

Information technology ed automazione del progetto

a cura di Carlo Biagini

Firenze University Press 2002

Information technology ed automazione del progetto / a cura di Carlo Biagini. – Firenze: Firenze University Press, 2002.

Modalità di accesso della versione elettronica:
<http://epress.unifi.it/>

ISBN 88-8453-040-7

624.285 (ed. 20)

1. Ingegneria e architettura – Applicazioni dell'informatica

I. Titolo II. Biagini, Carlo

Pubblicazione disponibile in formato cartaceo a richiesta

Il presente volume costituisce uno degli esiti del progetto di innovazione didattica *Information Technology nella didattica del progetto* sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Firenze, nell'ambito del programma "Azione per l'innovazione didattica 2000" promosso dall'Ateneo fiorentino.

Responsabile del progetto: Prof. Ing. Fabio Castelli

Coordinamento generale: Ing. Carlo Biagini

Coordinamento tecnico: Settimio Mafucci, Tiziana Pileggi

Grafica di copertina di Lorenzo Bianchini

© Firenze University Press 2002

Proprietà letteraria riservata:

Firenze University Press

Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy

<http://www.unifi.it/e-press>

Indice

Presentazione	1
Introduzione	3
1. Information Technology ed automazione del progetto	5
<i>Carlo Biagini</i>	
2. Dal numerico al visuale: strategie di rappresentazione rendering-based	21
<i>Marco Gaiani</i>	
3. Ingegneria concorrente e scambio dati nella gestione del progetto di costruzioni	59
<i>Marco Masera, Saverio Mecca</i>	
4. Sistemi informativi multimediali per il patrimonio architettonico: i progetti BAA, SIRCoP e MIMS	91
<i>Alfredo Ronchi</i>	
5. Fotogrammetria digitale	115
<i>Luca Menci, Francesca Ceccaroni</i>	
Note biografiche degli autori	139

Presentazione

Per iniziativa di Carlo Biagini è stata avviata, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze, un'esperienza didattica innovativa, nella quale si realizzano modalità formative connesse alle problematiche tipiche del Processo edilizio (e in particolare a quelle della fase di progettazione) mediante metodi, procedure e strumentazioni riconducibili all'*Information Technology*.

Nell'ambito di questa iniziativa, di rilevante interesse generale, si collocano in particolare, valide potenzialità di lavoro, in rapporto alla conduzione dei "Laboratori di progettazione" del Corso di Laurea in Ingegneria Edile. La pubblicazione che qui si presenta, dà conto in modo ampio ed approfondito delle attività svolte nella prima sperimentazione dell'iniziativa.

Tra i tanti argomenti trattati dagli esperti nelle relazioni, ne ricordiamo due, che a noi sembrano particolarmente significativi per le attività di formazione dell'ingegnere edile. Anzitutto il rapporto tra fase ideativa nella progettazione architettonica e fase realizzativa degli elaborati progettuali, alle varie scale fino al progetto esecutivo; pur conservando il disegno "autografo" una serie di insostituibili funzioni (stimolo e controllo dell'immagine prefigurata, ordinamento del pensiero progettuale, strumento essenziale per la trasmissione delle idee, ...) sono giustamente posti in evidenza, da vari autori, il significato e le potenzialità delle nuove strategie conoscitive e di proposta progettuale basate sulla rappresentazione tridimensionale di organismi architettonici (o di loro parti) straordinariamente simili alla futura realtà costruita. Se ci spostiamo dall'ottica della ovvia utilità di tali strategie per l'illustrazione (magari la più accattivante possibile per chi non è del mestiere) e le consideriamo invece come strumenti di lavoro per il progettista (e per il formatore di futuri progettisti), si rilevano, in questo specifico ambito, enormi potenzialità, relativamente alla gestione ed al controllo della complessità del processo progettuale attraverso la sequenza, circolare e iterativa, analisi-sintesi-valutazione. Metodi e procedure sistematiche di progettazione, riconducibili all'ambito concettuale ed operativo della IT, sono di indubbia utilità per la formazione degli ingegneri e possono fornire validi risultati, senza penalizzare gli aspetti creativi ed immaginativi, tipici della fase progettuale.

Secondo argomento, tra i molti proposti: di notevole rilevanza risulta l'impiego della IT per la gestione delle fasi del Processo edilizio, dalla Programmazione al Controllo. Troppo peso siamo tradizionalmente abituati ad assegnare, nella formazione degli ingegneri edili, alla fase di progetto, vista quasi come un momento autonomo ed enucleato dall'insieme del Processo edilizio. Tutto ciò che sul piano informativo ed operativo contribuisce a connettere il progetto con l'intero sviluppo del Processo e prioritariamente

con le fasi di Produzione e Costruzione, non può che portare a migliorare l'iter formativo e, nel futuro dei nostri allievi, l'esercizio di un mestiere più consapevole e completo.

In modo più specifico, l'ideazione e poi il disegno, la rappresentazione dell'oggetto architettonico, attraverso le tecniche dell'IT possono essere direttamente correlate alle problematiche sia della produzione industriale di materiali e componenti edilizi, sia della fase di costruzione in cantiere. Ciò può essere considerato da due punti di vista differenti ma complementari: l'organizzazione e la gestione di modelli operativi (fasi, sequenze funzionali, procedure, ...), ma anche l'acquisizione di informazioni su prodotti e tecniche costruttive. L'acquisizione di una serie di modelli operativi, così come la conoscenza del mercato dei materiali e dei componenti edilizi costituiscono un passo obbligato per la formazione degli ingegneri e tuttavia, in questo ambito, dobbiamo essere coscienti del rischio che si corre nell'offrire agli allievi ingegneri sia repertori precostituiti di modalità comportamentali formalizzate e, per certi aspetti, rassicuranti, sia un caleidoscopio eccessivamente vasto e articolato di prodotti e di tecniche tra le quali scegliere la più adatta al caso in esame.

All'eventuale rischio di attenuazione dello spirito critico e della capacità propositiva degli allievi, va contrapposta (e nei saggi l'argomento è ampiamente trattato) una forte capacità interattiva dei sistemi e delle strategie proposti dalla IT, che sempre salvaguardino l'autonomia e la responsabilità della sintesi progettuale.

Per una didattica che impieghi, non a livello di innovazione, ma nel suo quotidiano attuarsi, i metodi, le strategie e l'apparato strumentale dell'IT, c'è ancora molta strada da percorrere, (almeno nella nostra struttura didattica) anche in ordine al necessario e profondo mutamento delle modalità formative imposto dalla recente modifica degli Ordinamenti delle nostre Facoltà. Tanto più utile quindi, l'iniziativa che in questa sede viene presentata, qualificata, peraltro, dai pregevoli risultati raggiunti.

Prof. Ing. Franco Nuti
*Presidente del Corso di Laurea
in Ingegneria Edile*

Introduzione

Il progetto “*Information Technology nella didattica del progetto*” sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell’Università di Firenze trae origine dal programma “Azione per l’innovazione didattica 2000” promosso dall’Ateneo fiorentino, che aveva tra gli obiettivi qualificanti l’attivazione o il potenziamento di strutture didattiche che introducessero metodologie e tecnologie innovative nell’insegnamento.

Ha preso così avvio un’iniziativa che ha inteso sviluppare non solo una migliore conoscenza degli strumenti dell’IT per il progetto edilizio tra gli studenti, ma soprattutto sperimentare nuove forme di didattica nell’ambito delle attività già svolte negli attuali Laboratori di Progettazione.

A tal fine è stata costituita una specifica struttura didattica (Laboratorio di Progettazione Assistita) che può supportare le molteplici modalità di interazione tra docente e studente in rapporto alle differenti fasi di sviluppo del progetto edilizio.

Si tratta di un primo passo verso quella sentita necessità di automazione del processo progettuale emergente dal contesto produttivo, che deve trovare anche nella didattica, ed in particolare nelle prime esperienze progettuali del futuro ingegnere, un riscontro significativo.

La presente pubblicazione raccoglie le conferenze ad invito svolte nell’A.A. 2000/01 da alcuni qualificati esperti nel corso del ciclo di seminari dal titolo “Information Technology ed automazione del progetto”, previsto dal programma delle iniziative relative al progetto d’innovazione didattica.

Per l’estremo interesse dei temi affrontati, si è ritenuto utile dal punto di vista didattico, ma anche rilevante sul piano scientifico, pubblicare gli interventi proposti dai vari relatori in un testo, che potrà essere integralmente scaricabile dal web al sito www.epress.unifi.it.

Con ciò credo si possa dare risposta anche a quell’esigenza, così sentita oggi nella comunità dei ricercatori, di massima disponibilità, reperibilità e trasparenza dell’informazione tecnica e conoscenza scientifica.

Carlo Biagini
*Coordinatore del progetto
di innovazione didattica*

1. Information Technology ed automazione del progetto

Carlo Biagini

1.1. Verso l'automazione del progetto di architettura

I termini del dibattito culturale, che si era sviluppato negli anni passati intorno all'introduzione dell'*Information Technology* (IT) nelle discipline della rappresentazione e del progetto, sono profondamente mutati. Chiedersi oggi se l'uso degli strumenti del disegno assistito dal computer riduca la creatività del progettista o ne limiti le capacità di ideazione formale, è una questione ormai superata dagli esiti delle ricerche compositive e progettuali di alcuni tra i protagonisti della cultura architettonica contemporanea, che programmaticamente hanno scelto di dare forma costruita ad una estetica indotta dalla civiltà elettronica.

È noto come Frank O. Gehery utilizzi il programma Catia, messo a punto nell'industria aerospaziale, per la rappresentazione e controllo tridimensionale dei suoi progetti; pure Eisemann perviene alla forma architettonica definitiva attraverso complesse procedure di anamorfosi e distorsione rese possibili da sofisticati softwares; Libeskind, Fuksas, Zaha Haidid fanno ampio ricorso alla grafica computerizzata. Tuttavia anche per loro l'approccio al progetto nella fase euristica viene condotto quasi sempre nei media di rappresentazione tradizionali (schizzi, plastici di studio), e solo successivamente l'IT entra nel processo progettuale.

Ma al di là dei casi emblematici è proprio l'esperienza quotidiana degli studi professionali che dimostra come, nonostante l'uso del CAD abbia sostituito in moltissime attività il "tavolo da disegno", non sia ancora mutato sostanzialmente il rapporto tra concezione dello spazio e progetto.

È altrove che l'IT esprime le sue maggiori potenzialità, che riguardano la razionalizzazione e gestione del processo progettuale inteso quale sequenza ordinata di operazioni tendenti alla traduzione di un'idea architettonica in una realtà costruita.

In ogni fase di tale processo è possibile infatti fare ricorso a questi potenti strumenti di lavoro per simulare la percezione visiva dell'architettura, ridurre i tempi di elaborazione grafica del progetto, sviluppare e/o ottimizzare procedure di analisi funzionale, tecnica e tecnologica della costruzione.

Questa diffusione così ampia dell'IT, rilevabile oggi nel mondo dell'edilizia ed in particolare in quello dei progettisti, non si è sviluppata tuttavia in modo graduale. Si è trattato infatti di un fenomeno di cui è possibile riconoscerne

due fasi: la prima ha riguardato l'introduzione di tecnologie informatiche per la progettazione assistita; la seconda, ancora in frenetica evoluzione, è relativa all'avvento di Internet e dei network telematici di settore con la possibilità di uno agevole scambio dati e reperimento di informazioni tecniche.

La prima fase ha dovuto fare i conti con le notevoli inerzie del settore, dovendo superare procedure e metodi di organizzazione del lavoro ormai consolidati, e soprattutto si è caratterizzata per la ricerca di un corretto dimensionamento degli ausili informatici sulla base delle reali esigenze del progettista edile e non su quelle di ipotetici scenari.

L'ingresso di Internet nel mondo dei progettisti invece è avvenuto su un terreno già ricettivo ai temi dell'informatizzazione del processo e quindi più disponibile all'innovazione ed in grado di coglierne le potenzialità offerte.

Si deve inoltre osservare che queste trasformazioni si sono attuate in Italia in un momento storico di forte riorganizzazione dei vari comparti tecnici e produttivi nel settore delle costruzioni, che ha visto impegnati ai diversi livelli le strutture di progettazione, gli organismi di controllo, le imprese e più in generale il mondo della produzione. Anche sul piano normativo con la recente legge in materia di appalto dei lavori pubblici, che ha recepito varie direttive europee, gli attori del processo costruttivo si sono dovuti confrontare con un nuovo sistema di relazioni interne e procedure tecnico-amministrative nel quadro di un progressivo allargamento della competizione internazionale.

Sul piano culturale due sono i concetti introdotti che più di altri promettono di innovare il "progetto edile" ed i modi di rappresentarlo: il "ciclo del progetto" ed il "controllo di qualità".

Con ciclo del progetto si intende esprimere un'idea di processo progettuale che non si trovi confinato esclusivamente alla fase di definizione qualitativa e quantitativa degli elementi funzionali, tecnici e formali di una costruzione, ma si estenda all'analisi delle specifiche implicazioni nella fase realizzativa, verificando le condizioni di esercizio durante l'intero arco di vita dell'opera con appositi piani di manutenzione, che ne programmino anche la dismissione finale.

Il tema del controllo di qualità, ormai acquisito nel mondo della produzione industriale, solo da alcuni anni si è affacciato anche alle strutture di progettazione, ed in prospettiva rappresenta un elemento di profondo rinnovamento dei consolidati assetti organizzativi. In particolare dovranno essere sviluppate rigorose procedure di controllo e verifica dell'intero iter di formazione e rappresentazione del "prodotto - progetto esecutivo", cioè di quell'insieme di informazioni che interagisce con la realtà esterna e che regola il processo di produzione.

1.2. Il problema della didattica

In questo quadro appare necessario introdurre anche nella didattica del progetto elementi di innovazione che consentano di promuovere negli studenti

nuove modalità di approccio in linea con le esigenze emergenti dal mondo della produzione edilizia¹. Tale didattica deve sapersi qualificare anche per un uso critico dell'IT, il cui ruolo in prospettiva appare sempre più determinante nell'elaborazione progettuale, potendo offrire strumenti diversificati e orientati verso specifiche applicazioni, che spaziano dalla programmazione e pianificazione degli interventi alla simulazione del progetto, dalle analisi strutturali e tecnologiche alla trasmissione dell'informazione tecnica agli operatori della produzione.

Ciò necessita tuttavia di una profonda riflessione su quale sia nella didattica l'incidenza dell'IT da un punto di vista cognitivo durante l'apprendimento e l'acquisizione di strumenti critici per lo sviluppo di capacità progettuali nello studente.

Qui il tema della formazione interagisce con la cultura espressione della società contemporanea fortemente condizionata dagli aspetti visuali e di immagine, che determinano gli stimoli e le esperienze comunicative dei nostri giorni.

Tali stimolazioni tuttavia si situano sempre all'interno di una catena comunicativa che induce il destinatario del messaggio in una condizione di passività e di limitata o nulla possibilità di rielaborazione creativa: tipicamente i sistemi mediatici restringono le valenze comunicative del messaggio a quegli elementi individuati come pregnanti di un certo tipo di significati.

Il disegno diventa quindi un'esperienza necessaria nella formazione di ogni sistema concettuale e nel dare struttura formale ad un'idea. Ed è inteso qui il disegno nei suoi aspetti di scrittura diretta "a mano", di traccia su un supporto, senza alcuna mediazione tra l'idea e la sua trascrizione grafica (significative sono a tale proposito alcune proposte di automazione anche in questo tipo di attività, che tentano di trasferire su supporto informatico lo schizzo eseguito su carta nelle modalità tradizionali tramite speciali "matite elettroniche"). In questo gioco entra ovviamente la tecnica che deve essere acquisita attraverso un paziente tirocinio, che rappresenta il primo momento della formazione del progettista. Il confronto diretto con le proprie idee attraverso il disegno non è quindi messo in discussione in quanto la possibilità di sperimentare la forma architettonica è legato all'evocazione, rielaborazione di vissuti percettivi, che necessitano di forme immediate di controllo, che solo il disegno "autografo" può rendere.

Il problema nasce quindi a valle del momento ideativo, che conserva piena valenza anche nei suoi contenuti tecnici; è nella fase di sedimentazione della proposta progettuale, dalla simulazione fino alla trascrizione grafica rigorosa per fini esecutivi che l'IT può trovare le più utili applicazioni. Essa presenta enormi potenzialità nella regolazione dei flussi informativi, che elevando il

¹ Il tema è stato già affrontato dall'autore in un contributo al XXII Convegno Internazionale dei Docenti della Rappresentazione nelle Facoltà di Architettura ed Ingegneria, Lerici 2000.

gradi di efficienza ed affidabilità è in grado di modificare l'intera gestione del processo edilizio.

Il notevole entusiasmo, che accompagna spesso lo studente nel primo incontro con gli strumenti CAD, deve spingere ad una riflessione su quali siano le più corrette procedure e criteri di approccio all'IT, che meglio valorizzino le sue capacità inventive.

Entrare in una logica di didattica "assistita" dall'IT implica certamente un cambiamento anche delle modalità di svolgimento del tradizionale rapporto tra docente e studente, che nelle discipline progettuali, almeno per quanto riguarda la parte applicativa e di esercitazione, si svolge generalmente nelle forme della interazione e trasmissione diretta di informazioni e saperi. A tale proposito possono essere individuati due approcci fondamentali.

Un primo approccio considera l'IT nelle sue valenze esclusivamente strumentali: si tratta in questo caso di una semplice operazione di sostituzione di macchine e apparecchiature considerate "desuete", con altre potenzialmente più efficienti ed incisive nello sviluppo di sessioni di lavoro tradizionali (possibilità di presentazioni con strumenti informatici, revisioni con ausili di grafica computerizzata, ecc.); potremo anche definirlo l'approccio del "tecnigrafo elettronico".

Questo può essere utile per introdurre lo studente all'IT con un ridotto impegno da parte del docente nell'adeguarsi al linguaggio informatico, che al limite può essere accettato anche solo sul piano della trascrizione grafica, ed ignorato nelle implicazioni di carattere metodologico e concettuale. Egli però in questo caso non è in grado di influire sulle modalità di accesso all'IT e sulla qualità del metodo utilizzato nelle applicazioni a specifiche attività progettuali; è possibile certamente stabilire per quali di queste sia ammesso l'uso dell'IT rispetto ad altre nelle quali si continua a relazionarsi in maniera tradizionale, ma il controllo in questo senso è scarsamente efficace.

Un secondo approccio identifica nell'IT uno dei fattori di qualificazione della didattica della rappresentazione e del progetto e, riconoscendone la rilevanza nella cultura tecnico-scientifica contemporanea, cerca di accoglierne nella specificità di ciascuna disciplina e all'interno di un quadro metodologico unitario gli elementi di innovazione. L'attenzione del docente in questo caso dovrà essere rivolta alla verifica di un percorso didattico, che proceda attraverso specifici steps di acquisizione e utilizzo di tecnologie informatiche, evitandone usi impropri e/o eccessive semplificazioni; per evidenziare questo carattere di visione organica dell'IT all'interno dell'iter formativo, potremmo definire questo approccio di tipo "sistemico".

È facilmente rilevabile oggi come gli strumenti dell'IT entrano nell'uso e nella pratica degli studenti frequentemente in maniera occasionale, legati in particolare allo svolgimento di alcune esercitazioni grafiche, per le quali è immediato il riscontro operativo. E ciò avviene senza una adeguata valutazione delle possibili interferenze sul piano formativo e con un limitato orientamento nella corretta scelta degli ausili informatici più opportuni.

I laboratori sono le strutture didattiche preposte a questo tipo di attività, nei quali gli studenti sono coinvolti in esperienze dirette di utilizzo di IT, tuttavia, essendo ormai generale la dotazione individuale di PC con software specifici dedicati al disegno, non è spesso possibile avere un quadro chiaro delle modalità di accesso all'IT durante il corso di studi, in considerazione non solo delle personali esperienze maturate ma anche di autonomi training di apprendimento.

Vi è inoltre la tendenza di delegare agli insegnamenti informatici di base l'onere di avviare gli studenti all'uso dell'IT. Si tratta del medesimo equivoco che ha caratterizzato in questi anni lo sviluppo dell'IT nel settore della rappresentazione e del progetto, per il quale i produttori informatici di software trovavano grosse difficoltà ad individuare le esigenze effettive del mondo dei progettisti edili.

Sono infatti queste due realtà assai diverse, che spesso faticano a trovare un linguaggio comune nella formulazione di una domanda e corrispondentemente di una offerta. Si è cercato così di superare il problema inserendo architetti ed ingegneri con specializzazione informatica tra il personale tecnico delle software-house che hanno qualificato con il loro bagaglio culturale i nuovi prodotti (esemplificativa in questo senso è la loro massiccia presenza come personale addetto alle dimostrazioni dei nuovi "pacchetti" in occasione di appuntamenti fieristici dedicati all'IT nelle costruzioni).

Questa separazione del resto non è nuova; ogni linguaggio infatti nelle sue regole di articolazione impone differenti livelli di conoscenza ed apprendimento in rapporto ai contenuti espressi come forme significanti. Difficilmente quindi un informatico esperto di linguaggi, potrà essere in grado di impostare metodologie di lavoro significative per un progettista edile.

Al docente nelle discipline della rappresentazione e del progetto non è tanto richiesto di interloquire direttamente con lo studente nelle fasi di costruzione del modello, quanto di definire sul piano del metodo procedure e livelli di approfondimento, in grado di orientare le scelte di IT all'interno di una sequenza di fasi operative che riproducano il processo edilizio nella complessità delle sue interrelazioni.

Rispondere ad una domanda di IT, non ben strutturata all'interno dei corsi, induce inoltre una serie di problemi esterni allo specifico carico di apprendimento dei singoli insegnamenti: ad esempio la necessità di uniformare le uscite degli output di stampa, che rappresenta la parte di maggior onere in termini di tempo e di costo di materiale utilizzato, soprattutto nei casi in cui si voglia mantenere modalità tradizionali di revisione degli elaborati grafici.

Questo aspetto rappresenta un vero e proprio "collo di bottiglia" in uno schema di razionalizzazione delle attività didattiche di laboratorio che rischia di annullare i risultati di una corretta impostazione di lavoro.

Nell'uso dei sistemi CAD la stampa su carta di elaborati grafici intermedi, cioè relativi ad un "working in progress", risultano spesso per inesperienza

affetti da errori di impostazione delle variabili di dimensionamento e/o di scala (problemi assenti nel disegno tradizionale) che spostano eccessivamente l'attenzione dello studente dagli aspetti di contenuto a quelli di notazione grafica. Questo problema può essere superato in vari modi, o quanto meno semplificato, solo se si è disposti ad entrare nella logica dell'IT, modificando almeno in parte alcune delle consuete modalità di svolgimento dell'attività di controllo degli elaborati progettuali.

Ma vi sono anche altri aspetti che possono incidere profondamente sugli stessi contenuti disciplinari. Ci si può chiedere ad esempio se l'insegnamento e l'apprendimento della Geometria Descrittiva possa venire modificato ed in quale misura dall'uso di programmi di modellazione tridimensionale, e se forse questi non consentano nuove e più incisive forme di comunicazione.

Ciò a cui assistiamo oggi nell'ambito della Scienza della Rappresentazione presenta alcune chiare analogie con quanto andava maturando sul finire del XVIII secolo riguardo alla definizione di strutture logiche per l'analisi della forma di oggetti nello spazio. Il programma di Gaspard Monge con estrema lucidità si proponeva il conseguimento di due precisi obiettivi:

“Il primo è di rappresentare con esattezza, nei disegni che sono soltanto bidimensionali, oggetti che sono invece tridimensionali e che siano suscettibili di una rigorosa definizione. Da questo punto di vista deve esistere un linguaggio necessario sia all'uomo di genio che crea un progetto, sia finalmente agli artigiani che lo debbono realizzare nelle varie parti.

Il secondo obiettivo della Geometria Descrittiva è di dedurre nell'esatta descrizione dei corpi, tutto ciò che necessariamente deriva riguardo alle loro forme e alle loro rispettive posizioni. In tal senso la geometria descrittiva è un mezzo per investigare la verità; essa offre sempre esempi di come passare dallo stato ignoto al noto”².

Con le dovute differenze di prospettiva storica, l'opera di Monge riuscì ad affrontare e risolvere alcune questioni emergenti dal mondo della produzione, a cui l'informatica grafica nell'attuale contesto tecnico-economico ha saputo rispondere, offrendo ad una domanda crescente di innovazione nel settore delle costruzioni civili, tradizionalmente in ritardo rispetto agli altri comparti industriali, nuovi metodi e potenti strumenti di ausilio alla progettazione.

Gli obiettivi di ieri trasposti nei termini di oggi potrebbero così essere enunciati:

- costruzione geometrica e visualizzazione del modello attraverso strumenti di simulazione del reale;
- costituzione di un linguaggio comune a tutti gli attori del processo edilizio;
- manipolazione e trasformazione del modello attraverso forme dirette di interazione.

² G. Monge, *Geometrie Descriptive*, Paris, anno VII 1798-99, p. 51.

1.3. Per un approccio “sistemico”

Nelle discipline della rappresentazione, progettazione e produzione edilizia attraverso gli strumenti dell'IT è possibile sperimentare nuove forme didattiche in grado di simulare la dinamica delle relazioni tecniche e professionali all'interno del processo di progettazione e tra i diversi operatori nel mondo della produzione.

L'offerta di IT è oggi del resto assai diversificata ed orientata verso specifiche applicazioni di supporto nelle varie fasi di articolazione del progetto. In tale ambito la multimedialità, che consente di integrare testi, disegni, grafici vettoriali, e video, rappresenta un modo innovativo di correlare informazioni, in grado di modificare non solo il processo progettuale, ma l'intera organizzazione del sistema produttivo e di commercializzazione dei beni edilizi.

Mai come oggi l'obiettivo dell'integrazione tra le varie fasi di progetto edilizio e il collaborative-working tra i diversi attori del processo costruttivo appare perseguibile, sviluppando sistemi informativi e networks che tendano a formare piattaforme di dati condivisibili, ispirate ai metodi della pianificazione dei processi ed alla progettazione integrale. Tuttavia per conseguire l'obiettivo cruciale dell'integrazione, occorre definire procedure unificate e standard per lo scambio di dati che rendano coerente l'azione di ciascun operatore all'interno del processo edilizio; solo in tal modo l'IT da semplice strumento di supporto, verrà a rappresentare un fondamentale riferimento per l'innovazione del settore a qualsiasi livello operativo.

Partendo da queste considerazioni è stato avviato presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze un progetto di innovazione didattica, che nell'ambito dei “laboratori di progettazione” prevede lo svolgimento di attività connesse alle nuove modalità di gestione del processo edilizio mediante l'IT. In particolare si è inteso:

- favorire un approccio guidato all'uso dell'IT, attraverso corsi seminariali specifici nei vari campi di applicazione, riferiti alle applicazioni e strumentazioni informatiche più diffuse nel settore della progettazione e della produzione edilizia;
- sviluppare esperienze didattiche di progetto che pongano lo studente in stretto rapporto con la realtà produttiva edilizia attraverso l'accesso a database e networks informativi, nonché la consultazione per via informatica di documentazione tecnica disponibile (normative, repertori di prodotti, capitolati, prezziari, ecc.) nei vari settori di interesse;
- consentire allo studente, anche nell'ambito di una esperienza didattica trasversale a corsi differenti, una gestione del progetto estesa all'intero processo, così come inteso oggi nella più moderna accezione di “ciclo”, possibile mediante l'uso di adeguati software di simulazione e rappresentazione che interfaccino i dati in ingresso ed in uscita relativi ad analisi parziali delle singole fasi progettuali.
- introdurre modalità di interazione tra studente e docente che si riferiscano a procedure codificate di proposizione e controllo degli elaborati progettuali.

tuali e che prefigurino modelli di comportamento riscontrabili nella realtà produttiva edilizia.

Tale attività potrà essere supportata anche da progetti di ricerca che si propongano di analizzare i mutamenti indotti dall'introduzione dell'IT nella rappresentazione del progetto e più in generale nel processo progettuale. Il campo è aperto, ed è possibile definire alcuni temi di approfondimento considerati prioritari:

- analisi dello stato dell'arte in Italia nell'uso dell'IT nel settore delle costruzioni con particolare riguardo agli strumenti di supporto alla rappresentazione ed al progetto, e confronto con le realtà internazionali più avanzate;
- acquisizione diretta di esperienze concrete nel campo dell'automazione del progetto attraverso relazioni nazionali ed internazionali con enti pubblici e/o privati e con singoli operatori di settore, che abbiano attuato significativi programmi ed investimenti nel campo dell'IT;
- individuazione dei mutamenti avvenuti od in corso nel processo edilizio conseguenti all'introduzione dell'IT nelle attività progettuali e produttive con particolare riguardo agli elementi di innovazione.

Le finalità di tale programma sono la definizione sia sul piano metodologico che procedurale di un approccio sistemico all'IT nell'ambito delle discipline della rappresentazione ed del progetto, atteso il loro crescente contributo nel miglioramento della qualità decisionale nelle attività progettuali.

1.4. Il progetto in rete: recognizione sulle opportunità offerte dal web

Da alcuni anni l'informatizzazione del processo edilizio ha visto affermarsi un rilevante sviluppo dei sistemi di rete, che sta rappresentando uno dei fattori più forti di trasformazione dell'assetto organizzativo delle varie strutture professionali e di impresa.

La diffusione della rete sia nelle forme intranet che internet, ha reso possibile quell'ampia condivisione di dati tra i vari attori del processo costruttivo, che rappresenta il presupposto essenziale per una efficace gestione del progetto secondo un approccio di ingegneria concorrente³.

Numerosi sono già oggi gli operatori Internet che secondo modalità differenti offrono servizi di ausilio alla progettazione e alla costruzione nel settore edilizio.

Nelle note che seguono si è voluto mettere a fuoco le principali caratteristiche di questi servizi, individuandone i promotori, i destinatari, le tipologie, le modalità di erogazione, tentando di delineare un primo quadro di riferimento che consenta di orientare le scelte di un potenziale utente (studente, progettista, impresa, ecc.).

Attraverso i più noti "motori di ricerca" di carattere generale, ma anche attraverso quelli più specifici di settore, collocati all'interno di portali Internet

³ Si veda a tale proposito nel seguito l'intervento di M. Masera e S. Mecca.

che si occupano esclusivamente di Edilizia, è possibile rilevare un'offerta di servizi rivolti al progettista ed all'impresa, che può essere articolata in due differenti tipologie:

- servizi di supporto alle attività tecniche professionali e/o d'impresa;
- servizi di consulenza per la gestione delle attività professionali o d'impresa.

Solo alcuni portali sono tuttavia attrezzati a fornire tali servizi on-line all'utente-Internet, mentre in generale si tratta di un'offerta, alla quale è possibile accedere solo contattando direttamente il promotore.

In quest'ultimo caso le potenzialità della rete sono sfruttate con un basso livello di efficienza, ed il sito-web si presenta come un semplice supporto informativo, al quale riferirsi per acquisire contatti (professionali, lavorativi, ecc), che si presuppone debbano svolgersi, nel caso di un interesse specifico dell'utente, attraverso canali più tradizionali (telefono, posta, incontro diretto, ecc.). L'unica forma di interazione attraverso la rete è rappresentata dalla posta elettronica, a cui tuttavia non corrisponde spesso una risposta adeguata per tempi e contenuti.

È evidente infatti che un servizio on-line, o anche solo e-mail, presupponga un'organizzazione nella gestione del sito-web, anche se minima, con un operatore addetto ed una serie di procedure interne, che consentano di soddisfare le richieste dell'utenza in tempi utili (dal semplice smistamento dei quesiti verso i consulenti, al più impegnativo aggiornamento di informazioni, banche dati, ecc. presenti nel sito).

Internet è perciò frequentemente utilizzato per costituire delle "bacheche elettroniche", che diano visibilità ad una determinato servizio, dato poi operativamente in altra sede e secondo altre modalità.

1.4.1. I promotori di portali edili su Internet

Le caratteristiche dei siti-web presenti in Internet che offrono servizi a progettisti ed imprese edili, differiscono notevolmente tra loro in rapporto alla natura ed alle finalità dei promotori. Una prima suddivisione può essere fatta sulla base del bacino di utenza, che questi si propongono di raggiungere, generalmente suddiviso in categorie professionali, pur prevalendo talvolta l'interesse per la realtà locale.

Alcuni siti presentano infatti informazioni di carattere generale per una specifica categoria professionale (progettisti, imprese, produttori), mentre altri propongono contenuti calibrati sul contesto territoriale specifico (comunale, provinciale, regionale).

Tra i promotori che offrono servizi nel campo dell'edilizia possiamo elencare:

- associazioni di professionisti;
- associazioni di costruttori ed imprese edili;
- enti fieristici;
- associazioni di produttori;

- pubbliche amministrazioni;
- soggetti privati.

Associazioni di professionisti – Si tratta di siti-web gestiti dagli Ordini Professionali di varie Province italiane, oppure da private associazioni e raggruppamenti di professionisti (società di ingegneria, architetti, ecc.). Nel primo caso vengono proposte notizie a carattere locale ed informazioni su problematiche di valenza generale essenzialmente di tipo tecnico-normativo; nel secondo la rete viene utilizzata per presentare il proprio lavoro attraverso semplici pagine web o veri e propri siti strutturati.

Associazioni di costruttori ed imprese edili – Esse sono organizzate a partire dall'associazione nazionale (ANCE, ANIEM) in sezioni regionali e provinciali; molte di queste sono già dotate di un sito-web a servizio dei propri iscritti.

Enti fieristici – Quasi tutti gli enti fieristici nazionali che promuovono manifestazioni nel settore dell'Edilizia, sono dotati di un sito-web. Tra questi tuttavia solo l'Ente Fiera di Bologna e quello di Milano hanno promosso iniziative specifiche su Internet per offrire informazioni e servizi a tutti gli operatori di settore.

Associazioni di produttori – I siti-web costituiti da tali associazioni si rivolgono prevalentemente ai propri iscritti, ma le loro iniziative di promozione di nuovi prodotti e tecnologie possono risultare di interesse anche per progettisti ed imprese.

Pubbliche amministrazioni – Le pubbliche amministrazioni hanno trovato in Internet un efficace strumento per la trasparenza dell'informazione nei rapporti con il cittadino; in particolare nel settore urbanistico ed edilizio alcune di esse si sono già attrezzate per offrire all'utente un accesso diretto on-line a banche dati con informazioni su normative, cartografie, atti amministrativi, pratiche edilizie, ecc.

Soggetti privati – Alcuni operatori privati hanno avviato iniziative Internet a carattere commerciale nel settore delle costruzioni, cercando attraverso i propri portali di realizzare luoghi di incontro tra domanda ed offerta di servizi e prodotti, provenienti da imprese, fornitori e progettisti.

1.4.2. Modalità di erogazione di servizi informativi su Internet

I servizi che possono essere offerti da un portale Internet sono legati alle potenzialità e ovviamente ai limiti intrinseci della tecnologia informatica.

Da un raffronto tra i vari siti-web visitati che si occupano di tematiche edilizie, si possono individuare modalità ricorrenti nella presentazione dell'informazione tecnica e nell'offerta di servizi agli utenti.

Informazione frontale – Si intende un tipo di informazione allocata nel sito, periodicamente aggiornata dal gestore, suddivisa per temi ed organizzata secondo una struttura gerarchica. Non si presuppone alcuna forma di interazione tra gestore ed utente; quest'ultimo fruisce dell'informazione semplice-

mente accedendo alle varie pagine-web attraverso percorsi prefissati dal gestore.

Informazione interattiva – Si intende un tipo di informazione che prefigura un utilizzo di internet avanzato, con un elevato livello di interazione tra utente e gestore. Solo pochi portali offrono questa opportunità, che tuttavia rappresenta una delle prospettive più interessanti di sviluppo di Internet.

Lo scambio interattivo di informazioni tra gestore ed utente avviene secondo le seguenti modalità tipo:

1. newsletter – l'utente viene registrato in una apposita mailing-list, ai cui iscritti viene inviato periodicamente una informativa o un avviso sulle tematiche affrontate nel portale-Internet e su altre iniziative dallo stesso promosse;
2. domanda/risposta – l'utente pone dei quesiti attraverso la compilazione di un apposita scheda contenuta nel sito, ed il gestore risponde via e-mail con l'ausilio di propri consulenti;
3. spazio forum – il gestore organizza incontri on-line tra utenti ed esperti, nei quali si affrontano temi specifici secondo un calendario prefissato; con modalità stabilite di volta in volta dal coordinatore della sessione, l'utente può rivolgere domande agli esperti o effettuare propri interventi.

Questi tre modi di interagire corrispondono nell'ordine a livelli crescenti di interazione utente-gestore:

- nel primo caso il gestore recapita informazioni all'utente in maniera autonoma secondo una propria programmazione interna; il livello di interazione è basso, l'informazione recapitata può anche non essere di interesse dell'utente;
- nel secondo caso è l'utente che promuove il contatto; il gestore deve organizzarsi con la propria struttura per soddisfare la richiesta formulata in tempi adeguati; il livello di interazione è medio, l'informazione raggiunge comunque un utente interessato;
- nel terzo caso gestore e utente instaurano un rapporto diretto on-line, che implica una contemporaneità di presenza nelle proprie postazioni di terminale; in base alle tecnologie informatiche a disposizione dei due soggetti, è possibile attivare forme più o meno avanzate di interazione che vanno dalla semplice "chat" alla videoconferenza; il livello di interazione è elevato, l'utente è molto motivato a stabilire il contatto ed a partecipare attivamente alla discussione proposta dal gestore.

1.4.3. I contenuti

Vediamo più in particolare i contenuti informativi offerti attraverso Internet, riferiti alle due tipologie di servizio precedentemente individuate.

1) Servizi di supporto alle attività tecniche professionali e/o d'impresa

Relativamente a questo tipo di servizi, Internet presenta alcune realtà, anche italiane, sufficientemente strutturate, che si rivolgono in generale a tutti

gli attori del processo edilizio (progettisti, imprese, amministratori, semplici utenti, ecc.), con una chiara prevalenza per i servizi informativi relativi alla fase di progettazione. È un campo questo che si presta particolarmente ad una strutturazione logica dell'informazione tecnica, attraverso la realizzazione di archivi e banche dati attinenti le più diverse problematiche progettuali.

a. *Gli archivi* - Pur se presentati sotto varie forme, anche facendo ricorso a tecniche multimediali, le tipologie di archivio più ricorrenti nei siti-web sono:

- cataloghi merceologici;
- raccolte normative;
- repertori di soluzioni tecniche;
- manualistica, letteratura tecnica;
- indirizzari (associazioni, enti, ordini, ecc.).

Questi archivi hanno la necessità di essere continuamente aggiornati ed ampliati, anche se è possibile verificare una certa permanenza del dato raccolto.

Altre informazioni riguardanti l'attualità (bandi, news, eventi, ecc.), esauriscono la loro efficacia in tempi molto più rapidi.

b. *L'attività di consulenza* - I servizi di consulenza si svolgono generalmente attraverso contatti del tipo domanda/risposta; l'utente può formulare quesiti, a cui lo staff tecnico del promotore Internet risponde in tempi e modi stabiliti. Altre tipologie sono quelle che si propongono come sostitutive e/o a supporto di specifiche attività progettuali o di impresa; queste risultano tuttavia ancora non sufficientemente collaudate ed in una fase di sperimentazione.

In particolare vengono offerti i seguenti servizi:

- Servizi di progettazione – il promotore mette a disposizione dell'utente uno staff tecnico in grado di affrontare problematiche progettuali alla scala di dettaglio, che riguardano essenzialmente la "costruibilità" dell'opera. Ad esempio nella fase di appalto dei lavori generalmente l'impresa avvia una fase di progettazione o comunque di verifica del progetto esecutivo in ordine agli aspetti tecnologici e cantieristici dell'opera; competenze professionali specifiche possono quindi essere richieste relativamente a sicurezza, cantiere, tecnologie alternative e/o innovative, prove su materiali e collaudi di manufatti, nonché tutti gli adempimenti amministrativi a questi relativi. Si tratta spesso di un problema di contatti e di canali informativi che il singolo operatore (il progettista, la piccola e media impresa) può trovare difficoltà a reperire nella propria realtà locale.
- Servizi di preventivo relativo a gare d'appalto – il promotore mette a disposizione dell'impresa o di eventuali professionisti interessati uno staff tecnico in grado di analizzare le opere da costruirsi e di valutare i costi unitari e generali delle stesse nel contesto locale definito. Ciò viene particolarmente incontro alle esigenze della piccola impresa in genere non in grado di garantire al suo interno questo servizio.
- Servizi di acquisto – l'organizzazione di gruppi di acquisto da parte del gestore consente una migliore negoziazione nei confronti di fornitori e

subappaltatori di beni e servizi, conseguendo un miglior rapporto qualità/prezzo.

Le potenzialità di questo servizio non risiedono solo nel maggior potere di acquisto e di contrattazione, di cui le singole imprese riunite in gruppo possono avvantaggiarsi attraverso il promotore Internet, ma nella possibilità di delegare a questo alcune attività di azienda con ottimizzazione di costi di approvvigionamento e di gestione del magazzino.

Questo servizio ha già trovato numerose applicazioni in rete nei più differenti settori commerciali: l'e-commerce è una realtà ormai consolidata in importanti portali facenti capo a grandi aziende. Nel settore dell'Edilizia cominciano a comparire i primi portali Internet interamente dedicati a questa attività o comunque si rilevano links ai principali operatori di servizio-contrattazione. Appare tuttavia scoperto o ancora non sufficientemente sviluppato il settore dei "noli" ed il mercato dell'usato di macchine ed attrezzature da cantiere, che potrebbe rappresentare un ambito di specifico interesse per il mondo delle imprese edili.

- Sistemi di qualità aziendali - un altro settore che potrebbe avere uno sviluppo in termini di servizio a società di ingegneria e ad imprese, che si rintraccia in alcune proposte di portali Internet, è la qualità. In particolare l'informazione su requisiti, criteri, procedure e modalità richieste per l'ottenimento di certificazione di qualità aziendale potrebbe essere sviluppata attraverso archivi specifici (modulistica, esempi di procedure, manuali tipo di qualità, normativa), servizi di consulenza (con esperti convenzionati di settore), corsi di formazione a distanza (vedi punto successivo).

Nessuno tra i siti-web consultati e dedicati all'Edilizia affronta in maniera sistematica il tema della qualità aziendale offrendo servizi effettivi on-line.

c. La formazione a distanza

Pochi sono i siti che si propongono per la formazione a distanza, ma questa appare una delle forme di utilizzo di Internet tra le più interessanti non solo in termini di interazione tra gestore ed utente, ma anche di efficacia dello strumento informatico rispetto agli obiettivi prefissati.

Circa gli aspetti di interazione gestore-utente, riferendosi a quanto già esposto, i corsi di formazione a distanza possono basarsi su modalità spazio-forum (il docente e l'utente sono in contemporanea al terminale informatico e dialogano on-line), oppure le lezioni (frequentemente multimediali), preparate in precedenza dal gestore, vengono scaricate dall'utente nel proprio computer.

Anche la verifica quando prevista può seguire modalità analoghe.

I corsi a distanza attualmente rilevati in rete riguardano i temi relativi alla formazione informatica di base (Office, Word, Excel, ecc.), gestione e qualità aziendale.

Corsi avanzati on-line di Project Management sono erogati anche da alcune università italiane e straniere nell'ambito di corsi Master interamente fruibili

via Internet. Anche in questo caso i corsi di formazione, seguiti attraverso portali Internet, possono essere considerati come attività di studio o d'azienda trasferite a strutture esterne, nel quadro di un'ottimizzazione dei costi d'impresa.

d. *Il "global service"*

Dall'idea che attraverso Internet sia possibile trasferire alcune attività professionali o di impresa a strutture esterne per ottimizzare i costi aziendali, sono nate alcune sperimentazioni promosse da centri di ricerca.

