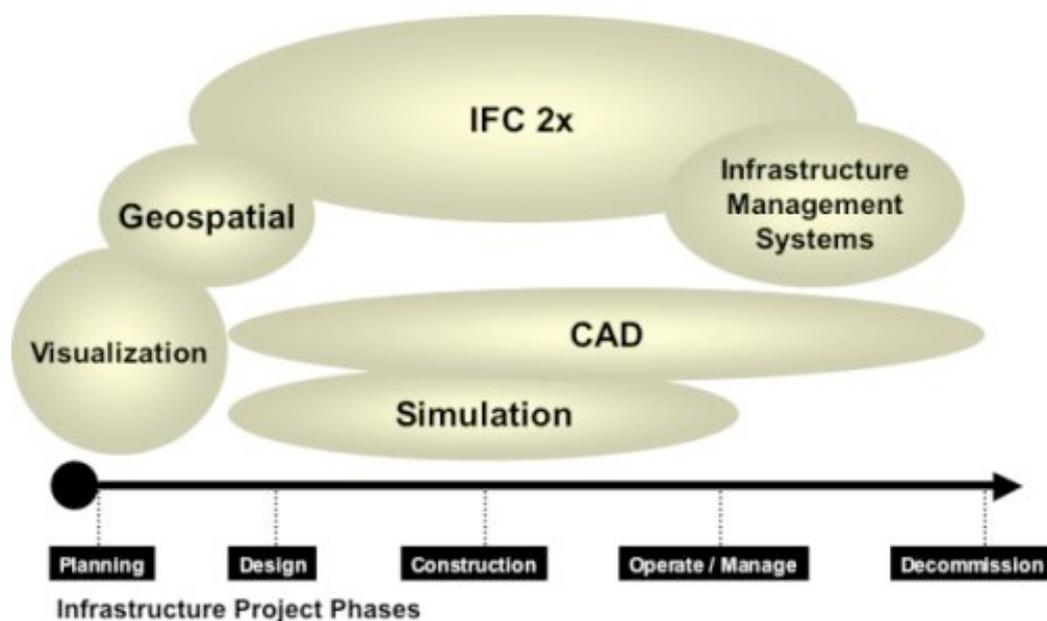


Figura 2.5 - Rappresentazione grafica dell'ambito di intervento per le specifiche IFC (Industry Foundation Classes). Nelle varie fasi del processo costruttivo lo standard permette l'interoperabilità di svariati pacchetti software.

nell'ottobre 1995 le aziende partecipanti fondarono l'I.A.I. (*Industry Alliance for Interoperability*). Questo organismo pubblicò ufficialmente nel gennaio 1997 le IFC (*Industry Foundation Classes*) futura base per modelli di dati, aperta e fruibile in modo da non essere controllata da una singola azienda sviluppatrice di software o di tecniche legate al mondo della progettazione edilizia.

Lo standard IFC ancora oggi valido prevede che tutti gli attori o le persone fisiche coinvolte durante il ciclo di vita del progetto siano rappresentati in un modello di interoperabilità (i cosiddetti *IfcActors*) in modo da valutare i singoli contributi e le singole necessità di ogni progettista per ogni campo di applicazione.

Le interessanti applicazioni, anche normative e di regolamento, scaturite da questa forma di programmazione sono apparse da subito valide, tanto che ad esempio il Governo Danese ha emanato direttive in recepimento degli standard fissati dalle IFC, rendendole cogenti nella progettazione e succes-

siva realizzazione di edifici pubblici. Il tradizionale disegno in due dimensioni e la modellazione tridimensionale generica rappresentano i dati utilizzando entità geometriche come punti, linee, rettangoli e piani, tuttavia mentre le applicazioni che le gestiscono possono descrivere accuratamente ogni geometria presente nel dominio di progetto, esse non possono catturare le informazioni specifiche di quel dominio circa le entità stesse.

Nel caso dell'ingegneria e dell'architettura ad esempio, i progressi tecnologici a livello di gestione dei materiali sono stati fortemente limitati dall'incapacità di estrarre informazioni rilevanti dalla rappresentazione di edifici progettati, in modo da poterle analizzare per stabilire i giusti criteri operativi per le singole lavorazioni. Al fine di superare queste limitazioni i promulgatori delle IFC hanno cercato di sviluppare dei modelli basati su oggetti specifici di domini informativi, mutuando alcune delle filosofie alla base del *Building Knowledge Modeling* descritto nel paragrafo precedente, tuttavia nel caso dell'industria delle costruzioni la traduzione da un modello di dati ad un altro risulta molto onerosa e non scevra da errori trascrittivi.

E' necessario comprendere che l'aspetto geometrico è solo una delle proprietà delle entità che definiscono l'organismo architettonico anche se questo tipo di informazione rappresenta una pesante componente nella comunicazione del progetto, essendo il mezzo più rapido per la trasmissione dell'idea progettuale e per la generazione di visualizzazioni più o meno realistiche del contesto costruito.

Molti dei sistemi CAD tradizionali bidimensionali e tridimensionali che verranno esposti nel paragrafo 2.4 possono giungere a rappresentare correttamente la morfologia degli spazi costruiti, introducendo elementi decisionali per il progettista con valenze ben più importanti rispetto alle sole caratteristiche di geometria.

In tal modo, modelli generati con software diversi ma intercomunicanti attraverso il formato IFC (estensione tra l'altro dei file tipico di salvataggio) saranno in grado ad esempio di simulare l'esposizione dovuta al movimento apparente del sole e di fornire le indicazioni necessarie ad indicare quella più adeguata alle condizioni progettuali che si vogliono rispettare, oltre che a simulare il comportamento in caso di sisma od a prevedere la classe di consumo energetico raggiungibile attraverso differenti scelte di materiali.

Il modello IFC rappresenta pertanto non solo gli elementi componenti tangibili dell'edificio come le pareti, le porte, le travi, i soffitti, gli arredi, ma an-

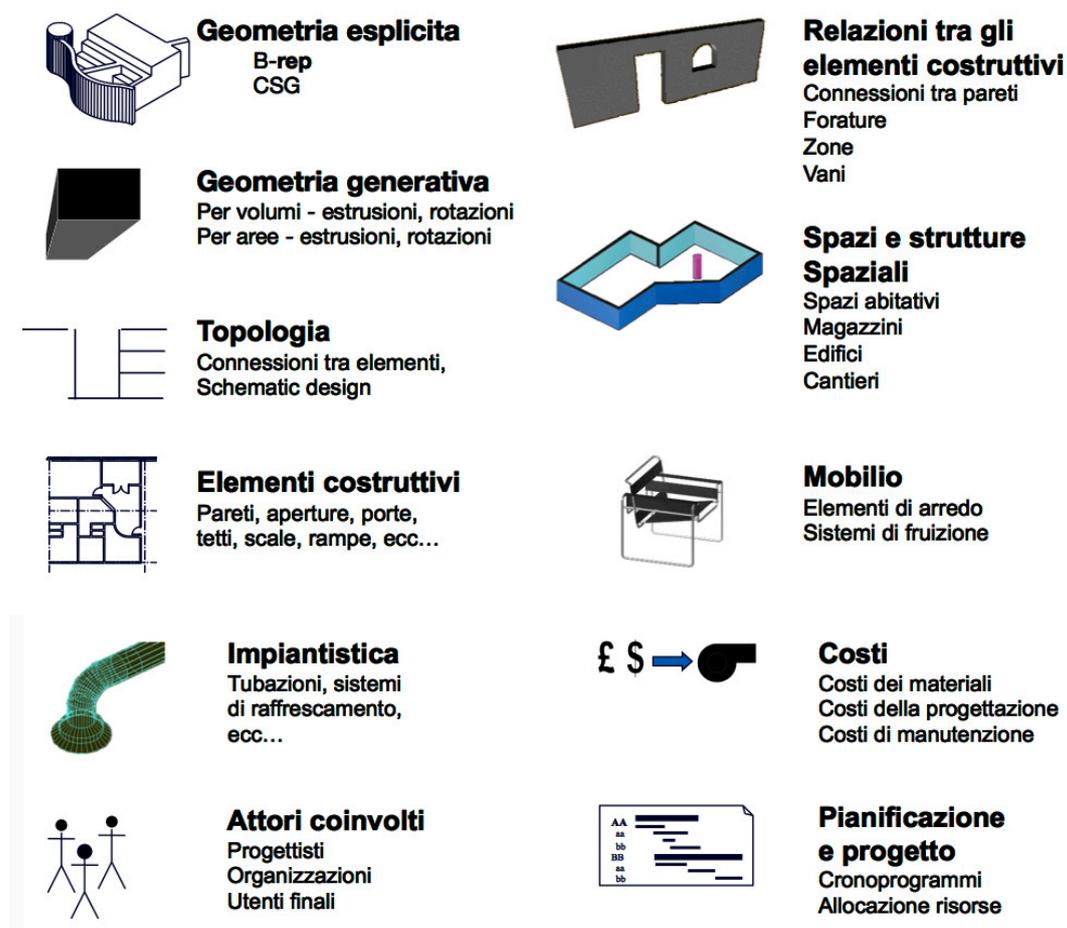


Figura 2.6 - Alcuni dei principali elementi che formano le categorie all'interno del protocollo IFC 2.X: gli oggetti cognitivi e geometrici sono rappresentati in questo modo secondo un ordinamento che può essere condiviso dagli attori partecipanti.

che concetti molto più astratti come i diagrammi temporali per le attività da svolgere, l'organizzazione dello spazio, i costi di costruzione e così via. Tutti questi dati sono strutturati nel formato sotto forma di entità. Tutte le entità dal canto loro possono avere un numero di proprietà configurabile come ad esempio un nome univoco, una geometria, informazioni sui materiali che le compongono, indicazioni per le finiture, le relazioni esistenti ecc.

Una delle ultime versioni delle IFC (rilasciate a partire dalla norma ISO-STEP 10303, riconosciuta, nella versione denominata IFC2.X, come norma ISO/PAS 16739) contiene a conferma di ciò ben 623 tipologie differenti di componenti e concetti.

Da un punto di vista molto più ampio, la struttura generale delle classi è suddivisa in quattro aree distinte, rappresentanti quattro livelli differenti di astrazione progettuale. Ogni livello comprende categorie all'interno delle quali sono definite le singole entità.

Il sistema è progettato in modo tale che un'entità ad un certo livello può essere relazionata solamente ad un'entità appartenenti al medesimo livello o a un livello inferiore ma non può essere referenziata ad entità di livello più alto. Questo tipo di schematizzazione vuole riuscire a definire una modalità semplice di interazione tra gli elementi componenti di un edificio.

È importante però comprendere, per questo lo si ribadisce, che non si fa riferimento soltanto ad entità in quanto oggetti tangibili ma anche a concetti più generali: specifiche entità contengono al loro interno le informazioni che non sono facilmente descrivibili da un usuale modello geometrico o da una documentazione cartacea in grado di relazionare tutta l'opera¹².

Nel formato IFC, l'informazione tecnica è portata non dal disegno ma dagli oggetti, organizzati in un modello numerico di informazione centralizzata.

In questo modo è possibile costruire un vero e proprio documento di progetto condiviso tra operatori edili, utile per tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Recentemente il Comitato Promotore del Capitolo Italiano I.A.I. ha analizzato le problematiche di integrazione delle *information technology* nelle fasi progettuali del processo edilizio esaminando progetti già realizzati (nello specifico, lavori dello studio di Architettura Paolo Bodega di Lecco). L'analisi ha evidenziato la necessità di gestire una grande quantità di informazione dal momento che il progetto, relativo ad un'area costiera del Lago di Como, ha comportato per lo sviluppo dal preliminare all'esecutivo l'utilizzo di trentuno protocolli software diversi. La conseguente necessità di continue e ripetitive operazioni di trasferimento dati per garantire il flusso di informazione tra i diversi operatori coinvolti, combinata alla scarsa compatibilità tra le applicazioni software, ha portato alla conclusione che gli strumenti informatici oggi utilizzati nelle fasi progettuali comunicano tra di loro raramente e con difficoltà. Il rischio di errori e di perdita d'informazione nel trasferimento e nella gestione dei dati determina notevoli criticità durante lo svolgimento della fase di progettazione esecutiva, dove la mancanza di standard di riferimento negli strumenti non interoperabili certificati IFC, si scontra sovente

¹² - Come sottolineato in V. Caffi, "I nuovi metodi per progettare: la rappresentazione e la gestione del progetto di architettura attraverso i software interoperabili", atti del convegno "eArcom Tecnologie per comunicare l'architettura", Ancona, 21 maggio 2004.

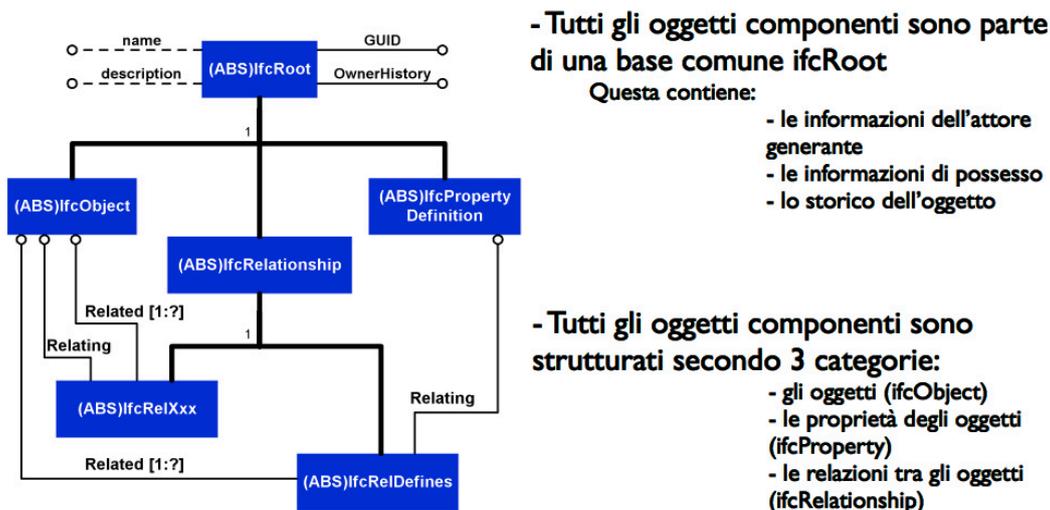


Figura 2.7 - Esempio di struttura per elementi catalogati secondo il protocollo IFC 2.X: gli oggetti che popolano l'archivio digitale, le loro proprietà e le loro relazioni sono organizzati in modo da riferirsi all'attore specifico che può consultarli (immagine elaborata da S. Garagnani, 2009).

con le prescrizioni normative. Facendo riferimento alla norma UNI 10722 "Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di nuove costruzioni", lo studio ha avanzato tre proposte per l'integrazione del sistema IFC, tenendo conto delle esigenze in termini di informazione relative allo sviluppo dei progetti preliminare, definitivo ed esecutivo:

- le fasi potrebbero connotare il primo livello dello standard IFC relativo al progetto ed articolarlo secondo le tre procedure progettuali;
- la classe *documenti di controllo* potrebbe contenere i documenti che devono essere forniti per istruire le singole fasi del progetto;
- gli attributi degli oggetti che rappresentano in IFC le parti tecnologiche (o le funzionali-spaziali) dovrebbero essere definiti in funzione delle necessità informative relativamente allo sviluppo delle fasi progettuali (ad esempio dalle considerazioni ambientali nella fase preliminare fino alle specifiche tecniche della fase esecutiva, passando per le specifiche di prestazione tecnologica nel progetto definitivo).

In estrema sintesi, le IFC implicano la capacità di un sistema o di un prodotto di lavorare con altri sistemi o prodotti senza un intervento particolare

dell'utente, mediante la consultazione di una documentazione a libera diffusione, fatta eccezione per i file necessari per la certificazione IFC, disponibile per le aziende che fanno parte dell'I.A.I. e che possono così sviluppare le proprie applicazioni sulla base di questo standard.

Per concludere, lo standard IFC si configura come un importante tassello comunicativo che, a partire dalla necessità di gestire un linguaggio comune (necessità evidenziata nel capitolo primo di questo lavoro), si pone come base tecnologica per sviluppare strumenti verticali più complessi, gestibili in modalità ibrida database/modellatore, come nel caso dei software parametrici facenti capo al *Building Information Modeling*.

2.4 - La natura del Building Information Modeling (BIM).

Il modo in cui un edificio si presenta, il modo in cui funziona e la modalità propria di costruzione, può essere "*raccontata*" all'interno di un modello integrato: nel suo *BIM Handbook*, Chuck Eastman si riferisce a questa metodica come alla descrizione di un'attività (con il significato di modellazione informativa degli edifici) piuttosto che di un oggetto (modello informativo degli edifici). Ciò riflette l'attitudine che la modellazione estesa non è un file o un tipo di programma informatico ma un'attività umana che sta sempre più coinvolgendo ampi processi di cambiamento nelle costruzioni. Tuttavia il concetto e la semantica alla base di un sistema BIM, strumento principe nella produzione parametrica di un modello integrato, non sono elementi originali: essi possono essere ritrovati già nella letteratura di settore di oltre trenta anni fa. Jerry Laiserin, nella prefazione della citata opera di Eastman, attribuisce proprio allo stesso quando era ancora docente alla Carnegie Mellon University, la paternità dell'acronimo, per la prima volta citato in un articolo apparso sulla rivista non più esistente AIA Journal, nel 1975.

Attualmente il processo di progettazione nell'industria delle costruzioni è un'attività piuttosto frammentata e dipende da modalità di comunicazione sostanzialmente basate su documenti cartacei. Errori ed omissioni diventano spesso la causa di ritardi, costi non previsti ed eventuali contenziosi insorgenti tra le varie parti che operano nel team di progetto.

Gli sforzi recenti descritti per risolvere questi problemi hanno visto proporre linguaggi mirati alla produzione di disegni esecutivi sempre più precisi, l'utilizzo di tecnologie che consentono l'elaborazione di informazioni in tempo reale e l'implementazione di strumenti CAD evoluti; sebbene tutti questi metodi abbiano giovato allo scambio delle informazioni, essi non hanno in realtà ridotto la gravità e la frequenza dei conflitti causati dalle imprecisioni nei documenti cartacei. Uno dei più comuni problemi che possono scaturire durante il progetto è il considerevole quantitativo di tempo e di soldi spesi per generare elaborati decisionali provvisori, tali da consentire cioè le stime dei costi, l'analisi dei dispendi energetici, le analisi strutturali, e così via.

In sostanza ci si riporta alle condizioni di svantaggio definite per lo schema applicativo tipico del Design Bid Build, al capitolo primo di questo lavoro. Ciò nondimeno, l'utilizzo del CAD è ancora un passaggio fondamentale per l'informatizzazione dell'attività di progettazione: l'elaborazione grafica costituisce una parte irrinunciabile del processo e proprio per questo motivo il disegno assistito si pone come strumento di base per il lavoro del progettista. Gli strumenti CAD hanno conosciuto infatti, dalla loro nascita, una rapida evoluzione che ha visto crescere esponenzialmente le loro possibilità applicative: da semplici elaboratori grafici per il disegno bidimensionale, sono diventati potenti strumenti per la strutturazione delle informazioni anche in forma tridimensionale.

Nel caso del CAD bidimensionale infatti, ma considerazioni del tutto analoghe hanno valore anche per il 3D, la forma più elementare e nel contempo fondamentale per organizzare l'informazione è l'utilizzo dei *layer*, o livelli di disegno, assimilabili a fogli di carta da lucido con i quali strutturare gerarchicamente il disegno, per esempio raggruppando gli elementi strutturali su uno specifico livello, gli impianti su di un altro e via dicendo.

La suddivisione in classi dei livelli di disegno è oggetto di notevoli sforzi, da parte degli istituti di normazione internazionali e dei singoli studi professionali, per standardizzare quanto più possibile i metodi in uso.

In questo senso, tra i modelli più significativi è da ricordare quello elaborato dall'A.I.A. (*American Institute of Architects*), molto diffuso negli Stati Uniti, che identifica il primo tentativo di regolare la strutturazione dei dati CAD con *layer*. Vale la pena accennare che in Europa sono stati sviluppati da tempo alcuni standard per l'unificazione dei *layer*, tra cui vanno citati per la Gran Bretagna la norma BS1192, analoga a quanto elaborato dall'A.I.A., il

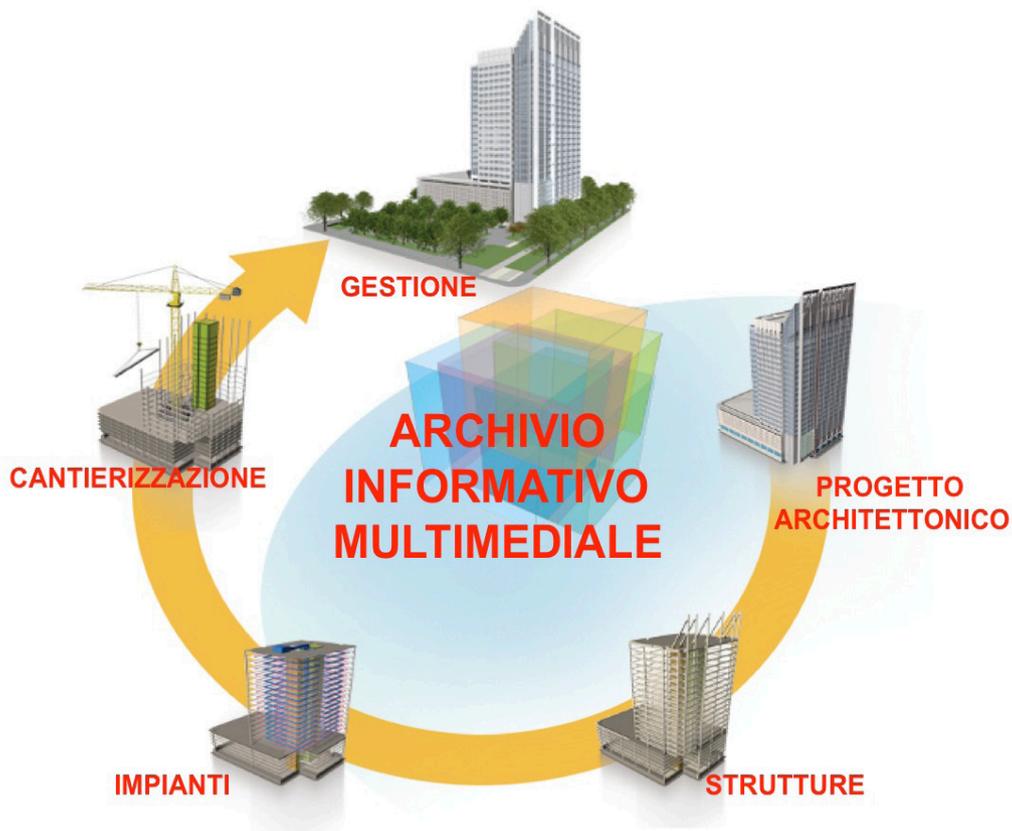


Figura 2.8 - Il concetto di Building Information Modeling come archivio informativo multimediale: nella medesima base dati concorrono le informazioni riguardanti tutti gli aspetti costruttivi e di pianificazione del progetto, nelle differenti fasi di sviluppo. Criticamente, lo strumento non tiene conto però delle fasi concettuali di generazione dell'organismo edilizio, per le quali la tecnologia dovrebbe essere più ampia da un punto di vista conoscitivo.

francese “*Système Unitarie de Communication*” (SUC) degli anni novanta e le *Swedish CAD guidelines Bygghandlingar 90 - SIS 1999*. Questi sistemi di classificazione dei layer, basati su codici alfanumerici, tendono a raggruppare i livelli in funzione delle categorie di attività o delle discipline di progetto oltre che in base agli oggetti che su questi dovranno essere disegnati. Nel raggiungimento di uno standard grafico-informativo però, la struttura per layer non è certamente l'unico aspetto da considerare per ottimizzare l'utilizzo degli strumenti informatici: insieme ad essa, infatti, è necessario determinare con precisione tutti gli aspetti che riguardano l'organizzazione degli archivi di disegno e la normalizzazione degli elementi grafici; quest'ultima è da riferirsi sia alle scelte dei tipi linea, degli spessori, dei colori, dei formati

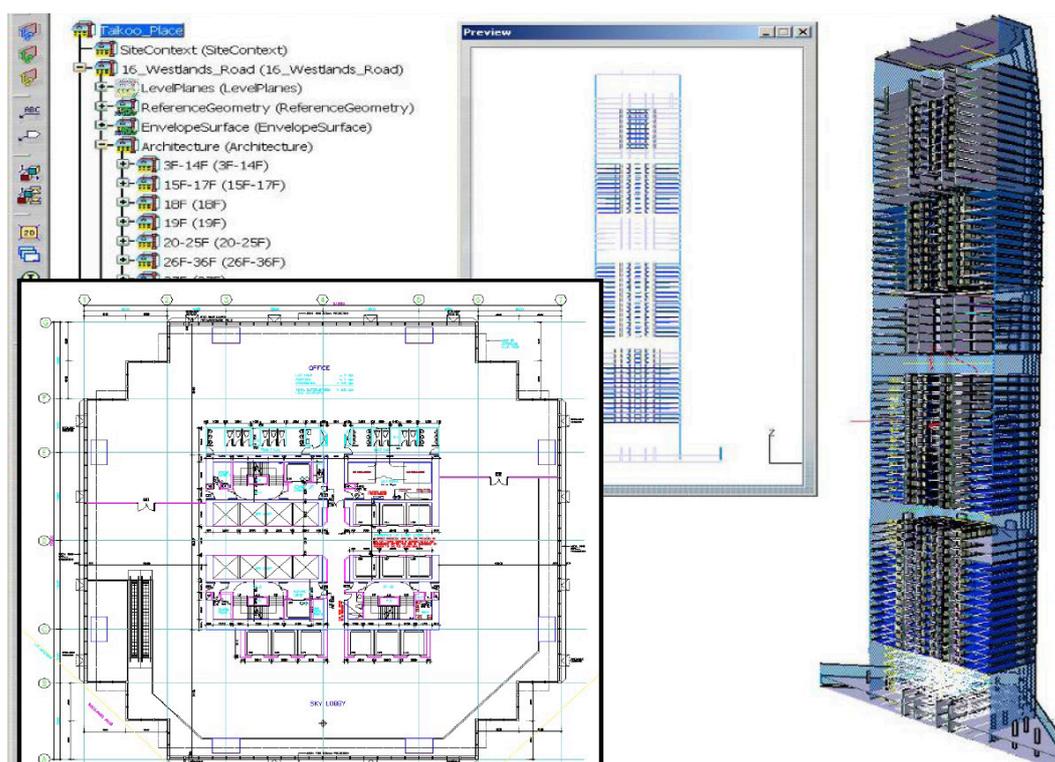


Figura 2.9 - Esempio applicativo della tecnologia BIM: dal modello generale (a destra) è possibile ricavare ogni tipo di documento grafico tecnico come piante e sezioni (a sinistra), oppure elementi di computo metrico estimativo o di controllo di lista (immagini su autorizzazione di Martin Riese - Gehry Technologies).

carta, dei testi, dei layout, delle unità di misura e via dicendo. L'utilizzo di uno standard di gestione, comprensivo degli elementi sopra indicati, è decisivo per sfruttare efficacemente la tecnologia informatica, permettendo una riduzione di errori e tempi di lavoro oltre che un sistema di consultazione della documentazione utile per tutta la vita utile del manufatto.

Questi ben noti vantaggi sono ancora più evidenti nel momento in cui il sistema CAD non viene più utilizzato semplicemente come tecnografo elettronico per la produzione di disegni, ma come centro di un sistema informativo integrato di progetto, dal quale trarre tutta la documentazione necessaria e non solamente le tavole di presentazione.

In questo caso, piuttosto che di sistema CAD, si parla finalmente di sistema BIM - *Building Information Modelling*, generatore di un "*parametric building model, capable of automatically propagating the effects of a change throughout the model and providing valuable feedback on the implications of that change on the space, the building systems, the products selected,*

*and the construction cost. In addition to parametric building model, CAD systems must provide facile tools for instantly presenting this information in the multiple representations necessary for communication, collaboration and commerce*¹³.

La differenza tra un approccio CAD tradizionale, in cui i documenti di disegno sono gestiti separatamente dalla restante documentazione tecnica (si parla di capitolati, schede tecniche, computi metrici, ecc...) ed il concetto di BIM, in cui tutta la documentazione di progetto fa riferimento ad un unico archivio centralizzato, caratterizza un modo di procedere che, se implementato correttamente, si riflette positivamente su tutto il processo di progettazione e di costruzione.

Un sistema BIM, per essere efficace, chiede ma contemporaneamente permette di meglio dettagliare l'edificio riducendo così la necessità di modifiche a posteriori che sarebbero certamente più costose in fase di progettazione esecutiva se non addirittura durante la realizzazione dell'opera.

Un'applicazione BIM, diversamente da un CAD generico, è ottimizzata per progettare edifici attraverso l'utilizzo di oggetti 3D, definiti *intelligenti* poiché in grado di stabilire delle relazioni con gli altri componenti del progetto alla stregua dei database relazionali già esaminati.

Il modello virtuale derivato, inoltre, può essere utilizzato per migliorare la qualità del progetto permettendo di identificare in tempo utile conflitti ed ambiguità (per esempio tra impianti e strutture) con benefici evidenti.

È necessario però che il gruppo di progetto che si avvale di un BIM, oltre ad essere perfettamente padrone delle tecniche digitali di organizzazione dell'informazione, sia ben conscio dell'importanza di descrivere l'edificio non solo in termini di rappresentazioni grafiche, bensì come modello virtuale quanto più possibile completo di tutti i componenti che lo costituiscono.

All'avanguardia nell'utilizzo di questi strumenti certamente sono i paesi scandinavi. I progettisti norvegesi da tempo sperimentano le IT nella progettazione di edifici con struttura prefabbricata in legno: lo studio Næss Architects ha utilizzato software BIM per la costruzione dei modelli tridimensionali di diversi comparti progettati, che hanno poi fornito la base per l'estrazione di elaborati grafici, quali piante, prospetti, sezioni, disegni di dettaglio, ma anche elaborati diversi, come cronoprogrammi di cantiere o simulazioni ambientali.

13 - Da una definizione del CAD for Principals - www.cadforprincipals.org.

Tra i progetti di considerevole dimensione, va citato l'ampliamento dell'Akershus University Hospital di Oslo, di C.F Moller Architects con una superficie di 116.000 metri quadrati, destinata ad ospitare 565 nuovi posti letto più 22 nuove sale operatorie. Gli strumenti BIM sono stati impiegati ampiamente: l'edificio è stato modellato con strumenti CAD 3D, a partire da disegni bidimensionali mentre il modello virtuale in tre dimensioni è stato utilizzato per ottenere visualizzazioni piane, rendering, simulazioni, per gestire il complesso database di oggetti e per coordinare efficacemente l'attività di architetti e consulenti interessati alle specifiche parti dell'opera, ovvero gli impianti, le strutture, le attrezzature tecniche e quanto è stato progettato per il complesso ospedaliero.

2.5 - Analisi dei principali strumenti digitali per la progettazione e per la gestione del progetto di architettura.

Gli strumenti CAAD (*Computer Aided Architectural Design*), inizialmente utilizzati come puro succedaneo elettronico delle pratiche di disegno manuale, si sono imposti progressivamente per le loro potenzialità di rapida esecuzione e modifica degli elaborati grafici oltre che per la loro versatilità.

Ma questo è solamente uno degli aspetti che ne hanno nel tempo favorito l'impiego. L'evoluzione dal CAD bidimensionale alla modellazione sofisticata che si esplica nell'animazione digitale ha reso possibile il passaggio da visualizzazioni piane dell'organismo edilizio a rappresentazioni virtuali volumetriche, che vedono l'edificio come un unico archivio di progetto integrato, o IPDB (*Integrated Project Database*)¹⁴ mentre l'acronimo BIM (*Building Information Modelling*) è riservato al marketing dei software parametrici, perché più semplice da ricordare del suo corrispondente IPDB anche se il concetto che esprime è il medesimo.

Secondo alcuni il modello BIM è destinato a sostituire il termine CAD inteso quale strumento di elaborazione grafica, ma non solo, per il settore edilizio: questo sviluppo sarà diffusamente trattato nel corso di questa ricerca ed introdotto al termine di questo capitolo.

¹⁴ - R. Amor, I. Faraj, "Misconceptions of an IPDB, in Objects and Integration for AEC", atti del convegno, BRE - Watford, UK, 13-14 marzo 2000.

Un modello integrato, unico per definizione ed utilizzabile da tutte le figure operanti per ogni singola fase del processo, limita la perdita informativa del *dataset* contenuto da un passaggio all'altro. Ogni modifica successiva si ripercuote regressivamente a cascata nelle aree di informazione non prese in considerazione in quel momento, aggiornando in maniera efficace e senza ambiguità tutta la documentazione in produzione. In questo modo lo storico di tutte le modifiche non implica un cambiamento della topologia originale alla base dell'idea primigenia, in una sorta di ipotetico effetto Droste¹⁵, raffrontabile metaforicamente all'immagine delle scatole cinesi, più oltre esposta con maggior compiutezza.

La contemporanea concertazione degli attori e delle loro specifiche mansioni, deve però contrapporsi alla tradizionale “*soluzione limitata alla conoscenza dell'attore*” (Simon, 1992) per giungere ad una più costruttiva “*conversazione riflessiva tra le parti*” (Schon, 1983). La comprensione del progetto, la sua visualizzazione, la comunicazione tra i partecipanti e la collaborazione tra di essi, si dovrebbero rapportare come vertici di un ideale tetraedro, come citato in letteratura da W. Kymmel in “*Building information modeling - Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*”.

Da quanto è stato fino ad ora esposto, emerge uno scenario all'interno del quale le tecnologie dell'informazione tendono a portare un cambiamento del paradigma progettuale; in un testo di recente pubblicazione, Chuck Eastman inquadra l'impatto delle nuove tecnologie sul progetto, soprattutto del BIM, da quattro differenti punti di vista.

Per Eastman occorre analizzare i benefici aspetti della “rivoluzione digitale” già alla scala di progetto pre-concettuale, per poi trasferire l'integrazione ai servizi offerti dai professionisti, al livello di modellazione per le costruzioni ed all'integrazione tra progettazione ed esecuzione.

Affrontando criticamente questo approccio estremamente anglosassone di schematizzare quanto più possibile il processo della pratica costruttiva, è apparso comunque corretto anche a questo studio scomporre il flusso di lavoro in differenti fasi.

¹⁵ - L'effetto Droste è un termine olandese per un particolare tipo di pittura ricorsiva. Un'immagine in cui è presente l'effetto Droste possiede una piccola immagine di se stessa, localizzata dove dovrebbe trovarsi se si trattasse di un'immagine reale. Questa piccola immagine contiene a sua volta una versione ancora più ridotta di sé stessa, e così via. Il termine Droste fu coniato dal poeta e giornalista Nico Scheepmaker, alla fine degli anni settanta del Novecento. Esso prende il nome da Droste, una marca olandese di cacao, sulla cui scatola era presente l'immagine di un'infermiera che teneva in mano un vassoio con una tazza e una scatola della stessa marca (fonte: Wikipedia.it).

Nel capitolo successivo saranno analizzate nel dettaglio tutte le caratteristiche che questa differenziazione comporta: risulta però prima utile, trattando di modelli digitali generati a partire da piattaforme tecnologiche avanzate, delineare uno scenario sintetico popolato da quegli strumenti, oggi sul mercato, scritti e commercializzati per assistere le figure coinvolte nella pratica professionale.

Esistono infatti tutta una serie applicativi informatici estremamente specializzati, che solitamente intervengono in tutte le fasi di progetto. Ad esempio già dagli studi di fattibilità, di norma precedenti alla fase di concettualizzazione, si possono utilizzare software per analizzare i flussi economici, le situazioni esistenti nelle aree di intervento, le necessità emergenti per le attrezzature da predisporre, le stime per i costi e la programmazione economica degli interventi. Successivamente, nella pre-progettazione, agiscono altri strumenti in grado di analizzare elementi differenti per stabilire relazioni del progetto con il contesto, effettuare l'analisi del sito, definire la sintesi applicativa delle normative per le costruzioni e la loro rispondenza, con un'aggiunta complessiva di informazioni in cui vengono precisati costi e tempi, ereditati e rifiniti dalla fase precedente. Nella progettazione preliminare ci si può poi appoggiare a strumenti utili per la definizione di masse, volumi, superfici e un primo tracciamento di quelle che potrebbero essere le scelte per materiali, sistemi costruttivi e finiture. I modelli che vengono così prodotti sono ulteriormente integrati da programmi verticali estremamente specializzati (per analisi delle strutture, degli aspetti termici, acustici ed illuminotecnici, ecc.).

Nella figura 2.11 viene rappresentato un grafico che tiene conto delle relazioni esistenti tra le fasi di sviluppo della progettazione, nei termini delle richieste per concludere le lavorazioni, e tempo per esse impiegato. Viene proposta, nello stesso diagramma, una possibile quantificazione di quanto l'ottimizzazione raggiungibile con una concertazione adeguata dei prodotti digitali nelle distinte fasi potrebbe influire positivamente, riducendo gli sforzi di adeguamento o variazione nelle fasi più avanzate della realizzazione, quando costerebbero maggiormente in termini di risorse (CURT¹⁶, 2007).

Nel seguito verranno esposti alcuni dei pacchetti di più comune utilizzo, nella filiera progettuale, lasciando al capitolo successivo la precisa scomposizione per fasi che li vede intervenire singolarmente o di concerto.

¹⁶ - Elaborazione dai dati dell'Architectural-Engineering Productivity Committee of The Construction Users Roundtable (CURT); CURT gestisce le maggiori commesse internazionali quali quelle di Citigroup, General Electric, axoSmithKline, IBM, Procter & Gamble, McGraw-Hill, e molte altre importanti società.



Figura 2.10 - La *maquette* digitale, ovvero il modello geometrico tridimensionale di architettura, utile nelle fasi di progettazione per immaginare lo spazio costruito o per simularne i comportamenti (modello per il Pozzo del Terribilia, Palazzo d'Accursio a Bologna, S. Garagnani, 2006).

2.5.1 Software per modellazione geometrica tridimensionale.

Modellare per certi aspetti significa riproporre la realtà come una rappresentazione strutturata secondo norme codificate, sia a livello soggettivo che standardizzato.

La conoscenza infatti non è semplicemente percezione, così come la percezione non si descrive semplicemente con la rappresentazione. Il processo di modellazione, dunque il modello, potrebbe essere inteso come uno dei modi possibili di sostituire la realtà nella percezione con un elemento più complesso, rifacendosi per alcuni aspetti alla teoria delle immagini descritta da Edmund Husserl nella sua *Quinta ricerca logica*¹⁷.

¹⁷ - Nelle *Ricerche logiche* Husserl formula la tesi della correlazione esistente tra l'oggetto e la sua intuizione, imponendo il rifiuto di considerare il reale diverso dal fenomenico. La teoria delle immagini dunque postula un "raddoppiamento" dell'esistente nella percezione del soggetto che lo esperisce; E. Husserl, "Zur Phänomenologie der Intersubjectivitat (1929-35)", e I. Kern (a cura di), "Husserliana, Gesammelte Werke", Band XV, Martinus Nijhoff, Den Haag 1973.

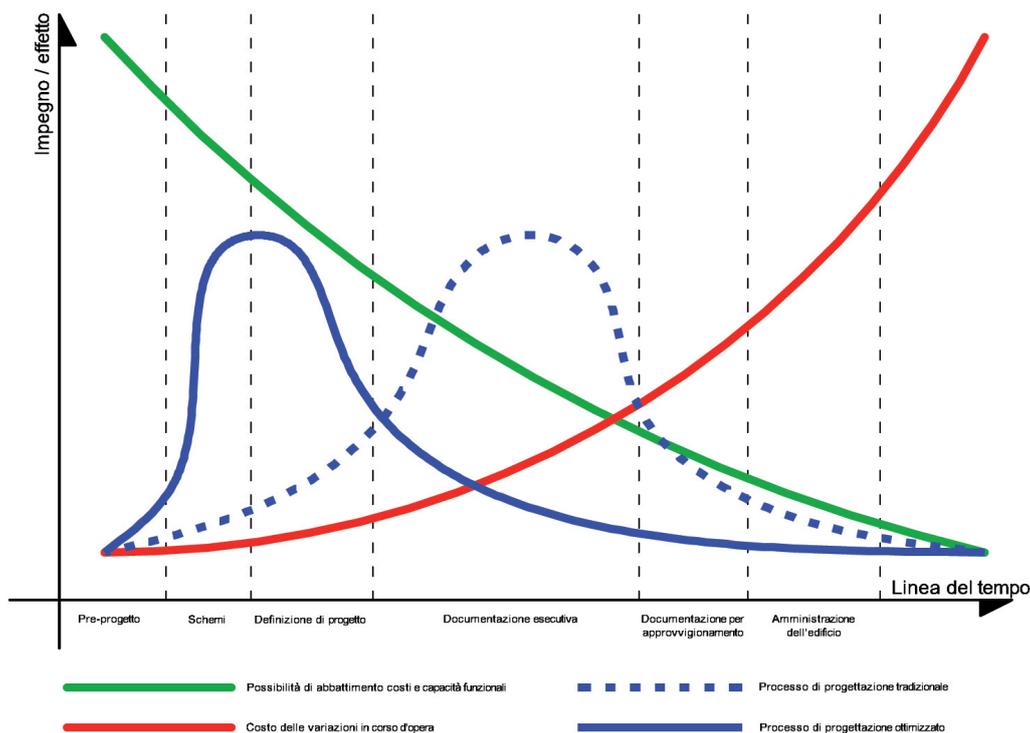


Figura 2.11 - Grafico delle relazioni esistenti tra le fasi di sviluppo e tempo impiegato nella progettazione, in termini di richieste per concludere le lavorazioni. Un processo di progettazione ottimizzato con tecnologie BIM (linea blu continua), riduce il rischio di costose modifiche ad opere parzialmente ultimate.

Come si è esposto in precedenza, la figura dell'architetto-progettista moderno, investito dai tempi del ruolo di manipolatore della percezione urbana e sociale, attraverso le potenzialità del disegno digitale può rapportarsi in modo nuovo a questo dualismo concettuale di rappresentazione/modellazione e alle valenze comunicative che tali concetti recano intrinsecamente. Nel campo disciplinare del disegno industriale (o della progettazione meccanica), il passo di avvicinare il modello 3D alla condizione reale del componente realizzato (ovvero reso reale, costruito) è stato steso da tempo; il proposito progettuale si sviluppa in tre dimensioni già dalle prime fasi, per evolversi concretamente in modelli matematici e geometrici più sofisticati, in grado di raccogliere l'informazione necessaria alla conoscenza del componente e di simularne successivamente il comportamento meccanico. La percezione se si vuole analogica propria dell'organismo umano in questo caso è estesa dal duale digitale dello strumento informatico, il quale genera non solamente un modello di punti, superfici e spigoli, bensì un archivio

ricco di informazione associata, rappresentazione strutturata adatta per generare elaborati differenti (magari anche bidimensionali nel caso di sezioni esecutive) necessari alle varie fasi della lavorazione.

In architettura, e più in generale in edilizia, una forma integrata di rappresentazione/modellazione così strettamente correlata non è forse stata ancora raggiunta appieno. Fasi diverse del flusso costruttivo si appoggiano a rappresentazioni diverse e quindi a modelli fortemente differenziati, con incompatibilità latenti di connessione intermedia. È probabile che ciò sia imputabile non solamente a problemi di scala, ma anche a processi metodologici e strumentali dissimili, che con il tempo però potrebbero convergere. Nella modellazione meccanica ad esempio è possibile utilizzare tecnologie CAM (*Computer Aided Manufacturing*) per creare modelli tridimensionali fisici, ma è altrettanto possibile eseguire una sorta di *reverse engineering* partendo da un componente esistente per tradurlo in modello (mediante tecnologie di scanning tridimensionali o tastatori digitali) al fine di studiarne geometrie e comportamenti o di catalogarne campioni.

In architettura le tecnologie di laser scanning ambientale hanno iniziato da relativamente meno tempo ad essere implementate in procedure mirate allo stesso fine analitico.

Il modello digitale alla base dell'approccio tridimensionale architettonico deve essere formalmente corretto ed adeguato, in termini di dettaglio, al livello di accuratezza nella rappresentazione che si desidera ottenere.

Generalizzando, un elaborato grafico contenente viste di modelli 3D può essere prodotto con i più svariati software, pur essendo la metodologia e la tecnica che stanno alla base della sua preparazione più o meno le stesse. Per questo motivo, in sintesi, si iniziano a trattare dapprima rappresentazioni bidimensionali classiche dell'oggetto da disegnare, come ad esempio le proiezioni ortogonali che se ben tracciate forniscono informazioni geometriche non ambigue.

Da queste possono essere "estrusi" profili murari e prospetti, proiettati cioè nella loro dimensione di profondità secondo semplici valori di altezza o percorrendo traiettorie complesse: in tal modo le murature disegnate planimetricamente vengono portate alla loro altezza reale di progetto così come i coperti si vedono alzati sino al loro profilo di colmo e sagomati in falde secondo l'esigenza tipologica del tetto da realizzare.

Nella modellazione tridimensionale, si procede alla generazione dei compo-

menti, che andranno poi “montati” tra loro a formare la globalità dell’edificio finale. La versatilità dello strumento di calcolo rende in questi casi possibile la copia seriale di oggetti sempre uguali tra loro anche se numerosi (come ad esempio le porte o le finestre con i relativi bancali), permettendo la strutturazione di un abaco dal quale attingere di volta in volta per recuperare gli oggetti necessari nel corso del lavoro.

A seconda poi del motore software del programma che si utilizza (programma che prende il nome di *modellatore*) il risultato finale può essere un oggetto solido dove viene considerata la componente materica “piena” degli oggetti creati (si parlerà allora di *modellatori solidi*) o più semplicemente un oggetto a poligoni, dove le geometrie sono approssimate da triangoli o rettangoli di suddivisione per le facce tra gli spigoli del modello, che è “vuoto” al proprio intero. Nell’ipotesi che il software fornisca un supporto parametrico, gli oggetti creati potranno essere variati e personalizzati secondo le esigenze del disegnatore, direttamente in 3D e senza la necessità di partire da una nuova vista bidimensionale originaria.

Questo approccio, comune nei programmi di fascia professionale, impone l’utilizzo intensivo di “*primitive grafiche tridimensionali*”, oggetti semplici come coni, parallelepipedi o sfere analoghi a quelli bidimensionali citati nel primo capitolo e modificabili a piacimento per generare le più svariate geometrie, senza ricorrere all’estrusione di profili. Una volta terminato l’assemblaggio dei componenti, il modello è morfologicamente completo, tuttavia potrebbe rendersi necessaria l’inclusione di un ulteriore set di informazioni da presentare, per indicare ad esempio materiali, trasparenze e ombre (proprie e portate).

Si possono in tal senso individuare due *macro-categorie* per modellatori geometrici: i pacchetti speditivi per l’analisi sommaria e preliminare di volumi e masse e quelli più sofisticati di parametrizzazione e formulazione matematica superiore, destinati alla simulazione e all’ingegnerizzazione del progetto. Tali aree di interesse soddisfano le richieste espresse nel paragrafo 2.1, in merito ai modelli preliminari e definitivi.

Pacchetti di facile utilizzo come i primi sono stati da pochi anni introdotti sul mercato: è il caso ad esempio di **SketchUp**, applicazione creata da @Last, orientata alla progettazione architettonica, all’urbanistica, all’ingegneria civile, allo sviluppo di videogiochi ed alle professioni loro correlate.

Sviluppato particolarmente per le fasi concettuali del design, SketchUp è

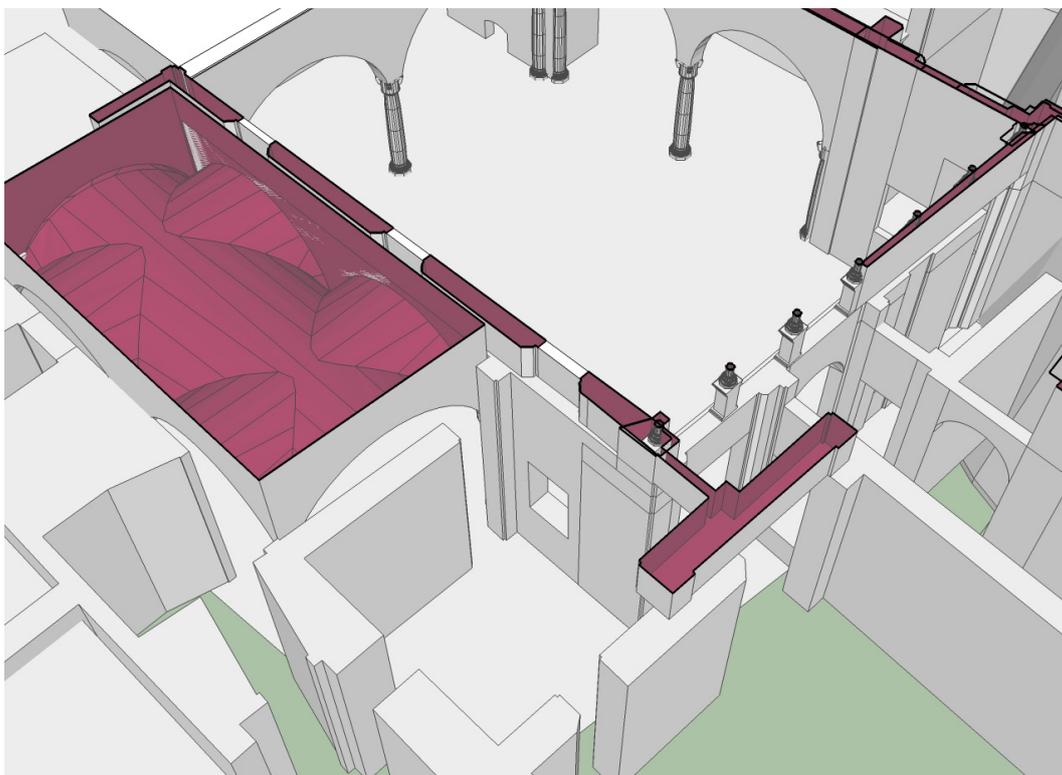
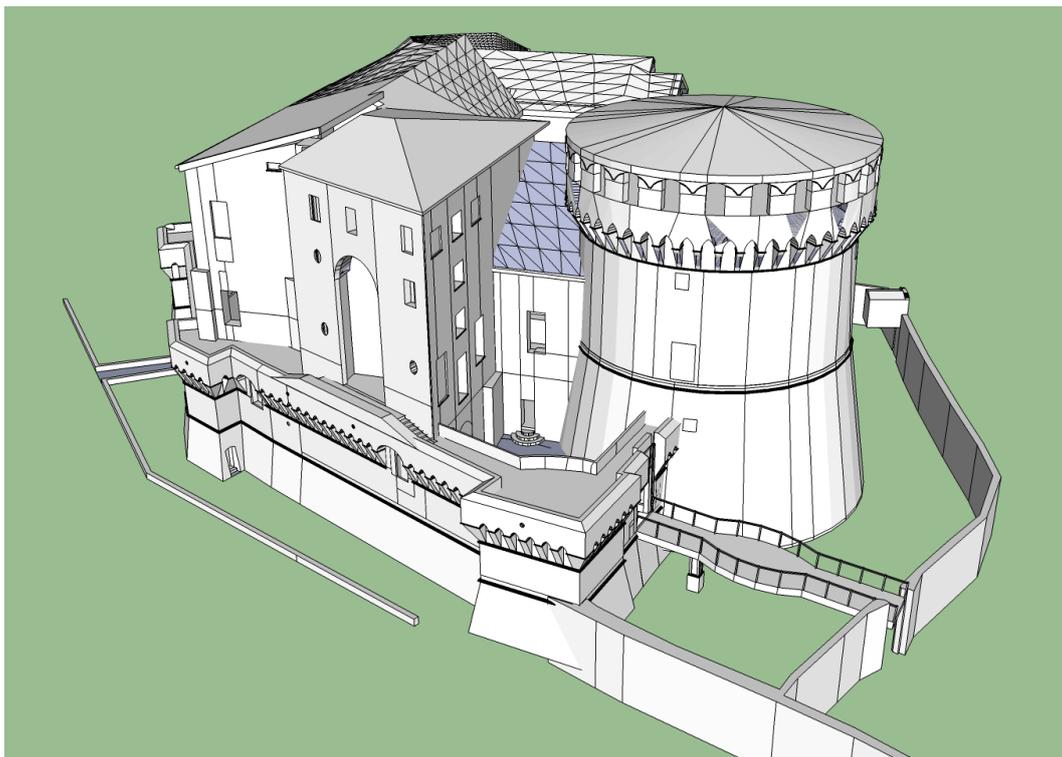


Figura 2.12 - Google SketchUp si basa su un'astrazione delle geometrie definita come Boundary Representation (B-Rep): gli elementi sono rappresentati dai propri contorni e da superfici che li delimitano, in modo che eliminando l'informazione di volume, i modelli risultino più leggeri (modello della Rocca di Dozza Imolese, S. Garagnani, 2002).