In particolare il modello organizzativo messo a punto per una struttura d'impresa è quello del global service nel settore del facility management. L'ipotesi è che alcune attività di gestione, non essendo centrali per l'azienda, possano venire affidate utilmente ad operatori esterni specializzati; tra queste: segreteria centralizzata, posta elettronica ed apparati facsimile; supervisione centralizzata del funzionamento degli impianti di sicurezza e tecnologici; posta interna, trasporti e movimentazioni; manutenzioni di opere edili; gestione di sale e laboratori, mantenimento di archivi.

Tali progetti di ricerca, rivolti prevalentemente al mondo della piccola e media impresa, puntano su un elevato livello di automazione dei servizi offerti attraverso reti telematiche, nell'ambito di tecniche di progettazione in ingegneria concorrente.

2) *Servizi di consulenza per la gestione delle attività professionali o d'impresa*

Il tema esula in parte dagli interessi del presente lavoro, ma deve essere segnalato in quanto occupa una parte rilevante dei servizi offerti dalle associazioni di categoria ai propri aderenti. Infatti un settore in sviluppo all'interno dei portali Internet è quello della consulenza alla gestione delle attività professionali o d'impresa, quali i contratti di lavoro e tutte le problematiche di natura previdenziale, fiscale ed assicurativa.

Nel settore finanziario inoltre negli ultimi anni da parte delle aziende, rispetto ad un'idea tradizionale di consulenza volta essenzialmente agli adempimenti tributari periodici, è emersa una domanda di informazione relativa alle opportunità offerte da vari disposti legislativi (leggi finanziarie dello Stato, Regionali, della Comunità Europea, ecc.) in ordine a finanziamenti e/o sgravi fiscali, nonché alle condizioni tecnico-economiche necessarie per accedere a tali benefici.

In tal senso alcuni siti Internet cercano di dare risposta, cercando di costituirsi, attraverso informazioni rese facilmente accessibili, come punto di aggregazione di aziende finalizzata alla cooperazione imprenditoriale in materia tributaria e finanziaria.

L'attività di progettazione di un edificio è venuta sempre più caratterizzandosi come un insieme di fasi operative, strutturate su differenti livelli di approfondimento, che procede dal generale al particolare, unificando il momento dell'ideazione con quello della realizzazione; si tratta tuttavia di un

processo che raramente si svolge in forma lineare, ma presenta spesso cicli iterativi di verifica e controllo delle soluzioni acquisite⁴.

La molteplicità degli attori coinvolti nel processo edilizio pone quindi un problema di gestione dei flussi informativi e di definizione di un codice per il progetto. Se quindi da un lato la rete offre potenzialità nuove in termini di collaborative-working, integrazione dei servizi e gestione di risorse, dall'altro induce problemi nuovi di scambio e trattamento dei dati, che presuppongono non solo la definizione del codice numerico, ma l'individuazione di categorie logiche e di strutture gerarchiche comprensive della natura del processo progettuale stesso: i modelli comunicativi informativi possono costituire in tal senso un valido strumento.

Già oggi la rete appare essere in grado di modificare i consolidati sistemi di relazione tra progettisti ed impresa, laddove sono stabilizzate le modalità di gestione e comunicazione delle informazioni per il progetto.

Nell'ambito del progetto tecnologico esecutivo sono attesi i risultati più interessanti.

⁴ Ci si riferisce qui alla normale dialettica tra i vari attori del processo edilizio, e non alle responsabilità dei singoli progettisti riguardanti errate valutazioni tecniche e/o economiche che portano a considerevoli revisioni del progetto.

2. Dal numerico al visuale: strategie di rappresentazione rendering-based

Marco Gaiani

2.1. I mutamenti che la storia ci ha insegnato

Uno degli eventi certamente più ricchi di contenuti e prospettive del primo anno del nuovo millennio nel campo dell'architettura, è stata certamente la lezione in onore di Manfredo Tafuri tenuta da James Ackerman a Venezia e intitolata "Sulle origini della fotografia di architettura"⁵.

Ackerman – il valore del cui lavoro è testimoniato non solo dalla qualità dei suoi scritti, ma dalla profondità temporale che impongono i suoi 82 anni, ha in tal modo voluto elevare al rango di tema maggiore (tali lo sono per tradizione gli argomenti della lezione Tafuri), la problematica dell'osservazione dei mutamenti che intervengono con l'entrata in scena di un nuovo mezzo di rappresentazione dell'architettura.

La conferenza ha reso evidenti i passaggi chiave che hanno caratterizzato l'introduzione della fotografia:

1. l'impiego ancora di categorie e metodologie proprie del disegno pur a fronte di un nuovo strumento (una forma di rappresentazione usa sempre le categorie delle rappresentazioni precedenti perché in fondo sono le uniche note e di cui è evidente il modo di utilizzo);
2. la conservazione di entrambe le finalità proprie della figurazione d'architettura: rappresentazione documentale e rappresentazione interpretativa.

Il punto per noi saliente del suo discorso è stato quello dell'analogia con i tempi attuali, in cui il CAD - termine usato nell'ampia accezione di rappresentazione digitale - ha introdotto una nuova tecnica di rappresentazione dell'architettura. Soprattutto ha affermato come il CAD abbia realizzato il primo vero cambiamento nella rappresentazione dell'architettura dal XII secolo ad oggi, scardinando il meccanismo della visione alla base di tutto il sistema figurativo dal Medioevo ai giorni nostri.

Ackerman richiama così il problema dei mutamenti dovuti alla transizione per effetto dell'introduzione dei metodi digitali, una tematica che avevo già tentato di affrontare nel 1995 in un mio scritto apparso sulla rivista "Disegna-

⁵ J.Ackerman, *Sulle origini della fotografia di architettura*, settima lezione Manfredo Tafuri, IUAV, venerdì 23 febbraio 2001.

re” dal titolo significativo *Disegnare in un'epoca di transizione* e imperniato sul tema della rappresentazione nell'epoca dei media digitali⁶.

Sfruttando le esperienze e le elaborazioni realizzate col mio gruppo di lavoro in quegli anni, analizzavo l'ipotesi del disegno con l'ausilio dell'elaboratore elettronico come complemento del disegno tradizionale, seguendo alcune linee guida: messa in serie, modellazione tridimensionale, statico-dinamico, accesso sequenziale-accesso random, forma e senso della restituzione del rilievo, estetica della rappresentazione. Gli esempi erano una serie di soggetti che difficilmente sarebbero stati sviscerati completamente impiegando metodi figurativi tradizionali: alcuni progetti non realizzati di Andrea Palladio, una serie di scene predisposte da Giovan Battista Aleotti, un'architettura razionalista progettata all'inizio degli anni quaranta e oggi demolita, una serie di progetti che richiedevano una rappresentazione capace di rendere conto, al tempo stesso, della loro messa in serie, della loro collocazione in un contesto geografico ben determinato e della loro percezione dinamica; infine una chiesa rinascimentale, San Salvatore al Monte a Firenze, di cui era necessaria una restituzione del rilievo capace di svelarne la geometria originale e le deformazioni subite nel tempo. Questi esempi – a fronte di una capacità di inquadramento della tematica assai più limitata rispetto a quella fatta da Ackerman – permettevano però una prima analisi “inside”, affrontando il tema delle categorie logiche e mentali che il nuovo mezzo avrebbe introdotto come strumento di progetto.

In realtà, nel processo di trasformazione del disegno dalle metodologie manuali a quello con l'ausilio dell'elaboratore, oggi la via è quasi ormai completamente tracciata e anche le nuove categorie, sebbene ostiche a chi come me si sia formato tra matita e foglio di carta, paiono acquisire ogni giorno più spessore e consistenza, tanto che il “corpus” metodologico appare sempre più chiaramente formato alla nostra vista.

La ricerca percorre sentieri chiaramente individuati, in cui non si tratta più di verificare la bontà di quella procedura rispetto a quell'altra, quanto di affinare tecniche e sistemi nell'ambito di processi già codificati.

Piuttosto un grande problema ancora si pone nella mancanza dell'assimilazione completa delle metodologie digitali, giacché le differenti fasi sono spesso ancora separate, causando una scissione che si contrappone in modo spiccato alla unitarietà e complementarietà del processo analogico come si è affinato nel tempo. Cito il caso di uno dei settori di maggiore avanguardia per necessità intrinseca, nell'assimilazione delle nuove tecniche, quello del disegno industriale, in cui figurazione digitale e figurazione manuale sono rimasti finora completamente separati, rimanendo il gap più profondo tra vecchia e nuova generazione di progettisti, tra concept e engineering di processo.

⁶ M.Gaiani, *Disegnare in un'epoca di transizione*, in “Disegnare” n. 11, dicembre 1995, pp. 7-16.

Infine è tutto il percorso didattico ed educativo che deve essere individuato, finalizzato, sviluppato.

Questo scritto cerca di ripercorrere le tappe di molti degli sforzi compiuti dallo scrivente e da altri negli ultimi anni per tentare di ricostruire in forma coerente il processo rappresentativo digitale di architettura, lavorando dapprima sulla ricerca e quindi sulla didattica, cercando di costituire un sistema educativo numerico fondato sulla visualizzazione e sulla modellazione come strategie operative e conoscitive per rappresentare l'architettura e le sue branche.

2.2. Visual computing

Il nostro sistema di prendere possesso dei manufatti architettonici e artistico, come di tutto lo spazio che ci circonda, è essenzialmente un modo visuale e percettivo in cui spazio e tempo ci sono restituiti come sistemi continui e iconici. Come ricorda Sartre, mutuando da Berkeley, *“essere è essere percepito”*.

La percezione è dunque il nostro modo primario per impossessarci delle cose e la lettura percettiva consiste in un'operazione di rinvio di quanto si percepisce, in ordine a un contesto di immaginazioni, a un universo complesso di cose concrete e di memorie storiche dell'individuo, che altro non è che l'esperienza logica e psicologica del soggetto stesso che partecipa, con il proprio esserci, a strutturare la realtà percepita. “La percezione analitica che ci dà il valore assoluto degli oggetti isolati, - ci illumina Maurice Merleau-Ponty - corrisponde ad un atteggiamento tardivo ed eccezionale, quello dello scienziato che osserva e del filosofo che riflette; la percezione delle forme, nel senso generale di percezione di strutture di insieme e di configurazioni deve essere considerata come il nostro modo di percepire”⁷. A fronte di questa esperienza pratica e quotidiana, i modi che abbiamo codificato per conservare e restituire i dati inerenti alla realtà costruita e alla sua ideazione, forniscono una procedura che astrae sia dal nostro modo di prendere possesso delle cose che dalla possibilità di ricostruire il mancante a partire dallo schema di riproduzione.

Si tratta di uno schema basato su tre ipotesi:

- a. la riduzione del 3D al 2D;
- b. la costruzione dell'intero sistema continuo per interpolazione, di solito lineare, a partire da pochi punti discreti;
- c. la ricomposizione dell'insieme per scene fisse.

Il reale viene quindi trasmesso per episodi, i soli elementi in grado di consentire, tramite processi mentali interpolativi, di ripristinare in forma continua una discontinuità che tuttavia porta con sé l'eliminazione di quanto esiste tra due passaggi consecutivi, come se si procedesse all'eliminazione in modo casuale della maggior parte dei fotogrammi in un film di animazione.

⁷ M.Merleau-Ponty, *La fenomenologia della percezione*, Il Saggiatore, Milano, 1965, p. 84.

Nella rappresentazione digitale, il recupero della dimensione 'significativa' dell'oggetto passa soprattutto attraverso la possibilità di accedere a metodi di lettura-scrittura capaci di mostrare quegli aspetti che i mezzi espositivi consueti impediscono di riconoscere, fissare, rendere noto e di recuperare la dimensione 'percettiva' e continua che i mezzi fisici e/o bidimensionali e/o testuali non possono fornirci.

È certo che per l'architetto - un operatore abituato a ragionare innanzitutto in termini spaziali - un fondamentale passaggio è stato quello dell'applicazione del concetto di visualizzazione scientifica ai metodi computazionali.

La visualizzazione trasforma il simbolico in geometrico, permettendo ai ricercatori di osservare la loro simulazione e computazione; offre un metodo per vedere il nascosto; arricchisce il processo della scoperta scientifica e favorisce interiorità profonde e insospettite; in molti campi rivoluziona il modo in cui gli scienziati restituiscono la scienza. La visualizzazione coglie sia l'esposizione delle immagini che le immagini di sintesi. Per questo, la visualizzazione è uno strumento sia per interpretare le immagini dati generate in un computer, e per generare immagini da complessi insiemi di dati multidimensionali. La visualizzazione studia quei meccanismi negli umani e nei computer che le permettono, in conformità col modo di percepire, di usare e comunicare informazioni visive.

Le implicazioni sottese all'introduzione delle metodiche di computazione visuale sono profonde e sostanziali e vanno oltre non soltanto i problemi legati all'analogico, ma anche quelli legati all'epoca della prima informatizzazione in cui si sono affermate tecniche basate sull'indicizzazione e la descrizione testuale, strumenti del tutto insufficienti quando si tratta di richiamare contenuti multimediali. Non si tratta più di avere soltanto strumenti di ausilio, quanto piuttosto di poter trasferire l'intero ragionamento in forma digitale, e di averlo disponibile in modo visuale con accessibilità continua.

Ne è nato ciò che oggi viene chiamato visual computing, una soluzione hardware-software che mira ad offrire tecniche nella direzione della sostituzione del numerico col visuale, permettendo di osservare la simulazione in luogo della computazione.

Le pagine che seguono cercano di illustrare processi che hanno alla base metodi non più analogici e continui, ma numerici e discreti, i quali tuttavia non producono più risultati discontinui e necessitano un'interpretazione numerica o basati su una conoscenza a-priori, ma restituzioni visuali capaci di mostrare oggetto e sue proprietà con continuità nello spazio e nel tempo, fenomeni dinamici e restituzioni di dati analizzabili con un semplice sguardo ad opera anche di un operatore non esperto.

2.3. Dalla rappresentazione alla prototipazione

Lo spazio dell'architettura virtuale disegnato con l'elaboratore è uno spazio diverso da quello manuale. Se nel disegno, infatti, il segno e la linea come

tracciato continuo sono le condizioni di base di un metodo traspositivo in cui sono raccordate teoria e prassi, ideale e reale come proprietà intimamente legata alle nostre capacità di riconoscimento logico, nella rappresentazione con l'elaboratore questa qualità di trasposizione visuale è del tutto marginale, e in ogni caso non è altro che il risultato di un post-processing di una realtà codificata in altra forma, giacché ogni disegno non è più semplicemente grafica, ma dato alfanumerico o numerico, sequenza di bit, codificato in forma di modello, in cui la condizione di semplice modello proiettivo è solo un caso particolare.

Paradossalmente, questa condizione in cui il numerico guida il visuale offre potenzialità di restituzione assai più simili a quelle naturali e complete nella descrizione dell'oggetto rappresentato.

“La costruzione di un edificio non è cosa che si possa improvvisare - ricorda Riccardo Migliari nel suo più recente testo - troppo complessa è la sua struttura statica, funzionale, estetica, troppo articolati i rapporti che l'edificio intrattiene con il paesaggio circostante. Per progettare un edificio, gli architetti si servono dunque di modelli, che consentono loro di simulare la costruzione e prevederne gli effetti. [...] Il *computer* permette di costruire con grande facilità modelli numerici tridimensionali e di osservarli da ogni possibile punto di vista, come se si trovassero realmente tra le nostre mani. [...] Lo schermo del computer è dunque una finestra aperta sullo spazio virtuale del modello, che ci permette di osservarlo e di interagire con esso, movendolo e modificandolo”⁸.

La modellazione digitale, al pari di quella manuale, è una strategia creativa, ma anche conoscitiva: in essa gioca un ruolo determinante l'idea di similarità rispetto alla realtà. Rifacendoci a Tomas Maldonado, si può affermare che siamo di fronte a modelli da considerare omologhi quando è simile la loro struttura, ma non la loro forma e la loro funzione; a modelli analoghi quando sono simili struttura e funzione ma non la forma; a modelli isomorfici quando sono simili struttura e forma ma la funzione può essere o non essere simile⁹. I modelli informatici consentono simulazioni tridimensionali che racchiudono queste tre proprietà. Essendo omologhi, isomorfici e analoghi, permettono la totalità dei meccanismi di 'visione' possibili in un unico sistema di rappresentazione e, nel contempo, forniscono le medesime prestazioni dei modelli iconici e non-iconici (modelli diagrammatici e matematici), secondo uno schema a-priori non-intenzionale e non-univoco.

Concepiti come vere e proprie *maquette* che vivono in uno spazio virtuale perfettamente corrispondente a quello reale, tanto da offrirne tutte e quattro le dimensioni, i modelli realizzati con l'ausilio dell'elaboratore sono poi visti attraverso uno schermo che li visualizza in uno spazio bidimensionale percettivo (in proiezione centrale) o misurabile (proiezione parallela), con capacità

⁸ R. Migliari, *Modelli grafici e modelli informatici per l'architettura*. Corso di Scienza della Rappresentazione, Kappa, Roma, 2001.

⁹ T. Maldonado, *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano, 1992.

di variare il punto di vista per simulare la mobilità e la trasformabilità nel tempo e nell'apparenza. Pur richiamando la finestra della *perspectiva artificialis* di Leon Battista Alberti, il metodo di visualizzazione si distacca profondamente dal modo con cui si realizza l'astrazione albertiana. Come già notava Piero della Francesca nel suo *De perspectiva pingendi* (1474), il metodo di costruzione di una prospettiva su un foglio di carta è quello della proiezione per 'trasformazione', mediante l'impiego di piante e prospetti dell'oggetto. La tecnica impiegata da Piero consiste nell'accurato e paziente rilevamento dei punti dell'intersezione dalla pianta e dal prospetto, ognuno identificato da numeri corrispondenti nelle due proiezioni, in modo da fornire le coordinate per il posizionamento di ogni punto sul foglio. Si tratta quindi di una trasformazione 2D/2D. Un modello informatizzato tridimensionale si realizza invece tramite una trasformazione su un piano 2D di un oggetto di cui non sono note solo delle proiezioni bidimensionali, ma tutte le proprietà che definiscono un oggetto 3D reale.

La vera rivoluzione che la computazione ci ha fornito negli ultimi anni è la possibilità di usare questi modelli non solo come simulazione fotorealistica del reale, ma come veri e propri prototipi virtuali in grado di permetterci di osservare e analizzare il reale o una sua prefigurazione in modo assai migliore di quanto permettano le tecnologie analogiche a noi note sia nella visualizzazione che nella base dati.

Le tecniche di prototipazione digitale consentono, infatti, di ottenere al tempo stesso modalità di rappresentazione percettive e concettuali, semplicemente variando gli attributi della scena o il mezzo di consultazione, creando soluzioni non solo al problema della dimostrazione della 'bellezza', ma anche della funzionabilità, fabbricabilità e analizzabilità di un oggetto.

La prototipazione digitale, nel settore del disegno industriale e della progettazione meccanica, che per primi ne hanno fatto uso su vasta scala, sta rivoluzionando il modo in cui le case produttrici concepiscono, progettano e costruiscono i prodotti. Tramite la prototipazione virtuale, ingegneri e designer possono creare e modificare superfici realistiche, entrare in complessi modelli digitali, lavorare interattivamente con assemblaggi del prodotto, eseguire analisi computazionali e controlli d'interferenza sui progetti. Tutte queste funzioni sono fondamentali nel processo di sviluppo del prodotto, che può essere modificato e rianalizzato più rapidamente. Nel caso d'assiemi molto complessi, l'eliminazione di un solo prototipo fisico può significare un risparmio di miliardi di lire, ma anche nel design d'assiemi costituiti da meno di 100 parti i prototipi digitali possono dimostrarsi molto preziosi. Rispetto ai prototipi fisici, quelli digitali sono generalmente anche più accessibili: internet, in particolare, ne sta rendendo possibile l'accesso a distanza. Un prototipo digitale è più facile da ricreare rispetto ad uno fisico, perché si tratta di copiare un file invece di fabbricare un altro prototipo. Nella valutazione di funzionamento i prototipi digitali possono essere considerati persino superiori alle loro controparti fisiche, e per questo possono essere usati come parte

integrante, piuttosto che come conseguenza, del processo di progettazione. In altre parole, con gli strumenti di prototipazione digitale è possibile testare e identificare i problemi durante il ciclo di elaborazione concettuale invece che alla fine, effettuare test e analisi del tipo 'che cosa accadrebbe sé, e analizzare il comportamento in modo impensabile con i metodi tradizionali.

Infine, i prototipi digitali consentono all'architetto non solo di essere ideatore, ma di tornare "costruttore" della propria opera, giacché essi non solo rappresentano l'oggetto ideato, ma anche il codice che ne permetterà la realizzazione su macchine a controllo numerico. Fino ad un recente passato, la progettazione avveniva dividendo nettamente la fase concettuale e creativa, realizzata secondo particolari canoni estetici e facendo ricorso a varie tecniche (matite, acquarelli, cartone, legno), dalla fase d'ingegnerizzazione o verifica della fabbricabilità, che avveniva separatamente ricominciando in pratica daccapo, infine dalla realizzazione che, addirittura, si serviva di differenti metodi e operatori. Questo schema è oggi sostanzialmente superato, al pari del semplice utilizzo del CAD, un mezzo che fornisce unicamente visualizzazione al fil di ferro, andando a ricomporre quell'unitarietà di teoria e prassi che, dacché ingegneri e architetti hanno separato i loro percorsi, è venuta definitivamente meno.

2.4. Strumenti

Gli sviluppi più potenti dell'uso di prototipi virtuali, per il progettista d'architettura, vanno nelle direzioni differenti e complementari di rappresentazione e documentazione quindi del loro uso da un lato come mezzo di consultazione in tempo reale capace di illustrarci lo spazio in modo iconico e continuo dall'altro, con la loro messa in serie, come sistema di database tridimensionale.

Il termine real-time indica chiaramente azioni che prendono corpo con ritardo non percepibile o significativo dopo l'input che dà avvio all'azione. Le operazioni in tempo reale sono quelle in cui le attività della macchina corrispondono alla percezione umana del tempo, oppure quelle operazioni eseguite da un calcolatore che procedono di pari passo con un processo fisico o esterno.

D'altra parte, animare significa mostrare una serie d'immagini correlate in modo sufficientemente veloce da ingannare l'occhio che percepisce il movimento. Fino a poco tempo fa, le animazioni potevano essere solo registrate a priori e poi visualizzate in playback tramite qualche dispositivo d'archiviazione analogico o digitale audiovideo. Le attuali potenze computazionali e grafiche consentono, viceversa, di animare un modello 3D in tempo reale, permettendo visualizzazione immediata e più ampia condivisione e comprensione dei progetti. Ciò consente non solo mutazioni sincroniche nell'osservazione dell'oggetto, ma anche variazioni diacroniche, muovendosi attraverso il modello e i suoi attributi così da poter realizzare in ciascun istante ogni

movimento e osservare un differente aspetto esteriore. La grafica in tempo reale consente, in definitiva, il trasferimento dell'intera possibilità di restituzione non più ad una forma codificata e i suoi attributi, ma ad un reale reso virtuale, trasformabile nello spazio e nel tempo, esplorabile in tutte le sue parti, modificabile facilmente in ogni modo.

Il real-time facilita incredibilmente nella costruzione di prototipi digitali, e permette l'implementazione dell'approccio 'best practice' per analizzare e simulare il prodotto e il processo, utilizzando modelli digitali.

La real-time graphics ha sviluppato due tipologie di strumenti dai modi di utilizzo e scopi differenti e complementari:

- a. i sistemi di realtà virtuale (VR)¹⁰;
- b. i sistemi di real-time desktop graphics¹¹.

Una fondamentale limitazione grafica degli strumenti digitali disponibili quotidianamente tramite un PC è data dallo schermo piatto che mostra sempre e comunque modelli 3D come immagini 2D. Inoltre lo schermo presenta una capacità visualizzativa assai ridotta dello spazio reale, cosicché la sua percezione può essere riconosciuta solo con un'astrazione concettuale dell'osservatore, necessaria per riuscire a restituire interiormente l'oggetto esaminato alla terza dimensione e alla giusta scala. Il concetto su cui si basano i sistemi di realtà virtuale è l'interrelazione diretta tra la posizione dell'osservatore impiegata per generare l'immagine sul display, la posizione del capo e la direzione d'osservazione dell'utente. La posizione della testa dell'utente è costantemente comunicata e inserita nell'algoritmo di visualizzazione per calcolare una corretta vista prospettica stereoscopica della scena, il rigido accoppiamento della posizione d'osservazione dell'utente e dell'immagine offerta sul sistema di visualizzazione danno all'utente l'illusione di 'immersività'. Le correnti tecniche di VR variano tra sistemi completamente immersivi

¹⁰ Sui sistemi di realtà virtuale cfr. C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.A. De Fanti, *Surround-screen. Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*, in Proceedings of Siggraph '93, 1993; G. Burdea, R. Coiffet, *Virtual reality technology*, John Wiley, New York, 1994; R.S. Kalawsky, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Cambridge, University Press, 1994.

¹¹ Sulla VR desktop graphics cfr. V. Abadjev, M. del Rosario, A. Lebedev, A. Migdal, V. Paskhaver, *Metastream*, in: VRML '99 Conference proceedings-Courses, <http://www.c-lab.de/vrml99/home.htm>, 1999; A.L. Ames, D.R. Nadeau, J.L. Moreland, *VRML 2.0 Sourcebook*, John Wiley & Sons, New York 1997; P. Bilello, J. Portella, M. Barry, *Program Review of Engineering Animation, Inc.'s e-Vis.com Solution Program*, White Paper, CIMdata 1999; *Engineering Animation Inc, E-Vis.com. Internet-enabled Collaborative Solutions for the Extended Enterprise*, Aimes (IO) 2000; D. Kalra, *Envision 3D: Deploying Large Industrial 3D data sets on Intranets and Extranets*, Adaptive Media Inc., Sunnyvale (CA) 1999, <http://www.vuent.com>; Mahoney D.P., "Occhi puntati sul CAD", *Computer Gazette*, luglio/agosto 1999, pp. 22-26; C. Potter, "È arrivata la progettazione Web-enabled", *Computer Gazette*, gennaio 1998, pp. 36-39; Vuent Inc., *Envision-i 3D, Data Sheet*, Sunnyvale (CA) 2000; A.W. Grosser, *Collaborative Viewing*, White Paper, CoCreate Software GmbH, 2000.

fino a sistemi non-immersivi, e vanno dal CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), un sistema di visualizzazione completamente immersivo a schermi multipli che offre proiezione stereoscopica circostante a 4-5 utenti simultaneamente, fino alle virtual room in cui 15-20 persone possono fruire con occhiali stereoscopici e un grande schermo curvo della realtà virtuale. Gli utenti possono navigare e interagire con periferiche 3D (per esempio motion tracking, guanti) nel sistema di rappresentazione, usando occhiali attivi polarizzati o un display montato sulla testa (HMD) per ottenere una vista 3D. Ogni volta che l'utente muove la testa, la vista renderizzata è continuamente aggiornata; talvolta è offerta un'interfaccia 3D per aumentare l'interazione. Queste tecnologie di realtà virtuale permettono di interagire con la grafica 3D real-time in un modo assai più intuitivo e naturale di quello che permette la finestra dello schermo desktop, potenziando le capacità di comprensione, analisi, creazione e comunicazione.

Nella diffusione del processo di progettazione in collaborazione, la rapida adozione di Internet come veicolo di comunicazione ha avuto un impatto incredibile, rendendo attiva la comunicazione tra i vari soggetti coinvolti nel processo di progettazione e nella sua gestione e garantendo accesso all'informazione distribuita entro un singolo ambiente visuale (gli utenti non devono prestare attenzione a dove i dati risiedono, ma devono semplicemente potervi accedere in modo veloce). Le soluzioni di visualizzazione real-time forniscono un mezzo per pubblicare facilmente informazioni su Web-based database, informazioni che possono comprendere documenti, disegni, modelli 3D (un'applicazione o un processo è definito "Web-enabled" se rende disponibili le informazioni mediante un browser Web, su Internet, una Intranet o una Extranet).

Il modo più semplice per rendere disponibili i dati di CAD sul Web è salvarli in un formato che un browser Web possa leggere e, nel contempo, in grado di assicurare i requisiti dettati dal trasporto in rete: semplificazione dei dati; real-time culling; gestione dei problemi delle larghezze di banda della rete. Il formato più diffuso di 'publishing' 3D è certamente il Virtual Reality Modeling Language (VRML), uno standard ISO¹².

Alcuni software, con maggiore complessità, eseguono un'operazione ancora più sofisticata: condividere sul Web un effettivo modello di CAD 3D. In questo modo nell'implementazione sulla piattaforma client è possibile una soluzione radicalmente nuova: il lavoro dei progettisti, oggi rappresentato essenzialmente dalla realizzazione di modelli CAD su piattaforme isolate o comunque per file non condivisi contemporaneamente, diviene un processo collaborativo basato sul Web.

¹² Sul VRML cfr. R. Carey, G. Bell, C. Martin, *The Virtual Reality Modeling Language*, <http://www.web3d.org>, settembre 1997, ISO/IEC14772-1; J. Hartman, J. Wernecke, *VRML 2.0 Handbook: building moving worlds on the web*, Addison-Wesley, Reading, Ma., 1996.

L'uso di modelli 3D digitali come restituzione del reale e come metafora dell'oggetto rilevato per la navigazione attraverso i dati¹³ permette, per raffronto con i metodi tradizionali di archiviazione e restituzione, di rivelare relazioni tra le parti assai più chiaramente di ogni altro metodo. D'altra parte un modello digitale 3D è il miglior mezzo di descrizione dell'architettura come sistema conoscitivo, descrivibile come una collezione di oggetti strutturati, identificati attraverso un preciso vocabolario architettonico¹⁴. Costruendo i modelli digitali come 'sistema conoscitivo' architettonico è possibile estendere facilmente il concetto di GIS (Sistema Informativo Territoriale) 2D a quello di GIS 3D, cosicché ogni modello non è semplicemente un calco, ma un sistema informativo capace di restituire varie proprietà dell'oggetto e analiticità spaziale in modo associativo con la rappresentazione 3D dell'elemento in questione¹⁵.

La messa in serie dei modelli consente poi la costruzione di strutture capaci di illustrare un sistema intrinsecamente spaziale come l'architettura, con una rappresentazione tridimensionale. Come ci ha chiaramente spiegato Abraham Moles, ancora prima della nascita dell'informatica della II generazione, la quantità delle informazioni in architettura aumenta a dismisura in presenza di forme descrittive di livello di iconicità più basso rispetto alla forma originale. Per questo restituire in forma 3D le architetture aiuta non solo alla loro visualizzazione, o alla conservazione delle informazioni ad essi relative, ma proprio a delimitarle, renderle più facilmente organizzabili e chiaramente restituibili¹⁶. Un 3D database può permettere:

- a. completa sostituzione degli archivi fisici;
- b. uso diretto e complementare degli stessi dati per analisi differenti;
- c. rappresentazione 3D del manufatto capace di mostrare la sua vita reale;

¹³ Sull'uso dei modelli digitali per la storia e la conservazione cfr. M. Gaiani, *Strategie di rappresentazione digitale: modelli per la conservazione e il restauro*, in "Quaderni 10 Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali", Scuola Normale di Pisa, n. X, 2000.

¹⁴ Cfr. W.J. Mitchell, *The Logic of Architecture - Design, Computation and Cognition*, The MIT Press, Cambridge, 1990.

¹⁵ Sui Web 3D GIS vedi in particolare: S. Zlatanova, M. Gruber, *3D GIS on the Web*, in *ISPRS Com. IV*, Stuttgart, 1998, pp. 691-699; K-H. Kim, K. Lee, H.G. Lee, Y.L. Ha, *Virtual geographic world: the web-based 3D GIS*, in *GIS technologies and their environmental applications*, pp. 343-352; D.J. Abel, K. Taylor, S. Hungerford, *An exploration of GIS architectures for Internet Environments*, in "Computers, Environment and Urban Systems", Vol. 22, n. 1, pp. 7-23, 1998; R.M. Roher, E.Swing, *Web-based information visualization*, in "Computer Graphics and Applications", Vol. 17, July/Aug. 1997, pp. 52-59; E. Verbree, G. van Maren, R. Germs, F. Jansen, M.J. Kraak, *Interaction in virtual world views - Linking 3D GIS with VR*, in "International Journal of Geographic Information Science", Vol. 13, n. 4, June 1999; D. Koller, *Virtual GIS: A Real-Time 3D Geographic Information System*, in *Proceedings of Visualization'95*, 1995, pp. 94-100; J. Raper, F. McCarthy, D. Livingstone, *Interfacing GIS with Virtual Reality technology*, in *Proceedings of Geographic Information conference*, Birmingham, 1993 pp. 1-4.

¹⁶ A. Moles, *Teoria informazionale dello schema*, in "Versus" n. 2, gennaio-aprile, 1972.

- d. simulazione scientifica per l'uso come strumento di progettazione;
- e. visualizzazione sia iconica sia ortogonale;
- f. assemblaggio e/o aggregazione di vari elementi architettonici 3D;
- g. indagini quantitative basate non solo su sistemi testuali, ma dati geometrici e ricorrenza di texture;
- h. accesso ai modelli remoto attraverso Internet.

Appare subito chiaro come non si tratti più semplicemente della disponibilità di mezzi atti a velocizzare processi già codificati (l'ipotesi di tutta la prima informatizzazione della rappresentazione del progetto con i sistemi CAD), quanto di una vera e propria rivoluzione che riporta tutto ciò che era semplicemente valutato qualitativamente ad esserlo quantitativamente, e tutto che ciò che era campionato e numerico a divenire visuale e continuo¹⁷.

2.5. Della rappresentazione di progetto: rendering come processo. Tecniche ed applicazioni¹⁸

L'uso di modellatori tridimensionali prevede un processo in due fasi, proprio del disegno bidimensionale a sfumature già splendidamente descritto da una famosa tavola di Sebastiano Serlio¹⁹:

- la modellazione: cioè creazione di oggetti e scena, definizione del punto di vista, determinazione delle qualità superficiali di ogni oggetto;
- il rendering: cioè creazione di un'immagine bitmap a partire dai risultati di una descrizione geometrica, delle proprietà di riflettanza degli oggetti, applicando un determinato modello d'illuminazione, realizzata 'scattando una fotografia' della scena con una macchina fotografica virtuale.

Entrambe queste operazioni costituiscono feconde possibilità figurative e progettuali. Se certo quelle relative ai modelli determinano uno spostamento profondo dell'attenzione, passando dalla proiettiva alla "matematica" della geometria e dal sistema intermediario alla realizzazione del vero e proprio

¹⁷ Sul concetto di 3D database cfr. M. Gaiani, *Translating the architecture of the real world into virtual reality and vice-versa: 7 years of experimentation with "conservation and representation" at OFF, Officina Infografica, Faculty of Architecture, University of Ferrara*, atti del convegno Canada - Italia Workshop, Heritage Applications of 3D Digital Imaging, 1 ottobre 1999, National Research Council, Ottawa, Ottawa, 1999, CD-Rom proceedings; E. Paquet, M. Rioux, *Content-based Management of 3D Objects: Application to Anthropometry, E-commerce and Architecture*, in M. Gaiani, G. Beltramini, (a cura di), *Dall'analogico al digitale: modelli e metodi per lo studio e la conservazione dell'architettura storica*, "Quaderni 10 Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali", Scuola Normale di Pisa, n. X, 2000, pp. 71-88.

¹⁸ Questo paragrafo riprende la maggior parte delle argomentazioni contenute in: M. Gaiani, *Strategie di rappresentazione rendering based*, in L. Galloni (a cura di), *Disegnare il design*, Hoepli, Milano, 2001, cui si rimanda per più ampi sviluppi.

¹⁹ *I cinque libri dell'architettura di Sebastiano Serlio bolognese*, Venezia-Paris-Frankfurth, 1545-1575, II,3.

output finale, sono quelle relative al rendering che producono una vera e propria rivoluzione copernicana sul processo.

La declinazione dei modi di comporre l'immagine (lavorando direttamente con pennelli e matite in 2D, oppure realizzando modelli geometrici 3D, componendo più immagini ecc.) e di aggregarla in varie forme (animazione sintetica, compositing di reale e virtuale, visualizzazione in tempo reale, realtà virtuale immersiva ecc.) fa sì che la produzione di immagini digitali qualifichi il rendering non solo come uno strumento di concezione e visualizzazione atto a prefigurare l'oggetto finito - la nota accezione di immagine fotorealistica - ma anche come mezzo dell'esecutivizzazione e del controllo di produzione, permettendo al tempo stesso l'unificazione di fasi fino a poco tempo addietro separate, l'omogeneizzazione di cicli eterogenei ed una capacità di introspezione impossibile nei modi tradizionali. In forme differenziate e con varie funzioni, il rendering a partire da modelli tridimensionali tende quindi ad interessare tutte le fasi del processo:

- costruzione e valutazione, cioè analisi formale e cromatica;
- comunicazione durante le fasi d'ingegnerizzazione, produzione e management;
- presentazione.

Questa poliedricità e polivalenza fanno sì che il lavoro per produrlo sia un'attività estremamente complessa: se da un lato attinge a tutte le figure della rappresentazione che la storia della rappresentazione ci ha consegnato (disegni, *maquette*, panorami, collages, fotografie, filmati, immagini sintetiche, immagini analitiche, ecc.) e a tutte le tecnologie analogiche a noi note, dall'altro le declina in una serie di passaggi e accezioni corrispondenti ai momenti dell'intero ciclo di produzione, dal momento ideativo ed autografico fino al momento di divulgazione, cioè quello allografico per eccellenza. Ciò che governa quindi il processo di produzione del rendering digitale non è tanto la capacità creativa della singola figura, isolata e sintetica, quanto il grado di elaborazione del progetto dell'immagine e la sua rispondenza ad un processo al tempo stesso artistico e legato al sistema realizzativo. In secondo luogo, è determinante la capacità di saper cogliere i differenti apporti come elementi concorrenti alle differenti fasi della visualizzazione nello spazio e nel tempo a partire dalle medesime basi. Le tecniche di costruzione del rendering digitale consentono infatti di rappresentare il mondo al tempo stesso percettivamente e concettualmente, semplicemente variando gli attributi della scena o il mezzo di consultazione.

Operativamente, se infatti è possibile utilizzare l'elaboratore allo stesso modo del foglio di carta utilizzando matite, pantoni, acquerelli digitali dalle caratteristiche del tutto simili a quelli reali, tuttavia non necessariamente questa è l'unica o la migliore soluzione. Si tratta piuttosto di saper scegliere fra una ricca gamma figurativa che vede l'immagine fotorealistica realizzata a partire da modelli tridimensionali come la tecnica più consueta, in realtà solo soluzione possibile, adatta non a tutti, ma solo a specifici usi.

La grafica fotorealistica in effetti focalizza la sua attenzione sul realismo dell'immagine generata dal computer. L'enfasi sulla creazione di algoritmi per il rendering fotorealistico nasce dal desiderio di capire e modellare computazionalmente gli effetti della luce sugli ambienti virtuali. Tuttavia, vi sono aree della presentazione di informazioni visuali in cui la soluzione fotografica si mostra carente rispetto alle necessità espressive e comunicative dei designer. Per fornire uno strumento appropriato a queste situazioni è nato il rendering non fotorealistico (NPR), insieme di tecniche che simulano il mondo reale impiegando stilemi reminiscenze di tecniche manuali come la pittura (painterly rendering), l'illustrazione artistica (schizzo, penna e inchiostro, litografia, etc.), l'animazione a cartoni animati (toon shading), ancora a partire da modelli tridimensionali.

La soluzione della messa in serie di più rendering per creare un'animazione è altresì destinata a giocare un ruolo fondamentale. Si sono già viste le possibilità del rendering di modelli 3D in tempo reale.

Un'ulteriore procedura ricca di possibilità e alternativa ai metodi visti, nei quali tutto nasce ancora da un sistema bidimensionale o da un sistema tridimensionale e finisce in un sistema bidimensionale statico o dinamico, consiste nella creazione di sistemi 3D a partire da immagini raster 2D. Si tratta delle cosiddette rappresentazioni image-base coded, che si basano sulla geometria implicita, contrapponendosi in ciò alle rappresentazioni model-base coded caratterizzate da una geometria esplicita. In ogni sistema di image-based rendering il modello consiste nella serie d'immagini di una scena e delle loro corrispondenti mappe di profondità: quando la profondità di ogni punto dell'immagine è nota, questa può essere renderizzata da ogni punto di vista vicino, proiettando i pixel dell'immagine sulle loro locazioni 3D e riproiettandole su una nuova immagine planare. Una nuova immagine della scena è quindi creata deformando le immagini secondo le loro mappe di profondità. Sfruttando questa proprietà, è stato dimostrato come immagini sintetiche, correttamente riposizionate nello spazio tra loro attraverso deformazione per trasformazione affine e compositing, assieme alle relative mappe di profondità, possano produrre un'ambientazione virtuale in real-time: così sono nate tecniche come i tableau, i diorami, i panorami, i VR object digitali, di cui Quick time VR di Apple è certamente l'applicazione più nota. L'aspetto più interessante dell'image-based rendering è quello di offrire un metodo per renderizzare scene incredibilmente complesse con una quantità computazionale dipendente solo dal numero di pixel, e in ogni caso costante per ciascuno di essi.

2.6. Della rappresentazione di rilievo: una metodologia per l'acquisizione di dati formali e colorimetrici di elementi architettonici e apparati decorativi ai fini della loro conservazione

La possibilità di creare modelli virtuali tridimensionali determina la necessità, ma anche la possibilità, di nuovi e più potenti mezzi di memorizzazione

dei caratteri dei manufatti esistenti. Restando alla definizione della loro forma, è immediato notare come il rilievo tradizionale per “misura e disegna” di sezioni piane sia completamente inefficace: una stanza, per esempio, non è un parallelepipedo ottenuto per estrusione da una base, ma piuttosto la somma di sei superfici, in generale free-form e variamente connesse a costituire un volume in qualche modo assimilabile ad un poliedro.

L’acquisizione di dati già in forma 3D permette di evitare (o forse sarebbe meglio dire di limitare al massimo) le perdite di informazione dovute alla necessità di una sintesi bidimensionale o di una restituzione 3D che parta dalla ricostruzione volumetrica attraverso dati metrici ottenuti per trilaterazione.

Il modello procedurale certamente più appropriato, oggi disponibile per acquisire la forma reale di un oggetto, prevede la definizione della superficie mediante il rilievo di vasti insiemi di punti ad esso appartenenti, e la ricostruzione della ‘pelle’ che meglio si adatta ad essi²⁰.

I metodi migliori per l’acquisizione di insiemi di punti 3D sono dati dall’integrazione di tecniche fotogrammetriche e sistemi tipo active vision (3D laser scanner)²¹. Questi ultimi - strumentazioni ottiche e a ultrasuoni che usano la proprietà di propagazione di radiazione coerente - hanno aumentato notevolmente la facilità con la quale possono essere acquisiti dati formali relativi a semplici oggetti fino ad ampie strutture. Una range camera è in grado di misurare in pochi secondi migliaia di dati 3D, restituendoli in una densa nuvola di punti²².

L’acquisizione per nuvole di punti conferma la variazione metodologica sostanziale rispetto al ‘misura e disegna’ 2D già segnalato. Nella procedura tradizionale si procede tramite un’ispezione puntuale sulla quale si realizzano vaste e, spesso arbitrarie, interpolazioni, di solito di tipo lineare. Nella restituzione per nuvole di coordinate 3D, ogni punto visualizzato e posseduto nella geometria del file è un punto effettivamente misurato, e dunque la densità della nuvola di punti rappresenta esattamente l’accuratezza del rilievo. Su questo ricco insieme di dati l’operazione tipica è quella d’eliminazione delle ridondanze o comunque la semplificazione ai fini dell’extrapolazione delle caratteristiche specifiche ricercate in quel momento e per quello scopo.

²⁰ La metodologia è compiutamente spiegata in M. Gaiani, *Traduzioni dal reale al virtuale in architettura - Un metodo integrato di acquisizione dati e costruzione di modelli digitali tridimensionali*, in R. Migliari (a cura di), *Frontiere del rilievo: dalla matita allo scanner 3D*, Gangemi, Roma, 2001.

²¹ Cfr. M. Gaiani, A.C. Addison, *‘Virtualized’ Architectural Heritage - New Tools and Techniques for Capturing Built History*, in *4th International conference on virtual systems and multimedia*, atti del convegno, Gifu, Giappone, 18-20 novembre 1998, International Society on Virtual Systems and Multimedia, Gifu, 1998, pp. 17-22.

²² J-A. Beraldin, F. Blais, L. Cournoyer, G. Godin, M. Rioux, *Unione di Ambienti Virtuali con il nostro Mondo Reale attraverso immagini 3D digitali ad alta risoluzione di oggetti e strutture*, in supplemento a “Paesaggio urbano” n. 4, luglio-agosto 1998.

In ciò la procedura coglie un tipico aspetto proprio di tutta la numerizzazione dei processi continui: la necessità di saper operare su una conoscenza ridondante, nella quale occorre saper selezionare ed eliminare, piuttosto che su insieme di dati labile che occorre saper rendere isostatico.

Il Reverse Modeling è la scienza che si occupa dei metodi per ricostruire o derivare il modello geometrico di un oggetto senza impiegarne la rappresentazione originale. Sorgenti d'informazione possono essere parti fisiche, file CAD, nuvole di punti 3D. Questo modello può essere, in seguito, impiegato in una catena di progettazione tradizionale, per essere modificato, completato, analizzato, o fabbricato. Lo stato dell'arte odierno nel processo di Reverse Modeling per l'acquisizione, è l'impiego di 3D laser scanner/digitizer, capaci di misurare in meno di un secondo più di 20.000 punti 3D con accuratezze fino a 0.01 mm. e campi di presa fino a 50x50 metri per l'acquisizione della forma, e di macchine fotografiche digitali per l'acquisizione delle proprietà di riflettanza della superficie in forma di texture bitmap da ricollimare sui dati vettoriali.

Il tipico schema procedurale di un processo di reverse modeling consiste in due parti separate:

1. range processing, che comprende:
 - a. acquisizione di immagini formate da nuvole di punti 3D;
 - b. multiview registration (allineamento delle scansioni prese da differenti punti di vista);
 - c. costruzione dei modelli mediante merge dei differenti data clouds, e susseguente conversione delle nuvole di punti in mesh poligonali o superfici NURBS, chiusura dei buchi e decimazione e/o ottimizzazione delle mesh.
2. color processing, che comprende:
 - a. acquisizione del colore;
 - b. ri-collimazione delle texture sul modello geometrico;
 - c. preparazione delle mappature di texture: compensazione della luce ambiente, eliminazione di ombre e riflessioni speculari;
 - d. riduzione delle texture e definizione di Level of Detail.

Una delle sperimentazioni più eclatanti in questo campo è stata certamente l'acquisizione di parti del corpo di fabbrica (il cuneo di accesso dell'ingresso nord) ed elementi decorativi (un capitello e relativa base dell'ordine ionico, un fregio conservato nell'ipogeo) del Colosseo a Roma, condotta dall'Università degli Studi di Ferrara in occasione del rilievo realizzato dal Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo dell'Università "La Sapienza", e i lavori di restauro recentemente ultimati²³.

²³ L'esperienza è compiutamente descritta in: M. Gaiani, F. Uccelli, M. Balzani, *Reshaping the Coliseum in Rome: An integrated data capture and modeling method at heritage sites*, in atti del convegno *Eurographics 2000*, Interlaken, Svizzera, 20 - 25 agosto 2000, Eurographics Association, Interlaken, 2000, pp. 369-378.

In rapporto a queste differenti esigenze, nel contesto del lavoro sono stati sperimentati strumenti e tecniche per l'acquisizione di dati 3D alle differenti scale e con differenti accuratèzze:

- nel rilievo dell'ingresso nord è stato esplorato il potenziale del laser scanner basato sulla tecnologia *time-of-fly* realizzando prese con un passo di maglia di 2 cm sull'oggetto;
- nel rilievo degli elementi architettonici e decorativi è stata, invece, utilizzata una *range* camera a triangolazione capace di un'accuratèzza di 0,8 mm, applicata specificamente per campi di ripresa di circa 25 x 25 cm.

Dal lavoro di presa sono stati prodotti modelli di piú di un milione di punti.

I modelli finali sono stati restituiti secondo tre differenti soluzioni:

1. viste ortogonali e da tre quarti in forma di rendering per una visualizzazione fotorealistica;
2. traduzione in formato IGES per l'utilizzo all'interno di un sistema CAD;
3. traduzione in formato VRML per una visualizzazione web-enabled.

L'esperienza mostra chiaramente come le tecnologie emergenti di misura e rilievo di dati dimensionali 3D e del colore permettano una documentazione dello stato esistente dei monumenti significativamente piú veloce, meno costosa e piú accurata rispetto al passato. Egualmente importante, le tecnologie digitali di archiviazione dati permettono una dettagliata e accurata valutazione della consistenza attuale ai fini di una piú precisa definizione delle condizioni al contorno per il progetto di restauro. In questo modo potranno essere minimizzate o evitate operazioni di restauro e/o ricostruzione nocive per la vita stessa dell'organismo edilizio.

2.7. Dell'archiviazione - Forme di archiviazione del reale

In architettura, la conoscenza dell'esistente e della sua storia come supporto alla programmazione e alla progettazione a venire è una problematica che la critica storica contemporanea e i sistemi di programmazione tendono solitamente a banalizzare, confondendo l'accezione superficiale di sistema documentale fine a se stesso con il suo senso reale, che è quello di uso come materiale attivo per l'intero progetto del ricordo di tutto ciò che ci ha preceduto. Il problema è tanto piú sentito per le operazioni di classificazione e informatizzazione dell'esistente ai fini della conservazione, in cui il progetto vive la permanente scissione tra il sistema dei dati che costituiscono la condizione 'a priori' dell'intervento e la definizione del progetto di restauro che raramente si riesce ad appoggiare ad essi. Ciò che caratterizza la tematica non è tanto la quantità dei dati, ma la loro forte differenziazione tipologica (siamo, infatti, solitamente in presenza di modelli 3D, immagini, fotografie, disegni, testi, documenti) e la loro sostanziale disomogeneità che non ne permette la fruibilità immediata e la facile trasferibilità e trasportabilità. Inoltre, il fatto che ogni intervento classificatorio che ci ha preceduto ha portato di solito alla frammentazione del 'corpus' originario in piú parti separate. È per

questo motivo che, spesso, ci risulta difficile la lettura dell'accaduto e la sua ricostruzione ai fini propositivi. A ciò si aggiunge la spesso evidente carenza dei mezzi codificati per rappresentare la realtà costruita.

Tra i primi risultati offerti dal *visual computing* vi è il grande passaggio dalla formazione di database testuali a quello di database visuali, con possibilità ipermediali e multimediali, strumenti capaci di riunire ed integrare una grande quantità di dati eterogenei e di renderli disponibili in forma intuitiva oltrechè logica.

Esperienza pionieristica di applicazione di 3D database nel campo dell'architettura è certamente il lavoro, che ho condotto in due passaggi successivi come supporto al restauro e alla divulgazione sul sistema documentale, relativamente a otto piccoli sepolcri di origine romana lungo la via Appia antica a Roma²⁴.

Alla metà dell'Ottocento, l'architetto Luigi Canina fu incaricato dallo Stato Pontificio del recupero del tratto della Via Appia compreso all'incirca tra il Quarto e l'Ottavo miglio. Il restauro fu realizzato in modo geniale, per rapporto al tentativo di soluzione del fondamentale problema di sempre dell'Appia antica: il trafugamento dei reperti sul terreno. Canina non si limitò ad una operazione di 'pulizia' o di minuta ricostituzione, ma ricompose i pezzi a terra, spesso in modo incongruente su paramenti murari esistenti o su porzioni di muratura costruiti ex-novo, creando una sorta di grande museo all'aperto. Canina documentò inoltre tutto il lavoro attraverso due strumenti eccezionali e complementari, che denotano l'importanza della divulgazione e della creazione di sistemi informativi nel lavoro di restauro: un volume di tavole rappresentanti le tombe prima e dopo il restauro, una ricostruzione ipotetica dello stato originario²⁵ ed una serie di quaderni conservati all'Archivio di Stato di Torino che classificano spazialmente tutti i pezzi a terra presenti lungo questo tratto della via Appia alla metà del XIX secolo.

La Soprintendenza Archeologica Roma, chiamata nel 1997 al restauro di questi sepolcri, ha recuperato il felice connubio restauro/comunicazione proposto da Canina, realizzando un'interessante esperienza sull'uso di sistemi digitali on-line come strumento per il restauro e la divulgazione scientifica, consultabili all'indirizzo www.archeorm.arti.beniculturali.it/sar2000/default.htm. Oggi si

²⁴ Le esperienze sono descritte in: M.Gaiani, F.Uccelli, *The Tombs on the Appian Way - Representing architectural worlds with VR and the Internet*, full paper in atti del convegno 9th International Conference on WWW - Cultural Track, Amsterdam, 16-19 maggio 2000, (in corso di stampa); M. Gaiani, *Dal database testuale al database visuale: un approccio digitale*, in A. Pratelli (a cura di), *Un Archivio Per La Città - Novecento a Udine: architettura da costruire, fonti di documentazione, archivio delle pratiche edilizie*, Comune di Udine, Udine, (in corso di stampa).

²⁵ L. Canina, *La prima parte della via Appia, dalla Porta Capena a Boville, descritta e dimostrata con i monumenti superstiti, in seguito delle regolari escavazioni e lavori diversi eseguiti dall'anno 1850 al 1853*, Rome, 1853.

sta studiando come implementare il progetto sui sepolcri della via Appia, in un 'corpus' organico organizzato come un sistema immersivo di realtà virtuale.

Un primo prototipo di 3D Virtual GIS è stato realizzato servendosi di un Onyx 2 Infinite Reality, per la visualizzazione real-time, e del Virtual Theater del CINECA a Bologna.

Il sistema, ancora in corso di completamento, presenta come principali requisiti sia la cognizione spaziale che la possibilità di interazione e interrogazione.

L'architettura di sistema per la visualizzazione e l'interrogazione è una tipica architettura client-server il cui processo di comunicazione può essere descritto rapidamente come segue: il client invia una richiesta di informazioni al server usando i browser VR o HTML, il Web server processa la richiesta e ritorna i dati richiesti al computer client. A seconda della richiesta e del tipo di dati ricevuti, possono essere distinte quattro fasi fondamentali: 1) identificazione, 2) interrogazione, 3) visualizzazione e navigazione 4) manipolazione. L'informazione richiesta, in forma di documento HTML o VRML, è visualizzata nei browser HTML o VR sulla stazione client.

Recentemente, altri lavori si sono inseriti sulla linea di multimedia 3D database de *La via Appia antica Archeologia e restauro*: un esempio illuminato è il lavoro sul Camposanto Monumentale di Pisa realizzato dall'Opera della Primaziale Pisana²⁶. Un'applicazione inizialmente concepita semplicemente per controllare il riposizionamento degli affreschi rimossi dai muri, è stata completamente rivisitata implementando sul modello VRML originale un sistema di SQL-www dinamico per ottenere informazioni sulle opere d'arte. Questi lavori segnalano come i percorsi che l'accumulo e la restituzione che il digitale può offrire sulle nostre basi dati e la capacità di introspezione al loro interno, stiano avendo una nuova decisiva evoluzione verso un nuovo livello di capacità di restituzione. Gli oggetti che ci circondano non ci appaiono più come isolati, e fini a se stessi, ma inseriti nel contesto entro il quale li percepiamo quotidianamente; e non sono più semplicemente icone dell'implicito database che li descrive, ma sistema informativo esplicito, consultabile in modo intuitivo, continuamente aggiornabile e capace di tutte quelle associazioni che solo il virtuale può permettere.

2.8. Documentazione & divulgazione: il servizio per l'acquisizione e l'elaborazione digitale di immagini e modelli 3D dell'Università degli Studi di Lecce

L'iniziativa 18 del Progetto Coordinato delle Università di Catania e Lecce, rivolto al potenziamento dei servizi per la didattica e la ricerca delle due Uni-

²⁶ Cfr. C. Baracchini, A. Brogi, D. Merlitti, *Data System for the Camposanto Monumentale of Pisa*, in *High Performance Graphics Systems and Applications European Workshop conference proceedings*, CINECA, Bologna, 2000.

versità e finanziato dalla Comunità Europea, cui ho partecipato in tempi recenti, si propone il potenziamento e lo sviluppo di attività per il recupero e la fruizione su supporto elettronico dei principali reperti archeologici e del patrimonio librario e documentario di alta pregnanza storica e di elevata rarità archivistica, giacenti in magazzini-deposito e difficilmente accessibili all'utenza. Si propone quindi la realizzazione di servizi coordinati finalizzati alla riproduzione digitale, alla conservazione, al restauro virtuale ed alla fruizione del patrimonio storico, scientifico e culturale, nonché allo sviluppo di metodologie per l'applicazione della tecnologia digitale nel settore dei Beni Culturali. Gli obiettivi dell'iniziativa possono così sintetizzarsi:

1. pianificazione delle attività ed acquisto delle attrezzature necessarie;
2. selezione e riproduzione digitale, ad alta definizione, di materiale di particolare pregio, sua archiviazione e diffusione;
3. elaborazione e restauro virtuale delle immagini, loro archiviazione e diffusione;
4. creazione di modelli 3D per la ricostruzione virtuale di reperti archeologici e di strutture architettoniche, loro archiviazione e diffusione.

Gli utilizzatori dei risultati e delle realizzazioni di quest'iniziativa saranno biblioteche, dipartimenti, centri, musei, ricercatori, studenti certamente delle Università di Lecce e di Catania, ma più in generale. Visto che si tratta di restituzioni in forma di Web-database, di tutto il mondo.

La straordinarietà del progetto, che ha già ottenuto primi consistenti risultati, consiste nel fatto che la catalogazione dei beni archeologici ed architettonici è concepita per la prima volta non più da una serie di enti specialistici destinati a creare banche dati parziali, scarsamente accessibili, e, in generale, monotipologiche, indicizzate a partire da libere interpretazioni in forma testuale, ma servendosi di un sistema in grado di acquisire e integrare informazioni testuali, figurative e tridimensionali e renderle immediatamente disponibili su vasta scala, con metodi di indicizzazione appartenenti alla loro natura intrinseca.

Quando Jorge Louis Borges ne *La biblioteca di Babele* ipotizzò un sapere indefinito, ma infinitamente grande e infinitamente connesso²⁷, decretandone il senso nel contempo assoluto e surreale, per la prima volta ipotizzò, inconsapevolmente, ciò che la rivoluzione dell'era informatica dell'Internet Visual Computing avrebbe reso reale. Semplicemente gli spazi di borgesiana memoria non sono più elementi fisici a grandezza d'uomo, gallerie esagonali con vasti pozzi di ventilazione nel mezzo, ma spazio immateriale, al più minuscoli chip di silicio, la cui ubicazione tuttavia non segue regole spazio-temporali, ma di completa indifferenza.

²⁷ J.L. Borges, *Tutte le opere*, a cura di Domenico Porzio, Mondadori, Milano, 1987, volume I, pp. 680-689.

2.9. Manualità e immaterialità: progetti per il Visual Prototyping Learning

L'introduzione della grafica informatizzata in tempi recenti ha spinto la riflessione teorica dell'ambito disciplinare del disegno a concentrarsi più sul modello (che racchiude in sé la dicotomia analogie-differenze tra disegno manuale e grafica vettoriale digitale), che sulla proiettiva, come invece era sempre avvenuto dal *De pictura* di Leon Battista Alberti, fino alla *Scienza della Rappresentazione* di Mario Docci e Riccardo Migliari.

“La costruzione di questi modelli, che chiamiamo ‘informatici’ - ricorda lo stesso Migliari - non è affatto automatica, essa ha origine nel pensiero del progettista ed è controllata dalla sua abilità di plasmare le forme tridimensionali dell'architettura e di comporle insieme. Per queste ragioni, è necessario che la disciplina che insegna a costruire i modelli, cioè la Scienza della Rappresentazione, integri nel proprio corpus di teorie e di metodi operativi, le nuove tecniche informatiche”²⁸.

A ben guardare, tuttavia, la didattica del Disegno dell'Industrial Design milanese, per la natura intrinseca del proprio campo d'azione, aveva già tentato da diversi anni, seppure in un campo più limitato rispetto a quello in oggetto, di spostare l'attenzione sui problemi della modellizzazione, non semplici *maquette* o banali immagini, ma, ricordiamo, strategia creativa e al tempo stesso conoscitiva. Si tratta di un tema/programma di insegnamento caratterizzato da una didattica di tipo induttivo, in cui i temi toccati riguardano essenzialmente due campi:

- il rapporto virtuale/materiale, ovvero le modalità delle nozze incestuose tra modello fisico (*maquette*, fotografia, ma anche semplice grafia) e modello digitale (riallacciandosi alla questione dei modelli in senso lato)
- il rapporto uomo/tecnologia, ovvero il problema non della tecnologia in sé, ma del suo impiego come strumento attivo per il progetto nell'ambito dei processi e delle procedure esistenti (riallacciandosi alla questione del “ceci tuera cela” di hughiana memoria).

Il necessario supporto a questo programma didattico è stata la creazione di una serie di laboratori strumentali, in grado di fornire il substrato operativo e manuale all'approccio teorico e nozionistico e un forte grado di sperimentazione, secondo un modo proprio di tutte le grandi scuole di Design, dal Bauhaus a Ulm, e quindi il loro uso ne è stato un tratto distintivo.

Oggi, rafforzato dalla recente riforma universitaria, il modello didattico di approccio induttivo del Disegno Industriale del Politecnico milanese vede la necessità di un progressivo incremento delle conoscenze metodologiche e tecniche dello studente per seguire questo excursus formativo “dalla pratica alla teoria”. Conseguenza ne è stata la predisposizione di un nuovo piano-programma di espansione dei laboratori sperimentali didattici su una superficie di oltre 5.000 mq. Per soddisfare le esigenze delle 600 matricole/anno.

²⁸ Cit.

In questo programma, oltre a laboratori per la costruzione di *maquette* fisiche, laboratori fotografici, spazi per gli allestimenti e aree per la sperimentazione didattica, ergonomica e illuminotecnica, il nuovo laboratorio di Reverse Modeling & Virtual Prototyping si propone come un insieme di spazi, attrezzature e risorse, rivolto alla formazione di un sistema polivalente la cui funzionalità di base è di fornire tutti gli strumenti necessari alla formazione dell'allievo di Disegno Industriale nel processo di progettazione e formazione del prototipo digitale.

L'idea di un Laboratorio di Prototipazione Digitale è differente da quella di un aula didattica con computer in cui si possano tenere lezioni. In un'aula informatizzata è il computer l'oggetto dell'insegnamento, non il processo di produzione del progetto dell'oggetto. Alla sua formazione non è nemmeno estranea a tutta la tradizione dell'insegnamento del secolo scorso in cui, come ci ricorda Maldonado il computer mancava solo come presenza fisica, ma non certo come presenza virtuale preconizzata. “..nel nostro metodologismo ad oltranza, di cui già allora avevamo ravvisato l'implicazione negativa – c'erano anche intuizioni “forti”, intuizioni che lo sviluppo della tecnologia informatica, soprattutto dal 1963 in poi, ha confermato ampiamente. Non c'è dubbio, ad esempio, che l'idea di arrivare a una sorta di simbiosi tra “calcolo” e “graficazione” nel processo di risoluzione dei problemi, da molti di noi caldeggiata negli anni '50, è alla base dell'attuale utilizzo, sempre più diffuso, dell'“informatica grafica”²⁹.

Il laboratorio si compone di tre differenti parti:

- una virtual room
- una sala dedicata all'acquisizione 3D
- uno spazio di elaborazione dei dati digitali

Il tipico flow chart di utilizzo è dato come segue:

- digitalizzazione di una *maquette* di studio o di un oggetto esistente da modificare (nel senso stretto del termine, o semplicemente simulacro da trasporre in forma digitale per la riproduzione al vero o in scala);
- creazione di un modello digitale a faccette triangolari a partire dai cloud of point e dalle image map generate nella fase di digitalizzazione;
- ingegnerizzazione della forma e creazione di un modello a superficie esatto;
- realizzazione del progetto di modifica e/o ispezione del modello di reverse modeling per raffronto con un corrispettivo CAD;
- implementazione del progetto nel sistema di visualizzazione di VR e visualizzazione a vari livelli di iconicità (flat screen, stereo-view, CAD-Wall, ...) per la valutazione del progetto.

Su di esso si impernano le possibilità di sperimentare spazi e visualizzare manufatti dall'oggetto d'uso fino ai progetti di car design a grandezza naturale. Questo significa facilitare a studenti, docenti e ricercatori in forma indivi-

²⁹ T.Maldonado, *Ulm rivisitato*, in “Rassegna” n. 19, 1984, p. 5.

duale e/o collettiva la visualizzazione e la verifica in itinere e conclusiva di progetto, di spazi, forme, dimensioni, funzioni, rapporti tra arredi, attrezzature e di qualsiasi altro elemento di verifica funzionale.

Il modello di realizzazione dell'attività 'tipo' è quello per classi di 25 studenti che lavorano nella zona 'core' di elaborazione dei dati digitali, utilizzando la virtual room come dispositivo di output su cui controllare i risultati finali e la sala di acquisizione come dispositivo di input da cui attingere i dati da elaborare.

Se il rapporto virtuale/materiale certamente ha subito un profondo cambiamento, nel campo dell'oggetto rappresentato; tanto maggiori sono le prospettive di mutamento nel campo della trasmissione dell'informazione e della formazione dei metodi della sua didattica.

In quest'ambito una prima problematica è quella della necessità di predisporre strumenti congruenti ed omogenei al mezzo utilizzato, creando così tutti quei sistemi autorappresentativi che più di otto secoli di disegno manuale hanno consolidato e resi evidenti, perché realizzati col loro medesimo mezzo, e che hanno perso in coerenza per lo spostarsi del sistema mediale dal materiale all'immateriale. Si tratta quindi di realizzare strumenti che usino ancora l'elaboratore come mezzo di trasmissione della conoscenza e della sua verifica di apprendimento.

Una seconda tematica ci è offerta dal mutamento dello schema strutturale dei PC che ha portato nuove valenze ai sistemi didattici completamente digitali. Il Personal Computer, fino a dieci anni or sono, ha sempre individuato il nostro modo di lavorare come quello di un operatore che legge e scrive informazioni sul proprio hard disk, che quindi è sostanzialmente l'unico contenitore su cui andare a depositare e attingere forme della conoscenza, similmente a quanto avveniva prima dell'epoca digitale con il lavoro sul tavolo da disegno. La movimentazione delle informazioni tra un operatore e l'altro è stata inizialmente assai difficoltosa, solitamente legata alla movimentazione fisica di interi dispositivi capaci di trasportare quantità di dati sempre più crescenti, tuttavia sempre in modo discreto. La definizione di standard universali di trasporto dati attraverso una rete via cavo, la possibilità di visualizzazione di "windows" comuni tra operatori diversi, ma soprattutto il vorticoso incremento delle prestazioni del trasporto del flusso delle informazioni attraverso il network (lo standard è ormai 100 Mbit/sec per le reti locali, cioè circa 30 disegni vettoriali 2D stampabili in formato A0 al secondo) ha condotto al necessario ripensamento di tutta la filosofia del sistema. Anche in questo caso il mutamento non è interessante per ciò che avviene internamente al sistema, ma per le ricadute esterne su di noi. L'hard disk non è più che uno dei contenitori di banche dati a disposizione, cui aggiungere ciò che rendono disponibile, in risorse dati e computazionali, altri computer che lavorano nel nostro stesso ambito di lavoro, e, soprattutto, ciò che restituiscono su Internet, ormai in tempo reale, tutti i server collegati.

Questi caratteri rendono il PC lo strumento per eccellenza per la formazione aperta e a distanza (FaD) servendosi di metodi multimediali e interattivi. L'impiego di strumenti FaD a supporto sia della didattica presenziale sia di quella a distanza ha un forte impatto sia sulla gestione amministrativo-logistica che sul rapporto formativo università-studente con un miglioramento negli ambiti della:

- a. distribuzione di materiali didattici (tradizionali e multimediali);
- b. chiarezza della comunicazione (trasparenza e tempestività informativa);
- c. ampliamento e facilitazione dell'interazione studenti-docenti;
- d. ampliamento e facilitazione dell'interazione tra studenti;
- e. possibilità di ampliamento delle fonti attraverso l'uso della rete per incrementare le possibilità di contatto con realtà esterne all'Università³⁰.

In questo campo negli ultimi anni ho realizzato due differenti progetti:

- a. Un corso di formazione interattiva aperta e a distanza Web-based nel campo della computergrafica per l'architettura, l'urbanistica e il design rivolto a studenti curricolari, a studenti extra-curricolari, a studi professionali, ad aziende, imprese ed enti del settore, di cui la parte di lezioni è oggi on-line all'URL www.cgi.polimi.it/servizi. Il corso è organizzato come sistema multimediale interattivo con moduli fruibili in locale, test valutativi a distanza postabili sul Web, applicativi per le esercitazioni, moduli per l'interazione con tutor, in forma scalabile e aggregabile a partire da un nucleo di base fisso. Lo scopo del corso è di fornire tutta quella formazione di base nel campo della computergrafica per l'architettura che oggi non viene solitamente fornita, lasciando l'alfabetizzazione all'apprendimento diretto degli applicativi senza creare un background che permetta flessibilità nel tempo e attraverso il software; oppure è fornita a costi elevatissimi in termini di strutture e sfruttamento delle risorse umane; oppure non è assicurata in forma accessibile in rapporto alle esigenze spazio-temporali (formazione permanente). Il corso sfrutta la mediatizzazione digitale per presentare mezzi del controllo progettuale differenti rispetto a quelli codificati nella tradizione educativa delle scuole di architettura e di ingegneria. Invece della rappresentazione dello 'spazio dell'oggetto' e dell'oggetto nello spazio', viene sviluppato il tema della descrizione dei mezzi di controllo della progettazione in quanto trasmissione, trasposizione, 'traduzione', fase attraverso la quale si realizza il passaggio dall'ideale al reale, dall'idea originaria alla specificazione delle qualità formali, materiali e costruttive dell'opera architettonica.
- b. Un Web game-based learning per l'insegnamento delle metodologie di modellazione 3D digitale. La società di software CAD Think3 ha realizza-

³⁰ A. Colorni, S. Sancassani, *Esperienze applicative al Politecnico di Milano*, in D. Biolghini., M. Cengarle, *Net Learning. Imparare insieme attraverso la rete*, Milano, ETAS Libri, 2000, pp.79-93.

to, in tempi recenti, un sistema d'apprendimento game-based learning del proprio software CAD, dal titolo "The monkey Wrench Conspiracy", organizzato a partire da un CD-Rom multimediale. Il prodotto ha riscosso grande successo sia di critica che commerciale, tanto che oggi è allo studio una nuova versione Web-based, più completa di quella attuale dal punto di vista dei contenuti, basata su un nuovo gioco caratterizzato da una nuova struttura, nuovi temi e qualità grafica migliore, e incentrata sulla problematica dell'avviamento in modo semplice di utenti di CAD 2D ai sistemi 3D (i primi passi di questo progetto sono osservabili al sito web www.timemechanic.com).

Punti qualificanti di questa nuova avventura sono, oltre all'espansione della quantità dei tutorial disponibili – il tipico modo di apprendimento di un software –:

1. l'inserimento di "eventi didattici" esplicativi di tipiche problematiche di modellazione 3D (ad esempio differenza tra modellazione per solidi e modellazioni per superfici) per migliorare la "facilità" di apprendimento da parte dell'utente in determinati passaggi chiave e un glossario che consenta all'utente un più facile approccio alla terminologia tecnica;
2. il nuovo gioco che, di per sé, presenta finalità educative. Il primo episodio, "Le macchine di Leonardo", si svolge al tempo del da Vinci nel Castello Sforzesco a Milano. Gli alieni hanno distrutto alcune macchine disegnate da Leonardo e sottratto alcuni loro elementi. Il giocatore è spinto a scoprire quali pezzi sono stati rubati e come ricostruirli usando ThinkDesign. Quando l'elemento è correttamente modellato può essere collocato sulla macchina, che riprende a funzionare. Nel momento in cui tutte le macchine sono correttamente riparate, la missione è finita e il giocatore ha imparato innumerevoli concetti di modellazione.

Ora non ci resta che attendere e lavorare. Questa nuova strategia complessiva proposta dal paradigma digitale, basata sulla trasformazione dell'implicito e numerico in visuale, è di straordinaria efficacia di visualizzazione, immediata accessibilità e disarmante efficacia tecnica. In fondo essa rilancia con prepotenza ciò che secoli di rappresentazione manuale avevano sempre confermato come mezzo primario di restituzione: l'uomo non ha forse sempre posseduto le categorie mentali per leggere una modellazione implicita realizzabile rapidamente e altrettanto trasferibile? La storia del disegno ci insegna.

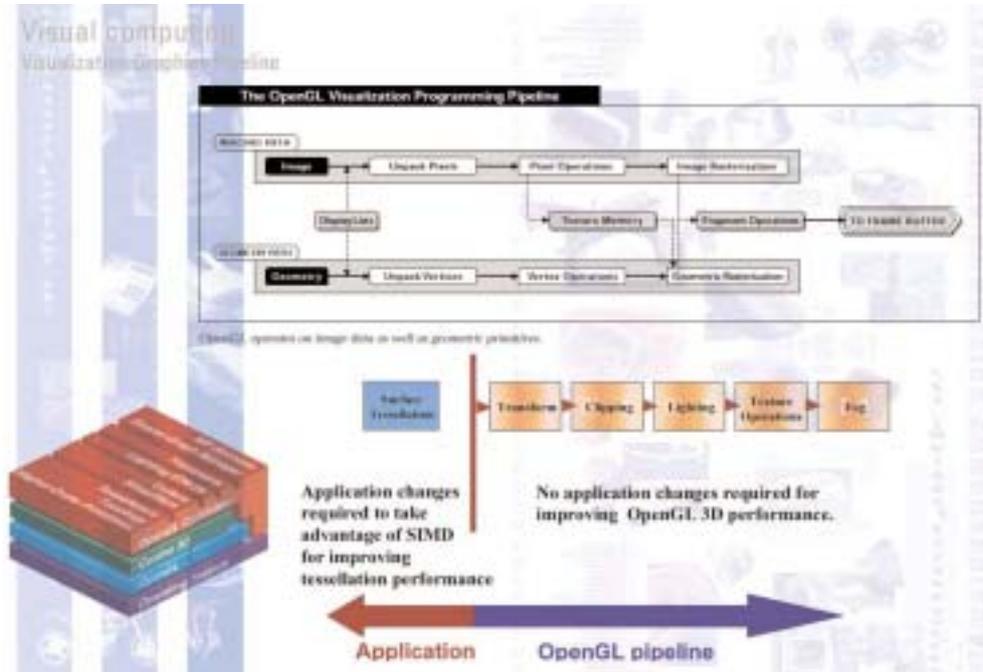


Fig. 1 – Visual computing: schema di creazione digitale dell'immagine servendosi delle librerie hardware e software OpenGL.

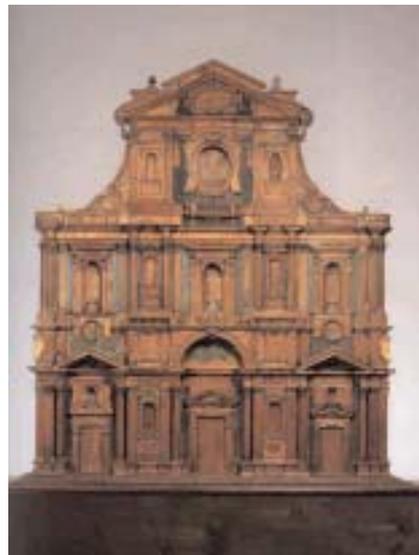


Fig. 2 – Modelli fisici per l'architettura: Bernardo Buontalenti, modello per la facciata del Duomo di Firenze, Firenze, Museo dell'Opera di Santa Maria del Fiore.

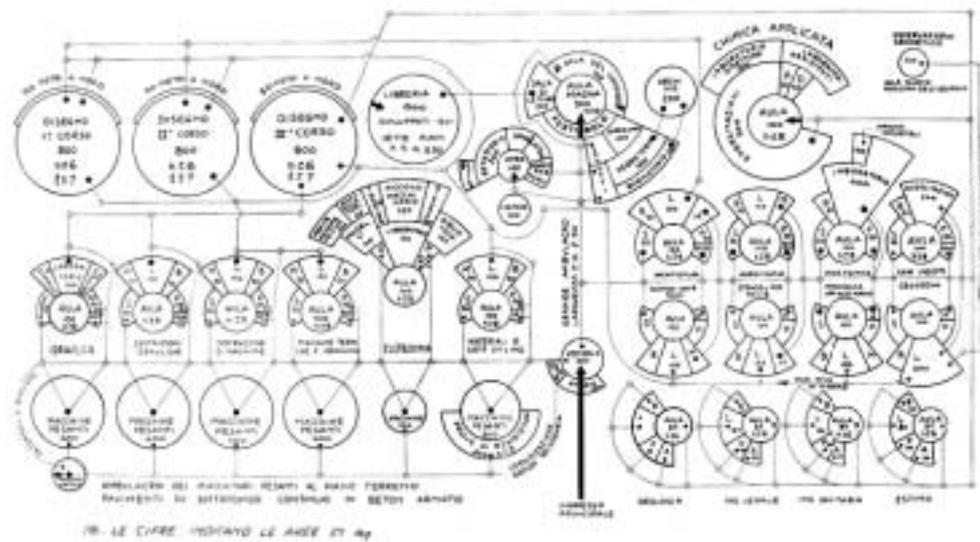


Fig. 3 – Modelli diagrammatici per l'architettura: Giuseppe Vaccaio, schema in guisa d'impianto elettrico per il progetto della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna (da G.Vaccaro, *Schemi distributivi di architettura*, Librerie Italiane Riunite, Bologna, 1935).

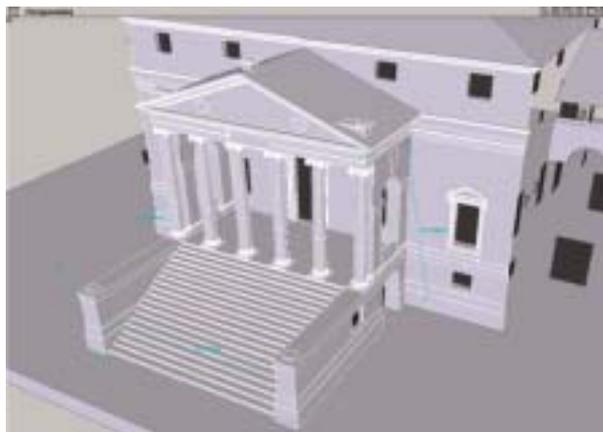
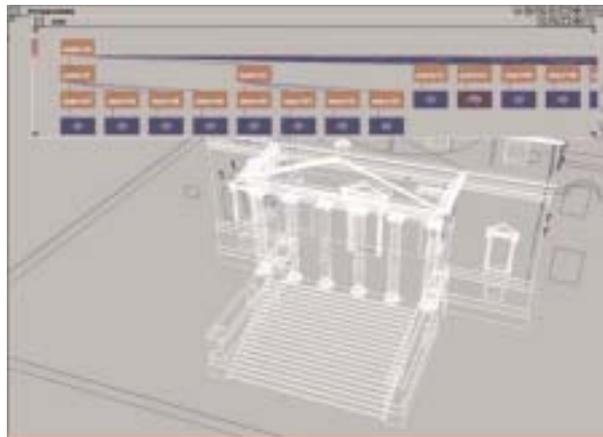


Fig. 4, 5, 6 – Modelli virtuali per l'architettura: Andrea Palladio, La Rotonda. Il modello è al tempo stesso immagine, base dati, sistema dimensionale, sistema strutturale, sistema funzionale (realizzato da Giampaolo Guerzoni ed Emanuele Cosmi con Alias/Wavefront Studio Tools)

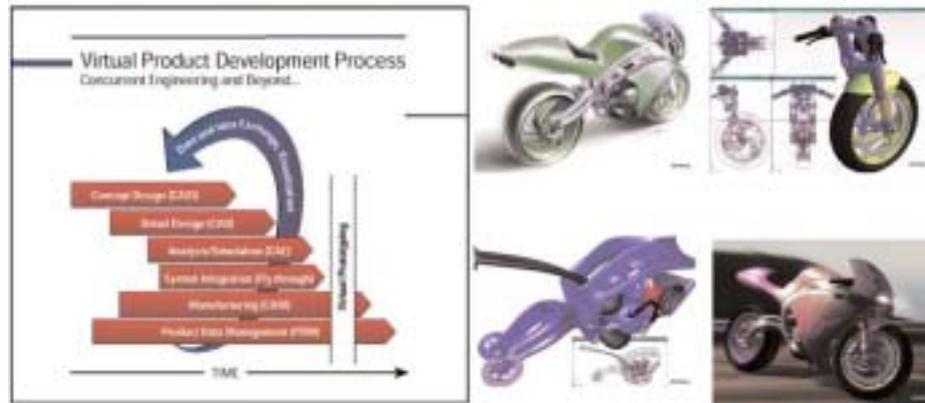


Fig. 7 – Virtual Product Development Process: studio dello styling di una motocicletta sportiva a partire dal kit di ingegneria (da Hewlett Packard, Romulus Predator, White Paper 1998 e da Alchemy Design, realizzato con Alias/Wavefront Studio Tools)



Fig. 8 – Soluzioni di ambienti virtuali: (a) teatro virtuale, (b) tavolo retroproiettabile portatile; (c) CAVE; (d) Wall; (e) virtual room (da SGI, Reality Center Solutions Data Sheet 1999).

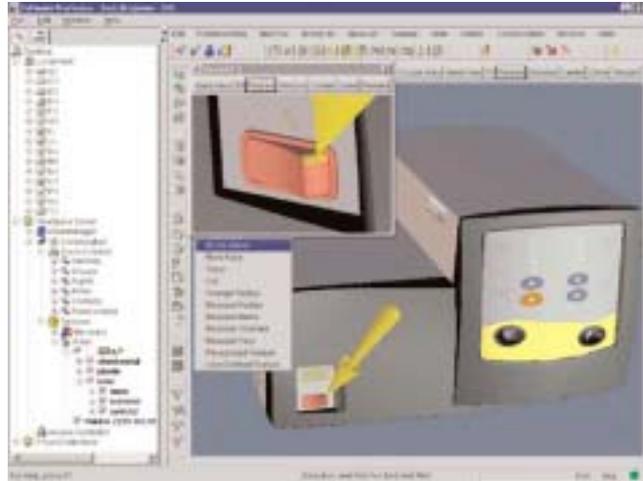


Fig. 9 – Software di visualizzazione indipendenti dal CAD web-enabled: modellazione on-line con Create OneSpace (da Grosser A.W., Collaborative Viewing, White Paper, CoCreate Software GmbH, 2000).



Fig. 10 – Rendering fotorealistico digitale di un prototipo di monitor digitale a cristalli liquidi (rendering realizzato da Marco Gaiani con Alias/Wavefront Studio Tools).



Fig. 11 – Rendering fotorealistico digitale del televisore Brionvega, Algol 11, designer Marco Zanuso, (1964) (rendering realizzato da Enrico Gamberini con Alias/Wavefront Studio Tools).



Fig. 12 – Rendering come strumento di prefigurazione fotorealistica di interior design: appartamento nel Quartiere Spaventa a Milano (realizzato da Enrico Gamberini con Alias/Wavefront Studio Tools).



Fig. 13 – Rendering non fotorealistico: appartamento nel Quartiere Spaventa a Milano renderizzato con tecnica ad ed effetti d'illuminazione (rendering realizzato da Gianluca Cattoli con Informatix Piranesi 2.0).

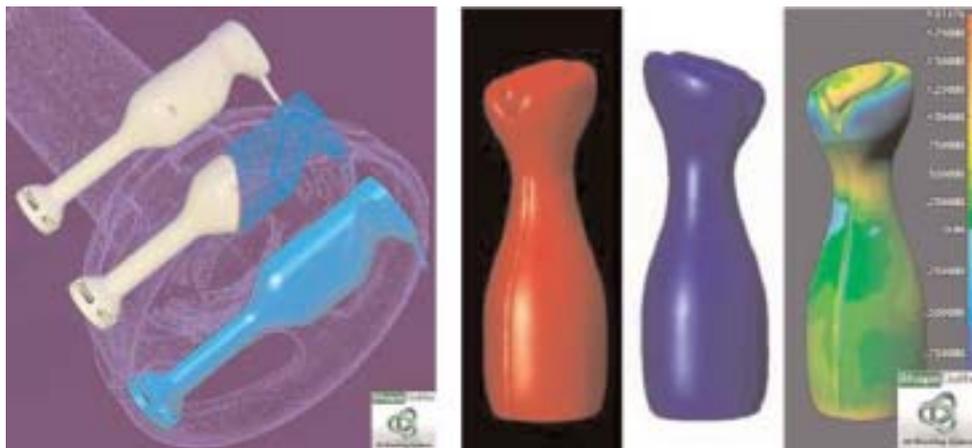


Fig. 14 – Processo di reverse modeling: dall'oggetto reale al modello 3D tramite acquisizione di nuvole di punti (da Shapegrabber).



Fig. 15 – Laser scanner 3D a triangolazione Minolta VIVID-700 in funzione durante la campagna di acquisizione dati al Colosseo compiuta dall'Università degli Studi di Ferrara nel 1999.

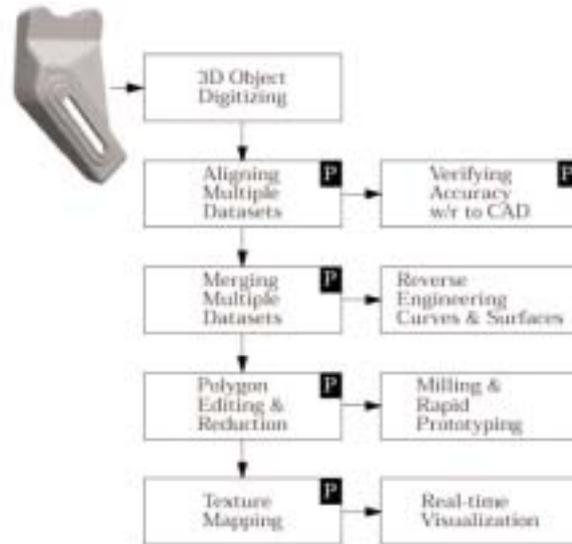


Fig.16 – Schema del processo di Reverse Modeling.