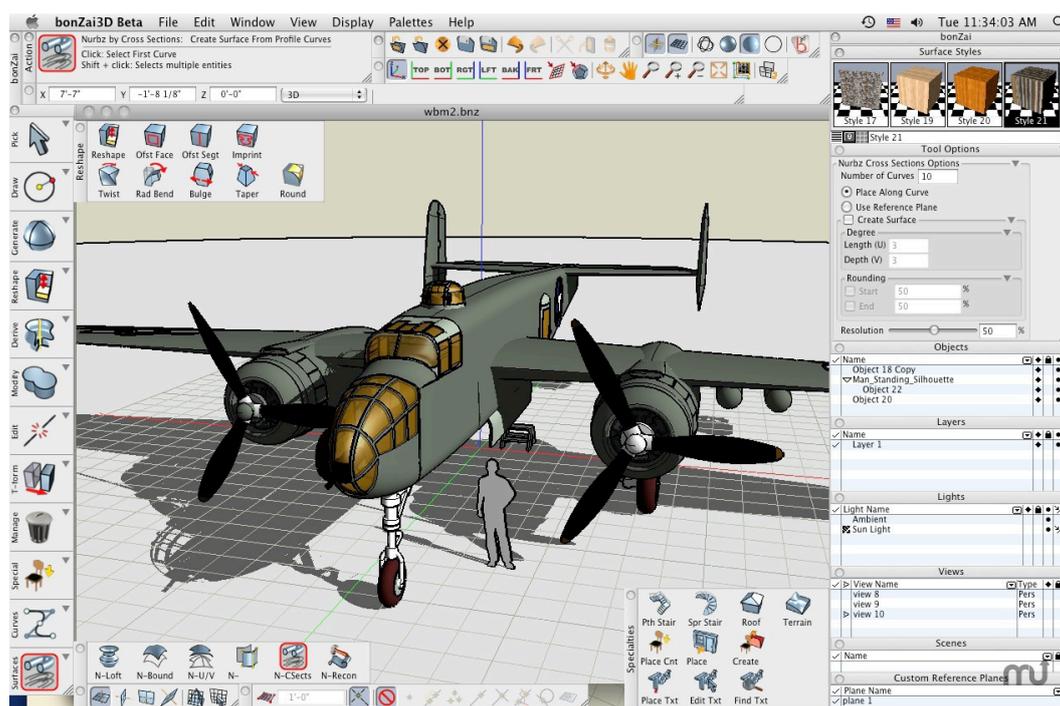


Figura 2.13 - Insieme a Google SketchUp, anche AutoDesSys Bonzai3D si sta imponendo come modellatore speditivo per concept di progetto: in questa immagine è rappresentata l'interfaccia di lavoro, molto simile a quella del software di riferimento di fascia più alta prodotto dalla medesima software house, form*Z (immagine tratta dal manuale tecnico di Bonzai3D).

un software versatile e nel contempo semplice da apprendere e da utilizzare. Permette la creazione di forme bidimensionali e tridimensionali in modo intuitivo e veloce, fornendo al disegnatore uno strumento adatto ad un'esplorazione dinamica e creativa degli oggetti, dei materiali e della luce. Il 9 gennaio 2007, la software house produttrice è stata acquisita da Google Inc., interessata allo sviluppo di geometrie semplici da introdurre nel proprio WebGIS Google Earth, più oltre descritto. La curva di apprendimento di SketchUp è rapida; ciò permette la realizzazione in tempi brevi di modellini geometrici e semplici animazioni, con la facile selezione di diverse modalità di rappresentazione (assonometria isometrica, prospettiva a tre fuochi, prospettiva a due fuochi, ecc.).

Durante la fase di modellazione l'operatore può affidarsi a comandi particolarmente efficaci come il *push/pull*, che permette di realizzare figure tridimensionali partendo proprio dall'estrusione di forme bidimensionali secondo una modalità di modellazione poligonale estremamente agevole. E' poi

possibile strutturare l'oggetto in layer, in gruppi e in componenti, i quali possono essere ripetuti più volte all'interno dello stesso file di lavoro in forma di istanze o *array*. Attraverso questi elementi è possibile ottenere la clonazione di particolari del modello, facilitando il lavoro di rappresentazione seriale. Le componenti, una volta correttamente posizionate, possono essere modificate simultaneamente agendo solo su una di esse, senza dover aggiornare manualmente e ridefinire ogni singolo ulteriore contenuto inserito (*instances*). Con SketchUp è possibile preparare viste in sezione, posizionando i piani per rivelare in modo dinamico i dettagli interni del modello. Una volta generate, è possibile esportare le sezioni bidimensionali in diversi formati di archiviazione raster o vettoriali per un successivo impiego in altri programmi. L'ombreggiatura delle superfici (geometricamente definite come superfici poligonali B-rep, *Boundary Representation*, e limitate a sessantacinquemila poligoni per layer di modello) avviene in tempo reale ed è basata sulla tecnologia OpenGL. Il rendering, ovvero la resa delle tessiture dei materiali, delle luci e delle ombre, è di tipo non-fotorealistico (NPR, *Non photorealistic rendering*, una tecnica di resa grafica molto interessante che verrà esposta nel corso dello scritto), con la possibilità di simulare le viste come schizzi eseguiti a matita o a mano libera. Attraverso una serie di *plugin* prodotti da terzi, è comunque possibile ottenere anche rendering di tipo fotorealistico (con la possibilità di definire la scena con lampade e luci localizzate).

Le coordinate geografiche dell'oggetto rappresentato (longitudine e latitudine reali o simulate) sono definibili con buona precisione sulla cartografia di Google, in modo da georeferenziare le geometrie e visualizzare l'incidenza realistica delle ombre solari del luogo, in un preciso periodo dell'anno.

SketchUp supporta in importazione ed esportazione diversi formati grafici 2D e 3D tra i quali il formato DXF/DWG, il 3DS, l'FBX, il VRML, il PDF, l'EPS, il JPG, il TIF e il PNG.

SketchUp è stato forse uno dei primi software orientati alla filosofia del risultato immediato senza troppo studio specialistico¹⁸, tanto che i programmatori di *AutoDesSys*, creatori del software simile **Bonzai3D**, non hanno fatto mistero di essersi ispirati proprio a questa applicazione che ha aperto le porte del 3D a un pubblico molto vasto di professionisti ed appassionati. Bonzai3D fonde l'originale filosofia di utilizzo di SketchUp con gli strumenti

¹⁸ - Anche se si rileva che sono stati nel tempo proposti prodotti di terze parti destinati ad ampliare le possibilità offerte da SketchUp, come il motore di render unbiased Podium o Khamsin, plug-in per effettuare calcoli CFD (Computational Fluid Dynamic) a partire da geometrie semplici.

tipici dei CAD e dei modellatori più sofisticati; il motore geometrico deriva da quello di **form*Z**, da oltre vent'anni un punto di riferimento per la modellazione tridimensionale professionale. Il connubio tra l'approccio di SketchUp e gli strumenti principali di form*Z rende sfruttabile un sistema moderno, semplice, facile da usare, veloce ma soprattutto che permette un approccio geometrico rigoroso al 3D.

AutoDesSys ha da poco rilasciato la versione 2.0 di Bonzai3D, contenente una migliorata gestione di forme geometriche complesse, come le superfici NURBS ed un sistema di visualizzazione per *walk-through* virtuali, oltre che svariati tool per creare sezioni in real-time e molte altre migliorie.

Il programma è disponibile in inglese, spagnolo e tedesco ed include l'abilità di importare ed esportare le viste dei modelli in svariati formati grafici bidimensionali come BMP, EPS, Adobe Illustrator, JPEG, PNG, QuickTime Image, Targa, e TIFF. Anche il formato nativo di Autodesk AutoCAD, il DWG, è gestibile in differenti versioni insieme ai metodi di memorizzazione tridimensionale più noti come il DXF, il 3DS, l'OBJ e così di seguito.

Grande importanza in Bonzai3D è assegnata alla stampa materica, ovvero alla generazione di prototipi e *maquette* ottenibili grazie a macchine a controllo numerico CNC od a stampanti tridimensionali. In tal senso è stato particolarmente curato il modulo di importazione ed esportazione in formato STL, indicato espressamente per il *rapid prototyping*. Questo processo è stato gestito in due fasi dagli sviluppatori: prima il *pre-processing* legge la geometria e la rigenera in STL come sezioni orizzontali molto ravvicinate, poi il formato viene unificato e trasmesso alle periferiche di stampa, raggruppato in elementi composti da poligoni triangolari.

Allo stesso modo è stato implementato in Bonzai3D l'utilizzo del formato ZPR, specifico delle stampanti prodotte da *Z Corporation*, destinato ad ottimizzare il posizionamento dei layer di stampa per successiva stratificazione di polvere: in questo caso, da esperimenti condotti durante il periodo di ricerca presso il laboratorio Silab della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, è emerso che la realizzazione di volumi tridimensionali secondo questa modalità dovrebbe tenere conto di questi aspetti:

- lo spessore minimo ottenibile per setti e pareti, oltre che partizioni orizzontali non dovrebbe essere inferiore a 0.5 millimetri;
- le matematiche del modello dovrebbero essere posizionate nell'ottante positivo dello spazio XYZ;

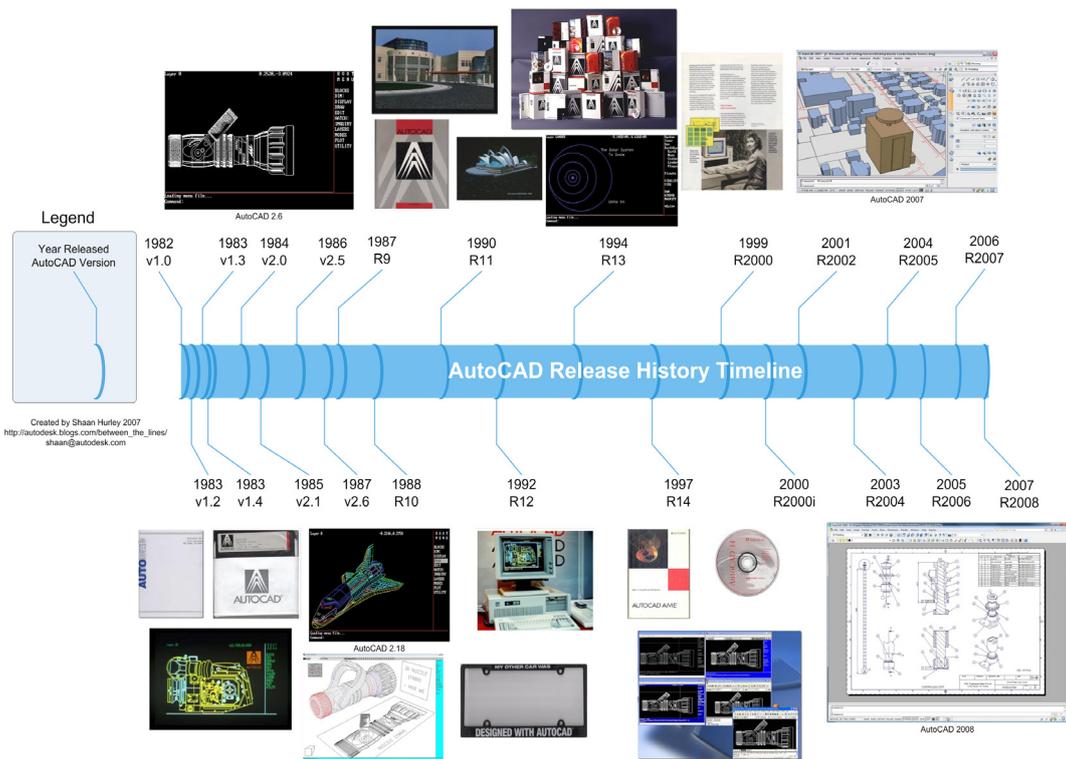


Figura 2.14 - Il percorso storico di sviluppo di Autodesk AutoCAD, dalle prime versioni in ambiente Ms-DOS sino all'introduzione dei metodi di render non fotorealistici nel 2007 (immagine di Shaan Hurley, 2007).

- la distanza tra modello ed origine del sistema di riferimento dovrebbe essere la minore possibile;
- i volumi cavi andrebbero evitati altrimenti si rende necessario uno studio di assemblaggio per stamparli in componenti aperti;
- si dovrebbero sempre modellare supporti ed irrigidimenti per elementi sottili;
- si dovrebbero evitare elementi troppo snelli per non pregiudicarne la resistenza e indurre curvature anomale.

Affrontando invece una tassonomia dei modellatori scritti per un approccio più professionale e definitivo nei confronti del progetto di architettura, vale a dire più mirati alla definizione rigorosa di misure e materiali, i software disponibili appaiono molto più complessi e costosi.

Autodesk, azienda californiana fondata da John Walker e dodici altri imprenditori nel 1982, detiene un solido primato di vendite in questo senso per i pacchetti tecnologici legati al mondo AEC (*Architecture, Engineering,*

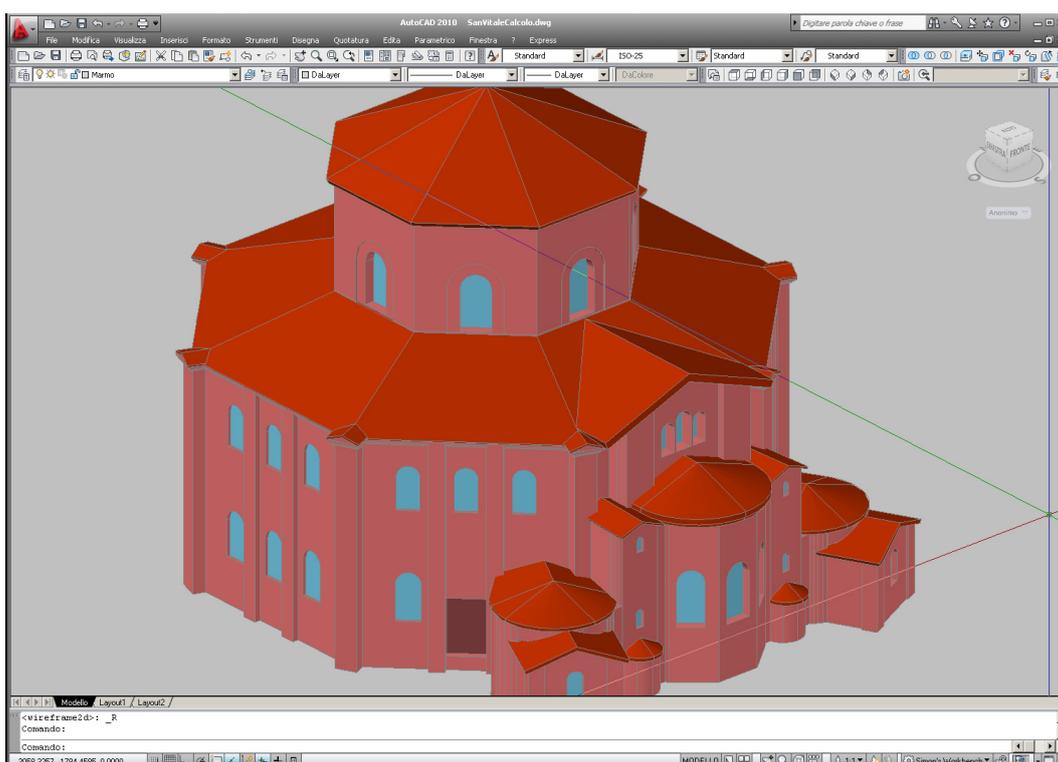


Figura 2.15 - Autodesk AutoCAD, uno dei primi modellatori tridimensionali ad essere stato scritto: ancora oggi mantiene caratteristiche CSG (*Constructive Solid Geometry*) per le sue primitive, consentendo un'ottima interfaccia di traduzione verso formati di memorizzazione adatti alla stampa tridimensionale o alla generazione di componenti mediante dispositivi a controllo numerico (S. Garrani, 2010).

Construction). Partendo dal loro storico prodotto, **AutoCAD**, Autodesk si   imposta sul mercato mediante l'acquisizione di compagnie legate al mondo della computer graphics, strutturandosi in quattro grandi dipartimenti rivolti ai diversi ambiti industriali di riferimento: *Manufacturing Solutions* (MSD), *Architecture, Engineering & Construction* (AEC), *Media and Entertainment Division* (M&E), e *Platform Solutions & Emerging Business* (PSEB).

Molte filiere di progetto, dallo studio piccolo alla grande realt  progettuale, si basano quasi esclusivamente ancora su AutoCAD per l'elaborazione dei disegni base e della documentazione grafica generale, impiegandolo a guisa di un tecnigrafo *multi-purpose*.

Nella versione completa del programma   possibile infatti realizzare anche disegni in tre dimensioni e visualizzarli con punti di vista specificabili dall'utente, ma non in **AutoCAD LT**, sigla che sta per "*light technology*" e che designa il prodotto *entry-level*. Le entit  creabili possono essere sia dei solidi (ovvero entit  CSG, *Constructive Solid Geometry*, elementi dotati di

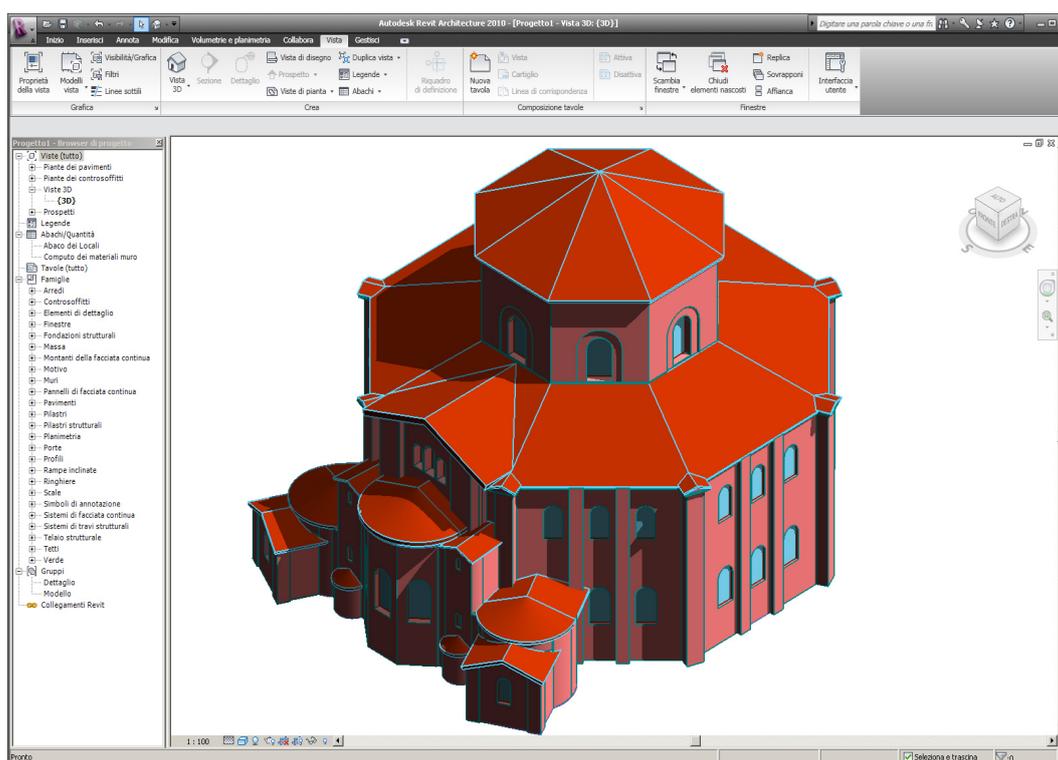


Figura 2.16 - Interfaccia di modellazione di Autodesk Revit: il software fa riferimento a categorie di primitive grafiche parametriche già inserite nel motore geometrico, dette “famiglie di elementi” (S. Garagnani, 2010).

informazioni sulla massa) che delle superfici aperte o chiuse, oltre ad altre entità tridimensionali più semplici come linee tridimensionali e singole facce definite da poligoni; con l’uscita della versione 2007, AutoCAD ha decisamente migliorato il modulo di modellazione integrato, storicamente considerato uno dei suoi punti deboli, anche se nel frattempo si sono sviluppati, sia da parte di Autodesk che di altre società, CAD specifici per la progettazione tridimensionale in edilizia. La versione completa permette di utilizzare un linguaggio di programmazione per creare nuovi comandi o applicativi completi fruibili come plugin. Nelle prime versioni invece, l’unico linguaggio utilizzabile era *Autolisp*: una versione adattata ad Autocad del linguaggio lisp. Successivamente la scelta si è ampliata ed ora è possibile personalizzare Autocad anche utilizzando il Visual Basic e ActiveX.

Autodesk ha nell’ultimo decennio deciso di mantenere AutoCAD come una sorta di “tecnigrafo elettronico” generalista, verticalizzando in pacchetti specifici i settori disciplinari individuati come principali fruitori dei propri prodot-

ti. La modellazione di architettura dunque ha visto l'azienda californiana acquisire molte software house come nel caso di *Revit Technologies Inc.* sviluppatori di **Revit**, un programma per sistemi operativi Windows, acquisito da Autodesk per 133 milioni di dollari, al fine di colmare la lacuna sugli strumenti di progettazione parametrica.

Anche Revit negli ultimi otto anni ha subito profondi cambiamenti e miglioramenti per poter supportare in maniera nativa i formati DWG, DXF e DWF, estensioni proprietarie di Autodesk e presenti oramai in tutti gli applicativi da essa commercializzati. Inoltre, è stato migliorato in termini di velocità ed accuratezza di esecuzione dei rendering, le rese fotorealistiche per le quali dal 2008 il motore di rendering esistente, **AccuRender**, è stato sostituito con **Mental Ray**, applicazione di alta qualità sviluppata dalla *Mental images* di Berlino, da tempo presente in **3D Studio Max** e in **Maya**, modellatori *high-end* destinati alla visualizzazione fotorealistica ed anch'essi acquisiti da Autodesk (rispettivamente da *Discreet* e da *Alias|Wavefront*).

Tramite la parametrizzazione e la tecnologia 3D nativa, Revit prevede la concettualizzazione immediata di forme tridimensionali. Con l'ormai irreversibile migrazione, nella progettazione architettonica ed ingegneristica contemporanea, verso piattaforme e sistemi informativi di tipo BIM, Revit si propone come il naturale candidato di casa Autodesk alla sostituzione di AutoCAD. Esso si prepara pertanto a diventare *de facto* il successore dell'attuale standard di mercato in progettazione non parametrica 2D e 3D, con tre versioni specifiche per differenti discipline di impiego:

- **Revit Architecture**, per architetti e progettisti edilizi (precedentemente Revit Building);
- **Revit Structure**, per ingegneri strutturisti, con algoritmo di calcolo mutuato da *Robot Structures*, su base Algor;
- **Revit MEP** (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*), per ingegneri meccanici, elettrici e termotecnici (precedentemente Revit Systems).

Percorrendo sempre il medesimo filone verticale che conduce alla modellazione parametrica, la società ungherese *Graphisoft* (acquisita da *Nemetschek*) commercializza un CAD architettonico per ambienti Windows e Apple, denominato **ArchiCAD**.

Lo sviluppo è cominciato nel 1982 ed è stato riconosciuto come il primo prodotto su un personal computer capace di creare sia disegni 2D che 3D.

ArchiCAD permette all'utente di lavorare con oggetti a cui sono applica-



Figura 2.17 - Graphisoft ArchiCAD consente la produzione di modelli digitali dell'edificio a partire da rappresentazioni schematiche, per arrivare all'ingegnerizzazione degli elementi architettonici generali (immagine tratta dal manuale tecnico Graphisoft/Cigraph).

ti dati parametrici BIM, chiamati “*oggetti intelligenti*” da parte degli utenti. Ciò differisce sostanzialmente dalla modalità operativa degli altri programmi CAD creati negli anni Ottanta. Il prodotto permette all’utente di creare anche in questo caso un “*edificio virtuale*” utilizzando elementi strutturali effettivi come muri, solai, tetti, porte, finestre e mobili. Il programma viene fornito con una grande varietà di oggetti personalizzabili pre-confezionati, che l’utente può creare anche autonomamente, sia usando gli elementi primitivi del programma che utilizzando il linguaggio GDL.

Piante, sezioni, prospetti, liste di materiali e altri elaborati vengono generati direttamente dal programma in base al modello tridimensionale dell’edificio (figura 2.17), e vengono aggiornati in tempo reale, consentendo una loro esportazione nei vari formati fra cui il DWG, il DXF, l’IFC e SketchUp. Un percorso simile ad Autodesk dunque, quello dell’azienda tedesca *Nemetschek*, che ha acquisito Graphisoft assicurandosi ArchiCAD per affiancarlo al proprio CAD generico **Vectorworks** ed al modellatore/visualizzatore **Cinema 4D**. E’ però il software **Allplan** che verticalizza sul BIM le tecnologie della casa: anche per Allplan, come per Revit, esistono differenti versioni, a seconda dell’utente finale e del contenuto richiesto:

- **Allplan Architettura**, pacchetto software per gli architetti, che va dalla modellazione per sketch fino all’animazione 3D;
- **Allplan Ingegneria**, soluzione per l’ingegneria civile e strutturale;
- **Allplan Impianti**, soluzione per la progettazione dei servizi tecnologici degli edifici;
- **Allplan Prefabbricati**, dedicato alle aziende produttrici di manufatti prefabbricati, soprattutto in legno.

Anche per Allplan fin dall’inizio del progetto le primitive sono esprimibili come oggetti in 3D, ma a seconda della fase di lavoro e delle esigenze operative è possibile lavorare su viste piane (figura 2.18). Il taglio interdisciplinare di Allplan è in linea con le esigenze della progettazione contemporanea che vede interagire architetti, ingegneri e progettisti specializzati sul prodotto architettonico, dall’edificio all’architettura d’interni, dall’urbanistica alla pianificazione paesaggistica, fino alla progettazione delle strutture, delle infrastrutture, di elementi prefabbricati, di domotica e di *facility management*.

Allplan è stato concepito come supporto interoperabile, aperto all’azione contemporanea di più operatori sullo stesso file, con una garanzia di compatibilità con i più diffusi linguaggi utilizzati nel settore (in tutto oltre 50 for-

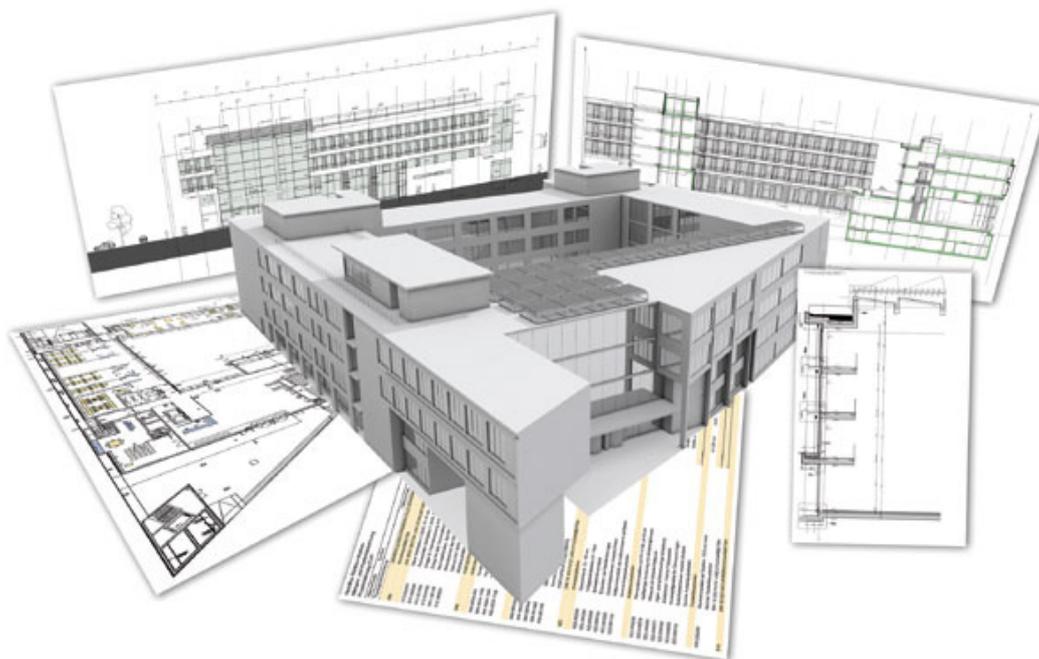


Figura 2.18 - Anche in Nemetschek Allplan è possibile ricavare documentazione tecnica bidimensionale attraverso l'interrogazione del modello digitale (immagine tratta dal manuale tecnico del software).

mati di archiviazione file), come il PDF, l'IFC, il DWG, il DXF e il DGN. Oltre a realizzare modelli architettonici, Allplan consente di effettuare il computo metrico della costruzione e di creare graficamente le astrazioni strutturali da cui estrarre i modelli per il calcolo statico agli elementi finiti. Gli impiantisti possono invece aggiungere all'archivio i dati relativi al riscaldamento, alla climatizzazione ed ai sistemi idraulici ed elettrici, coordinando il loro lavoro con la genesi più generale del progetto.

La progettazione e gestione delle superfici di grande impatto come le facciate parametriche *free-form* (a forma libera) in linea retta, in polilinea, ad arco o a spline, planari, curve o inclinate, è resa con la massima precisione ed efficacia, caratterizzando il pacchetto per la versatilità nei confronti delle architetture organiche. L'interfaccia diretta con il software **Cinema 4D** per il rendering e l'animazione consente di trasferire le impostazioni di visuale, illuminazione e sfondo come oggetti di scena nel software di animazione e rendering 3D.

Allplan Architettura si presenta al mercato dei software con una vasta gamma di strumenti per la progettazione, con in più nuovi moduli per la realizzazione di edifici ecosostenibili e per la consulenza energetica: dall'installazione di sistemi fotovoltaici o termici solari agli indicatori energetici che consentono una rapida analisi degli aspetti delle opere di ricostruzione associati all'energia. A questo si aggiunge il modulo opzionale per il calcolo e la redazione dell'attestazione energetica, che consente di effettuare valutazioni energetiche ed ambientali sulla base degli specifici standard regionali tedeschi, austriaci, italiani e francesi, direttamente dall'ambiente di modellazione.

Allplan Ingegneria racchiude una gamma di funzioni per la progettazione di armature particolarmente semplici da utilizzare con la possibilità di modificare le forme delle *toolbar*. Una toolbar dei processi consente operazioni più flessibili tra forme, inserimento ed etichettatura delle barre. La moderna interfaccia utente basata su *palette* (anche per la progettazione delle armature) riduce i tempi di apprendimento per chi si avvicina al programma per la prima volta e nel contempo ottimizza i processi di lavoro per gli utenti esperti. Tra le funzioni che arricchiscono il software spiccano la progettazione più efficiente delle armature ai diversi livelli e viste (le varianti trasferiscono immediatamente in modo automatico i nuovi dati a tutto il progetto, con in più la tecnologia di ricerca delle cassaforme, i gruppi di armature predefiniti e gli impianti tecnici intelligenti, oltre alle funzioni avanzate per armature circolari e a spirale che supportano anche le forme delle barre e la modalità di posizionamento per metro). Le peculiarità contano poi la collaborazione interdisciplinare semplificata con funzioni per ricavare il progetto dell'organizzazione generale dal modello architettonico ed aggiungere informazioni su impianti di riscaldamento, di ventilazione, sanitari ed elettrici anche con il perfezionamento dell'interazione tra il sistema e il software di statica Nemetschek **Frilo**.

La società inglese *Bentley Systems, Inc.* è un altro dei pilastri commerciali esperta in pacchetti BIM, con il suo **MicroStation** giunto alla versione V8i. La storia di MicroStation inizia negli anni Ottanta con *Intergraph*, quando il software era ancora sviluppato come terminale grafico per il VAX di *Digital Equipment Corporation (DEC)*. Successivamente si sono abbandonati tutti i sistemi operativi ad eccezione di *Microsoft Windows*, sfruttandone in tempi più recenti la funzionalità di multi-threading su sistemi multi-core o multi-processore. In MicroStation è possibile utilizzare gli strumenti per il rendering

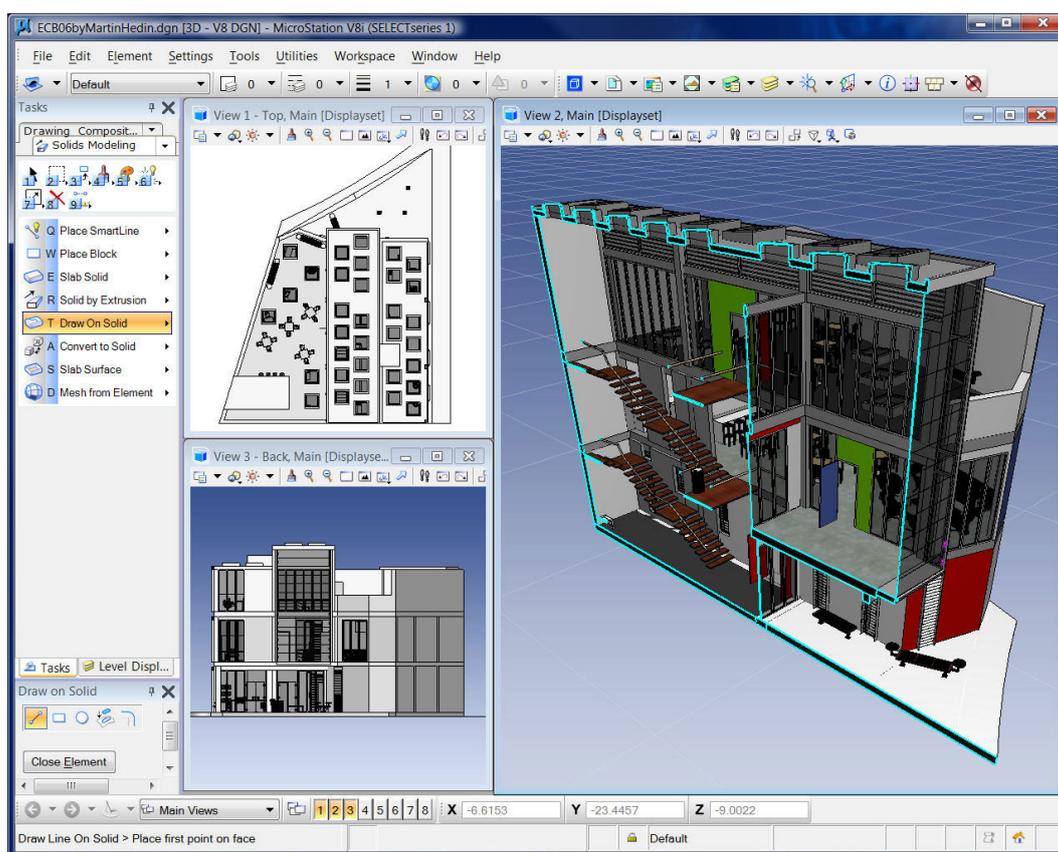


Figura 2.19 - Analogamente ai suoi concorrenti diretti, MicroStation di Bentley è un BIM parametrico evoluto in grado di generare un modello digitale completo di un edificio (immagine tratta dal manuale tecnico del software).

e la visualizzazione di modelli 3D, che consentono di realizzare immagini di disegni dai colori realistici. Questo è un modo più rapido di produrre disegni rispetto alle tradizionali bozze ed ai disegni tracciati a mano, specialmente in caso di frequenti revisioni e scadenze di consegna ravvicinate.

Un aspetto decisamente interessante del pacchetto MicroStation è costituito dall'integrabilità con **GenerativeComponents**, un sistema di modellazione parametrica associativa utilizzato da architetti ed ingegneri per automatizzare i processi di progettazione e velocizzare le iterazioni di progetto. Tramite un approccio ibrido, i progettisti che utilizzano GenerativeComponents possono modellare geometrie, catturare relazioni e generare forme impiegando gli *script* o la manipolazione diretta delle primitive grafiche per ottenere livelli di flessibilità notevoli. La combinazione di iterazione velo-

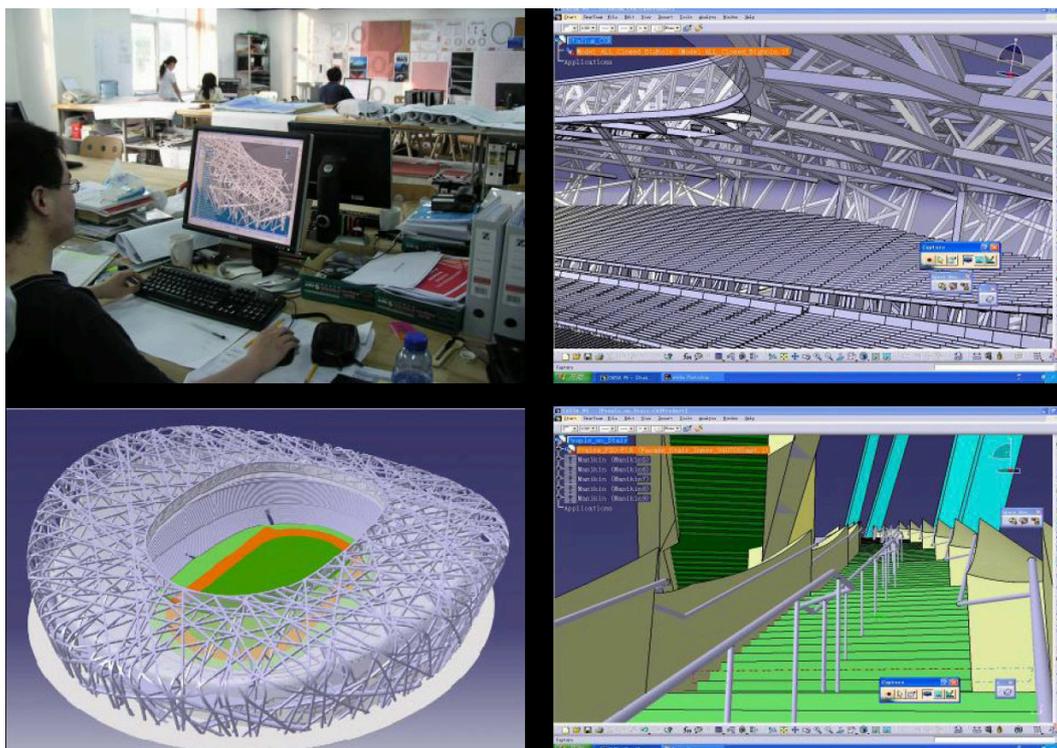


Figura 2.20 - Gehry Technologies Digital Project: il modellatore BIM più evoluto ad oggi esistente sul mercato. Sviluppato a partire dal blasonato CAD Catia di Dassault Systemès, consente analisi complete degli elementi tecnologici da porre in opera (immagini su autorizzazione di Martin Riese - Gehry Technologies).

cizzata, modellazione flessibile e processo automatizzato caratterizza un lavoro realizzato tramite GenerativeComponents con una sinergia positiva tra intuizione e logica.

A chiusura della carrellata di software esplicitamente dedicati al BIM parametrico, non si può non citare **Digital Project**, un complesso sistema CAD derivato da **Catia V5** di *Dassault Systemès* e sviluppato da *Gehry Technologies*, azienda *startup* di programmazione scaturita dall'imprenditorialità dell'ufficio tecnico dell'architetto americano Frank Owen Gehry.

Digital Project ha la caratteristica peculiare di consentire la progettazione distribuita ai vari professionisti con base su un unico modello digitale, integrante la possibilità di produrre elaborati tecnici e supporti digitali direttamente manipolabili dai fabbricatori. L'attuale versione rilasciata, Digital Project TM V1-R4, è stata predisposta per la migliore interoperabilità di sempre, implementando in modalità nativa il formato IFC.

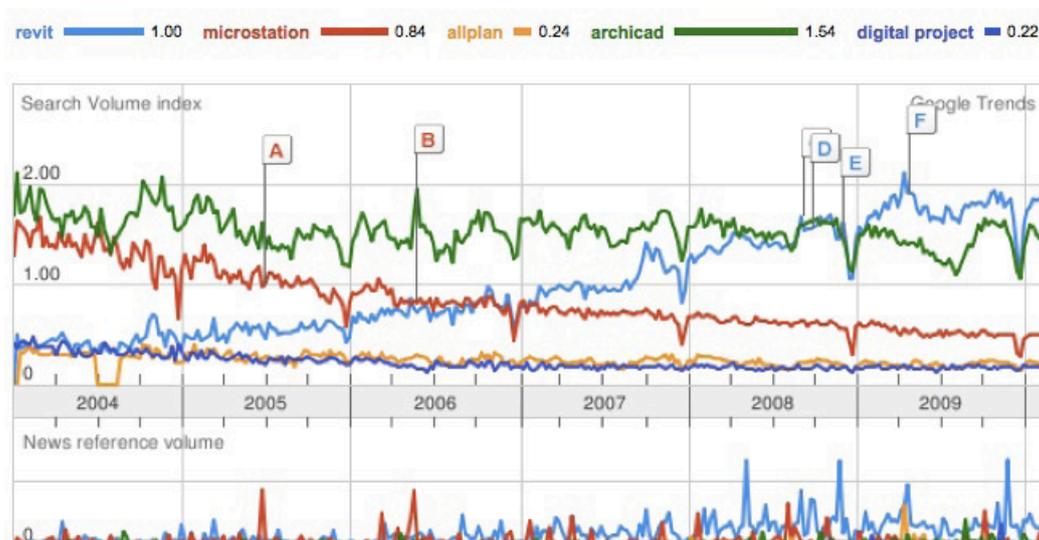


Figura 2.21 - Secondo Google Trends, negli ultimi anni i modellatori BIM stanno riscuotendo sempre maggiore successo. Nel grafico sono rappresentate le statistiche di ricerca valori per i quattro pacchetti maggiori in commercio, con un evidente crescente interesse per Autodesk Revit, parallelamente ad un declino di ArchiCAD, che sconta una tecnologia più datata.

2.5.2 Software analitici.

L'edificio, organismo strutturato che deve assolvere svariate funzioni, ha l'obbligo di soddisfare necessità basilari come la resistenza strutturale, la sostenibilità dalle scelte impiantistiche per la salubrità interna, lo smaltimento e la distribuzione delle acque, il controllo di eventi calamitosi come sismi o incendi, l'approvvigionamento di energia attraverso gli impianti elettrici e così via. I pacchetti di calcolo analitico che consentono di pianificare questi importanti aspetti sono spesso destinati a figure tecniche di settore con scarse possibilità di interfacciamento con i software di modellazione che sono serviti per concettualizzare il progetto.

Tuttavia si immagina possibile lo scambio informativo se il modello di partenza rispetta questi tre punti:

- gli attributi e le relazioni tra gli oggetti assegnati sin dalla fase di modellazione architettonica sono interpretabili in qualche modo dagli algoritmi di analisi;

- i metodi di compilazione per i modelli analitici includono un'astrazione degli elementi geometrici senza la perdita di consistenza (in tal caso il modello fisico è chiaramente differente ma omologo¹⁹ a quello analitico);
- i livelli di astrazione ed i loro rapporti con il modello reale sono supportati da tutti gli strumenti utilizzati.

Il rispetto di questi punti, non ancora completamente raggiunto con i programmi informatici presenti sul mercato, sono il punto di partenza concettuale di alcune soluzioni verticali come **Revit Structure**, focalizzato sugli aspetti statici in sinergia con i modelli prodotti da **Revit Architecture**.

Nel corso della ricerca sono stati affrontati problemi legati allo scarso raggiungimento di questi obiettivi, anche se si è riusciti a conciliare (come sarà descritto nel capitolo quinto) l'utilizzo congiunto di algoritmi analitici con le basi geometriche e di visualizzazione per modelli architettonici. Ogni pacchetto infatti, generalmente individua le caratteristiche degli elementi componenti mediante simbolismi ed attributi propri, rendendo necessaria una nuova formulazione informativa del modello (una sorta di "rilucidatura"). E' il caso ad esempio di **SAP2000**, presente sul mercato da oltre 30 anni, standard *de facto* per i programmi di analisi strutturale.

SAP2000 possiede un'interfaccia utente molto sofisticata, un collaudato motore analitico e svariati strumenti di verifica per gli ingegneri impegnati nel settore dei trasporti, dell'industria, dei lavori pubblici, degli impianti sportivi e di altre opere.

A partire dall'ambiente di modellazione grafica ad oggetti 3D fino alla gran varietà di opzioni analitiche totalmente integrate tra loro in una singola interfaccia, SAP2000 ha dato prova di essere il programma di tipo "generale" più completo, pratico e produttivo rispetto ai suoi concorrenti.

Le toolbar individuano comandi in grado di generare modelli strutturali in modo rapido, senza lunghi ritardi legati all'apprendimento.

SAP2000 è solo uno dei tanti software disponibili sul mercato che consentono il calcolo delle sollecitazioni sui sistemi strutturali isostatici e iperstatici anche molto complessi, attraverso un algoritmo comunemente chiamato agli *elementi finiti*. Anche se non è precisamente la finalità di questo studio, sembra opportuno fornire qualche cenno su questo metodo di calcolo.

¹⁹ - I modelli sono omologhi, rispetto all'oggetto reale, quando sono simili per struttura ma non per forma e funzione; sono analoghi quando sono simili struttura e funzione ma non la forma, infine sono isomorfi quando sono simili struttura e forma ma non la funzione, come descritto in T. Maldonado, "Reale e Virtuale", Feltrinelli, Milano 1992.

La denominazione di *elementi finiti* trae origine dal fatto che l'algoritmo di analisi considera qualsiasi tipo di struttura a patto che questa venga opportunamente *discretizzata*, cioè suddivisa in elementi più piccoli.

Per le strutture costituite da elementi monodimensionali, come la trave continua o il telaio, la discretizzazione è molto semplice poiché, in genere, coincide con gli elementi stessi. Le estremità di tali elementi monodimensionali sono detti *nodi* e le incognite del problema sono costituite dai loro spostamenti, che si sviluppano sotto il sistema di carichi dato. Quando le strutture sono invece piane o tridimensionali, è possibile discretizzarle in tanti elementi più piccoli, di varia forma (ad esempio elementi triangolari, quadrangolari, ecc.) caratterizzati dalla presenza di almeno tre o più nodi. SAP2000 consente l'importazione/esportazione del modello verso archivi Access e fogli di lavoro Excel oltre che lo scambio dati in formato IFC e l'importazione di file nei seguenti formati: Autocad DXF, FrameWorks Plus, IGES, NASTRAN, STAAD e STRUDL.

I software disponibili per i differenti attori del processo edilizio sono i più svariati, tanto che appare non proponibile e tutto sommato inutile definirne in questa sede un elenco, che per via della molteplicità di voci sarebbe inutilmente ampio e lontano dell'applicazione propriamente di natura progettuale architettonica che questa ricerca si prefigge.

Tuttavia questo paragrafo, dedicato ai software analitici, vuole presentare quelli che sono stati i pacchetti utilizzati in questo lavoro, utili al progettista d'architettura per definire aspetti qualitativi già dalle prime intuizioni. L'analisi del sito ad esempio, affrontata al capitolo successivo come prima necessità per contestualizzare i modelli digitali preliminari, può avvalersi di programmi sofisticati per definire ad esempio esposizioni a venti e irraggiamento solare.

Per questo, nello studio dei modelli digitali di edifici esistenti o di nuova fabbricazione, si è utilizzato *Autodesk EcoTect Analysis*, un software di analisi che permette di valutare le prestazioni dell'edificio e del sito.

Con esso si effettuano analisi approfondite dei fattori ambientali quali l'irraggiamento solare, l'ombreggiatura, l'illuminazione con luce diurna (calcolo dei livelli di illuminazione naturale e artificiale con stima del fattore di luce diurna), le prestazioni termiche (calcolo dei carichi di riscaldamento e raffreddamento per modelli con qualsiasi numero di zone o tipo di geometria) ed acustiche generali.

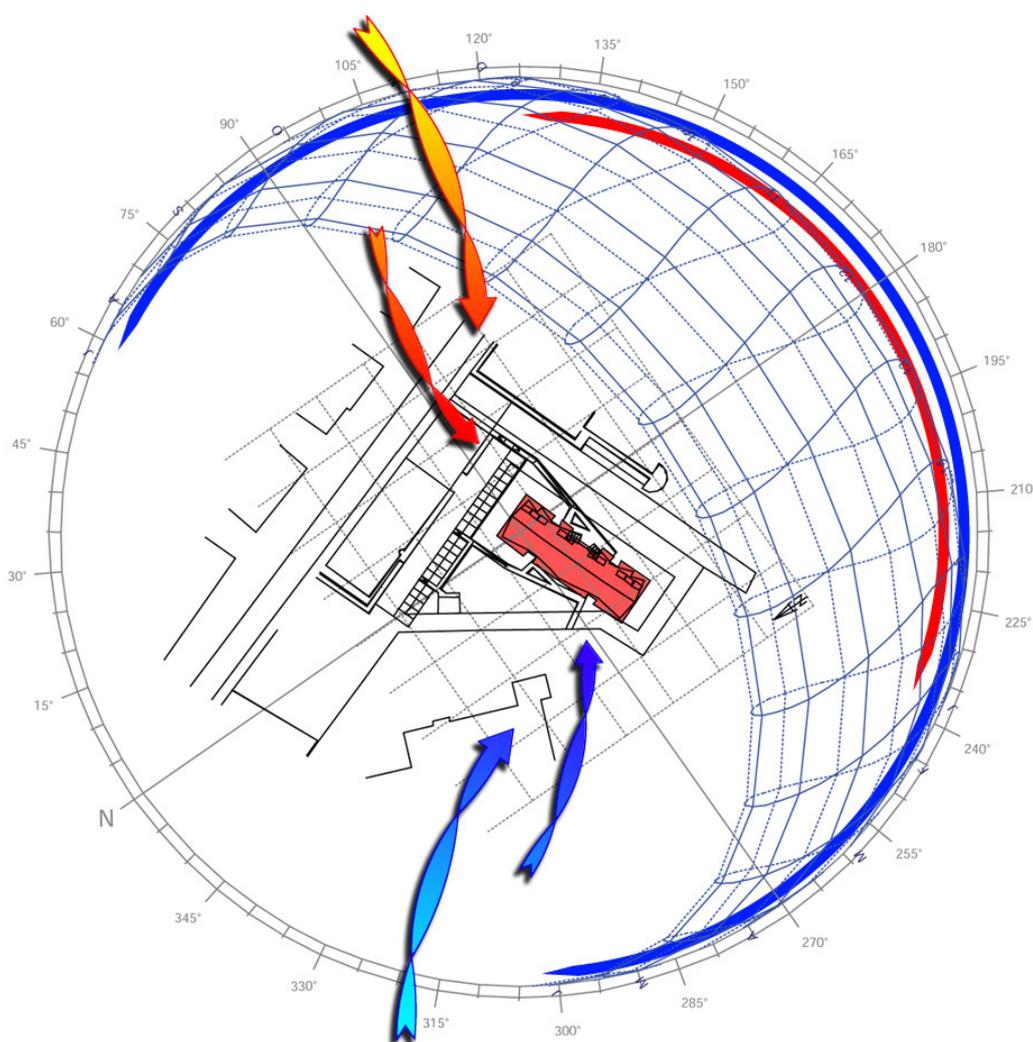


Figura 2.22 - Autodesk EcoTect Analysis permette la generazione di accattivanti schematizzazioni per le analisi del sito. Nell'immagine in alto è rappresentata l'esposizione solare e la direzione dei venti dominanti in un lotto urbano oggetto di pianificazione (S. Garagnani, 2007).

Sebbene molto più semplificato, e forse meno accurato nelle procedure di calcolo, rispetto ai più blasonati **TRNSYS**, **ESP-r** o **EnergyPlus**, EcoTect fornisce da subito elementi validi per prendere decisioni di progetto in merito alla sostenibilità ambientale ed all'abbattimento di emissioni nocive, unendo al motore di calcolo un buon modulo di visualizzazione OpenGL, adatto anche come front-end per la visualizzazione di valori calcolati con algoritmi di terze parti²⁰. In merito invece alle valutazioni illuminotecniche, si è rivelato strumento affidabile Autodesk **3D Studio Max Design**, già citato

²⁰ - Questo importante aspetto verrà diffusamente trattato nel capitolo quinto, con riferimento alle analisi illuminotecniche effettuabili in esportazione e re-importazione di modelli EcoTect.

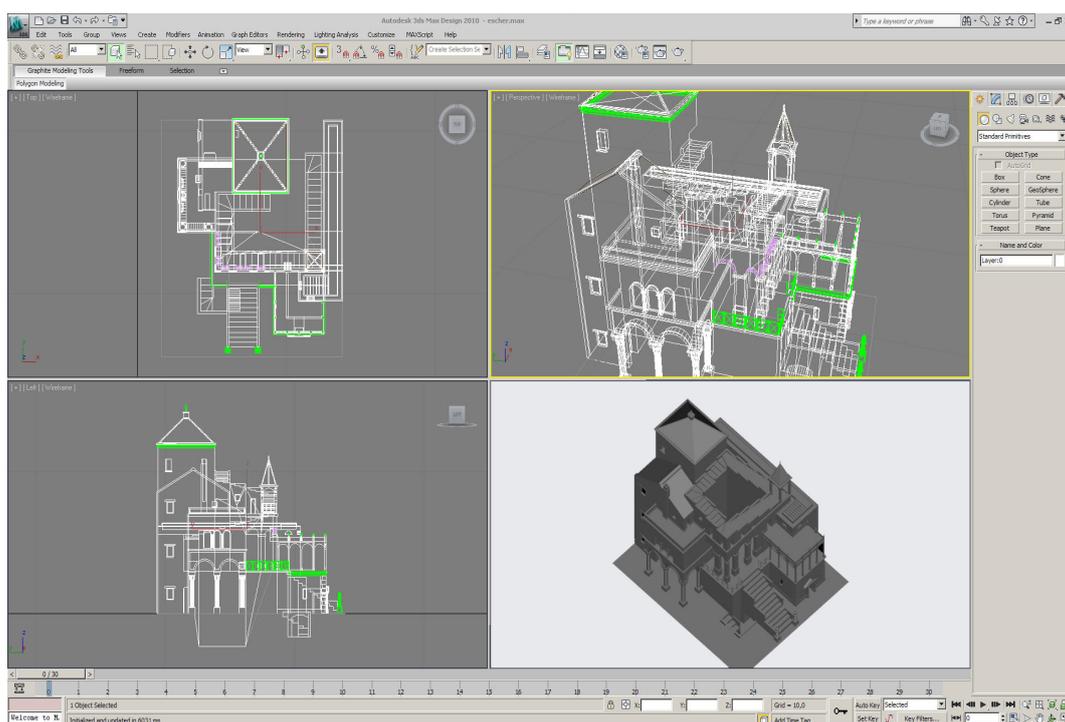


Figura 2.23 - Autodesk 3D Studio Max è commercializzato dal 2009 nella versione “Design”, contenente un modulo specifico per le analisi illuminotecniche con luce naturale ed artificiale. La possibilità di creare animazioni delle geometrie modellate, ne fa uno degli strumenti più versatili nella architettura visuale contemporanea (modello tridimensionale eseguito da S. Garagnani, 2010).

nel paragrafo dedicato ai modellatori ma utile anche in campo simulativo per il suo modulo di calcolo per l’illuminazione naturale ed artificiale.

3D Studio Max è stato sviluppato come successore di 3D Studio per DOS dalla divisione di Autodesk specificatamente preposta (la vecchia *Kinetix*, ora *Media & Entertainment*) ed ha acquisito il nome di produzione *Discreet Logic* nel 1998, quando questa società è stata rilevata da parte di Autodesk. Esso è uno dei più diffusi software di modellazione tridimensionale per numerose ragioni, tra le quali, le potenti capacità di *editing* e la sua architettura di plugin, svariate *routine* di programmi realizzati da terze parti destinati ad integrare funzioni non presenti nella versione base del programma.

Il modellatore interno, ovvero il modulo che presiede alla generazione di elementi tridimensionali a partire da primitive grafiche, è strutturato secondo sette metodi base di modellazione:

- *modellazione a partire da primitive standard*, dove i contorni geometrici sono generati usando cubi, sfere, cono, cilindri e altri oggetti predefiniti. Si possono successivamente applicare operatori booleani di intersezione, sottrazione e unione per ottenere geometrie più complesse.
- *modellazione NURMS (Non-Uniform Rational MeshSmooth)*, implementazione della modellazione mediante suddivisione di superfici, un metodo che sta affiancandosi alla modellazione mediante NURBS (*Non-Uniform Rational B_Splines*) sia per modelli con molti poligoni che quelli a basso numero di poligoni²¹.
- *surface tool*, originariamente un plugin, utile nella creazione delle comuni spline 2D gestite poi da un modificatore chiamato “surface” (“superficie”). Questo modificatore crea una superficie ogni 3 o 4 vertici in una griglia, generando forme spaziali.
- *NURBS*, acronimo che sta per *Non Uniform Rational B-Splines*, traducibile in “*B-Splines razionali non uniformi*”, una classe di curve geometriche polinomiali utilizzate in computer grafica per rappresentare curve e superfici complesse. Una NURBS è la rappresentazione matematica che un programma software crea di un oggetto, per definirne accuratamente la forma.
- *modellazione con poligoni*, dove il modellatore converte una primitiva in poligoni ed utilizzando strumenti come lo smusso, l’estrusione ed il taglio dei vertici o delle facce, aggiunge dettagli e raffina il modello. È possibile inoltre attaccare due o più poligoni e “collassare” i vertici comuni in modo da poter mantenere unità nella superficie risultante. Questa tecnica è molto utilizzata nel campo dei videogiochi perché permette un controllo molto accurato su ogni poligono e quindi consente una forte ottimizzazione.
- *modellazione con mesh*: una mesh poligonale viene definita da una matrice la cui dimensione viene determinata dai valori delle dimensioni M ed N. $M \times N$ equivale al numero di vertici che devono essere specificati e che costituiscono le superfici per gli oggetti componenti del modello.

²¹ - Alla base di questo metodo vi è la geometrizzazione mediante poligoni, alla quale è possibile applicare il meshsmooth NURMS per il quale ogni vertice ed ogni bordo ha un peso associato. Il peso simboleggia quanto la forma finale è affetta dal vertice/bordo in questione. È importante notare che i modelli NURMS, mentre sono ottimali per la creazioni di immagini, video e prototipi, sono inutilizzabili in produzione di componenti fisiche (stampe 3D o modellazioni su macchine a controllo numerico), in quanto completamente privi di informazioni geometriche. La modellazione mediante NURMS è più semplice della modellazione mediante spline, alla base delle più note NURBS, e può essere utilizzata con successo anche da utilizzatori non esperti pur fornendo una buona scalabilità ed una buona possibilità di controllo agli operatori con più esperienza.

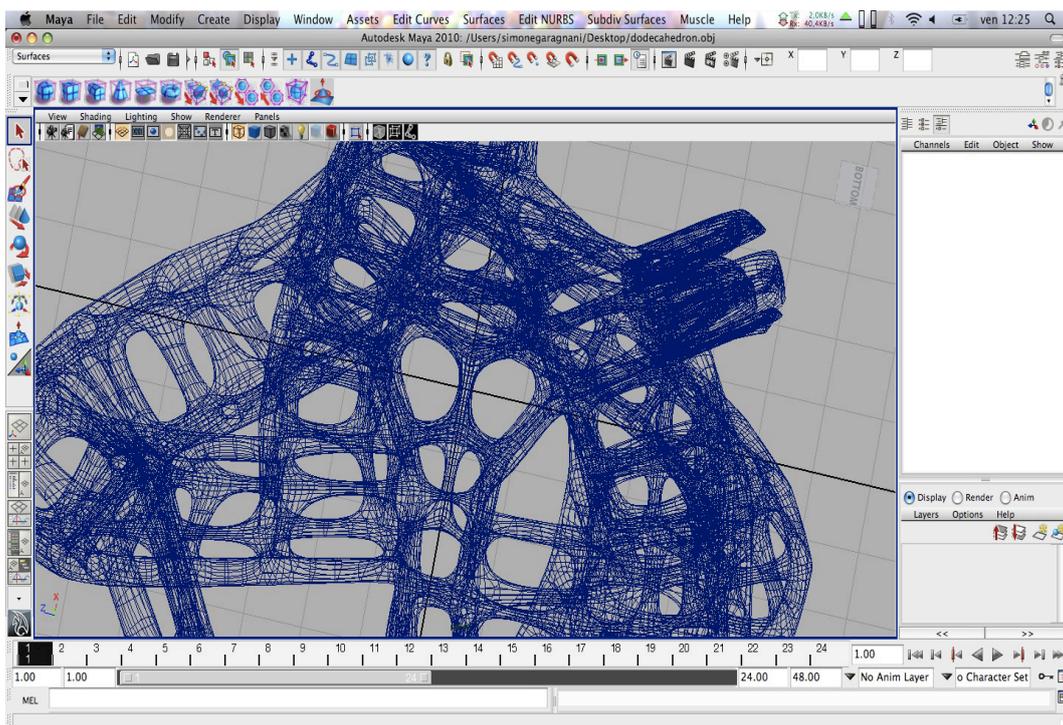


Figura 2.24 - Autodesk Maya, il modellatore più evoluto ad oggi sul mercato: utilizzato in ambito cinematografico per la realizzazione di numerosi effetti speciali, sta conoscendo in questi anni un grande successo anche in architettura, per via della sua scalabilità e della possibilità di programmazione mediante *scripting*, che lo rende appetibile per le progettazioni di matrice bio-simulativa.

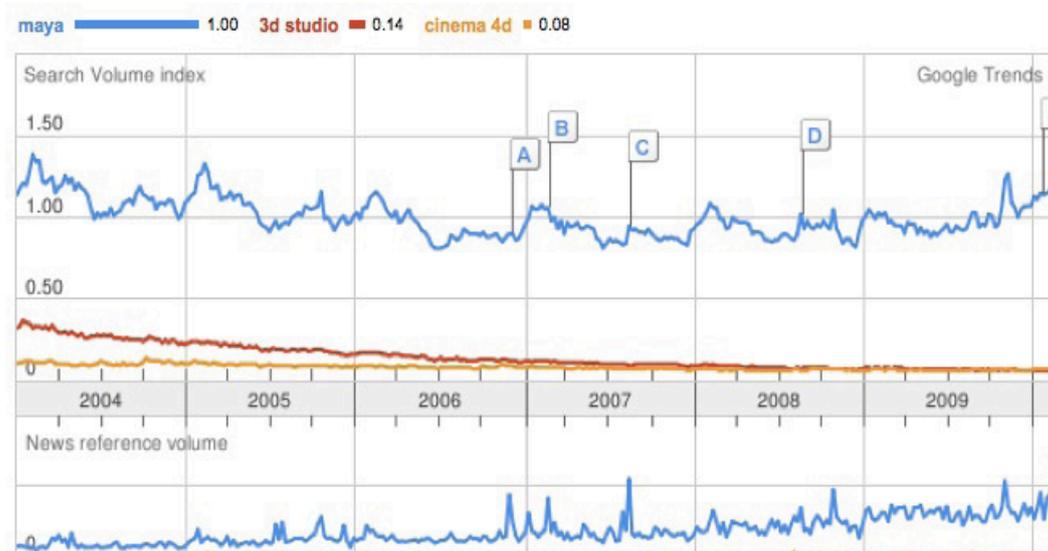


Figura 2.25 - Grafico Google Trends indicativo dell'interesse dell'utenza per i modellatori tridimensionali più diffusi: rispetto alla stazionarietà di prodotti storici come Cinema 4D o 3D Studio Max, Autodesk Maya sta riscoprendo una nuova stagione di successo.

- *modellazione con patch*, una tecnica molto simile a quella *spline*. La differenza principale è che al posto di creare prima un telaio di spline e poi generare la superficie sopra di esso, con le Patch la superficie è immediatamente visibile. Rispetto alla modellazione poligonale e quella spline, la modellazione patch è meno diffusa.

Il software 3D Studio Max Design 2009, versione che ha introdotto il modulo “*Lighting Analysis Assistant*”, è pertanto un sofisticato sistema di controllo che aiuta a gestire gli strumenti offerti dal programma per l’analisi della luce presente nella scena.

Autodesk Maya (termine sanscrito che sta per “*illusione*”), volutamente tenuto a chiusura di questa rapida carrellata di modellatori, è un software professionale di modellazione, animazione e rendering tridimensionale, apprezzato soprattutto per l’alta qualità e la pleora di strumenti che mette a disposizione, oltre che alla grande libertà di personalizzazione e implementazione di procedure scritte dall’utente (mediante il linguaggio di scripting MEL), nonché la possibilità di aggiungere e rimuovere *plug-ins*, ovvero moduli di modellazione più avanzati rispetto a quelli standard. La Autodesk ha acquistato la Alias (precedente casa produttrice di Maya) ma nonostante ciò i due programmi simili Maya e 3D Studio, prima concorrenti nella stessa nicchia di mercato, conservano ancora le proprie caratteristiche distintive.

2.5.3 Software di analisi territoriale (GIS e WebGIS).

Tutti i settori che coniugano lo studio del territorio con la gestione dell’ambiente costruito hanno adottato il termine “*geomatica*”, neologismo volto a sottolineare il forte rapporto esistente tra strumentazione informativa digitale e dato geografico. Nello specifico, la geomatica riveste il ruolo di disciplina integrante tutti gli strumenti ed i metodi utilizzati per acquisire, trattare, analizzare, archiviare e distribuire dati spaziali georiferiti in formato digitale. Si tratta questo di un percorso critico impostato su vari livelli: nella strutturazione di modelli da georiferire è infatti necessario organizzare la base dati di riferimento (pianificata in base agli elementi che si intende raccogliere ed alla forma in cui si intende memorizzarli) in modo da poterla rappresentare all’interno delle mappe digitali adottate come cartografia di base.

Tali dati vanno poi usualmente inseriti nei supporti informativi e, da ultimo, resi disponibili alla consultazione da parte di progettisti, operatori delle pubbliche amministrazioni od utenti vari.

La selezione delle “*caratteristiche della realtà da rappresentare è determinata in larga misura dagli obiettivi per cui la cartografia viene realizzata*”²², ed il bacino di utenza al quale un archivio informativo è rivolto, implica un concreto impegno volto a fornire la conoscenza disponibile agevolmente e senza la necessità di apprendere modalità di interfacciamento complesse. In questo senso, la geomatica transita dai GIS²³, dai quali riceve un impulso verso la diffusione in reti informatiche estese (come è oggi internet).

Per la rappresentazione dei dati occorre tuttavia formalizzare un modello rappresentativo molto versatile, che si adatti ai fenomeni reali presenti sul territorio da descrivere. Nel GIS si trovano tre tipologie di informazioni: quelle geometriche, relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti quali la primitiva (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica; quelle topologiche, riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc.); quelle informative, riguardanti i dati (numerici, testuali ecc.) associati ad ogni oggetto. Queste informazioni sono di norma gestite attraverso un database relazionale.

I più noti software GIS commercialmente sul mercato sono **Geomedia**, **Fotorad GIS**, **Manifold**, **MapINFO**, **Maptitude**, **SIT Gheo** e **KARTO**, anche se il più diffuso ed utilizzato è sicuramente **ArcGIS** di **ESRI**, database in grado di gestire oltre settanta formati di archiviazione per documenti digitali. All'interno di questo pacchetto è collocato *ArcView*, il più popolare software desktop GIS in uso nel mondo, primo dei tre livelli funzionali di ArcGIS: esso fornisce un insieme complesso di strumenti cartografici, strumenti per l'uso dei dati, la visualizzazione, l'analisi, l'editing e il geoprocessing, oltre alla possibilità di visualizzare, interrogare, analizzare e integrare dati geografici per esigenze professionali.

Esistono anche alternative gratuite *open-source* per la scelta di software

22 - A. Muzzarelli, J. F. de Abreu (a cura di), “Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici”, Angeli, Milano, 2003.

23 - Secondo la definizione di Barrett-Rumor (1993), un GIS è un sistema composto da banche dati, hardware, software ed organizzazione che gestisce, elabora ed integra informazione su una base spaziale o geografica. Per Burrough (1986) “il GIS è composto da una serie di strumenti software per acquisire, memorizzare, estrarre, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale”. Più organica la dizione di Mogorovich (1988), che ha definito il sistema informativo territoriale come “il complesso di uomini, strumenti e procedure (spesso informali) che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività”.

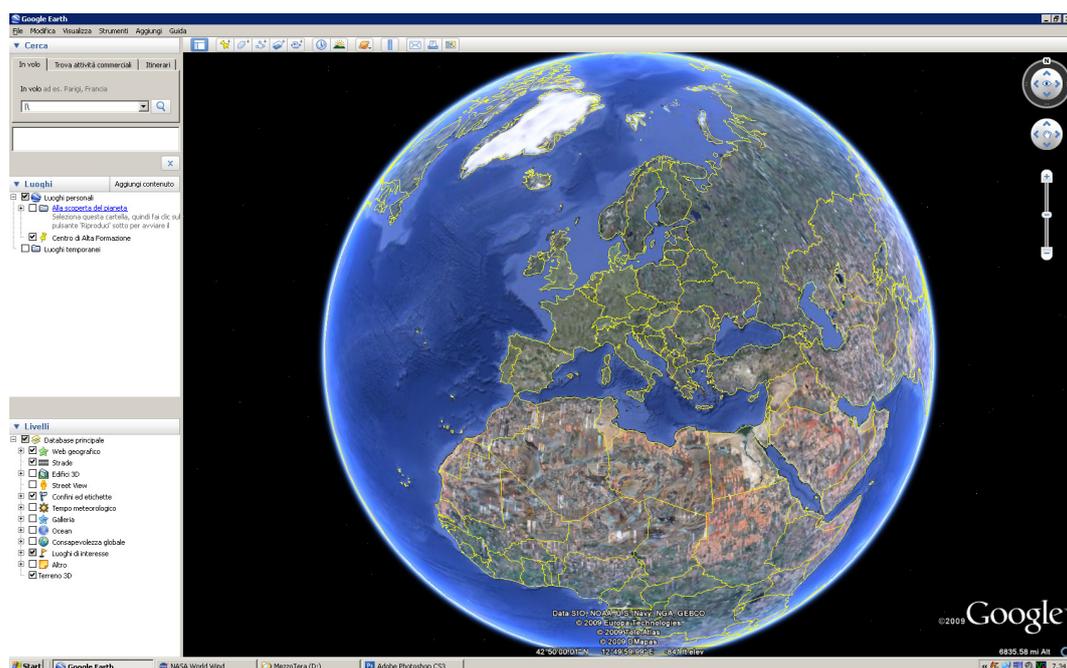


Figura 2.26 - Google Earth, uno dei più diffusi Web-GIS presenti sulla rete.

GIS, come **GRASS** o **Quantum**, ma la oggettiva difficoltà di utilizzo e il ripido percorso di apprendimento che fanno di questi programmi strumenti adatti alla documentazione del progetto di architettura, portano alla scelta di pacchetti orientati più alla contestualizzazione geografica e distribuiti più agevolmente. Da vari anni sono stati concepiti in tal senso assetti informativi orientati alla diffusione digitale, i cosiddetti WebGIS, estensioni verso la rete Internet degli applicativi nati e sviluppati per gestire la cartografia numerica su macchine locali. Tutte le applicazioni sviluppate per utenze *stand-alone* possono così essere implementate su *map-server*²⁴ dislocati e configurati in maniera tale da servire un numero elevato di connessioni simultanee, cooperando alla diffusione dinamica del dato conoscitivo anche in modalità persistente, ovvero con collegamenti che non vengono chiusi quando il soddisfacimento di una richiesta viene eseguito e raggiunto, ma

²⁴ - Di interesse l'omonimia hardware con il software open-source MapServer, un ambiente multipiattaforma di sviluppo finalizzato alla rappresentazione di dati geospaziali. Pur non essendo un software GIS nel senso stretto del termine, il progetto avviato su iniziativa dell'Università del Minnesota a cui poi si unirono (nell'ambito del progetto TerraSIP) anche la NASA ed altri organismi, è oggi mantenuto da una comunità di sviluppatori sparsi in tutto il mondo (fonte: Wikipedia.it).

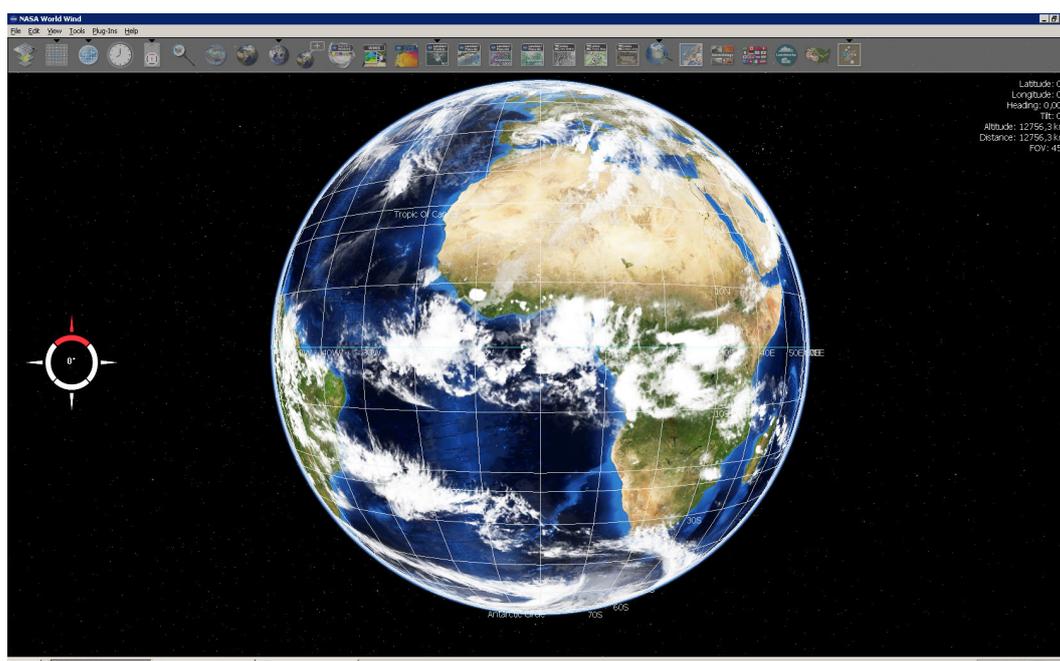


Figura 2.27 - Nasa World Wind, Web-GIS tematico utile per la visualizzazione di dati meteorologici e geografici.

persiste nella rete, così da rendere l'informazione immediatamente disponibile ad altri richiedenti che formulassero la stessa domanda informativa entro ragionevoli intervalli temporali²⁵.

Gli esempi più noti di WebGIS conosciuti sono gli applicativi scritti per il posizionamento cartografico, gli stradari digitali oppure gli atlanti on-line. Anche i sistemi informativi territoriali (S.I.T.) approntati dalle Regioni e dai diversi Comuni italiani costituiscono un valido esempio di come le strategie informative computerizzate consentano l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-referenziati).

Un WebGIS pertanto, deve provvedere all'organizzazione di tipologie di informazioni geometriche (relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati, alla dimensione e alla posizione geografica), topologiche (riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti come connessione,

25 - Nel 1998 Al Gore in un suo noto discorso ebbe a dire che "The new wave of technological innovation is allowing us to display an unprecedented amount of information about our planet and a wide variety of environmental and cultural phenomena". E' un'affermazione condivisibile che comporta però la responsabilità di scelta su cosa selezionare come informazione utile al progresso della civiltà.

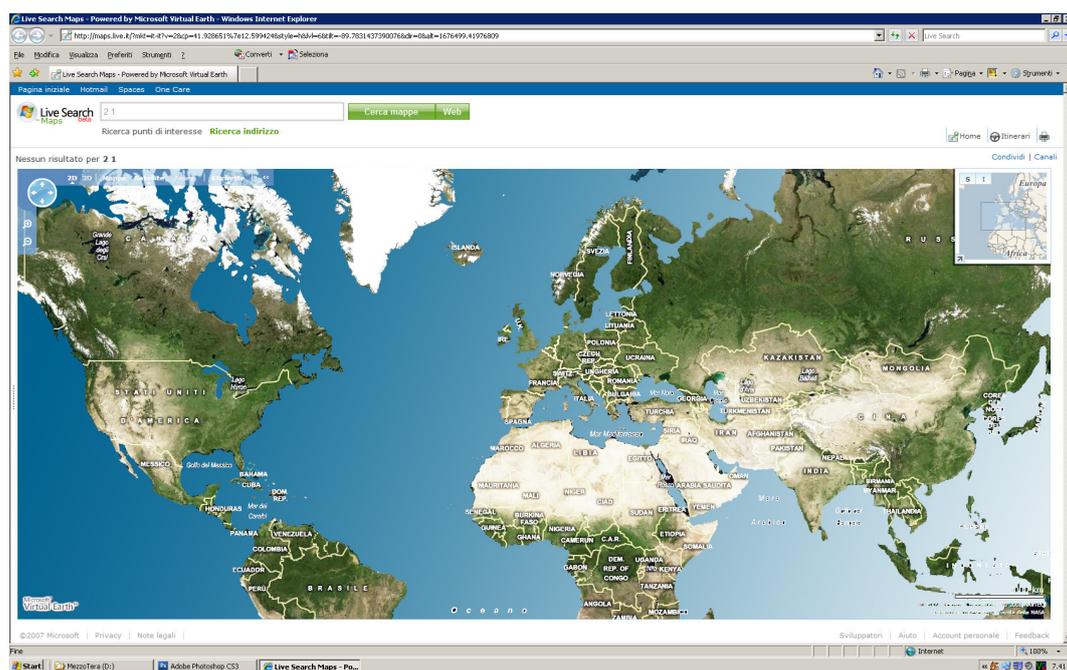


Figura 2.28 - Microsoft Live Search Earth include una tecnologia in grado di rendere disponibili una serie nutrita di immagini derivate da voli aerei ravvicinati, per molte localizzazioni delle più importanti città mondiali.

adiacenza, inclusione ecc.) ed informative (riguardante i dati associati ad ogni oggetto). Ne deriva che anche il motore software dietro alla gestione di questi ambiti deve essere tripartito, nello specifico deve poter coniugare il software di base (per le operazioni grafiche), quello per la gestione di dati geografici e per la gestione di database relazionali complessi.

Prescindendo dai sistemi S.I.T. web-oriented disposti dalle pubbliche amministrazioni e già citati, possono essere utilizzati nella pratica di progettazione differenti WebGIS ad accesso gratuito e liberamente fruibili dalla rete.

La valenza di pubblicazione globale ed immediata del dato, l'interazione real-time tra operatore e compilatore, unita alla possibilità di consultazione da elaboratori standard di tipo personal computer, ha condotto questa ricerca ad analizzare i parametri di funzionamento di **Google Earth**, di **Microsoft Live Earth** e di **World Wind**, software sviluppato da Nasa.

Tutti e tre i programmi testati hanno in comune la caratteristica di visualizzare immagini satellitari od aeree del pianeta a livelli di scala differenti, in virtù della mappatura ortofotografica normalizzata su un modello tridimen-

sionale della superficie terrestre. I database dai quali attingono le tessiture sono proprietari, tuttavia mentre i primi due attingono a fonti di aziende specializzate, il sistema della Nasa utilizza immagini dei propri archivi, in particolare “*Blue Marble*”, la rilevante fotomosaicatura satellitare ottenuta da varie riprese a colori reali dal sistema MODIS, in orbita a 700 chilometri di distanza dalla superficie terrestre. Questi caratteri di indagine astronomica infatti, fanno di World Wind un mappamondo costellato di tematismi riguardanti aspetti di sostenibilità ambientale, dati meteorologici derivati dal sistema GLOBE e visualizzazioni della volta celeste da localizzazioni che è possibile individuare, caratteristica quest’ultima implementata di recente anche da Google Earth.

Microsoft Virtual Earth 3D d’altro canto ha il vantaggio di essere visualizzato senza alcun download applicativo preventivo, cosa che invece è necessaria per Google Earth se non utilizzato on-line, modalità da dove possono solamente essere consultate mappe ibride non interattive.

Virtual Earth 3D è infatti completamente web-based, consultabile direttamente con una versione compatibile di Internet Explorer.

A differenza di Google poi, il servizio cartografico e quello di visualizzazione della ripresa aerea sulle zone prescelte vengono fusi in un’interfaccia unica, nella quale la visualizzazione dall’alto costituisce la vera caratteristica di punta del servizio presentato da Microsoft. Scaricando un apposito plugin è possibile accedere alla visualizzazione tridimensionale di modelli geometrici i quali trasformano la visualizzazione “bird-eye” in un autentico cammino immersivo tra edifici tridimensionali.

Google Earth (GE) è stato rilasciato da Google Inc. come applicazione di libera fruizione dal giugno del 2005. A tutt’oggi il programma lavora, nella sua versione più recente su piattaforme Linux, Mac OSX e Windows, per il quale ha abbandonato lo status di beta software dal 10 gennaio 2006.

GE si fonda su un prodotto denominato “*Keyhole*”, che Google stessa ha acquistato insieme alla compagnia produttrice nel 2004.

Implementando immagini ad alta risoluzione catturate da satelliti in orbita a poche centinaia di chilometri dalla superficie terrestre²⁶, il software va a mappare su un geoide tridimensionale strisce di estensione variabile, a seconda del livello di scala della viewport selezionata. Compagnie commer-

26 - Tra i satelliti più noti per la documentazione cartografica referenziata si ricordano IKONOS e Quickbird, rispettivamente capaci di un footprint (cattura) di elementi di estensione 1 metro e 0.60 metri per pixel.

ciali come Geo-Eye o Digital-Globe forniscono periodicamente a Google immagini del pianeta, con la caratteristica di essere investite da raggi solari ad un angolo elevato per evitare ombre troppo estese e interessanti aree non coperte da fenomeni nuvolosi. Il processo di acquisizione dell'immagine da provider commerciali, della sua verifica qualitativa di miglioramento rispetto alla precedente versione memorizzata, la conversione e il georeferenzamento secondo gli schemi del database costituiscono nel loro insieme una procedura costosa in termini di tempo e di risorse economiche²⁷.

Dai primi anni novanta, sin dagli studi di Coppock e Rhind prima (1991) e di Foresman poi (1998), si è cercato di approntare un sistema di gestione per dati geospaziali riferiti a cartografie terrestri; la finalità permane quella di sovrapporre degli overlay tematici su aree geografiche, raggiungibile solamente seguendo schemi precisi ed ordinati.

Queste complessità, alla base delle integrazioni di dati nelle tecnologie GIS standard, sono state profondamente riviste in GE²⁸. Immagine raster e riferimento alla quota altimetrica sono gli unici due layer fissi nella struttura dati di GE mentre è possibile introdurre dei cosiddetti "mashup", ovvero informazioni grafiche piuttosto che topologiche sovrapponibili alla mappa fotografica, strutturate in formato KML (*Keyhole Markup Language*)²⁹.

All'interno di un file di estensione KML si possono individuare elementi (segnalibri geografici, immagini, poligoni, modelli 3D, descrizioni ed etichette testuali...) visualizzabili in ambiente georeferenziato, dove ogni locazione ha obbligatoriamente una longitudine ed una latitudine³⁰.

Si possono poi specificare altri parametri volti a rendere la visualizzazione più circostanziata, come l'inclinazione, inquadratura e la quota del punto di vista. Il collegamento con le informazioni del contesto territoriale (attraverso le coordinate geografiche) può essere ottenuto semplicemente (quando

27 - Questo è il principale motivo per il quale difficilmente nella base dati live si possono consultare riprese più recenti dei sei mesi. Pur tuttavia non tutto il patrimonio fotografico di Google Earth deriva da satelliti: molte riprese sono state effettuate da voli aerei ad alta risoluzione o da palloni sonda. Curiosamente poi, Google rilascia immagini molto recenti in concomitanza di rilevanti eventi, come nel caso delle olimpiadi di Pechino del 2008, dove l'area della capitale cinese è stata documentata con riprese datate entro le due settimane dall'apertura dei giochi.

28 - Come documentato tra gli altri nell'articolo "The use cases of digital earth" di Michael F. Goodchild del National Center for Geographic Information and Analysis, afferente al Department of Geography, University of California, Santa Barbara.

29 - Si tratta di un linguaggio basato su XML, immaginato per gestire dati geospaziali in tre dimensioni. La parola keyhole è un termine che proviene dal nome originario del software prodotto dalla Keyhole, Inc. e ricorda il nome dei satelliti di ricognizione KH, lo storico sistema di ricognizione militare statunitense.

30 - Talvolta i file KML sono distribuiti come KMZ, file simili contenenti cartelle compresse mediante algoritmi ZIP per limitarne le dimensioni di trasferimento.

non esistono particolari esigenze di precisione metrica) attraverso la toponomastica del territorio e con procedure di *geocoding* gratuite, che trasformano gli indirizzi dei luoghi in coordinate geografiche elaborabili dagli strumenti GIS. Il loro utilizzo accresce le potenzialità di rappresentazione e di analisi del problema, anche se, normalmente, con un aumento dei costi e della complessità degli strumenti.

I software commerciali, che offrono procedure raffinate e complesse di analisi e visualizzazione dei dati georeferenziati, hanno infatti prezzi di vendita elevati e quasi sempre richiedono l'intervento di personale specializzato.

Software GIS open source a basso costo, sebbene con minori potenzialità, possono essere utilizzati invece per realizzare modelli ed analisi che integrano conoscenze puntuali dello spazio architettonico collocandole nel loro contesto territoriale.

2.5.4 Software di rappresentazione visuale.

Fino a questo punto sono stati presentati sinteticamente presentati programmi finalizzati alla generazione di volumi e superfici tridimensionali, inseribili in contesti geografici ampi, per trattare la tematica più generale dei modelli digitali complessi, che si discostano quindi dalla tradizionale rappresentazione di piante ed alzati.

La visualizzazione degli spazi virtuali tuttavia ricopre un'importanza pari, se non addirittura superiore, alla loro concezione morfologica, tanto da aver spinto la ricerca verso il raggiungimento di viste di notevole verosimiglianza al reale. Così il processo di *rendering*, indipendentemente dal software utilizzato per produrlo, è necessario quando si vogliono fornire visualizzazioni leggibili e non solamente gradevoli del modello, anche ai "non addetti ai lavori". Il termine stesso, *rendering*, non ha una traduzione ben definita in lingua italiana: tuttavia esso potrebbe essere recepito come "*resa raster*", una sorta di istantanea del modello, al quale sono state associate luci generanti ombre (proprie e portate), materiali componenti (*textures*) od altri effetti fotorealistici. In computer grafica, il rendering deve intendersi come un calcolo più o meno approssimato destinato in generale alla risoluzione dell'*equazione di rendering*, una relazione matematica che descrive il com-

portamento fisico del flusso dell'energia luminosa che attraversa una scena. L'equazione è basata sulla fisica della luce e fornisce risultati teoricamente perfetti, in contrasto con le varie tecniche che approssimano questo valore ideale.

Unendo la luce uscente a quella entrante, attraverso un punto d'interazione, questa equazione rappresenta l'intero trasporto di energia presente nella scena. Tutti i più complessi algoritmi presenti nei vari software di modellazione e visualizzazione possono essere interpretati come soluzione a particolari formulazioni di questa equazione, che ha la forma:

$$L_o(x, \vec{w}) = L_e(x, \vec{w}) + \int_{\Omega} f_r(x, \vec{w}', \vec{w}) L_i(x, \vec{w}') (\vec{w}' \cdot \vec{n}) d\vec{w}'$$

I termini inclusi hanno i seguenti significati:

$L_o(x, \vec{w})$	è la luce uscente da una precisa posizione x in direzione w ;
$L_e(x, \vec{w})$	è la luce emessa dalla stessa posizione x nella medesima direzione w ;
$\int_{\Omega} f_r(x, \vec{w}', \vec{w}) L_i(x, \vec{w}') (\vec{w}' \cdot \vec{n}) d\vec{w}'$	è la sommatoria infinitesima di tutta la luce entrante sopra una superficie di un emisfero immaginato attorno alla scena;
$f_r(x, \vec{w}', \vec{w})$	è la parte di luce riflessa dalla posizione x verso l'esterno (BRDF);
$L_i(x, \vec{w}')$	è la luce entrante da una particolare posizione x in direzione w ;
$(\vec{w}' \cdot \vec{n})$	è l'attenuazione della luce entrante nella scena dovuta all'angolo di incidenza tra raggio e superficie.

Quando si parla di *rendering in architettura*, gli approcci di designer e progettisti sono diversi: si punta alla riproduzione di tecniche classiche del disegno, si cerca di simulare il comportamento della luce apportando degli artefatti correttivi all'algoritmo solutore dell'equazione di rendering oppure si simula *in toto* il comportamento elettromagnetico della radiazione luminosa. Per la prima opzione, si può fare riferimento ad un approccio che da svariati anni è stato sviluppato ed analizzato dai grafici dell'architettura e che viene chiamato NPR, già citato ma descritto diffusamente più oltre nel corso di questo paragrafo.

Per la seconda corrente, ci si può rapportare ai cosiddetti motori di render "*biased and consistent*", ovvero algoritmi veloci che emulano le condizioni di luminosità reale ed ignorano o approssimano alcuni aspetti fisici gene-



Figura 2.29 - Maxwell-Render di Next Limit permette di ottenere una simulazione della luce sui materiali opachi e trasparenti molto accurata. Essendo basato su un algoritmo di calcolo unbiased tuttavia presenta lo svantaggio di richiedere attualmente molto tempo di calcolo (Studio per arredo, arch. L. Trebbi, modellazione e rendering S. Garagnani, 2007).

rando errori attesi (i *bias*), introdotti per rendere più rapido il calcolo ma con la necessità di essere confinati da settaggi complessi delle variabili in atto. Sono definiti *consistent* perchè approssimano sempre meglio la soluzione mano a mano che si incrementano alcuni parametri.

La terza scuola di pensiero conduce all'*unbiased*, ovvero il principio di funzionamento degli algoritmi che hanno errore atteso nullo convergendo sempre verso la soluzione corretta, per raggiungere fedelmente la quale è solo

questione di tempo di calcolo. E' il caso dell'algoritmo dietro al software commerciale **Maxwell-Render** di *Next Limit*. In questi processi, alla base dei quali vi sono le equazioni di Maxwell, sono presenti pochi parametri da settare ma molto tempo di calcolo occorrente, dal momento che non vi sono approssimazioni indotte o errori ricorsivi. Sebbene l'esatto comportamento di un errore possa non sembrare interessante ai fini della rappresentazione visuale, esso riveste un enorme impatto sulla facilità di utilizzo del metodo di calcolo e su quanto esso possa essere considerato robusto nella sua procedura di soluzione.

Una buona stima per l'errore rende molto più facile conoscere quanto tempo di calcolo è necessario per raggiungere la qualità desiderata dell'immagine: questo significa anche che per produrre una vista di aspetto corretto possono essere pochi i parametri che hanno effettiva necessità di essere stimati. D'altro canto i metodi *biased* tendono ad essere molto più efficienti per scene semplici basandosi sull'introduzione di semplificazioni che appaiono ragionevoli nel calcolo finale, producendo delle viste abbastanza credibili. La breve trattazione che è stata esposta, utile per la comprensione della tematica, è molto sommaria rispetto alla vastità delle situazioni che si possono incontrare nella modellazione architettonica; i designer infatti si avvalgono spesso di immagini dalla variabile complessità per raggiungere aspetti di fotorealismo estremo nell'illustrare idee e concetti.

Si può di contro utilizzare il calcolatore con profitto anche producendo disegni più tradizionali, come possono essere le tavole vettoriali ricavate dai modelli tridimensionali. In questo caso la pregevolezza estetica di un rendering lascia il passo alla chiarezza esplicativa del tratto, dove la tecnica classica può essere abbinata all'applicazione di retini solidi o pattern più complessi, di utilizzo usuale nel disegno automatico.

In AutoCAD, ad esempio, questo tipo di approccio può essere attuato mediante una manipolazione tesa a trasformare il modello tridimensionale, da sempre "pesante" nella propria complessità, in una serie di possibili viste bidimensionali dello stesso, in grado di mantenere le caratteristiche di vettorialità e proporzione, a meno della perdita delle informazioni di profondità, esplicitate dalla terza coordinata spaziale del modello originario.

Quello che si ottiene è un insieme di entità grafiche vettoriali "piatte", più maneggevoli ma soprattutto più modificabili, pronte per essere rifinite con i comandi tradizionali 2D ed in più con il beneficio di poter disegnare dettagli



Figura 2.30 - La “Teiera Utah”, simbolo della Computer Graphics moderna e icona del processo di rendering in quasi tutti i programmi di simulazione visuale. Nel 1974 Martin Newell ne realizzò il primo modello digitale a curve di Bezier, da allora è presente in tutte le icone di comando per la gestione tridimensionale dei programmi per grafica computerizzata (immagine di S.Garagnani su permesso di pubblicazione di Judy Strebel, del Computer History Museum di Mountain View, California).

che altrimenti sarebbe stato difficoltoso modellare in precedenza, come ad esempio alberi per contesti paesaggistici o sagome antropomorfe per evidenziare rapporti metrici od ergonomici.

Questo in estrema sintesi il funzionamento comando di *Geometria Piatta*, che se utilizzato trasforma la vista del modello in un file bidimensionale. Un risultato analogo si può ottenere anche convertendo in formato DWG mediante software gratuiti reperibili in rete viste stampate virtualmente in formato DWF (*Design Web Format*).

Quest’ultimo, sviluppato per consentire una più agevole e sicura condivisione dei dati di progetto tra i tecnici, presenta un elevato rapporto di compressione dei dati pur mantenendo un buon livello di fedeltà all’originale

e può includere anche immagini raster. Come asserito da Autodesk, i file DWF non sostituiscono i formati CAD nativi ma il loro unico scopo è quello di consentire a progettisti, ingegneri e manager di progetto di comunicare i dati a chiunque debba visualizzarli, esaminarli o stamparli.

Di fatto però, il DWF è stato riconosciuto come un nuovo standard essendo stato introdotto non solo nei pacchetti Autodesk più recenti, come Revit o AutoCAD, ma anche in prodotti di altre software house in virtù delle specifiche aperte e pubbliche.

Pur avendo a disposizione queste modalità per disegnare “al tratto”, o “alla vecchia maniera”, portando su carta visualizzazioni mutate da modelli tridimensionali, qual’è esattamente l’intendimento della computer graphics applicata all’architettura? Simulazione e realtà virtuale? Espressività artistica? Comunicazione del progetto? Probabilmente tutto questo congiuntamente. Tuttavia appare difficoltoso individuare un metodo universale per inserire nella pratica del disegno tutti questi aspetti avvalendosi di un singolo linguaggio generale. Si rifletta ad esempio sulle differenti fasi di stesura di un progetto.

L’embrione dell’idea nasce con uno schizzo più o meno istintivo, scaturito dalla matita del progettista. Tale rappresentazione, in forma di schema, diagramma o grafo, rende quella precisa modalità di disegno “*espressione sostanziata delle intuizioni architettoniche e appare naturale tramite di conoscenza per esprimere chiaramente ed in modo inequivocabile ciò che la parola non riesce a descrivere*”³¹. Pertanto difficilmente si vedrà rappresentare questa situazione con un disegno dettagliato e realistico, ma ci si riferirà ad esso come ad una sorta di promemoria preliminare privo di convenzioni divulgative normate.

Al contrario, la presentazione finale del progetto, richiederà la giustificazione di tutte le scelte effettuate, portando ad una comunicazione principalmente tecnica, più afferente alla descrizione del particolare, della misura e del materiale utilizzato. Sarà questa fase quella del graficismo specialistico prima, rigorosamente in scala di riduzione, e della eventuale resa di presentazione poi, ottenibile magari con rendering prospettici destinati a simulare l’oggetto architettonico da costruito per valutare le relazioni con l’esistente nel proprio contesto reale. Giunti a questo livello di sviluppo dell’idea di progetto, la rappresentazione potrà perfino “uscire dalla carta”

31 - C. Cundari, “Il disegno. Ragioni. Fondamenti. Applicazioni.”, Edizioni Kappa, Roma, 2006.

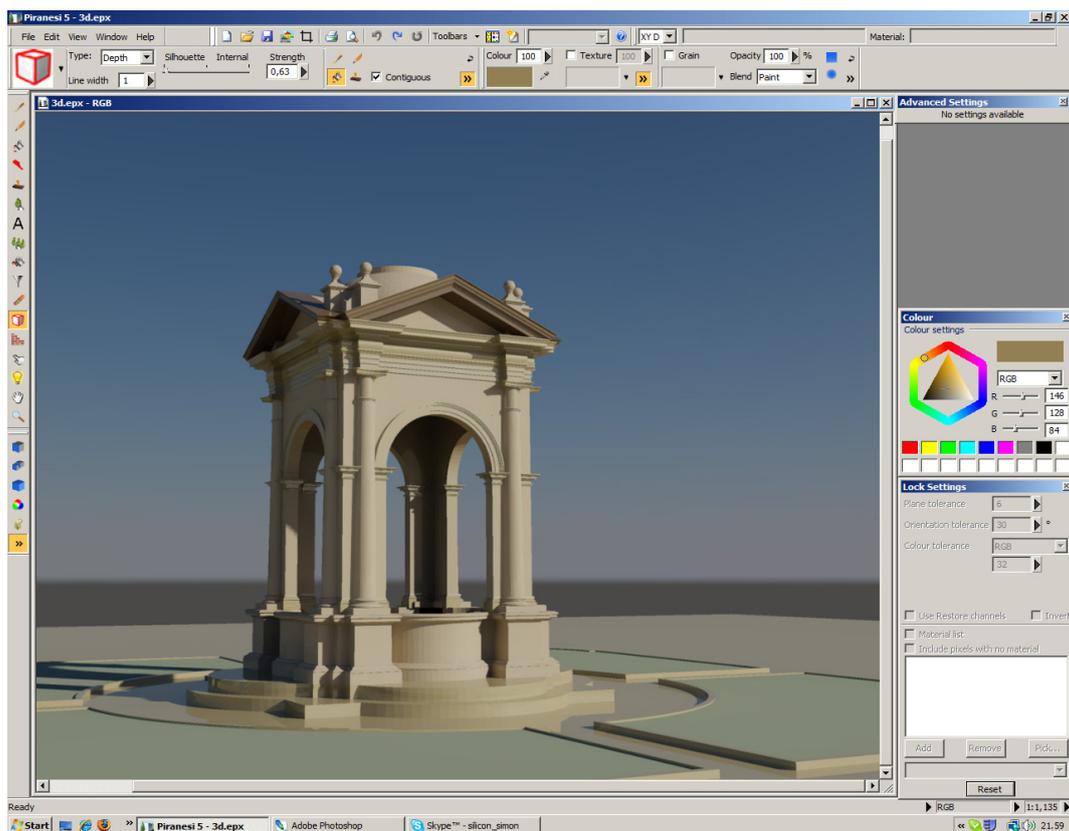


Figura 2.31 - Informatix Piranesi è un ottimo software per produrre visualizzazioni NPR, simulando effetti grafici come la colorazione a pastello. Nell'immagine, interfaccia grafica e modello importato direttamente da 3D Studio Max (modello per il Pozzo del Terribilia, Palazzo d'Accursio a Bologna, S. Garagnani, 2006).

per diventare plastico di comunicazione, maquette tridimensionale adatta a trasmettere il flusso di informazione, liberandosi dal formalismo codificato della geometria descrittiva fondamento degli elaborati tecnici dalla quale scaturisce.

Il fotorealismo digitale dovrebbe intervenire in questo momento, per proporsi come una alternativa valida e competitiva proprio nei confronti del plastico, con sicuramente molta meno matericità espressiva ma con innegabili vantaggi in termini di tempi di realizzazione e trasmissibilità dell'informazione.

Ciò nondimeno il raffinato disegno assistito al calcolatore che simula sempre più fedelmente la realtà sensibile, non sempre è adatto alla comu-



Figura 2.32 - Altri effetti grafici realizzabili in Informatix Piranesi 5 (modello per il Pozzo del Terribilia, Palazzo d'Accursio a Bologna, S. Garagnani, 2006).

nicazione dei caratteri dell'organismo edilizio. Per capire ad esempio il funzionamento di specifiche componenti o per rendere chiara la struttura compositiva e aggregativa di un intervento ci si riferisce a quella che viene comunemente definita *grafica informativa*.

Essa descrive l'architettura in una modalità più tradizionale, con il tracciamento di spigoli e contorni eseguito allo stesso modo di come si procederebbe con una semplice matita su carta, arricchendo il bozzetto con tecniche di resa cromatica mirate a far cogliere lo spirito del progetto, più che il dettaglio. La raffigurazione colta sostanzialmente come pittura digitale riduce così il soggetto alla sua essenza più interiore, comunicando con il processo stesso di pittura l'interpretazione del progettista nei confronti della sua creazione. Si possono dunque esasperare effetti di luce con tratti di colore più vivi per sottolineare scelte di luminosità prefigurate, conferendo drammaticità e ricchezza al soggetto mediante graduali toni cromatici.

Oppure si possono evidenziare scorci che con difficoltà si potrebbero cogliere da un modello o da un più tecnico rendering evoluto.

Il dettaglio, come si è scritto, viene volutamente trascurato, lasciato se si vuole all'immaginazione dell'osservatore, quasi a voler rendere quest'ultimo partecipe del percorso emotivo che porta a comprendere il perchè delle forme, trasmettendone soltanto un indizio del ritmo e dell'energia ricercata. Questo approccio, da svariati anni sviluppato ed analizzato dai grafici dell'architettura, viene chiamato NPR (*Non-Photorealistic Rendering*) e vede i suoi fondamenti nella visualizzazione di oggetti tracciati e presentati come sketches, schizzi, senza la volontà di arrivare al realismo esasperato dei motori di rendering che le grandi case software stanno immettendo sul mercato in questi ultimi anni.

Si tratta in buona sostanza di una resa delle geometrie di architettura alla "vecchia maniera", mediante viste planimetriche o prospettiche di scorci trattati come se fossero stati disegnati a mano libera e poi rifiniti con tecniche classiche come le campiture a pantone o l'acquerello.

In realtà tali immagini possono essere realizzate partendo da elaborati digitali CAD, generati durante il flusso di progetto per i ben più espliciti fini richiesti dalla documentazione tecnico-normativa del progetto di architettura. Perchè dunque spendere risorse nella simulazione di un processo visuale che dovrebbe essere prodromico alla realizzazione dei disegni geometrici e tecnici del CAD? Lo schizzo ideativo, lo schema grafico che



Figura 2.33 - Ancora Informatix Piranesi 5 e le sue attitudini di programma specifico per NPR con tecnica a pastello (modello per il Pozzo del Terribilia, Palazzo d'Accursio a Bologna, S. Garagnani, 2006).

formalizza un concetto da sviluppare infatti, dovrebbe nascere prima nella mente del progettista, così da poter poi essere “steso sulla carta” per step precisi, dapprima in maniera schematica, poi via via sempre più approfonditamente per arrivare all’approccio “esecutivo”, nel migliore dei casi.