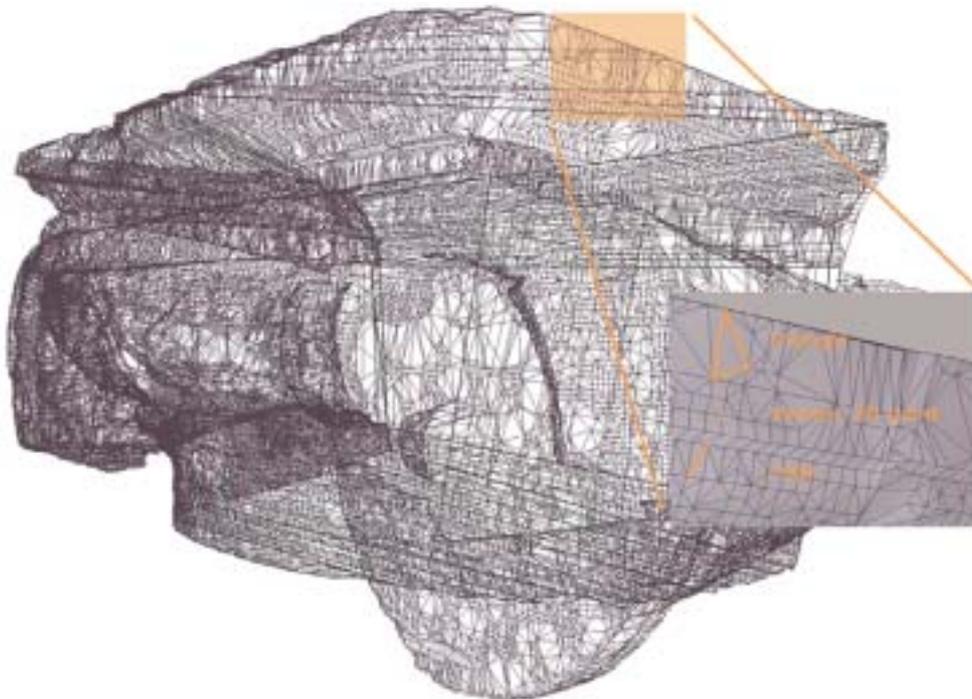


Fig. 17 – Modellazione a partire da nuvole di punti 3D rilevate: ricostruzione della superficie servendosi di maglie poligonali. Capitello appartenente all'ordine ionico della facciata del Colosseo in Roma.



Fig. 18 – Rilievo mediante laser scanner 3D: modello 3D texturato di un capitello appartenente all'ordine ionico della facciata del Colosseo in Roma.



Fig. 19 – Rilievo mediante laser scanner 3D: modello 3D texturato del cuneo dell'ingresso nord del Colosseo in Roma.

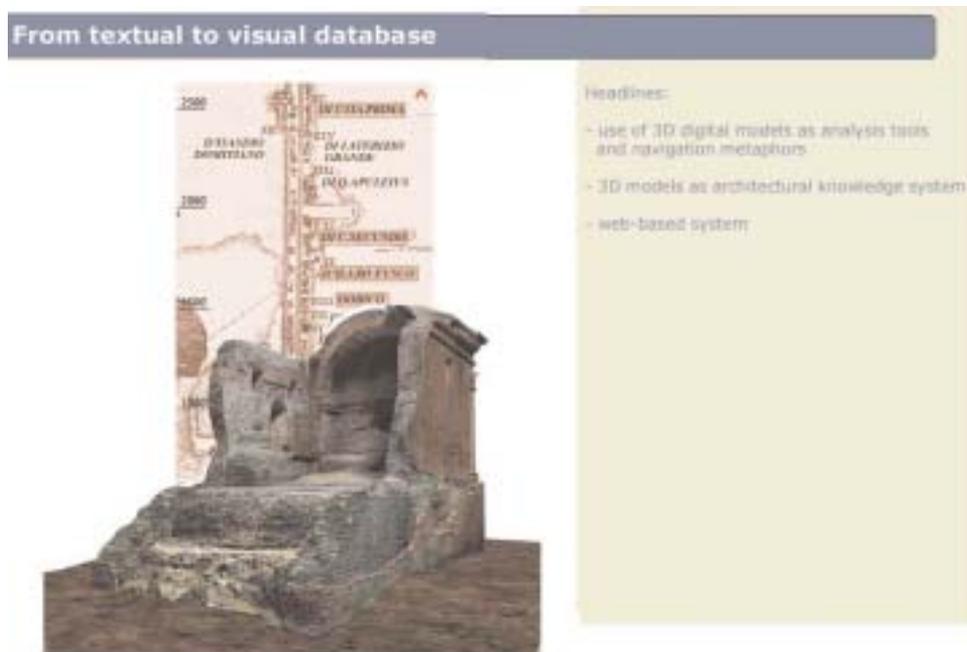


Fig. 20 – “Appia 3D Web Virtual GIS”, obiettivi e modalità del 3D database.

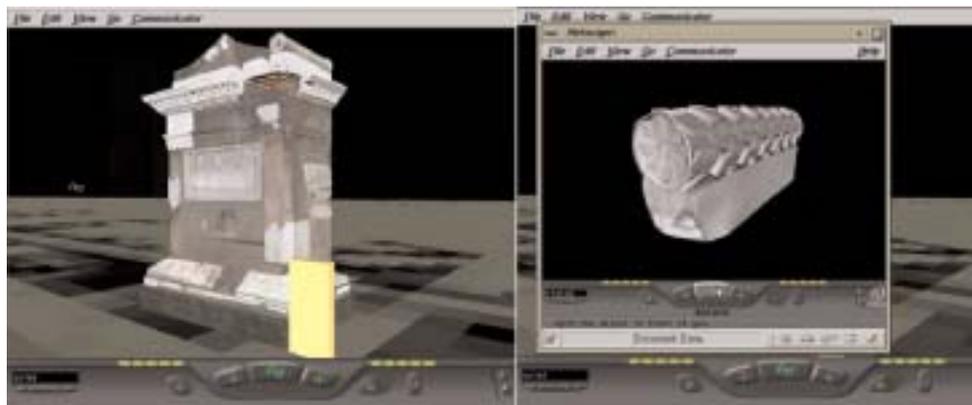


Fig. 21 – “Appia 3D Web Virtual GIS”, Sepolcro di Usia I. Il sistema interrogazione realizzato a partire dal modello 3D VRML di ogni singola tomba che indirizza a componenti e a schede tematiche restituiti in una finestra HTML. Analisi degli elementi decorativi.

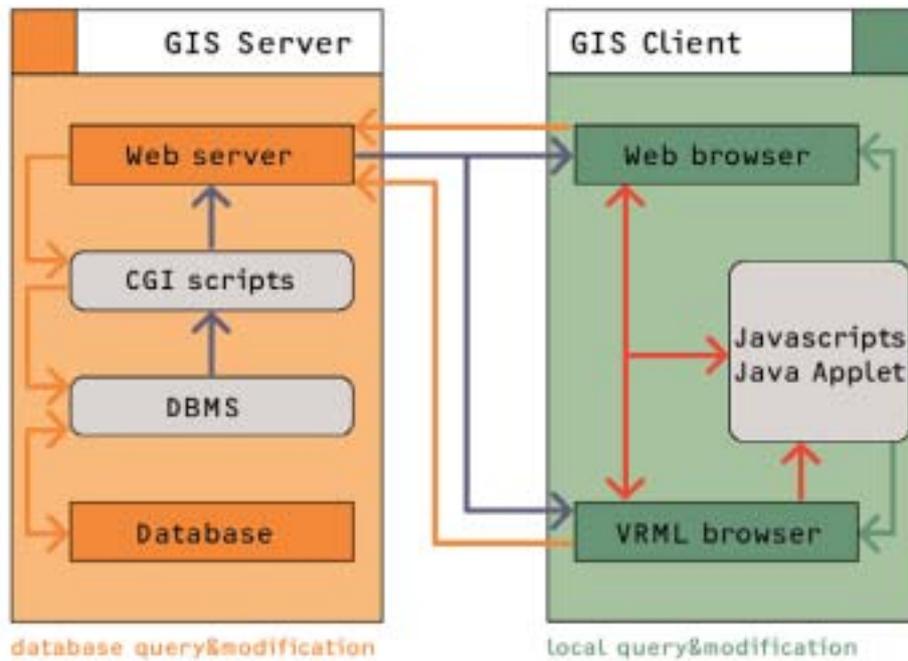


Fig. 22 – “Appia 3D Web Virtual GIS”, architettura del sistema.



Fig. 23 – Servizio per l’acquisizione e l’elaborazione digitale di immagini e modelli 3D dell’Università degli Studi di Lecce - Progetto di acquisizione 3D Stele e Cippi: modelli 3D di Stele dell’VIII e VII sec. a.C. scoperte nel Salento durante alcune campagne di scavo organizzate dalla Soprintendenza Archeologica delle Puglie e dall’Università di Lecce.

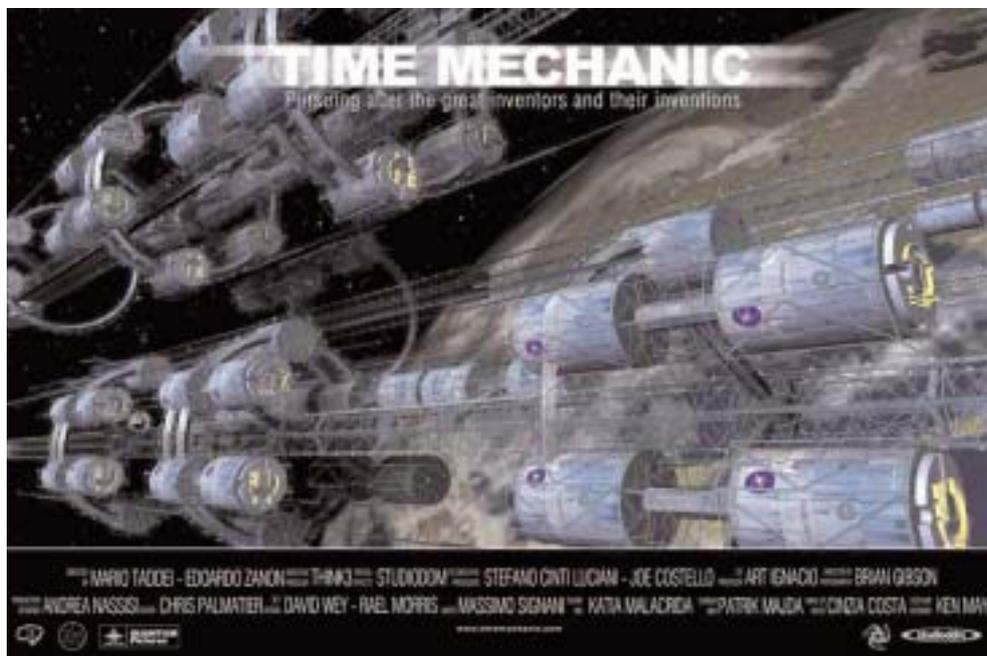


Fig. 24 – Corso di formazione interattiva aperta e a distanza Web-based nel campo della computergrafica per l'architettura, l'urbanistica e il design: scheda tratta delle lezioni di grafica vettoriale tridimensionale.

3.

Ingegneria concorrente e scambio dati nella gestione del progetto di costruzioni

Marco Masera, Saverio Mecca

3.1. Introduzione

Sebbene siano state prodotte numerose applicazioni informatiche per la progettazione e per la gestione della costruzione, l'impatto prodotto è risultato poco rilevante sulla pratica professionale e di cantiere.

In molti settori della produzione industriale e della erogazione di servizi le trasformazioni introdotte sono state tali da modificare profondamente il modo il cui le persone svolgono il loro lavoro ed il modo in cui comunicano. Da un lato possiamo attenderci che sicuramente nei prossimi anni l'ambito delle costruzioni sarà investito da una enorme quantità di informazioni e dall'esigenza di strumenti idonei a trattarle. Per contro attualmente sono effettivamente poche le applicazioni che si sono inserite stabilmente nella produzione del progetto.

Il lavoro proposto cerca di individuare le linee di sviluppo seguite dalla ricerca sull'informatica applicata all'edilizia rispetto ad alcuni elementi critici che sono emersi progressivamente.

In particolare si cerca di analizzare la seguente questione: quali sono i processi attuali secondo cui si svolge la comunicazione fra i progettisti e gli attori del progetto? Da quali premesse muovono i processi in atto che trasformano il modo di lavorare e di comunicare dei progettisti e quali sono gli elementi che si scontrano con questo processo? La questione si focalizza principalmente sul modo di produzione del progetto e sulla sua organizzazione e cioè sul modo in cui si divide il lavoro di elaborazione e realizzazione del progetto.

La ricerca in questi anni ha lavorato molto attorno al problema della "modellazione" e cioè della "rappresentazione delle informazioni sulla costruzione".

Gli aspetti strettamente legati all'innovazione informatica ricadono nell'interesse specifico di questa riflessione in relazione al tema che ruota attorno al modo in cui l'organizzazione dell'informazione sulla costruzione si trasforma in relazione a tali innovazioni e quali siano i processi in atto di trasformazione che coinvolgono la produzione delle conoscenze per l'elaborazione e la gestione di progetti di costruzione. Lo sviluppo di tale questione pertinente

alla cultura del progetto si intreccia con dinamiche di riorganizzazione di settore, e lega sostanzialmente il tema della rappresentazione della conoscenza con l'elaborazione del progetto e con il suo controllo.

Il tema dell'innovazione informatica applicata alla progettazione, ossia dell'ingegneria della conoscenza applicata al progetto, possiede in ogni suo risvolto questa dualità di prospettiva che non permette di scindere gli aspetti tecnici, informatici, dalle implicazioni di carattere organizzativo sul chi, come, quando e, non ultimo, sul che cosa si progetta e si costruisce.

La comunicazione si indirizza quindi al background, alla storia, ai concetti ed alle tecnologie interessate nella rappresentazione "elettronica" della costruzione, con l'obiettivo di individuare alcuni punti nodali di una vicenda complessa che comprende vicende in tumultuosa trasformazione.

3.2. Domini applicativi dell'innovazione tecnologica

Nel contesto dell'informatica applicata all'industria delle costruzioni possono essere identificati quattro domini di riferimento: contesto organizzativo, tecnologia edilizia, architetture di sistema, tecnologia del software. Con informatica applicata al dominio delle costruzioni in realtà si identifica un'azione di ingegneria della conoscenza, o di re-ingegneria, che utilizza *medium* elettronici, e non solo, per produrre innovazione in questi quattro campi:

Il contesto organizzativo è il più ovvio. Differenti strutture organizzative avranno scambi di informazioni differenti e differenti esigenze di integrazione. Uno studio di architettura o di ingegneria tradizionale che formi una organizzazione virtuale per un singolo progetto ha un'esigenza di integrazione differente da una società di ingegneria che ha al proprio interno architetti, ingegneri, tecnici della costruzione. Ad ogni trasformazione organizzativa corrisponde una trasformazione della tecnologia dell'informazione.

Tecnologia del software. Nuovi linguaggi, librerie di funzioni, standard di scambio di informazioni e altri strumenti diventano utilizzabili e modificano le modalità di integrazione dell'informazione e aprono nuovi ambiti di innovazione. Java ad esempio è stata una innovazione importante nel software delle operazioni di processi distribuiti, che ha modificato profondamente l'uso delle tecnologie di rete.

Le architetture di sistema. Storicamente i computer che condividono il tempo macchina hanno fornito un primo contesto per l'integrazione di molti utenti che condividono lo stesso processore. In questo ambito sono nati ad esempio i primi programmi di posta elettronica. Internet ha trasformato questa modalità comunicazione con un effetto di amplificazione delle possibilità di comunicazione fra gli utenti dei sistemi informatici.

La tecnologia della costruzione. Ossia la semantica. Se una impresa utilizza differenti tecnologie, differenti sono i prodotti ed i processi che utilizza.

Occorre innanzitutto esplorare queste dimensioni del progetto e successivamente si esaminano gli aspetti dell'informazione informatica soprattutto

per quanto riguarda l'evoluzione dei sistemi CAD, la tecnologia dello scambio dati e di integrazione dati, con un interesse per gli sforzi prodotti attraverso la definizione di standards.

Affrontando gli aspetti organizzativi occorre mettere in evidenza le profonde differenze esistenti fra l'industria delle costruzioni europea, con tutta la complessità dei contesti nazionali, rispetto all'industria nord americana che ha caratteristiche molto differenti. Tale differenziazione va rapportata ad una tecnologia che è per contro una tecnologia globale. L'impatto della tecnologia informatica sul mercato europeo di software generico, cioè non sviluppati o personalizzati *ad hoc*, è stato tutt'altro che indolore. Ha interessato principalmente i fruitori di PC che sono la stragrande maggioranza dei progettisti e delle imprese che hanno introdotto strumenti informatici nel loro ciclo di produzione.

Se si analizza ad esempio uno strumento per la pianificazione della costruzione qual è Primavera, vi si scopre implementato un modello organizzativo che rispecchia l'approccio formale del Project Management Institute americano che non è certo di immediata applicazione al contesto delle imprese di costruzioni europee ed in particolare italiane. In effetti appartiene ad una ingenua fase pionieristica l'ipotesi che fosse possibile adattare le strutture organizzative ai modelli implementati nei sistemi di gestione delle informazioni, senza produrre inefficienza e conflitti. In questo senso è cresciuto notevolmente il grado di consapevolezza circa i requisiti che i servizi resi dalle macchine informatiche devono soddisfare.

3.3. Ambiti di applicazione della tecnologia dell'informazione al progetto

L'organizzazione dei processi è fortemente legata alla pratica corrente risultante da cambiamenti e adattamenti secolari. Risente quindi fortemente di aspetti locali e regionali, anche se in prospettiva si può notare una tendenza ad omogeneizzare, approcci organizzativi, normative ecc.

Con questa semplificazione si può considerare schematicamente un edificio dal punto di vista del suo intero ciclo di vita. Attraverso la suddivisione della vita di un edificio in fasi si possono identificare alcune attività prevalenti anche se non esclusive. Le fasi che si possono individuare cercando una sintesi estensiva di differenti approcci al ciclo di vita degli edifici sono: programmazione e fattibilità, progettazione, pianificazione, costruzione, esercizio, pianificazione di demolizione e demolizione. Cercheremo in particolare di concentrare l'attenzione su tre fasi particolarmente significative; la programmazione, il design e la pianificazione.

3.3.1. Programmazione e Studi di fattibilità: analisi dei dati in ingresso

Dagli anni 50 in poi è stato posto il problema di sostenere queste attività con strumenti appropriati e seguendo un rigoroso approccio globale. Gli

studi di fattibilità richiedono un trattamento quantitativo delle informazioni. Vengono utilizzati strumenti per rappresentare dati elaborati con fogli di calcolo al fine di analizzare i costi di produzione, i costi finanziari dell'operazione, ecc.

La valutazione della fattibilità individua una serie di obiettivi per il progetto in questione ed individua una serie di questioni che richiedono di essere sviluppate successivamente. Lo studio di fattibilità può sia essere condotto da uno specialista, sia restare in forma implicita nelle valutazioni del committente. A questo proposito pesano le dimensioni tecniche ed economiche del progetto. Frequentemente in questa fase vengono trattate grandezze quali la dimensione dei differenti spazi da costruire. Gli spazi richiesti complessivamente derivano dalla stima delle principali funzioni richieste, rispetto alle quali sono stimate le esigenze spaziali, come per la circolazione, i sistemi meccanici e i servizi. La maggiore risorsa richiesta in questa fase è economica, espressa sia come quantità complessiva di denaro richiesta, sia come programma finanziario. Un indicatore usato frequentemente considera il costo per unità di superficie o di volume; tale indicatore è spesso un vincolo di progetto.

Le funzioni dell'edificio possono richiedere studi particolari. Devono rispondere sia agli usi degli utenti sia ad attività specializzate (servizi ad attività produttive ecc.). Può essere richiesto uno studio delle interazioni fra attività previste e spazi destinate ad accoglierle. Questi studi sono identificati spesso come programma di costruzione o come analisi operativa della costruzione. Esistono varie tecniche che raccolgono queste informazioni e organizzano la loro elaborazione.

Lo studio di fattibilità è identificabile in alcuni processi. Il processo centrale consiste nel derivare il costo del progetto basato sulle quantità di spazio e sui costi di costruzione. Un set di input ha origine dagli studi sugli edifici in uso, dalle norme amministrative e dalle informazioni sui costi di produzione. Un altro set di input può provenire dall'aggiustamento del costo standard di un edificio in un contesto particolare. Altri input provengono dai tempi e costi associati con la costruzione di differenti tipi di unità spaziali; sono richiesti contratti, licenze o concessioni, e la copertura dei costi di costruzione. I costi di costruzione ed i tempi sono basati su di uno specifico livello di costruzione. Una stima dei tempi può risultare molto importante se il cash flow dell'operazione assume un ruolo di rilievo nella gestione del progetto. Se l'operazione edilizia è finalizzata alla vendita o al nolo può costituire un input una analisi di mercato. Se in un'operazione commerciale, viene considerato il ritorno commerciale prodotto dal completamento dell'edificio, sulla base di proiezioni di mercato, occorre considerare i prezzi di leasing o di nolo o il valore delle attività nell'edificio. Può essere necessario stimare i costi di costruzione: servizi, personale, costi di esercizio, manutenzione e tasse. Questa stima si basa su una buona informazione sui costi e sui tempi di costruzione. Altri aspetti che riguardano la fattibilità sono da porre in rela-

zione all'approvazione da parte degli enti che amministrano il territorio e che controllano i vincoli ambientali, l'indirizzo urbanistico, norme tecniche di costruzione ecc. La soddisfazione di questi vincoli è strategica per la prosecuzione del progetto.

Uno spettro di obiettivi può essere coinvolto, inclusi deprezzamento e costi operativi. Il numero delle decisioni e la scala del piano di fattibilità può variare enormemente, dall'economia del progetto di un singolo edificio, allo sviluppo di progetti di svariati milioni di euro.

Alcune applicazioni che supportano gli studi di fattibilità sono descritte in tabella 1. In US ed in Europa varie organizzazioni raccolgono dati sui costi di costruzione, su cui si basa la stima dei costi per nuovi progetti.

In progetti a larga scala, devono essere considerati altri fattori. Sono presi in esame aspetti quali la viabilità, servizi vari, forniture di energia. Se questi risultano inadeguati occorre integrare una valutazione dei costi. Progetti estesi risultano onerosi dal punto di vista della valutazione di costo dei materiali e dei componenti tecnici. Ma a questo livello è richiesta innanzitutto una verifica della disponibilità delle risorse.

Il risultato di questa fase è un progetto di costruzioni che si compone di analisi essenziali che risultano fattibili in accordo con i parametri stimati. Questi parametri includono le unità di costruzione, la dimensione del progetto in termini di superfici calpestabili, o unità per utenza o altre unità di tipo sintetico. Sono incluse specifiche di carattere ambientale o di prestazioni attese, stime relative ai costi in termini monetari, di altre risorse e possibilmente di tempo. Molti dei requisiti funzionali utilizzati più tardi in fase di progettazione e molti dei costi e dei tempi associati alle risorse utilizzate come obiettivo del ciclo di vita dell'edificio, sono derivati in questa fase.

3.3.2. Le fasi di design e planning: analisi dei dati in ingresso

A partire da un accordo sostanziale sugli obiettivi del progetto, sia che abbia un'origine intuitiva sia che risulti da un attento studio di fattibilità, il compito principale della fase di progettazione riguarda l'approfondimento del progetto ad un livello di dettaglio sufficiente da permettere la pianificazione della costruzione e la verifica della soddisfazione delle intenzioni o delle attese del cliente (persona o organizzazione).

L'organizzazione corrente della pratica della progettazione può avere un'articolazione molto varia. Comunemente possiamo individuare una responsabilità primaria in un progettista (architetto o ingegnere), un'impresa di costruzioni, un gruppo di project management. Indifferentemente da chi è incaricato di dirigere il progetto, un discreto numero di partner con differenti qualifiche professionali entrano a fare parte del team di lavoro. Esperti di strutture, progettisti di impianti, tecnici di acustica, esperti di prevenzione di incendi ed altri specialisti a titolo di consulenza sono coinvolti correntemente nella struttura organizzativa del progetto. Diverse competenze sono attivate

Tabella 1

Fattibilità o programma		
Applicazione	Tipo di dati	Prestazione
<i>Programma di analisi dell'edificio</i>		
Unità totali, spazi da utilizzare o da noleggiare in termini di servizi funzionali forniti. Analisi dei bisogni	Quantità e qualità della costruzione	Unità di funzione
<i>Entrate, produttività, flussi finanziari</i>		
Tasso di assorbimento di mercato o modello	Quantità da edificare	Unità funzionali per unità di tempo
Noleggi, locazioni e altre entrate	Risorse economiche	Entrate
Costi operativi, ammortamenti, utili e altri costi operativi, tasse	Risorse economiche	Costi di costruzione
Simulazione del processo di produzione	Tempo, attrezzature	Costi
<i>Stima del costo del progetto</i>		
Costi del progetto: progetto, costruzione, concessioni	Risorse economiche	Processi di costruzione
Costo dei materiali	Risorse economiche	Costi
Costo del lavoro	Risorse economiche	Costi
Cash flow	Risorse economiche	Costi
<i>Stima dei costi di costruzione</i>		
Pianificazione operativa dalla concezione alle operazioni	Attività e tempi	Costi/unità di tempo Processi di costruzione
Altri modelli di planning, design e costruzione basati sui tempi	Attività e tempi	Tempi
<i>Vincoli amministrativi</i>		
Zoning, trasporti, analisi dell'impatto ambientale	Funzioni dell'edificio in termini di persone, automobili, rumore ecc.	Unità di funzione
<i>Materiali e disponibilità di manodopera</i>		
	Unità di lavoro e materiale straordinario	Unità di costruzione per unità di tempo

in relazione a questioni specifiche che possono sorgere durante la progettazione. L'introduzione di sistemi informatici di rete permette di mettere in comunicazione fra loro tecnici che risiedono lontani uno dall'altro o dal luogo di costruzione.

L'attività di progettazione non può essere racchiusa in uno schema rigido di azioni e di procedure. Ciò nondimeno esistono alcune attività relativamen-

te diffuse, elencate dalle associazioni professionali, e che costituiscono riferimenti minimi per l'organizzazione di un processo di progettazione. Esempi possono essere le linee guida del RIBA inglese, o del AIA, American Institutes of Architects, o del US Army Corps of Engineers. Tutte le fasi includono incontri, presentazioni, review o informazioni del cliente, approvazioni richieste da agenzie o enti pubblici e iterazioni di stime di costi. Le specifiche attività e le tipiche responsabilità che possiamo individuare sono le seguenti:

Pre-progetto: determinazione de requisiti spaziali, delle relazioni spaziali, delle funzioni operative, degli obiettivi di espansione successiva o di flessibilità; controllo dei servizi esistenti; marketing e studi di fattibilità economica; identificazione del contesto, adiacenze all'area di progetto e requisiti ambientali; preparazione di piani operativi e di piani di budget o piani finanziari.

Analisi del sito: analisi e selezione del sito; inserimento del sito nella pianificazione urbana o territoriale; studi di utilizzazione del sito; circolazione e requisiti degli spazi aperti; studi geotecnici; studi ambientali; servizi e infrastrutture.

Progetto schematico: inserimento del progetto nel sito o nel paesaggio o nel contesto urbano; pavimentazioni e drenaggi; disposizione delle piante tale da soddisfare i requisiti del programma; disposizione di attrezzature e arredi; sezioni e prospetti che illustrino le dimensioni verticali, i materiali proposti e le finiture; tipi di sistemi strutturali; spazi per attrezzature meccaniche e condutture; esigenze di protezione dal fuoco; impianti elettrici, di sicurezza per il fuoco e impianti di comunicazione.

Sviluppo del progetto: adattamento o trasformazione della conformazione del terreno, servizi, pavimentazioni, demolizioni e piani di inserimento territoriale; sviluppo di dettaglio delle piante; piante delle coperture, tipiche sezioni delle pareti e dettagli tipici; modelli 3D o disegni revisionabili; allestimenti delle finiture degli interni; forniture di arredi e selezione delle attrezzature; prospetti interni con l'individuazione dei materiali; sistemi strutturali incluse le fondazioni dimensionate; schema delle specifiche delle strutture; schemi delle attrezzature meccaniche e loro dimensionamento approssimativo; studi sull'impatto acustico e sull'illuminazione; diagrammi approssimativi degli impianti idraulici; schemi delle attrezzature per la comunicazione; schemi delle attrezzature per la protezione dal fuoco; bozza delle specifiche dei materiali.

Documenti di costruzione: disegni dettagliati per le opere di demolizione, per i servizi, per la sistemazione del terreno, e del sito in generale e per la pavimentazione; calcoli definitivi per quanto riguarda il sistema di drenaggio e le sistemazioni esterne, piantumazioni, percorsi, irrigazione di giardini; la specificazione dettagliata di porte, finestre, finiture, elementi di copertura o di finitura dei soffitti; tutti i disegni delle strutture piante e sezioni; dimensionamento definitivo delle membrature e calcoli dei dettagli; piante delle fondazioni con localizzazione dei test; dettagli di tutti i giunti di espansione; giunti sismici, connessioni e sistemi di controllo; posizionamento di tutte le condut-

ture e dei sistemi definitivamente dimensionati; impianto elettrico dimensionato e individuate tutti terminali e le apparecchiature; definizione delle modalità di circolazione delle informazioni; documentazione di supporto alla contrattualistica.

Contratti e negoziazione: organizzazione delle procedure contrattuali; review delle alternative e delle sostituzioni; review delle offerte; valutazione delle offerte.

Amministrazione dei contratti di costruzione: la coordinazione con altri membri dello staff di progettazione; preparazione di documenti supplementari; cambiamenti o revisioni; registrazione dei pagamenti; chiusura dei progetti.

Non è possibile in questa sede prendere in considerazione l'insieme di tutti i processi di progettazione nella loro complessità, molte di queste fasi non possono essere considerate in dettaglio. Ci limitiamo ad evidenziare alcuni elementi di interesse e che possono dare il senso della complessità dei compiti che la tecnologia dell'informazione è chiamata ad assumere in relazione ai flussi di conoscenza che si producono all'interno di un progetto di costruzioni.

La progettazione architettonica può avere inizio da un progetto schematico. La fase di progettazione schematica produce la concezione generale dell'operazione costruttiva che sarà sviluppata in dettaglio successivamente. Per concezione generale si intende la definizione generale della forma dell'edificio e della disposizione degli spazi interni e delle attività collocate al suo interno. Nella tabella 2 sono indicati gli input generali dell'operazione.

Durante questa fase i progettisti introducono nella forma e nelle funzioni dell'edificio le intenzioni del progetto come specificato negli studi di fattibilità. La descrizione largamente quantitativa costruita nella prima fase viene tradotta in una forma geometrica. Le piante sono composte nella forma generale dell'edificio e rispondono dei requisiti che riguardano la circolazione, gli aspetti strutturali e impiantistici. I calcoli preliminari sono svolti per assicurare che tutti i sottosistemi si comportino come previsto. La massa dell'edificio è racchiusa in una forma abbozzata che costituisce la forma dell'edificio. Questa forma e i suoi spazi interni si compongono assieme ai caratteri del sito, rispondendo ad aspetti del contesto. I caratteri e le qualità delle maggiori entità spaziali sono parzialmente determinate. In questa fase di lavoro vengono sviluppati gli aspetti più creativi della concezione, quelli maggiormente enfatizzati nelle scuole di architettura.

Ognuno di questi aspetti richiede sia esperienza che masse estensive di dati di supporto. I dati del progetto specifico includono il programma che viene disegnato a partire dagli studi di fattibilità oltre a dati che riguardano il sito. Una mole notevole di informazioni generali viene utilizzata come dati per la progettazione schematica, includendo standard degli spazi e informazioni sintetiche di progettazione che riguardano i sistemi e le tecnologie edilizie. Inoltre vengono incluse le strutture ad un livello concettuale, di impostazione schematica. Questa fase può essere condotta da un singolo designer

molto esperto, possibilmente con l'accordo degli altri, o da un team composto da esperti che hanno contribuito con vari punti di vista. Vengono identificate le questioni particolari, quali quelle pertinenti alle condizioni del sito o a speciali funzioni. La progettazione schematica viene completamente rivista e approvata prima di proseguire.

Un unico disegno può essere richiesto per il disegno schematico di un edificio semplice, mentre ne possono essere richiesti 25 o 50 per spiegare i vari aspetti di un progetto più grande. I disegni possono includere il programma spaziale dell'edificio, come realizzato dalla progettazione schematica (possibilmente in confronto con il programma di fattibilità), piante, sezioni critiche e prospetti.

Sviluppo del progetto. Permette di dettagliare la progettazione schematica definendo tutti i materiali da costruzione e tutti di dettagli associati ad esso. Con lo sviluppo del progetto vengono definiti anche gli impianti gli aspetti strutturali e altri sistemi e servizi. La dimensione degli elementi maggiori sono determinati, partendo da quelli che formano le piante, gli elementi strutturali, gli impianti, le reti di comunicazione, e le prestazioni acustiche sono individuate e risolte.

Essendo uno dei più antichi campi applicativi degli sforzi umani, a forte connotazione geografica e con cicli di vita dei processi tecnologici relativamente lunghi, la costruzione di un edificio ha a disposizione una gamma enorme di tecnologie edilizie, siano esse strutturali, impiantistiche o di altro tipo. Questa ricchezza permette una ancora più ampia gamma di combinazioni nella progettazione. Differenti tecnologie hanno componenti differenti, differenti regole di composizione e spesso differenti metodi di analisi delle prestazioni. Questa collezione di alternative è il medium dell'architettura. Per la crescita di molte di queste tecnologie, le applicazioni informatiche sono venute a supportare la progettazione interattiva informatizzata. Queste applicazioni incorporano componenti speciali, regole di progettazione e metodi di analisi per le tecnologie edilizie a cui sono associate.

La maggior parte delle applicazioni sono rivolte allo sviluppo del progetto o alla fase contrattuale. Similarmente alla vasta gamma di tecnologie edilizie, anche la classificazione degli elementi spaziali di un organismo edilizio può risultare quanto mai varia. La base di conoscenza sugli edifici è derivata dall'articolazione delle attività comprese e dalle destinazioni funzionali prevalenti (una scuola, una piscina ecc.). Molte pubblicazioni analizzano particolari tipi di edifici e costituiscono il mezzo corrente per mediare la conoscenza degli architetti e degli utilizzatori. Questi prendono in considerazione l'opportuna progettazione degli spazi, in termini di requisiti superficiali, condizioni ambientali, circolazione appropriata, accessi, la qualità degli spazi, così come si prendono in esame la composizione generale ecc. In futuro le applicazioni informatiche saranno in grado di trattare diffusamente questo tipo conoscenza. Esistono già alcuni esempi di questi programmi. La loro efficacia è fortemente mediata dall'impatto che producono sul sistema socio-tecnico.

La combinazione possibile di tutti questi molteplici aspetti relativi alla costruzione, sistemi edilizi e aspetti funzionali e architettonici è enorme. La gamma delle soluzioni possibili è così vasta da poter trovare soluzioni originali con estrema facilità. Un approccio mediato dalla tecnologia dell'informazione deve soddisfare la possibilità di supportare tale esplosione combinatoria di elementi semplici.

In questa fase per ogni progetto esclusi quelli di piccolissime dimensioni, c'è un team di specialisti che lavora sul progetto. La progettazione è un lavoro di gruppo, ogni membro ha la sua responsabilità specifica. La responsabilità può riguardare delle funzioni specifiche (per esempio l'acustica) o un sistema tecnico (ad esempio un sistema di facciata).

La produzione delle varie prestazioni tecniche, economiche, estetiche e le altre questioni comportano differenti tipi di rappresentazione: disegni in scala, impianti, modelli in 3D, numerosi set di dati per i metodi analitici e così via. I metodi di rappresentazione sempre più si basano su strumenti informatici. Alcuni tipi di applicazioni possono essere quelle listate in tabella 2. Il loro uso e la loro integrazione nel processo di costruzione può variare grandemente in relazione alle caratteristiche del progetto. Al termine dello sviluppo del progetto, tutte le tecnologie ed i sistemi nel progetto sono stati definiti e dettagliati. La disposizione spaziale e le dimensioni di tutti gli spazi, e gli elementi significativi dell'edificio sono stati specificati, inclusi quelli richiesti per i vari sistemi di supporto. Le specifiche dei materiali e le procedure critiche sono definite in un documento separato che accompagna i disegni. Le norme amministrative sono state riviste e i loro requisiti sono stati inglobati nel progetto.

Sono stati condotti test relativi ai materiali o alle procedure di assemblaggio. Tutti i lavori completati durante queste fasi sono stati rivisti e approvati dal cliente.

Il passaggio successivo riguarda la *produzione dei documenti*. Durante questa fase di lavoro tutti i dettagli sono rivisti e rifiniti per supportare l'acquisizione e l'assemblaggio dei materiali in cantiere. Questioni riguardanti il montaggio sono mirate, inclusi i dettagli delle finestre delle porte e delle altre unità assemblate fuori dal cantiere e le modalità di montaggio in cantiere. I giunti di espansione e altri fissaggi relativi a condizioni operative di cantiere vengono sviluppati in dettaglio. Strutture provvisorie per le demolizioni, servizi di cantiere, sono pianificate. Altri studi dettagliati sulla costruzione vengono in questa fase, incluse le perforazioni e le analisi geologiche. La pulizia del sito, il trasporto dei materiali e delle attrezzature in cantiere, i servizi temporanei di cantiere, le costruzioni temporanee comprese le predisposizione per la sicurezza devono essere pianificate.

Una riconosciuta caratteristica della progettazione di cantiere è l'esigenza di modificare il progetto in progress al progredire delle operazioni di cantiere. Sono richieste alcune iterazioni quando le attività definite genericamente richiedono di essere definite ad un livello di dettaglio superiore. Un'ulteriore

Tabella 2

Fase di progettazione:	
Applicazioni	Tipo di dati
Sistemi Cad che definiscono il layout geometrico e i materiali	Geometrici, proprietà dei materiali
Analisi del progetto in termini di :	
Sicurezza strutturale	Unità di prestazione dei materiali
Costi energetici per il riscaldamento	Unità energetiche
Vibrazioni e altre prestazioni speciali	Unità funzionali
Costi di costruzione	Soldi
Modelli di simulazione del comportamento dell'edificio	
Operazioni di sistemi meccanici	Unità energetiche, livelli di comfort, condizioni climatiche
Elevatori e sistemi di trasporto	Tempo, flusso del traffico
Simulazione dell'illuminazione	Unità di illuminotecnica
Simulazioni acustiche	Tempo di riverberazione, decibel livelli sonori
Flussi del traffico e delle persone	Densità umana, velocità
Dettagli di progettazione automatica e interattiva per	
Componenti standard (scale, tetti, prodotti particolari, funzioni spaziali particolari)	Geometria, materiali, equipaggiamenti e finiture
Condizioni e dettagli standard	
Sistemi esperti di supporto (per esempio)	
Progettazione efficiente degli aspetti energetici	Materiali e geometria
Materiali e selezioni di parti	Conoscenze di base di informazioni tecniche in varie aree
Questioni operative e manutentive	
Guida alla costruzione	
Acqua e umidità	
Valutazione di codici per l'edilizia quali:	
Fuoco, strutture, leggi sismiche, sicurezza	Geometria, materiali, conoscenza di base
Accesso per l'handicap	Energia e movimentazioni
Abitabilità, illuminazione ecc	
Sviluppo del cantiere in termini di:	
Sistemazioni esterne	Rilievi topografici
Strade, percorsi, piantumazioni, aspetti paesistici	
Sistema delle acque, drenaggi	Dati sul suolo
Simulazione del vento	Condizioni climatiche, meteorologiche ecc.
Analisi sul sito	
Perforazioni del suolo e delle rocce	Dati di localizzazione e geologici
Studi geologici	Dati sulla stabilità ecc.

aspetto riguarda la suddivisione della progettazione in domini di competenza gerarchizzati e coordinati a vari livelli in senso orizzontale e verticale, tali da determinare un contesto in cui vari flussi di informazioni si intersecano.

I processi associati con i documenti di costruzione sono simili alla documentazione prodotta durante la fase di progettazione, ma operano ad un livello di dettaglio più raffinato. Specialisti in domini differenti collaborano ad un livello di dettaglio fino a che è ottenuta una progettazione di dettaglio efficace. Il processo viene iterato su livelli di dettaglio sempre più raffinati fino a raggiungere una soluzione definitiva. Il livello di dettaglio raggiunto corrisponde ad una fase della progettazione. Negli ultimi passaggi sono prodotte una notevole mole di informazioni molto dettagliate sull'organizzazione del progetto, informazioni che si basano in parte sulle decisioni assunte precedentemente e in parte risultanti da mutamenti di strategia.

Una completa specificazione dell'edificio è impossibile dal momento che ogni prodotto ha un infinito numero di proprietà potenziali. Quelle parti del progetto che non sono specificate, ad esempio il colore di una pittura, il dettaglio di certi giunti o le terminazioni di certe condutture idrauliche sono lasciate al costruttore o al produttore della parte. La legislazione comunemente richiede che il costruttore lavori in accordo con una "prassi standard".

Ciò significa che il partner contrattuale è atteso a rispettare alcune convenzioni che sono definibili come pratica corrente per tutta una serie di aspetti che non sono specificati dal progetto.

Dal punto di vista del progettista il controllo di qualità richiede che le specifiche di progettazione siano dettagliate in modo che quegli aspetti del prodotto che non sono specificati, se saranno realizzati seguendo la prassi standard, realizzeranno le intenzioni del progettista.

Un progetto completo deve soddisfare i bisogni di differenti utenti:

- deve permettere al progettista di verificare che il prodotto futuro sarà soddisfacente per le proprie esigenze e che corrisponde alle esigenze del cliente implicite ed esplicite;
- deve permettere al cliente di essere soddisfatto;
- deve permettere al costruttore delle informazioni adeguate a fornire tutti i materiali richiesti per la costruzione.

La rappresentazione finale del progetto è correntemente regolamentata in ogni paese, i disegni hanno valore contrattuale unitamente alla documentazione che specifica la qualità dei sottoposti materiali e le specifiche delle attrezzature utilizzate. Un progetto può variare nel numero dei disegni da una dozzina per una unità residenziale a molte migliaia per una struttura complessa di servizi. Dal momento che i disegni sono utilizzati come parte di un contratto fra il cliente e il progettista e fra questi e il costruttore questi compaiono con un statuto legale nelle leggi di molti paesi. Negli US ad esempio questi documenti sono sottoposti alla regolamentazione legislativa di un piano di controllo che viene specificato in riferimento ai regolamenti di costruzione locali. I piani sono approvati o ritornano per una revisione. La

concessione edilizia segue la soddisfazione del piano di controllo. In aggiunta tutti gli importanti comportamenti attesi dal progetto sono assunti come previsti, per quanto possibile, e si dimostra che rispondono in maniera soddisfacente ad una prassi standard.

3.4. Prodromi nello scambio dati fra applicazioni

Il bisogno di trasferire dati fra applicazioni informatiche esiste sin dalla comparsa delle prime applicazioni CAD. Fra le prime iniziative Ross sviluppò il sistema SADT System Design and Analysis Technology, il primo linguaggio di modellazione che ebbe successo in molte industrie US. Circa nello stesso periodo prese piede ICES (Integrated Civil Engineering System) uno degli sforzi più cospicui per introdurre alla fine degli anni '50 sistemi di analisi ingegneristica di dati. In questa occasione inizia a delinearsi il problema dello scambio di dati e sono proposti alcuni metodi per definire delle strategie di approccio .

L'esigenza di scambiare dati è intrinsecamente legata alla natura collaborativa della progettazione. Alcuni esempi delle condizioni che portano ad avere un'esigenza di scambio di informazioni sono:

- trasformare dati fra due differenti applicazioni CAD utilizzati da progettisti che lavorano nello stesso progetto, utilizzando però sistemi differenti;
- estrarre dati da un CAD da implementare in una applicazione che permetta l'analisi strutturale, la valutazione di problemi tecnici di ventilazione o di riscaldamento, senza dover intervenire manualmente e quindi risparmiando tempo e azzerando la possibilità di errore legata alla riproduzione manuale di disegni;
- importare il risultato di un'applicazione esterna che genera elementi da inserire in un disegno CAD o in altre applicazioni di progettazione sommaria;
- importare dati da librerie di dati o di componenti costruiti che costituiscono un archivio di rappresentazioni di elementi edili: tali informazioni (ad esempio in forma di blocchi) vengono inserite nel formato CAD;
- leggere in dettaglio parti di costruzioni da un catalogo di componenti o di dettagli da inserire in un sistema CAD o per analisi specifiche;
- estrarre dati di base da disegni CAD ad esempio per produrre istruzioni di lavoro;
- derivare i computi e le quantità di materiali dai disegni di costruzione.