Tuttavia un progetto assume valore per come è presentato, non solamente per i propri contenuti che permangono naturalmente di grande importanza; questo è un concetto che viene insegnato sovente nelle scuole per architetti e designer. Ecco quindi che vedere e mostrare l’architettura tornando indietro di un passo rispetto al frenetico incalzare degli effetti speciali, potrebbe proporsi come un mezzo comunicativo da sfruttare in chiave rinnovata per valorizzare il *workflow* di progetto.

Dal punto di vista economico poi, il fotorealismo esasperato si conferma costoso: viste d’effetto con studio molto approfondito dei materiali sono decisamente onerose in termini di preparazione degli shader, ovvero i materiali, così come risulta dispendioso tutto il processo di rendering, dal momento che gli algoritmi di illuminazione più avanzati necessitano di molta potenza di calcolo ed ancora considerevoli quantitativi di tempo per restituire una soluzione davvero realistica.

Ne deriva che visualizzazioni più rapide ma non per questo meno curate, possono render conto con maggiore immediatezza delle caratteristiche morfologiche o materiche dei vari cambiamenti che possono intervenire nel progetto, prefigurando in maniera adeguata le conseguenze finali.

Negli ultimi anni sono stati introdotti sul mercato svariati software che permettono di eseguire disegni NPR, anche lo stesso **Photoshop** di *Adobe*. Due però sono i programmi di riferimento per l’applicazione di questo tipo di tecnica: l’oramai storico **Piranesi**, giunto alla matura release 5 e prodotto dalla britannica *Informatix*, ed **Impression**, rilasciato alla fine di marzo 2007 da *Autodesk*.

Informatix Piranesi è un software multiplatforma, ovvero in grado di essere eseguito sia da sistemi Microsoft Windows che Apple Mac OsX; il livello di sviluppo raggiunto con la versione 5 (la più recente al momento della stesura di queste pagine) è quello di una elevata stabilità esecutiva, valorizzata dalla versatilità dei filtri di interscambio presenti.

Piranesi è distribuito insieme a **Vedute**, un visualizzatore in grado di tradurre nel formato proprietario EPX di *Informatix* tutti i più diffusi files d’archiviazione geometrica tridimensionale, come 3DS, DXF, ecc.

Il formato EPX (che ha specifiche ben note e documentate da Informatix stessa) non è altro che un file raster (sviluppato a partire dal formato Targa) contenente un canale z ausiliario, atto a definire la coordinata di profondità tridimensionale della mappatura di pixel. La possibilità di sovrapporre viste o manipolarle in una stessa veduta, è assimilabile a quella che si potrebbe ottenere con un buon pacchetto di fotoritocco, senza le complicazioni del vettoriale.

Piranesi può essere utilizzato a partire da modelli realizzati in AutoCAD: infatti a partire dalla versione 2006 il formato 3DS necessario per comunicare con Vedute non è più esportabile nativamente, in ottemperanza ad una politica che mira ad attribuire al formato proprietario DWG la valenza di nuovo standard unitario di scambio tra pacchetti Autodesk.

Questo limita però solo apparentemente la possibilità di integrare l'utilizzo dei due software, in quanto Vedute può manipolare il più comune DXF per renderlo importabile in Piranesi come EPX, oppure è possibile installare in AutoCAD un plugin (cioè un applicativo di supporto), gratuitamente scaricabile dal sito web di Autodesk che rende nuovamente esportabili i modelli in 3DS.

In buona sostanza, il primo vantaggio che balza all'attenzione dell'utente di Piranesi 5 è la filosofia storica *wysiwyg* (*what you see is what you get*) dell'interfaccia: il risultato che si ottiene mediante l'applicazione dei vari strumenti è immediatamente visibile e valutabile nella sua forma definitiva, senza la necessità di ulteriori rendering per pervenire a viste finali.

Piranesi infatti implementa filtri grafici utilissimi nel post-render, con i quali si possono inserire vegetazione, sagome o tessiture complesse al modello già rasterizzato. E' ora possibile manipolarne vista prospettica, posizionamento, rotazione ed aspetto in tempo reale.

Degno di nota anche il supporto per sagome RPC, che descrivono, con pennelli di dimensione rapportabile al dettaglio, elementi derivanti da librerie fotografiche, con viste da angoli differenti.

La curva di apprendimento, anche per coloro i quali si approccassero per la prima volta al programma, risulta abbastanza lineare e non eccessivamente ripida, soprattutto se paragonata a software ben più blasonati e complessi nel mondo della grafica digitale.

Tuttavia c'è ancora una carenza di supporto diretto per quanto riguardano i modellatori *high end* come Autodesk **Maya** o i più raffinati modellatori

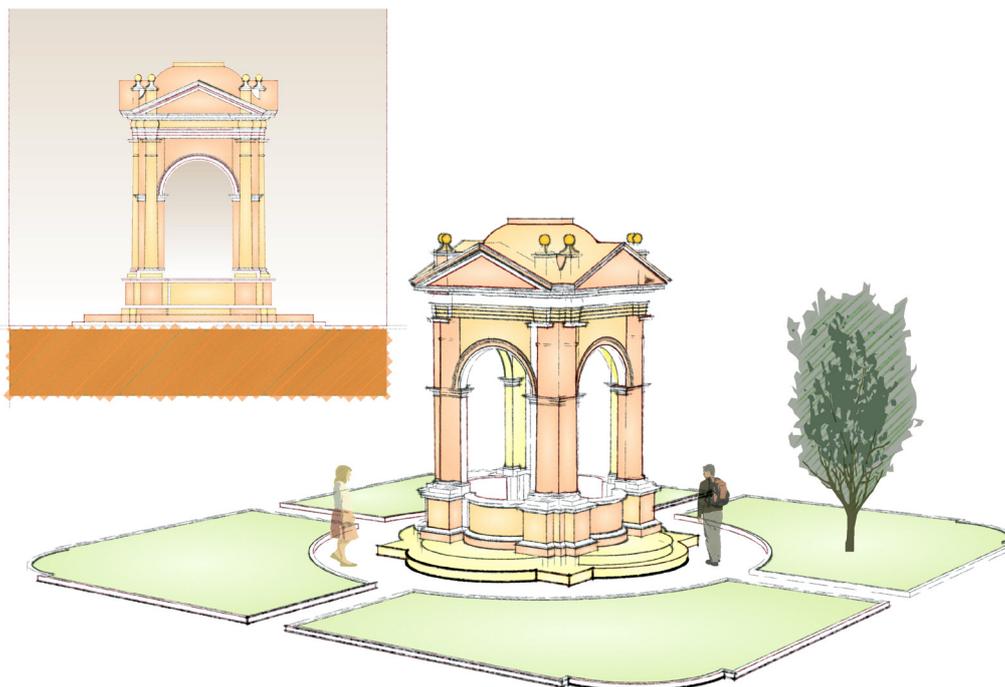


Figura 2.34 - Autodesk Impression: il motore grafico permette di elaborare direttamente le viste bidimensionali derivate da modelli vettoriali tridimensionali, arricchendone la presentazione con simulazioni pittoriche (modello per il Pozzo del Terribilia, Palazzo d'Accursio a Bologna, S. Garagnani, 2006).

parametrici sul genere *Dassault Systemès* tipo **Catia** o **Digital Project**, considerato però che in ambito architettonico questi ultimi sono utilizzati solamente da professionisti di altissimo livello. Il flusso di lavoro più “collaudato” è senz’altro quello passante per Autodesk 3D Studio, che mediante un plugin fornito direttamente da Informatix, permette al motore di render di restituire immagini già in formato EPX; se si sono utilizzati algoritmi importanti per simulare il comportamento della luce, sulla scia di **Mental Ray**, il risultato ottenibile è sicuramente accattivante.

Si rileva però la problematica di una ancora non ben risolta resa delle superfici curve e dei piani estesi, dove i contorni non sono correttamente interpretati dal riconoscitore di complanarità di Piranesi.

Una soluzione al problema è fornita dalla rimozione degli algoritmi di *antia-*

liasing nella fase di pre-rendering, a partire dal modellatore. Altra filosofia è invece alla base di **Autodesk Impression**, che dopo essere rimasto per quasi più di un anno in fase di *technology preview* per sviluppatori e beta tester con il nome di “*Vespa project*”, è uscito sul mercato in versione 1.0 qualificandosi come strumento sofisticato per l’illustrazione non fotorealistica. A differenza di Piranesi però non opera a partire da modelli tridimensionali ma elabora viste vettoriali piane generate da applicativi CAD.

Il risultato è quindi più raffinato in termini metrici, oltre che perfettamente allineato agli standard del DWG di partenza, senza significative perdite di precisione durante i passaggi di traduzione.

Il lavoro infatti inizia direttamente dalla manipolazione di tratti e spessori secondo le stesse gerarchie di layer esistenti, le medesime tabelle di stili e le penne presenti nell’archivio DWG o DWF di origine.

Tutto questo si traduce nella disponibilità di uno strumento di eccellenza per la resa non fotorealistica di piante ed alzati architettonici.

Se ad esempio la vegetazione di un masterplan fosse stata inserita interamente su un medesimo layer in CAD, Impression potrebbe riconoscere i blocchi presenti ed applicare loro il medesimo stile di visualizzazione per tradurre alberi vettoriali in alberi rasterizzati e rappresentarli con tecnica simile al pastello, scalando e ruotando i singoli blocchi per non generare una resa troppo ripetitiva ed automatizzata degli elementi omogenei.

Non solo un filtro di stile quindi ma un vero e proprio sistema vettoriale di gestione visuale della base dati informativa primaria di partenza.

Questo approccio permette di applicare uno stesso codice di rappresentazione ad elaborati diversi di uno stesso progetto, o se si vuole, di uniformare lo stile di presentazione di tutta la propria produzione grafica.

La possibilità di inserire blocchi di sagome o librerie di simboli è poi analoga a quella utilizzabile in Piranesi³², dove tali oggetti prendono il nome di *cut-outs*, anche se in Impression sono fortemente ancorati alla propria componente vettoriale, che facilita il controllo di tutti gli elementi nelle rotazioni o nei cambi di scala.

Probabilmente un limite del programma potrebbe essere ravvisato nella gestione dei layer, perfettamente in linea come si è detto con la stesura già collaudata di AutoCAD, ma molto più disagiata se la base di partenza

32 - Impression risulta gradevole ed estremamente amichevole nell’interfaccia, pur ponendosi obiettivi di resa differenti da quelli dichiarati per Piranesi. Ricorda in alcune finestre Architectural Studio, un software di presentazione Autodesk non più in produzione dal primo 2004.



Figura 2.35 - Simulazione di acquerello digitale eseguita con Piranesi 5 su modello sviluppato in 3D Studio Max, esportato con il plugin proprietario di Informatix (modello e visualizzazione di S. Garagnani, 2005).

viene generata da un pacchetto come Revit, dove il concetto di “strato o lucido” non è contemplato ai fini grafici, essendo le primitive già gerarchizzate in famiglie pre-confezionate e definite.

In verità, molti altri pacchetti grafici già esposti stanno prendendo in seria considerazione la rappresentazione NPR, come ad esempio SketchUp o Bonzai3D, sebbene i risultati ottenibili non sono così calibrabili e personalizzabili come per i due software qui descritti.

Rimane la convinzione che, indipendentemente dal software utilizzato, la resa non fotorealistica di illustrazioni di architettura sia la trasposizione digitale moderna di quel linguaggio antico fatto di segni, a volte incerti e a volte decisi, con il quale lo spazio nella storia non è stato solamente de-

scritto bensì raccontato, con l'intento di arrivare ad esprimere con la figuratività di un tratto quello che le parole si sarebbero attardate a narrare meno comprensibilmente e con un indubbio minore coinvolgimento emotivo. Il nuovo "*manierismo digitale*" verso il quale questi strumenti possono condurre, arricchisce l'esperienza della rappresentazione nella misura in cui esso non trascenda nella narrazione di situazioni fin troppo didascaliche od immaginarie, ma venga al contrario utilizzato per enfatizzare un processo descrittivo di composizione per immagini, nella precisa accezione di "*arte illustrativa*" che si deve a Rudolf Steiner³³ e che svincola lo strumento informatico da quell'etichetta di *glacialità espressiva* che nel passato la critica gli ha più volte attribuito.

33 - W. Kugler, "*Rudolf Steiner und die Anthroposophie*", Dumont, Colonia 1978.

Capitolo III

Il flusso di lavoro assistito dal calcolatore nel processo edilizio

*Howard Roark: "Io non costruisco per avere clienti:
cerco clienti perché voglio costruire".*

(Gary Cooper in "La fonte meravigliosa" di K. Vidor, 1949)

Il processo della modellazione, per mezzo degli strumenti informatici indagati e presentati al capitolo precedente, ingenera spesso nelle categorie professionali che non possono più prescindere, la sensazione di una perdita di controllo. La percezione diffusa è ancora quella di non poter stimare i tempi necessari a compilare i disegni, di dilapidare risorse in operazioni digitali lunghe e complesse, oltre a quella di dover essere necessariamente depositari di un sapere *"da informatici"*. Per fugare questi leciti timori bisogna operare un cambio di prospettiva, valutando la modellazione integrata come il percorso più rapido per produrre tra gli altri elaborati utili per ottimizzare procedure, tempistiche e costi, dopo opportuni investimenti iniziali in esercizio e formazione.

Il risultato ottenibile cambiando il metodo di lavoro adottato può impattare in maniera positiva su tutto il ciclo produttivo.

In questo capitolo verranno affrontate le problematiche connesse all'utilizzo di strumenti digitali durante le singole fasi del processo edilizio, individuate secondo procedure che identificano gli attori coinvolti e sulle necessità cogenti in ognuna di esse.

3.1 - I modelli digitali nel processo edilizio.

La norma UNI 7867 definisce il processo edilizio come una *"sequenza organizzata di fasi operative che portano dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia"*.

Pertanto è lecito intenderlo come una catena coordinata di passi che, partendo dalla programmazione generale degli interventi, porta all'attuazione dei medesimi, concludendosi con la gestione tecnico-economica degli insediamenti realizzati. Lo svolgimento del processo edilizio non ha un andamento lineare, bensì presenta numerose interdipendenze, anche se con qualche approssimazione può essere esplicitato attraverso una sequenza cronologica ordinata, tale da consentire la definizione e l'analisi di ciascuno dei nodi essenziali attraverso cui si attua, ovvero:

- la programmazione generale;
- la localizzazione degli interventi;
- la programmazione specifica (tecnica-finanziaria);
- la progettazione architettonica;
- l'affidamento dei lavori;
- l'esecuzione dei lavori;
- il collaudo post-realizzativo;
- la gestione e la manutenzione del costruito.

Ogni punto si affida ad attori specifici, aggregati in organi definiti dalle norme come Enti Operatori, a ciascuno dei quali è attribuito un ruolo e dei compiti specifici. Si incontrano così gli Enti Pianificatori, cui spettano le scelte di fondo e di programmazione ai vari livelli, gli Enti Normatori, responsabili dell'emanazione e dell'aggiornamento delle norme riguardanti il processo, gli Enti Decisionali e di Controllo, controllori del processo edilizio per quanto riguarda sia le responsabilità decisionali, sia la verifica di rispondenza del processo alla normativa, gli Enti di Attuazione, cui spetta l'attuazione degli interventi, gli Enti di Ricerca e Progettazione, ai quali vengono affidati gli studi sul prodotto edilizio e infine gli Enti di Esecuzione e Produzione, che effettuano la produzione del manufatto edilizio.

Al di sopra di queste figure vi è l'utenza, cui spetta l'uso dei beni finali ed a cui ogni ente deve o dovrebbe fare continuamente riferimento.

Il committente¹ è in tal senso la figura principale di qualsiasi operazione, infatti in qualità di proprietario, è l'unico che ha il titolo per intervenire sulle trasformazioni del territorio. Durante la fase progettuale intervengono come suoi delegati, sia per la progettazione che per la sicurezza, i vari professionisti, mentre il controllo del progetto è compito degli Enti a cui è demandata l'applicazione della normativa vigente. Nella fase esecutiva, accanto a pro-

¹ - Il committente, o cliente, è l'operatore che promuove o commissiona un intervento edilizio e la relativa progettazione. Può coincidere con l'utente, con il finanziatore oppure con il proprietario.

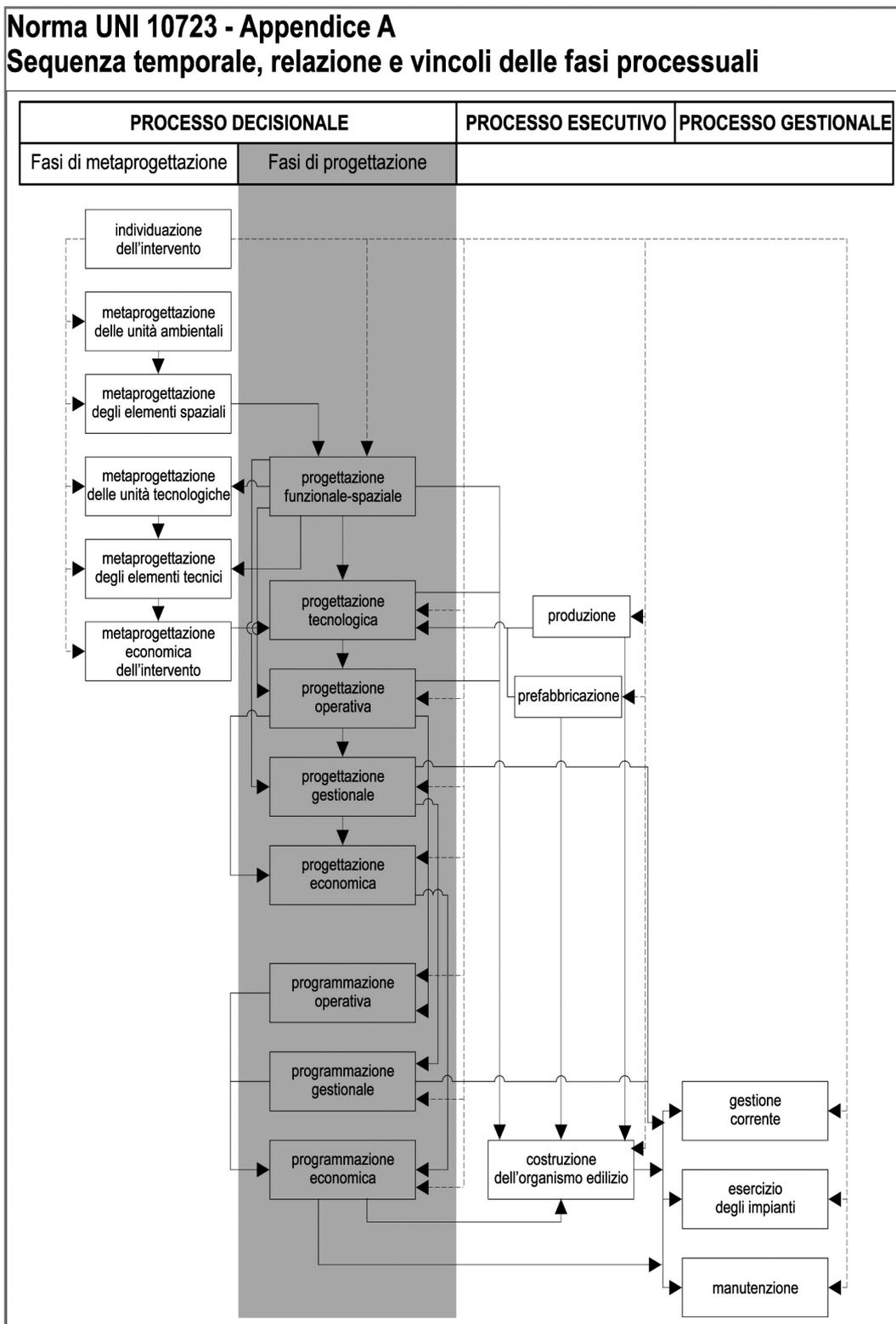


Figura 3.1 - Schema concettuale utilizzato nell'appendice A della norma UNI 10723 per definire la sequenza temporale delle fasi del processo edilizio, comprensivo delle relazioni individuate tra i vari step del procedimento.

fessionisti ed Enti controllori, interviene l'impresa, a cui è affidato il compito della realizzazione dell'opera.

Questa lista sintetica identifica le figure principali investite dai cambiamenti procedurali che l'adozione di un modello integrato come mezzo di scambio informativo, ai vari livelli di fruizione, comporta.

Il processo edilizio implica una programmazione dell'intervento edilizio, praticabile mediante processi di identificazione e analisi dei bisogni, degli obiettivi e dei vincoli (relativi al contesto ed alle risorse) del committente e delle altre organizzazioni coinvolte in un intervento edilizio, oltre che alla formulazione di tutti i problemi che il progettista è chiamato a risolvere.

La concertazione delle attività di progetto è un obiettivo sottile, che si legge anche tra le righe della norma UNI 10723 "*Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione*" del 1998.

In questo documento il processo edilizio è suddiviso in tre sottoprocessi (decisionale, esecutivo e gestionale) che descrivono completamente la pratica costruttiva *ex-novo*. Questa struttura, unitamente ad una fase di raccolta dei dati sul costruito per fini statistici ad opere concluse, è stata mantenuta per individuare, nel corso di questa ricerca, le varie successioni per le quali un modello digitale integrato può essere prodotto ed utilizzato, come sarà esposto nel capitolo quinto, con l'aggiunta di una fase gestionale post-realizzativa per la raccolta dei dati sul progetto *as-built*.

3.1.1 La fase ideativa e il concept.

L'insieme strutturato delle operazioni processuali che precedono la realizzazione di un intervento e ne definiscono gli obiettivi, lo sviluppo metaprogettuale e la programmazione in funzione di sicurezza, benessere e fruibilità individuano la *fase ideativa*.

E' in questo cruciale momento che si delineano i metaprogetti dell'intervento, caratterizzati dalla raccolta delle informazioni sugli obiettivi che si vogliono raggiungere, i mezzi di cui si può disporre e le condizioni specifiche del contesto territoriale e normativo in cui si opera, per affrontare correttamente la programmazione e gestione di un intervento edilizio in una fase che di massima viene condotta con la produzione di schizzi e schemi.

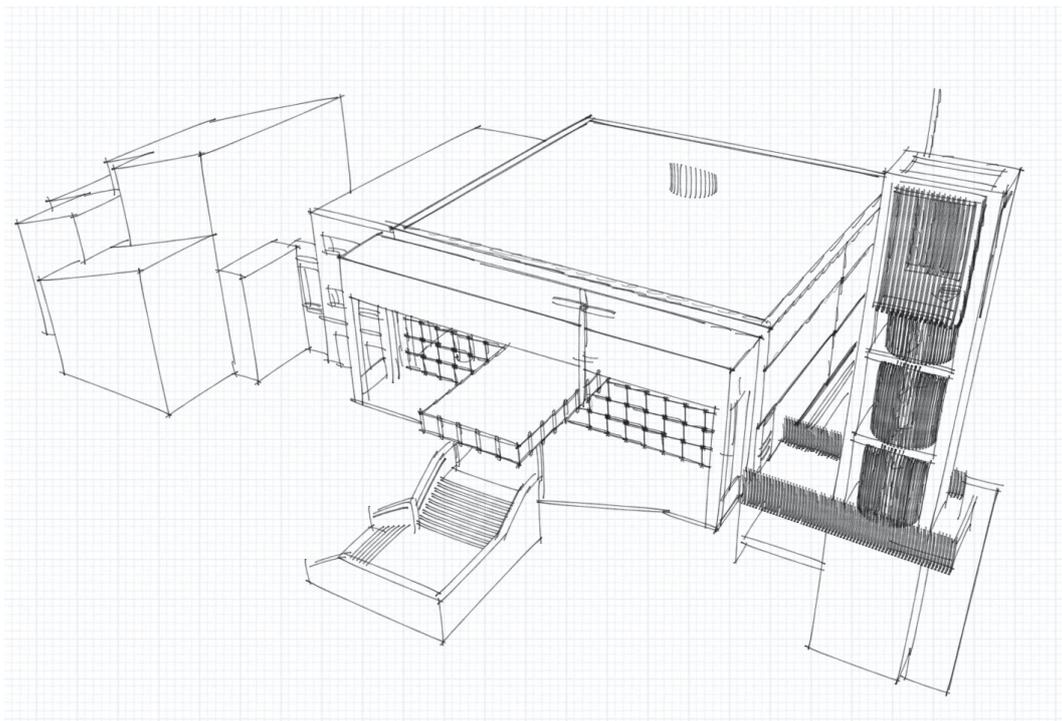


Figura 3.2 - La fase concettuale del processo edilizio precede la realizzazione di un intervento. In questo livello di sviluppo, i modelli digitali che aiutano i progettisti a prendere decisioni sono di natura visuale e di analisi speditiva, utilizzati per produrre alternative in breve tempo, anche partendo dai rilievi fotografici del sito per arrivarne ad una analisi più compiuta successivamente (studio per campane e sua illuminazione, arch. L. Trebbi, modello digitale di S. Garagnani, 2007).

Da questi è possibile desumere con approssimazione i volumi da fabbricare, in modo da poter estrapolare le informazioni quantitative utili per la generazione di preventivi di spesa da sottoporre all'approvazione della committenza.

I programmi analitici speditivi risultano a tal fine molto utili per illustrare le idee dei progettisti e per poter valutare le differenti alternative che i risultati delle analisi del sito consigliano. *Google SketchUp*, *AutoDesSys Bonzai3D* ed *Autodesk EcoTect* sono alcuni dei software già presentati che la fanno da padrone in questo delicato frangente dello sviluppo progettuale; dal punto di vista normativo si rivelano finanche vantaggiosi per approntare la documentazione da sottoporre all'approvazione delle amministrazioni comunali (soprattutto per quanto riguarda le opere pubbliche) mentre per le zone vincolate possono agevolare le comunicazioni destinate alla sovrintendenza monumentale o comunque la preparazione dei modelli analitici sommari per le approvazioni eventuali ad esempio dei comandi dei Vigili del Fuoco. L'utilizzo di strumenti digitali in grado di poter prevedere il risultato finale da esporre in questi elaborati rende più agevole il controllo del rispetto normativo e permette verifiche incrociate già dai primi disegni effettuati.

In questi ultimi, i modelli da produrre in questa fase hanno caratteristiche che possono essere schematizzate in tre grandi categorie:

- i **modelli concettuali**, estremamente funzionali per il disegno preliminare e in grado di focalizzare l'attenzione su punti importanti del progetto come le relazioni tra gli spazi, l'occupazione territoriale, l'inserimento nel contesto, l'esposizione a venti ed illuminazione, ecc. Fanno parte di questa categoria anche i modelli generati in ambito di *space planning*, ovvero graficizzazioni destinate a rappresentare le richieste dell'edificio in termini descrittivi del numero e del tipo degli spazi insieme ai servizi ambientali che questi richiedono e, in alcuni casi, ai materiali ed alle superfici desiderate. Esempi di software in grado di produrre queste visualizzazioni sono *Visio Space Planner* e *Trelligence*, che producono dei fogli di calcolo facilmente interfacciabili con programmi per abbozzare masse e volumi, in modo da tradurre in geometria i numeri prodotti.

- i **modelli destinati alla presentazione**, sorta di visualizzazioni previsionali destinate a "raccontare", enfatizzare le idee di progetto per anticipare ciò che di esso sarà percepito a costruzione ultimata. In questi modelli viene fatto largo utilizzo della tecnologia del rendering per indicare quali saranno



Figura 3.3 - Software come Google SketchUp consentono di progettare in maniera agevole spazi e volumi, generando modelli digitali tridimensionali che saranno poi raffinati in un secondo momento (immagine del primo livello di Villa Bel Poggio a Bologna, studio di volumi per ipotesi di intervento di restauro, modello di S. Garagnani, 2009).

i materiali utilizzati in seguito e come la luce potrà influire sugli ambienti. Per questi scopi i software di resa non fotorealistica NPR come *Autodesk Impression* ed *Informatix Piranesi* risultano estermamente appropriati, dal momento che non abbisognano di livelli di dettaglio definitivi e consentono una produzione immediata e copiosa di viste critiche.

- i **modelli di analisi speditiva**, già presentati per valutare qualitativamente illuminamento, consumi, ed altre forme di analisi rilevanti per il progetto preliminare.

Sfortunatamente nessuno dei programmi che realizzano queste tipologie di modelli copre in maniera unitaria uno spettro tanto vasto di funzionalità necessarie per un progetto preliminare e nessuno dei citati ancora implementa una forma di interoperabilità in grado realmente di funzionare senza perdite di dati tra tutti gli strumenti disponibili in commercio.

Per giungere ad una produttiva integrazione di tutti i risultati prodotti in questa fase, Charles Eastman propone quattro differenti alternative: lo sviluppo di una singola applicazione in grado di coprire tutte le funzionalità richieste (che come detto ancora non esiste), la composizione di un pacchetto di applicazioni integrate sviluppato a partire da un *business plan* riferito al singolo progetto, altre due alternative rappresentate dalla strutturazione di un linguaggio comune agli strumenti informatici, come gli standard IFC, o l'apertura dei software commerciali più famosi alla programmazione modulare ad opera dei singoli progettisti, a seconda delle loro necessità.

3.1.2 La fase realizzativa.

Il processo esecutivo è individuato dall'insieme delle fasi operative che conducono alla realizzazione dell'intervento edilizio sulla base di quanto definito nelle fasi di progettazione e programmazione.

La *fase realizzativa ed esecutiva* dell'opera prevede la predisposizione di modelli digitali che sommariamente possono essere individuati come:

- **modelli numerici**, destinati alle simulazioni tecniche per valutare il comportamento dell'edificio con il minor grado di approssimazione possibile;
- **modelli economici**, che rendono conto dell'impegno economico e dei costi da sostenere per il completamento dell'opera sia per le singole lavorazioni di cantiere sia per gli stati di avanzamento dei lavori;
- **modelli organizzativi**, che permettono una pianificazione ed una programmazione ottimizzata degli interventi.

Nel primo caso, si fa riferimento a modelli di interfaccia effettiva tra lo strumento in grado di produrre modelli digitali (volumi e geometrie, ovvero le matematiche) e le applicazioni analitiche di simulazione, che necessitano almeno di questi aspetti fondamentali:

- l'assegnazione di attributi specifici sulle relazioni degli oggetti che popolano il modello integrato, consistenti con quelli richiesti dal pacchetto di analisi;
- metodi di compilazione del modello analitico comprensivi di astrazioni appropriate della geometria dell'edificio, che ne descrivano una rappresentazione valida e accurata;
- un supporto di mutuo scambio tra formati di dati.

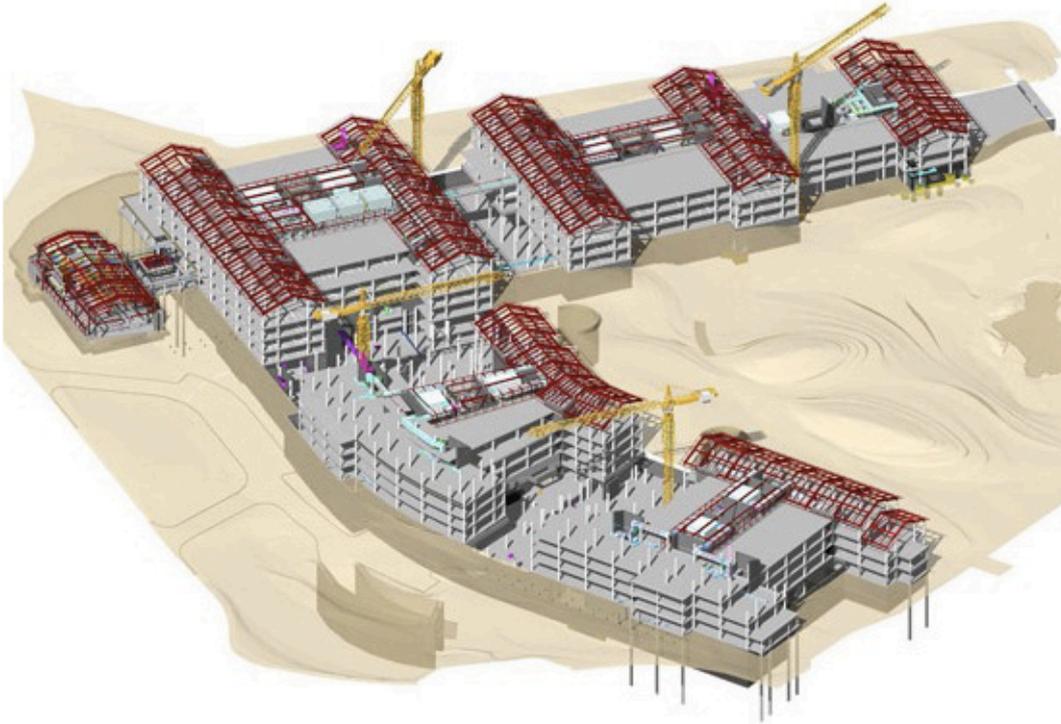


Figura 3.4 - Modello digitale del cantiere per il Letterman Digital Art Center di San Francisco, realizzato con tecnologia BIM su commessa della Industrial Light & Magic, LucasArts.

Infatti le simulazioni illuminotecniche, l'analisi acustica e le simulazioni basate sulla fluidodinamica computazionale (CFD) hanno ognuno il loro particolare tipo di formato dati: lo scambio proficuo di informazioni tra questi pacchetti richiede ad oggi un significativo livello di esperienza tecnica.

Se pure esistono dei programmi come *EDM Modelchecker* o *Solibri*, sviluppati per tradurre queste differenti grammatiche tra applicativi, un formato di scambio uniforme che supporti tutti tipi di analisi possibili non è ancora stato sviluppato, anche a causa dei livelli di astrazione personalizzati che ogni singolo tipo di analisi comporta o richiede.

I modelli economici invece sono mirati alla stima dei costi; mentre i programmi di simulazione cercano di prefigurare i vari comportamenti dell'edificio, la stima dei costi implica un differente tipo di astrazione.

A titolo di esempio, fino a pochi anni fa il prodotto o le unità di materiale necessarie per mettere in opera un manufatto erano misurate attraverso il conteggio manuale o con una sommatoria stima di aree vuote per pieno. Come tutte le attività umane, questo richiedeva tempo e poteva determinare errori. Oggi invece i dati specifici che è possibile estrarre da un modello integrato mediante software di modellazione appropriati, possono fornire un conteggio accurato di tutti i materiali necessari alle valutazioni. Anche in questo caso la facoltà di simulare scelte differenti porta all'apprezzamento di scenari differenziati per ottimizzare le spese globali. Inoltre le imprese di costruzioni devono verificare periodicamente sul campo che tutti i componenti progettati per l'edificio siano correttamente posizionati e aderenti alle specifiche performance loro richieste. Quando si riscontrano delle imprecisioni i costruttori hanno l'obbligo di rettificare le opere con una evidente perdita economica e di tempo. L'archivio digitale può essere utilizzato per accertarsi che le reali condizioni di costruzione siano coincidenti con quelle preventivate nel modello.

Si tenga infatti in conto che quand'anche il team di progetto definisse un modello molto accurato, le possibilità di errori umani durante il cantiere permangono, così che identificare problematiche nel momento in cui avvengono è un'opportunità che genera grande vantaggio. Un esempio di quanto appena descritto è citato in letteratura per il *Letterman Digital Art Center* di San Francisco, dove il team di progettisti eseguì un modello digitale dell'intero edificio dopo che questo era stato progettato con tecniche tradizionali, allo scopo di seguire le fasi di costruzione in cantiere ed annotarne in maniera interattiva tutte le discrepanze realizzative.

“Durante una delle usuali ispezioni fotografiche in cantiere, identificammo un errore critico nel posizionamento di una cassaforma per il cemento, problema che fu velocemente confermato visualizzando il modello integrato. Questo errore di posa avvenne nel momento in cui un operaio misurò la posizione dell'elemento a partire da una colonna che non era correttamente allineata al profilo di trave già gettata che la sorreggeva. Gettare un quantitativo superiore di calcestruzzo per ripristinare la continuità mancante avrebbe comportato serie conseguenze non solamente economiche per l'impresa ma per l'intero progetto dal momento che si sarebbero verificate discontinuità del comportamento sismico poiché altri tre piani avrebbero dovuto essere innalzati sopra quell'impalcato. Il problema è stato risolto tem-

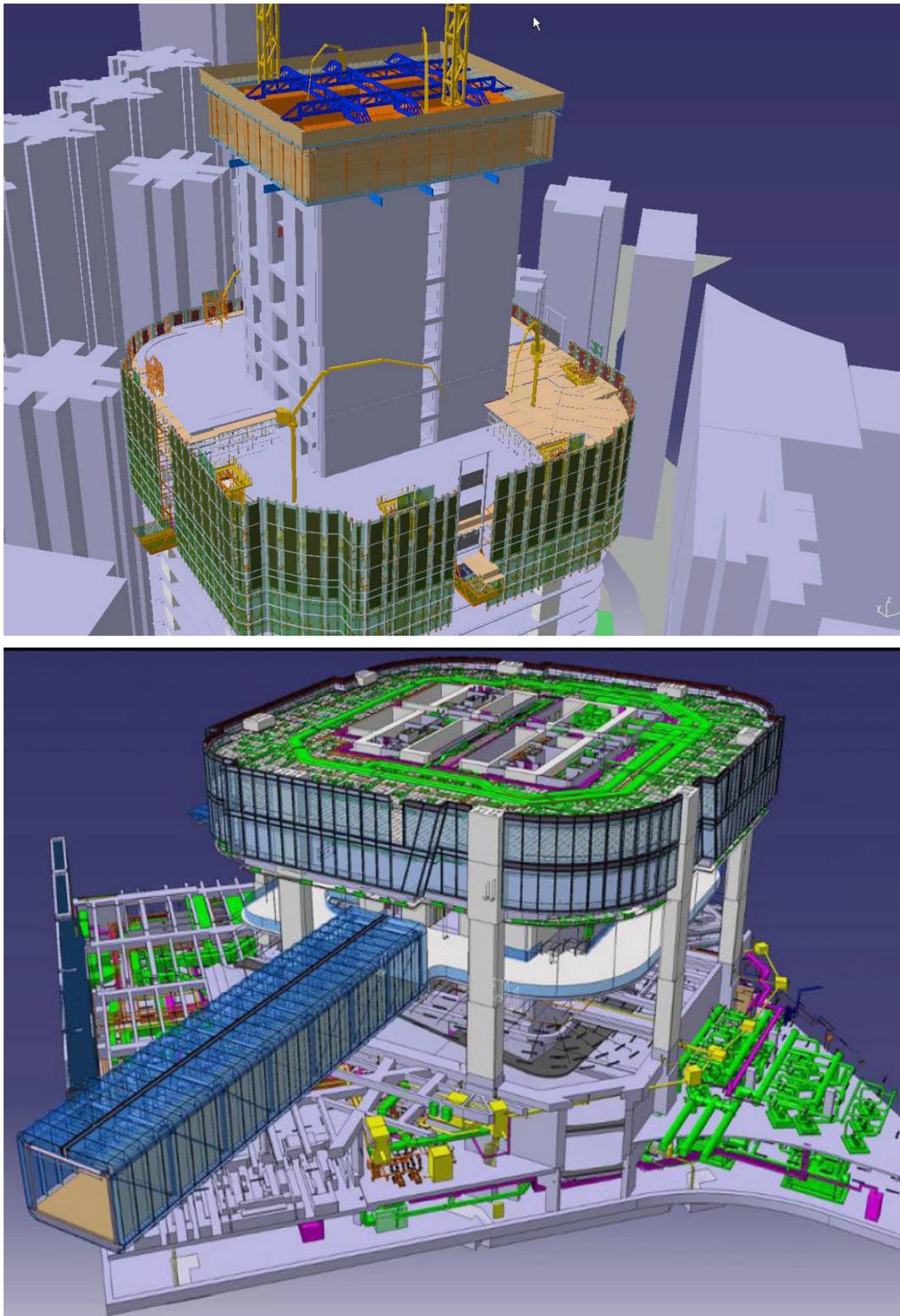


Figura 3.5 - Nella fase realizzativa un modello digitale può essere utile nella gestione delle lavorazioni in cantiere: nelle immagini, modello BIM per la Swire's One Island East Tower ad Hong Kong (immagini su autorizzazione di Martin Riese - Gehry Technologies).

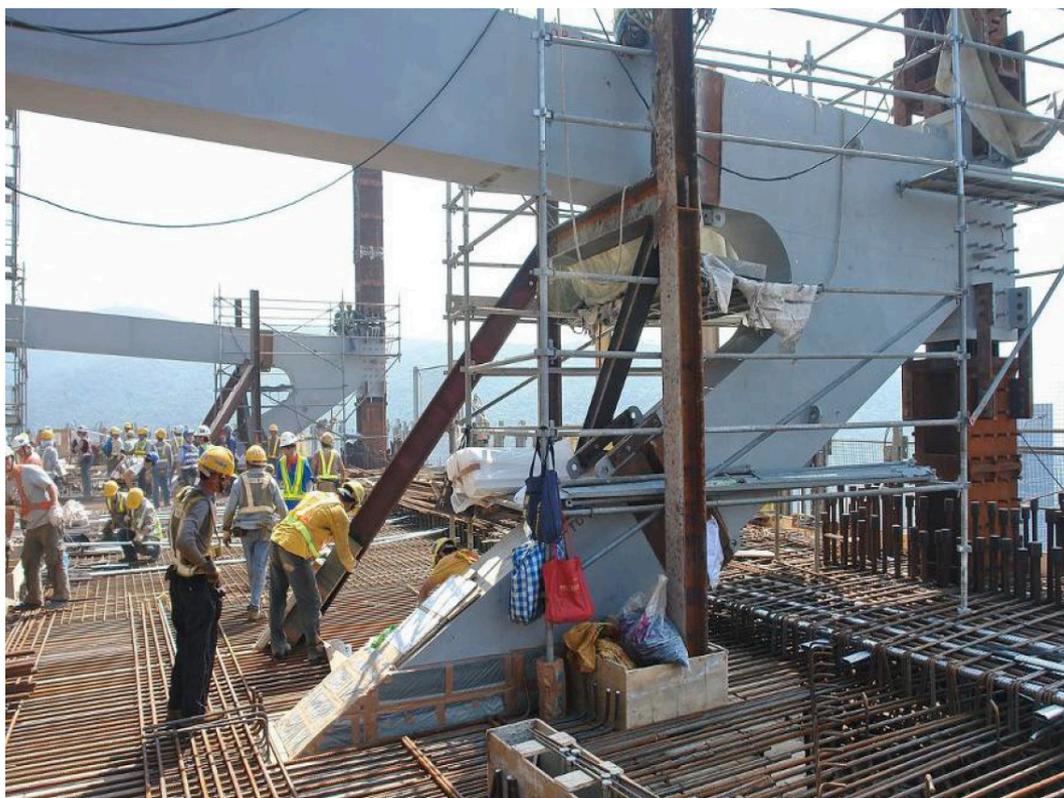
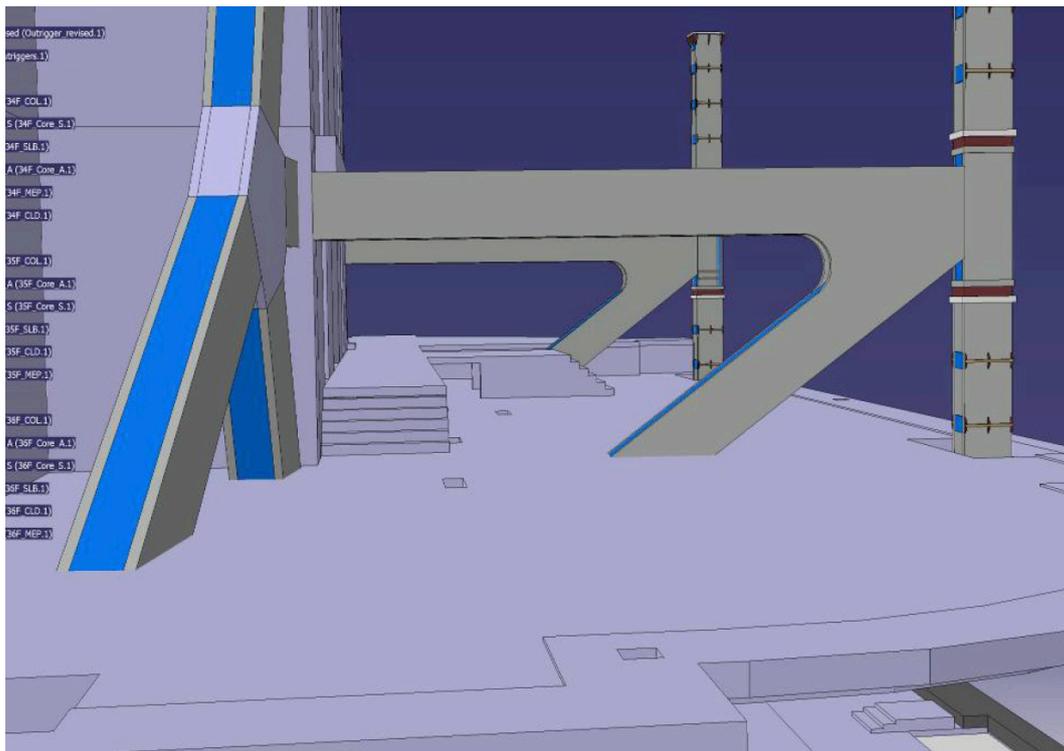


Figura 3.6 - Corrispondenza tra modello BIM e componentistica messa in opera per la Swire's One Island East Tower ad Hong Kong (immagini su autorizzazione di Martin Riese - Gehry Technologies).

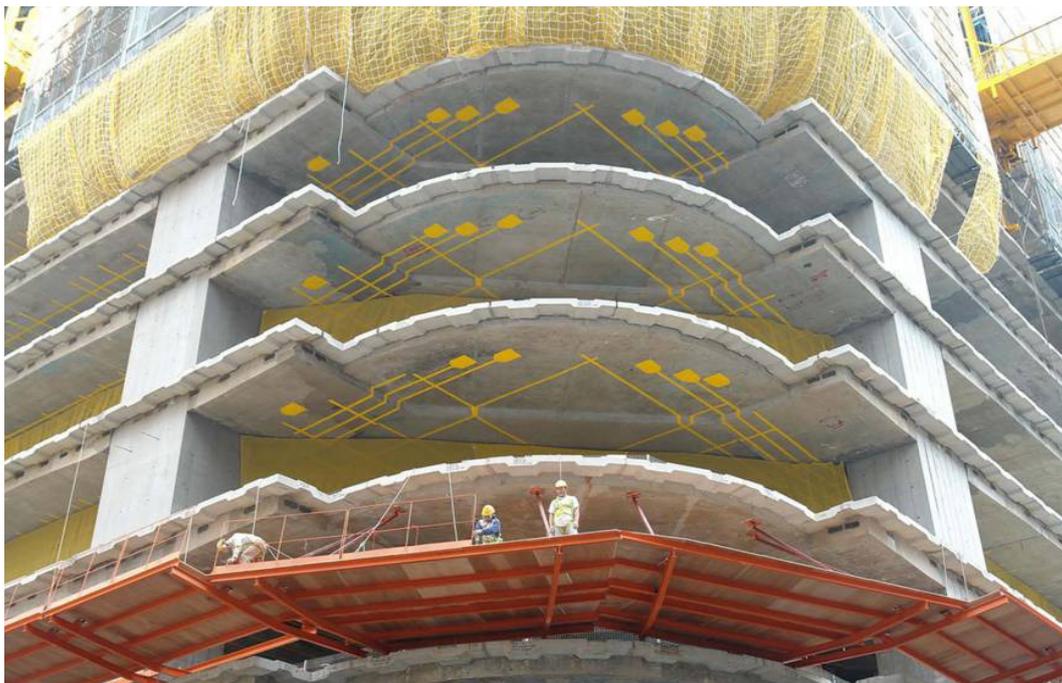
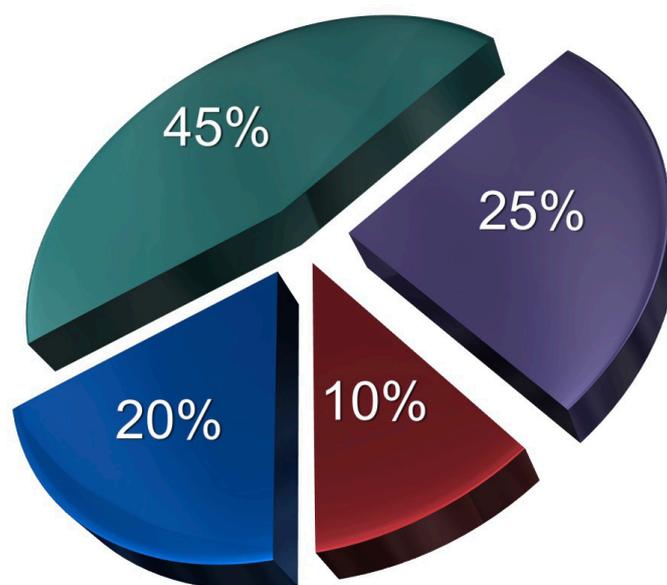


Figura 3.7 - Tracciamento dei percorsi impiantistici e loro installazione, sulla base dei rilievi effettuati nel modello digitale integrato per la Swire's One Island East Tower ad Hong Kong (immagini su autorizzazione di Martin Riese - Gehry Technologies).



● Fase ideativa ● Fase realizzativa ● Fase gestionale ● Fase raccolta dati

Figura 3.8 - Il grafico riporta una stima della ripartizione percentuale della tempistica con la quale solitamente viene realizzato e mantenuto un edificio di civile abitazione, secondo dei valori ricavati da uno studio di D. Smith, del 2006. E' di interesse rilevare che la fase gestionale occupa circa un quarto di tutto il tempo destinato alla realizzazione (elaborazione grafica di S. Garagnani).

pestivamente, all'atto del getto, identificando la cassaforma da spostare e risparmiando su quella che successivamente sarebbe stata una spesa molto ingente" (rapporto di cantiere di Mieczyslaw "Mitch" Boryslawski, 2006). Attualmente si stanno evolvendo molte tecniche ancora più sofisticate per consentire le verifiche sul campo e controllare il trattamento delle strutture, grazie ad un sempre più crescente utilizzo di scansioni laser (utili soprattutto per la produzione degli elaborati *as-built*, inseribili direttamente all'interno delle geometrie dei modelli integrati), di macchine di cantiere teleguidate da sistemi automatici GPS, fino all'identificazione di ogni singolo elemento posato grazie all'inserimento in esso di etichette RFID (*Radio Frequency Identification*). Nella fase esecutiva, in conclusione, la produzione degli elaborati documentali si appoggia ancor oggi su tecnologie CAD o CAAD, e

presenta grosse difficoltà interscambio per i linguaggi di archiviazione digitale, riservando ancora grande margine ai documenti cartacei, che di fatto sono ancora il mezzo più utilizzato per trasferire informazione.

Pacchetti parametrici come *Autodesk Revit*, *Bentley MicroStation* o *Nemetscheck Allplan* si configurano come programmi particolarmente indicati per questa fase essendo mirati all'ingegnerizzazione esecutiva. Anche tutte le pratiche di certificazione del progetto, come ad esempio la rispondenza a protocolli di risparmio energetico e buone norme di costruzione, si rifà a questi software, come ad esempio il LEED 2009 del *Green Building Council*, che è stato implementato oramai in tutti gli strumenti citati, in vista della creazione del capitolo italiano, il prossimo 16 aprile 2010.

3.1.3 La fase gestionale.

Il *processo gestionale* è definibile come l'insieme strutturato delle fasi operative che, a partire dall'entrata in servizio dell'organismo edilizio, si susseguono allo scopo di assicurarne il funzionamento fino all'esaurimento del suo ciclo funzionale ed economico di vita.

Non è raro sperimentare, a questo punto del percorso, la necessità di produrre modelli digitali con finalità di gestione fiscale, di pianificazione economica per gli interventi di manutenzione e di sviluppo.

Proprietari e committenti generalmente possono svilupparli a partire da elaborati *as-built* più o meno semplificati, ricavati dai pacchetti parametrici o da rilievi geometrici effettuati nella post-costruzione.

Un esempio applicativo di tecnologie di modellazione integrata potrebbe essere la produzione del "*Fascicolo del Fabbricato*", un adempimento amministrativo cogente, obbligatorio in Italia dal gennaio 2001².

Finalizzato al controllo del patrimonio edilizio ai fini della sicurezza statica degli immobili è stato introdotto nella normativa urbanistica di ormai tutti i Comuni nazionali. Il fascicolo del fabbricato è redatto, a cura di un professionista abilitato, su supporto informatico e cartaceo.

2 - Solo di recente nel T.U.N.T. (*Testo Unico delle Norme Tecniche*) si è introdotto il concetto di *Fascicolo del Fabbricato* (cap. 9). Esso si configura come uno strumento di conoscenza di tutti i beni immobili, esistenti o di nuova realizzazione, che raccoglie le informazioni necessarie alla loro identificazione e le indicazioni sullo stato delle loro caratteristiche architettoniche, strutturali ed impiantistiche.

Esso è il prodotto di un lavoro conoscitivo e valutativo in merito alle caratteristiche strutturali, manutentive ed urbanistiche dell'immobile e deve essere custodito presso ciascun edificio pubblico e privato dal cosiddetto *responsabile del manufatto*, ovvero dall'amministratore di condominio, dal dirigente preposto nel caso di immobili di proprietà pubblica, o da altro soggetto facente funzione.

La documentazione necessaria alla formazione del "fascicolo FF" comprende planimetrie e grafici che descrivono le caratteristiche dell'immobile con evidenziate le modifiche strutturali sopravvenute nel tempo (sia per l'intero immobile che per le singole unità), le caratteristiche del sottosuolo, la tipologia delle strutture di fondazione e di elevazione, la rispondenza normativa degli impianti (soprattutto quelli a rischio di incendio) e un giudizio sintetico circa il livello di degrado dell'immobile.

Tra le maggiori difficoltà per una corretta compilazione del fascicolo del fabbricato molti professionisti segnalano l'impossibilità di documentare fedelmente il costruito, considerata la frequente carenza di planimetrie di progetto riferibili alla morfologia originaria oltrechè alle eventuali manomissioni successive, abusive o meno.

Un modello digitale ottenuto per stratificazione successiva di informazioni, come si vedrà nel quinto capitolo della ricerca, si potrebbe configurare proprio come un archivio integrato del fabbricato con valenza risolutrice per queste problematiche.

Software come *Autodesk Revit* o *Gehry Technologies Digital Project* riescono già a gestire queste emergenze da un punto di vista archivistico documentale, oltre che di progetto.

La modellazione schematica per la pianificazione della manutenzione o l'eventuale posizionamento dei dispositivi di sicurezza, come ad esempio la segnaletica di evacuazione o la posa di estintori a parete nel caso della prevenzione incendi³, potrebbe essere effettuata in questa fase con pacchetti specifici come *IES Simulex* o *buildingExodus*.

3 - Di recente in Italia sta sviluppandosi in questa direzione una disciplina, la *Fire Safety Engineering*, che simula il comportamento dinamico di edifici, persone e oggetti in caso di incendio. I modelli di calcolo sono, a conferma di quanto detto, per lo più digitali.

3.1.4 La fase di raccolta dati.

Seppur non indicata dalle norme di standardizzazione, si è deciso di definire una quarta fase di sviluppo per il processo edilizio che può vedere coinvolti modelli digitali, quello della *raccolta dei dati*.

Questa fase non deve essere confusa con l'omonima attività che, durante il concept, porta alla definizione di un metaprogetto derivante dalla considerazione di tutti i fattori conoscitivi esprimibili dal contesto costruttivo.

Questo step infatti è inteso come quella fase di sintesi dove, a costruzione avvenuta, vengono archiviate le informazioni servite per la fabbricazione e la gestione a scopi statistici e documentali, per valutare nel tempo la validità delle soluzioni tecniche e tecnologiche attuate o per quantificare i risultati di performance raggiunti.

Secondo Gerhard Schmitt, autore che però non prende in considerazione gli aspetti gestionali e amministrativi dei fabbricati come fase del processo edilizio vero e proprio, questa costituisce la terza fase di sviluppo di un edificio intesa esattamente come la preparazione di un sistema di memorizzazione dati volto ad un futuro utilizzo.

Se è consentito rivolgere una critica al processo tassonomico che i software parametrici attuano, si può considerare il loro sistematico approccio industrializzante verso la progettazione come un metodo che non rende conto appieno di tutti gli aspetti che vedono la realizzazione dell'opera architettonica come un raccoglitore di conoscenze appartenenti ad una cultura progettuale che, particolarmente in Italia, è radicata nel tempo.

La semantica caratteristica della rappresentazione digitale infatti è volta alla perequazione degli elementi costitutivi del progetto con l'obiettivo di catalogarne le sole caratteristiche fabbricative, con grande vantaggio per la costruzione *ex-novo* ma con evidente affanno nel rilievo delle proprietà di edifici esistenti o di interesse storico-artistico.

A tal proposito infatti si rileva che i software ad oggi sul mercato, essendo prevalentemente di matrice anglosassone, non sono ancora perfettamente aderenti alla classificazione di opere di restauro o monumentali, così come invece la tradizione costruttiva italiana richiede.

In una serie di conversazioni elettroniche intrattenute con il professor C. Eastman, docente più volte citato nel testo presso il *Colleges of Architecture and Computing* del *Georgia Institute of Technology* di Atlanta, questa

tematica è stata affrontata nei termini delle finalità critiche che un modello integrato dovrebbe avere.

Quali siano le informazioni da archiviare e come mantenerle fruibili nei decenni futuri è infatti un problema, concettuale prima (nella ricerca di una tassonomia generale e non particolare del singolo intervento) e tecnologico poi (i formati digitali cambiano frequentemente e l'informazione definita oggi potrebbe non essere più leggibile tra vent'anni).

In tal senso potrebbero esserci diversi utilizzi per un modello di raccolta dati: ad esempio per le *"passeggiate virtuali"* estendendo la fruibilità del bene monumentale attraverso la rete, o per la pianificazione della manutenzione di alto profilo, destinata alla ricostruzione di scenari compromessi, come nel caso di studio affrontato al capitolo quarto per Palazzo Albergati, a Bologna. Questo scenario, ancora in via di sviluppo, si è rivelato di grande interesse per la stesura di un metodo di aggregazione informativa culminato nei modelli integrati definiti a *"scatole cinesi"*, come verrà più oltre denominato.

3.2 - Rapporti tra modelli digitali, standard e strumenti normativi.

Estendendo quanto accennato per le fasi finali del processo edilizio a contesti più ampi, si parla da tempo di *Building Lifecycle Management*, disciplina economico-gestionale per la quale è vitale non solo progettare, ma anche mantenere e ristrutturare, programmando investimenti e controllando i costi di gestione (nello specifico come *Facility Management*).

Questa pertinenza mostra evidente l'inadeguatezza dei comuni sistemi CAD e la necessità di superare il semplice disegno per giungere alla definizione di modelli complessi, delegando al software tutte le routine di verifica e controllo.

In questo aspetto, il rapporto con la normativa è importante. Il vocabolo *normazione* è riferito infatti a diversi concetti di unificazione, normalizzazione e standardizzazione, termine quest'ultimo che nel settore tecnico e industriale ha il preciso significato di riconduzione ad un modello da comparare con le norme cogenti.

Le norme tecniche tuttavia non sono leggi, ma documenti che definisco-

no le caratteristiche (ad esempio, dimensioni, aspetti di sicurezza, requisiti prestazionali) di un prodotto, processo o servizio secondo lo stato dell'arte tecnico/tecnologico.

Nel settore delle costruzioni, le finalità della normativa sono stati definiti dall'ISO⁴ nei seguenti punti:

- assicurare l'idoneità dei prodotti, processi e servizi a soddisfare le esigenze degli utenti, dei consumatori e quelle della collettività;
- assicurare la sicurezza delle persone, ridurre i rischi;
- assicurare la compatibilità e l'intercambiabilità dei prodotti in vista della manutenibilità;
- migliorare l'economicità generale sia a livello aziendale che nazionale ed internazionale, attraverso l'unificazione e precisazione dei metodi (alfabeti, linguaggi, simboli, codici, modalità di prova, di controllo, ecc.) e la gestione delle diversità dei prodotti;
- facilitare la comunicazione tecnica;
- facilitare gli scambi attraverso la certificazione;
- agevolare ed accelerare l'aspetto legislativo.

Partendo da queste premesse, le normative sono virate negli ultimi anni da un approccio esigenziale verso uno prestazionale, che si propone di definire e controllare la qualità edilizia stabilendo uno stretto rapporto tra le prestazioni di un bene edilizio e le esigenze dell'utenza.

Proprio la qualità, intesa come il grado di rispondenza delle prestazioni di un prodotto ai requisiti che ne hanno guidato la concezione e la costruzione, è un aspetto importante rintracciabile tra le maglie di caratteri disparati che la modellazione integrata potrebbe raccogliere e classificare.

Nella tabella alla pagina seguente (Garagnani, 2010) vengono a questo proposito riportate le relazioni generali che regolano gli aspetti costruttivi rispetto alle differenti aree applicative per i modelli digitali.

4 - Nel 1926 fu istituito l'ente di normazione *International Standardising Association (ISA)* che si trasformò nel 1946, dopo il periodo bellico, in *ISO International Organisation for Standardisation*. Nel 1961 poi fu istituito un comitato intersettoriale di normazione europea, il *CEN (Comitato Europeo di Normazione)*. Nel settore edilizio, il *CEN* ha costituito un *Comitato di Programmazione Edilizia* che si occupa dei seguenti argomenti:

- prestazioni ambientali (*Isolamento acustico, Aspetti termoigrometrici, Sicurezza antincendio*);
- strutture portanti
- parti funzionali dell'edificio (*Coperture, Serramenti, Rivestimenti interni e esterni*);
- impianti tecnologici (*Adduzione dell'acqua, Scarichi, Impianti fissi di trasporto, Ventilazione, Riscaldamento*).

	Finalità dei modelli integrati						Proprietà componenti							
	Concept			Costruzione			Gestione							
Aree di applicazione dei modelli integrati	Masse	Spazi	Sito	Architettonico	Strutturale	Impiantistico	Componenti prefabbricati	Componenti generici	Proprietà geometriche	Proprietà dei materiali	Aspetti funzionali	Costi	Tecnologie costruttive	Costruttori
	Fase di progetto e realizzativa													
Analisi della forma	X	X	X						X		X	X		
Esplorazione dello scenario	X	X	X	X					X					
Rispetto della programmazione		X		X					X		X			
Building performance				X	X	X			X	X	X			X
Simulazione				X	X	X			X		X			X
Rispetto normativo				X	X	X			X					
Costi				X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Coordinamento				X	X	X	X	X	X					
Pianificazione				X	X	X			X	X			X	X
Prefabbricazione				X	X	X	X	X	X	X				
Fase gestionale e di raccolta dati														
Configurazione				X	X		X	X	X		X		X	X
Inaugurazione				X	X	X	X	X	X					X
Gestione della struttura		X							X		X			
Gestione beni economici		X		X	X	X			X			X		
Performance monitoring				X	X	X			X		X			
Analisi del costruito (retrofit)				X	X	X	X	X	X	X	X		X	X

Il prospetto evidenzia come le caratteristiche geometriche siano importanti a tutti i livelli di manipolazione progettuale, indicando i servizi che dovrebbero essere considerati per descrivere le attività specifiche.

La normativa, pur richiedendo una documentazione specifica anche di natura grafica, non impone ancora modellazioni integrate di crescente complessità, seppure per certificare i risultati ottenuti ad esempio da simulazione sismica sia necessario produrre schematizzazioni tridimensionali con precise astrazioni dei componenti costruttivi.

Un discorso analogo vale per le verifiche termo-acustiche e di illuminamento, tutte concomitanti nel rispetto di codici e regole finalizzate alla qualità del costruito.

3.3 - Estetica e qualità nel flusso di progetto contemporaneo.

La scienza ingegneristica moderna, così come endemicamente l'architettura, tratta sovente l'estetica come una componente opzionale e secondaria del progetto, degna di ricevere attenzione solamente dopo che le richieste funzionali dell'organismo edilizio sono state soddisfatte. Il ruolo del progettista, richiamato a coprire incarichi di pianificazione profonda dell'ambiente che crea o va a modificare, rischia in tal modo di affrancarsi dalla responsabilità di instaurare un rapporto empatico tra l'oggetto generato e chi lo percepisce attraverso la propria sensibilità individuale.

Scrive infatti Fritz Leonhardt⁵: *"During much of the past century, our buildings, roads, bridges, and other public facilities have been built without much consideration for aesthetics, or so it appears. It seems as though engineers have not been aware of the psychological effects of their designs. This lack of feeling for the value and essence of beauty leads to an unattractive built environment. For most people, their environment is the built environment. It is built by architects and engineers who are therefore responsible for its aesthetic qualities"*.

L'onere ed onore di esercitare un così profondo impatto sulla psicologia del fruitore del progetto, dovrebbe incontrare oggi nel professionista una figura policentrica di pianificatore in grado di coniugare l'estetica alla funzionalità intrinseca e giungere con questi elementi ad una maggiore qualità progettuale.

Ci si trova infatti ad operare in un frangente temporale nel quale il design di qualità non è più solamente una scelta ponderata e consapevole alla quale aspirare, bensì un impegnativo requisito normativo al quale ottemperare. La qualità in edilizia dovrebbe invece essere un obiettivo attuabile da un felice connubio di conoscenze tecniche, abilità esecutive, capacità amministrative e volontà politica, meta raggiungibile solamente nel momento in cui tutte queste caratteristiche fossero in grado di concertarsi e cooperare attivamente per una finalità comune.

Dunque essa stessa, la qualità, dovrebbe costituire una componente integrante non solo del progetto medesimo ma di tutta la filiera che conduce

5 - F. Leonhardt, "Developing Guidelines for Aesthetic Design, Bridge Aesthetics Around the World", Committee on General Structures - Subcommittee on Bridge Aesthetics, Transportation Research Board, Washington D.C., National Research Council, 1991, pp. 32-57.

alla sua realizzazione. Gli strumenti digitali che intervengono durante il processo, e che sono stati elencati nel corso del secondo capitolo, si trovano a rivestire un ruolo di estrema importanza per questo risultato finale: la progettazione architettonico-spaziale può amplificare la percezione del progettista permettendo il passaggio da un pensiero creativo ad un design ottimizzato per l'ambiente nel quale si colloca⁶.

Quali devono essere le capacità richieste delle figure professionali odierne, indipendentemente dagli strumenti che utilizzano, per accentrare ed amministrare produttivamente le scelte che delineano la qualità finale del costruito? Senza dubbio è la mutua comprensione da parte dei differenti attori che prendono parte a tutto il *workflow* che sta dietro la concezione di un organismo edilizio ad assumere la valenza più consistente.

Anche le normative stanno cambiando in questo senso, secondo un iter che da qualche anno è tangibile nelle direttive più importanti emanate in materia di costruzioni: non è un caso ad esempio che per rendere qualitativamente migliore il progetto delle opere pubbliche già il documento di avvio del provvedimento previsto dalla legge Merloni, la legge 109/94, aveva saputo introdurre giustificate prefigurazioni architettoniche sin dalle prime fasi di sviluppo del progetto, anche se all'attualità è possibile rilevare che sono pochi i responsabili del procedimento in grado di gestire attivamente e con cognizione di causa questi primigeni aspetti procedurali.

Dunque prima ancora di saper utilizzare degli strumenti di qualunque sorta, il progettista non dovrebbe dimostrare solamente profonda conoscenza del quadro normativo, altresì dovrebbe intuire e mettere in opera cosa esso implichi in termini di vita sociale: l'estetica progettuale intesa nella sua accezione più ampia incontra così una componente etica imprescindibile.

Sovente capita di assistere a manifestazioni o convegni dove il tema della qualità viene assunto come un obiettivo cogente da perseguire per soddisfare una legge, senza saper valorizzare per questo quella connessione che deve necessariamente esistere tra uomo e ambiente costruito⁷.

Esiste invece la possibilità di coniugare esigenze tecniche a queste più

6 - Come già esposeva L. Zakowska, in "Education of Spatial Thinking and Aesthetics: Toward Humanization of Built Space", Cracow University of Technology, Krakow 2001.

7 - Ne è una riprova, cogliendo un esempio tra tanti, il dibattito che da alcuni anni accompagna l'accoglienza da parte dei tecnici della "Legge sulla valorizzazione dei paesaggio urbano" (Legge regionale Emilia-Romagna n.16/2002). Per alcuni una importante tappa nel raggiungimento di obiettivi di qualità, per altri mero strumento di controllo di aspetti urbanistici politicizzati.



Figura 3.9 - Norman Foster, London City Hall, 2002. Gli strumenti di modellazione informatici contribuiscono alla formulazione di una nuova estetica (Autore della fotografia: S. Garagnani, 2008).

nobili forme di espressione, tendendo ad un obiettivo di qualità: tale strada potrebbe essere tracciata dall'utilizzo di tecnologie e strumenti in grado di favorire il raggiungimento di un buon progetto.

Nel 1941 Giedion scriveva di come i metodi della scienza e i metodi dell'arte abbiano assunto inconsciamente un andamento parallelo sin dai primi anni del ventesimo secolo, in particolar modo quando l'architettura e la pittura sono giunte ad elementi fondamentali simili nel ricercare soluzioni di problemi che fino allora non erano stati tentati.

Oggi si potrebbe azzardare che l'estetica della forma in ingegneria e la sua conseguente qualità generale sia frutto, e non sempre in positivo, del retaggio strumentale disponibile.

Conoscere i pregi, i vantaggi, ma anche i limiti e le particolarità dei programmi ad oggi sul mercato dell'edilizia, porta l'utilizzatore ad un indubbio ventaglio di scelte. Tuttavia è il progetto finale a porsi come protagonista e non lo strumento che lo ha generato, anche se quest'ultimo ne ha conces-

so il rispetto del contesto normativo portando però in molti casi all'introduzione di elementi seriali completamente estranei all'unicità dell'organismo. Infatti l'integrazione di elementi automatici e ripetibili nel processo assistito da programmi informatici, culmina spesso in un utilizzo indiscriminato e non consapevole delle potenzialità raggiungibili. Si assiste dunque ad un'architettura che si fonde fortemente con il design, dove le indubbe diversità di scala applicativa paiono essere in molti casi trascurate più o meno di proposito, e derivate dalla riproposizione di temi archiviati in librerie precedentemente compilate e presenti nel programma.

Potenzialmente tutto il patrimonio conoscitivo che conduce all'esito ultimo della costruzione è fruibile in tutti i suoi aspetti; tale grande opportunità costituisce nel contempo anche il pericolo di riutilizzare archivi di esperienze pregresse, culminanti nella riproposizione di temi edilizi decontestualizzati e privi dell'unicità topologica e concettuale che ogni singolo edificio dovrebbe possedere, precludendone una qualità esclusiva.

La nuova estetica dunque si conforma come la materializzazione dell'informazione che ruota intorno al concetto di costruzione.

Conseguentemente la qualità si prefigura come il raggiungimento di un equilibrio ottimale tra gli aspetti tecnici ed economici che i differenti attori impongono come regola alla porzione di informazione che loro compete.

Ciò che è stato teorizzato dalle avanguardie artistico-architettoniche degli anni Venti, ovvero il modo di progettare attraverso la visione ispirata da principi scientifici di performance, ottimizzazione e considerazione di spazio e tempo tra le variabili in gioco, assume nell'epoca presente un nuovo significato. E' auspicabile che il crescente utilizzo di sistemi informatici scritti per regimentare ed ordinare il flusso creativo di progetto conduca ad una integrazione sempre più tenace tra settori complementari confluenti.

Tale appare essere la strada tracciata dalle soluzioni verticali destinate all'edilizia; non si può che rinnovare così la speranza di assistere al progressivo abbandono di un'estetica derivata da soluzioni commerciali e ripetitive in favore di una nuova visione qualitativa generata con l'ausilio degli strumenti tecnologici e non solamente declinata con essi.

Capitolo IV

Modelli digitali ed archivi di progetto: alcuni casi di studio

Rachael: "Le piace il nostro gufo?"

Deckard: "È artificiale?"

Rachael: "Naturalmente"

("Blade Runner" di R. Scott, 1982)

In questo capitolo saranno presentati tre casi di studio che sono stati utilizzati come banco di prova per le esperienze maturate nel corso della ricerca di dottorato.

Per affrontare e comprendere gli inconvenienti attesi che possono insorgere durante la modellazione e la documentazione di contesti architettonici e culturali differenti, si introdurranno pertanto tre situazioni che si riferiscono all'ambito monumentale (con la Basilica di San Vitale a Ravenna), a quello storico-artistico (con il Palazzo Albergati a Bologna) ed infine alla costruzione *ex-novo* (con il progetto per il nuovo padiglione dell'Ospedale Macchi a Vicenza).

In tutte le circostanze si sono cercate di individuare *in primis* le necessità finali per le quali fosse richiesta la preparazione di modelli digitali, successivamente le figure coinvolte nella loro generazione ed infine il target della loro fruizione finale, per garantire la produzione di archivi dedicati.

Non escludendo la possibilità futura di estendere il dominio applicativo, si è valutato di analizzare contesti appartenenti alla scala architettonica e non di comparto, dal momento che il tipo di formalismi e di tecnologie utilizzati può giungere alla definizione di numerosissimi dettagli, rendendo modelli estesi su matrici territoriali estremamente complessi per la gestione della memoria computazionale e grafica degli apparati hardware in grado di processarli.

Tuttavia saranno esposti aspetti teorici più oltre che affronteranno questo orizzonte nella ricerca, tratteggiandone i possibili sviluppi dei prossimi anni, insieme alla fruizione di tecnologie BIM nell'ambito del rilievo e del restauro, un'altra prospettiva non ancora del tutto indagata.

4.1 - La percezione della musica corale nella Basilica di San Vitale a Ravenna: una simulazione virtuale di suono e luce.

La necessità di un'analisi mirata alla valutazione del comportamento acustico delle navate rispetto al canto all'interno della basilica di San Vitale a Ravenna¹, ha fornito l'occasione per avviare uno studio di modellazione documentale ed archivistico del complesso religioso, oltre che indagini sull'effetto della luce e la sua riproducibilità simulata in un contesto digitale.

Questo lavoro precipuo ha permesso di testare alcuni principi di modellazione integrata che costituiscono il fulcro procedurale di questa ricerca, seguendo un percorso metodologico definito che sarà esposto, nelle sue linee generali, al capitolo seguente.

Non essendo disponibile materiale geometrico già pronto, come piante e sezioni, dal quale impostare una riproduzione rigorosa degli elementi tridimensionali, le superfici murarie, le strutture e i sistemi di copertura sono stati generati mediante uno speditivo rilevamento delle misure ed una successiva serie di verifiche geometriche e fotografiche effettuate in loco per aumentare sensibilmente la fedeltà dei dettagli, dal momento che un rilievo metrico accurato non si è reso da subito necessario.

Successivamente l'idea alla base dell'esperimento è stata quella di utilizzare il modello così approntato per valutare il fenomeno acustico della riverberazione sonora del canto, mediante l'utilizzo di un software di calcolo agli elementi finiti specifico², e di manipolare lo stesso per ricavare la base digitale destinata alle visualizzazioni scientifiche ed architettoniche inerenti il complesso sacro investito internamente dalla luce solare.

La Basilica è stata definita come *“la più pura gloria dell'arte bizantina in occidente”* ed è stata voluta fermamente dal vescovo Ecclesio (522 - 532 d.C.) dopo il viaggio compiuto a Costantinopoli insieme a Papa Giovanni I (nel 525 d.C., un anno prima della morte di Teodorico). Dedicata a Vitale, soldato romano martirizzato durante le prime persecuzioni contro i Cristiani,

1 - Tematica oggetto di ricerca per una tesi afferente alla Scuola di Dottorato in Acustica presso il Dipartimento D.I.E.N.C.A della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, con il quale si è collaborato.

2 - Il programma che è stato utilizzato per il calcolo del comportamento acustico è RAMSETE, un pacchetto software avanzato per la simulazione dei fenomeni acustici. Le sue caratteristiche ne fanno uno strumento adatto sia allo studio delle prestazioni di sale da concerto, auditorium e teatri, sia a quello di trattamenti acustici in campo industriale, sia allo studio dell'impatto ambientale di sorgenti di rumore all'esterno. Il motore di calcolo è modulare per essere aperto ad aggiornamenti futuri ed essere facilmente utilizzabile anche da non esperti.



Figura 4.1 - Il complesso della Basilica di San Vitale, a Ravenna, in un'immagine aerea recente (fonte: Microsoft Live Earth, 2009).

la Basilica venne consacrata il 19 aprile del 548 d.C. dal vescovo Massimiano, raffigurato in un mosaico all'interno.

L'influenza orientale, sempre presente nell'architettura ravennate, assume in San Vitale un ruolo dominante, dove non esiste più lo spazio sacro a tre navate, ma un nucleo centrale a pianta ottagonale, sormontato da una cupola di sedici metri di diametro poggiata su otto pilastri culminanti in imponenti arcate.

Caratteristica delle chiese bizantine è lo spazio dilatato: i Romani avevano già adottato nel tempio di Minerva Medica, nel Pantheon a Roma e in San Lorenzo a Milano forse sotto influenze orientali, la concezione di dilatazione dello spazio interno, ma peso della materia e rigidità delle linee di costruzione non avevano permesso di intuire un dinamismo plastico.

Questa ideale dilatazione geometrica costituisce invece per i bizantini il



Figura 4.2 - Riproduzione non fotorealistica della Basilica, in un acquerello digitale ottenuto con Informatix Piranesi 5 (S. Garagnani, 2009).

punto di partenza verso la concezione di uno spazio che si muove, che in San Vitale si percepisce scomponendo i volumi intorno alla concentricità dell'ottagono mediante otto *absidiole* (l'ottava formata dall'abside stesso), che si aprono nell'ambulacro attraverso serie di arcate sovrapposte, come visibile negli schemi planimetrici analitici in figura 4.8.

Il rivestimento alleggerisce la rigidità dei pilastri principali, così come allo stesso modo i disegni dei marmi e le volute dei mosaici a pavimento ingentiliscono l'ambiente. Anche le pitture del tamburo, che racchiude la cupola decorata dopo l'edificazione della struttura principale, aiutano a nascondere una materia grezza che, nuda, acquisterebbe un insostenibile peso.

Nell'abside i mosaici, originariamente composti in una non complanarità voluta per aumentare gli effetti di riflessione e vivacità della luce, amalgamano materia e colore: *“La tipicità delle chiese basilicali ravennati è data da una struttura lineare, dalla ripetizione cadenzata di navate, finestre, colonne e*

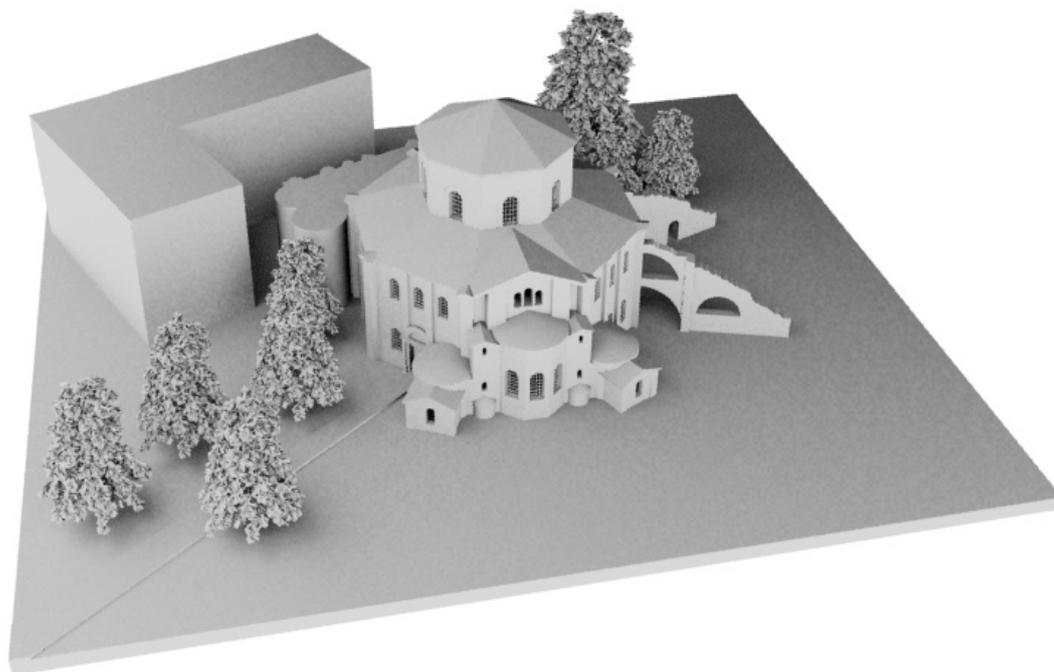


Figura 4.3 - Modello concettuale della Basilica, nel quale sono state enfatizzate le volumetrie mediante una simulazione del comportamento della luce naturale con tecniche di *ambient occlusion* in Maya 2010 (S. Garagnani, 2010).

*mosaici che conducono e spingono verso l'altare. Non c'è niente di imprevisto. Niente si muove. In San Vitale, invece, la prima sensazione è una simmetria vaga, uno spazio mobile e senza riferimenti. Le linee, i volumi, le luci generano onde, il suono ha echi imprevisti*³.

Lo studio della luce all'interno del complesso è stato affrontato enfatizzando il passaggio proprio dell'oscurità presente nel nartece verso la brillantezza dell'abside, in un "racconto" allusivo alle esperienze sensoriali che i fedeli presumibilmente potevano sperimentare, immergendosi in uno spazio mistico rarefatto, per via delle fumose essenze bruciate durante i rituali religiosi (in tal senso, *aut lux hic nata est, aut capta hic libera regnat* - o è qui che la luce è nata, o qui, imprigionata, libera regna - come recita un'iscrizione nella cappella arcivescovile di Sant'Andrea).

La sensibilità dei bizantini verso tutto quello che era prezioso e raro (metalli

3 - I. Fiorentini, P. Orioli, "I marmi antichi di San Vitale", Editrice Faenza, 2003.

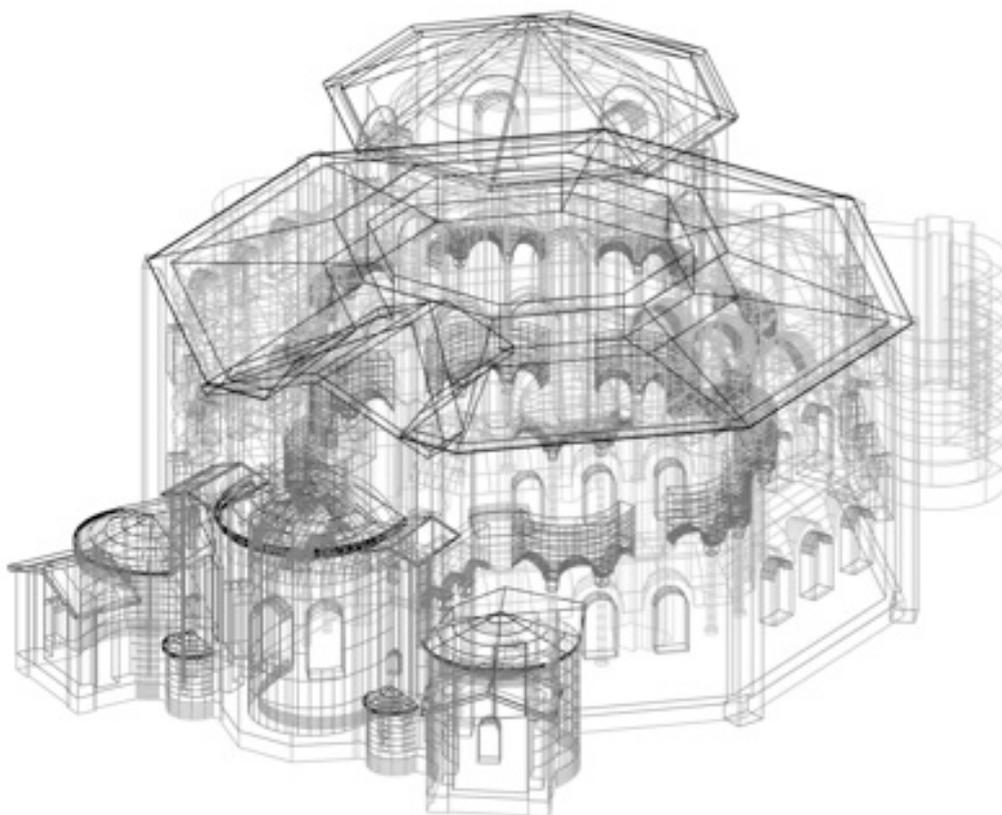


Figura 4.4 - Modello semplificato per il calcolo del comportamento acustico dei volumi interni alla basilica (particolarmente abside e matroneo). Il modello è stato ottenuto con un tracciamento geometrico al CAD e semplificato mediante trasformazione degli elementi CSG in manifold B-Rep, per consentire le analisi agli elementi finiti con Ramsete (modello di S. Garagnani, 2008).

nobili, vetri, pietre, marmi e smalti) si ritrova in San Vitale, come si ritrova, a Costantinopoli, nelle altre due maggiori Basiliche di Giustiniano: i SS. Apostoli e Santa Sofia. A differenza di quest'ultima però San Vitale ha dimensioni più modeste, più a misura d'uomo. Qui non ci si sente perduti ma assicurati. Negli irregolari riflessi cromatici dei mosaici, San Vitale cela uno dei suoi segreti, forse il più affascinante: il mosaico bizantino riproduce la luce. E allora se l'illuminazione diventa troppo forte il mosaico si spegne e si ferma.

Riprodurre questi aspetti in un contesto virtuale attraverso un modello digitale è stato sufficientemente impegnativo, sia dal punto di vista computazionale che da quello di scelta del livello di dettaglio da raggiungere: infatti la modellazione ha tenuto conto delle differenti esigenze derivanti dall'utilizzo

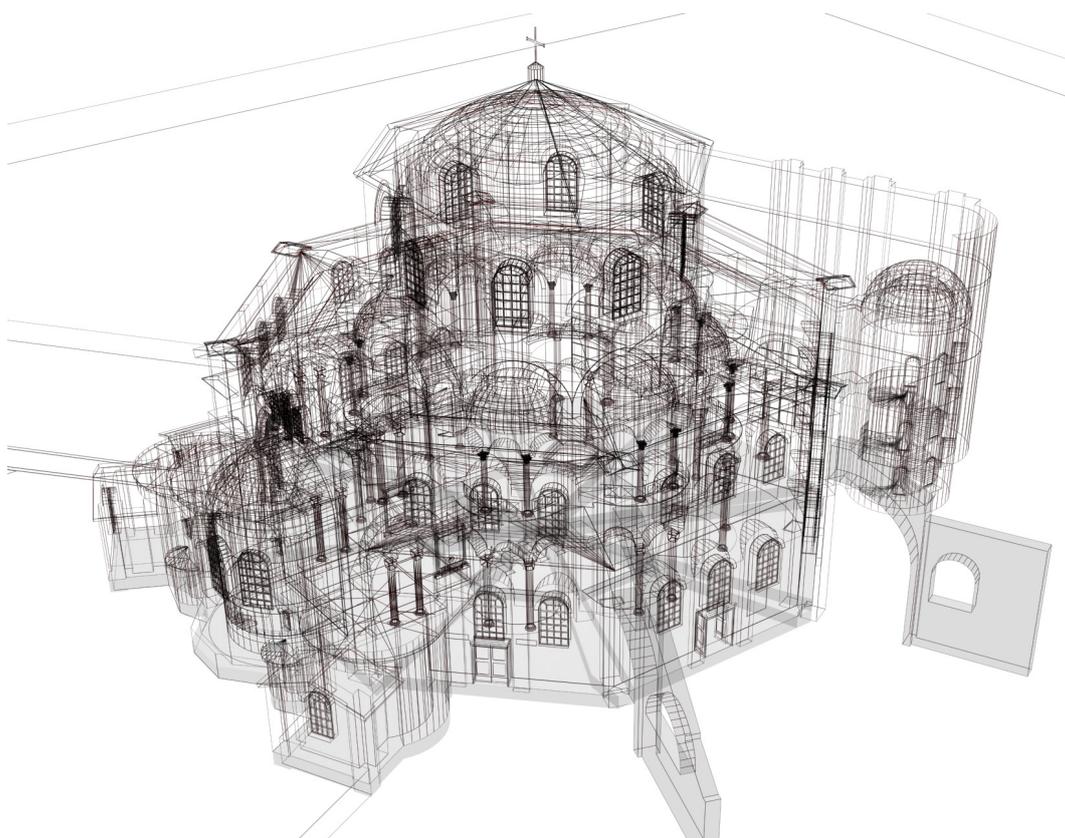


Figura 4.5 - Lo stesso modello di figura 4.4 con un livello di dettaglio delle superfici maggiore, sulle quali è stata impostata una tassellazione più ravvicinata. Sono stati aggiunti anche elementi non rilevanti per le fasi analitiche essendo il livello di dettaglio (LOD) di questo modello finalizzato alla visualizzazione dinamica (modello di S. Garagnani, 2008).

del modello, privilegiando il concetto di *livello di dettaglio (level of detail, LOD)*, parametro che definisce la quantità di informazione visibile in una rappresentazione grafica.

All'aumentare del LOD aumenta di pari passo la complessità di rendering della scena rappresentata, oltre che l'impegno di calcolo analitico.

Per ottenere il giusto compromesso quindi tra dettaglio e velocità di caricamento o analisi, si sono utilizzati due livelli distinti di dettaglio, riportati nelle figure 4.4 e 4.5. In essi è importante specificare che non solo le geometrie sono state diversificate (con superfici più o meno tassellate) ma anche il contenuto, mutato dopo l'inserimento di suppellettili ed oggetti destinati a ricreare le atmosfere cercate.

La conoscenza della situazione attuale della Basilica, in termini di posizione

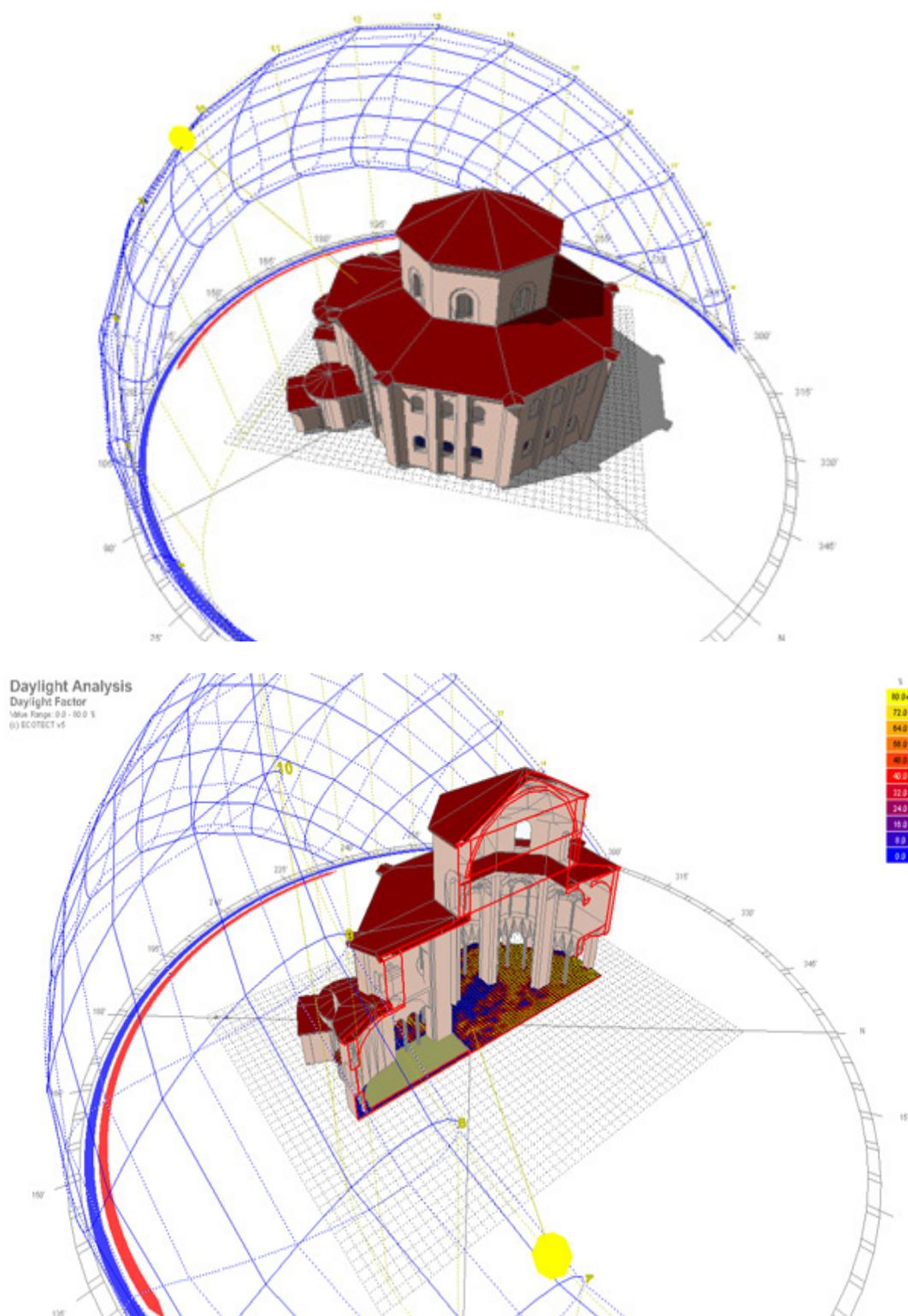


Figura 4.6 - Analisi dell'esposizione solare con particolare interesse per i livelli di illuminamento al piano terreno della Basilica. Il medesimo modello di figura 4.4 è stato importato in EcoTect per derivare le informazioni analitiche dopo il collocamento all'interno di uno scenario virtuale avente le caratteristiche geografiche di Ravenna.

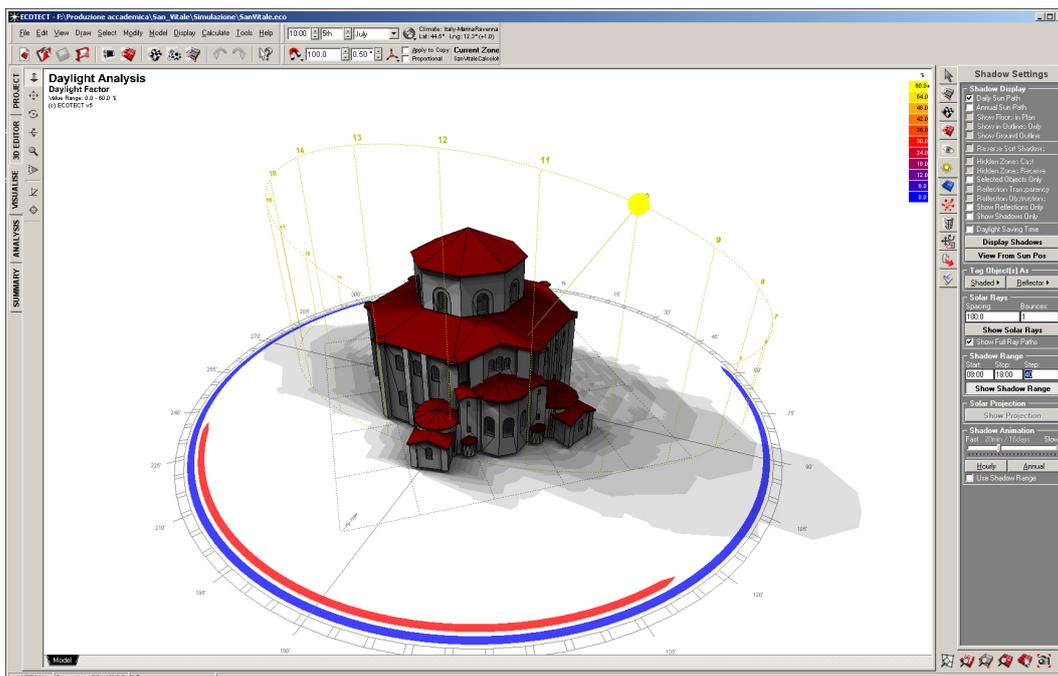


Figura 4.7 - Analisi degli ombreggiamenti per la porzione absidale della basilica, all'interno dell'interfaccia grafica di EcoTect: le ombre ripercorrono le condizioni di luce ad intervalli di 30 minuti, dalle ore 8 del mattino alle ore 18 di sera, in un giorno di primavera (modello di S. Garagnani, 2008).

geografica e irraggiamento solare, è stata necessaria per poter stabilire una linea di condotta atta a simulare le condizioni al VI secolo d.C.

Infatti il modello digitale integrato *in fieri* è stato utilizzato sia per le valutazioni illuminotecniche che per l'analisi acustica; essendo stata la ricerca condotta parallelamente al corso di Dottorato in Acustica della Facoltà di Ingegneria di Bologna, in questo lavoro si presentano solamente i risultati di simulazione grafica, e non quelli più squisitamente fisici, lasciati ad una tesi di dottorato discussa per il settore disciplinare della Fisica Tecnica.

La figura 4.14 illustra due fotogrammi dell'animazione realizzata con il software **Autodesk 3D Studio Max Design** nella release 2009, nella quale sono stati considerati tutti gli aspetti di resa fotorealistica della luce.

Utilizzando l'algoritmo di render Mental Ray, sono stati preparati due scenari: uno serale, ambientato nel VI secolo d.C. alla luce delle candele ed uno diurno, riportato all'attualità e studiato in luce naturale.

I quattro minuti circa del filmato sono accompagnati dal canto vocale regi-

8

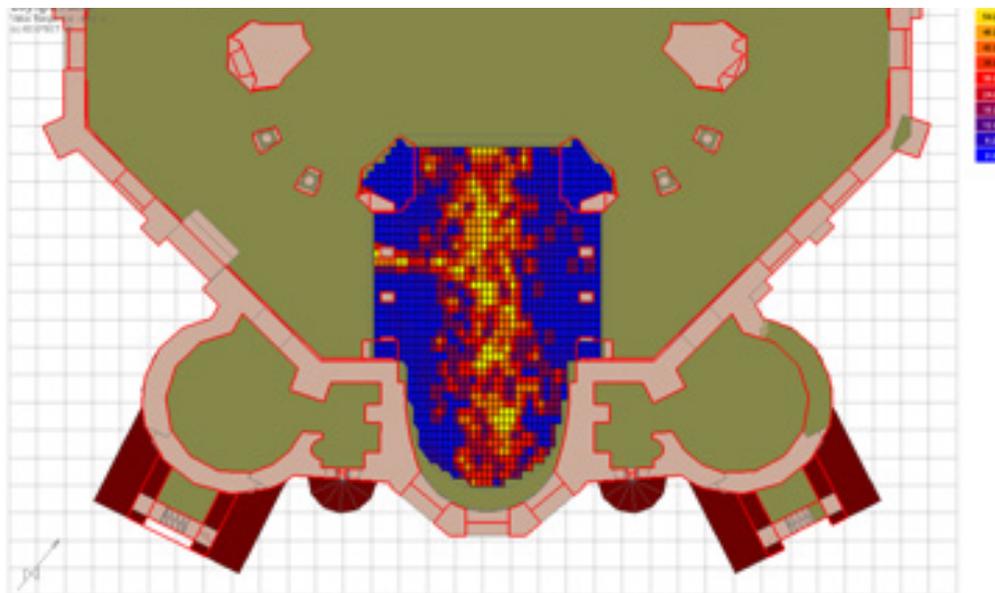
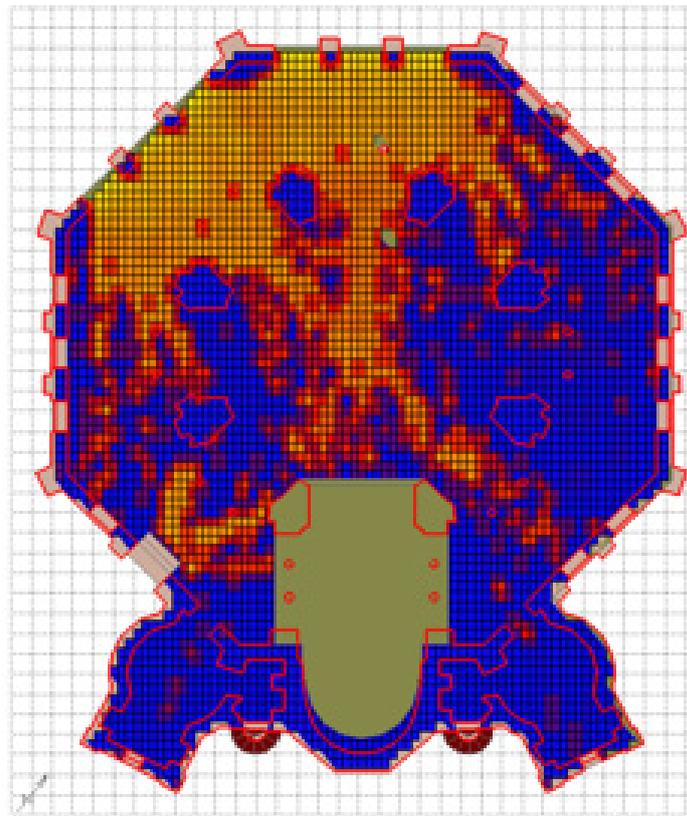


Figura 4.8 - Distribuzione dei valori di illuminazione naturale attraverso le aperture di abside e navate all'interno del piano di calpestio della Basilica di San Vitale a Ravenna. Le simulazioni, che tengono conto del comportamento della radiazione luminosa attraverso il vetro delle finestre attualmente esistenti, sono state condotte mediante elaborazioni del modello integrato in EcoTect.

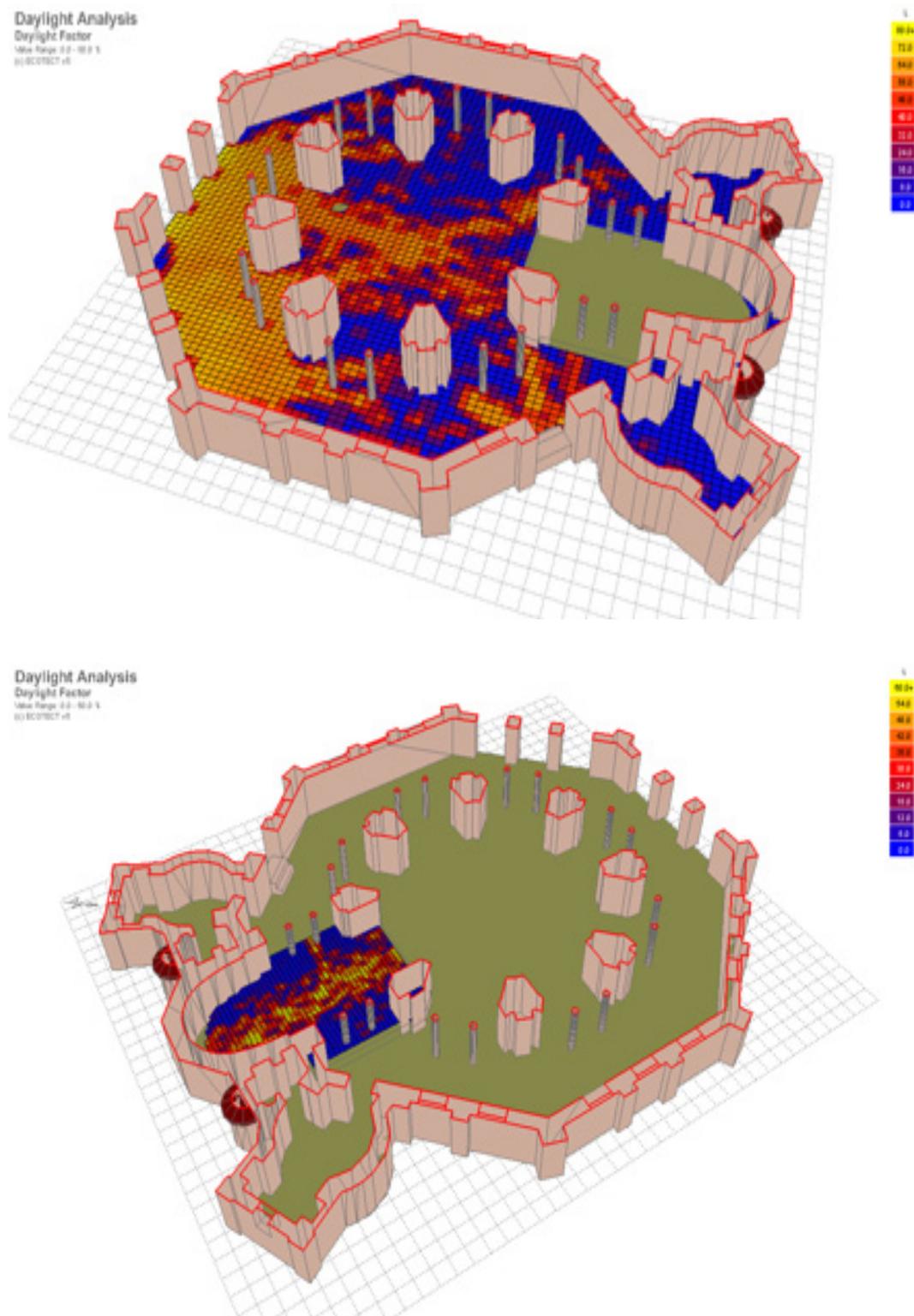


Figura 4.9 - Distribuzione dei valori di illuminazione naturale attraverso le aperture di abside e navate all'interno del piano di calpestio della Basilica di San Vitale a Ravenna. Le simulazioni sono state condotte mediante elaborazioni del modello integrato in EcoTect, il quale risulta molto più veloce nell'analisi, con modelli a basso livello di dettaglio (S. Garagnani, 2008).