Alla metà degli anni settanta le aziende produttrici di CAD acquisirono direttamente dai loro clienti l'esigenza di poter importare ed esportare dati in e da un file di CAD. Le possibilità di metodi di livello base per operare tale scambio:

- a) scrivendo parti di un progetto esternamente ad un file, da tradurre in formato testuale e da convertire interpretando il formato testuale e creando l'oggetto descritto mentre il sistema è attivo;

- b) scrivendo una applicazione a se stante che legga il formato del file in cui i dati sono stati archiviati, li interpreti e li copi fra i dati di progetto, ed infine li traduca in un file di formato testuale possa essere importato.

3.4.1. *Aspetti della modellazione dell'informazione*

L'intento originale dello standard ISO 10303, STEP, fu quello di definire un livello intermedio di dominio applicativo che fosse indirizzato alle esigenze dello scambio dati in relazione al livello organizzativo della struttura ingegneristica del progetto. Indirizzandosi alla risoluzione delle questioni quali un'integrazione di medio livello, STEP ritiene di poter risolvere in progress i problemi pratici, nel corso della stabilizzazione della metodologia. Negli esempi che riguardano le manifatture i domini di medio livello riguardano, ad esempio, le fusioni, il controllo numerico o la sagomatura di fogli metallici. Applicazioni parallele nell'area della costruzione possono coinvolgere i processi associati con l'edificazione di strutture in acciaio, o in cemento armato, o in legno. Gli elementi finiti e la loro cinematica sono inclusi nelle risorse integrate associati con i componenti di manifattura. Questi corrispondono a particolari tipi di analisi o di simulazione. Tipi paralleli di applicazioni nella modellazione degli edifici possono essere l'analisi energetica, l'illuminotecnica, o la modellazione acustica. Adottando la terminologia utilizzata da molti, queste note chiamano queste applicazioni di medio livello come *aspetti* del modello.

Tre esempi spiccano nel panorama della modellazione:

- il progetto CIMsteel, parte del progetto ESPRIT programma sponsorizzato dalla CE;
- il progetto COMBINE di modellazione energetica, parte del modello JOULE, un altro progetto targato CE;
- la parte 225, Building Elements Using Explicit Shape Representation. La parte 225 è primo progetto di protocollo ad essere stato completato nell'area AEC.

3.4.2. *CIMsteel*

Il progetto CIMsteel fu uno dei maggiori progetti CE sviluppati sotto l'ombrello EUREKA (Progetto EU130). Lanciato nel 1987, l'obiettivo generale e a ampio raggio del progetto, era quello di migliorare l'efficienza e l'efficacia dell'industria europea delle costruzioni in acciaio. Il focus del CIMsteel sono le tecniche Computer Integrated Manufacturing applicate alla fabbricazione di prodotti in acciaio. Un obiettivo chiave del progetto, che interessava il 20% dei fondi totali del progetto, era la rappresentazione digitalizzata dell'informazione tecnica per le strutture in acciaio. L'obiettivo di questa attività era quello di definire uno "standard aperto" che riflettesse il mercato internazionale delle strutture di acciaio e che potesse essere utilizzato globalmente da qualsiasi sviluppatore di software o utilizzatore finale.

Il progetto Cimsteel formalmente è stato completato all'inizio del 1998; durante il suo svolgimento sono state coinvolte 70 aziende di 9 paesi europei. Il risultante standard di scambio dati conosciuti come CIS (CIMsteel Integration Standards), è già stato largamente implementato. Il risultato CIS/1 sono i risultati di una collaborazione a lungo termine che ha coinvolto ricercatori, costruttori, fabbricanti di acciaio e un gruppo di sviluppatori di applicazioni software. Sebbene si trattasse di una ricerca europea, significativi contributi sono venuti da US e Giappone. Sviluppi ulteriori della ricerca hanno base all'università di Leeds.

Le sezioni strutturali di acciaio sono state standardizzate dai produttori negli ultimi 50 anni. Il comportamento funzionale viene gestito come prodotto di fusione i cui standard sono ragionevolmente condivisi in tutti i paesi industrializzati. Così come le prestazioni dell'acciaio sono mediamente affidabili nei relativi intervalli di elasticità. Assegnati le forme standard, gli standard per le prestazioni e i tipi di uso relativamente regolari, le procedure standard devono essere definite per la progettazione delle strutture, per la progettazione dei dettagli e per l'assemblaggio.

Queste procedure hanno incentivato lo sviluppo di protocolli per lo scambio dati, che hanno suscitato l'interesse di produttori di software anche di paesi extraeuropei.

Nello sviluppo e lancio di CIS/1, CIMsteel ha assunto la decisione strategica di avere il massimo vantaggio dalle specifiche e dalla tecnologia provenienti da STEP. Questo ha causato inizialmente alcuni problemi dovuti alla scarse disponibilità di strumenti, in particolare per quelli che girano su PC, ora superati dall'incremento delle prestazioni di questi ultimi.

Correntemente il gruppo di Leeds è giunto alla versione beta del CIS/2 definita per gli sviluppatori di software.

Il progetto CIMsteel è uno dei primi progetti basati su STEP ad ottenere una significativa accettazione da parte dell'industria delle costruzioni ed è stato un lavoro pionieristico che ha permesso di risolvere molte questioni pratiche. Le caratteristiche del progetto meritano di essere prese in considerazione:

- specificazione del modello basato su di una larga collaborazione aperta agli utenti finali;
- implementazione di un modello utilizzando gli strumenti di STEP che sono utilizzabili pubblicamente;
- sono stati coinvolti gli sviluppatori di applicazioni per sviluppare le applicazioni di interfaccia;
- è stata fornita assistenza per l'addestramento all'utilizzo del prodotto finale.

3.4.3. COMBINE

È stata il progetto maggiormente finanziato dalla EU. Fa parte del programma JOULE, che è finalizzato ad un uso razionale dell'energia. COMBI-

NE si suddivide in due fasi: fase 1 dal 1990 al 1992 e fase 2 che va dal 1992 alla metà del 1995.

Combine non era finalizzato allo sviluppo di una metodologia IT innovativa, quanto piuttosto a dimostrare le potenzialità delle tecnologie esistenti. L'obiettivo era quello di combinare la modellistica dell'analisi energetica con gli strumenti utilizzati nell'impiantistica in un ambiente integrato, per dimostrare i miglioramenti di efficienza nel processo di progettazione e i miglioramenti relativi alla gestione energetica negli edifici progettati per mezzo di questo sistema.

La prima fase del progetto è stata finalizzata ad una integrazione di dati per supportare attori separati e le loro applicazioni attorno ad un database centrale di progetto. Ciò ha comportato la definizione estensiva di un modello di edificio, chiamato Integrated Data Model (IDM), una implementazione di un IDM e un insieme di strumenti ISO-STEP per supportare lo sviluppo delle interfacce per una serie di Design Tool Prototypes (DTPs).

Sei prototipi di strumenti di progettazione sono stati sviluppati e applicati a vari livelli di completezza;

DT1. Progetto della costruzione di elementi esterni all'edificio: questa applicazione riguarda lo sviluppo di un modello neutro di edificio per l'analisi energetica, dal quale una serie di analisi specifiche che vengono sviluppate successivamente.

DT2. Progettazione impiantistica: questo era un sistema di progettazione esistente che integra due applicazioni DOE-2, un modello di simulazione energetica che ha subito molti test. E MEDIA-LC, una applicazione locale utilizzata per simulare i sistemi meccanici dati i carichi simulati con DOE-2.

DT3. Dimensionamento e organizzazione delle funzioni negli spazi interni. Questa è un'applicazione grafica che permette all'utilizzatore di sviluppare una allocazione di spazi e di piante.

DT4. Simulazione termica nelle ultime fasi di progettazione: sono integrate due applicazioni tsbi3 e SUNCODE. Entrambe le applicazioni calcolano i parametri termici e di climatizzazione interni e di consumo di energia.

DT5. Analisi energetica nelle prime fasi della progettazione, basato sulla geometria dell'edificio, sul calcolo delle superfici vetrate ecc.

DT6. Questa applicazione permette delle viste 3D dei progetti di sistemi di radiatori.

L'IDM integra separatamente tutti i dati come viste separate prodotte da ogni applicazione e ne risulta un modello di edificio specificatamente sviluppato per supportare queste sei applicazioni. La descrizione dell'edificio non è parte del progetto finale e viene caricata a mano nel modello. Nella fase dimostrativa il team di lavoro è abilitato a scaricare dall'IDM i sottoinsiemi di dati di ogni applicazione. Una limitata capacità di accettare aggiornamenti da alcune applicazioni è stata parzialmente implementata.

In una seconda fase il progetto ha cercato di espandere i risultati ottenuti nella prima fase. L'obiettivo era di tipo applicativo per poter arrivare ad

applicazioni da utilizzare nella prassi corrente. Ciò avrebbe comportato l'implementazione di un CAD per aumentare l'utilizzabilità attraverso una rappresentazione migliore delle informazioni geometriche. L'implementazione del modello di informazioni fu migliorato attraverso un database object oriented invece che attraverso un formato di file come durante la prima fase. Sono state inserite inoltre delle applicazioni migliori per le interfacce delle applicazioni.

3.4.4. Elementi edilizi rappresentati attraverso forme esplicite (parte 225)

Gli aspetti principali rappresentati dalla generazione corrente di CAD riguardano la rappresentazione geometrica. Correntemente questa geometria è principalmente a due dimensioni descritta attraverso disegni. Molti esperti si attendono che il risultato di una estensione della corrente tecnologia informatica riguarda la rappresentazione tridimensionale degli edifici, per supportare la modellazione dei diversi sistemi, strutturali, energetici, acustici, così come riguarda il sostegno al planning della costruzione. Una componente fondamentale dello scambio dati è la definizione delle forme e la gestione degli elementi di cui si compone l'edificio. La parte 10303-225 specifica uno standard che permette di scambiare dati fra sistemi. La parte 225 dello standard è correntemente la sola definita e approvata nell'area dell'AEC.

3.5. La modellazione di sistemi informativi

I primi studi per sviluppare un modello integrato di modello informativo di edificio erano sviluppati su software correnti, ossia basati su concezioni di sviluppo del software antecedenti. I lavori si focalizzavano sulla produzione di nuovi concetti, che rispondessero alle esigenze più marcate e specifiche quali la modellazione geometrica, la rappresentazione di oggetti, la gestione degli attributi e la modellazione di basi di dati. Da quel contesto l'ingegneria del software per la progettazione è cresciuta notevolmente. In alcune aree di lavoro sono state adottate molte applicazioni direttamente impiegate come supporto alla produzione. In queste aree le soluzioni particolari sono state sviluppate per risolvere problemi altrettanto specifici e isolati. Il successivo obiettivo presto evidente si pone in contrasto con questa tendenza alla localizzazione delle applicazioni. I produttori di software non tardano a mostrare un interesse strategico rivolto ai processi di integrazione dei sistemi, quale risorsa e prospettiva di sviluppo del mercato del software.

Questa tendenza non ha incontrato immediatamente il sostegno esplicito da parte degli utenti finali. Non esistono infatti comunità di utenti che abbiano fatto propri sistemi di progettazione particolarmente avanzati; l'industria ha mostrato effettivamente di comprendere a fondo quanto l'innovazione data exchange debba procedere di pari passo con un pesante processo di re-ingegneria dei processi. La cultura organizzativa dell'industria edilizia non ha

finora saputo coniugare l'utilizzo dell'IT per la riorganizzazione dei processi di produzione (la semplice gestione dei layer dei disegni in situazioni manageriali complesse sono tuttora una rara eccezione). Gli ambiti di affermazione più evidente sono stati riscontrati negli studi sulla modellazione dell'informazione di progetto, indirizzati allo sviluppo di problemi di progettazione come per lo sviluppo dei dettagli esecutivi del progetto attraverso:

- lo sviluppo di nuove aree di sviluppo delle applicazioni, quali CAD/CAM o di progettazione dell'efficienza energetica del progetto, che rimanda ad una richiesta di integrazione delle informazioni molto precisa;
- la dimostrazione di quali possano essere i processi di ristrutturazione dell'industria delle costruzioni attraverso la modellazione dell'informazione di processo come di una tecnologia di servizio;
- la precisazione delle questioni tecnologiche legate alla modellazione dell'informazione che riguardano la produzione per progetti dell'industria edile.

Tali questioni richiedono che vi siano più orientamenti di ricerca finalizzati sia all'applicazione in ambito organizzativo di strumenti di IT, sia a rendere più consistenti questi strumenti.

Probabilmente lo sforzo maggiore rispetto allo sviluppo di questi sistemi di informazione è stato compiuto all'interno della Comunità Europea cercando di avvicinare gli sforzi compiuti in questa direzione in contesti nazionali. Questo impegno deriva sostanzialmente dall'integrazione delle industrie nazionali in una struttura unica che richiede l'omogeneizzazione e la razionalizzazione dei prodotti edilizi, delle norme edilizie e dei processi contrattuali e legali in mezzo a molte altre questioni. Sono in effetti i partner economici del mercato delle costruzioni a sollecitare ed a richiedere una re-ingegneria del comparto delle costruzioni. Cercando di anticipare queste esigenze la CE ha promosso una serie di progetti per dimostrare la possibilità di utilizzare questi la modellazione dei sistemi di informazione in questa direzione. Il progetto COMBINE, ad esempio, è uno di quei progetti che ha portato molte industrie ad utilizzare sistemi di gestione delle informazioni molto più avanzati di quelli utilizzati correntemente in US.

Vi sono molte questioni che legate alla lentezza dell'introduzione di sistemi innovativi di gestione delle informazioni e non ultime sono quelle di ordine tecnologico. La struttura dello standard STEP definisce una applicazione su tre livelli – un livello detto di riferimento, un livello interpretativo ed un livello di istanziazione – ed integra il protocollo con una libreria integrata di risorse, che è condivisa e riutilizzata fra modelli multipli di applicazioni.

Focalizzando l'attenzione sui dati di applicazione, STEP si indirizza alla modellazione dei componenti di sistemi complessi, nei quali la maggior parte delle componenti ha una singola funzione primaria.

La costruzione di navi per esempio viene suddivisa in servizi della nave – parte 215, formatura degli stampi della nave, parte 216, condotte per navi, parte 217, e strutture per navi, parte 218. In questo caso la metodologia

STEP interessa la scelta delle unità di medio livello del modello, che supportano un'integrazione pezzo per pezzo. L'integrazione generale è lasciata ad una fase successiva quando saranno sviluppate una serie di modelli di alto livello e saranno testati. Il modo corrente di integrazione viene ottenuto attraverso le risorse di integrazione.

In contrasto a questo approccio ciò che concerne maggiormente l'industria delle costruzioni è il coordinamento fra i sistemi, in parte perché molti dei componenti dell'edificio – pareti, tetti, pavimentazioni e finiture – sono multifunzionali. Questi componenti definiscono gli spazi ed hanno prestazioni strutturali, acustiche e termiche. Sempre alla piccola scala le funzioni sono interessate da localizzazione, dimensione dei materiali delle pareti e dei controsoffitti. Ne risulta che molte aziende hanno pensato di sviluppare modelli per sistemi individuali che devono gestire geometrie e relazioni comuni definite precedentemente con strumenti CAD appropriati. (Ad esempio l'applicazione Elpos della PERI).

Per esempio mentre i modelli CIMsteel e COMBINE vengono sviluppati indipendentemente, derivano i rispettivi carichi l'uno dall'altro. L'involucro dell'edificio specificato con COMBINE deve adattarsi nella struttura definita da CIMsteel. Finché questi due sistemi non possono interagire ognuno deve definire il contesto richiesto *ad hoc*.

Molti nell'industria delle costruzioni pensano che l'integrazione fra i domini delle applicazioni è il problema maggiore che si trova a fronteggiare l'IT. Questo nuovo livello è stato etichettato come *building core* o come *building framework model*. Si consideri l'esigenza di adattare un componente nuovo nell'architettura ISO-STEP. Il modello di sistema di informazioni viene utilizzato in settori industriali differenti da quello della cantieristica navale. Iniziative sono state prese per introdurre una concezione di sistema informativo di prodotto nel vocabolario STEP più adatto alle esigenze.

Dal 1988 il comitato AEC STEP ha intrapreso diversi studi e sperimentazioni per sviluppare un modello di informazione di prodotto, capace di strutturare le informazioni necessarie per rappresentare un edificio. Due importanti studi di riferimento furono il rapporto di James Turner sullo sviluppo di modelli di sistemi di informazione in AEC, e lo studio di Wim Ghielingh sui riferimenti generali per i modelli in AEC che porta il nome di GARM. Il lavoro di Turner incluse lo sviluppo di un modello NIAM che suddivideva l'edificio in parti funzionali.

I sottosistemi funzionali dell'edificio erano classificati come:

- attivi: illuminazione, connessione, strutturale, spaziale, trasporti, servizi meccanici ed elettrici, idraulici, relativi all'aria condizionata, alla ventilazione ed al riscaldamento;
- passivi: acustici, interni, chiusure.

I sistemi furono suddivisi nei loro componenti generali. I sistemi attivi hanno la seguente classe di componenti: risorse, percorsi, controlli, misure, archiviazioni, terminali. I sistemi passivi non hanno controlli espliciti. I

modelli di Turner mostrarono che un modello generico poteva essere definito almeno ad un alto livello di astrazione per essere utilizzato come struttura per modelli applicativi più dettagliati.

GARM di Gielingh si rivolge alla definizione di una struttura per gestire le questioni di modellazione piuttosto che proporre un modello in sé. Definisce una serie di questioni organizzative attraverso una scansione in fasi del progetto associate al lifecycle dell'edificio. Il rapporto GARM puntualizza i differenti modi di descrivere la rappresentazione dell'informazione dell'edificio. Modalità descrittive differenti consistono, ad esempio, nella distinzione fra le forme geometriche dalle funzioni che riguardano tali forme. Ogni forma e descrizione di funzione richiede la sua propria vista del modello di edificio.

Nei termini di questioni relative alla definizione di prodotti edilizi, il rapporto GARM utilizza una distinzione pratica fra le specificazioni parametriche dei vari prodotti, una classe di specifiche di un prodotto di un particolare modello e dimensione, e gli oggetti specifici di una categoria che il modello installa in diverse localizzazioni di un edificio. Sono individuati tre livelli di specificazione e bisogna gestire le relazioni fra loro. Il rapporto GARM puntualizza quanta informazione viene dissimulata nella pratica delle diverse discipline di progetto, gli attributi di interesse, le dimensioni delle prestazioni e le loro misure.

Puntualizza inoltre come il team di progetto si accosta alla progettazione dell'edificio che risulta dalla scomposizione del lavoro di progetto in parti che sono ricomposte per generare la soluzione con ogni parte che risulta sotto la responsabilità dei vari progettisti.

Uno dei concetti propri del rapporto GARM è la struttura a strati del modello. Il processo di progettazione viene inteso come un processo top-down in cui al livello superiore vengono definite delle specifiche di alto livello. Sul livello successivo le specificazioni funzionali sono risolte da una soluzione tecnica. Una soluzione tecnica è una ulteriore attività di progettazione o di acquisto che comprende sia delle forme che una o più funzioni che soddisfano le specificazioni di alto livello e che insieme definiscono un altro (più basso) livello funzionale che corrisponde alle parti richieste dalle soluzioni tecniche. Ogni sistema ha i suoi propri attributi. Questa struttura ha analogie con il modello di sistema proposto da Turner ma a differenza di questi è il solo che assegna ad ogni livello due set di valori – uno che definisce una unità funzionale e un altro che definisce una soluzione tecnica.

Per poter esprimere una valutazione entrambe i set di valori sono richiesti. L'unità funzionale ha attributi che forniscono l'obiettivo specifico a ciascun livello di astrazione, mentre la soluzione tecnica sottesa fornisce la risposta progettuale. Ad ogni livello la soluzione tecnica deve soddisfare alcune funzioni, non soddisfarne altre e ottenerne altre ancora. L'idea di far corrispondere ad ogni livello una coppia specificazione/soluzione tecnica centra una questione nodale della rappresentazione della conoscenza.

In questo campo alcune ricerche sono risultate particolarmente significati-

ve. Il progetto RATAS, finlandese, è orientato a risolvere i problemi di base del modello (core model) funzionale dell'edificio. Affine è la parte 106 detta Building Core Construction Model (BCCM) correntemente sviluppato dalla comunità di ricerca ISO-STEP. Questa parte è stata definita alla luce degli studi di Turner e Gielingh. Il lavoro della IAI parte da queste considerazioni per sviluppare IFC come kernel del modello di sistema di informazione.

3.6. Lo sviluppo della Industry Foundation Class (IFC)

L'*International alliance for interoperability* (IAI) è in ordine di tempo il più recente ed il più esteso sforzo prodotto per sviluppare un modello integrato di edificio. Alla fine del 1994 Autodesk promosse un consorzio di imprese annunciando lo sviluppo di un set di classi in C++ che potevano supportare lo sviluppo di applicazioni integrate. Dodici compagnie statunitensi confluirono nel consorzio. Inizialmente definita come Industry Alliance for Interoperability (IAI), il consorzio si aprì a tutte le parti interessate nel settembre del 1995 e cambiò il suo nome nel 1997 in International Alliance for Interoperability (IAI). La nuova associazione fu costituita come organizzazione no profit di industrie che promuovono e sostengono il progetto delle Industry Foundation Class (IFC) come un progetto AEC "neutro", rispondente al ciclo di vita dell'edificio.

Da un punto di vista procedurale l'obiettivo della IAI differisce dall'obiettivo del ISO-STEP. La IAI si è impegnata in una politica di rilascio delle nuove versioni di IFC, cercando di produrre ogni anno una nuova versione delle IFC e perseguendone il rapido incremento. Alla fine del 1995 uscì la versione 0.9 seguita dalla versione 1.0 alla fine del 1997. Nel novembre del 1997, la versione 1.5 fu pubblicata. In contrasto con ISO-STEP questo processo fu congegnato per dimostrare che vi potevano essere dei rapidi progressi sui quali l'industria poteva puntare da subito dimostrando quali fossero i benefici derivanti dall'integrazione delle informazioni ed esplicitando i piani di sviluppo successivi.

Ogni versione delle IFC fu seguita dallo sviluppo e dalla implementazione di software di varie aziende, che hanno dimostrato in progress la fattibilità degli scambi di dati mostrando l'utilità delle IFC. Per esempio nel giugno 1997 alcune compagnie parteciparono ad una versione dimostrativa della release 1.0 alla fiera dei sistemi AEC tenuti in Philadelphia nel 1997. Autodesk, Muigg (Austria), RoCAD (Svizzera) e Softistick (Germania) scambiavano tutte dati dalla versione 14 di AutoCad. Il sistema Microstation della Bentley, Allplan della Nemetschek, e Softech Spirit (tutti e tre sistemi tedeschi) scambiano informazioni fra loro e le applicazioni di AEC che hanno prodotto. Un certo numero di altre aziende che sviluppano applicazioni CAD o AEC sono membri della IAI, incluse ACADGraph, IEZ, IBM, Ketiv; Kozo Kleilau, Lawrence Berkeley Labs, MC2, Battelle Pacific Northwest Labs, Primavera, r13, Timberline e Visio.

3.6.1. *Organizzazione della IAI*

La IAI ha avuto un largo consenso nell'industria. Attualmente la IAI si compone di 9 sezioni in 18 paesi con più di 625 organizzazioni membri. Ogni sezione ha una direzione che pianifica le sue attività e le coordina con l'International Council. In US, la sezione ha due gruppi di management, uno indirizzato alle questioni gestionali e l'altro alle questioni tecniche. Tutte le organizzazioni presenti partecipano in comitati di dominio, ognuna indirizzata su una delle aree del modello di progetto. Correntemente i domini sono:

- AR – Architettura
- BS – Bulding services
- CM – Costruzione CM1 logistica e contratti e CM2 Costruzioni provvisoriale
- CS – Standard e regolamenti
- ES – Stima dei costi
- PM – Gestione del progetto
- FM – Gestione dei servizi (Facility Management)
- SI – Simulazione
- ST – Ingegneria delle strutture
- XM – Coordinamento

Il consiglio internazionale è costituito dai direttori di tutte le sezioni. Al livello più alto le attività economiche sono coordinate da una direzione economica e le attività tecniche da un direttore tecnico. Il direttore tecnico coordina lo sviluppo delle specifiche del modello di progetto, l'implementazione dei software ed i test di certificazione assieme al capogruppo della Specification Task Force (STF) e del Software Implementation Committee (SIC). Un comitato di ricerca e consulenza viene impiegato per sostenere i gruppi di lavoro. Come in STEP la maggior parte delle attività e dei servizi sono sostenuti volontariamente dai membri della IAI. Lo sviluppo dei modelli viene finanziato dai membri e mediante sponsorizzazioni.

3.6.2. *Strategia di sviluppo*

L'approccio di base della IAI riguarda lo sviluppo "veloce" di versioni dei modelli che possano essere testati ed elaborati. Le prime versioni non sono state concepite per essere revisionate dalle successive; le nuove versioni si aggiungono alle prime per permettere alle aziende di iniziare la produzione considerando anche le prime versioni dei modelli IFC come basi per i loro prodotti.

Il ciclo di sviluppo prevede la sovrapposizione degli impegni. Mentre la versione 1.5. fu rilasciata e poi testata la versione 2.0 fu specificata e rivista. Allo stesso tempo i comitati di dominio proposero le funzioni che dovevano essere inglobate nella versione 3.0. A causa della sovrapposizione della strategia di sviluppo una valutazione del lavoro della IAI richiede la selezione di uno specifico punto di vista sulla scale temporale dello sviluppo del modello.

In questo contesto viene presa in esame la versione 1.5 la più recente che possiamo documentare.

La documentazione della Industry Foundation Class per la versione 1.5 consiste di sette volumi:

- 1 Guida per l'utente finale
- 2 Guida per lo sviluppo delle specifiche
- 3 Architettura dei modelli di oggetti
- 4 Processi di AEC/FM supportati da IFC
- 5 Guida ai modelli di oggetti
- 6 Riferimenti ai modelli di oggetti
- 7 Guida alla certificazione dell'implementazione

I primi tre volumi sono generali e descrivono lo scopo, l'organizzazione e le procedure della IAI. Gli ultimi 4 volumi sono di carattere tecnico e si occupano delle versioni IFC. Questo capitolo estrae informazioni da tutti i volumi ed il particolare presenta i capitoli 3 e 5.

3.6.3. *Obiettivi della Industry Foundation Class (IFC)*

La IAI riconosce che il progetto di un edificio deve supportare le attività ed i processi condotti in tutte le differenti fasi del ciclo di vita dell'edificio. Il progetto dipende da un processo di modellazione sulla base del quale si possono individuare differenti porzioni specifiche di dominio del modello ispirandosi ai principi del TQM del progetto. Viene impiegato a questo scopo un processo suddiviso in quattro fasi:

- Fattibilità
- Progettazione
- Costruzione
- Esercizio

I modelli di processo sono stati definiti per ognuna di queste fasi enfatizzando l'identificazione delle attività che possono essere incrementate dalle applicazioni informatiche durante ogni fase. Questa modellazione del progetto fornisce i collegamenti semantici e il contesto funzionale per lo sviluppo di modelli IAI e per identificare quali aspetti della modellazione della costruzione saranno il focus delle attività.

In generale questo modello di pianificazione del progetto risulta essere molto ambizioso, apparentemente più ambizioso dei progetti che sono sviluppati da altre industrie che hanno analizzato e sostenuto l'automazione in settori limitati del processo di progettazione.

Di base la ricerca muove dalla presa d'atto che nonostante l'offerta consistente di applicazioni per la gestione e lo sviluppo del progetto, solo un numero limitato di queste trovano un riscontro effettivo in termini di utilizzo e di mercato. Da queste premesse muove l'obiettivo di definire un piano per sviluppare future applicazioni che possano trovare spazio nella progettazione e nella gestione di progetti di costruzioni. Lo sviluppo di applicazioni specifi-

che per le costruzioni ha permesso di tracciare alcune aree di Information Technology abbastanza caratterizzate. Un obiettivo condiviso sta nel promuovere l'integrazione e l'interoperabilità delle applicazioni di diverse aree che devono poter essere messe in relazione le une con le altre.

Un secondo ed ulteriore obbiettivo mira a superare l'integrazione di informazioni supportate dalle applicazioni correnti, per cercare di ottenere una struttura ampia per l'automazione della gestione delle informazioni nell'industria della costruzione.

3.6.4. Architettura dell'Industry Foundation Classes (IFC)

Si prende in esame il modello di progetto della costruzione come definita nella versione 1.5. La documentazione IFC fornisce tre differenti punti di vista della modellazione dell'informazione. Modelli di dati per definire i file o le definizioni di database della IFC sono presentate in Express e in Express-G. Le definizioni degli oggetti dei tempi di esecuzione sono rappresentati mediante il linguaggio di definizione delle interfacce Interface Definition Language (IDL). IDL è stato definito dal gruppo Object Management Group (OMG) e fornisce l'implementazione mediante Common Object Request Broker Architecture (CORBA), un linguaggio per la definizione delle interfacce della modellazione di oggetti utilizzato come uno standard dall'industria software. La definizione completa è quella testuale che copre alcune questioni non semplicemente presentate in Express.

La IFC è suddivisa in sezioni alle quali si indirizzano i differenti nuclei e domini. Tali sezioni sono strutturate su quattro livelli.

1. Il piano delle risorse posto al livello inferiore della struttura fornisce le risorse comuni utilizzate per definire le proprietà utilizzate sui livelli superiori. Include utilità, proprietà, misure e risorse di tipi di proprietà. Queste risorse forniscono le proprietà geometriche, le unità di misura, le unità di misura dei costi, le unità dei tempi e così via. Esse corrispondono essenzialmente alle risorse integrate di ISO-STEP. Sono proprietà di base che vengono isolate e non richiedono l'accesso ad altre definizioni di dati.

2. Il secondo piano è il Core Layer. Questo include l'estensione del prodotto, l'estensione del processo, l'estensione dei documenti, il sostegno all'estensione del modello e il kernel del sistema. Questi elementi forniscono concetti generici e astratti che sono utilizzati per definizioni di alto livello. Possono accedere alle risorse del livello inferiore. Gli oggetti del kernel devono essere inclusi nelle descrizioni di alto livello. L'estensione del prodotto fornisce le definizioni delle classi di cui si ha bisogno per rappresentare il processo utilizzato per progettare e costruire un edificio. L'estensione di supporto alla modellazione fornisce quegli elementi astratti utilizzati per sviluppare la progettazione di un edificio, quali griglie, moduli, linee di centratura ecc. L'estensione dei documenti fornisce i mezzi per presentare i dati del progetto in un formato particolare, utile per le differenti esigenze del ciclo

di vita degli edifici. Estensioni successive del Core layer sono previste per i controlli e le risorse.

Lo schema del kernel definisce le parti più astratte dell'architettura IFC. Definisce i costrutti generali che sono alla base dell'orientamento degli oggetti, quali le relazioni fra gli oggetti. Queste sono poi specializzate in costrutti quali prodotti e processi, che costituiscono il punto di ingresso dei livelli successivi al Core layer. Il kernel gestisce anche alcune funzionalità di base, quali quelle relative alla localizzazione dei prodotti nello spazio, alle sequenze dei processi nel tempo, o i meccanismi di utilità generale. Pone inoltre le basi per l'estensione della IFC fornendo le definizioni delle proprietà type-driven e l'estensione della definizione delle proprietà.

3. Il terzo livello è quello dell'interoperabilità. Definisce gli oggetti che sono condivisi da più di una applicazione. Questi oggetti specializzano gli oggetti del Core layer e li elaborano per essere usati dalle applicazioni. Correntemente il livello di interoperabilità sono principalmente elementi di edificio ed elementi di servizio all'edificio. Successivamente vengono inclusi gli elementi di distribuzione (tubi e condotte), gli arredi, le applicazioni elettriche ed i regolamenti edilizi.

4. Il quarto livello è un dominio specifico. Supporta le applicazioni utilizzate dagli architetti, gli ingegneri e i costruttori, per esempio.

Questa architettura dell'informazione strutturata in piani identifica le differenti risorse e i livelli di astrazione necessari per la definizione degli oggetti che rappresentano i dati in un modello di prodotto di un edificio. Viene costruita sull'esperienza di ISO-STEP, non soltanto al livello di organizzazione AEC, ma anche per trattare con la produzione di materiali e componenti che si collocano fra le risorse integrate. Rivela altresì la dimensione e la complessità della modellazione.

3.6.5. *Lo sviluppo di modelli IFC*

Il comitato tecnico della IAI ha sviluppato una serie di linee guida per lo sviluppo di modelli che rappresenta lo sforzo di indirizzare i problemi di base della modellazione verso un approccio consistente. I principi di base che possono essere considerati sono:

- la maggior parte degli oggetti negli edifici ha funzioni multiple e la funzione di un oggetto e la sua forma vanno trattate separatamente. Un elemento di una classe di oggetti può avere proprietà specializzate di prestazione sommate per un uso specifico, ma che non possono essere riconosciute come proprietà intrinseche dell'oggetto considerato;
- nella IFC le relazioni sono riconosciute come oggetti di prima classe. Ciò significa che una relazione ha un oggetto che la rappresenta. Questo fatto supporta complesse relazioni plurime bidirezionali. Permette inoltre alle relazioni di avere un comportamento o dei requisiti di prestazione;
- l'aggregazione gerarchica è stata definita con cura. Un elemento primario

di un modello IFC è stato definito utilizzando “ha” come un attributo di relazione. Altre relazioni sono considerate come gruppi o sistemi e queste sono definite come attributi “Parte-di”.

La gerarchia primaria di elementi IFC si basa sulla seguente struttura:

Progetto > Sito > Edificio > Livello > Spazio > Elemento

Ciò significa che un progetto è il contenitore di alto livello e che si compone di uno o più siti. Un sito è un contenitore di uno o più edifici (o di tutte le loro parti). Un edificio contiene uno o più livelli (e le loro parti), un piano è composto da uno o più spazi (e dalle sue parti) e gli spazi sono definiti da uno o più elementi.

La IFC comprende il programma del progetto dell'edificio come una parte della rappresentazione del modello, permettendo alle applicazioni di lavorare con queste informazioni mentre generano le piante o altri layout di dati. Gli strumenti di modellazione supportano altresì le griglie di riferimento o le linee guida ecc. come strumenti di supporto per la progettazione. Questo elemento è specifico dell'industria delle costruzioni. Tutte le entità di EXPRESS sono considerati come oggetti nella IFC.

La IFC è il modello di costruzione più esteso attualmente realizzato. Una riflessione accurata è stata condotta per definire la struttura che permette di definire facilmente oggetti di alto livello. Allo stesso tempo incorpora estesi set di proprietà flessibili (Psets) che possono contenere gli attributi necessari per specificare o selezionare certi tipi di oggetti. La IFC risponde a molte delle questioni poste originariamente nei primi passi della ricerca su questi temi; si rendono oggettive le relazioni, si forniscono degli schemi ben definiti di accesso e si permette l'estensione delle proprietà al livelli del singolo elemento in risposta a funzioni particolari.

3.6.6. Sintesi degli elementi chiave dell'IFC.

Tecnicamente la IFC non si prefigge lo sviluppo di un standard, quanto di consentire all'industria di trainare lo sviluppo delle capacità di scambio dati e sui risultati ottenuti in progress registrare un standard *de facto* che non sia incompatibile con l'ISO-STEP e che lo possa semmai sostenere.

Nella versione 1.5 la IFC è un modello di più di 280 oggetti e tipi. Di questi appena la metà sono stati adottati nelle risorse integrate ISO-STEP.

La IFC ha adottato molti schemi della prassi evoluta che è stata analizzata nei primi lavori sull'argomento. La definizione degli oggetti è estensibile. Le descrizioni multiple possono essere assegnate agli oggetti. Le relazioni sono oggettivate e possono essere abbastanza complesse; possono per esempio essere utilizzate per qualificare le proprietà. Le proprietà possono essere aggiunte dinamicamente agli elementi di una classe di oggetti, per poter analizzare l'analisi di particolari funzioni.

La capacità semantica di IFC è più ricca di quella espressa nei modelli correnti di STEP. Mentre uno o più Psets possono essere definiti inizialmente come componenti di un oggetto EXPRESS, non esiste modo per definire condizioni per aggiungere un Pset ad una classe di oggetti. Mentre le persone possono comprendere questi concetti e produrre manualmente le estensioni non c'è nessuna via diretta per arricchire un modello EXPRESS.

Anche alcune delle assunzioni di implementazione secondo IFC sono differenti da quelle di STEP. In STEP tutti gli attributi possono essere definiti semplicemente osservando le descrizioni degli oggetti. Caricando le proprietà in IFC sono richieste differenti tipi di osservazioni; i tipi enumerati che identificano i Pset devono prima essere identificati, così i Pset vengono assegnati. Così gli strumenti di tipo SADI richiedono che alcune estensioni siano completamente utilizzabili nella IFC.

La IFC ha fatto alcune assunzioni molto strette circa il tipo di geometria richiesta per modellare un edificio che sono differenti dalle assunzioni fatte in STEP. Si basa pesantemente su un nuovo set di tipi guidati dagli attributi, ma omette molti tipi più generali incorporati nella corrente generazione di sistemi CAD. Sarà interessante vedere come le assunzioni della IAI circa la geometria saranno risolte.

Nella versione 1.5 il modello manca di molte funzionalità richieste dagli edifici. Manca di scale di molti tipi di costruzioni e di supporti per il dettaglio di speciali tipi di spazi come laboratori, auditori, ristoranti e così via. Le versioni 2.0 e successive coprono parzialmente questa lacuna. La IFC ha risposto alle maggiori delle questioni che erano state sollevate rispetto alla attenta definizione della semantica di un modello di prodotto di edificio. Mediante lo sviluppo attento delle estensioni la IFC suggerisce che è possibile un adattamento a qualsiasi set di applicazioni relative alle costruzioni. Una questione irrisolta è la relazione con altri modelli paralleli sviluppati all'interno dell'organizzazione STEP.

Con la IFC della IAI si compie parzialmente lo sforzo, durato 25 anni, per la definizione di un approccio alla modellazione di dati di edifici. La traiettoria dello sviluppo dei modelli di edifici parte dal tentativo di definire un set di applicazioni attorno ad una comune struttura di dati di un edificio; successivamente l'elaborazione di questa struttura, sempre più sofisticata rispetto alla necessità di separare il modello di dati dalla sua implementazione, cerca di rispondere a varie questioni che vengono sollevate dagli oggetti multi funzione e dalle geometrie complesse. IFC ambisce ad essere una solida risposta all'esigenza di supportare lo scambio di dati fra applicazioni dedicate alle costruzioni. Il problema che si pone è: IFC risolve il problema dello scambio di dati nell'industria delle costruzioni?

3.6.7. Capacità attuale dello scambio di dati.

Occorre pervenire ad una sintesi alla luce delle osservazioni prodotte su cosa si sia in grado di fare o meno nel campo del data exchange. In questo

senso possiamo fare riferimento alla IFC come il più avanzato esempio per un modello di edificio general purpose.

La IFC e altri modelli possono essere utilizzati per molte forme di scambio dati. È un modello sufficientemente ricco che gestisce le esigenze di numerose applicazioni e fornisce una varietà di modi per definire la stessa parte di un edificio.

Sembrerebbe che vi siano almeno due modi differenti per applicare un modello IFC.

Un modo è quello utilizzato correntemente. L'implementatore revisiona il modello e concorda circa i sottoinsiemi di oggetti, attributi e relazioni che la risorsa e il target vuole utilizzare per lo scambio dati. Ciò risulta intersecando le informazioni utilizzate da entrambe le applicazioni. Questo accordo è stato necessario affinché le informazioni generate da una applicazione possano essere descritte nelle entità che saranno lette dalla seconda applicazione e gli attributi possano essere utilizzati nelle unità richieste dalla seconda applicazione. Se l'informazione non è direttamente utilizzabile la prima applicazione deve individuare l'applicazione di interfaccia che fornisca i dati nella forma concordata. In aggiunta la sequenza per aggiungere le informazioni è stata determinata in modo che l'applicazione che produce ad esempio le proprietà dei materiali sia utilizzata prima dell'applicazione sulla stima dei costi. Questa assunzione circa l'ordine di utilizzo delle applicazioni non è stato codificato. Solo il progetto COMBINE sviluppa esplicitamente il flusso di lavoro che definisce l'ordine di esecuzione delle applicazioni.

Il secondo modo soddisfa la condizione relativa alla condivisione di dati in un modello. Dato un subset del modello IFC, ogni implementatore di un'applicazione di interfaccia sviluppa una o più interfacce a partire dal modello verso l'applicazione o viceversa. In questo caso la IFC viene utilizzata per definire un sottoinsieme rilevante per un modello di edificio, utile per un set di applicazioni di interesse. Il modello di edificio viene definito dal cliente come interfaccia per la sua applicazione particolare. Ogni interfaccia richiede usualmente alcune settimane per essere implementata da un programmatore esperto. Se un'altra applicazione deve essere aggiunta o sostituita, allora si richiede una revisione delle interfacce e del modello.

Quindi tutte gli scambi fatti correntemente fra le applicazioni devono coinvolgere l'intero progetto. Una applicazione può scrivere i dati del progetto e un'altra leggerli, con un paio di scambi. Quando viene fatto il secondo scambio si può passare l'accesso ad un'altra applicazione. Il modello IFC corrente supporta l'uso iterativo dei dati del modello e può cambiare gli aggiornamenti in successione. Tutti gli scambi devono essere fatti fra le coppie di applicazioni definite in origine nello scenario del processo. Se le applicazioni tentano di svolgere una sequenza di scambio differente il sottoinsieme del modello elaborato (letto e scritto) non viene utilizzato. Le applicazioni possono però i dati a differenti livelli di aggregazione senza che vi possa essere però una conversione fra i livelli. Ciò accade perché un cambiamento ad un

livello di aggregazione non può essere automaticamente propagato nel modello ad un altro livello di aggregazione. Queste limitazioni esistono nei modelli STEP e nel modello corrente CIMsteel. Sia CIMsteel che IFC considerano l'esigenza di supportare nelle prossime versioni l'aggiornamento incrementale dei dati.

La propagazione e l'annotazione dei cambiamenti che pesa sugli obiettivi aggregati o disaggregati, è solo un esempio della questione generale della consistenza della gestione della progettazione. Più generalmente dopo che un modello viene aggiornato i cambiamenti fatti invalideranno altre parti del progetto perché tali dati risultano essere derivati dai dati cambiati. Un certo numero di aggiornamenti successivi può essere richiesto per esempio coinvolgendo le proprietà funzionali e le forme relative. Senza una gestione attenta i cambiamenti che tradizionalmente vengono identificati e monitorati mediante l'evidenziazione e la marcatura dei disegni diventano difficili da essere seguiti quando esistono viste multiple in una comunicazione elettronica.

Basandosi sulla corrente capacità della modellazione di prodotto, se una organizzazione o un set di organizzazioni decide di integrare un set di applicazioni che vengono utilizzate ripetitivamente in un lasso di tempo nello scambio di dati (tale da permettere di ammortizzare i costi di sviluppo delle interfacce), si può sviluppare una interfaccia di lavoro. Questo uso di un modello di costruzione supporta lo scambio a coppie di un notevole set di applicazioni, si basa su:

1. un accordo a priori sul sottoinsieme di entità da utilizzare, gli attributi associati e le relazioni fra le entità.
2. un accordo a priori sulle sequenze secondo le quali le sequenze possono essere chiamate, definendo quali applicazioni producono i dati per uno scambio e quali applicazioni leggono i dati
3. delimitazione degli scambi all'intero scambio di documenti, senza aggiornamenti incrementali.