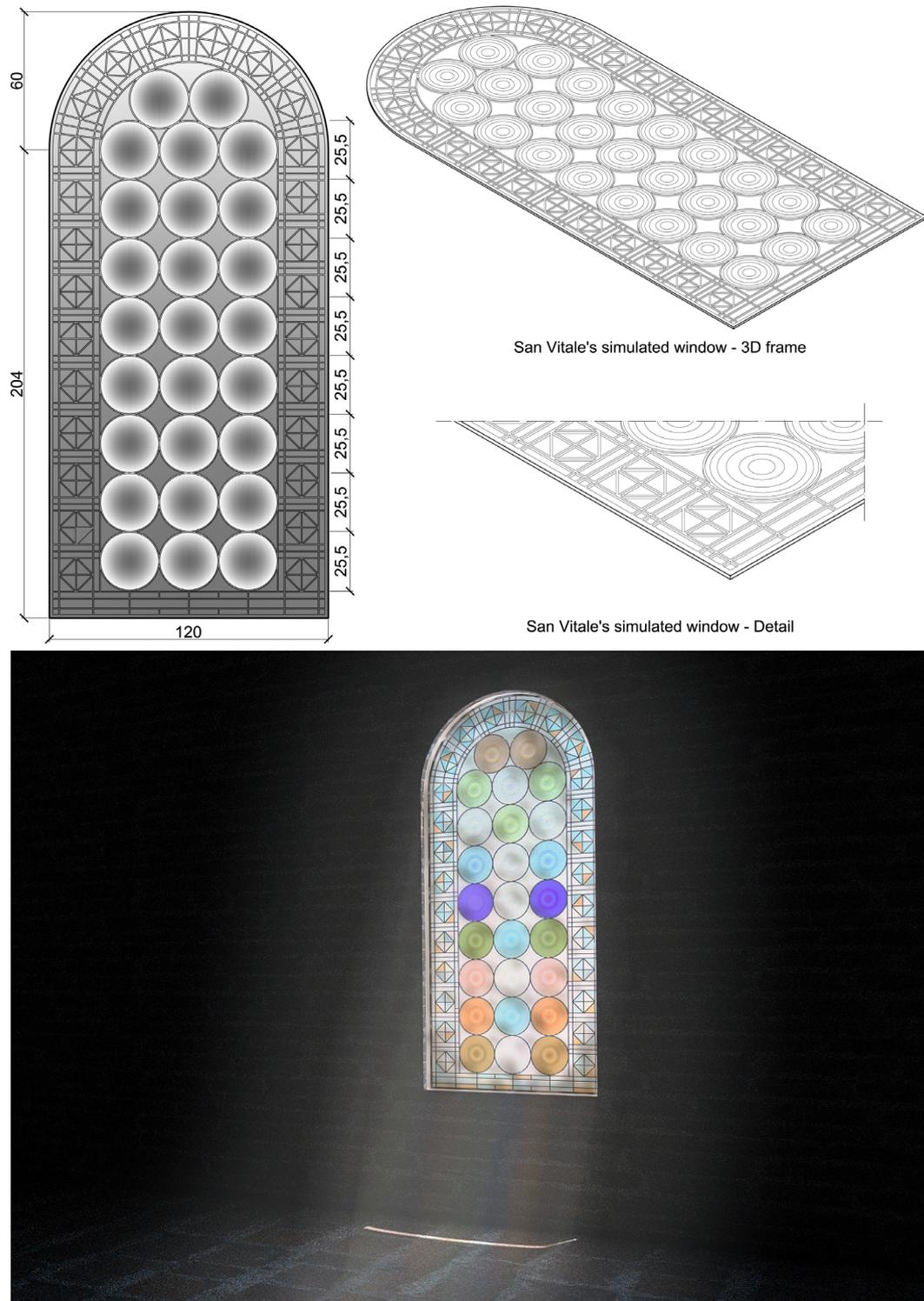


Figura 4.10 - Simulazione grafica di come doveva apparire una finestra dotata dei vetri originali nel VI secolo d.C., sulla scorta delle informazioni derivanti dai reperti rinvenuti nei pressi dell'abside. Il telaio e i vetri sono stati studiati nelle loro caratteristiche fisiche con il programma Maxwell-Render (S. Garagnani, 2008).

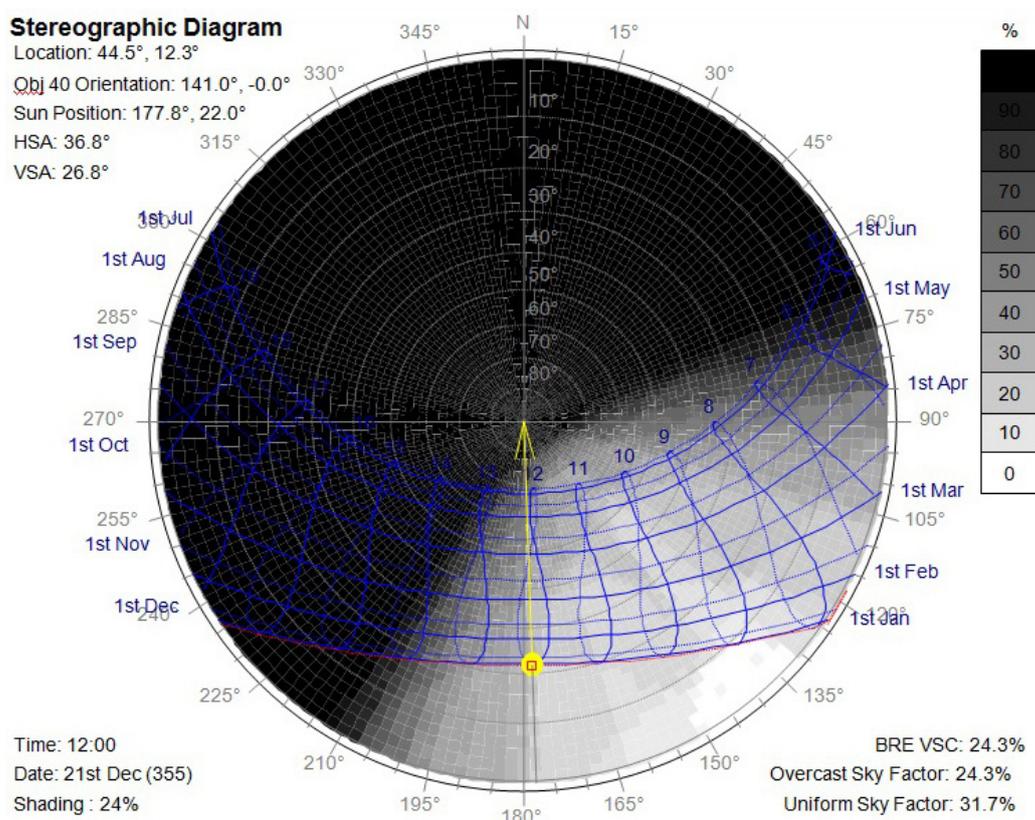


Figura 4.11 - Esempio di grafico di irraggiamento luminoso da esposizione solare per la finestra di figura 4.10. Il risultato è riferito all'apertura centrale dell'abside ed è stato simulato con EcoTect per il VI secolo d.C. (S. Garagnani, 2008).

strato direttamente nella Basilica e auralizzato digitalmente con **Ramsete**: questo software ha ricevuto il modello geometrico correttamente dimensionato ed ha imposto precedentemente all'analisi una suddivisione dei materiali esistenti nella scena su diversi layer per poi applicare ad ognuno di essi un coefficiente di assorbimento specifico per ogni frequenza. Si sono così determinati i valori di risposta all'impulso sonoro, indispensabili per ricavare la cosiddetta convoluzione del canto anecoico (ovvero privo di riverbero) e per ottenere l'effetto del suono ascoltato dentro la chiesa nel punto preciso in cui si è calcolata la risposta all'impulso. Nel filmato, gli estremi di passaggio delle viste sono stati sincronizzati all'auralizzazione ricavata esattamente per quei punti, nei quali era stato registrato il canto⁴.

In figura 4.13 sono riportati alcuni diagrammi acustici risultati dagli studi, 4 - Il canto è stato registrato da David J. Knight dell'Università di Southampton (UK) che ha interpretato un brano risalente all'epoca bizantina intitolato "Lux de luce Deus tenebris illuxit Aveni".



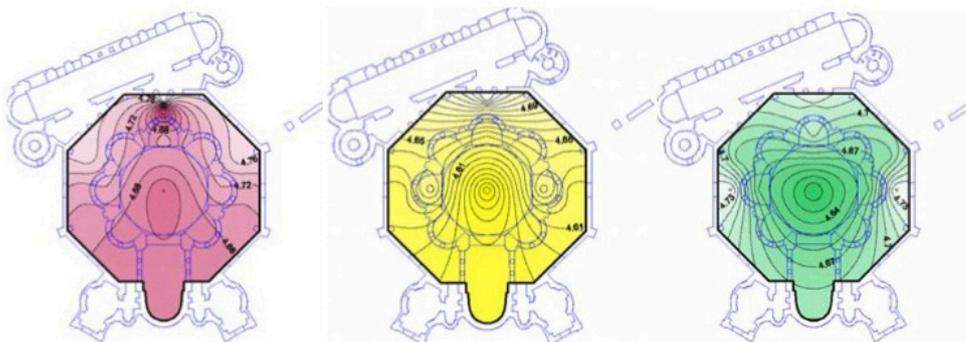
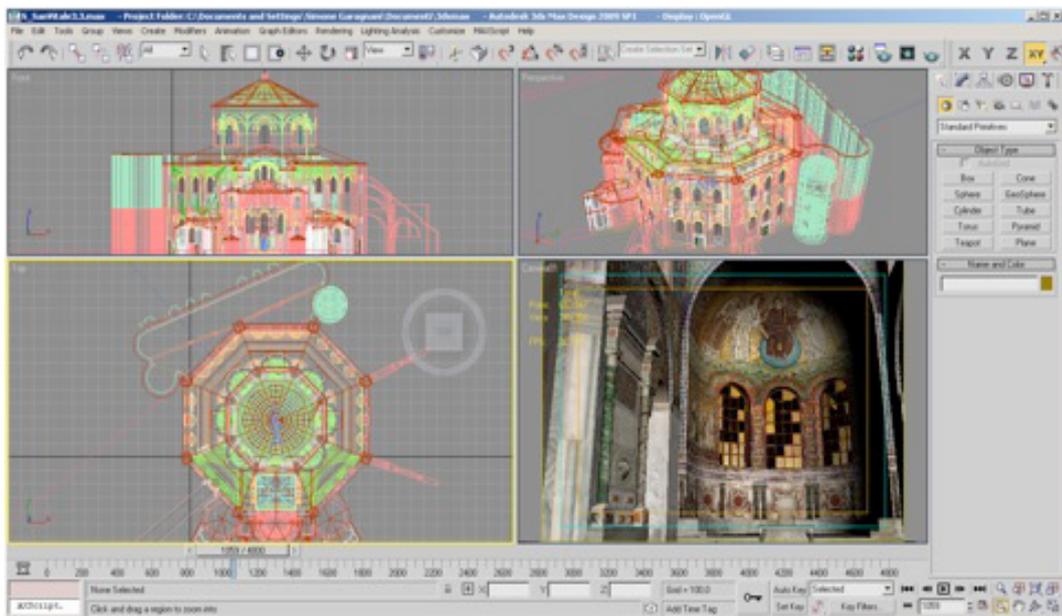
Figura 4.12 - Le attuali condizioni di illuminamento della Basilica di San Vitale, in una immagine panoramica che è stata inserita all'interno dell'archivio integrato sotto forma di vista QTVR (immagine di S. Garagnani, 2008).

mentre in figura 4.10 viene presentata una ricostruzione digitale del telaio di una finestra così come si immagina fosse originariamente. Le proprietà fisiche del vetro sono state approssimate valutando il livello di trasparenza dei vetri originali (verdi, gialli, turchini, rosso scuri e rosa), i cui reperti sono stati rinvenuti presso la Basilica nel 1930, interrati sotto le finestre absidali che ora invece hanno vetri di finto alabastro. Il software utilizzato per ottenere le viste è *Next Limit Maxwell-Render*, considerato per la sua natura unbiased (si veda il capitolo secondo) come il più fedele nel riprodurre il comportamento luminoso.

Disegni di rilievo, immagini fotografiche panoramiche e QTVR, clip multimediali e modelli tridimensionali geometrici sono stati integrati in un unico archivio digitale, strutturato secondo le modalità del formato Portable Document Format di Adobe.

Il PDF tridimensionale descrittivo del monumento ha assunto pertanto la valenza di modello di comunicazione, intendendo indicare con il termine la possibilità in esso intrinseca di trasferire il patrimonio conoscitivo in modalità interattiva navigabile attraverso l'esplorazione della sua rappresentazione geometrica.

Come esposto nel capitolo secondo, la stampa virtuale nel formato PDF presenta la caratteristica interessante di riuscire a generare i file a partire da svariati pacchetti di modellazione, senza la necessità di plug-in o programmi dedicati per la conversione da modello proprietario a PDF esteso.



Distribuzione spaziale del parametro T30 per le tre sorgenti S1 (a sinistra), S2 (al centro) e S3 (a destra).

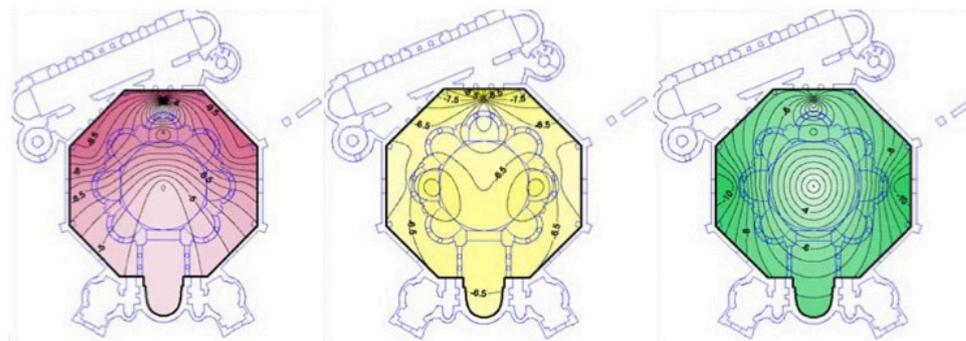




Figura 4.14 - Alcuni fotogrammi del filmato simulativo di luce e suono all'interno della Basilica: in alto la situazione all'attualità, in basso la ricostruzione al VI secolo a.C. con i telai delle finestre come si suppone potessero essere (S. Garagnani, 2009).

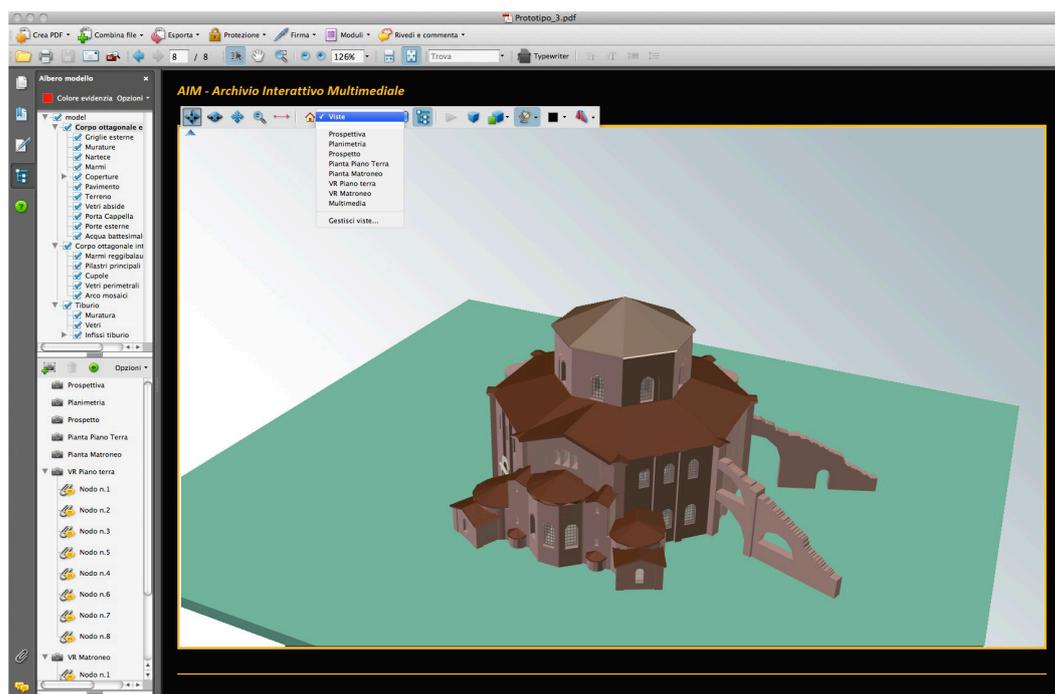


Figura 4.15 - Il prototipo di modello integrato per le analisi sulla Basilica di San Vitale. Il formato di Adobe, il Portable Document Format (PDF) si presta molto bene all'integrazione di svariati contenuti multimediali, come modelli tridimensionali, immagini statiche o in movimento e file audio. In questo caso tutti gli elementi citati sono stati inclusi nell'archivio, fruibile da tecnici e ricercatori.

Il programma infatti si è dimostrato capace di acquisire le morfologie direttamente dal modellatore mediante la sua interfaccia visuale, estendendo e interpretando le matematiche anche nella loro componente di profondità.

La semantica degli elementi è stata organizzata in modo che il loro significato rispetto al complesso globale del monumento sia immediatamente percepibile dall'utente: la gerarchia di tutti i componenti infatti è stata ordinata secondo logiche di interpretazione del costruito, partendo da una porzione basamentale, attraversando gli elementi verticali e giungendo a coperture e decori.

Il pacchetto ultimato è implementabile all'interno di un sistema dinamico di database destinato alla fruizione da parte degli utenti anche attraverso la rete Web; sono stati condotti in tal senso esperimenti sull'infrastruttura MySQL e PHP, generando record dinamici collegabili al PDF che diviene una sorta di indice tematico per contenuti, oltre che catalogo di componenti, come sintetizzato in figura 4.16.

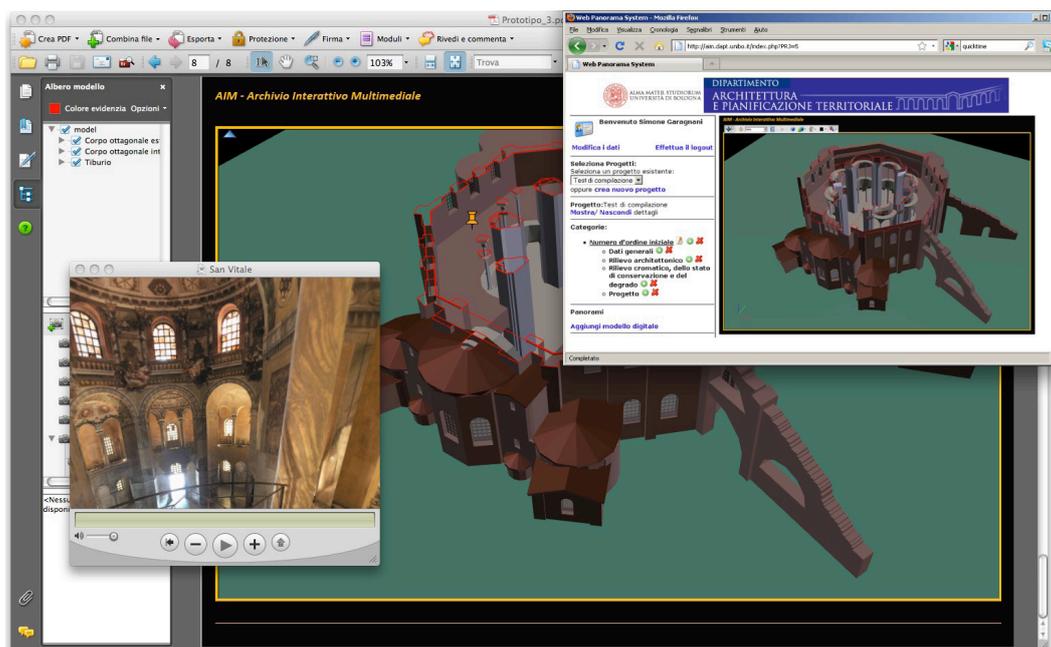


Figura 4.16 - Lo stesso modello integrato, nella versione PDF, può includere filmati o files QTVR (a sinistra) ed è estremamente versatile come archivio di interrogazione anche se inserito in contesti più ampi come un database relazionale LAMP (Linux, Apache, MySQL e PHP, a destra in alto).

4.2 - Il rilievo degli ornati nelle sale nobiliari di Palazzo Albergati a Bologna.

A poco più di un anno di distanza dal devastante incendio che ha colpito Palazzo Albergati, prestigioso edificio del '500 attribuito a Baldassarre da Siena, sono da poco iniziate le opere di ripristino strutturale e di restauro tipologico per conferire nuovamente allo stabile la dignità di monumento storico da conservare nello scenario urbano del centro di Bologna.

Il progetto di ristrutturazione tuttavia non ha potuto essere intrapreso senza prima approntare una campagna di rilievo che ha visto impegnate numerose risorse tecniche finalizzate a documentare nella maniera più esaustiva possibile lo stato del degrado, con particolare riferimento ai fronti delle centralissime vie Saragozza e Malpertuso, nonché delle sale nobiliari interne tra le quali la pregevole "Sala Rossa".



Figura 4.17 - Il fronte di Palazzo Albergati a Bologna. Dopo il devastante incendio dell'estate 2008 un massiccio piano di recupero è stato avviato (immagine fotografica di L. Bravo e S. Garagnani, 2008).

L'utilizzo di rilievi strumentali classici con stazione totale è stato affiancato per gli ornati alla realizzazione di campagne fotografiche mirate alla restituzione tridimensionale dello stato dei luoghi, al fine di ottenerne elaborati a stampa in grado di fissare su carta non solo le dimensioni dei vani analizzati ma anche il loro stato di ammaloramento, così da produrre il materiale destinato alla generazione di un modello integrato, raccoglitore di informazioni. Nella situazione operativa di Palazzo Albergati, il rilievo delle decorazioni in facciata e dei prospetti delle sale interne ha richiesto l'impiego soprattutto di tecniche di fotogrammetria digitale, considerata la versatilità di impiego e la stabilità del metodo rapportata all'oggetto indagato.

Inoltre, il vantaggio individuato rispetto all'uso antitetico del laser scanner, altro strumento solitamente indicato per una ricognizione metrica rigorosa dello spazio, ha suggerito di privilegiare la maggiore maneggevolezza di una semplice macchina fotografica digitale rispetto ad uno strumento in-



Modello di rappresentazione del colore RGB
Lunghezza focale 10,5
Esposizione 1/20 di secondo
F/Stop 4



Modello di rappresentazione del colore RGB
Lunghezza focale 10,5
Esposizione 1/8 di secondo
F/Stop 2,8



Modello di rappresentazione del colore RGB
Lunghezza focale 10,5
Esposizione 1 secondo
F/Stop 4



Figura 4.18 - La porzione di coperto rimasta integra al di sopra della "Sala Rossa", all'interno di Palazzo Albergati. La grande variabilità di esposizione luminosa che caratterizza il vano ha dato problemi nella fase di documentazione speditiva con rilievi fotografici, di conseguenza si è proceduto all'applicazione di algoritmi di manipolazione digitale dell'immagine, catturando diverse istantanee con differenti tempi di esposizione della fotocamera. Gli scatti sono stati successivamente composti in visualizzazioni HDR (High Dynamic Range Images), un metodo di editing raster che compendia all'interno di una sola foto, tutta la possibile gamma di valori di esposizione luminosa nella scena.

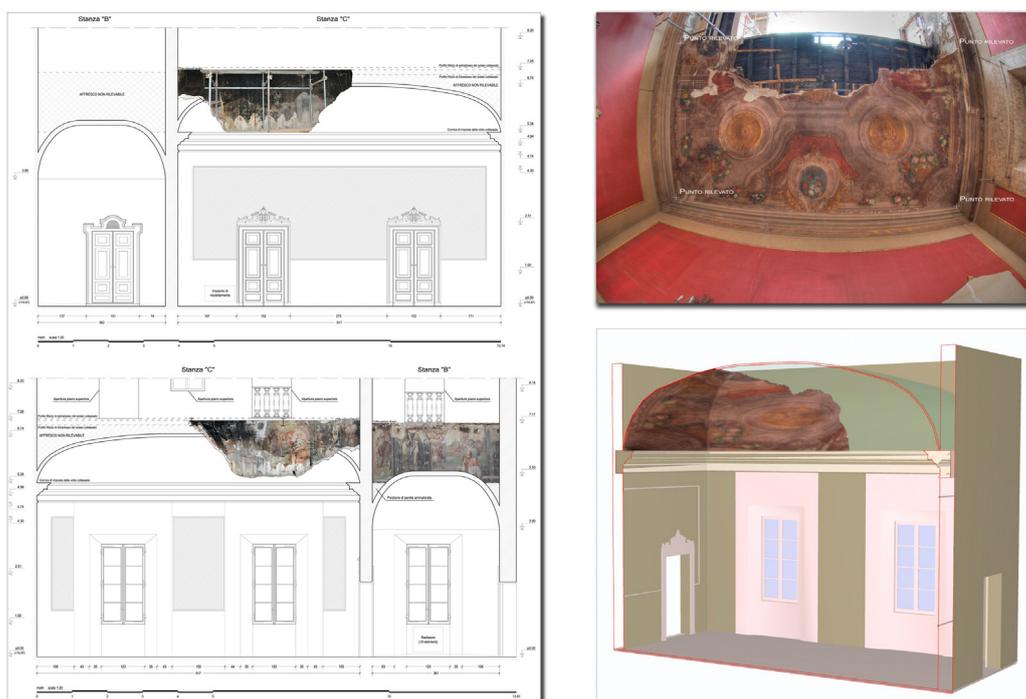


Figura 4.19 - Il modello integrato della “Sala Rossa” con visibile a destra una sezione del solido geometrico, in alto l’immagine HDRi del coperto in arellato rimasto integro e a sinistra alcuni estratti delle tavole tecniche visualizzabili selezionando gli elementi di parete dalle matematiche memorizzate nel formato PDF 3D (S. Garagnani, 2009).

gombrante e molto pesante come lo scanner, che avrebbe necessitato tra le altre cose di corrente elettrica non sempre disponibile data la compromissione degli impianti dell’edificio⁵.

Il pacchetto software che ha consentito di estrarre valutazioni metriche e misure dalle immagini catturate è stato individuato in **PhotoModeler Scanner**, prodotto dalla società canadese *Eos Systems Inc*⁶.

Il fine dei rilievi, oltre quello di documentare lo stato dei luoghi in favore di una testimonianza delle condizioni di conservazione del fabbricato, è stato quello di preparare la base di lavoro per la raccolta di tutti gli elaborati all’interno di un contenitore integrato, destinato ai progettisti incaricati del restauro e potenzialmente al materiale richiesto dalla Pubblica Amministrazione, che potrebbe apprezzare il metodo sviluppato come supporto archivistico

5 - Inoltre l’instabilità dei ponteggi soprattutto in quota avrebbe pregiudicato la precisione delle misure, non essendo possibile garantire un fissaggio adeguato all’apparecchiatura.

6 - Si tratta di un programma per sistemi operativi Windows disponibile sul mercato oramai da diversi anni, in grado di derivare misurazioni accurate a partire da immagini fotografiche, per creare modelli tridimensionali di buona qualità.

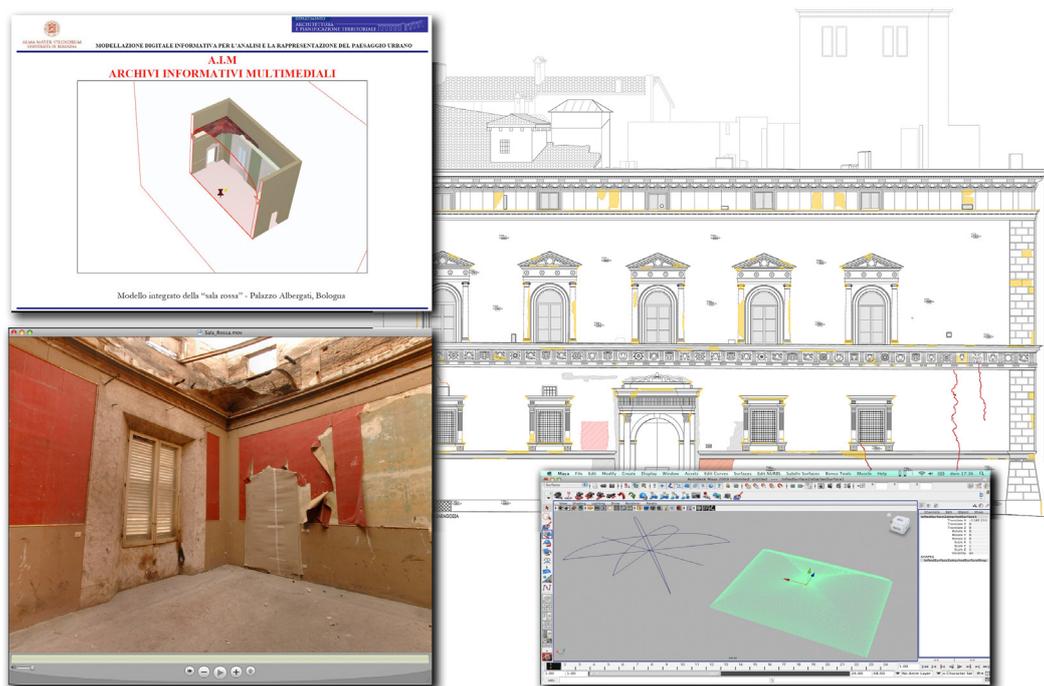


Figura 4.20 - Ancora il modello digitale integrato contenente panorami immersivi QTVR cilindrici e diversi link agli elementi indagati per quanto riguarda la geometria originaria della volta e il livello di degrado dei fronti perimetrali su via Saragozza e Malpertuso (S. Garagnani, 2009).

per le Sovrintendenze ai Beni Artistici e Culturali. L'implementazione della tecnologia DSM (*Dense Surface Modeling*) nei programmi informatici utilizzati, ha permesso di generare da coppie di fotografie orientate⁷ un grande numero di estremi di misura, producendo una nuvola di punti capace di approssimare superfici in maniera simile al risultato ottenibile con apparecchiature di rilievo laser ambientale.

Questi vertici sono stati poi tradotti in superfici *mesh*, utilizzabili nella maggioranza dei pacchetti CAD o di modellazione digitale per definire gli elementi perimetrali soprattutto delle stanze di pregio.

L'algoritmo dietro al processo DSM è inoltre in grado di registrare l'informazione di colore esistente in ogni singolo pixel delle immagini di riferimento per poi associarla alle superfici geometriche generate in una sorta di map-

⁷ - Una coppia di riprese viene detta "orientata" quando le immagini componenti sono posizionate all'interno dello spazio tridimensionale vettoriale così come erano al momento della presa fotografica. In altre parole, vengono definite la posizione della fotocamera e la direzione di mira, attraverso la procedura dei punti di controllo, riferimenti comuni alle due fotografie ma inquadrati con angolazioni diverse.



Figura 4.21 - Il locale adibito a cappella nobiliare ha rivelato, al collassamento della volta in arellato, la presenza di stucchi di epoca barocca che sono stati parzialmente documentati mediante tecniche di fotogrammetria DSM. Le superfici *mesh* generate sono state catalogate nel modello tridimensionale della sala (S. Garagnani, 2009).

patura⁸, che può essere limitata alla cromia della sola nuvola di punti per velocizzare la visualizzazione del risultato, finalità che i laser scanner 3D raggiungono con una maggiore complessità operativa.

Il materiale degradato ed annerito dallo smog stradale con il quale sono stati costruiti i componenti edilizi, come le mensole o i profili di modanatura esterni appena sotto al cornicione, che in certi casi possono mettere in crisi un'adeguata riflessione del fascio laser o comprometterne la coerenza con diffrazioni che non possono essere corrette, è stato documentato in poco tempo e con successo mediante un processo di acquisizione fotogrammetrico.

Tuttavia si rileva che occorre preventivamente calibrare la fotocamera in maniera molto accurata, operazione non troppo complessa ma da effettuare con perizia, pena un minore livello di precisione generale.

⁸ - In realtà, sarebbe più corretto fare riferimento allo "splatting" inteso come operazione geometrica di mappatura per immagini raster su punti, differente dal "draping" che invece sottintende una mappatura su superfici. Il DSM infatti parte da punti e ricava mesh per interpolazione, quindi la caratteristica cromatica è associata prettamente ai primi.

Nello specifico contesto analizzato, l'attenzione è stata focalizzata in particolare su alcuni stucchi presenti nella cappella interna e nella sala nobiliare (la già citata "Sala Rossa", nelle figure 4.20 e 4.21), entrambe caratterizzate dal crollo dei soffitti e delle volte in arelle dipinte.

Per ottenere un profilo credibile della porzione di copertura rimasta in essere nella sala di maggiori dimensioni, è stata effettuata una presa di immagini da diverse angolazioni interne, poi si sono ricostruite le misure laddove non è stato possibile acquisirle in modo diretto e si è ricavato un modello tridimensionale dei luoghi, inglobato in un file PDF tridimensionale.

La rettifica e il raddrizzamento della porzione di affresco rimasta sulla parte di volta non collassata, è stata posizionata su un volume geometrico vettoriale consentendo di ottenere un profilo sufficientemente fedele di quanto scampato alle fiamme e di posizionare con un referenziamento geometrico preciso gli affreschi riportati alla luce e coperti dalla volta distrutta, come illustrato in figura 4.19.

Per stucchi e decori poi, essendo stata individuata una nicchia contenente ornamenti barocchi per una piccola edicola al di sopra del locale originariamente adibito a cappella di famiglia, si sono prodotte superfici documentali con tecnologia DSM, rappresentate in figura 4.21.

Il risultato del lavoro, culminato nella realizzazione di tavole quotate per consentire alle maestranze di procedere nei lavori di ripristino, ha fornito gli elementi per valutare le potenzialità ed i vantaggi del modello integrato, evidenziando che le attuali difficoltà di ordine tecnico, dovute a calibrizioni frettolose od immagini malamente esposte per la fotogrammetria digitale, possono essere sormontate da un utilizzo consapevole degli strumenti affiancato da una buona conoscenza dei software utilizzati.

4.3 - Dal modello al cantiere: progetto per un nuovo padiglione per l'Ospedale Macchi di Varese.

Nell'aprile del 1999 è stata sottoscritta una convenzione urbanistica tra il Comune di Varese e l'Azienda "Ospedale di Circolo e Fondazione Macchi" per la realizzazione di un progetto generale di potenziamento, riqualificazione e ristrutturazione del presidio ospedaliero, nell'area nei pressi di viale

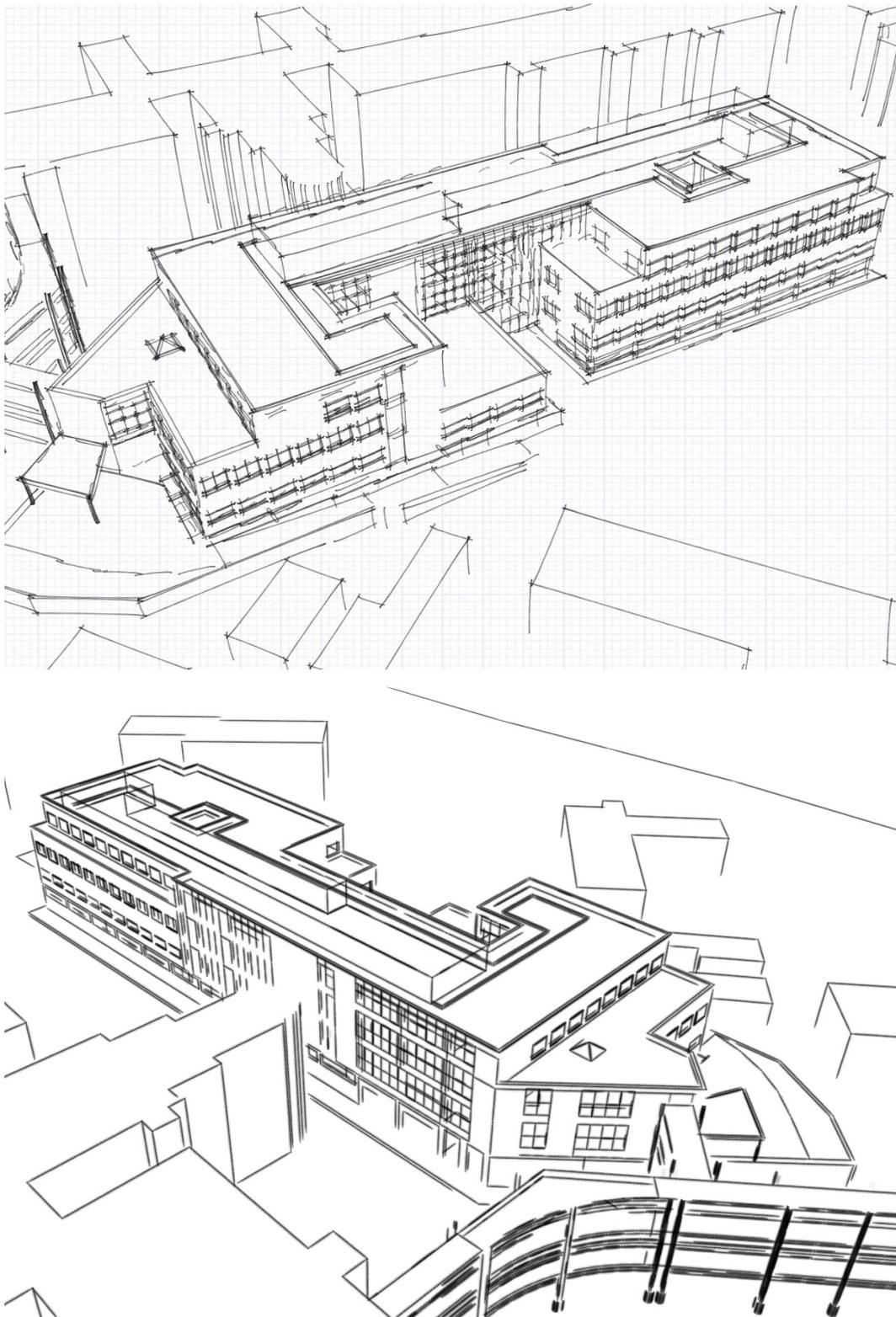


Figura 4.22 - Alcuni schizzi volumetrici inerenti il nuovo padiglione progettato per l'ampliamento dell'Ospedale Macchi a Varese. La necessità di produrre un modello integrato destinato anche alla visualizzazione fotorealistica, ha condotto alla produzione di rendering approssimativi per valutare le corrette angolazioni prospettiche, da utilizzare nelle viste più definite (S. Garagnani, 2010).

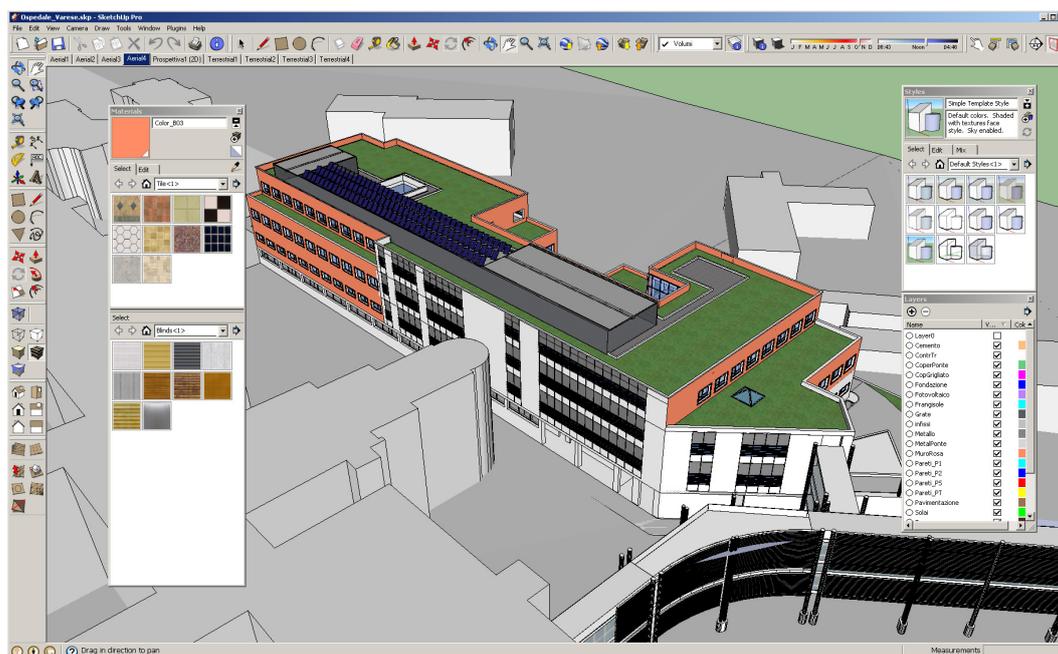


Figura 4.23 - Prima sommaria analisi dei cromatismi e dei materiali opachi e trasparenti condotta con l'importazione della geometria in Google SketchUp (S. Garagnani, 2010).

Borri e Via Guicciardini, a Varese. Il progetto consiste ad oggi nella realizzazione esecutiva e nell'ingegnerizzazione delle linee guida preliminari, già a loro tempo pianificate, preordinate alla realizzazione di interventi edilizi armonicamente integrati tra di loro, riguardanti le costruzioni da realizzare per l'ampliamento e per il sopralzo di edifici esistenti da ristrutturare, nonché di nuovi fabbricati da edificare per la riorganizzazione funzionale e tecnologica dell'intero ospedale.

L'intervento si pone all'interno di un processo più ampio di riqualificazione edilizia e funzionale del Presidio Macchi di Varese, dove il nuovo edificio che verrà realizzato in tre distinte fasi sarà collocato in parte sul sedime di vecchi fabbricati in disuso di cui è prevista la demolizione.

Lo scopo della ricerca sperimentale, legata a questo precipuo caso di studio, è stato quello di preparare un modello di analisi per la fase di realizzazione esecutiva di un edificio *ex-novo*, affrontando problematiche del

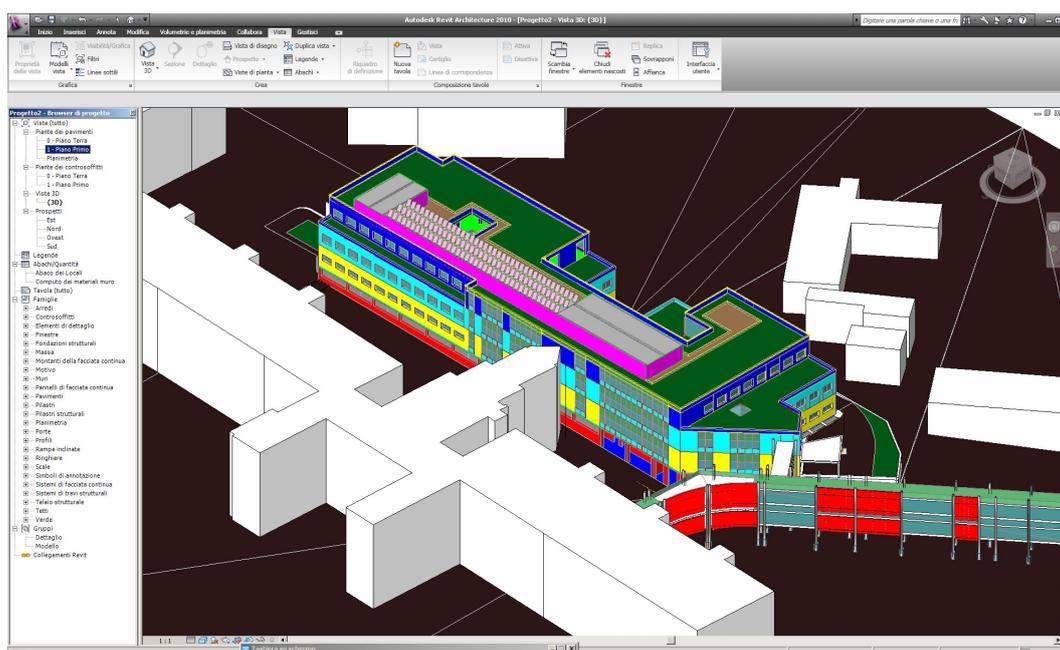


Figura 4.24 - Il modello generale BIM dell'ampliamento, sviluppato all'interno dell'ambiente parametrico Autodesk Revit: ogni singolo livello è stato modellato a partire dalle geometrie del modello preliminare, introducendo le caratteristiche costruttive degli oggetti assemblati (S. Garagnani, 2010).

tutto nuove rispetto a quelle incontrate nella realizzazione degli archivi integrati per edifici esistenti di interesse storico-monumentale, descritti ai paragrafi precedenti.

La complessità dei fattori in gioco, più che la tipologia e la qualità architettonica del progetto, hanno condizionato la scelta del tema. I materiali bidimensionali già prodotti, sotto forma di disegni vettoriali CAD, sono stati alleggeriti eliminando i layer informativi non necessari nella strutturazione delle matematiche tridimensionali.

Di seguito i file ottenuti sono stati importati all'interno di un pacchetto BIM parametrico, **Autodesk Revit**. In questo ambiente si è proceduto alla modellazione dei singoli elementi costruttivi, assemblati tenendo in considerazione le caratteristiche dei materiali e dei metodi costruttivi da seguire per porli in opera correttamente. Revit consente di assegnare agli oggetti dei riferimenti tecnici che non rendono conto solamente della geometria,

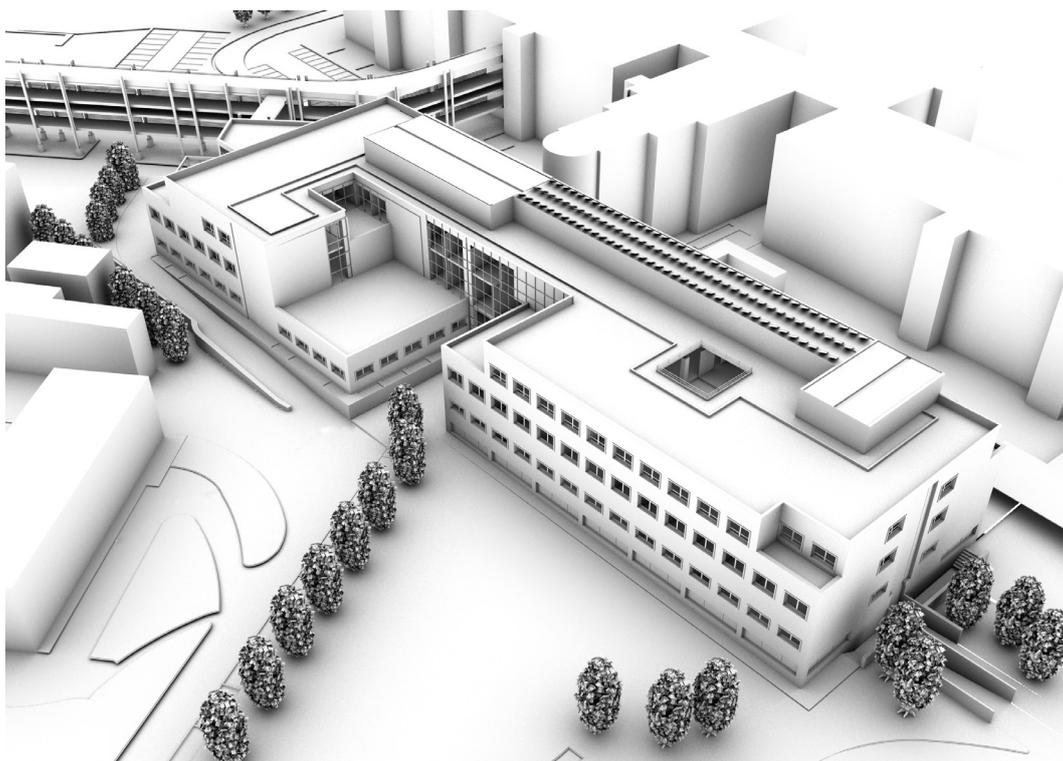


Figura 4.25 - Studio dei volumi definitivi attraverso Autodesk Maya: la tecnica di *ambient occlusion* simula condizioni di illuminazione globale dalle quali è possibile individuare agevolmente la forma dei volumi e delle aperture, in una sorta di *maquette* virtuale a comunicazione del progetto (S. Garagnani, 2010).

ma anche dei valori prestazionali dei componenti, come ad esempio le trasmittanze per i pacchetti di isolamento esterni o le resistenze delle membrature strutturali.

In tal senso Revit costituisce da solo un potente sistema di database, inter-relazionando gli elementi discreti in un unico supporto di memorizzazione. Inoltre l'ambiente permette di operare in tempo reale variazioni al livello di dettaglio (LOD), dal momento che per ogni oggetto presente si possono definire caratteristiche di finitura a complessità crescente, trasmissibili quindi secondo logiche specifiche ad attori che necessitano di informazioni differenziate.