La seconda direzione potenziale per utilizzare la modellazione dell'informazione sugli edifici è probabilmente la strada che le persone assumano il fatto che tale tecnologia possa funzionare. L'intero modello verrebbe implementato, come sembra intendano farlo funzionare gli sviluppatori di sistemi. In questo secondo caso ogni sviluppatore di interfaccia di applicazione implementa una interfaccia generale al modello, non sapendo con quali altre applicazioni andrà a lavorare. L'implementatore dell'applicazione di interfaccia dovrebbe quindi identificare un subset di oggetti, attributi e relazioni che meglio rappresentino i dati utilizzati nell'applicazione e scrivere le interfacce fra questi, da e per il modello.

In uso non esistono protocolli predefiniti di scambio dati di questo tipo. Poiché non si stabilisce alcuna convenzione ogni applicazione di interfaccia leggendo dati dal modello dovrebbe produrre una scansione multipla di tutte le entità presenti nel modello per essere in grado di saper estrarre la configurazione di dati migliore per l'uso che se ne vuol fare.

Più complessa è la relazione inversa. Una applicazione di interfaccia dovrebbe aggiornare i dati di tutte le entità presenti nel modello in relazione alle informazioni prodotte. Ad esempio l'interfaccia può avere a che fare con descrizioni geometriche differenti dello stesso oggetto e l'esigenza di dover selezionare la più appropriata all'uso dell'informazione che deve manipolare.

Dopo aver svolto una ricerca fra le entità della base di dati l'applicazione di interfaccia deve essere in grado di stabilire quali e quanti dati non è riuscita a raccogliere e determinare se lo scambio di dati è consistente al fine dell'uso che se ne intende fare.

In alternativa l'utilizzatore è chiamato ad attivare tanti scambi di informazioni fino a che non è in grado di generare dati sufficienti per poter eseguire la propria applicazione. Al momento non esiste nessuna applicazione di interfaccia che sia capace di generare tali relazioni complesse e non è chiaro come questa possa lavorare. Questo uso dell'informazione di modellazione di un edificio incontra le stesse tre questioni di base poste nelle prime esperienze sullo scambio automatico di dati:

1. manca un modo per coordinare in maniera appropriata o per collegare i dati di output di una applicazione con gli input di una applicazione specifica. Questa questione viene identificata come *data subset problem*.
2. Manca un modo per tracciare o coordinare il processo (le applicazioni) che sono state applicate al modello di edificio. Questa questione viene identificata come *process and data dependency problem*.
3. Manca un modo per gestire l'aggiornamento progressivo dei dati o per supportare l'utilizzo del modello nel tempo. Questa questione è vista come *incremental update problem*.

Queste tre questioni puntano ad integrare un set di applicazioni esistenti o un nuovo set di applicazioni formulate attorno al modello di edificio. Al momento non è stato ancora realizzato un modello di dati che non abbia chiuso il set di applicazioni, le abbia coordinate e messe a punto nelle interfacce in modo da farle operare fra loro in maniera compatibile.

Queste limitazioni poste dai tre problemi circa l'integrazione delle informazioni contenute nel modello, suggerisce che fra le due prospettive di impiego del modello di informazioni, solo la prima sia correntemente perseguibile. Lo sviluppo di un modello di informazione dell'edificio utilizzando un subset di un modello completo e fissando il flusso di informazioni fra le applicazioni è accettabile per alcuni contesti di scambio dati.

Questo tipo di scambio dati può funzionare efficacemente ad esempio trasformando un modello di riferimento, e centrale per una fase del progetto, in un modello di riferimento centrale per una fase successiva, come nel caso di una fase di progettazione verso una fase di costruzione. Può anche supportare adeguatamente il lavoro di un'azienda che utilizzi un set predeterminato di applicazioni – come nel caso del trasferimento di informazioni dalle operazioni di contrattazione di una commessa alla pianificazione delle operazioni di costruzione. Così facendo si definisce una interfaccia esterna aziendale che

è oggetto di integrazione specifica da progetto a progetto.

Il problema del subset di dati, laddove le applicazioni sorgenti e obiettivo devono concordare un subset di entità utilizzato nello scambio di dati risulta peggiore se il modello viene definito per supportare il flusso di dati attraverso tutte le fasi del ciclo di vita. Il problema del modello di subset è enormemente ridotto se il modello viene controllato per un ridotto numero di scambi.

La tecnologia corrente dello scambio di dati non supporta con facilità l'esigenza di coordinare il lavoro di più partner all'interno di una singola fase, come nel caso di progettisti che collaborano nella progettazione o come costruttori, spesso legati da attività a distanza che devono collaborare alla pianificazione della costruzione. In queste aree è richiesto un flusso di informazioni molto coordinato tale da permettere alle diverse applicazioni informatiche di utilizzare differenti modelli per scambiarsi reciprocamente le modificazioni che intervengono nella progettazione. Da notare ad esempio che se un oggetto IFC, per esempio una parete, ha modelli geometrici multipli, non esistono strumenti IFC per riferire i modelli allo stesso oggetto. Uno sarà riferito ad una descrizione della parete ad un alto livello di dettaglio e l'altro riguarderà la descrizione di tutti gli strati che compongono la parete. Questi due modelli rimarranno separati fisicamente e la loro integrazione richiede una applicazione specifica.

Bibliografia

T. Froese, *Interwoven Threads: Trends in the Use of Information Technologies for the Construction Industry*, A White Paper prepared for the Berkeley-Stanford CE&M Workshop, August 1999.

<http://www.civil.ubc.ca/~tfroese/>

K.E.E. Kähkönen, *Interactive Decision Support System for Building Construction Scheduling*, in "Journal of Computing in Civil Engineering", Vol. 8, N. 4, Oct., ASCE, 1994.

A. Jägbeck, *MDA Planner: Interactive Planning Tool Using Product Models and Construction Methods*, in "Journal of Computing in Civil Engineering", Vol. 8, N. 4, Oct., ASCE, 1994.

A. Jägbeck, *IT support for construction planning*, Royal Institute of Technology, Construction management and economics, Stockholm.

http://www.recm.kth.se/bit/doc_thesis/

B.K. Low, B. Sloan, *Current Developments in Internet-based Electronic Data Interchange (EDI) and the Implications for the Construction Industry*, School of the Built Environment, Napier University, 1999.

<http://www.sbe.napier.ac.uk/ProConIT/procecom.htm>

S. Mohamed, S.N. Tucker, *Construction project engineering: potential for time and cost savings*, in "International Journal of Project Management" (Special Issue on Business Process Re-engineering), 1996.

J. Monceyron, P. Poyet, *Méthodes et outils d'intégration des données techni-*

ques: exemples d'applications au controle du règlement de construction, Cahiers du CSTB, Livraison 379, Mai 1997, Cahier 2951.

A.L. Stumpf, R. Ganeshan, S. Chin, L.Y. Liu, *Object-Oriented Model for Integrating Construction Product and Process Information*, in "Journal of Computing in Civil Engineering", Vol. 10, N. 3, July, ASCE, 1996.

4. **Sistemi informativi multimediali per il patrimonio architettonico: i progetti BAA, SIRCoP e MIMS**

Alfredo Ronchi

4.1. Introduzione

In accordo con quanto avviene in altri comparti tecnologici anche nel campo dell'architettura le applicazioni dell'*Information Technology* hanno esteso il loro dominio applicativo dalla fase di progettazione, alla pianificazione del processo produttivo per giungere alla gestione a lungo termine del bene prodotto. Il crescente interesse per il *Facility Management* unitamente a soluzioni per la gestione del patrimonio immobiliare hanno contribuito all'individuazione di alcune problematiche ed alla definizione delle linee guida nell'esplorazione delle potenzialità offerte dalla gestione a lungo termine del patrimonio edilizio.

Le problematiche affrontate sono in parte comuni alle applicazioni dedicate alla gestione del patrimonio immobiliare in parte al *facility management*. Non si trascurano, anche se forse meno evidenti, le problematiche proprie del *workflow*, nonché il corretto utilizzo delle informazioni esistenti.

4.2. Il progetto BAA

Il progetto dell'archivio informatizzato per i Beni Architettonici ed Ambientali (BAA) è nato nella prima metà degli anni '90 al fine di trasferire in formato digitale il preesistente archivio cartaceo denominato "Rilevazione dei beni architettonici ed ambientali della Provincia di Milano". Tale archivio trae origine da una campagna di rilevamento sul territorio effettuata negli anni tra il 1986 e il 1996 da oltre 40 diversi rilevatori. Tra i requisiti base del progetto figuravano: l'uso non mediato di tutte le informazioni in formato cartaceo (rimandando ad un'eventuale seconda fase la ridefinizione od estensione della struttura dati stessa), la scalabilità e la portabilità della soluzione da implementare (fig. 25).

Definendo l'architettura generale del sistema, si è optato per una soluzione potenzialmente distribuita basata su tecnologia internet con elevato grado di scalabilità, sia sul fronte delle funzioni di *data repository*, sia sul fronte dell'interazione con l'utente sia esso dedicato all'immissione dati quanto alla consultazione.

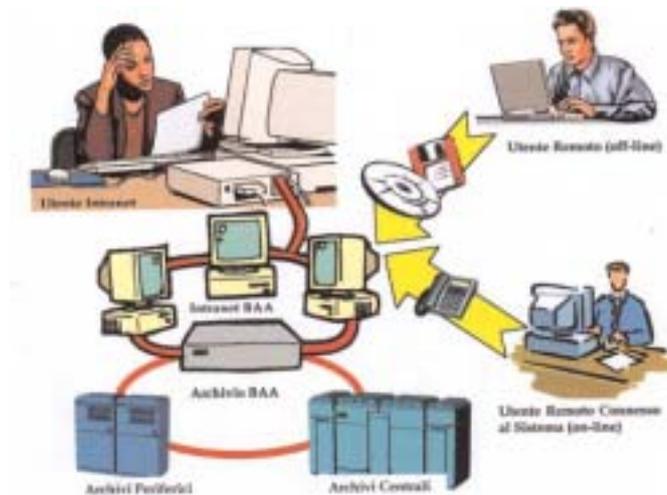


Fig. 25 - L'archivio informatizzato per i Beni Architettonici ed Ambientali.

Le esigenze espresse dall'Amministrazione Provinciale comprendevano la realizzazione di una struttura dati e di un'interfaccia d'inserimento e gestione dati con le seguenti caratteristiche:

- semplicità d'uso da parte di un utente inesperto
- funzionamento in ambiente MS Windows
- semplicità di installazione e uso per l'inserimento dei dati su diversi PC
- capacità di aggregare e disaggregare porzioni di schede da diversi database
- scalabilità
- ridotti costi d'implementazione (es. riduzione/assenza licenze d'uso software)

Questi motivi hanno fatto scegliere una struttura basata su due componenti:

- un'applicazione DBMS sia come motore di gestione dei dati, che come gestore delle maschere di inserimento in locale, in aggiunta alle possibilità di immissione e consultazione in rete garantite dall'architettura client / server Internet;
- un applicativo per la gestione del trasferimento, anche parziale, dei dati inseriti tra differenti archivi.

L'architettura si basa su uno o più server dati collegati attraverso la rete, una gestione semplificata di profili d'utenza consente diversi livelli d'operatività: dal semplice "lettore", all'addetto immissione dati a diversi livelli di supervisione. In aggiunta alla possibilità di immettere dati da remoto attraverso la rete, sono stati sviluppati moduli applicativi in grado di consentire l'immissione dati asincrona off-line in vista di una successiva "fusione" con il sistema informativo distribuito. In tal modo è stato possibile, ad esempio, far immettere dati da un numero variabile di operatori, anche eventualmente non in grado di accedere alla rete.

4.2.1. La base dati dell'Archivio BAA

Tra le principali istanze prese in considerazione per la realizzazione della struttura dati possiamo ricordare:

- preservare ogni possibile ricchezza informativa derivante dal catalogo cartaceo. Ogni rilevatore, infatti, non sussistendo particolari vincoli relativi al formato od al contenuto, aveva potuto compilare i diversi campi del questionario secondo una personale interpretazione, ricorrendo diffusamente ad annotazioni a margine o scelte personalizzate;
- strutturare le informazioni secondo vincoli sufficientemente rigidi da consentirne l'interrogazione in formato digitale in maniera quanto più agevole possibile. Quanto più i diversi record contengono informazioni omogenee tra loro tanto più sarà possibile effettuare delle ricerche efficaci e delle comparazioni significative;
- conformarsi alle disposizioni (in divenire) delle diverse autorità al di sopra della Provincia a partire dalla "Scheda A" dell'Istituto Centrale del Catalogo e della Documentazione (ICCD).

In pratica, il processo in base al quale è stata definita ed affinata la struttura dati può essere sinteticamente descritto come segue:

- analisi del modulo cartaceo. Si è studiato il modulo non compilato sul quale sono stati rilevati gli immobili ed è stata formata una struttura dati capace di contenere un modulo compilato senza alterazioni; tale analisi ha portato alla definizione dei record, mentre la collocazione in differenti tabelle è stata effettuata sulla base della possibile ripetitività dei campi compatibilmente con le specifiche ICCD scheda A oppure sulla base di una loro possibile aggregazione logica;
- analisi delle eccezioni comuni. Si sono cercate le eccezioni presenti in un campione di schede compilate da diversi rilevatori, si è quindi provveduto a modificare le tabelle aggiungendo campi che potessero contenere eccezioni frequenti o di particolare interesse per il bene. Sono state inoltre definite alcune "norme di compilazione" per la conversione delle eccezioni nei campi del database; in questa fase sono anche stati definiti i diversi vocabolari semi aperti da cui attingere i valori per la compilazione (validazione dati);
- inserimento dei dati. Altre eccezioni e variazioni ai vocabolari sono state incluse durante la fase di inserimento sistematico dei comuni pilota (Abbiategrosso, Besate, Morimondo, Rosate, ecc).

Tornando a considerare la struttura dati - nonostante l'ipotesi di lavoro di riutilizzare la struttura dati esistente in formato cartaceo - sono state elaborate diverse ipotesi d'aggiornamento ed integrazione.

Le principali aggregazioni logiche dei dati riscontrabili nell'archivio sono:

- Scheda anagrafica
- Dati Monumento
- Geo-referenziazione
- Dati Catasto

- Cronologia
- Indicazioni per riuso
- Interventi Conservazione
- Localizzazione
- Dati localizzazione
- Condizioni fisiche e giuridiche

4.2.2. L'accesso ai dati

L'accesso alle funzioni di ricerca è subordinato alla conoscenza di un nome utente ed una password per proteggere eventuali dati sensibili presenti nella base dati. A titolo d'esempio selezionando quali campi di ricerca: comune, nome del bene e tipologia possiamo interrogare la base dati ottenendo quanto illustrato nel seguito (fig. 26).

Inviando i criteri di ricerca, si riceve una pagina contenente l'elenco dei beni che soddisfano le condizioni impostate che riporta il numero di beni che soddisfano le condizioni e per ciascuno il nome dell'opera, il comune e la tipologia divisi in pagine da 10 ricorrenze ordinate per nome dell'opera

Selezionando il nome di un'opera viene visualizzata la scheda introduttiva dell'opera sulla quale sono riportati i dati relativi alla localizzazione, classificazione e presenza nel catasto storico. Se disponibili vengono anche mostrate delle anteprime degli eventuali inserti multimediali presenti sui server. Attualmente sono presenti oltre 1600 inserti multimediali per 38 comuni (fig. 27).

Si tratta per la maggior parte dei casi di immagini in formato jpeg in bianco e nero, ma sono stati inseriti anche oggetti differenti come animazioni in formato avi, foto panoramiche in Quicktime VR (mov) ed un modello VRML (wml) di un vaso relativo ad uno dei beni recensiti.



Figg. 26, 27 - Interrogazione della base di dati.

4.3. Evoluzione dell'Archivio BAA: un sistema informativo "integrato"

Attualmente la catalogazione dei beni culturali di pertinenza della Amministrazione provinciale avviene attraverso i seguenti strumenti:

- Archivio BAA – Beni architettonici e Ambientali: l'archivio comprende circa 8000 schede di beni architettonici, ambientali e centri storici, parte dei quali georeferenziati con poligoni.
- Archivio dello spazio: contiene circa 8000 immagini fotografiche realizzate da vari professionisti
- Schede OA: sono schedate circa 3000 opere d'arte
- Archivio Carta del Rischio
- Bibliografia

Obiettivo dell'evoluzione dell'archivio dei Beni Architettonici ed Ambientali verso un archivio integrato è fondere e rendere interoperabili gli archivi a disposizione (BAA, AS, OA, Bibliografia) ottenendo sinergia tra i diversi archivi, visualizzazione complessiva e particolare dei dati, disponibilità dei dati con tecnologia di rete, realizzazione di pagine web e applicazioni di computer grafica (VRML, animazioni...), realizzazione di prodotti finalizzati alla divulgazione nell'ambito di manifestazioni di vario genere.

In aggiunta si prevede l'output dei dati in formati standard ministeriali da BAA a Scheda A, da Archivio dello Spazio a Scheda F. Saranno inoltre valutate le schede OA e RA.

Specifiche tecniche:

- metadata per le tecnologie di ricerca
- differenti profili di utenza/zoom sul dato
- datazione e rilevanza delle diverse particelle dell'informazione
- ownership dei dati
- gestione degli utenti autorizzati alla consultazione ed alla modifica online
- problematica dell'aggiornamento
- formati standard
- validazione dei formati secondo le specifiche (precatalogo ecc.)
- valutare la possibilità di prevedere l'input anche solo di porzioni di schede ministeriali
- struttura dati
- ristrutturazione dei dati in particelle (semi CIDOC)
- eliminazione degli errori tipo tabelle vuote o inutili.

Le sperimentazioni sulla visibilità degli archivi informatici e le loro integrazioni con mostre ed eventi finanziati dalla Provincia potranno essere rese pubbliche attraverso la rete. I dati potrebbero risiedere sui server del Politecnico di Milano – HMG, e contemporaneamente essere accessibili tramite collegamento ipertestuale dai siti della Provincia, in particolare www.provincia.milano.it/cultura e www.provincia.milano.it/oberdan.

4.4. Il Progetto SIRCoP

Nel corso del progetto BAA è apparso evidente che, una volta realizzato un archivio informatizzato destinato a censire il patrimonio architettonico, sarebbe stata una logica conseguenza cercare di estendere la base dati in modo tale da fornire un utile strumento di supporto e previsione per la conservazione del bene stesso indipendentemente dalla maggiore o minore importanza storico/artistica dello stesso. A tal fine è bene ricordare quanto riportato nei documenti di riferimento a questo proposito.

Tutte le linee guida internazionali sottolineano l'importanza di un processo di manutenzione regolare basato sul principio del minimo intervento. La *Carta di Venezia* recita: "è essenziale per la conservazione di un monumento che questo sia soggetto ad un regolare piano di manutenzione". La *Carta di Burra* definisce conservazione come il complesso dei processi di cura di un sito in modo tale da conservarne il valore culturale. Il medesimo documento prosegue sottolineando che il significato culturale di un sito è insito nella sua stessa modalità di realizzazione, la sua struttura e contenuto. La Carta sviluppa questo concetto sottolineando che la conservazione del significato culturale deve necessariamente essere correlata ad una politica di minimo intervento sul bene e prosegue sostenendo che la manutenzione è un intervento che per sua stessa natura ha il potere di arrecare il minimo danno al valore culturale di un manufatto.

Tutte le Carte internazionali concordano nell'asserire che la manutenzione regolare, pianificata sistematicamente, è la strategia vincente per la conservazione del bene.

In ogni caso nessuno di questi documenti spiega dettagliatamente come tale manutenzione debba essere organizzata.

A differenza dell'Italia, la maggior parte dei riferimenti legislativi Europei nel settore del patrimonio monumentale data a partire dalla fine della seconda guerra mondiale. Uno dei principali motivi che hanno portato nell'immediato dopo guerra alla tutela del patrimonio architettonico è stata la necessità di assicurare che ai danni materiali prodotti dalla guerra non seguissero altri "danni" prodotti da una ricostruzione affrettata e non razionale. Le politiche e le pratiche di conservazione cambiarono in risposta ad una varietà di nuove necessità associate al patrimonio monumentale europeo.

Il 1975, Anno Europeo del Patrimonio Architettonico, ha rappresentato un cambiamento di scuola di pensiero: la ricostruzione (postbellica) era stata per la maggior parte completata, spostando il centro della discussione e dell'attività su singoli immobili di minor prestigio e pregio artistico ed intere porzioni di territorio da tutelare. Si passò quindi dalla tutela del singolo edificio storico ad una visione complessiva del problema considerando come oggetto da tutelare anche il "contesto" sia esso naturale quanto urbanizzato. Tale considerazione pare di particolare importanza soprattutto in Italia ove buona parte del patrimonio culturale è fortemente dipendente o completamente costituita dal "contesto". Al tempo stesso le problematiche relative alla con-

servazione dell'ambiente assunsero particolare importanza. Più recentemente i responsabili per la conservazione e la gestione del patrimonio storico architettonico Europeo hanno riscontrato un chiaro parallelismo tra la filosofia e la pratica nel campo della conservazione e le linee guida per uno sviluppo sostenibile, come, ad esempio, il principio della trasmissione alle generazioni future di beni insostituibili, l'attenta *amministrazione di capitale non rinnovabile, i beni culturali come patrimonio dell'umanità*, nonché la necessità di valutare in anticipo l'effetto a lungo termine delle strategie attinenti i beni culturali.

4.4.1. Contesto filosofico

Uno dei principi fondamentali della filosofia di conservazione è l'idea di "conservare al meglio" il bene. Grazie a tale idea, il significato culturale del bene viene tramandato pressoché intatto nel tempo. La conservazione è fondamentale per proteggere il significato culturale perché, se propriamente attuata anche grazie a piani e procedure appositamente messi a punto, sarà meno dannosa, in termini di perdita del significato culturale, di tutti gli altri "interventi" che inevitabilmente accadono durante il processo di mantenimento del bene storico.

Attuare la conservazione programmata come strategia per la gestione del patrimonio storico architettonico comporta problematiche pratiche, imprenditoriali e politiche. E' opinione comune che per conservare il significato culturale di un bene sia opportuno far seguire alle più rilevanti opere di restauro un piano di conservazione sistematica. Ancor più rilevante il fatto che seguendo tale strategia un eventuale danno, il crollo, nonché la spesa per sostenere una campagna di restauro radicale possono essere ritardati o evitati. Chiaramente derivata da tale approccio filosofico unitamente ad una attenta analisi di esperienze europee assimilabili, emerge l'esperienza olandese.

4.4.2. Strategie innovative

Negli anni settanta sorge in Olanda un'organizzazione che ha lo scopo di rendere operativa la semplice ma efficace idea di un'ispezione sistematica e regolare per la manutenzione. *Monumentenwacht Nederland* offriva, in origine solo limitatamente ad un gruppo di chiese, un servizio di ispezioni annuali e riparazioni di pronto intervento contro il pagamento di un abbonamento.

Attualmente l'organizzazione ispeziona il 25% dei 60.000 beni immobili olandesi classificati. Grazie ad una collaborazione con il governo la medesima linea di condotta viene applicata per l'impiego dei sussidi governativi destinati alla manutenzione dei cespiti storici. Si evitano così pesanti e costose campagne di riparazione e restauro, incoraggiando e sostenendo la regolare sistematica manutenzione. Vediamo più dettagliatamente i principi ispiratori e l'opera svolta da *Monumentenwacht* nell'ultimo ventennio.

Il “Monumentenwacht Nederland” (i “cani da guardia” del patrimonio storico immobiliare olandese) è stato fondato nel 1973. Questa organizzazione è nata per costituire un nucleo di operatori qualificati in grado di intervenire tempestivamente sul patrimonio immobiliare ecclesiastico di alcune province olandesi, e il suo scopo è prevenire il deterioramento del patrimonio storico immobiliare grazie ad un servizio capillare di supporto ed informazione indirizzato ai proprietari (o gestori) degli immobili al fine di consentirne una miglior conservazione (figg. 28, 29).

Lo scopo di “Monumentenwacht”, organizzazione indipendente e non-governativa, è stato ed è la prevenzione del deterioramento degli edifici che costituiscono il patrimonio architettonico Olandese, effettuando come minimo un’ispezione annuale, redigendo un resoconto e fornendo consulenza per un’appropriata manutenzione (fig. 30).

La sua azione ha contribuito in modo determinante a generare consapevolezza ed interesse da parte dei proprietari nei confronti degli immobili storici loro affidati e conseguentemente ha portato ad una maggiore cura dei monumenti stessi.

Inoltre i politici ed i gestori delle “risorse” sono ora consapevoli dei vantaggi derivanti dalla costante manutenzione degli edifici. Manutenzione sistematica significa sempre un grande risparmio in spese di restauro, un miglior utilizzo delle risorse ed un ritardo nel processo di decadimento e conseguente perdita di valore storico dell’immobile.

Mentre l’attenzione vent’anni fa era focalizzata quasi interamente sul restauro, oggi è opinione comune che i dispendiosi lavori di restauro possono avere effetto solamente se si attiva anche una manutenzione sistematica e preventiva del bene.

“Monumentenwacht” offre ai proprietari di edifici storici un servizio specifico. Ciascuna squadra dispone di un furgone contenente il materiale e l’equipaggiamento completo per ispezionare nel dettaglio la struttura dell’edificio storico. Se i tecnici riscontrano difetti durante la loro ispezione – ad esempio una tegola del tetto rotta o mancante, una grondaia danneggiata – la dotazione servirà ad effettuare le riparazioni minori.

In seguito essi redigono una relazione per i proprietari a partire da quanto rilevato che sono la base per un piano di mantenimento. Ciascuna relazione contiene un suggerimento riguardo i lavori di mantenimento ed una lista delle priorità.

Ciascuna squadra di ispezione è composta da due ispettori di edifici storici (“monumenten watchers”). I *Monumenten Watchers* essere in grado di riconoscere i difetti nella conservazione ed individuarne le cause. Di conseguenza vengono richieste agli ispettori delle qualifiche specifiche inclusa la conoscenza dell’uso dei materiali, le loro qualità e durabilità, struttura e manutenzione, i risultati sull’uso di materiali inadatti e sul rinvio delle riparazioni. Tutti gli ispettori di edifici storici hanno in comune una istruzione tecnica di base e devono avere, in aggiunta, esperienza di cantiere soprattutto di restauro.

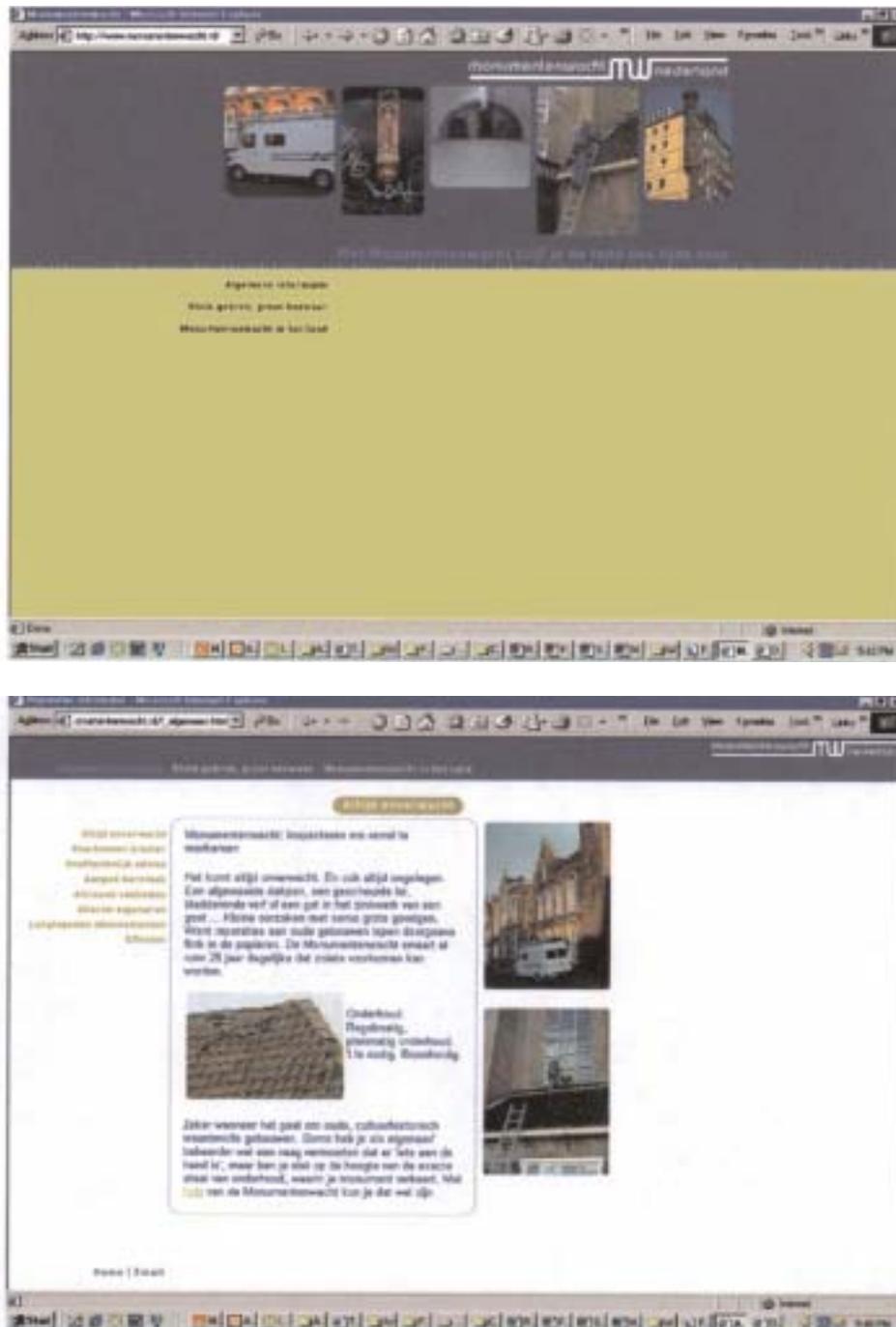


Fig. 28, 29 - Il "Monumentenwacht Nederland".

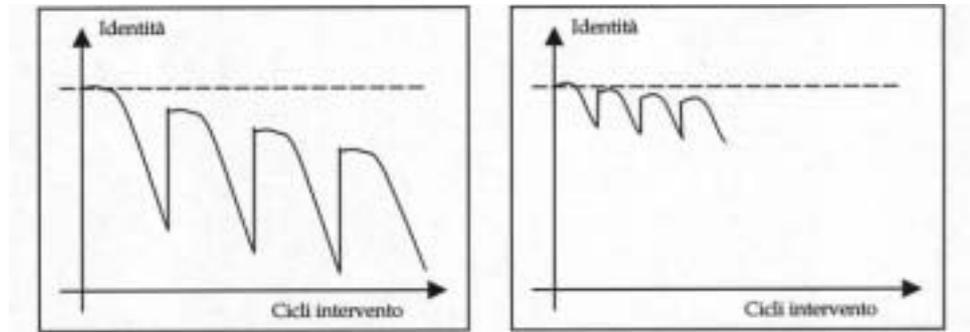


Fig. 30 - Processi di degrado e cicli di manutenzione.

Gli ispettori devono dimostrare buona abilità nell'accedere alle differenti parti dell'edificio siano esse interrate o all'aperto in quota.

“Monumentenwacht” organizza inoltre, a favore degli iscritti, seminari e corsi su argomenti tecnici specifici (figg. 31, 32).

E' imperativo che il proprietario sia messo al corrente dell'ispezione e di conseguenza l'ispettore deve avere la capacità di comunicare con i proprietari.

Un proprietario interessato a fruire dei servizi resi da Monumentenwach deve iscriversi versando una quota associativa annua. La maggior parte dei proprietari si iscrive spontaneamente; in alcuni casi il proprietario può ricevere la sovvenzione per il restauro solo se iscritto da tempo al servizio.

Non appena sottoscritto il contratto, la struttura invia un incaricato per effettuare la prima ispezione ed in tale occasione viene redatto un inventario dettagliato. Lo scopo di questa prima ispezione è ricavare una buona conoscenza di base dell'edificio in tutte sue sezioni e localizzare i possibili problemi di manutenzione.

Gli ispettori utilizzano scale di tutti i generi e taglie, in caso di necessità possono ricorrere ad un equipaggiamento completo da scalata per poter effettuare il sopralluogo.

Dopo che il primo inventario è stato redatto l'edificio storico viene ispezionato annualmente. I punti difficili da vedere, gli angoli, i buchi, e i luoghi dove due o più materiali diversi sono connessi vengono esaminati attentamente perché questi sono i punti ove trae origine la maggior parte dei difetti.

Monumentenwacht ha realizzato una serie di prodotti informativi destinati sia all'utente dell'edificio monumentale sia ai tecnici che dovranno effettuare gli interventi previsti.

In aggiunta ad una serie di video cassette dal contenuto tecnico informativo rivestono particolare importanza una coppia di pubblicazioni: il manuale utente ed il manuale tecnico (figg. 33, 34, 35).

Il primo viene consegnato ad ogni nuovo associato per completare il percorso formativo ed è volto ad informare l'utente circa le caratteristiche techni-



Fig. 31, 32 – Ispettori di Monumentenwacht in azione (foto Monumentenwacht NL).

che, d'uso e manutenzione dell'immobile in oggetto. All'interno di questa pubblicazione l'associato troverà informazioni riguardanti le normali operazioni di ispezione e le corrette procedure per la minuta manutenzione dell'immobile.

Il manuale tecnico, costituito oggi da ben due volumi di grande formato, è indirizzato all'impresa e contiene tutte le informazioni necessarie per poter adeguatamente intervenire sulle singole parti che compongono l'immobile in oggetto garantendo una corretta scelta tecnologica ed una esecuzione a regola d'arte.

4.4.3. Risultati

Il "Monumentenwacht" ha iniziato l'attività nel 1973, con una squadra part-time. A partire dal 1994, ben 37 squadre sparse in tutta l'Olanda lavorano a tempo pieno. La crescita dell'organizzazione è stata possibile solamente grazie ai risultati del lungo periodo di collaborazione con i proprietari degli edifici storici. I proprietari di edifici storici sono divenuti più consapevoli dei vantaggi (economici) ottenuti dalla manutenzione regolare. Come risultato di questa consapevolezza i proprietari si sono impegnati maggiormente e seguono il programma di manutenzione consigliato con crescente impegno. Tutto ciò ha portato ad un miglioramento nelle condizioni di salute degli edifici storici (fig. 36).



Fig. 33, 34, 35 – Il manuale tecnico di conoscenza e manutenzione dell'immobile.

In alcuni casi la partecipazione al programma Monumentenwacht per un periodo di tempo minimo stabilito costituisce un prerequisito fondamentale per poter accedere ai fondi pubblici destinati agli edifici di interesse storico.

Inizialmente il servizio di Monumentenwacht era considerato con sospetto dai professionisti operanti nel campo della manutenzione, si temeva la con-

correnza di un potenziale *general contractor* di eccellenza in grado di monopolizzare l'esiguo mercato. Nel volgere di qualche tempo, il timore di subire la concorrenza di Monumentenwacht apparve infondato poiché l'istituzione di tale servizio agì come stimolo per il mercato della manutenzione creando, contrariamente a quanto temuto, nuove opportunità di lavoro. Lo stesso accade oggi in Belgio, Danimarca e Germania dove, negli ultimi anni, sono state applicate varianti del modello olandese. Tale soluzione innovativa unitamente ad un'appropriata strategia per la manutenzione dei beni culturali viene attualmente considerata con interesse in molti altri paesi europei (Repubblica Ceca, Inghilterra, Germania, Ungheria, Italia, Scozia, Repubblica Slovacca e Svezia).

4.5. S.I.R.Co.P.: l'architettura del sistema informativo³¹

L'importanza dell'integrazione del trattamento dell'immobile "bene culturale" entro uno sviluppo urbano sostenibile, è attualmente un tema di grande rilievo in Europa. La *Carta di Grenada* (1985) obbliga i suoi sottoscrittori a perseguire una "conservazione integrata" del patrimonio monumentale. Il *Green Paper* della Commissione Europea dedicato al Contesto Urbano ha identificato che la conservazione integrata ed il miglioramento degli immobili considerati beni culturali è tipicamente una problematica europea. La relazione dell'European Sustainable Cities (1996) evidenzia la conservazione ed il miglioramento dell'immobile "bene culturale" come aspetto chiave dello sviluppo sostenibile. Si va verso l'identificazione di una serie di regolamenti da applicare al fine di determinare e monitorare la "sostenibilità" dello sviluppo aree urbane. La relazione di ESDP (1998) identifica chiaramente la pianificazione integrale spaziale come fattore vitale nello sviluppo sostenibile dei beni culturali immobili in Europa.

Mentre il problema della regolamentazione della pianificazione integrale spaziale è conosciuto e ben sviluppato, il problema dell'integrazione verticale tra questa ed il nocciolo dell'attività di conservazione dell'immobile, in particolare la manutenzione, è stato finora largamente ignorato.

La carenza d'integrazione verticale non è solo un problema derivante dal divario fra teoria e pratica quanto, come vedremo nel seguito, funzione di

³¹ Il presente documento è stato strutturato in forma sintetica rimandando per successivi approfondimenti ai documenti finali prodotti dalla ricerca: "La catalogazione" presentazione sintetica dei differenti approcci e delle istanze proprie della catalogazione, principali standard di descrizione, di rappresentazione e contenuto; "Analisi degli standard di archiviazione" presentazione dettagliata e commentata dei principali standard di catalogazione (descrittivi, rappresentativi e di contenuto); "Gestione del Sistema Informativo: Ruoli e Competenze" presentazione dei principali ruoli connessi all'uso del sistema informativo e delle relative competenze richieste; "Monumentenwacht" presentazione in sintesi dell'esperienza pluridecennale olandese nel settore della conservazione programmata del patrimonio storico monumentale.

vincoli, regolamenti, percezione, pianificazione e scadenze.

Attualmente numerosi progetti di ricerca sono attivi da “ambo le parti”: in termini di pianificazione spaziale i concetti di integrazione sono ben sviluppati; dal lato della conservazione, sono state formulate numerose proposte e sono stati effettuati investimenti, in particolare nei trattamenti fisici per il fabbricato stesso.

Il Sistema Informativo Regionale a supporto della Conservazione Programmata (nel seguito chiamato sinteticamente S.I.R.Co.P.) si prefigge di supportare gli interventi sul patrimonio architettonico storico fornendo una serie di strumenti per la gestione di tutte le informazioni relative agli immobili storici: dalle informazioni di pre-catalogo, alle informazioni relative al piano di recupero, al manuale tecnico e manuale utente. Il sistema informativo svolge, tra l'altro, una fondamentale funzione di “collante” per le differenti fasi e funzioni previste ed inoltre, come sovente accade, custodisce ed elabora un patrimonio di informazioni indispensabili per il corretto svolgimento delle attività previste.

Attraverso il progetto S.I.R.Co.P. si intende affrontare queste problematiche con un approccio fortemente innovativo. Una delle finalità generali del progetto S.I.R.Co.P., così come più volte sottolineato in occasione di convegni e dibattiti, è stimolare un'inversione di tendenza nel mercato, dall'attesa per un intervento di manutenzione straordinaria od al limite la completa sostituzione dell'edificio di rilievo storico, alla pianificazione di interventi di conservazione e restauro secondo una tempistica ed una “granularità” definita anche in funzione delle risultanze fornite dal sistema informativo.

Il sistema informativo, così come emerso nel corso del progetto, svolge inizialmente la funzione prevalente di archivio flessibile per le informazioni, raccogliendo dati in formato eterogeneo secondo le attività in corso³²; in una seconda fase potrà operare sia quale fonte di dati storici specifici utili a valutare la consistenza del patrimonio storico architettonico e ricostruirne gli accadimenti, sia come valido supporto ai decisori, siano essi politici o tecnici, indicando priorità d'intervento e possibili patologie sulla base dell'analisi della base dati tecnica (fig. 37).

Il progetto prevede di implementare un sistema scalabile distribuito sul territorio. Tale sistema sarà in grado di scambiare dati bi-direzionalmente dialogando con basi dati centralizzate o distribuite. Nel definire le condizioni al contorno del sistema informativo sono stati tenuti in debita considerazione: il patrimonio informativo attualmente esistente (spesso distribuito tra più sedi ed in formati differenti); la differente “granularità”³³ delle informazioni disponibili; la necessità di prevedere acquisizioni parziali dei dati a differenti

³² Es. Schede anagrafiche relative all'immobile, tavole tecniche, schizzi, fotografie, testi, ecc..

³³ Comprendendo nel termine “granularità” non solo il livello di dettaglio del dato ma anche la sua accuratezza.

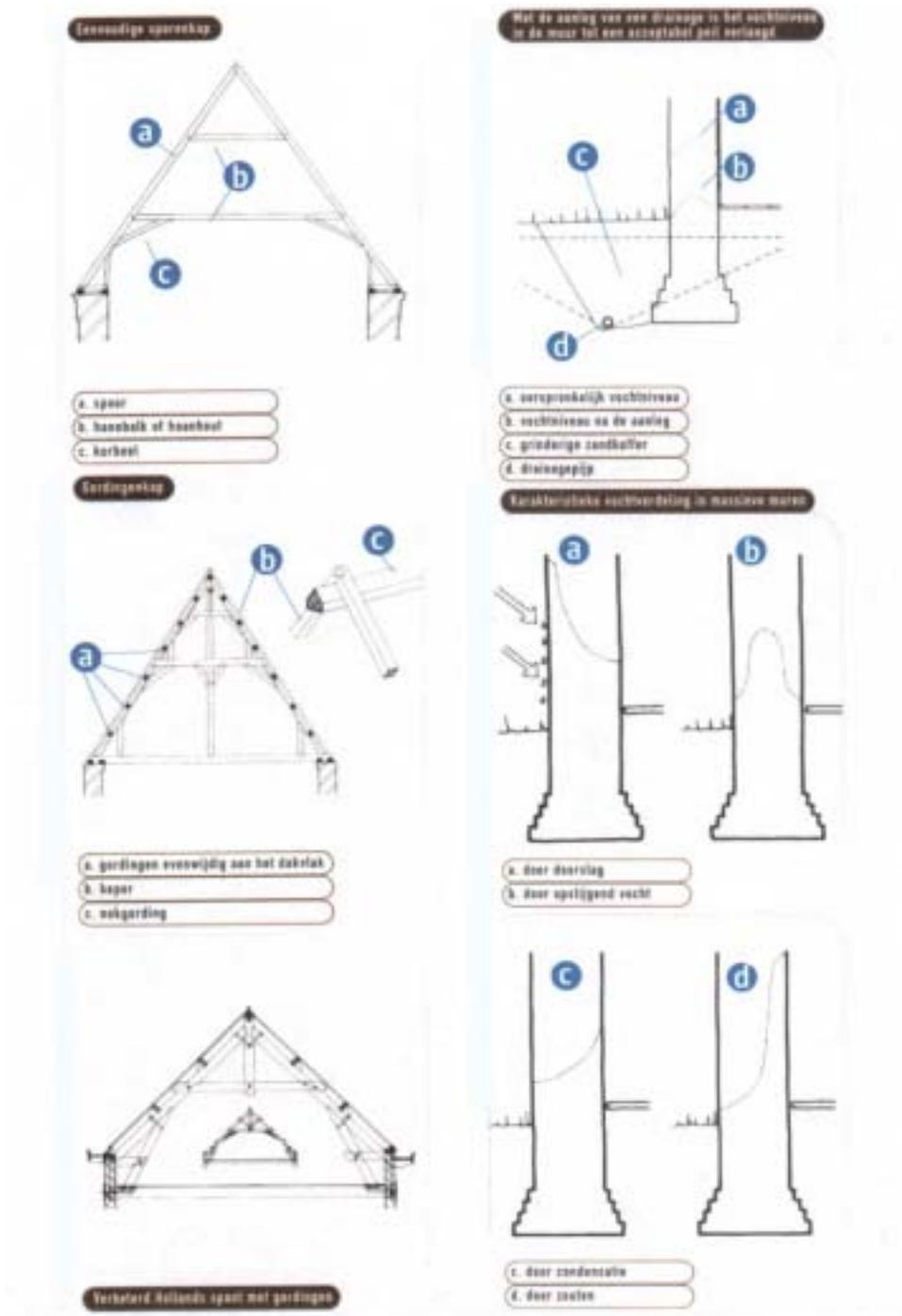


Fig. 36 – Schede del manuale tecnico.

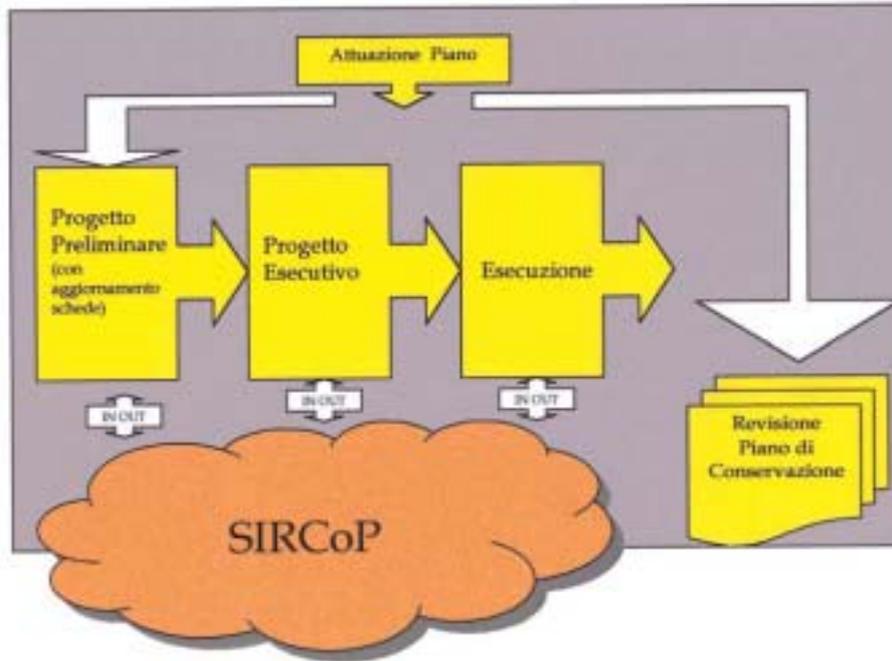


Fig. 37 – Il sistema informativo regionale per la conservazione programmata.

livelli di approfondimento; la prassi manutentiva dei dati stessi nonché le istituzioni responsabili della conservazione stessa.

L'architettura generale del sistema viene descritta nel seguito considerando come "fuoco" il sistema informativo regionale³⁴, a partire da questo vengono considerate sia le estensioni verso sistemi informativi Nazionali ed Internazionali, sia le estensioni verso sistemi informativi locali o specifici quali quelli gestiti da Enti Locali, cartografia numerica territoriale, e quant'altro di rilevante possa essere collegato al sistema.

Tra le principali estensioni a livello nazionale troviamo la Banca Dati Nazionale della Carta del Rischio gestita dall'Istituto Centrale per il Restauro (ICR) ed il Catalogo dei Beni Ambientali ed Architettonici gestito dall'Istituto Centrale del Catalogo e della Documentazione (ICCD). Altre possibili connessioni al sistema sono previste da parte di Università, Scuole, Centri Ricerca, Istituzioni culturali e turistiche.

L'importazione dei dati potrà avvenire sia in forma strutturata (es. ICCD, ICR, Enti Locali, ecc) sia sotto forma di singolo contributo od insieme di dati a struttura debole (testi, immagini, disegni, ecc) (fig. 38).

³⁴ Regione Lombardia

4.5.1. Archiviazione a lungo termine

La struttura dati relativa ad ogni singolo intervento sarà suddivisa in due principali sezioni:

- dati di sintesi relativi all'intervento saranno comunque sempre presenti, disponibili agli utenti ed elaborabili dal modulo di analisi scientifica;
- informazioni e dati di dettaglio riguardanti il singolo piano di conservazione saranno referenziate dal sistema ma residenti su supporti esterni destinati alla archiviazione a lungo termine.

4.5.2. Analisi statistico / scientifica

Il modulo di elaborazione ed analisi scientifica dei dati attinge informazioni dalle differenti strutture dati presenti in S.I.R.Co.P.: il data base, l'archivio storico e la sezione dati a struttura debole. Tali archivi consentiranno di effettuare, a regime, una serie di elaborazioni su campioni significativi a fini statistici. Tra le informazioni di rilievo ottenibili si annoverano tra l'altro:

- La possibilità di eseguire interrogazioni riguardanti particolari interventi, lavorazioni o soluzioni tecniche adottate al fine di valutarne il comportamento nel tempo
- La possibilità di ottenere dati economici sintetici riguardanti gli interventi effettuali
- La possibilità di implementare la banca dati a supporto di attività sviluppate sul modello "Monumentenwacht"
- Indicatori tecnici utili ai decisori in fase di definizione delle politiche di intervento sul patrimonio

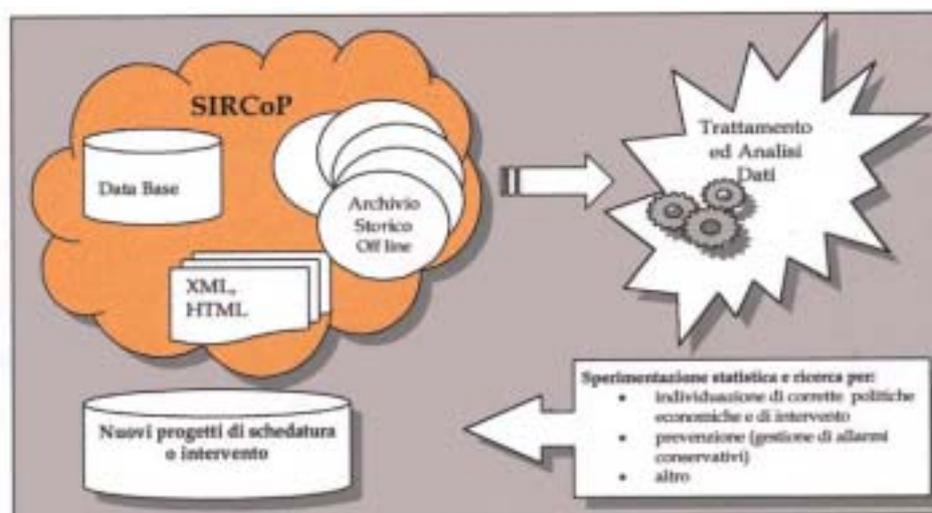


Fig. 38 – Flowchart e analisi dati SIRCoP.

- Indicatori economici utili ai decisori in fase di definizione delle politiche di intervento sul patrimonio
- Informazioni utili alla messa a punto dei manuali: tecnico, utente e di conservazione
- Informazioni utili alla messa a punto dell'intero processo di Conservazione Programmata

4.5.3. *Funzionalità aggiuntive*

La struttura e la qualità delle informazioni raccolte da S.I.R.Co.P. offrono la possibilità di ipotizzare una ricca messe di servizi accessori in aggiunta alle funzionalità direttamente connesse al processo di conservazione programmata. A titolo di esempio schematizziamo il ciclo di funzionamento della funzione di tele-prenotazione on-line e della sua interazione sia con le informazioni relative al rischio antropico contenute nel S.I.R.Co.P. che con le informazioni aggiuntive di pubblico interesse riguardanti il bene.

4.5.4. *Metodi di accesso*

Il Sistema Informativo è grado di operare principalmente attraverso la rete, gli accessi quindi sono di conseguenza possibili attraverso punti di accesso alla rete sia a livello locale attraverso una LAN, sia a livello remoto attraverso connessioni Intranet o Internet.

Grazie al sistema d'accesso on line è possibile, se il particolare profilo d'utente lo consente, integrare, aggiornare, interrogare la banca dati. In aggiunta, al fine di facilitare in particolare le operazioni di immissione dati, sarà possibile utilizzare applicativi "stand alone" dedicati all'immissione dati, riversando in un secondo tempo nel sistema informativo l'intero set raccolto.

Questo metodo potrebbe essere particolarmente utile per la fase di avviamento e messa a regime dell'intero sistema nonché per le operazioni di rilievo dati da cantiere.

4.6. Il Progetto MIMS (Monuments Integrated Management System)

A seguito dell'esperienza maturata con il progetto BAA e dell'analisi delle linee guida della Carta del Rischio, a partire dal 1998 il laboratorio HMG iniziò a lavorare ad un nuovo progetto denominato MIMS (Monument Integrated Management System). Il progetto mira alla definizione di un approccio unitario alle problematiche di gestione del patrimonio architettonico, spaziando dalla acquisizione e rilievo alla promozione del bene, anche attraverso la realizzazione di prodotti multimediali.

I monumenti ed i siti archeologici occupano una posizione di particolare rilievo nello scenario dei beni culturali; grazie alla convenzione per la tutela del Patrimonio dell'Umanità (Convenzione riguardante la protezione del patrimonio culturale e naturale mondiale stilata a Parigi il 16 novembre del

1972) UNESCO dispone, senza dubbio, del miglior strumento legale per la protezione internazionale del patrimonio culturale e naturale.

La Convenzione ad oggi conta 149 Stati nazionali mentre la lista "World Heritage" attivata a seguito della medesima, include 506 siti protetti (380 dei quali di tipo culturale, 107 oasi naturali e 19 di natura mista culturale e naturale) appartenenti a 107 Nazioni. La dimensione etica di questa iniziativa è incentrata sulla volontà di tramandare ai posteri i più significativi siti sia culturali sia naturali.

La Convenzione per il "World Heritage" rappresenta un meccanismo per salvaguardare non solo il patrimonio, ma anche tutte le mete raggiunte dalla civiltà a livello mondiale. Il settore del Patrimonio dell'Umanità rappresenta un'importante area d'investimento, anche perché i siti Patrimonio dell'Umanità rappresentano solitamente anche i luoghi più visitati del mondo.

Il turismo ha un rilevante impatto sullo stato di conservazione del nostro patrimonio. Così se da un lato il turismo può danneggiare il sito, dall'altro porta risorse ed interessi in grado di contribuire, spesso in modo determinante, al processo di conservazione del bene.

In ogni caso è bene attivare uno stretto dialogo e collaborazione tra i responsabili del turismo ed i responsabili della conservazione dei beni culturali ed ambientali.

Il progetto MIMS vuole sviluppare e applicare a titolo dimostrativo metodologie, tecnologie e prodotti innovativi per: diagnosi, valutazione del rischio, protezione, conservazione, restauro, gestione sostenibile, valorizzazione ed eventuale riuso compatibile del patrimonio monumentale Europeo (fig. 39).

Un consorzio di partner altamente qualificati provenienti da università, centri ricerca, aziende, sovrintendenze ed istituzioni collaborerà nello sviluppo di strumenti innovativi destinati alla gestione integrale del patrimonio monumentale. Alcuni di questi strumenti sono destinati ad individuare e valutare eventuali danni suggerendo le strategie di conservazione più idonee. Altri strumenti e metodologie sono destinate ad assistere i tecnici nella delicata fase di rilievo del monumento, consentendo la creazione di un archivio digitale in grado di alimentare in seguito differenti applicazioni anche nel campo della comunicazione e promozione del monumento.

Una delle finalità collaterali del progetto è l'attivazione di una rete di centri di competenza dedicati ai monumenti e siti archeologici in grado di agire quali nodi di riferimento per la gestione integrata dei beni. Dal punto di vista operativo, tali centri possono essere configurati come organizzazioni semi-pubbliche non a scopo di lucro, in grado di erogare servizi sia assistiti pubblici sia privati.

Le principali funzioni ed i servizi caratterizzanti i centri di competenza sono:

- costituire una base di conoscenza comune cui contribuiscono tutti i nodi della rete
- costituire una rete di punti di riferimento complementari ed integrati

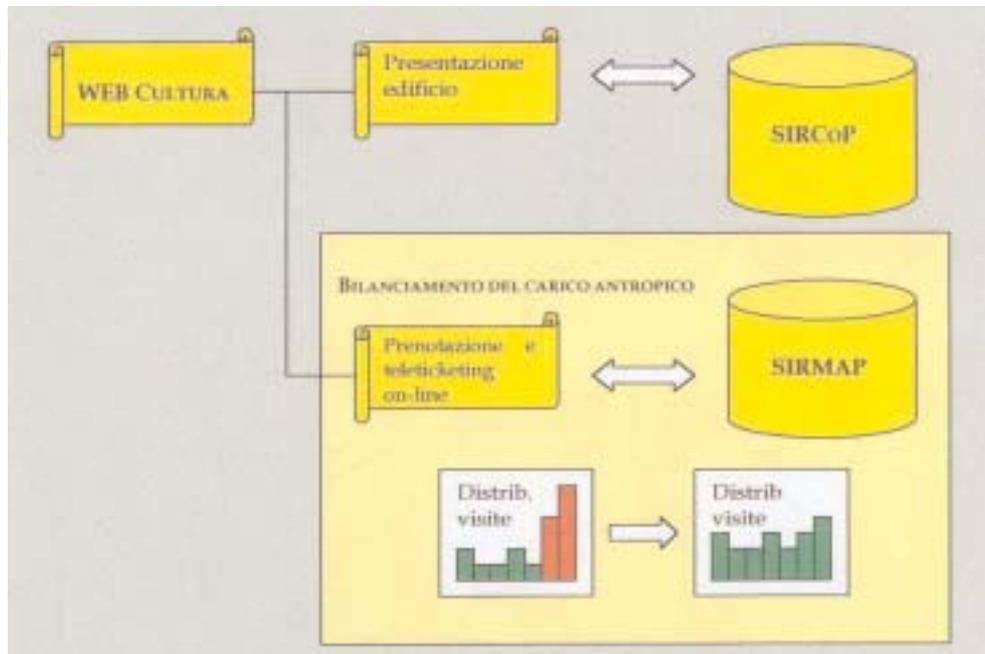


Fig. 39 – Funzionalità aggiuntive (es. funzione di teleprenotazione ingressi/valutazione rischio antropico).

- fornire servizi specifici ad istituzioni culturali (conservazione, gestione, promozione, ecc)
- costituire una rete di potenziali partner specialistici in grado di fornire competenze integrative necessarie allo sviluppo di progetti commerciali o di ricerca
- operare quali potenziali incubatori per nuove imprese favorendo l'autoimprenditorialità.

I centri di competenza mirano a creare un ponte tra il possessore di un immobile storico, il gruppo di lavoro dedicato alla conservazione e le istituzioni fornendo strumenti ed esperienza consolidata. Una delle attività di rilievo in questo caso è mutuata dall'esperienza di Monumentenwacht e consiste nella sottoscrizione di un contratto di assistenza tecnica da parte del centro di competenza, al fine di eseguire visite periodiche per valutare lo stato di salute del bene tutelato. Secondo quanto riportato in una lista di controllo appositamente stilata per ogni singolo bene, un esperto eseguirà la verifica dello stato di conservazione ed il tutto verrà archiviato in una apposita struttura dati così come descritto nel progetto SIRCoP. Tali dati costituiranno nel seguito parte degli archivi sui quali opererà un sistema di supporto alle decisioni. Il gestore del patrimonio monumentale potrà ad esempio interrogare il sistema per trarre utili informazioni a supporto della assegnazione delle prio-

rità di intervento o della assegnazione di risorse. Sarà possibile operare su un campione statisticamente valido per valutare efficacia e possibili effetti collaterali dovuti a specifiche metodologie di intervento, ed altro.

4.7. Prospettive future

In aggiunta a quanto già descritto a corollario dei progetti S.I.R.Co.P. e MIMS, lo scenario economico attuale lascia intravedere notevoli opportunità di intervento nel settore del patrimonio monumentale. Ne sono testimoni la tendenza alla privatizzazione dei grandi patrimoni pubblici, unitamente alla tendenza alla riduzione degli immobilizzi nelle grandi imprese³⁵, con conseguente alienazione del patrimonio immobiliare. Tutto questo sembra suggerire nuovi ed inimmaginabili scenari per la conservazione del patrimonio monumentale.

In aggiunta, in alcune nazioni Europee sono ancora numerosi i monumenti pericolanti da mettere in salvo, arrestando al tempo stesso il loro deterioramento.

Bibliografia e Referenze

- G. Urbani (a cura di), *Problemi di conservazione*, Editrice Compositori, Bologna, s.d.
- AA.VV., *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria – Progetto esecutivo*, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Centrale per il Restauro, Tecnico s.p.a., Roma, 1976.
- C. Brandi, *Teoria del restauro*, Ed. Piccola Biblioteca Einaudi, Torino 1977.
- AA.VV., *La protezione del patrimonio monumentale dal rischio sismico – Termini del problema*, Istituto Centrale per il Restauro, Roma, 1983.
- P. Baldi, M. Cordaro, A. Melucco Vaccaio, *Per una Carta del Rischio del patrimonio culturale: obiettivi, metodi e un piano pilota*, in AA.VV., "Memorabilia: il futuro della memoria", Edizioni Laterza, Bari, 1987. Volume 1, pagg. 371-388.
- N. Rosselli Del Turco, *La Carta del Rischio del patrimonio culturale. Verso un sistema di protezione civile del patrimonio monumentale italiano*, in *Le Dimore storiche*, n. 29, Roma, 1995.
- AA.VV., *Carta del Rischio del patrimonio culturale*, Ministero BB. CC. AA. Ufficio Centrale per i Beni Archeologici, Artistici e Storici – Istituto Centrale per il Restauro, Edizione A.T.I. MARIS, 1996; 4 voll.
- Volume 1: "La cartografia tematica. Distribuzione del patrimonio e dei fenomeni di pericolosità"
- Volume 2: "La metodologia per il calcolo del rischio"
- Volume 3: "Il rischio locale. Modulo sperimentale di Ravenna"
- Volume 4: "Il Sistema informativo della Carta del Rischio"

³⁵ Enti statali, locali, banche, assicurazioni e grandi aziende.

- AA.VV., *La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, Ministero BB. CC. AA. – Ufficio Centrale per i Beni Archeologici, Artistici e Storici – Istituto Centrale per il Restauro, Edizione ICR – Bonifica S.p.A., 1997
- AA.VV., *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale – Informazioni generali e procedure informatiche ad uso dei Poli Periferici*, Ministero BB.CC.AA. – Ufficio Centrale per i Beni Archeologici, Artistici e Storici – Istituto Centrale per il Restauro, Edizione ICR – Bonifica S.p.A., 1997.
- R. Rossetti, *Centri abitati instabili della Provincia di Pavia*. Vol.1, Centri interessati da provvedimento di risanamento, consolidamento o trasferimento, Milano 1997, pubblicato a cura di CNR – Gruppo Nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, Regione Lombardia – Servizio Geologico, Università degli Studi di Pavia – Dipartimento di Scienze della Terra.
- Ministero BB.CC.AA. e Regione Marche e Umbria, *Oltre il terremoto. Primo repertorio dei monumenti danneggiati dal sisma*. Marche e Umbria, Gangemi Editore, Roma 1998. Vol.2.
- V. Cannada Bartoli, M. Palazzo, *La Carta del Rischio Patrimonio Culturale*, in “Le dimore storiche” – Periodico dell’Associazione Dimore Storiche Italiane, Anno XIV, n. 3 [N.38], settembre-dicembre 1998, pp. 20-21.
- M. Canti, M.L. Polichetti, *Un esempio di cooperazione tra Stato, Regioni ed Enti locali: il caso Marche*, in “Economia della Cultura” Rivista dell’Associazione per l’Economia della Cultura, Edizione il Mulino, Anno IX, 1999 / n. 2.
- A.M. Ronchi, *Monuments Integrated Management: On line tools*, proceedings WWW9 Culture Track, Amsterdam May 2000.
- A.M. Ronchi, *Il sistema informativo a supporto della conservazione programmata*, contributo al volume AA.VV., *Polo Regionale della Carta del Rischio del patrimonio culturale*, Regione Lombardia Istituto Centrale per il Restauro Milano Giugno 2000
- AA.VV., *La programmazione negoziata per i beni e le attività culturali. Indirizzi normativi e documentazione di riferimento*, Regione Lombardia, Direzione Generale Cultura, Direzione Generale Presidenza, Milano, dicembre 1999.
- A.M. Ronchi, *L’esperienza Monumenten Wacht Nederland*, atti sesta conferenza internazionale Cultural Heritage Networks Hypermedia, Milano Settembre 2000.
- CD: *Corso di formazione per tecnici esperti nella archiviazione e comunicazione informatizzata del patrimonio culturale*, realizzato per l’omonimo corso FSE Direzione Generale Cultura Regione Lombardia presentato in occasione del Convegno Internazionale “Conservazione Programmata, 23-25 novembre 2000 – Politecnico di Milano.

On Line References

- | | |
|---|--|
| http://www.beniculturali.it/ | Italian Ministry for Cultural Heritage |
| http://www.iccd.beniculturali.it/ | Istituto Centrale Catalogo e Documentaz. |

http://www.medicif.org/	Medici Framework
http://www.regione.lombardia.it/	Regione Lombardia
http://www.infobyte.it/	Infobyte S.p.A.
http://www.monumentenzorg.nl/	Rijksdienst voor de Monumentenzorg

5. Fotogrammetria digitale

Luca Menci, Francesca Ceccaroni

5.1. La fotogrammetria monoscopica

5.1.1. Definizioni generali

La fotogrammetria è l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica. E' dunque l'arte e la scienza per rilevare e misurare oggetti per mezzo di immagini.

Tale materia si divide in due grandi branche: la fotogrammetria aerea e la fotogrammetria terrestre. Per la prima, detta anche fotogrammetria dei lontani, gli oggetti sono situati ad una distanza maggiore di 300 metri e per la seconda o fotogrammetria dei vicini (*close range*) gli oggetti interessati risultano ad una distanza inferiore a 300 metri circa.

Operare in questo settore significa eseguire indagini quantitative e qualitative sull'oggetto fotografato; i risultati delle misure fotogrammetriche possono essere numeri, disegni o immagini, tecnicamente dette coordinate, carte o ortofotoproiezioni. La fotogrammetria consente la ricostruzione degli oggetti e la determinazione di alcune loro caratteristiche senza richiedere il contatto fisico con gli stessi, consentendo la realizzazione di rappresentazioni grafiche in scala dell'oggetto esaminato.

5.1.2. Georeferenziazione di una immagine digitale

Per qualsiasi operazione di misura o calcolo relativi ad una immagine digitale è necessario conoscere in maniera più o meno approssimata il rapporto di scala pixel-oggetto.

Questo risultato teoricamente si può ottenere mediante un calcolo basato sulla conoscenza dei sei parametri di orientamento assoluto della presa (coordinate x, y, z del centro del fotogramma e angoli di rotazione w, f, k) oppure più frequentemente tramite la georeferenziazione dell'immagine digitale. Il termine georeferenziazione prende nome dal neologismo anglosassone Geo-Refer che significa riferire geometricamente. Tale operazione esprime la possibilità di stabilire una corrispondenza univoca tra i punti dell'oggetto rappresentato e quelli dell'immagine digitale, come si ha in una presa fotogrammetrica tradizionale in cui la legge di corrispondenza è data dalla trasformazione prospettica di tipo affine. Questo criterio viene utilizzato per il raddrizzamento prospettico e l'ortofoto (fig. 40).

Una imposizione rigorosa si ha solo per immagini non otticamente deformate di oggetti perfettamente piani, tuttavia aumentando il numero dei punti di appoggio in funzione della morfologia dell'oggetto e procedendo per porzioni limitate di immagini si possono raggiungere risultati metricamente accettabili anche per oggetti con sviluppo tridimensionale (fig. 41).

Nel processo di georeferenziazione l'immagine digitale viene assoggettata a due trasformazioni:

Ricampionamento = variazione di scala anisotropa e disomogenea stabilita mediante una relazione omografica basata generalmente su 4 punti.

Scalatura = rideterminazione del rapporto pixel-oggetto che rende possibili le operazioni di misura sull'immagine stessa e di mosaicare immagini diverse riferite allo stesso oggetto.

L'affidabilità di un documento metrico che rappresenta una porzione di territorio o un oggetto è funzione della rigidità con la quale viene mantenuta la costanza del suo rapporto di scala rispetto agli elementi rappresentati, oltre

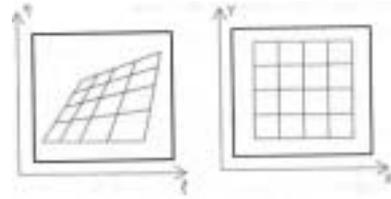


Fig. 40 – Raddrizzamento prospettico.

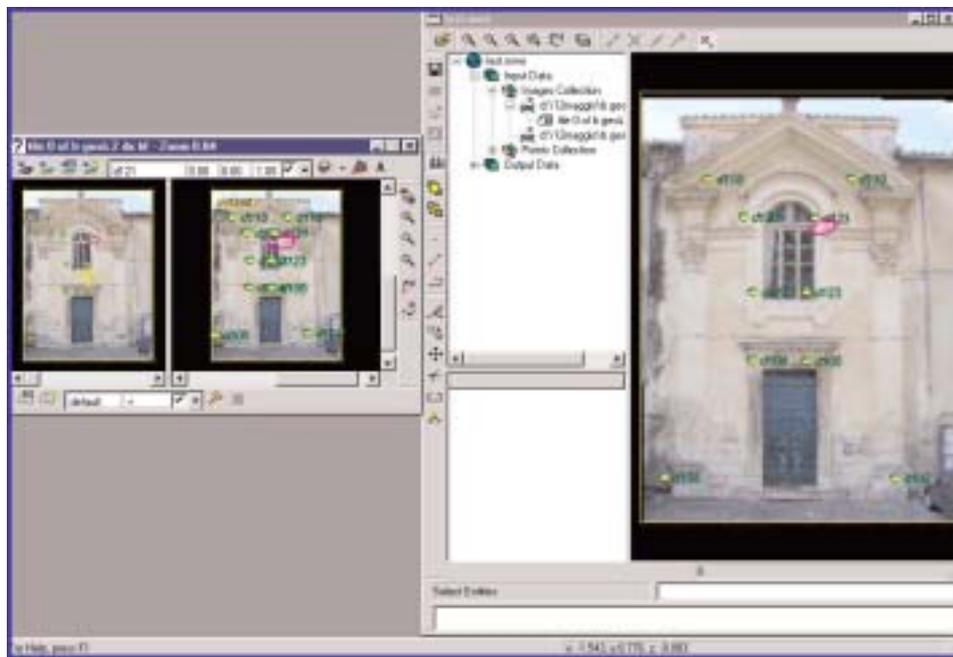


Fig. 41 – StereoView: raddrizzamento prospettico.

che della qualità e della quantità delle informazioni fornite. Il fotogramma possiede un vasto potenziale di informazioni metriche e qualitative che vengono rese disponibili a seguito dei trattamenti necessari di seguito indicati.

L'ortofotografia assicura sempre una moltitudine di informazioni e di dettagli topografici che non potrebbero mai essere rappresentati da una cartografia convenzionale tradizionale.

La scala di rappresentazione fotografica è in generale funzione esclusiva del rapporto fra la distanza principale f della camera metrica di presa e la distanza relativa h degli oggetti ritratti. Variando la morfologia degli oggetti stessi, per il loro sviluppo in profondità o in altezza, varia evidentemente la distanza relativa h e, con questa distanza, il valore del rapporto locale: $f/H=1/s$ che ne esprime la relativa scala di rappresentazione.

Per far risultare costante il rapporto f/H che deve rappresentare la scala media della nuova immagine raddrizzata, sarebbe indispensabile eliminare le variazioni di grandezza variando localmente le condizioni di riproiezione. Il risultato locale ottenuto attraverso questa operazione di riduzione o amplificazione differenziale determinerà una nuova immagine del terreno o dell'oggetto considerato, realizzata nel suo insieme tutta alla stessa scala di rappresentazione. Un risultato analogo si potrebbe ottenere portando il punto di presa a distanza infinita, in maniera da rendere paralleli tra loro i vari raggi proiettanti: questo equivarrebbe ad effettuare una proiezione ortografica del terreno e dell'oggetto considerato.

Le deformazioni geometriche dell'immagine fotografica, indotte dall'inclinazione dell'asse ottico di presa e dalle variazioni in quota del terreno, possono essere eliminate ricorrendo al raddrizzamento differenziale delle prese areofotogrammetriche nadirali.

Procedendo al raddrizzamento differenziale dei fotogrammi si può pervenire alla formazione di ortofotopiani o di ortofotocarte, a seconda delle necessità e disponibilità. Gli ortofotopiani si differenziano dalle ortofotocarte per il fatto che non riferiscono alcuna informazione altimetrica sul terreno rappresentato, espressa nelle ortofotocarte di norma dalle curve di livello. L'ortofotografia ha in più la possibilità di una lettura metrica dei vari elementi riferiti.

Tra i vantaggi dell'ortofoto vi è la notevole riduzione dei tempi richiesti per il suo allestimento ed i relativi costi di produzione rispetto agli elaborati cartografici classici.

I lavori per la formazione di ortofotopiani e di ortofotocarte sono di norma regolati da specifiche prescrizioni tecniche che, articolando opportunamente il processo produttivo in fasi distinte e successive, ne assicurano la precisione metrica richiesta e la qualità fotografica relativa.

Nella fig. 42 sono indicate le relazioni tra il fotogramma, il modello del terreno e l'ortofotogramma.

Una ricorrente preoccupazione è quella di ridurre la mosaicatura dei fotogrammi: essa può essere eliminata con una accorta copertura aerofotogram-



Fig. 42 – Ortofoto.

metrica, operando in maniera che ad ogni elemento dell'ortofotopiano, o dell'ortofotocarta, corrisponda la copertura di un unico fotogramma centrato. La sovrapposizione dei fotogrammi deve allora raggiungere il 90% (fig. 43).

Sarebbe opportuno attenuare gli effetti indotti dalle variazioni della quota relativa di volo e dalle frequenti distorsioni di altezza degli edifici, inoltre utilizzare una distanza focale per gli obiettivi delle camere metriche molto più lunghe di quelle normali.

La precisione richiesta è definita di volta in volta dalle tolleranze planimetriche ed altimetriche che ne regolano la formazione, e che vengono stabilite



Fig. 43 – StereoView: mosaicatura.

in funzione della scala di rappresentazione e delle finalità preposte. Le scale più idonee per questi documenti fotografici quando debbano essere utilizzati per ricerche preliminari, dovrebbero risultare quelle di 1:25000, 1:10000, e 1:5000. L'impiego di piani ortofotografici a grandissima scala cioè a 1:2000 e 1:1000, dovrebbe richiedere al confronto una maggior precisione metrica ed una risoluzione maggiore del fotogramma.

In sintesi il modello 3D viene proiettato su un piano, eseguendo in questo modo il processo inverso della proiezione centrale che contraddistingue l'immagine fotografica.

5.2. La fotogrammetria stereoscopica

5.2.1. Richiami teorici

La presa fotografica di un oggetto costituisce una corrispondenza univoca tra l'oggetto stesso e la sua immagine sul fotogramma, ma se ad ogni punto dell'oggetto corrisponde un punto sul fotogramma non possiamo affermare la stessa corrispondenza nel caso contrario. E' evidente quindi che un solo fotogramma non è sufficiente a determinare geometricamente un oggetto nel suo insieme. Nel caso si operi con due fotogrammi la corrispondenza tra i punti determinati sull'oggetto e le coppie di punti sui fotogrammi diviene biunivoca, rendendo così possibili le misure dell'oggetto attraverso la sua rappresentazione fotografica.

L'immagine tridimensionale virtuale ottenuta dall'osservazione binoculare di una coppia di immagini stereoscopiche prende generalmente il nome di modello stereoscopico o immagine plastica dello spazio interessato.

Analoga situazione è nella visione stereoscopica umana (fig. 44):

Il processo della percezione visiva si sviluppa a partire dall'occhio e si conclude nel cervello che recepisce gli stimoli sensoriali e li elabora per trasformarli in un'immagine della stessa realtà oggettiva osservata. Il campo visivo dei due occhi umani raccoglie due immagini con una piccola differenza. Questa piccola differenza tra le due immagini raccolte produce la visione stereoscopica del campo interessato e fornisce conseguentemente la percezione della sua profondità spaziale e del relativo rilievo.

La camera da presa è l'elemento essenziale in un processo fotogrammetrico sia perchè costituisce l'elemento fondamentale per l'acquisizione delle prese sia per la ricostruzione ottica del modello dell'oggetto. Le camere da presa fotogrammetrica, quando siano perfettamente noti gli elementi di orientamento interno, cioè i para-

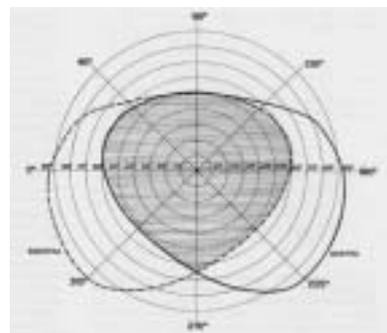


Fig. 44 – Stereoscopia umana.

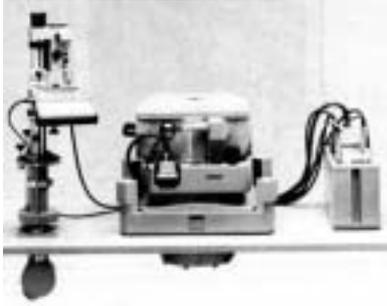


Fig. 45 – Camera metrica aerea.



Fig. 46 – Camera metrica terrestre.

metri geometrici-costruttivi, sono dette *camere metriche* (figg. 45, 46). Questo accentua evidentemente la loro predisposizione alla misura, in contrapposizione a tutte le altre camere da presa fotografica non metriche, che non possono garantire, durante il loro impiego, una costante riproduzione degli elementi di orientamento interno al variare delle condizioni di presa fotografica. Appare indispensabile, per assicurare l'affidabilità e la precisione richieste nei lavori di ripresa aerofotogrammetrica, sottoporre le camere metriche a periodici e sistematici controlli. La camera infatti per la sua pesantezza può danneggiarsi durante il trasporto; inoltre è soggetta a grandi variazioni di temperature e di pressione.

Un notevole vantaggio è apportato nell'uso di camere metriche digitali per economia, leggerezza e praticità d'uso.

Le prese stereoscopiche sono coppie di fotogrammi aventi in comune un opportuno ricoprimento dell'area o degli oggetti da rilevare. Il modello rappresenta la parte di ricoprimento di una coppia stereoscopica di fotogrammi. La strisciata è costituita da un insieme di modelli consecutivi, su uno stesso asse di volo, concatenati tra loro attraverso un certo numero di punti.

Il fotogramma è l'immagine fotografica rigorosamente geometrica che costituisce una prospettiva centrale degli oggetti ritratti. Gli elementi geometrici che lo caratterizzano sono gli elementi di orientamento interno (centro di proiezione e distanza principale).

5.2.2. Gli stereorestitutori

Lo stereorestitutore è lo strumento atto a "restituire" le coordinate geometriche tridimensionali "stereo" da una coppia di prese fotogrammetriche. In pratica realizzano il modello ottico tridimensionale dell'oggetto in esame e permettono la misura delle coordinate attraverso il puntamento stereo di una



Fig. 47 – Stereorestitutore analogico.



Fig. 48 – Stereorestitutore analitico.

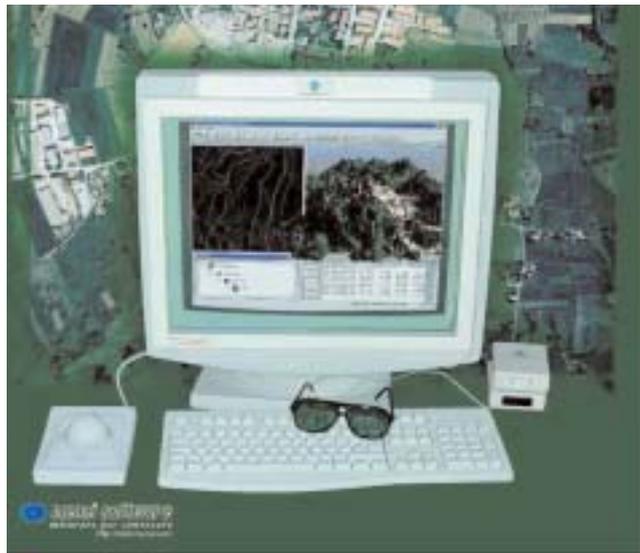


Fig. 49 – Stereorestitutore digitale.

marca di collimazione. Gli stereorestitutori possono essere classificati in restitutori analogici, analitici o digitali a seconda che risolvano il problema fotogrammetrico mediante soluzioni solamente ottico meccaniche, ottico elettroniche e per via informatica digitale (figg. 47, 48, 49).

Nello stereorestitutore analogico la meccanica dello strumento riproduce il fenomeno puramente ottico dell'intersezione nello spazio dei raggi omologhi; degli ingranaggi consentono la trasmissione delle misure al tavolo da disegno.

Lo stereorestitutore analitico è lo strumento che invia i dati di misurazione spaziale dei fotogrammi ad un computer collegato.

Lo stereorestitutore digitale consente di adottare un PC standard per effettuare tutte le elaborazioni fotogrammetriche.

5.3. La fotogrammetria digitale

La fotogrammetria digitale prosegue ed amplia l'esperienza dell'utilizzo dei sistemi informatici nel campo della restituzione già maturata con i sistemi analitici nel corso degli anni passati.

I restitutori analitici infatti, per economia ed efficienza, segnarono il passo ai vecchi strumenti analogici, per i quali la precisione metrica era frutto di un insieme di accorgimenti e tecnologie ottico - meccaniche ad appannaggio esclusivo di alcune aziende leader nel mondo e di costo molto elevato.

Se il passaggio dalle procedure analogiche a quelle analitiche è avvenuto a fatica nel corso di almeno quindici anni, il passaggio dall'analitico al digitale si pensa che assumerà le caratteristiche di una rapida rivoluzione caratterizzata da un cambiamento degli strumenti ma anche da un enorme sviluppo di algoritmi orientati alla gestione della parte radiometrica ed alla stereocorrelazione (image matching).

5.3.1. Caratteristiche delle immagini digitali

Le caratteristiche fisiche delle immagini digitali costituiscono il vincolo più forte al quale il sistema di stereorestituzione digitale deve sottostare. La risoluzione geometrica e la calibrazione delle immagini sono fattori decisivi per la definizione della precisione del sistema. Nei successivi paragrafi affrontiamo questa problematica.

Risoluzione geometrica delle immagini

La digitalizzazione delle immagini è il processo mediante il quale la foto, di qualsiasi natura essa sia, viene acquisita tramite un apposito strumento denominato scanner mediante discretizzazione in un numero finito elementi monocromatici denominati pixel ed ordinati secondo un reticolo regolare rettangolare di cui il pixel costituisce l'unità elementare (fig. 50).

Ciascun pixel viene registrato all'interno del file di immagine in ragione del proprio valore cromatico; la sua posizione è univocamente determinata dalla collocazione all'interno del file.

All'interno del file di immagine esiste una sezione dove vengono descritte le caratteristiche del file stesso, in particolare tra queste rivestono notevole importanza le seguenti:

- dimensioni in x;
- dimensioni in y (notare che il

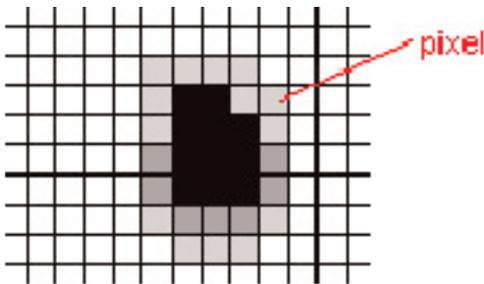


Fig. 50 - Il pixel.

file di immagine è sempre rettangolare);

- numero di colori;
- nome del file;
- eventuale palette.

Al termine di questa inizia la sezione dei dati dove si succedono i valori cromatici di tutti i pixel dell'immagine.

Per visualizzare l'immagine letta da file sarà pertanto necessario riorganizzare i valori dei pixel in funzione della specifica posizione. Per conoscere il valore del pixel di coordinate (x,y) all'interno di una immagine di larghezza N e altezza M, dovrà essere letto il valore associato alla posizione $((y-1)*N+x)$ nella sezione dei dati.

Il numero di pixel in cui ciascuna immagine che viene discretizzata determina la qualità geometrica dell'acquisizione e quindi le dimensioni del più piccolo dettaglio leggibile sull'immagine.

La risoluzione di acquisizione si misura in dpi (dpi = dots per inch) o punti per pollice ed indica il numero di pixel contenuti nella misura lineare di 1 pollice.

Si ricorda che 1 pollice = 25.4 mm.

Nell'esempio della fig. 51 viene evidenziata la variazione della qualità delle immagini al variare della risoluzione di acquisizione. Il frammento di immagine in oggetto si riferisce ad una porzione di territorio avente una larghezza indicativa di 22 metri. Nel caso dell'acquisizione a 50 dpi la dimensione del pixel a terra è di circa 2 m; nel caso dell'acquisizione a 400 dpi è di circa 0,25 m. Si consideri che raddoppiando il valore in dpi quadruplica il numero di pixel. Specificamente, passando dalla risoluzione a 50 dpi a quella a 400 dpi, il numero di pixel diviene 64 volte più grande.

Le dimensioni del file di immagine sono chiaramente funzione del numero di pixel che lo costituiscono.

La condizione fondamentale per una buona riuscita del lavoro è la scelta della risoluzione ottimale di acquisizione. Questa deve essere preventivamente valutata in funzione dei seguenti fattori:

- a) precisione di restituzione. E' bene che la dimensione modello del pixel,

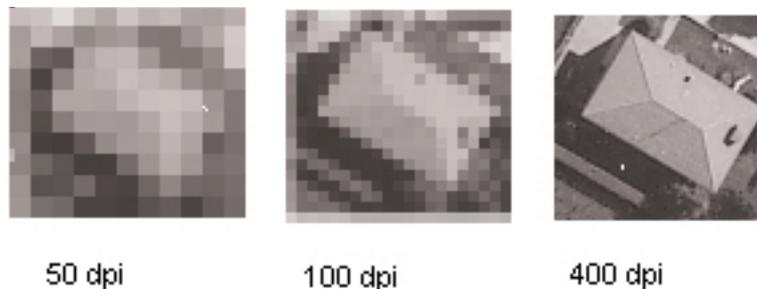


Fig. 51 – Risoluzione di acquisizione.

cioè la dimensione del pixel a terra, sia circa la metà della precisione che intendiamo ottenere.

Supponiamo di voler restituire il portale di una chiesa avente la larghezza indicativa di 4 metri con una precisione di 5 mm; sulla base di quanto detto dovremo ottenere una dimensione modello del pixel pari a 2,5 mm. Supponendo di aver realizzato le prese con un camera fotografica 6x6 cm e che il portale occupi circa l'80% del fotogramma si ha:

larghezza del fotogramma	$L0 = 60 \text{ mm}$
larghezza del fotogramma relativa al portale	$L1 = L0 \times 0,8 = 60 \times 0,8 = 48 \text{ mm}$
larghezza in pixel del portale	$n_x = 4000/2,5 = 1600$
larghezza in pollici del fotogramma relativa al portale	$pol = L1/25,4 = 48/25,4 = 1,89$
Risoluzione	$ris = n_x/pol = 1600/1,89 = 847 \text{ dpi ca}$

La scelta della risoluzione cade usualmente sul valore arrotondato alle cento successive unità.

b) risorse hardware disponibili. Per quanto il software progettato consenta di ottimizzare le condizioni di lavoro in funzione del computer su cui viene svolto, è sempre consigliabile misurarsi preventivamente con l'hardware di cui si dispone. Le condizioni ottimali di lavoro sono quelle per cui si disponga di una quantità di memoria RAM tale da contenere completamente i dati ed i programmi che si stanno utilizzando. La gestione di file eccessivamente ingombranti comunque, costituisce un aggravio dei costi di archivio, nonché un inevitabile aumento dei tempi e quindi dei costi di restituzione.