Scrive Nicholas Negroponte nel suo *Essere digitali*: “*Un modo di guardare al futuro di un mondo digitale è di chiederci se la qualità di un mezzo di informazione può essere trasferita ad un altro*”. Il passaggio dunque dal

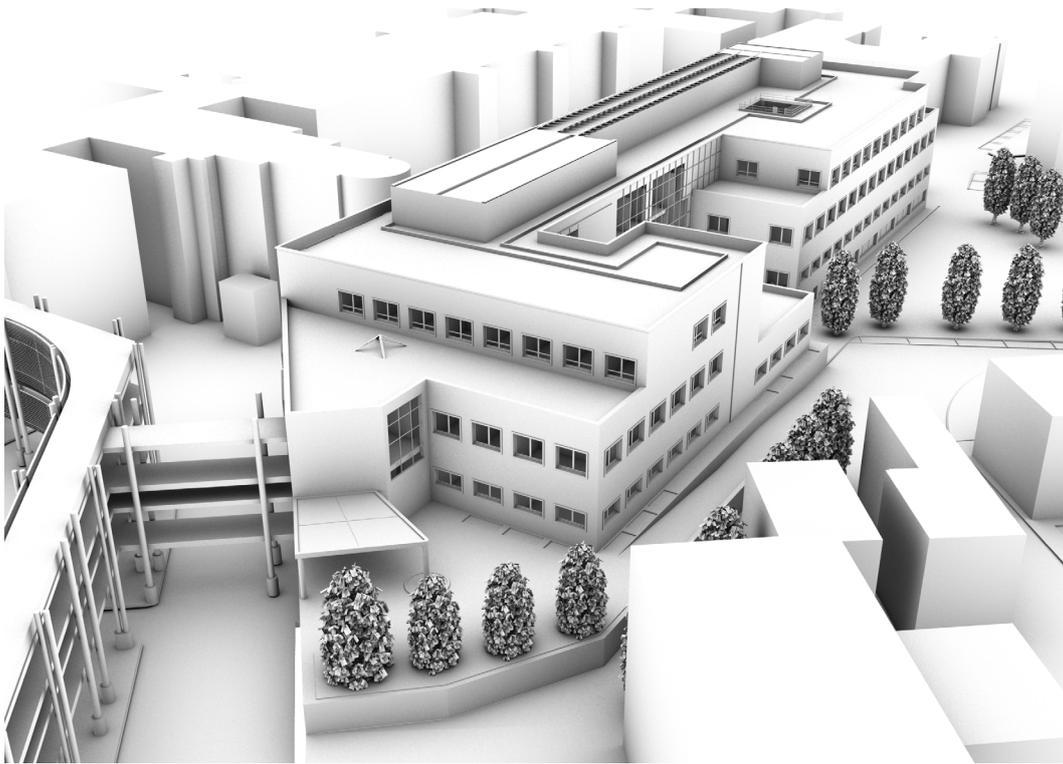


Figura 4.26 - Altre immagini prodotte con Autodesk Maya: in alto, modello rappresentato in *ambient occlusion*, in basso, la stessa vista fotorealistica con applicazione delle tessiture e delle luci ambientali, per la generazione di ombre proprie e portate.



Figura 4.27 - Visualizzazione fotorealistica del complesso ospedaliero per la determinazione delle superfici destinate a copertura verde.

progetto schizzato velocemente sul tipico foglio di carta da parte dell'architetto, verso qualcosa di più complesso, di più sistematico, come può essere il modello esecutivo dell'ospedale Macchi, è dunque un problema di individuazione del mezzo mediante il quale l'informazione, che è una rappresentazione dell'idea mentale, può essere espressa, schematizzata, elaborata ma soprattutto trasmessa.

Più volte si è già espresso il concetto che visualizzare l'architettura è un modo di trasmettere un'intuizione: il passo che un medium moderno come Revit può consentire di stendere è quello di integrare diversi processi mentali in un *continuum* che non necessariamente deve essere rigido e predefinito, staticamente predeterminato, ma al contrario libero di poter

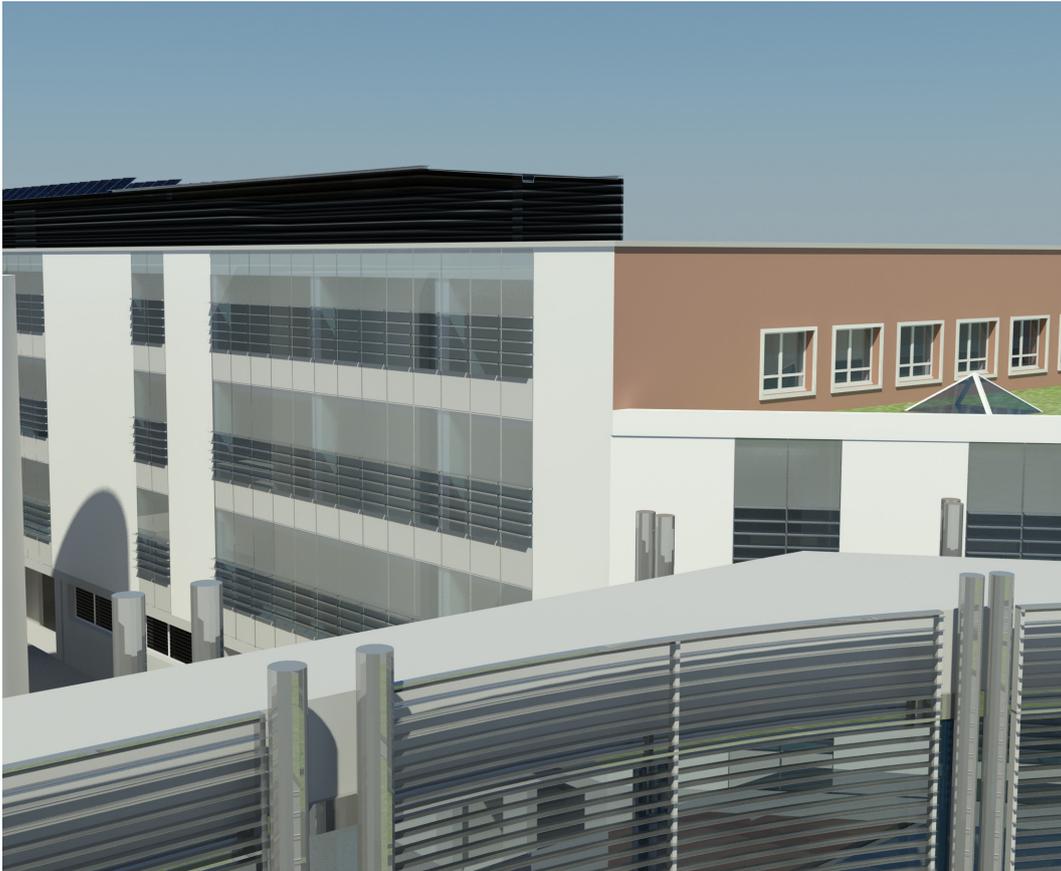


Figura 4.28 - Visualizzazione fotorealistica del complesso ospedaliero per la verifica delle superfici interessate dalla posa in opera di frangisole e materiali traslucidi.

essere manipolato da un'iniziale condizione di disordine (dovuto alla ste-sura delle idee confluenti) verso qualcosa di meglio definito. Un modello digitale presenta oggi le caratteristiche per poter prestarsi a questo tipo di utilizzo espressivo e tecnologico.

Quello che tradizionalmente veniva rappresentato su carta con un insieme di linee atte a disegnare lo spazio, è stato nel tempo convertito informativamente, in una sorta di traduzione letterale delle modalità con le quali il mezzo pre-esistente (carta e penna) si prestava a catturare e trasmettere un'informazione.

E' interessante riferire del processo che ha portato alla modellazione dell'ospedale, in quanto il percorso è stato intrapreso anche in senso op-

posto: infatti per poter studiare con agio le viste da produrre con approccio fotorealistico, richieste dai progettisti e passibili di svariate ore di calcolo per il rendering, si è “importato all’indietro” il modello Revit in SketchUp (figura 4.22) ottenendo rapidamente viste prospettiche che sono state scelte tra un numero ampio di possibilità, per poter poi generare con modellatori più evoluti le rese più dettagliate (come in figura 4.27), comprensive di luci naturali, tessiture di materiali ed ombreggiamenti.

Capitolo V

Verso un sistema integrato per la documentazione d'architettura

“Le scienze non tentano di spiegare, nemmeno tentano di interpretare; le scienze creano soprattutto dei modelli. Per modello si intende una costruzione matematica che, con l’aggiunta di determinate interpretazioni verbali, descrive i fenomeni osservati. La giustificazione di una tale costruzione matematica sta esclusivamente e precisamente nel fatto che ci si aspetta che funzioni”.

John von Neumann

Il cammino intrapreso durante questa ricerca ha permesso di avvicinarsi criticamente a tematiche ben conosciute nella pratica del disegno e della rappresentazione, parallelamente all’esplorazione di strumenti e regole di adozione recente rivolti alla narrazione del costruito.

L’ambiente digitale ha messo in discussione la percezione quadridimensionale acquisita dalla fisica relativistica, introducendo originali suggestioni per immaginare lo spazio e il tempo come realtà (o *virtualità*) nuove.

Il *cyberspazio*, non-luogo effimero dove è edificabile un “*territorio architettonico proprio dell’era digitale*”, come scrive Marialuisa Palumbo¹, è divenuto insieme progetto e medium della propria rappresentazione, in una simbiosi nella quale l’architettura non è più un susseguirsi organico e funzionale di pieni e vuoti, di carichi e spinte, ma una comunicazione di contenuti che attraverso se stessa si interconnette, si relaziona, si scompone mantenendo la propria unità formale.

Il prodotto di questo universo è destinato a sconfinare nel reale, frastagliandosi nelle sfumature stilistiche dell’architettura post-moderna e contemporanea, transitando per un passato che, se attentamente esaminato, non vede in esso una soluzione della propria continuità bensì una naturale evoluzione parametrico-generativa favorita dal nuovo strumento digitale.

Anche le figure professionali che gravitano attorno al pianeta dell’edilizia devono affrontare questo mutamento, dalla sommità della piramide di pro-

¹ - M. Palumbo, “*Response is the medium. Appunti per una nuova rivoluzione organica*”, in L. Sacchi, M. Unali (a cura di), “*Architettura e cultura digitale*”, Biblioteca di architettura Skira, Milano 2003.

getto, fino ai più bassi livelli ramificati di maestranze ed amministratori, figure riunite in un *networking* globale che si auspica capace di riattivare “*parti di un apparato della coscienza a lungo dimenticato*”².

In questo capitolo, nucleo e conclusione della ricerca, verranno presentate proposte metodologiche per individuare processi concreti di elaborazione per archivi digitali, multiformi nei loro contenuti ma omogenei nel “*racconto*” dell’architettura che si prefiggono, insieme ad un criterio possibile di classificazione della loro complessità.

5.1 - La metafora del “tunnel progettuale”.

La tradizione vuole che i progetti caratterizzanti il mondo dell’edilizia siano descritti da numerosi documenti che, come si è mostrato, possono presentare tra di loro sovrapposizioni ed inconsistenze esiziali.

Discostandosi per un momento da tutto quello che è ingiunto dalle normative vigenti in materia di costruzioni (conseguentemente da tutte le operazioni da attuare e le cautele da adottare per ottemperare all’ordinamento legislativo), si possono riprendere le tappe evolutive del processo edilizio, come descritto al capitolo precedente, per esporre come i modelli possano influire su di esso.

In breve, il primo stadio della progettazione si è visto costituito dalla fase *ideativa*, durante la quale i concetti o le suggestioni desunte dall’analisi del contesto nel quale sarà inserito l’organismo edilizio prendono forma e diventano uno spazio, naturalmente nel caso proprio della progettazione *ex-novo*. La seconda fase, quella *realizzativa*, è inclusiva della crescente definizione che via via rende più compiuta l’idea concettuale della fase precedente, portando all’effettiva realizzazione dell’opera. In questa fase entrano in gioco differenti figure nell’ambito del processo edilizio, ognuna facente capo ad una serie di mansioni ben precise di norma afferenti a settori disciplinari anche molto diversi.

La terza fase è stata individuata nella *gestione* dell’organismo edilizio, che prosegue il suo ciclo di vita svolgendo le funzioni per il quale è stato rea-

² - R. Ascott, “*The architecture of Cyberception*”, in “*Architects in Cyberspace*”, Academy edition, London, 1994.

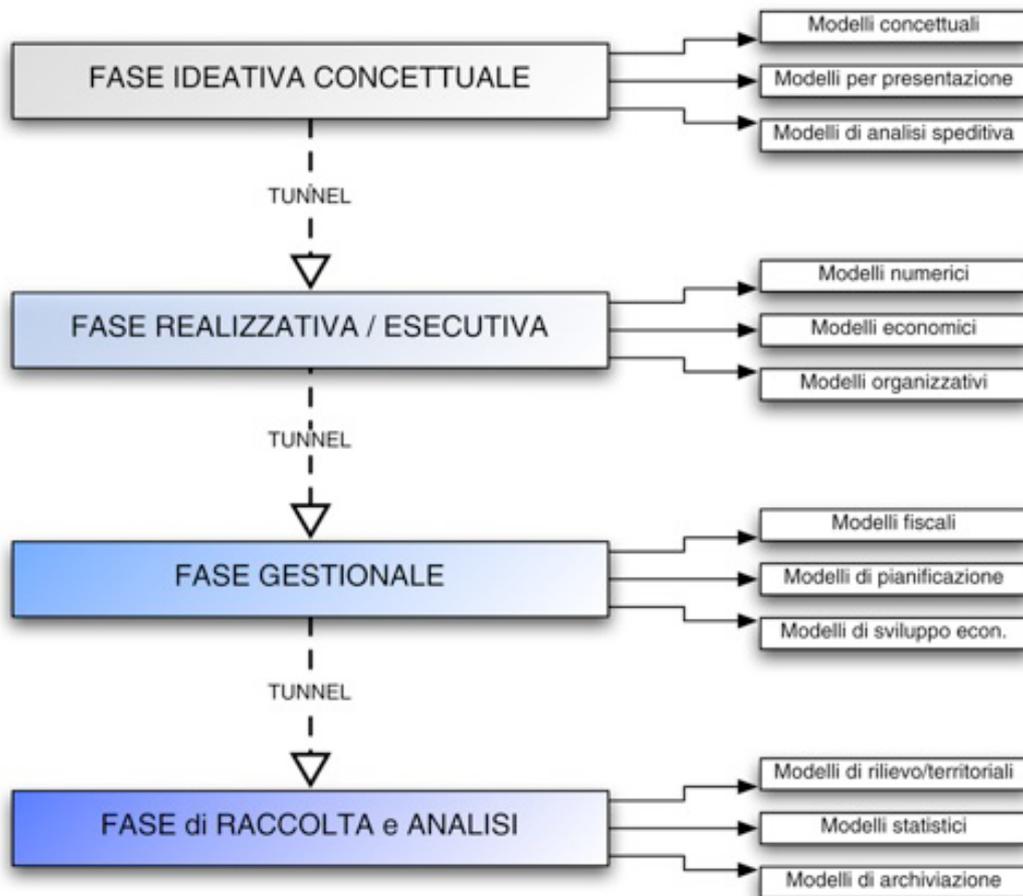


Figura 5.1 - Il "paradigma del tunnel progettuale": ogni fase specifica del progetto di architettura richiede strumenti in grado di modellare e documentare tutti gli aspetti concorrenti, modificando i contenuti dell'archivio digitale a seconda delle esigenze che ogni attore richiede. Il patrimonio informativo dunque può subire mutazioni anche importanti durante il percorso (i *tunnel*) con l'introduzione di ambiguità diffuse.

lizzato e per il quale è necessario approntare dei piani mirati al buon mantenimento ed alla propria sicurezza una volta ultimato. La quarta ed ultima fase vede il fabbricato come la *base dati* per una futura estrapolazione di informazioni³.

In questo modo ogni valutazione riguardante il comportamento degli edifici potrebbe basarsi su dati reali da riutilizzare in un successivo studio di fattibilità per opere similari. Le caratteristiche positive di ogni progetto verrebbero

3 - G. Schmitt, "Information architecture - Basi e futuro del CAAD"- Per l'autore tuttavia, che non prende in considerazione gli aspetti gestionali e amministrativi dei fabbricati, questa costituisce la terza fase di sviluppo di un edificio inteso come un sistema di informazioni.

così utilizzate nel nuovo processo di pianificazione mentre le caratteristiche meno utili nel tempo scomparirebbero, quasi come avviene nella selezione naturale.

La quantità di documentazione da redigere durante ogni singola fase, si è rivelata onerosa in termini di impegno e di risorse, oltre che uno dei terreni più fertili per la proliferazione di incongruenze, reiterazioni e modifiche discordanti, generate il più delle volte da problemi di trasmissione dell'informazione tra le figure coinvolte, tra un stadio e l'altro dell'intero ciclo.

Questo atteggiamento consolidato di procedere è stato interpretato come un algoritmo *top-down*, solo parzialmente ricorsivo, durante il quale tutte le informazioni inserite nei modelli in uso vengono di volta in volta manipolate, partendo da una condizione di pura concettualizzazione, nella quale intervengono modellazioni variamente complesse ma quasi sempre solo geometriche, per arrivare ad una sistematica visione del progetto *as-built*, con modelli preposti alla realizzazione esecutiva dell'opera contenenti un patrimonio cognitivo tecnico completamente diverso.

Per usare una metafora, è come se tutti i modelli utilizzati nelle singole fasi imboccassero un tunnel (costituito dalla fase di elaborazione stessa) durante il quale venissero sottoposti a sviluppo e modifica senza prendere in considerazione le fasi precedenti o seguenti.

All'uscita di ogni tunnel l'archivio informativo appare profondamente modificato rispetto a com'era prima dell'entrata ed è pronto ad imboccare la galleria seguente, responsabile di un ulteriore step evolutivo indipendente che trasformerà nuovamente il modello per astrazioni successive.

Nel tipo di progettazione tradizionale, ognuno di questi tunnel richiede una preparazione specifica del modello digitale ancora prima di entrarvi: ad esempio nella fase realizzativa od esecutiva le matematiche che sono servite per esporre concettualizzazioni architettoniche dell'edificio o visualizzazioni di insieme (attraverso *sketches* o *rendering*) vengono fortemente rimaneggiate per essere importate o rigenerate all'interno di programmi di calcolo in grado di dimensionare profili strutturali o impiantistici, stravolgendolo per approssimazione le forme.

Lo stesso si può affermare per le sintesi che occorre predisporre per la catalogazione e l'archiviazione di informazioni anche su vasta area destinate a fini di analisi urbana e territoriale, soprattutto nella fase di analisi statistica finale: per ragioni di memorizzazione i modelli dettagliati di architettura sono

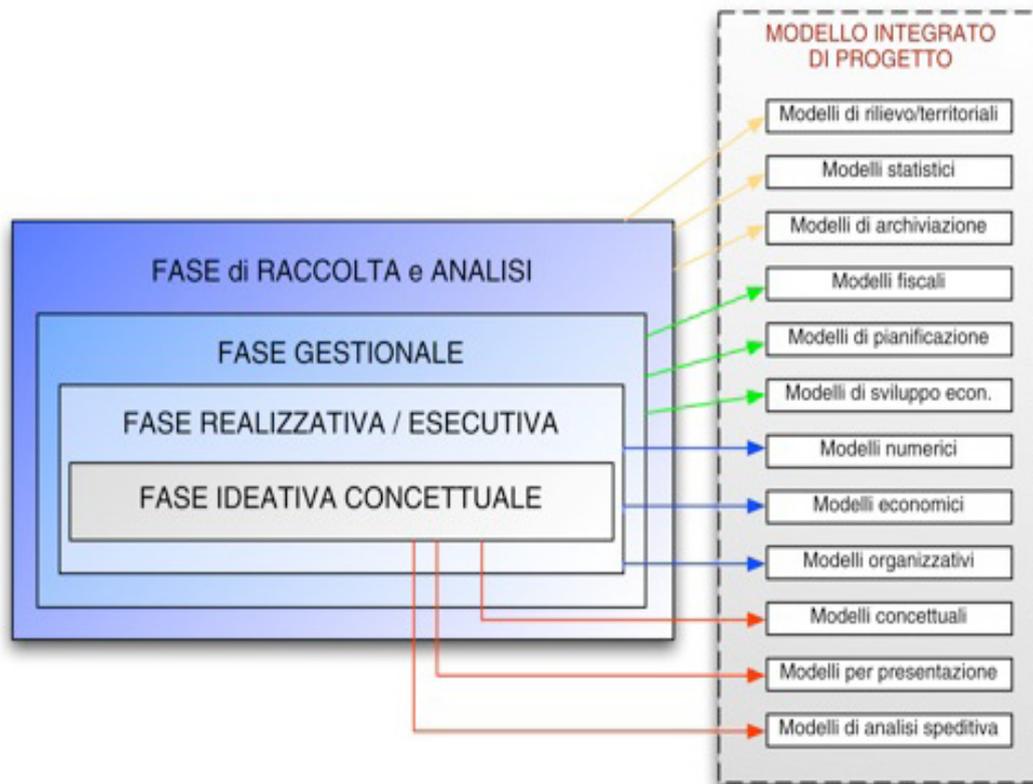


Figura 5.2 - Il modello delle "Scatole Cinesi", secondo il quale tutti i modelli digitali concorrono in un unico archivio centralizzato, che viene ricorsivamente ampliato nei contenuti via via che il progetto si sviluppa.

ridotti a poche primitive grafiche vettoriali, oramai comuni nei sistemi GIS delle Pubbliche Amministrazioni.

I modelli appaiono così riferiti ad astrazioni differenti, mentre dovrebbero invece essere emanazioni congruenti della stessa idea originaria.

Nonostante si siano esposti metodi normati e standard di interoperabilità più o meno collaudati, la tendenza è ancora quella di piegare il modello alle specifiche finalità dell'operazione da compiere, tralasciandone la compatibilità *ex-ante*.

La trasmissione informativa tra operatori e professionisti appartenenti ad aree di intervento precipue per fasi diverse, od anche collaboranti nella stessa fase, amplifica questa problematica di rappresentazione cognitiva.

5.2 - Il modello delle “scatole cinesi”: un paradigma ricorsivo in architettura.

Lo scenario appena delineato dalla “*metafora dei tunnel*” fa emergere un quadro di insieme in cui è possibile evidenziare una sensibile percentuale di criticità nella gestione, nella trasmissione e nel recupero della mole di dati per la quale un modello di progetto dovrebbe essere collettore.

La finalità che ha orientando questa ricerca è stata volta al superamento delle avversità fino ad ora esposte mediante l’analisi e la formulazione di un protocollo realizzativo culminante nei cosiddetti *modelli digitali integrati*, rappresentazioni di organismi complessi a scala di edificio comprensive non solo degli aspetti geometrici ma anche di una base dati estesa, inclusiva di tutte le informazioni metaprogettuali intrinseche nella pratica architettonica.

Il percorso immaginato suggerisce un approccio relativamente nuovo al problema dell’archiviazione e della documentazione dell’informazione di progetto. Un modello digitale integrato, se correttamente strutturato e posto in condizione di collezionare l’informazione necessaria per ogni singola fase del cammino illustrato, potrebbe limitare la perdita o la modifica per corruzione del *data set* veicolato da un passaggio all’altro, superando l’impedimento dei “tunnel”.

L’obiettivo appare raggiungibile instaurando dei cambiamenti del livello di informazione trasferibile, capaci di rendere visualizzabile e/o analizzabile soltanto la porzione conoscitiva delle aree di interesse di ogni singolo attore protagonista di fase. In tal modo il modello verrebbe ad integrarsi e non ad essere continuamente reinterpretato, così che ogni successiva variazione potrebbe ricadere regressivamente a cascata nelle aree di informazione non ancora prese in considerazione sino a quel momento, aggiornando con efficacia e senza ambiguità tutta la documentazione in produzione.

Le modifiche non implicherebbero una mutazione della topologia originale alla base dell’idea del singolo progettista o del team di sviluppo: condurrebbero bensì ad un sempre maggiore livello di dettaglio del modello reso dunque molto più collaborativo e “comunicativo”.

Naturalmente è indispensabile mutare completamente l’approccio metodologico, che deve smettere di essere simile a quello precedentemente illustrato (*top-down*), bensì deve godere di continue ricorsività in grado di met-

tere positivamente in relazione un passo evolutivo con il suo precedente⁴. Da un punto di vista pratico, questo traguardo è ancora di difficile raggiungimento sia in ambito accademico (con la ricerca di algoritmi collaborativi da parte delle università per proporre soluzioni destinate eventualmente al mondo commerciale) che professionale, dal momento che essendo lo strumento informatico il mezzo più adatto per gestire l'archivio edilizio, le case produttrici di software cercano di integrare i vari aspetti necessari in motori proprietari di modellazione, aumentandone contemporaneamente la complessità e vincolandone l'utilizzo solo tra moduli scritti sullo stesso codice, per precludere la concessione di alternative concorrenti.

La possibilità di implementare un modello collaborativo nella gestione documentale dell'informazione nel processo di architettura, deve tener conto però di alcune oggettive difficoltà in termini di coordinazione, per non ricadere nei toni ditirambici che le *software house* stanno utilizzando per promuovere i loro prodotti a scapito delle reali necessità dei progettisti.

Amministrare una grande quantità di dati, richiede un approccio scientifico discriminante: permettere ad esempio la consultazione e la manipolazione di specifici sottodomini del *dataset* generale del modello digitale integrato solo a specifiche figure (pur consentendo che le modifiche da esse operate si ripercuotano a cascata) consentirebbe di limitare l'impegno di analisi dell'intero sistema, dedicando risorse al singolo utente.

La problematica di stabilire la modalità di discretizzazione che meglio si potrebbe adattare agli attori coinvolti però appare di notevole difficoltà.

Probabilmente un approccio di tipo statistico od organizzativo, come ad esempio l'utilizzo del cosiddetto "*framework di Zachman*" (anche se applicato più frequentemente a quadri decisionali di impresa⁵), oppure l'uso di paradigmi della matematica bayesiana o dell'algebra relazionale, potrebbero definire varie astrazioni o prospettive per il raggiungimento dell'obiettivo di integrazione globale e critica dell'informazione.

Uno degli sviluppi futuri di ricerca, non oggetto tuttavia di questa ricerca

4 - Nella teoria della calcolabilità, un insieme ricorsivo è intuitivamente un gruppo di numeri naturali, per cui è possibile costruire un algoritmo che in un tempo finito (ma a priori non predeterminato) sia in grado, dato un qualunque numero naturale, di stabilire se esso appartiene o no all'insieme. Metaforicamente, un'interrogazione ad un modello integrato dovrebbe essere paragonabile a questo algoritmo, dove chi consulta il database accede solamente alla porzione di dati che interessano il suo operato, sottoinsieme generato dall'algoritmo di consultazione stesso.

5 - Il *framework di Zachman* è un metodo formale altamente strutturato per descrivere obiettivi, azioni e finalità di un'impresa. Sviluppato all'IBM negli anni Ottanta da John Zachman, è stato ripreso di recente per definire tassonomie d'architettura.

volta ad ambiti prettamente sperimentali, potrebbe volgersi proprio nell'implementazione di strategie matematico-astratte per filtrare le differenti conoscenze professionali, adattandole criticamente alle necessità di pertinenza singola, rapportando però sempre il particolare al generale, di concerto con lo sviluppo di software applicativi evoluti.

Questo lavoro, mirato invece alla determinazione di una filiera produttiva che possa avvalersi di strumenti collaudati e già esistenti, non ha fatto uso di tecniche di programmazione informatica vere e proprie, dal momento che la scrittura di un software con le caratteristiche espresse dovrebbe essere la derivazione di un metodo e non, come purtroppo si è sperimentato, la coerenza di utilizzo di procedure definite in modalità "chiusa" dai produttori. Il paradigma delle "scatole cinesi", così come presentato in questo lavoro, è prima di ogni altra cosa un processo, un criterio ricorsivo che tende ad incrementare il livello di informazione contenuta in un modello, integrando gli esiti prodotti da diversi strumenti analitici e grafici in un catalogo digitale indiviso.

Al paragrafo 5.4 verrà proposto un possibile metodo operativo che individua la successione in progressione degli strumenti adatti o adattati per fabbricare i singoli modelli di fase, che convergeranno nell'archivio finale organizzandosi all'interno di aggiornamenti stratificati a dettaglio crescente (proprio seguendo la logica delle scatole cinesi, dove ogni contenitore viene racchiuso all'interno di una scatola più grande che a propria volta è inclusa ricorsivamente in un involucro più esteso).

5.3 - Valutazioni di efficacia per un sistema di modellazione.

5.3.1 - Parametri di definizione per le finalità di un modello digitale.

Il processo delle "scatole cinesi" appena descritto produce oggetti ramificati secondo logiche aggregative legate alle necessità che si presentano nelle fasi di progetto, pertanto è utile ed importante stabilire un principio ordinatore per la complessità che si viene a creare progressivamente, concretizzabile mediante la formalizzazione di classi gerarchiche non solamente degli elementi modellabili ma più in generale delle nozioni di varia natura

che le figure collaboranti convogliano nell'archivio finale⁶. In questo modo la struttura si ordina in sottoinsiemi ai quali viene assegnato solitamente un numero d'ordine (chiamato *livello*) che ne dichiara la valenza e la posizione per importanza.

Conseguentemente l'interazione tra sottoinsiemi dipende da principi generali che ne regolano il comportamento tra oggetti appartenenti a livelli differenti, traducendosi nella trasmissione di informazioni veicolate in maniera tale che tutti i sottosistemi di "*passaggio*" divengono *classificatori*, che filtrano il dato in base al suo livello di importanza.

Nello specifico, un sistema conoscitivo legato all'architettura può essere descritto come una raccolta di oggetti strutturati, identificati attraverso un preciso vocabolario architettonico che rende conto dei metodi e dei livelli di precisione nella restituzione e nell'assemblaggio che forma l'insieme edilizio.

Alexander Tzonis e Leo Oorschot hanno classificato lo spazio architettonico mediante un criterio di astrazione⁷, definito in ordine gerarchico come:

- *clustering level*, o livello di gruppo, in cui ogni oggetto è descritto in termini di attività, persone, dotazioni, localizzazioni in senso astratto;
 - *livello topologico*, relativo alle connessioni con le quali le varie ubicazioni di oggetti sono collegate tra loro;
 - *livello metrico*, depositario delle conoscenze morfologiche dei singoli componenti architettonici e del modo in cui questi occupano lo spazio euclideo.
- Similmente la costruzione di modelli tridimensionali può avvenire analizzando la composizione formale e strutturale dell'insieme degli elementi del vocabolario architettonico.

George Stiny e William Mitchell hanno teorizzato invece una grammatica della forma che si rifà a questo tipo di formalismo, rendendone però la gerarchia più ramificata, sulla base degli studi di Aristid Lindenmayer sulle relazioni presenti nelle strutture vegetali.

La definizione di modello, così a lungo evocato in questo scritto, diviene quella quindi di una gerarchia strutturale di dati destinati alla conoscenza, ovvero un collettore cognitivo che viene richiamato come una "*rappresentazione della realtà utilizzata per compiere esperimenti*" (A. Colorni, 2000). Tale rappresentazione può essere manipolata, scomposta nei suoi elementi costituenti, può addirittura essere trasformata in astrazione superiore che

⁶ - Questo il significato intrinseco di "modello digitale e archivio di progetto", che ispira il titolo per questo lavoro sperimentale di ricerca.

⁷ - A. Tzonis, I. White, "Automation Based Creative Design, Research and Perspectives", Elsevier, Amsterdam 1994.

tende a simulare la complessità della realtà oggetto di indagine, sotto differenti punti di vista.

La costruzione di un modello digitale integrato di questo tipo si articola in generale secondo tre fasi distinte e successive, individuabili nella *sintesi*, nella *riduzione* e nella *proiezione*.

Durante la **sintesi**, l'oggetto da modellare viene estratto dalla realtà cui appartiene (o, nel caso del progetto ex-novo, viene plasmato nei contenuti dall'idea che il progettista intuisce) per essere replicato idealmente e formalizzato nel modello informativo, composto da forme geometriche pure opportunamente assemblate, le quali approssimano la forma anche complessa e irregolare dell'elemento come è o come sarà nello spazio reale.

Caratteristica essenziale del modello digitale durante questo sviluppo, ma con considerazioni che è possibile estendere anche a quelli geometrici o plastici, è quella di consentire la ricostruzione per omologia, nello spazio, del soggetto rappresentato.

Nella seconda fase, la **riduzione**, il modello geometrico può essere semplificato in modo che le sue dimensioni siano controllabili dalle capacità di memoria del computer, che ne preparerà a seconda dell'esigenza gli elementi da visualizzare o ne simulerà il comportamento mediante calcoli analitici, filtrando i dettagli più minuti se sono stati modellati o preparando un surrogato dell'oggetto reale astraendone il livello di precisione documentale.

Infine con la **proiezione**, il modello geometrico eventualmente ridotto viene sottoposto alle operazioni di proiezione e sezione, che producono graficismi del modello stesso (disegni tecnici ricavati o rendering delle viste) oppure delle sue caratteristiche comportamentali (analisi del comfort termico, prestazione strutturale, contenimento delle emissioni nocive, ecc..., visualizzabili ad esempio come mappature cromatiche sovrapponibili alla geometria digitale), permettendo al progettista di valutarne con immediatezza le qualità formali e di operare su di esso.

L'intero processo qui descritto può essere percorso in due versi: quello che va dalla realtà al modello e quello che va dal modello alla realtà. Nel primo caso il processo è asservito al *rilievo*, nel secondo al *progetto*. Inoltre i passi sono ciclicamente ripetibili, dal momento che le fasi di sviluppo schematizzate dalle "scatole cinesi" richiedono una ricorsività delle informazioni da inserire o da togliere nel modello. Quest'ultimo quindi si amplia nel tempo, a seconda di quante volte viene sottoposto a cicli di sintesi, riduzione e pro-

iezione, variando i propri contenuti. Per individuare un criterio oggettivo di stima e quantificare l'utilità di un modello in rapporto agli sforzi necessari per elaborarlo, si è dapprima cercato di individuare le criticità alle quali deve fare fronte. Rapportandosi alle tre fasi di sintesi, riduzione e proiezione, si ritiene siano isolabili dei parametri oggettivi per inquadrare le caratteristiche di un archivio integrato.

Nella sintesi ad esempio, si deve valutare l'aspetto numerico della forma, generando le matematiche che dovranno replicare le geometrie, come un *metaverso digitale* a simulazione del reale.

Pertanto stabilire il *livello di dettaglio* (che sarà da ora abbreviato in "d") raggiungibile nel modello è importante quanto comprendere che esso è in diretta proporzionalità con il *tempo* "t" necessario per acquisirne o immaginarne estremi e informazioni: infatti sia a livello di contenuti urbanistici, territoriali, storici, che a livello di forma, funzione, materiali ed impianti, l'archiviazione digitale implica lo stoccaggio ragionato di un patrimonio di dati che nelle varie fasi di progetto richiede tempo per essere recepito e documentato.

E' poi durante la riduzione che l'intero complesso informativo viene per l'appunto ridotto, conformato cioè alle necessità specifiche con cesure nette degli aspetti alieni alle *finalità* "f" per le quali è preparato, senza tuttavia intaccarne l'insieme cognitivo originale, del quale si apprezzano solamente gli aspetti dettati dall'esigenza del momento.

E' il caso ad esempio delle verifiche alle strutture sotto comportamento sismico: gli algoritmi agli elementi finiti simulano gli effetti delle sollecitazioni su un set ridotto di proprietà degli oggetti modellati, pertanto non occorre conoscere la qualità delle eventuali finiture di una parete quando questa viene considerata solamente come astrazione geometrica semplificata indicante un setto. Da un punto di vista informatico, l'alto grado di complicazione raggiunto inizialmente viene frazionato eliminando quanto il quel momento superfluo, rendendo più contenuto il *peso* "p" del modello perequato.

La proiezione successiva vede il tempo questa volta funzione del *supporto* "s", sia esso informativo che tradizionale, con il quale presentare analisi e verifiche; immaginando il modello fruibile in un contesto di cantiere, occorre progettare l'accessibilità dello stesso ad esempio su apparecchiature in grado di agevolarne la consultazione in tempi brevi, oppure rendere disponibile con immediatezza il contenuto analitico centralizzato a chi ne facesse richiesta tramite strumentazioni versatili.

Queste proiezioni di informazioni su terminali ragionati richiede conversioni che implicano un investimento di tempo, da parte di progettisti e *model manager*.

In estrema sintesi l'efficacia di un sistema di modellazione come quello delle "scatole cinesi" teorizzato in questo studio, tenendo conto che si tratta di un approccio a complessità crescente con la raffinazione del progetto, è influenzata e determinata da differenti parametri, specifici di contesti iterativi e riassumibili come segue:

sintesi	t è funzione di d	-t => -d	minore è il tempo di sviluppo, minore è il dettaglio del modello
riduzione	f è funzione di p	+d => +p => +f	maggiore è il dettaglio, maggiore è il peso del contenuto informativo, quindi utile per più finalità
proiezione	t è funzione di s	+p => -s => +t	la proiezione di un modello "pesante" inibisce molti "supporti" di visualizzazione, quindi il modello richiede tempo di preparazione per "girare" su di essi

5.3.2 Il rapporto di complessità

L'efficacia di un modello digitale in osservanza alle motivazioni per le quali è stato generato, è valutabile criticamente individuando una soglia oggettiva di definizione per i valori di ciascuna delle variabili isolate in precedenza.

Facilmente si intuisce che alzando il livello di dettaglio in fase di sintesi, maggiore sarà il tempo necessario per modellare elementi e reperire informazione più ampia in merito ad essi, aumentando il peso di archiviazione e conseguentemente la fruibilità durante la riduzione (molta informazione, seppur da filtrare consapevolmente, favorisce numerosi possibili utenti e svariati software interoperabili), anche se per la proiezione dei risultati sui visualizzatori finali potrà occorrere molto tempo di traduzione ed estrapolazione dei dati.

E' però molto difficoltoso quantificare in maniera oggettiva valori di riferimento per le variabili dichiarate, in ragione dell'eterogeneità degli elementi valutabili e della scalabilità del modello a "scatole cinesi", che incrementa i propri contenuti nel tempo con necessarie revisioni dei parametri generativi

in corso d'opera. Mutuando dagli studi sulla matematica frattale di Benoit Mandelbrot⁸ il concetto di dimensione di autosimilarità⁹, si propone di valutare numericamente l'efficacia di un modello attribuendo ad esso un valore, definito come *rapporto di complessità* R_c , derivabile essenzialmente da una trasformazione geometrica chiamata omotetia, la quale permette di ingrandire o ridurre una figura frattale, in questo caso il modello, lasciandone inalterata la forma generale. La ricorsività formale che si instaura, particolarmente evidenziabile nella variabilità di contenuti che si accresce durante lo sviluppo del un modello stesso, è auto-similare dal momento che replica iterativamente la propria struttura nel corso della produzione.

Schematicamente il concetto ricorda il *triangolo di Sierpinski* (figura 5.3), un frattale auto-similare composto da una ripetizione di tre elementi per modulo, similmente all'approccio variazionale tripartito che descrive i modelli digitali come esprimibili in tre dimensioni (non quelle topologiche della geometria cartesiana bensì quelle legate ancora alle fasi di sintesi, di riduzione e di proiezione).

Immaginando di avviare il processo da una modalità di modellazione concettuale per essere gradualmente sviluppato nei contenuti, si stabilisce che nel momento in cui l'archivio informativo viene modificato sostanzialmente si ha uno step evolutivo del modello. Ciò avviene per una qualunque variazione in sintesi, in riduzione od in proiezione, oppure se variano tutte e tre. Il triangolo di Sierpinski si sviluppa analogamente ed è dotato di una caratteristica specifica che lo descrive, rappresentata dalla *dimensione frattale di Hausdorff*, un numero reale esteso non negativo associato a un generico spazio metrico avente la forma costante di:

$$\frac{\log(3)}{\log(2)} = 1,584$$

La formulazione di Hausdorff fornisce un modo accurato per valutare la dimensione di uno spazio arbitrario, inclusi insiemi complicati come i frattali. Essendo un valore costante, per individuare un parametro che renda conto

8 - B. Mandelbrot, "Gli oggetti frattali", Einaudi, Torino, (prima edizione francese 1975).

9 - La "dimensione di autosimilarità" o "dimensione frattale di Hausdorff" è un parametro che determina il "grado di irregolarità" dell'oggetto frattale preso in esame ed è spesso indicata con la lettera "D". Per le forme euclidee, la dimensione è un concetto semplice, descritto da valori interi. Per un segmento continuo, che non contiene frattali, D equivale a 1 ; per un'area completamente riempita, il valore è 2. Per uno schema frattale, tuttavia, la ripetizione della struttura fa sì che la linea occupi un'area. D assume quindi un valore intermedio tra 1 e 2 (man mano che la complessità e la ricchezza della struttura da ripetere aumentano, il valore si muove velocemente verso 2).

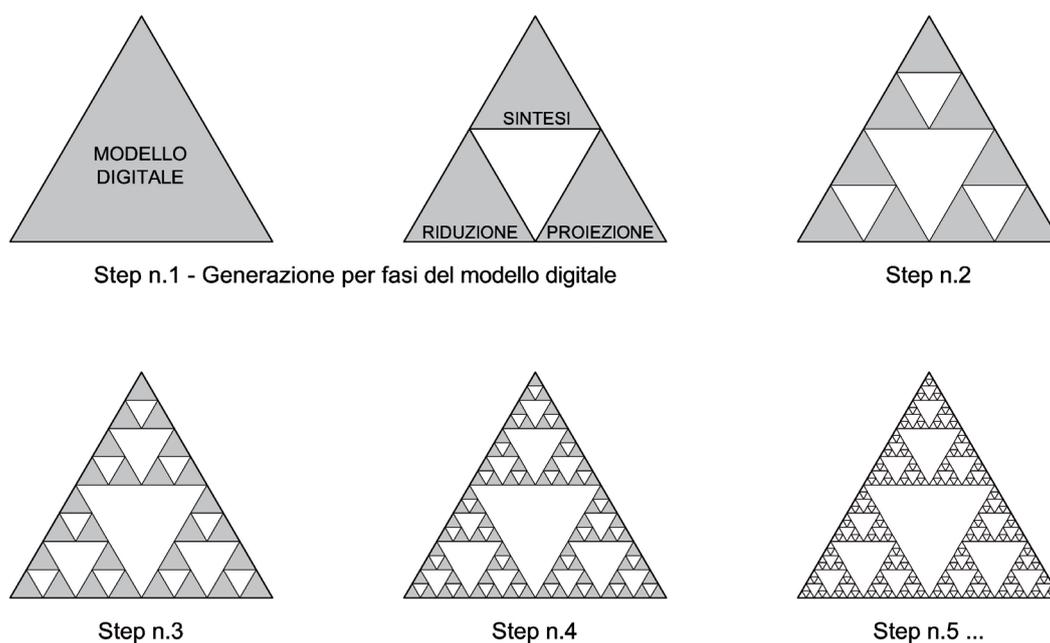


Figura 5.3 - Il triangolo di Sierpinski, una figura frattale auto-similare che diviene sempre più complessa al variare dello step di ricorsività: analogamente, un modello digitale (tripartito nelle proprie caratteristiche di sintesi, riduzione e proiezione) incrementa i propri contenuti a seconda degli step di sviluppo che ne accrescono il patrimonio informativo intrinseco.

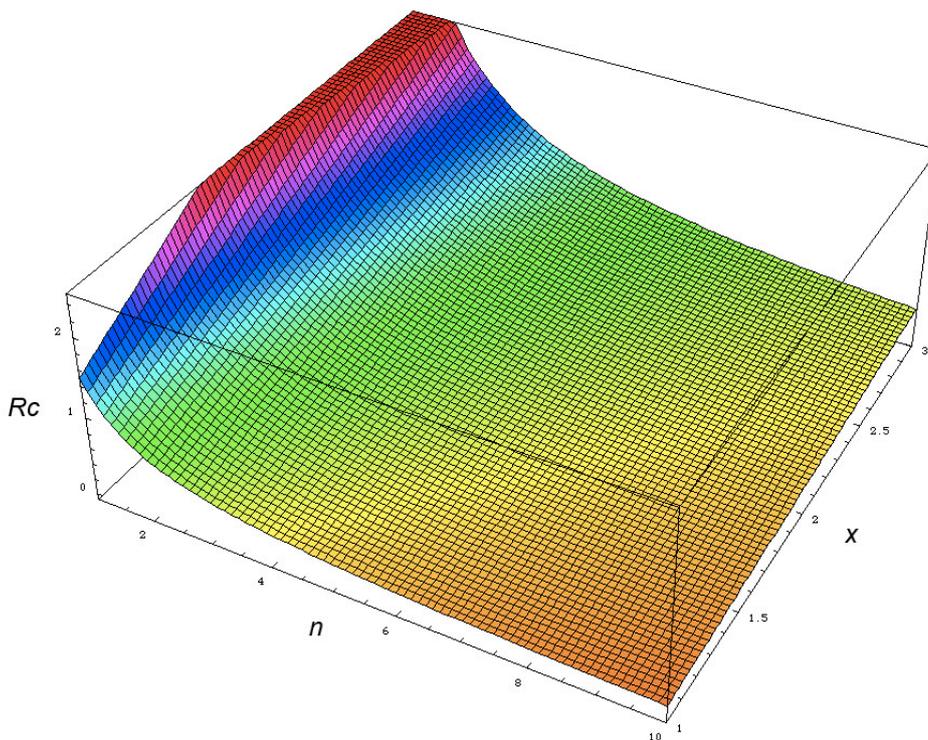
dell'evoluzione del modello, occorre associare ad esso un parametro che descriva lo step di sviluppo e quante fasi intervengano nel suo incremento. Si può assumere pertanto come *rapporto di complessità* R_c il valore:

$$R_c = \frac{x \log(3)}{n \log(2)}$$

dove n rappresenta il numero di *livelli di sviluppo per fasi successive*, mentre x è un numero intero naturale ($x = 1,2,3$) risultato della sommatoria di valori positivi unitari da considerare per ciascuna fase se in questa sono avvenute mutazioni consistenti del modello.

Se infatti si genera una qualunque rappresentazione digitale, ad esempio

```
In[4]:= Plot3D[(z+Log(3))/(x+Log(2)), {x, 1, 10}, {z, 1, 3}, AxesLabel -> {"n", "x", "Rc"}, ColorFunction -> Hue, PlotPoints -> 80]
```



```
Out[4]:= - SurfaceGraphics -
```

Figura 5.4 - Grafico dell'andamento della funzione di R_c , "rapporto di complessità" per modelli integrati digitali strutturati secondo il metodo delle "scatole cinesi". Maggiormente un modello è evoluto nel contenuto, più R_c tenderà ad un valore nullo. Nel grafico si riportano i valori per gli intervalli positivi di riferimento per il numero di step evolutivi e i livelli singoli di intervento ($n = 1, 2, \dots, 10$ ed $x = 1, 2, 3$). Le elaborazioni numeriche sono state condotte con il software Mathematica 5.0.

per un sommario studio preliminare di volumi architettonici, essa sarà ascrivibile ad $n = 1$ dal momento che al primo passo viene generata almeno una sintesi, una eventuale riduzione ed una proiezione, anche semplicemente a schermo di calcolatore.

Ogni rifinitura successiva, oppure ogni sviluppo analitico, oppure ancora ogni arricchimento informativo introdotto, costituirà un raffinamento che, se avrà comportamento variazionale in una qualunque delle tre fasi descritte (vale a dire se muterà anche solo una delle informazioni di sintesi, riduzione o proiezione), condurrà ad un incremento di n .

Un rapporto di complessità R_c decrescente indica pertanto un livello di evoluzione dell'informazione modellata, garantendone una più estesa possibi-

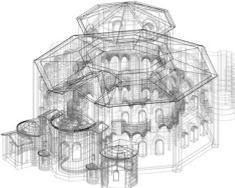
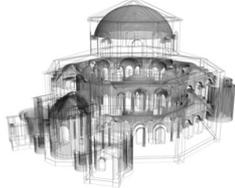
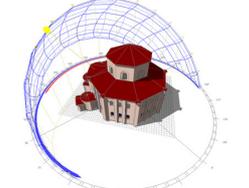
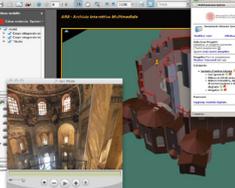
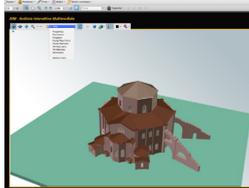
lità di utilizzazione da parte di utenti e programmi diversi; come si evince dall'andamento del grafico di figura 5.4, dove vengono visualizzati solamente i valori positivi di R_c , di x e di n , il livello di complessità di un modello digitale diminuisce seguendo questa logica molto velocemente nelle prime fasi di integrazione, assestandosi successivamente su di una risposta più graduale e tendendo al limite asintotico nullo.

E' dunque lecito affermare che un modello digitale sottoposto a numerosi step evolutivi e ricco di informazione possiede un rapporto di complessità che tende ad annullarsi, sebbene tale andamento non segua un decremento lineare dove ad ogni step corrisponde un valore sempre più basso, dal momento che esso dipende dall'entità della variazione occorsa durante il processo: in altre parole R_c tende più velocemente a 0 per valori bassi di x ad ogni passo n .

Esaminando il modello realizzato per lo studio della Basilica di San Vitale a Ravenna, esposto nel capitolo quarto, si può sintetizzare il processo realizzativo come segue:

Successione	Descrizione di fase	Variazioni in sintesi (s)	Variazioni in riduzione (r)	Variazioni in proiezione (p)
Step n. 1	Modellazione sommaria della Basilica per valutare modi e tempi della campagna di rilievi.	1	1	1
Step n. 2	Inserimento di un livello di dettaglio maggiore, derivante da informazioni reperite durante i rilievi.	1	1	0
Step n. 3	Inserimento dei panorami digitali QTVR nelle posizioni di presa per le misurazioni ottiche e acustiche.	0	1	1
Step n. 4	Texturing di immagini fotografiche disposte nel modello per la definizione dei materiali.	0	1	1
Step n. 5	Semplificazione e inserimento del modello nei software per le analisi illuminotecniche ed acustiche.	0	1	1
Step n. 6	Preparazione di un archivio integrato, sotto la forma di PDF tridimensionale, per la fruizione dei contenuti ricavati dagli step precedenti.	0	0	1

Calcolando quindi il rapporto di complessità per ogni singola fase, si ottengono i valori numerici riportati nella tabella alla pagina seguente, dove si evidenzia come R_c tenda a diminuire.

<p>Step n. 1 x = 3 R_C = 1.89</p>		<p>Step n. 4 x = 2 R_C = 0.31</p>	
<p>Step n. 2 x = 2 R_C = 0.63</p>		<p>Step n. 5 x = 2 R_C = 0.25</p>	
<p>Step n. 3 x = 2 R_C = 0.42</p>		<p>Step n. 6 x = 1 R_C = 0.10</p>	

Questo modello interpretativo configura il contributo di ogni attore come uno sviluppo personalizzato del modello digitale, che diventa integrato nel momento in cui esso stesso affina un risultato precedentemente conseguito e si pone contemporaneamente come piattaforma per gli eventuali step successivi.

All'interno del paradigma delle "scatole cinesi", il rapporto di complessità trova applicazione come parametro descrittore della complessità intrinseca dei modelli di rappresentazione per tutte le fasi di esecuzione del processo edilizio, dal concept alla manutenzione post-costruzione. E' tuttavia da intendere come un valore che, raggiunta una determinata soglia limite, consente di poter disporre di un minimo patrimonio informativo per poter accedere alle fasi ulteriori. Infatti lo studio dei prototipi ha evidenziato come le valutazioni che si fondano sulle similitudini frattali esposte, facciano riferimento solamente ad aspetti morfologico-strutturali per i contenuti del modello, senza entrare nel merito di come il contributo cognitivo di ogni singolo attore partecipante sia stato maturato o acquisito. E' questo aspetto il nucleo dell'idea stessa di progetto, inteso come attività creativa umana volta ad esprimere l'architettura come processo culturale vario ma organizzato. Scrive Lotam che *"lo spazio architettonico è semiotico. Ma lo spazio semiotico non può essere omogeneo: l'eterogeneità strutturale-funzionale"*

*è l'essenza della sua natura. Da ciò deriva che lo spazio architettonico è sempre un insieme. Un insieme è un intero organico nel quale unità varie e autosufficienti intervengono come elementi di un'unità di ordine più elevato; restando intere diventano parti, restando diverse diventano simili*¹⁰.

Con un criterio empirico, derivato da considerazioni emerse nei prototipi descritti in precedenza, i modelli digitali interpretativi delle fasi concettuali, realizzative, gestionali e analitiche possono ritenersi adeguati per la transizione quando hanno raggiunto un valore di R_c pari almeno a 0,10 per ogni variazione sostanziale di contenuti implementata; tale valore corrisponde circa alla porzione di curva che tende ad avere andamento asintotico orizzontale (figura 5.4).

5.4 - La modellazione integrata come risposta alla gestione del progetto.

Lo strumento digitale agevola la produzione di oggetti tridimensionali estesi e complessi ma impone allo stesso tempo un'abilità di modellazione ed una pianificazione del flusso di lavoro che risultano estranee a molti utilizzatori. Come un CADD, il tipo di impiego che viene attualmente fatto della modellazione informatica è quello di uno strumento separato concettualmente dalla progettazione, utile solamente per produrre la documentazione tecnica necessaria ad adempiere agli obblighi formali.

Malgrado ciò un crescente numero di studi tecnici sta iniziando a sfruttare pacchetti BIM e modellatori parametrici per la produzione di risultati coerenti tra loro e conseguire in minor tempo una più alta produttività.

L'abilità di estrarre informazioni geometriche e proprietà da un modello di edificio per utilizzarle direttamente ed al meglio nel progetto, nell'analisi, nei piani di costruzione e fabbricazione, o nelle operazioni in cantiere è un salto procedurale che probabilmente sarà universalmente comprensibile ed attuabile solo tra una decade, dal momento che le implicazioni insite nella tecnologia vengono scoperte ancora gradualmente.

Ciò che invece si rileva già da ora è che la modellazione digitale integrata basata su oggetti risolve molti dei problemi di rappresentazione in architet-

¹⁰ - J. M. Lotam, "Il girotondo delle muse: saggi sulla semiotica delle arti e della rappresentazione", Moretti e Vitali, Bergamo 1998, p. 48.

tura ed in ingegneria. Il *gap* esistente tra la concezione dello strumento tecnologico come un congegno avviato per documentare, ovvero *raccontare* il progetto, invece di un apparato in grado di stimolare ed agevolare la progettazione edilizia si può colmare facendo utilizzo di tecniche che concorrono ad entrambi i risultati.

Così come nel corso della ricerca si è auspicata una modalità di lavoro collaborativa tra le diverse figure che si incontrano lungo la filiera produttiva, anche un modello integrato dovrebbe consentire lo stesso tipo di approccio partecipativo.

La ricerca e l'utilizzo di pacchetti software estremamente verticali, come quelli che sono stati presentati come infallibili metodi BIM di catalogazione semantica per tutte le proprietà dello spazio costruito, hanno messo in rilievo che il più delle volte essi sono stati generati per rimanere dispositivi autoreferenziali unici, con la pretesa di gestire tutta la catena progettuale più o meno approfonditamente e sotto molteplici aspetti.

La possibilità invece di utilizzare le potenzialità singole di ogni strumento ad oggi disponibile per far convergere i risultati in un'unica forma di modello digitale è stato uno degli obiettivi perseguiti fortemente da questo lavoro.

Si è cercato di assemblare una catena di programmi analitici avente la finalità di presentare un prodotto finito come risultato della raccolta di tutti gli elementi conoscitivi concentrati intorno al progetto: si sono seguite le fasi descritte nel capitolo tre in maniera tale da poter supportare le decisioni che i professionisti devono prendere all'interno di ognuna di esse con strumenti più possibile vicini alla reale necessità di quel momento.

Lo step di metaprogetto concettuale vede così fare un largo utilizzo di tecnologie che possono permettere un'adeguata conoscenza del sito, come ad esempio tutti quei programmi che rendono conto delle situazioni ambientali, delle esposizioni ad agenti atmosferici o venti, o dell'illuminamento solare. Strumenti in grado di definire volumi e masse sono in questa fase estremamente importanti per stimare le grandezze in gioco, pertanto concettualizzazioni dalla non eccessiva precisione numerica ottenibili da modellatori di fascia bassa come *Sketchup* o *Bonzai3D* si rivelano particolarmente utili e permettono di esportare modelli facilmente leggibili da altri pacchetti destinati alle analisi preliminari, come ad esempio *Autodesk EcoTect*.

Formati puramente geometrici come il DXF o il 3DS non hanno complicazioni tali da far smarrire informazione nella traduzione, essendo questa ancora

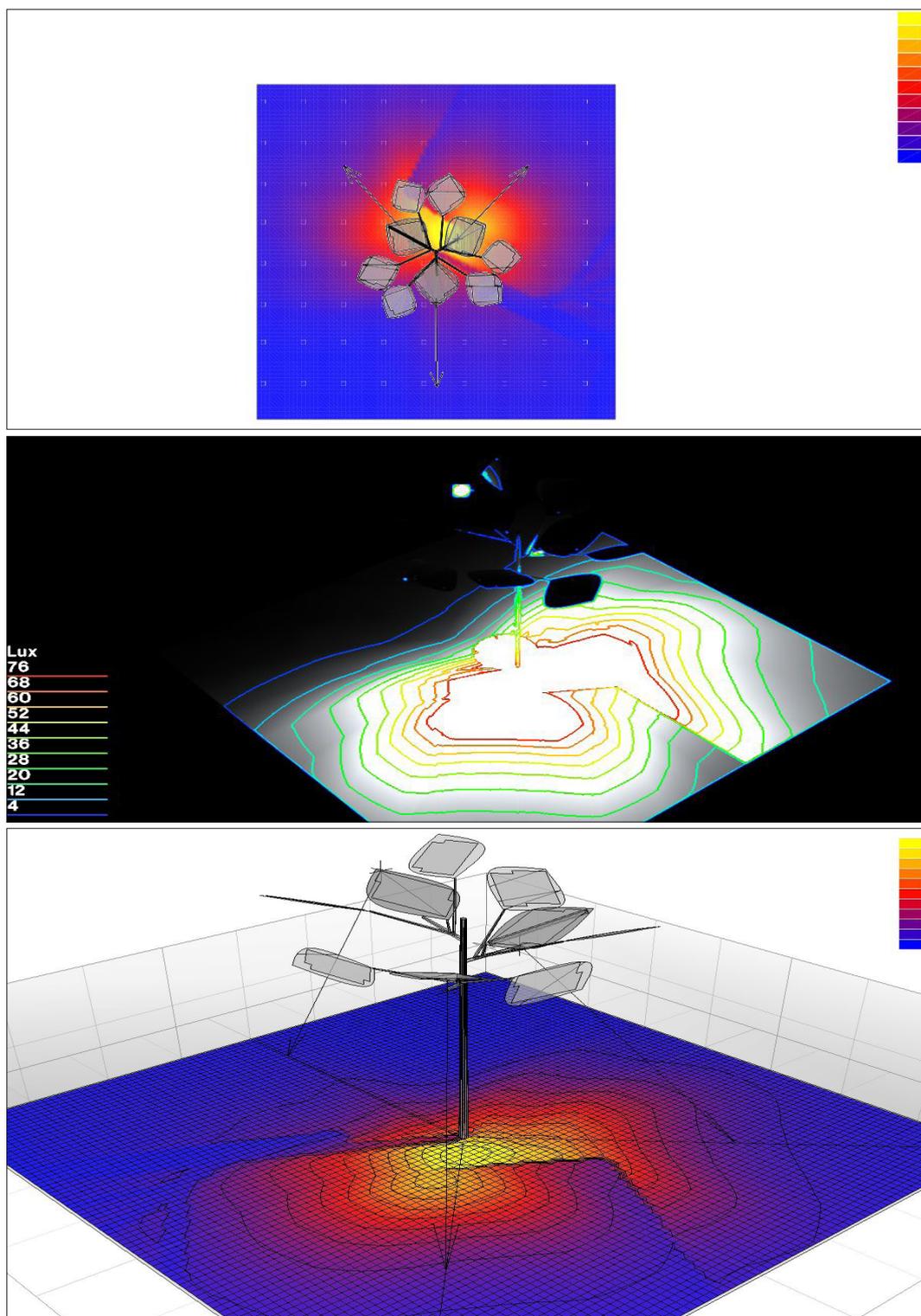


Figura 5.5 - Autodesk EcoTect utilizzato come front-end per Radiance: il modello geometrico riceve le sorgenti luminose. La scena è poi esportata in Radiance per il calcolo numerico i cui risultati, in forma tabellare, vengono re-importati in EcoTect, per ottenerne una visualizzazione oomogenea (studio di armatura stradale di illuminazione LedTree per LedOLed Bluebest Italia, modello e simulazione di S. Garagnani, 2009).

puramente geometrica. Le visualizzazioni analitiche di EcoTect, mutate da posizionamenti di piani e poligoni, sono realizzate per esporre verifiche sommarie e per questo molto rapide, fondamentali per ottenere un gran numero di differenti alternative e dare la possibilità di scegliere quali siano le condizioni migliori per sviluppare volumetrie, secondo criteri di esposizione ed ombreggiamento ben definiti, particolarmente in funzione della località geografica in esame.

EcoTect è poi un formidabile visualizzatore *front-end*: infatti consente di esprimere geometrie in funzione delle proprietà geografiche del sito, per esportare scene complete verso algoritmi di calcolo più complessi rispetto a quelli integrati in esso, visualizzandone i risultati in entrata con la stessa grafica e con le stesse modalità, evidenziandone la crescente accuratezza. Il recepimento in *input* ed *output* dei dati prodotti esternamente, pur mantenendo una rappresentazione omogenea dell'indagine analitica, si è rivelato un grande pregio (figura 5.5).

Se ad esempio si volesse sfruttare questa interessante proprietà per valutare l'esposizione luminosa ottimale di un fabbricato, sia con luce naturale che con luce artificiale per gli interni, si potrebbe impostare il modello con vertici, spigoli e superfici insieme alle fonti luminose per poi cambiarne la posizione visualizzando in *real time* gli effetti delle modifiche. I valori precisi di illuminamento (come ad esempio il *fattore di luce diurna* richiesto ai progettisti da molti regolamenti edilizi) potrebbero essere ricavati una volta scelto l'orientamento più favorevole, esportando il file verso il pacchetto gratuito **Radiance**¹¹, che fornirebbe risultati numerici molto più accurati anche se sotto forma di tabelle numeriche di non agevole lettura.

Tuttavia il problema sarebbe sormontabile agevolmente, importando all'indietro in EcoTect i listati, in virtù di un migliorato dialogo tra questi due software finalizzati a garantire una visualizzazione di più immediata comprensione dei dati. EcoTect è stato utilizzato con successo anche per l'analisi fluidodinamica, interessante ad esempio per definire l'entità degli spostamenti di volumi di aria a diversa temperatura all'interno degli edifici, oppure per valutare la conducibilità termica di specifici pacchetti di materiali, esportando e reimportando i risultati da motori CFD come **Fluent** o **Winair4**.

I modelli grezzi ma dal comportamento fisico ormai conosciuto possono

¹¹ - La modellazione geometrica effettuata direttamente all'interno di Radiance comporterebbe la digitazione di tutti i vertici appartenenti al fabbricato con un'incredibile dispendio di risorse e un margine più ampio di errore rispetto alla generazione degli oggetti in SketchUp o Bonzai3D.

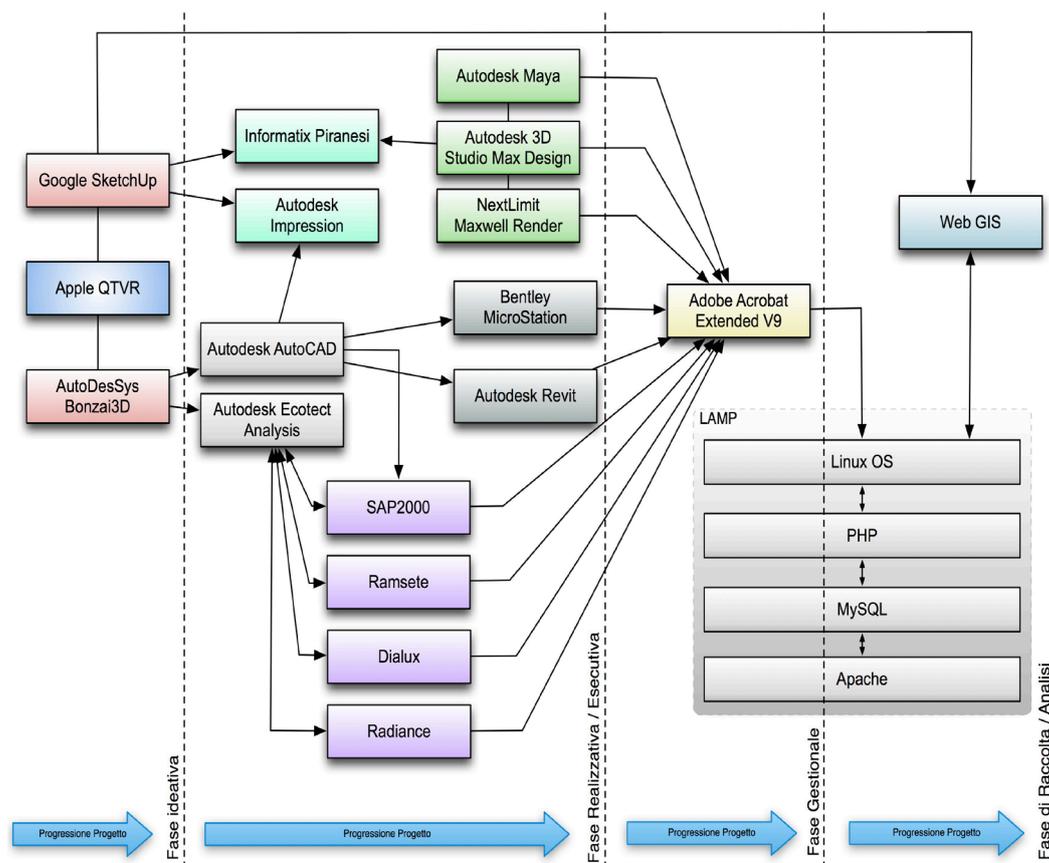


Figura 5.6 - La successione delle fasi di sviluppo per un modello integrato secondo lo schema metodologico delle "scatole cinesi". Ad ogni fase, la collaborazione tra programmi informatici differenti e specifici di ambiti disciplinari diversi porta al risultato finale di un unico archivio digitale interattivo.

successivamente essere importati all'interno di pacchetti CAD più raffinati, per iniziare quella fase di ingegnerizzazione che porterà poi alla produzione dei disegni esecutivi di cantiere. I cosiddetti *tecnigrafi elettronici*, legati alla rappresentazione per proiezioni ortogonali, si trovano ad essere utilizzati in questa fase: strumenti come *AutoCAD* od *ArchiCAD* consentono di correggere le eccessive approssimazioni dei modellatori speditivi, fornendo le basi vettoriali destinate ad una modellazione più sofisticata.

Una volta prodotti modelli e disegni di massima infatti, raggiunta cioè la precisione geometrica necessaria per poter parametrizzare accuratamente gli elementi costruttivi, si può inserire all'interno della filiera di progetto la

tecnologia BIM. È importante sottolineare che in realtà tutto l'approccio che si segue dall'inizio alla fine della generazione di modelli integrati di per sé rappresenta una sorta di approccio BIM, integrando differenti aspetti in ragione di differenti strumenti; pur tuttavia da un punto di vista commerciale il termine è ancora troppo legato ai programmi che nell'ottica dei loro produttori hanno la pretesa di essere esclusivi e di non necessitare di nessun altro tipo di *tool* per condurre a buon fine la progettazione edilizia.

Programmi come quelli presentati nel capitolo secondo, ovvero *Autodesk Revit*, *Bentley MicroStation*, *Graphisoft ArchiCAD* o *Gehry Technologies Digital Project*, possiedono una sofisticazione ed un livello di complicazione estremamente alto, tale che ne rendono la fruizione adatta soprattutto nella fase di ingegnerizzazione.

Essi infatti implicano troppe conoscenze e troppi vincoli tecnici necessari a priori dunque, in virtù dell'introduzione recente in tutte le versioni dello standard IFC, sono vantaggiosi se utilizzati più tardi nel processo edilizio, quando non è più necessario ottenere in poco tempo molte alternative tra le quali scegliere.

Inoltre l'utilizzo dei modellatori parametrici consente ancora, e forse in maniera ancor più precisa, l'uso di algoritmi di analisi in grado di giustificare le scelte fatte, tenendo conto di tutti gli sviluppi avvenuti cronologicamente.

Le necessità di proiezione, ovvero l'estrazione di viste finalizzate a presentare gli aspetti estetici o funzionali dell'edificio progettato, sono soddisfatte a tutti i livelli in maniera analoga, dapprima con semplici ombreggiamenti o dall'applicazione di tecniche NPR, poi con l'esportazione verso programmi dalle spiccate attitudini narrative dello spazio come *Autodesk Maya* od *Autodesk 3D Studio Max*, programmi anche questi estremamente complessi e ancora una volta di grande versatilità nell'utilizzo come *front-end* per algoritmi sofisticati, come ad esempio i motori di rendering *Mental Ray* (biased) e *Maxwell Render* (unbiased).

La quantità di elaborazioni condotte con questa successione di utensili deve essere a questo punto radunata fedelmente e presentata in maniera chiara per giungere a un risultato archivistico utilizzabile da tutte le figure coinvolte: questa motivazione ha guidato la sperimentazione attraverso il notissimo standard proprietario di *Adobe Systems*, il Portable Document Format (PDF) nella sua variante tridimensionale.

In virtù della grande diffusione e della vasta conoscenza che il software ha

già dato di sé oltre alla possibilità di poter compendiare all'interno di esso sia elementi di natura vettoriale che di grafica raster, file CAD o BIM, immagine panoramiche e tabelle, sono stati fatti convergere in un unico documento.

I modelli così ottenuti racchiudono aspetti di sintesi, di riduzione, e di proiezione dal momento che possono inglobare sotto forma di catalogo tutti gli elementi prodotti nelle varie fasi, interpretandoli come oggetti separati e visibili singolarmente ma sempre collegati tra di loro secondo una semantica relazionale definita a priori.

Ecco quindi che, come esplorato nel caso di San vitale a Ravenna, un archivio di questo tipo è efficace alla trasmissione di conoscenze disciplinari diverse, fruibili a vari livelli ed integrabili per fasi successive.

La possibilità di interfacciare file PDF a sistemi di diffusione web come gli apparati LAMP o i Web-GIS presentati nel secondo capitolo, rende la metodologia sperimentale adatta a svariati scopi e versatile nella distribuzione dei contenuti.

5.5 - Conclusioni

Si è definita la modellazione digitale integrata in architettura non come un oggetto od un tipo specifico di programma informatico bensì come un'attività umana che implica un inevitabile processo di cambiamento dei modi e dei metodi applicati alle costruzioni. Già da ora un crescente numero di imprenditori e pubbliche amministrazioni auspicano l'impiego di modelli integrati prevedendone l'obbligatorietà a termini di contratto per gare d'appalto e bandi concorsuali. Nei prossimi anni questo *trend* diventerà senza dubbio dominante, in virtù dei benefici derivanti da migliori *check* di rispondenza normativa e da un crescente livello qualitativo raggiungibile nel progetto, grazie al raffinamento ed al corretto utilizzo della modellazione virtuale. Un'indagine condotta all'inizio del 2007 ha mostrato come il 74% dei maggiori studi di architettura degli Stati Uniti ad esempio, si stia già avvalendo di tecnologia per la modellazione 3D ma solamente il 34% di essi sviluppi modelli "*intelligenti*", vale a dire in grado di fornire parametri utili nel controllo di qualità.

La mancanza di operatori adeguatamente preparati piuttosto che il deficit

tecnologico rappresenta al momento il collo di bottiglia all'implementazione ancora più diffusa di queste prassi progettuali avanzate.

E' però di conforto rilevare che molti dei produttori di materiali e componenti per l'edilizia stanno ampliando la propria offerta introducendo cataloghi digitali contenenti i modelli geometrici interattivi per la loro gamma prodotti; negli anni a venire questa tendenza potrà contribuire ad esempio alla diffusione di pezzi prefabbricati di alto profilo, generando una grande flessibilità e varietà nei metodi e tipi di costruzione.

Ottimisticamente, si avrà la necessità di predisporre un minor numero di documenti, contenenti molti meno errori, evitando perdite di tempo a vantaggio di una più alta produttività.

Costruttori ed imprenditori potranno disporre di esecutivi ottenuti attraverso ottimizzazioni successive derivate da una migliore analisi e dall'esplorazione di più alternative praticabili senza perdite economiche di *budget* e pericolosi slittamenti di tempo per le lavorazioni.

Ciò poiché i modelli virtuali hanno oramai oltrepassato il confine tra ricerca concettuale e mero prodotto commerciale di massa per professionisti.

Questa transizione tuttavia ha implicato e sta implicando uno spostamento nell'applicazione del paradigma realizzativo dal disegno al modello, agevolando l'evoluzione dal tradizionale progetto competitivo verso una modalità collaborativa di costruire lo spazio.

Il concetto di *prototipo digitale* realizzato al computer, teorizzato sin dai tardi anni Settanta con i primi CAD, si è modificato nel tempo muovendosi nella direzione di uno strumento finalizzato nello strutturare oggetti secondo parametri appartenenti a specifici settori del mercato del lavoro, il quale da ultimo permette previsioni a breve termine su come la modellazione integrata di architettura possa condurre ad obiettivi vantaggi.

Gli studi tecnici e gli organismi pianificatori più sofisticati infatti che utilizzano largamente modelli tridimensionali intelligenti all'interno dei propri protocolli operativi, favoriscono la nascita di nuove figure professionali in grado di maneggiare software compositi e di gestire la generazione collaborativa di schemi e procedure.

E' il caso del *building modeler* o *model manager*, sorta di *deus ex-machina* del prototipo integrato con valenza di coordinatore di tutti i protocolli e di tutti gli strumenti interoperanti che vi convergono: il disegnatore non è più un mero lucidatore grafico ma diviene parte attiva del progetto avendo la

necessità di conoscere ciò che sta modellando o manipolando. Anche la sostenibilità ambientale, per la quale il mondo delle costruzioni si sta impegnando da svariati anni, può trarre vantaggio dall'impiego di un criterio informativo esteso di natura digitale, favorendo analisi incrociate che tendano a migliorare il comportamento degli edifici, integrando all'interno delle proprie considerazioni valutazioni specifiche riferite ai materiali da costruzione ed alle tecnologie utilizzate per porli in opera.

Il termine "*costruzione virtuale*" dunque è destinato ad uscire dai ristretti ambiti di ricerca accademici, tramutandosi in una via praticabile per comunicare e documentare tutte quelle situazioni di complessità, discretizzate in una struttura gerarchica ben definita di informazione; come si è evidenziato nel capitolo inerente i pacchetti software, i tempi recenti hanno visto l'introduzione di numerosi algoritmi pensati con la precisa finalità di integrare conoscenza all'interno di modelli virtuali di edifici.

In un futuro prossimo si assisterà alla transizione dalla modellazione interattiva, ora solo strumento di verifica ed analisi, ad una pratica maggiormente consolidata all'interno del flusso creativo stesso, con un impatto su tutti i professionisti coinvolti, a partire dai piccoli studi individuali che avranno la necessità di *imparare* a lavorare, progettare, ingegnerizzare e costruire mediante la modellazione integrata per dialogare proficuamente con i colossi rappresentati dalle strutture delle *archistar*.

Parallelamente, e già dalle primissime fasi ideative, proprietari e committenti godranno di visualizzazioni tridimensionali concettuali sempre più realistiche dell'opera in via di realizzazione, inclusive di analisi più facilmente interpretabili rispetto ai disegni tecnici tradizionali: con la crescente disponibilità di dispositivi di scambio informativo *real-time* attraverso Internet poi, come le comunità virtuali o l'interrogazione territoriale attraverso WebGIS, si valuteranno gli interventi inseriti all'interno del reale contesto ambientale, anche per convogliarli in anticipo rispetto alla fabbricazione nei circuiti pubblicitari immobiliari o nelle reti di vendita.

Le imprese di costruzioni trarranno ugualmente vantaggio dalla modellazione integrata sia all'interno dei propri studi tecnici (con strutture di gestione più organizzate e lavorazioni o forniture ottimizzate) che direttamente sul cantiere, grazie alla possibilità di sviluppare disegni molto precisi adatti alla descrizione delle pose in opera e degli *as-built*, direttamente a piè d'opera. Il mercato della prefabbricazione potrebbe in questo modo configurarsi

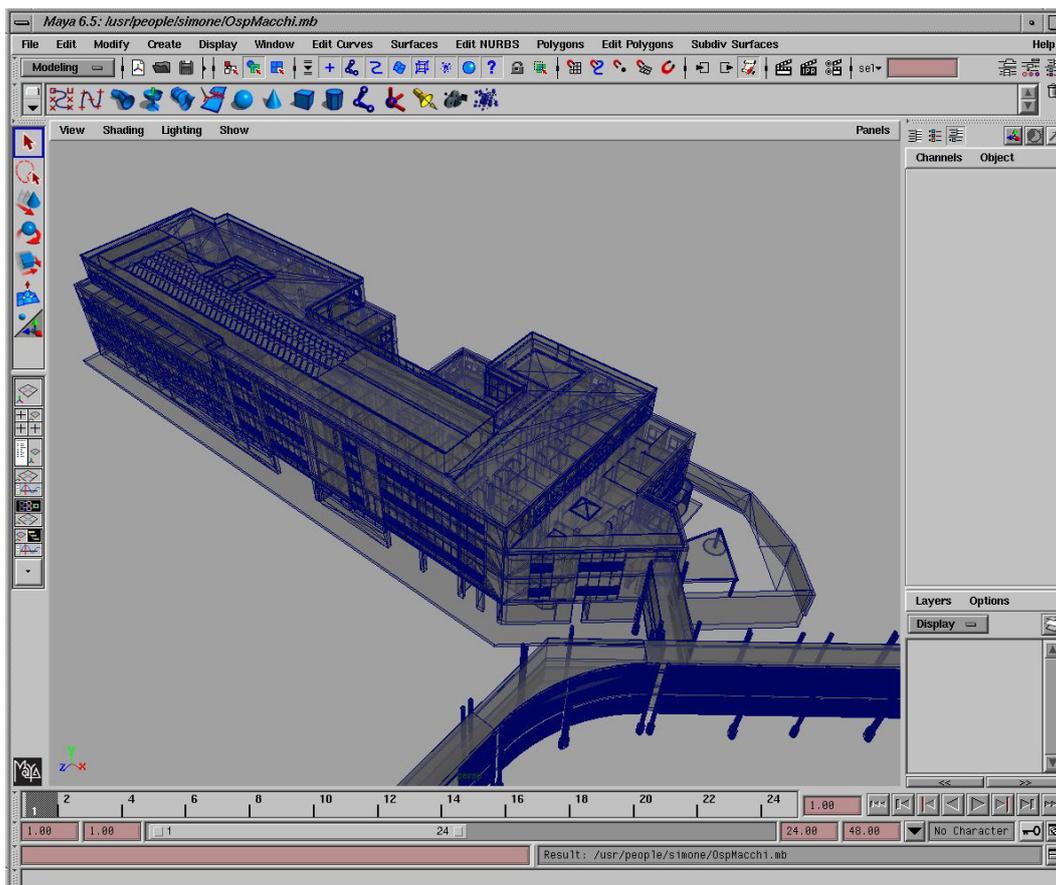


Figura 5.7 - La “costruzione virtuale”, una via praticabile per documentare e comunicare la complessità delle gerarchie cognitive in un prodotto edilizio. Il continuo miglioramento e la crescente affidabilità dei supporti di modellazione informatica permetteranno ben presto di descrivere interamente un organismo architettonico senza approssimazioni e fino alla scala del dettaglio più minuto, agevolando l'estrazione di informazioni fruibili su supporti semplici e, auspicabilmente, su strumenti anche datati, in virtù della possibilità di salvataggio dei file in formati aperti non proprietari. Nell'immagine sopra, il modello del nuovo padiglione per l'Ospedale Macchi di Varese generato con Autodesk Revit 2010 ed esportato, nelle sue geometrie, in una vecchia versione di Alias Maya 6.5 su sistema operativo IRIX 6.5.30 di Silicon Graphics Inc. per generarne le viste con tecniche di *ambient occlusion* presentate al capitolo quarto (immagine e modello di Simone Garagnani, 2010).

come interprete privilegiato del nuovo strumento di progetto, aprendo la via ad esempio a pratiche di auto-costruzione certificata secondo le normative vigenti, proponendo organismi di architettura concepiti e prodotti attraverso moduli di agevole gestione anche in contesti disagiati, come di recente è accaduto nell'Italia centrale a seguito dei luttuosi eventi sismici.

Di contro, occorrerà prestare attenzione al pericolo di standardizzazione del progetto che troppo facilmente si potrà prestare all'industrializzazione:

per questo motivo, le tecnologie specifiche e proprietarie dovranno essere introdotte solo in determinati punti della catena progettuale, favorendo la scelta di programmi non necessariamente verticali ma aperti a differenti utilizzatori e comunque interoperabili tra loro. E' questo il punto cruciale che vede la modellazione integrata porsi come alternativa al BIM puro, che dimostra i propri limiti poichè non riesce ancora a integrare tutti i flussi di lavoro in maniera coerente, stralciandone tutti quei valori che non si riferiscono specificatamente alle dinamiche di fabbricazione.

Evidenziando criticamente questi pregi e questi limiti operativi, le esperienze condotte in questa ricerca di dottorato hanno mostrato come le tecniche della rappresentazione classica e del rilievo, se affiancate alle potenzialità di memorizzazione conoscitiva insite nei modelli tridimensionali, consentano la formulazione di criteri discriminanti per la valutazione del relazionamento topologico dei componenti con l'insieme globale, introducendo materiali provenienti da discipline e strumenti differenziati in un contenitore unitario, somma dei contributi. I prototipi digitali così impostati hanno mostrato come sia possibile gestire per parametri l'informazione e l'interscambio mediante l'estrapolazione di elaborati grafici e viste realistiche adatte a "*raccontare*" il progetto nei suoi aspetti ideativi, parallelamente all'isolamento delle sole caratteristiche morfologiche e materiche destinate a processi di calcolo effettuati con algoritmi specifici appartenenti ai settori impiantistici, strutturali e della visualizzazione avanzata.

Riferimenti bibliografici

Testi in lingua italiana:

Pane R., *Architettura e arti figurative*, Pozza, Venezia 1948.

Alexander C., *Note sulla sintesi della forma*, Il saggiatore, Milano, 1967 (ed. or. 1964).

De Fiore G., *Modello*, in *Dizionario del Disegno*, La Scuola Editrice, Brescia 1967.

Negroponte N., *La macchina per l'architettura*, MIT - Il Saggiatore, Milano 1972.

Spadolini P., *Progettare nel processo edilizio*, Le Monnier, Firenze 1981.

Zaffagnini M., *Progettare nel processo edilizio*, Ed. Luigi Parma, Bologna 1981.

Ciribini G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino 1984.

Negri Arnoldi F., Prospero Valenti S., *Il disegno nella storia dell'arte italiana*, NIS, Roma 1986.

Gangemi V., Ranzo P. (a cura di), *Il governo del progetto. La tecnologia per la formazione dell'architetto*, Ed. Luigi Parma, Bologna 1987.

Praderio G., Mingucci R., Toschi D., *Progettazione architettonica con il calcolatore*, BeMa Editrice, Milano 1987.

Dioguardi D.M., *Architettura e informatica : uno strumento per la composizione*, Laterza, Bari 1990.

Cinti Luciani S., Crippa M.A., Mingucci R., *Computer aided. Design per l'ingegneria civile*, Esculapio, Bologna 1990.

Maldonado T., *Disegno industriale: un riesame*, Feltrinelli, Milano 1991.

Petrioli Tofani A.M. , Prospero Valenti Rondinò S., Sciolla G.C. , *Il disegno - forme, tecniche, significati*, Pizzi, Monza 1991.

- Gaiani M., *Rappresentazione*, CLUEB, Bologna 1993.
- Rheingold H., *La realtà virtuale*, Baskerville, Bologna 1993.
- Castelnuovo E., *Vetrate medievali*, Einaudi, Torino, 1994.
- Maggi P.N., *Il processo edilizio. Metodi e strumenti di progettazione edilizia*, Città Studi, Milano 1994.
- Maldonado T., *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano 1994.
- Manfredini A., *Teoria e Pratica nella Progettazione Architettonica*, Alinea, Firenze 1994.
- Melucci A., *Passaggio d'epoca. Il futuro è adesso*, Feltrinelli, Milano 1994.
- Negroponte N., *Essere digitali*, Sperling & Kupfer, 1996.
- Zanelli A., *La manipolazione informatica dei dettagli costruttivi per l'insegnamento del progetto di architettura*, Arti grafiche S. Pinelli, Milano 1996.
- Mitchell W.J., *La città dei bits: spazi, luoghi e autostrade informatiche*, Electa, Milano 1997.
- Palumbo R. (a cura di), *Processo edilizio. Il management*, Gangemi, Roma 1997.
- Sinopoli N., *La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regie*, Franco Angeli, Milano 1997.
- Schmitt G., *Information architecture - Basi e futuro del CAAD*, Testo & Immagine, Torino 1998.
- Di Giuseppe F., *Fotografia e architettura: gestione e catalogazione di immagini digitali* in *Villaggio Mediterraneo Quaderno n.5* CNBA, a cura di Atripaldi A.M., Trucco P., Enna 2000.
- Docci M., Maestri D., *Scienza del disegno. Manuale per le facoltà di architettura e di ingegneria*, UTET Libreria|UTET Università, Torino 2000.
- Migliari R., *Fondamenti della rappresentazione geometrica e informatica dell'architettura*, Edizioni Kappa, Roma 2000.
- Mezzetti C. (a cura di), *La rappresentazione dell'architettura: storia, metodi, immagini*, Edizioni Kappa, Roma 2000.
- Purini F., *Comporre l'architettura*, Laterza, Roma 2000.

Salvioni G., *Architettura e computer - strumenti digitali per la gestione e la redazione del progetto di architettura*, Ed. Kappa, Roma 2000.

Ciammaichella M., *Il reverse modeling come tecnica utile al progetto di architettura contemporaneo*, in *Disegnare - Idee e immagini*, anno XII, n.23, Roma 2001.

De Kerckhove D., *L'architettura dell'Intelligenza*, Testo & Immagine, Torino 2001.

Mingucci R., *Esercizi di Disegno Edile*, Pàtron Editore, Bologna 2001.

Palombo M.L., *Nuovi Ventri: corpi elettronici e disordini architettonici*, Testo & Immagine, Torino 2001.

Ceccarelli N., *Progettare nell'era digitale. Il nuovo rapporto tra design e modello*, Marsilio, Venezia 2002.

Costantini M., Rigone P., Santonocito N., *Installare il sistema qualità negli studi di ingegneria*, Centro studi consiglio nazionale ingegneri, Roma 2002.

Migliari R., *Frontiere del rilievo: dalla matita alle scansioni 3D*, Edizioni Gangemi, Roma 2002.

Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Esselibri, Napoli 2002.

Bertoline G., *Fondamenti di comunicazione grafica*, McGraw-Hill 2003.

Gaiani M. (a cura di), *Metodi di prototipazione digitale e visualizzazione per il disegno industriale, l'architettura degli interni e i beni culturali*, Edizioni Poli.Design, Milano 2003.

Migliari R., *Geometria dei modelli*, Edizioni Kappa, Roma 2003.

Mingucci R., *Disegno interattivo*, Pàtron Editore, Bologna 2003.

Sacchi L., Unali M. (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano 2003.

De Fusco R., *Il piacere dell'arte: capire la pittura, la scultura, l'architettura e il design*, Laterza, Roma 2004.

Sardo N., *La figurazione plastica dell'architettura. Modelli e rappresentazione*, Edizioni Kappa, Roma 2004.

Caterina G. (a cura di), *Per una cultura manutentiva. Percorsi didattici ed esperienze applicative di recupero edilizio e urbano*, Liguori, Napoli 2005.

Erioli A., *Hyperarchitettura: reale virtuale nella progettazione architettonica*, Alinea Editrice, Firenze 2005.

Gaiani M., Gaiani A., *Intersezioni tra design e architettura passando per il disegno: simulazione e prototipazione come elementi di produzione dello sviluppo progetto*, in *Innovazione di prodotto e architetture di forma complessa*, Unicopli, Milano 2005.

Garroni G., *Elogio dell'imprecisione*, Bollati Boringhieri, Torino 2005.

Losasso M. (a cura di), *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, CLEAN, Napoli 2005.

Russo Ermolli S., *Green Buildings. Architetture sostenibili nel Regno Unito*, CLEAN, Napoli 2005.

Cundari C., *Il disegno Ragioni. Fondamenti. Applicazioni*, Ed. Kappa, Roma 2006.

Di Battista V., Giallocosta G., Miniati G., (a cura di), *Architettura e Approccio Sistemico*, Polimetrica, Monza 2006.

Di Battista V., *Ambiente Costruito*, Alinea editrice, Firenze 2006.

Gasparoli P., Talamo C., *Manutenzione e recupero*, Alinea editrice, Firenze 2006.

Mingucci R., Muzzarelli A., *Rilievo urbano per il recupero di aree marginali*. In Mingucci R., Angelillo D., *Sviluppo Urbano e Cooperazione Internazionale*, CLUEB, Bologna 2006.

Francesco D., *Architettura e vivibilità. Modelli di verifica, principi di biocompatibilità, esempi di opere per il rispetto ambientale*, FrancoAngeli, Milano 2007.

Mingucci R., Alberti F., Po M., Tamburini A., *Tecniche e metodologie innovative per la rappresentazione del territorio. Il caso dell'UP1 dei serragli nella Provincia di Ferrara*. In *Sistemi Informativi per l'Architettura*. EARCOM 2007 17, 18, 19 maggio 2007, Alinea Editrice, Firenze 2007.

Bravo L., Mingucci R., *Centri storici: evoluzione normativa e modelli di rappresentazione*, in DisegnareCon, *Conservazione del patrimonio architettonico e urbano*, a cura di Mingucci R. e Centofanti M., n. 2/2008, e-zine digitale, Alm@DL Università di Bologna, 2008.

Crippa M.A., Zanzottera F., Boemi M.F., *Le terre dei folli. 150 anni di fotografia aerea per conoscere e contenere il consumo del territorio*, Acherdo, Brescia 2008.

Gaiani M., *Architectorum delineamenta, ovvero le interfacce di lavoro dell'architetto*, in *Abitare virtuale significa rappresentare*, Edizioni Kappa, Roma 2008.

Garagnani S., *Rappresentazione vs. modellazione: sintesi della percezione d'architettura nell'era digitale*, in DisegnareCon n. 1/2008, e-zine digitale, Alm@DL Università di Bologna, 2008.

Garagnani S., *La nuova estetica del costruito e la ricerca della qualità. Integrazione di aspetti complessi nel progetto edilizio mediante strumenti di archiviazione digitale*. e-zine digitale *IngegneriCC - Tecnica, cultura, progetto*, Maggioli Editore, numero 1/2008.

Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Editore Ulrico Hoepli, Milano 2008.

Docci M., Maestri D., *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Laterza, Roma 2009.

Garagnani S., *Architettura in pixel. Elementi di informatica grafica nella rappresentazione architettonica*, Pàtron Editore, Bologna 2009.

Migliari R., *Geometria descrittiva*, Città Studi, Novara 2009.

Unali M. (a cura di), *New Lineamenta*, Edizioni Kappa, Roma 2009.

Testi in lingua inglese:

Alexander C., *Notes on the synthesis of form*, Harvard University Press, Cambridge Massachusetts 1964.

Alexander C. Ishikawa S., Silverstein M., *A pattern language*, Oxford University press, New York 1977.

Kowalski R., *Logic for Problem Solving*, Elsevier, Amsterdam, 1983.

Crowe N., Laseau P., *Visual Notes for architects and designers*, New York 1984.

Coyne R. C., Rosenman M. A., Radford A. D., Balachandran M. and Gero J.S., *Knowledge-Based Design Systems*, Addison-Wesley, Reading MA, 1.5. 1989.

Haeberly P., *Paint by numbers: abstract image representations*, *Computer Graphics* volume 4, n.24, 1990.

McCullough M., Mitchell W.J., Purcell P., *The Electronic Design Studio*, MIT Press, Cambridge, MA 1990.

Foley J., van Dam A., Feiner S., Hughes J., Phillips R., *Introduction to Computer Graphics*, Pearson Addison-Wesley, 1993.

Watt A., *3D Computer Graphics*, Pearson Addison-Wesley, 1993.

Carrara, G., Kalay Y.E. (a cura di), *Knowledge-Based Computer-Aided Architectural Design*, Elsevier, Amsterdam 1994.

Cornick T., *Computer integrated building design*, E&FN Spon, London 1996.

Kenney A., Chapman S., *Digital imaging for libraries and archives*, Cornell University Library, Ithaca 1996.

Sanders K., *The digital architect*, J. Wiley & Sons, New York 1996.

Shih, N.J. *A study of 2D- and 3D-oriented architectural drawing production methods*, Automation in Construction 5, 1996.

Bertol D., *Designing digital space*, John Wiley & Sons, New York 1997.

AA.VV., *Department for Environment, Transport and the Regions (DETR), Rethinking construction. The report of the construction task force*, DETR, Goldthorpe 1998.

Ballard G., Howell G., *What kind of production is construction?*, IGLC Proceedings, Brasile, 1998.

Christiansson P., *Properties of the Virtual Building*, SLAM IT/8DBMC Proceedings, Vancouver 1999.

Watt A., Policarpo F., *The Computer Image*, Pearson Addison-Wesley, 1998.

Cabral B., Olano M., Nemeč P., *Reflection space image based rendering*, in SIGGRAPH '99 Conference proceedings, ACM Press, New York 1999.

Del Bimbo A., *Visual information retrieval*, Morgan Kaufmann, San Francisco 1999.

Kiviniemi A., *IAI & IFC - state-of-the-art*, SLAM IT/8DBMC Proceedings, Vancouver 1999.

AA.VV., *Department of Trade and Industry (DTI), Building a better quality of life. A strategy for more sustainable construction*, DETR Free Literature, London 2000.

Buxton W., Fitzmaurice G., Balakrishnan R., Kurtenbach G., *Large displays in automotive design*, in *IEEE Computer Graphics and Applications*, Jul-Aug 2000.

Hill L., Cruz-Neira C., *Palmtop Interaction Methods for Immersive Projection Technology Systems*, in *Fourth International Immersive Projection Technology Workshop*, IPT'2000, Iowa State University, Ames, Iowa, 2000.

Fear B., *Architecture+Animation (Architectural Design)*, Wiley Academy, London, 2001.

Ferwerda J.A., *Elements of Early Vision for Computer Graphics*, in IEEE Computer Graphics and Applications, Sep-Oct 2001.

Jensen H.W., *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*, AK Peters, 2001.

Akenine-Möller T., Haines E., *Real-Time Rendering*, 2nd Edition, AK Peters, 2002.

Kauz J., Sloan P.-P., Snyder J., *Fast, Arbitrary BRDF Shading for Low-Frequency Lighting Using Spherical Harmonics*, in *Proceedings of the 13th Eurographics Workshop on Rendering*, Eurographics Association, Aire-la-Ville 2002.

Thompson W.B., Willemsen P., Gooch A.A., Creem-Regehr S.H., Loomis J.M., Beall A.C., *Does the Quality of the Computer Graphics Matter When Judging Distances in Visually Immersive Environments?*, University of Utah Technical Report UUCS-02-015, Dec. 2002.

El-Hakim S. F., Beraldin J. A., Blais F., *Critical factors and configurations for practical image-based 3D modeling*, Proceedings of 6th Conference Optical 3D Measurements Techniques. Zurich 2003.

El-Hakim S.F., Gonzo L., Picard M., Girardi S., Simoni A., Paquet E., Viktor H., Brenner C., *Visualization of highly textured surfaces*, 4th Int. Symp. VAST2003, Brighton 2003.

Fiamma P., *Architectural design and digital paradigm: from Renaissance models to Digital*, International Conference ACADIA 22 Indianapolis 2003.

Fiamma P., *Building Information Modelling: the innovative dimension for the technical architecture mode*, Edizioni Il Campano, Pisa 2004.

Farella E., Brunelli D., Benini L., Riccò B., Bonfigli M.E., *Pervasive Computing for Interactive Virtual Heritage*, in IEEE Multimedia, Jul-Sep 2005.

Kunz J., Gilligan B., *CIFE/CURT Survey of BDC/BIM Use*, Stanford University Center for Integrated Facility Engineering, 2006.

Remondino F., El-Hakim, S.F., *Image-based 3D modelling: a review*, *The Photogrammetric Record*, Vol. 21(115), September 2006.

Voltolini F., Remondino F., Pontin M., Gonzo L., *Experiences and considerations in image-based modeling of complex architectures*, Proc, ISPRS Symp. Com. V, Dresden, 2006.

Yoders J., *The Merry Road to BIM*, *Building Design and Construction Magazine*, July 1, 2006.

Post N., *E-Construction Hampered By Inability to Share 3-D Models*, ENR Magazine, April 30, 2007.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Wiley 2008.

Sah V., Cory C., *Building Information Modeling: An Academic Perspective*, Purdue University, Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference, 2008.

Sitografia e feed RSS di riferimento:

B. C. Björk, K. Löwnertz, A. Kiviniemi, ISO DIS 13567 - The proposed international standard for structuring layers in computer aided building design, Electronic Journal of Information Technology, 1997
<http://itcon.org/>

R. Howard, IT barometer survey, Denmark - the use of IT in building, Technical University of Denmark, 1998
<http://www.ifp.dtu.dk/~it/>

G. Schmitt, R. Stouffs, D. Kurmann., B. Tunçer., K.H. Miesusset, B. Stäger, M. Harada, A tool set for the virtual AEC company, ETHZ, 1999
<http://iccs.arch.ethz.ch/>

H. Rivard, A survey on the impact of information technology on the Canadian architecture, engineering and construction industry, Electronic Journal of Information Technology 2000
<http://itcon.org/2000/3/>

J. Andersen, A. Baldwin, M. Betts, C. Carter, A. Hamilton, E. Stokes, T. Thorpe, A framework for measuring IT innovation benefits, Electronic 129 Journal of Information Technology, 2000
<http://itcon.org/2000/4/>

B. C. Björk, Z. Turk, A survey of the impact of the internet on scientific publishing in construction it and construction management, Electronic Journal of Information Technology, 2000

<http://itcon.org/2000/5/>

R. Howard, A. Kiviniemi, Olle Samuelson, Surveys of IT in the construction industry and experience of the IT barometer in Scandinavia, Electronic Journal of Information Technology, 1998

<http://itcon.org/1998/4>

M. Hannus, Islands of Automation in Construction, 1998

<http://www.vtt.fi/cic/hannus/islands.html>

A. Ekholm, A conceptual framework for classification of construction works, Electronic Journal of Information Technology, 1996

<http://itcon.org/>

CAD for Principals Council

<http://www.cadforprincipals.org/>

B. Akinci, Formalization and Automation of Time-Space Conflict Analysis Using 4D Production Models

<http://www.stanford.edu/~akinci/4Dworkplannerintro.html>

National Cad Standard Organisation si occupa di definire uno standard di utilizzo per le applicazioni CAD nell'ambito del settore AEC

<http://www.nationalcadstandard.org/>

Sito ufficiale dell'IAI

<http://iaiweb.lbl.gov/>:

<http://www.interoperability.com/>

Sito ufficiale dell'IAI, sezione dedicata al Facility Management

http://iaiweb.lbl.gov/Data/Projects/R3_projects_FM.htm

Homepage del British Chapter dell'IAI

<http://iai.org.uk>

IAI Australasia Chapter

<http://www.interoperability.org.au/>

IAI French Chapter

<http://mediaconstruct.cstb.fr/actb.html>

IAI German Speaking Chapter

<http://mtr.opb.de/iai/>

IAI Japan Chapter

<http://www.interoperability.gr.jp/>

IAI Korea Chapter

http://italab.kyunghee.ac.kr/iai_korea/

IAI Nordic Chapter

<http://www.vtt.fi/cic/niai/>

IAI North American Chapter

http://iaiweb.lbl.gov/Chapters/North_America

IAI Singapore Chapter

<http://www.ncb.gov.sg/ncb/construction/iai/>

IAI UK Chapter

<http://helios.bre.co.uk/iai/>

Autodesk (AutoCAD, Revit, 3D Studio, Maya, EcoTect)

<http://www.autodesk.com>

Bentley (MicroStation Suite)

<http://www.bentley.com>

Cigraph (ArchiCAD)

<http://www.cigraph.com>

Informatix (Piranesi)

<http://www.informatix.co.uk>

Gehry Technologies (Digital Project)

<http://www.gehrytechnologies.com/>

Nemetscheck (Allplan)

<http://www.nemetschek.com/>

McNeel (Rhinoceros)

<http://www.rhino3d.com/>

(bim)x

<http://bimx.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

All Things BIM

<http://allthingsbim.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Fear and Loathing In a CAD vs. BIM World

<http://cad-vs-bim.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Autodesk University

<http://au.typepad.com/au/rss.xml>

CGarchitect.com RSS

<http://www.cgarchitect.com/rss/news.asp>

Articles from Cgw.com

<http://www.cgw.com/Publications/Articles-from-Cgw-com/RSS.xml>

News from CGW.com

<http://www.cgw.com/Press-Center/News-from-CGW-com/RSS.xml>

Forum Posts from CGW.com

<http://www.cgw.com/Forums/Forum-Posts-from-CGW-com/RSS.xml>

Do U Revit?

<http://do-u-revit.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Inside the Factory

http://insidethefactory.typepad.com/my_weblog/index.rdf

iRevit

<http://irevit.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Revit Beginners

<http://revitbeginners.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Revit3D.com - BIMBoom Revitlution

<http://bimboom.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

The Revit Clinic

http://revitclinic.typepad.com/my_weblog/atom.xml

the BIM blink (draw a blink)

<http://bimpod.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

BIM BOOM BAM

<http://bimboombam.wordpress.com/feed/>

Lynn Allen's Blog

http://lynn.blogs.com/lynn_allens_blog/rss.xml

core.form-ula

<http://www.core.form-ula.com/feed/>

Green Revit

<http://greenrevit.blogspot.com/feeds/posts/default?alt=rss>

RobiNZ CAD Blog

<http://rcd.typepad.com/rcd/rss.xml>

Grafica 2d3d

<http://grafica2d3d.blogspot.com/feeds/posts/default>

Daily Autocad

<http://www.dailyautocad.com/feeds/posts/default?alt=rss>

Ringraziamenti

Non è impresa semplice ricordare in poche righe le persone che, a vario titolo, hanno contribuito a rendere “migliori” questi ultimi anni, dedicati allo studio dei modelli digitali così a me cari.

Aristotele scriveva che la gratitudine è un sentimento che invecchia presto, tuttavia posso asserire con certezza che così non sarà nei confronti di chi ha avuto la pazienza di seguirmi e consigliarmi, primo fra tutti il Prof. Mingucci, senza il quale la mia avventura di Dottorato non sarebbe probabilmente nemmeno incominciata.

Desidero ringraziare il Prof. Praderio che, in una ideale continuità con la mia tesi di Laurea, mi ha fornito spunti di riflessione in merito al progetto d'architettura ed a come questo stia mutando nella contemporaneità fluida che stiamo vivendo.

In tal senso sono grato anche al Prof. Charles Eastman, puntuale e preciso nel fornirmi la sua opinione riguardo alle implicazioni che la tecnologia BIM comporta, in uno scambio prezioso di comunicazioni elettroniche. Allo stesso modo ringrazio Martin Riese di *Gehry Technologies*, per l'interesse mostrato verso il mio lavoro e per il permesso di pubblicare alcune immagini del cantiere ancora attivo di *One Island East*, a Hong Kong. Sono riconoscente pure verso Judy Strebel, del *Computer History Museum*, per avermi garantito la possibilità di visitare, riprendere e pubblicare qualche immagine di quanto esposto a Mountain View, in California.

Un grazie sentito lo merita anche l'amico Giovanni Bacci del *Silab - Laboratorio Sirani della Facoltà di Ingegneria* - dove ho potuto condurre i miei esperimenti digitali in piena libertà, contando sempre sull'aiuto della sua vasta esperienza e disponibilità.

Grazie a Luisa, sempre pronta a sostenermi ed incoraggiarmi, lei, quotidiano propulsore di entusiasmo.

Da ultimi, ma certamente non in ordine di importanza, ringrazio i miei genitori, per avermi concesso con i loro sacrifici il privilegio di apprendere.

Simone Garagnani