Tornando all'esempio precedente si valuta che ciascuna immagine della coppia 6x6 cm acquisita in toni di grigio a 900 dpi occupi uno spazio di memoria di circa 4,5 MByte. Le stesse immagini se acquisite a 1200 dpi (valore standard non preventivamente calcolato) avrebbero un ingombro superiore agli 8 MByte.

Risoluzione cromatica delle immagini

Un parametro fondamentale di cui si deve tener conto è la risoluzione o profondità cromatica delle immagini.

Quando un'immagine è campionata, i suoi valori di brillantezza sono rappresentati da un intero. In funzione delle capacità di lettura dello strumento di acquisizione e delle effettive necessità di lavoro, possono essere utilizzati da 1 a 24 bit per descrivere i valori cromatici dell'immagine stessa. Il numero di bit usato per descrivere i valori dei pixel si definisce in BPP o bit per pixel.

L'occupazione di memoria di un file di immagine (o raster), a parità di dimensioni in pixel, dipende dalla risoluzione cromatica che lo caratterizza. Le modalità più comuni, che sono poi quelle gestite dal nostro programma, sono le seguenti:

- B/N (bilevel);
- toni di grigio (gray-scale);
- palette;
- toni di grigio a 12 bit;
- toni di grigio a 16 bit;
- colori continui (true color o chunky).

Analizziamo in dettaglio queste modalità.

B/N: ciascun punto può assumere il valore di bianco o nero che informativamente sono associati a 0 ed 1. In pratica è sufficiente 1 bit per descrivere il colore di ciascun pixel.

Toni di grigio: i pixel possono assumere tutti i valori compresi tra 0 e 255. A 0 corrisponde il nero, a 255 il bianco. I valori intermedi variano con continuità.

Un pixel avente valore 127 rappresenta un grigio che è esattamente la media tra il bianco ed il nero. In ogni caso esistono scale di grigio a 2, 4 e 6 bit, in ogni caso la scala a 8 bit è senz'altro la più comune. Questo è dovuto ad una serie di ragioni che sono le seguenti: 1) agevole gestione informatica di 1 byte per pixel e 2) egregia rappresentazione di qualsiasi immagine in toni di grigio in quanto realizza 256 livelli distinti che sono sovrabbondanti rispetto ai meno di 200 livelli di grigio che è in grado di percepire l'occhio umano.

I valori possibili per ciascun pixel sono $2^8=256$; sono quindi necessari 8 bit per ciascun pixel.

Palette: le immagini in palette rientrano tra le immagini a colori. La tecnica della palette consiste nella scelta di un determinato numero di colori (normalmente i 256 più frequenti) tra tutti quelli contenuti nell'immagine e sostituire il valore relativo a ciascun pixel con quello più simile appartenente alla palette.

Al momento in cui la palette viene creata, deve essere preventivamente valutata l'intera immagine per estrarre i 256 colori più frequenti; successivamente, nell'intestazione del file di immagine viene descritta la lista ridotta dei colori. A ciascun pixel viene associato l'indice relativo all'elemento della palette che per valore è più simile al colore del pixel stesso. Essendo 256 i colori possibili sono necessari 8 bit per ciascun pixel.

Toni di grigio a 12 bit: come per i toni di grigio a 8 bit ma con la possibilità di avere $2^{12}=4096$ differenti valori. Ciascun pixel necessita di 12 bit.

Toni di grigio a 16 bit: come per i toni di grigio a 8 e 12 bit ma con la possibilità di avere $2^{16}=65536$ differenti valori. Ciascun pixel necessita di 16 bit.

Colori continui: è la risoluzione cromatica a colori per eccellenza. E' di norma la risoluzione standard per gli scanner a colori. Ciascun pixel viene descritto con 24 bit. In funzione della modalità di scrittura del file si hanno file RGB, CYM o altro. Nel caso di file RGB (sintesi additiva) vengono utilizzati 8 bit (256 valori) per il rosso, altrettanti per il verde e per il blu; in totale si hanno $2^{24}=16777216$ colori possibili per ciascun pixel. Di norma le

immagini di questo tipo vengono utilizzate solo per scopi particolari, principalmente nell'editoria.

Riportiamo di seguito una tabella esplicativa di quanto sopra descritto.

Dimensioni (pixel)	B/N (kbyte)	Grigio Palette (kbyte)	True Color (kbyte)	Risoluzione 300 dpi (mm)	Risoluzione 600 dpi (mm)
1000x1000	125	1000	3000	84,67x84,67	42,33x42,33
2000x2000	500	4000	12000	169,33x169,33	84,67x84,67

Scanner ed Acquisizione dei fotogrammi

La procedura di digitalizzazione dei fotogrammi richiede particolare attenzione in quanto da essa dipende sia la qualità visiva del modello che la sua precisione metrica. È buona norma l'utilizzo di scanner fotogrammetrico; quando questo non sia possibile è comunque pressoché indispensabile operare la correzione geometrica della distorsione d'acquisizione. La risoluzione di acquisizione dipende dall'uso che s'intende fare dei dati: a scopo documentario, tematico, archivistico o preminentemente metrico. La risoluzione dipende anche dalla dimensione delle immagini originali. In ogni caso non vi sono limiti all'uso di immagini comunque grandi. Di norma si lavora con risoluzioni dai 600 ai 4000 dpi. Le immagini vengono archiviate il formato raster proprietario crittografato o in TIFF standard.

Calibrazione della distorsione

L'utilizzo di immagini digitali in luogo delle lastre fotografiche se da un lato evita di dover affidare puntamento e movimentazione a sistemi ottico-meccanici la cui precisione dipende dalle tolleranze costruttive, dall'altro aggiunge un passaggio consistente nel processo di acquisizione digitale. Il passaggio a scanner, specialmente nel caso di lettura di immagini di grandi dimensioni, può costituire una fase particolarmente delicata. Le ragioni, ancora una volta, risiedono nella componentistica meccanica di movimento dello strumento di acquisizione.

Alcune cause di imperfezione di acquisizione possono essere le seguenti:

- gioco trasversale sulle slitte di movimentazione;
- svirgolamento della barra sensibile (avanzamento non parallelo);
- avanzamento a velocità non costante.

L'entità degli errori indotti può essere talvolta, specialmente utilizzando scanner di basso livello qualitativo, anche piuttosto importanti.

L'acquisizione delle immagini dovrebbe preferibilmente essere effettuata attraverso scanner piani di verificata qualità. In tal senso sono state messe a punto procedure di calibrazione dello scanner in grado di correggere eventuali anomalie ottenute sull'immagine in fase di acquisizione (fig. 52).

Attraverso tali strumenti è possibile scansire immagini per riflessione o per trasparenza. Nel primo caso lo scanner proietta un fascio di luce sulla stampa fotografica ed elabora le onde luminose respinte dall'immagine, men-

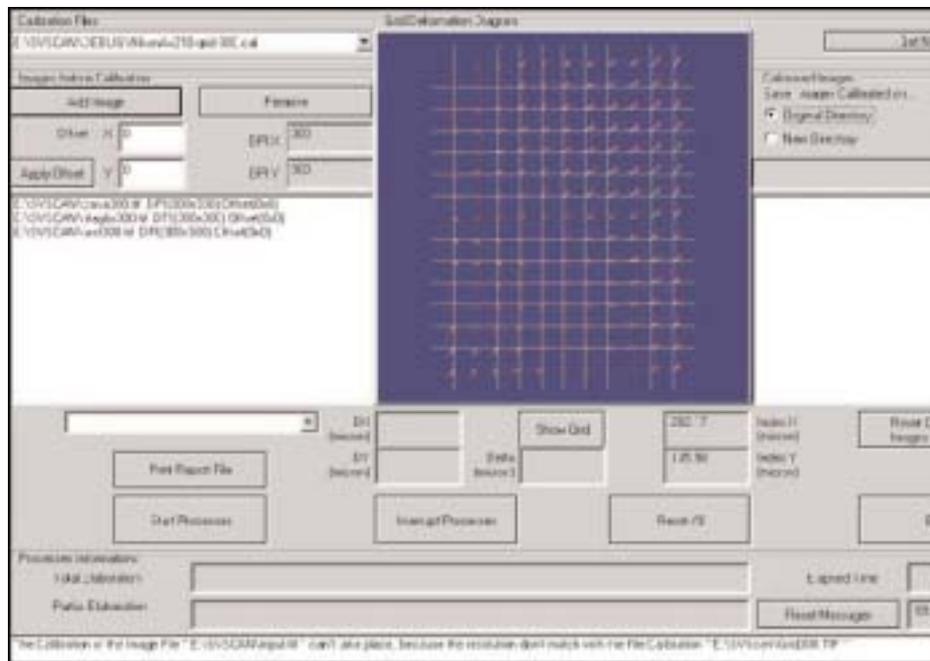


Fig. 52 – StereoView: correzione delle distorsioni dello scanner.

tre nel secondo caso la luce viene proiettata sul retro del fotogramma trasparente (che può essere negativo o diapositivo) e vengono elaborate le onde luminose che attraversano il supporto fotografico.

Immagini digitali possono essere ottenute direttamente dall'utilizzo di camere digitali.

La grande flessibilità ed economicità delle camere fotografiche non metriche o semimetriche ha prodotto l'esigenza di studiare algoritmi di calcolo in grado di consentirne l'utilizzo nel campo della stereofotogrammetria. In generale le camere semimetriche sono considerate ad orientamento interno noto e definite da un certificato di calibrazione che riporta le caratteristiche geometriche dell'insieme ottico-meccanico al momento della calibrazione. Anche in questo caso, come in quello dei restitutori, la precisione del sistema è determinata dalle condizioni di progettazione, dalle tolleranze di accoppiamento, ma anche dalle condizioni di assemblaggio. Risulta evidente pertanto la necessità di riferire i certificati di calibrazione a specifici insiemi costituiti da corpo macchina, obiettivo e reticolo che, una volta disassemblati, perdono le loro caratteristiche metriche.

Le camere amatoriali, sia per costruzione che per utilizzo devono essere considerate come sistemi ad orientamento interno incognito e variabile. In tal caso ciascuna immagine deve essere calibrata separatamente mediante opportuni strumenti di calcolo.

La calibrazione di un'immagine non metrica consiste nel determinare l'orientamento interno a priori incognito (lunghezza focale e punto principale) e, una volta ipotizzato un determinato modello matematico per le aberrazioni ottiche, individuare i parametri che caratterizzano tali aberrazioni. Le fasi di calibrazione sono piuttosto complesse e specifiche per l'immagine in esame.

I modelli di calibrazione più utilizzati sono le equazioni di collinearità e la trasformazione lineare diretta (DLT).

Le equazioni di collinearità si esprimono come:

$$x-x_p-D_x = -p \frac{a_{11}(X_p-X_c)+a_{12}(Y_p-Y_c)+a_{13}(Z_p-Z_c)}{a_{31}(X_p-X_c)+a_{32}(Y_p-Y_c)+a_{33}(Z_p-Z_c)}$$

$$y-y_p-D_y = -p \frac{a_{21}(X_p-X_c)+a_{22}(Y_p-Y_c)+a_{23}(Z_p-Z_c)}{a_{31}(X_p-X_c)+a_{32}(Y_p-Y_c)+a_{33}(Z_p-Z_c)}$$

dove x_p e y_p sono le coordinate del punto principale, a_{ij} sono i 9 coseni direttori dell'immagine in funzione degli angoli di assetto w, f, k .

La trasformazione lineare diretta si esprime come:

$$x_1-D_x = \frac{L_1X_p+L_2Y_p+L_3Z_p+L_4}{L_9X_p+L_{10}Y_p+L_{11}Z_p+1}$$

$$y_1-D_y = \frac{L_5X_p+L_6Y_p+L_7Z_p+L_8}{L_9X_p+L_{10}Y_p+L_{11}Z_p+1}$$

dove gli L_i sono i coefficienti della trasformazione.

La distorsione dell'obiettivo deve essere tenuta in considerazione e, in via approssimativa, sotto l'ipotesi credibile di una distribuzione radialsimmetrica, può essere modellata mediante una funzione del tipo:

$$dr = K_1.r^3 + K_2.r^5 + K_3.r^7$$

Sulla base di ricerche sperimentali (Karara-Aziz, 1974) si è concluso che la correzione della maggior parte degli errori sistematici possa essere corretta mediante l'utilizzo di un coefficiente che varia con il quadrato della distanza:

$$x = \frac{L_1X_p+L_2Y_p+L_3Z_p+L_4}{L_9X_p+L_{10}Y_p+L_{11}Z_p+1} + x_1.K_1.r^2$$

$$y = \frac{L_5X_p+L_6Y_p+L_7Z_p+L_8}{L_9X_p+L_{10}Y_p+L_{11}Z_p+1} + y_1.K_1.r^2$$

La soluzione di queste equazioni, non essendo lineari nelle incognite L_i, K_1 richiede una linearizzazione alle derivate parziali e calcolo iterativo.

Per conferire robustezza e flessibilità al calcolo, è stato inserito il condizionamento vincolare sull'orientamento interno. Questo significa che, in caso di utilizzo di camera non metrica (metodo di calcolo Autocalibrazione), il programma di calcolo effettua l'autocalibrazione su ciascuna immagine che porta alla conoscenza dei parametri di orientamento di calibrazione; in caso di utilizzo di camera metrica invece, la possibilità di inserire le condizioni vincolari in termini di distanza principale, punto principale e parametri di calibrazione, permette di sfruttare pienamente i vantaggi offerti dall'uso della camera metrica.

5.3.2. Fase di orientamento interno

Una fotografia metrica può essere definita come una precisa proiezione centrale (prospettica), geometricamente rigorosa, in cui il centro di proiezione è situato ad una distanza c dal punto principale della fotografia. I parametri fondamentali di questo modello matematico-geometrico semplificato, chiamati *elementi dell'orientamento interno*, sono la *distanza principale* c e le *coordinate immagine* del punto principale della fotografia (z_0, h_0) (fig. 53).

Il modello ideale non corrisponde esattamente alla realtà: gli inevitabili errori delle lenti, della camera e della fotografia devono essere considerati se si vuole raggiungere la massima accuratezza. Le camere metriche sono calibrate in laboratorio con l'ausilio di un goniometro ottico.

Le coordinate di tutti i punti misurati sul fotogramma fanno riferimento ad un sistema cartesiano ortogonale avente origine nel punto di presa. Il *punto principale* PP, costituito dal piede della perpendicolare abbassata dal centro di proiezione o punto di presa O al piano del fotogramma o piano focale della camera, ha pertanto le coordinate PP $(0,0,-c)$. La distanza intercorrente tra il centro di proiezione ed il punto principale ($c=O-PP$) è detta *distanza principale* e coincide, per messa a fuoco all'infinito, con la focale dell'obiettivo. Questa risulta misurata sull'asse ottico dell'obiettivo che, coincidendo con l'asse di proiezione del sistema, risulta normale al quadro di rappresentazione, o piano focale dell'immagine.

Per la definizione fisica del sistema di coordinate dell'immagine ed il corrispondente centro di proiezione si fa uso delle marche fiduciali in ogni fotografia. L'intersezione delle linee congiungenti marche fiduciali opposte determina il *centro fiduciale* FC.

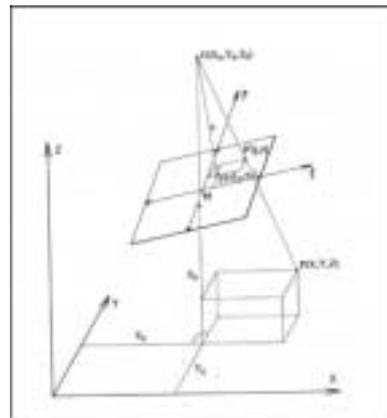


Fig. 53 – Schema di presa.

La materializzazione di questi indici non è standardizzata ma varia a seconda dei criteri costruttivi seguiti per la realizzazione delle diverse camere da presa fotogrammetrica, così come varia l'indicazione marginale della distanza principale e di tutte le altre indicazioni complementari.

La definizione del punto principale risulta diversificata: esso viene alternativamente individuato sia dal *punto principale di autocollimazione (PPA)*, sia dal *punto principale di simmetria (PPS)*, dato che la determinazione della sua posizione viene effettuata per via sperimentale.

Il *PPA* viene definito dall'immagine di un fascio di raggi paralleli all'asse ottico dell'obiettivo, provenienti dallo spazio oggetto e passanti attraverso l'obiettivo stesso in direzione normale al piano focale della camera.

Il *PPS* viene invece definito dal punto attorno al quale la distorsione residua dell'obiettivo presenta un optimum della simmetria nelle diverse direzioni diametrali.

Molte camere fotogrammetriche sono realizzate in modo che *PPA* (punto principale di autocollimazione) e *PPS* (punto principale di simmetria) giacciono all'interno di un cerchio che ha come centro *FC* con un raggio di (20 m).

E' necessario conoscere il centro di proiezione, detto anche punto di vista, il quadro di rappresentazione e la distanza principale per realizzare la rappresentazione prospettica dell'oggetto e per attribuire valore metrico alle immagini fotografiche. La definizione teorica di questi elementi si riferisce ad una macchina fotografica perfetta dal punto di vista strettamente geometrico, ove cioè l'obiettivo identifica il centro di proiezione e l'asse ottico di presa risulta perfettamente normale al quadro di proiezione rappresentato dal piano focale che raccoglie l'immagine.

Il *certificato di calibrazione di una camera* fotogrammetrica fornisce le seguenti informazioni riguardo l'orientamento interno (fig. 54):

- le coordinate immagine delle marche fiduciali,
- le coordinate *PPA*, *PPS* e *FC*,
- la distanza principale *c*,
- la curva fondamentale della distorsione radiale,
- la data di calibrazione.

5.3.3. Fase di triangolazione

Scopo della triangolazione aerea è la determinazione dei parametri di orientamento dei fotogrammi e, al contempo, delle coordinate terreno dei punti di passaggio individuati sui fotogrammi, sulla base della conoscenza di alcuni punti noti e delle caratteristiche metriche della camera fotografica.

Per poter passare dal sistema immagini costituito da coppie di fotogrammi al sistema di rappresentazione della carta è necessario disporre delle coordinate *x*, *y*, *z* dei punti di controllo nelle coordinate terreno e di riconoscerli sul fotogramma. L'abbinamento tra queste coordinate e le corrispondenti nel sistema immagine permette, attraverso l'operazione dell'orientamento assolu-

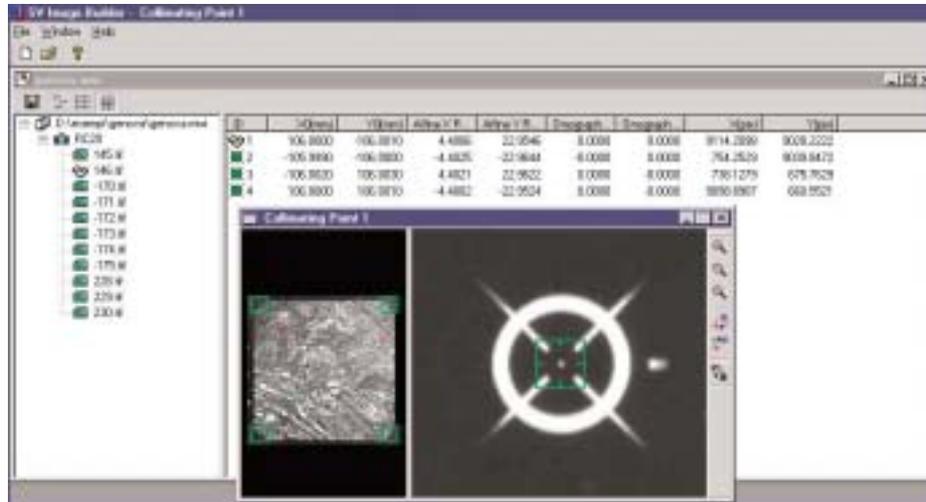


Fig. 54 – StereoView: orientamento interno.

to di calcolare i parametri di trasformazione tra i due sistemi.

La metodologia usata è quella del concatenamento in blocco dei fotogrammi. (Bundle Block Adjustment) (fig. 55).

Concetti principali:

Coppia stereoscopica di fotogrammi: è costituita da due fotogrammi consecutivi aventi un ricoprimento trasversale pari al 60% circa.

Punti di Controllo: punti noti nelle coordinate X,Y,Z.

Punti di Passaggio: punti scelti dall'operatore per aumentare il numero di punti e rendere più robusto il calcolo.

Modello: rappresenta la parte di ricoprimento di una coppia stereoscopica di fotogrammi

Strisciata: è costituita da un insieme di modelli consecutivi, su uno stesso asse di volo, concatenati tra loro attraverso un certo numero di punti.

Blocco: è costituito da un insieme di strisciate concatenate tra loro attraverso un certo numero di punti.

Ricoprimento longitudinale: rappresenta la parte in comune di due fotogrammi che costituisce un modello, in percentuale della larghezza del fotogramma. Di norma il valore è 60%.

Ricoprimento trasversale: rappresenta la parte in comune di fotogrammi in strisciate differenti, in percentuale dell'altezza del

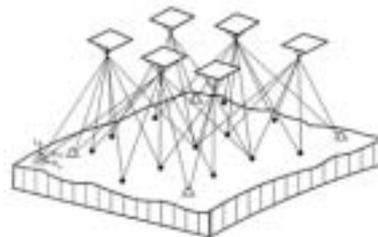


Fig. 55 – Bundle block adjustment.

fotogramma. Di norma il valore è 25%.

Tre sono le fasi principali dell'operazione: la preparazione dei fotogrammi da trattare; le misure dell'apparato di stereorestituzione; l'elaborazione e compensazione dei dati.

1) Preparazione dei fotogrammi.

La preparazione delle strisciate è di fondamentale importanza per conseguire risultati affidabili.

La precisione del metodo dipende dalla scelta dei punti di passaggio (o punti di riattacco), nonché dei punti di controllo, uniti all'identificazione degli errori. E' indispensabile la univoca interpretazione dei punti di passaggio tra le strisciate del blocco e la loro accurata collimazione (fig. 56).

Il metodo di triangolazione aerea richiede come minimo tre punti di controllo noti (di cui almeno due completi ed uno planimetrico) per ogni blocco di stereomodelli.



Fig. 56 – StereoView: collimazione stereoscopica.

I punti fotogrammetrici misurabili possono essere:

- punti segnalati prima di effettuare il volo
- punti “naturali” scelti sul territorio

2) Esecuzione delle misure

In un blocco costituito da strisciate di fotogrammi con una sovrapposizione circa del 60% ed un ricoprimento trasversale del 20% si calcolano direttamente le relazioni tra le coordinate immagine e le coordinate oggetto, senza introdurre la fase intermedia delle coordinate modello. Per questo il fotogramma è l'unità elementare del concatenamento in blocco (fig. 57).

Le coordinate dell'immagine definiscono un fascio di rette passante per il centro di proiezione. Gli elementi dell'orientamento assoluto di tutti i componenti del blocco vengono calcolati simultaneamente su tutti i fotogrammi.

I dati iniziali sono costituiti dalle coordinate immagine dei punti di passaggio (punti che giacciono su più di un fotogramma), dalle coordinate immagine e dalle coordinate oggetto dei punti di controllo.

Il principio del concatenamento si definisce in base alla disposizione (nelle 3 dimensioni: X_0, Y_0, Z_0) del fascio di raggi, e la rotazione (nei tre angoli w, f, k) in modo che il fascio intersechi gli uni e gli altri nei punti di passaggio e passi più vicino possibile ai punti di controllo.

3) Elaborazione e compensazione dei dati

La conclusione delle misure deve portare al riferimento di ciascun punto, osservato nei diversi modelli, ad un unico sistema di riferimento. Effettuato il riporto al sistema del primo modello è possibile effettuare poi la trasformazione delle coordinate strumentali in coordinate del sistema di riferimento terrestre, sulla base dei punti di controllo utilizzati.

Si consiglia di effettuare il calcolo di compensazione utilizzando la possibilità di escludere punti, fotogrammi e strisciate per individuare con attenzione i punti da raffinare nella collimazione (fig. 58).

5.3.4. Fase di restituzione in stereoscopia

Terminate le fasi di orientamento è possibile gestire la restituzione direttamente sul modello stereoscopico orientato con la conseguente produzione di un modello numerico vettoriale.

La precisione con la quale vengono determinate le posizioni dei punti di appoggio, in fase di orientamento esterno, influisce in maniera determinante sulla precisione di calcolo e quindi di restituzione.

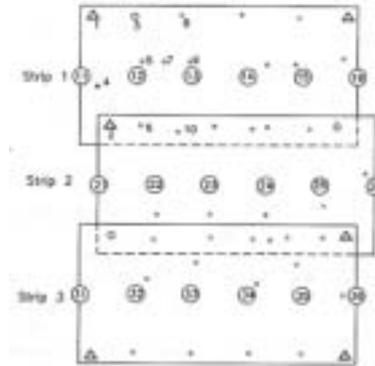


Fig. 57 – Concatenamento in blocco.

ID	Image 1	Image 2	X	Y	Z	Residual X	Residual Y	Residual Z
170 ODI	-171.tif	-170.tif	1491388.0109	4924401.2162	76.7708	0.0000	-0.0000	0.0000
171 ODI	-170.tif	-171.tif	1491433.0621	4923902.5594	40.5362	-0.3070	-0.2531	-0.4041
171 ODI	-170.tif	-172.tif	1491433.3936	4923902.9020	41.0315	0.0046	0.0895	0.0012
171 ODI	-171.tif	-170.tif	1491433.0621	4923902.5594	40.5362	-0.3070	-0.2531	-0.4041
171 ODI	-171.tif	-172.tif	1491433.6830	4923902.7081	41.5250	0.2939	-0.1044	0.4048
171 ODI	-172.tif	-170.tif	1491433.3936	4923902.9020	41.0315	0.0046	0.0895	0.0012
171 ODI	-172.tif	-171.tif	1491433.6830	4923902.7081	41.5250	0.2939	-0.1044	0.4048
170 ODI	-170.tif	-171.tif	1491824.2781	4924255.6301	07.5151	0.0000	0.0000	0.0000
170 ODI	-171.tif	-170.tif	1491824.2781	4924255.6301	07.5151	0.0000	0.0000	0.0000
2301	229.tif	-170.tif	1492009.0732	4923994.7217	55.6288	0.0332	0.0817	0.0988
2301	229.tif	-171.tif	1492009.1516	4923994.6674	55.6502	0.1116	0.0274	0.1202
2301	229.tif	-172.tif	1492009.0524	4923994.8018	55.6409	0.0124	0.1618	0.1109
2301	229.tif	230.tif	1492008.8656	4923994.5895	55.3105	-0.1744	-0.0505	-0.2195
2301	-170.tif	229.tif	1492009.0732	4923994.7217	55.6288	0.0332	0.0817	0.0988

Fig. 58 – StereoView: tavole dei calcoli di compensazione.

Con restituzione fotogrammetrica si intende il procedimento operativo che consente di pervenire dai fotogrammi alla rappresentazione grafica, o numerica dei diversi oggetti ritratti.

In generale, la restituzione di un solo fotogramma, quando non ricorrano le condizioni per un suo raddrizzamento fotografico, viene sempre sviluppata mediante operazioni grafiche e di calcolo, facendo ricorso alle proprietà delle prospettive centrali.

In presenza di coppie di fotogrammi stereoscopici si raggiungono precisioni maggiori, potendo definire univocamente ciascun punto nella sua tridimensionalità.

I prodotti ottenuti dalla restituzione possono essere espressi sia mediante rappresentazioni grafiche degli oggetti interessati sia in forma esclusivamente numerica attraverso una terna di numeri indicanti le coordinate spaziali X,Y,Z dei punti discreti restituiti (fig. 59).

Alcune tra le caratteristiche principali dello stereorestitutore digitale sono l'esplorazione dinamica del modello mono/stereoscopico, la visione contemporanea di più modelli mono/stereoscopici, la misura tridimensionale, la scelta e caricamento automatico delle coppie mono/stereoscopiche, il confronto stereoscopico contemporaneo di più modelli realizzati in epoche diverse/scale diverse/tecniche diverse. Inoltre la visualizzazione stereoscopica grazie ad una apposito apparato hardware mediante occhiali LCD o schermo LCD e occhiali passivi è confortevole e consentita su finestre multiple. La memoria del PC viene ottimizzata per la gestione contemporanea di numerosi fotogrammi di notevoli dimensioni.

5.3.5. Altre operatività del restitutore digitale

In maniera automatica è possibile l'interpolazione di punti dati per la creazione di modelli digitali del terreno (DEM), la generazione di curve di

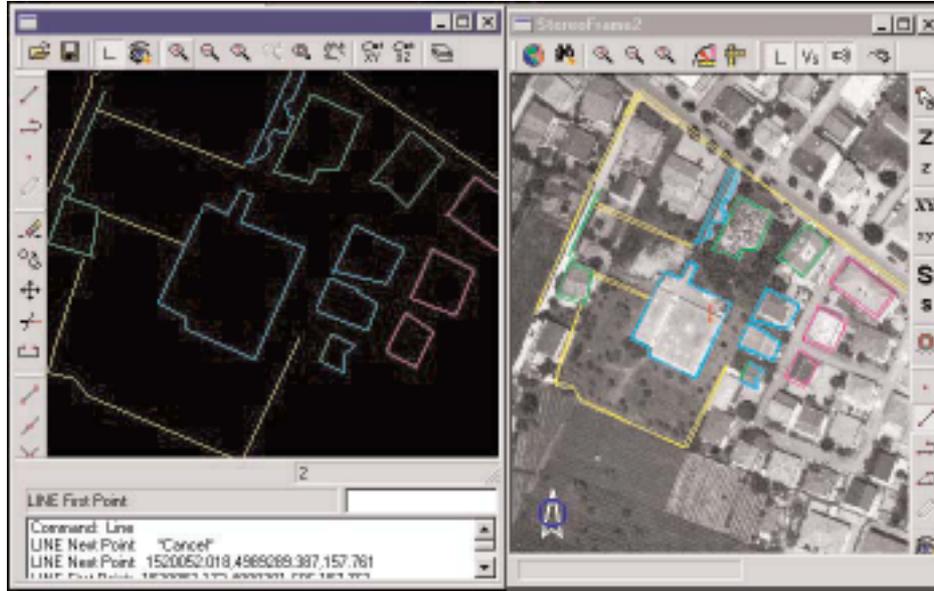


Fig. 59 – StereoView: restituzione stereoscopica tridimensionale.

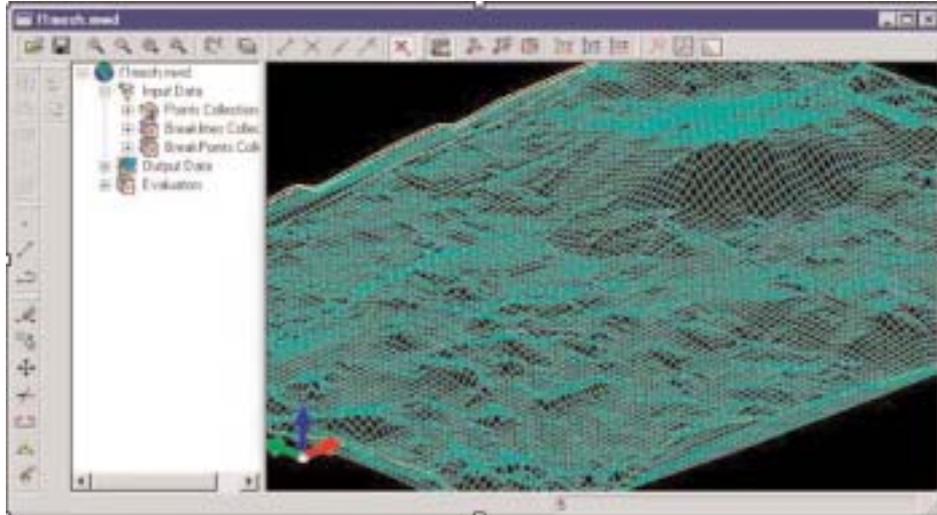


Fig. 60 – StereoView: mesh rettangolare.

livello, di superfici a maglia triangolare o rettangolare di un'area. Sono funzioni che servono dunque alla produzione di files che descrivano, mediante informazione altimetrica, la morfologia del territorio (fig. 60).

DTM (Digital Terrain Model): consente di creare un modello digitale del terreno, ovvero una semina di punti a passo regolare impostato.

3DMesh surface: consente di creare una superficie a maglia rettangolare che definisca l'oggetto. La costruzione della griglia si basa sul calcolo degli elementi finiti dell'insieme di punti selezionati. Tale rappresentazione è di grande ausilio per comprendere la configurazione tridimensionale del soggetto restituito.

3DTin surface: consente di generare una superficie a maglia triangolare 3D. A differenza della mesh rettangolare la mesh triangolare di Delaunay passa per tutti i punti selezionati e definisce quindi una maglia irregolare.

Curve di livello: il calcolo delle curve di livello permette la costruzione di polilinee 3D definite dall'intersezione tra piani orizzontali (paralleli al piano XY del sistema di riferimento globale) e il modello tridimensionale del terreno. Si tratta quindi di polilinee 3D in quota (fig. 61).

In maniera automatica è possibile ottenere l'acquisizione di modelli digitali (DEM) facendo un'autocorrelazione di punti disposti su stereocoppie orientate.

Il generatore di modelli tridimensionali è in grado di generare automaticamente il modello tridimensionale sulla base di algoritmi di autocorrelazione

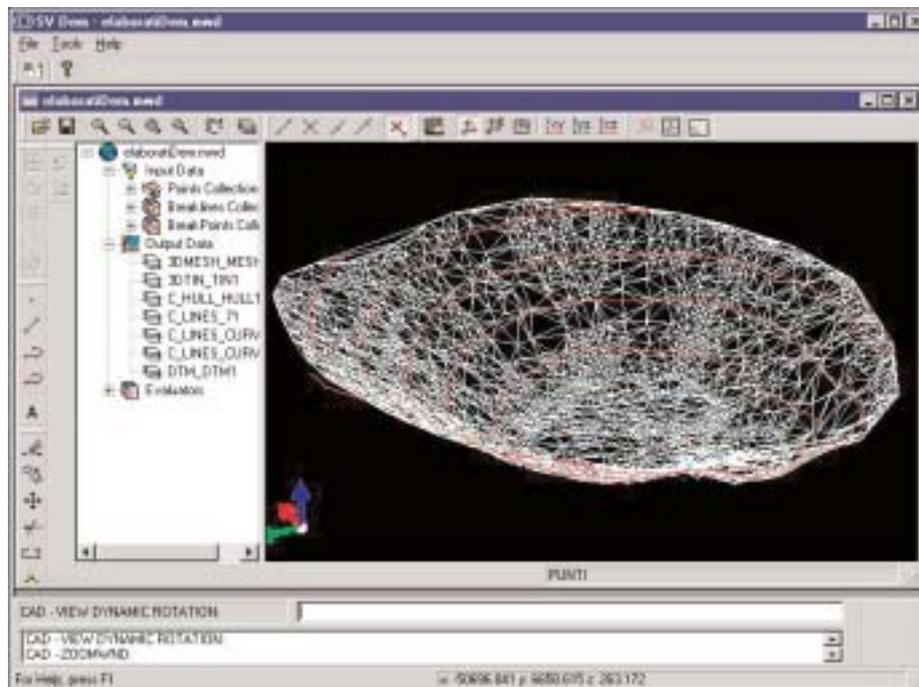


Fig. 61 – StereoView: tin e curve di livello.

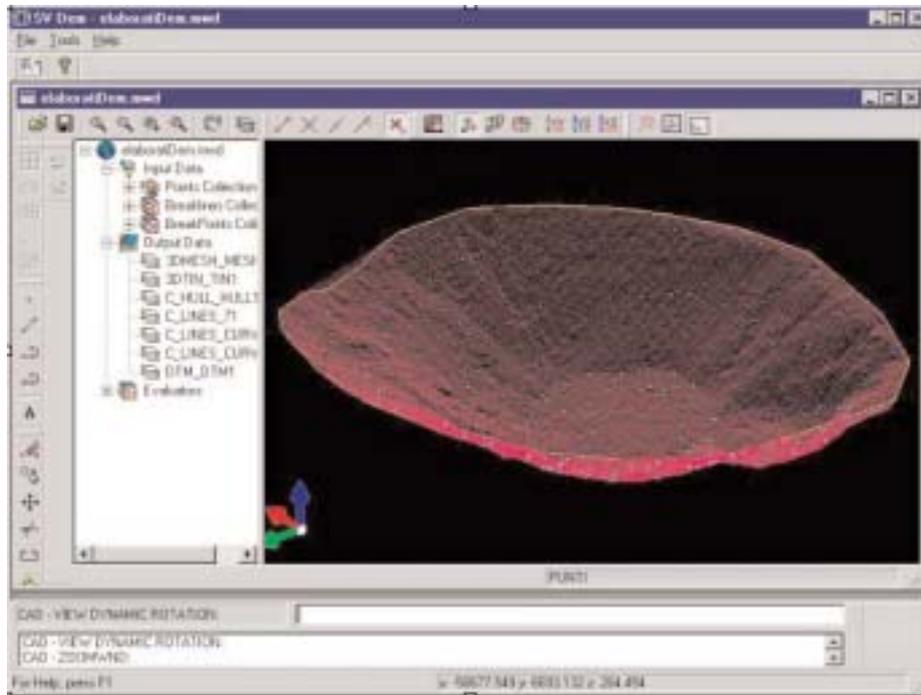


Fig. 62 – StereoView: generazione automatica DTM.

mediante “image matching” a partire da una coppia di immagini digitali stereoscopiche e da punti di coordinate note (fig. 62).

L'utente ha la possibilità di selezionare le aree su cui effettuare la correlazione e di impostare i parametri relativi a dimensioni della griglia e soglie di confronto.

L'utilizzo dell'algoritmo di matching presenta il vantaggio di non richiedere l'intervento diretto dell'utente durante la fase di restituzione.

Il matching delle immagini (ovvero il riconoscimento dei pixel omologhi sull'immagine sinistra e destra) viene effettuato secondo una griglia regolare sul modello, le cui dimensioni sono definite dall'utente. I punti che la costituiscono appartengono al sistema di riferimento globale e il passo della griglia è quindi registrabile in tale sistema di coordinate.

Vengono catturati punti con un coefficiente di correlazione compreso tra -1 e 1, corrispondenti rispettivamente ai valori minimo e massimo di correlazione.

I punti correlati vengono disegnati del colore scelto nell'apposita interfaccia ed i rispettivi punti 3D derivanti dalla correlazione vengono aggiunti nello specifico layer creato definendo il nome ed il colore. Il range di quote all'interno del quale ricercare i punti omologhi può essere comunque allargato o ristretto a discrezione dell'utente.

5.3.6. *Conclusioni*

La restituzione stereoscopica di modelli tridimensionali partendo da coppie di fotogrammi opportunamente realizzate è da sempre stata privilegio di poche realtà produttive, sia per l'elevatissimo costo degli strumenti ottico-meccanici necessari al raggiungimento dello scopo, sia per la complessità delle operazioni necessarie all'orientamento dei fotogrammi, che richiedono la presenza di esperti operatori fotogrammetri. L'avvento e l'evoluzione della fotogrammetria stereoscopica digitale, il basso costo delle risorse informatiche e l'altissima diffusione del personal computer contribuiscono in maniera determinante alla semplificazione delle problematiche sopra citate.

Note biografiche degli autori

Carlo Biagini, ricercatore in Disegno presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze, svolge attività di ricerca nel campo del rilevamento, recupero e conservazione dell'architettura storica e moderna. Docente di Disegno e Tecniche di Rappresentazione nel Corso di Laurea in Scienze dell'Ingegneria Edile è impegnato nella didattica assistita dagli strumenti dell'IT; nell'ambito del programma "Azione per l'innovazione didattica 2000" promosso dall'Ateneo fiorentino, ha coordinato il progetto: "Information Technology nella didattica del progetto".

Francesca Ceccaroni è laureata in Lettere presso l'Università "La Sapienza" di Roma. Master in "Gestione e Comunicazione dei Beni culturali"- Scuola Normale Superiore di Pisa, collabora dal 1997 presso la menci software srl (MS) di Arezzo. Tra i principali progetti a cui partecipa vi è il Piano Nazionale di Ricerca Parnaso: "*Ricerche e sviluppi di Sistemi innovativi di Indagine e Diagnosi Assistita*". Interviene ai maggiori convegni ed incontri tecnico-scientifici, tra cui: A.S.I.T.A., I.S.P.R.S., Restauro, SAIE, SMAU. MS vanta rapporti di collaborazione nella ricerca scientifica con i più importanti istituti universitari italiani.

Marco Gaiani professore associato di Disegno presso la Facoltà del Disegno Industriale del Politecnico di Milano, si è impegnato, nell'ultimo decennio, nello studio e nell'ottimizzazione di metodi e sistemi per il rilievo e la documentazione multimediale dell'architettura, storica e moderna, delle opere di interesse archeologico e della scultura. È autore di numerosi scritti sulla rappresentazione e il rilievo apparsi in varie riviste, da "Casabella" a "Paesaggio Urbano", da "Disegnare" a "Parametro", da "Storia Urbana" a "IEEE Multimedia", e figurano negli atti di molti convegni: da VSMM '98 e 2000 a 3D Digital Imaging Workshop '99, a Eurographics '99 e 2000.

Marco Masera, architetto, dottore di ricerca in ingegneria edile con una tesi sull'applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale alla pianificazione dei processi edilizi, svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile di Pisa, sull'applicazione della tecnologia dell'informazione alla gestione dei progetti di costruzione e allo sviluppo di sistemi tutoriali.

Saverio Mecca, professore di Produzione edilizia presso l'Università della Calabria e dal 1999 professore di Architettura Tecnica presso l'Università di Pisa, è specializzato in "construction management" e nell'applicazione di

metodi e strumenti innovativi di gestione di processi costruttivi. In particolare ha condotto ricerche su metodi e tecniche di gestione della qualità, sul rischio tecnico nei progetti di costruzione, su sistemi di e-learning per il “construction management”.

Luca Menci è laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Firenze. Titolare di numerosi brevetti industriali fin dal 1982, è amministratore unico dal 1996 della menci software srl (MS), azienda leader per la progettazione e lo sviluppo di strumentazione e software per la fotogrammetria digitale. È socio fondatore e presidente di Vectar srl, azienda impegnata nella produzione di software applicativo per la fotorestituzione bidimensionale di immagini digitali. MS è partner esclusivo di Nikon Instruments per la fotogrammetria digitale. È autore di numerose pubblicazioni specialistiche. Partecipa a livello aziendale e personale a numerosi progetti nazionali con partner pubblici e privati.

Alfredo M. Ronchi insegna “Progettazione Edile Assistita”, “Editoria Multimediale” (Politecnico MI) ed “Algoritmi e Strutture Dati” (Univ. Statale DSI), ricopre la carica di segretario generale dell'agenzia “MEDICI” - EC DGXIII Multimedia Access to Europe's Cultural Heritage, siede nel comitato direttivo del progetto “MOSAIC - methods and tools to create and maintain virtual museums”, è membro del Consiglio Scientifico della Fondazione Italiana dei Nuovi Media, di OCCAM UNESCO, consulente della Direzione Cultura del Consiglio d'Europa, esperto valutatore della Commissione Europea (Telematics, IST, TEN) e del CNR.