

## TEORIE PER RAPPRESENTARE E COMUNICARE I SITI ARCHEOLOGICI ATTRAVERSO MODELLI CRITICI

*Marco Gaiani<sup>a</sup>, Benedetto Benedetti<sup>b</sup>, Fabrizio Ivan Apollonio<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Dipartimento DAPT – Alma Mater Studiorum Università di Bologna ([marco.gaiani@unibo.it](mailto:marco.gaiani@unibo.it); [fabrizio.apollonio@unibo.it](mailto:fabrizio.apollonio@unibo.it))

<sup>b</sup>Scuola Normale Superiore - Pisa ([b.benedetti@sns.it](mailto:b.benedetti@sns.it))

### Abstract

Lo sviluppo delle tecniche di modellazione ha scardinato lo schema concettuale che ha sempre considerato la figurazione come un semplice attributo e/o parte del sistema conoscitivo. Tali progressi permettono ora di focalizzare l'attenzione sull'impiego di modelli digitali 3D come matrice e nucleo aggregativo dei sistemi informativi, in grado di permettere, da un lato, un facile accesso a strutture di dati estremamente complesse e, dall'altro, una costante guida dell'utente attraverso informazioni tipologicamente eterogenee.

Questo articolo descrive un sistema informativo su web messo a punto con l'obiettivo di rendere disponibile su una piattaforma 3D GIS modelli tridimensionali di reperti archeologici ottenuti dal reale e con un dettaglio tipico della scala architettonica. All'interno dei siti di complessi archeologici vasti e complessi, i diversi tipi di artefatti devono essere modellati da differenti operatori, usando differenti metodologie e tecnologie ed elaborati in tempi e luoghi differenti; da tutto ciò scaturisce la necessità che i metodi per costruire i modelli 3D devono essere definiti a-priori, condivisi in maniera ampia e verificati a-posteriori.

Il caso di studio riguarda il sito di Pompei, all'interno di un progetto di cooperazione con la Soprintendenza di Pompei, finalizzato alla realizzazione di un archivio in grado di rendere disponibile la lunga storia di quell'area archeologica, la cui stratificazione storica porta indietro fino al 1738.

I punti principali del progetto sono: (a) l'intero sistema informativo è accessibile via web e collegato ad GIS che permette la mappatura completa delle informazioni; (b) sono stati sviluppati differenti approcci conoscitivi e percettivi all'interno della matrice complessiva al fine di consentire l'accesso al patrimonio di informazioni che risale fino alla scoperta di Pompei; (c) sono stati definiti standard metodologici e tecnici con l'obiettivo di proporre linee guida comuni per la realizzazione di modelli 3D di un'area archeologica; (d) è stato reso possibile un impiego scientifico della modellazione tridimensionale quale strumento di supporto alle attività di scavo e per la conservazione dei dati per il progetto di un "sistema conoscitivo"; (e) i modelli digitali dei reperti archeologici sono collegati al loro insieme di informazioni eterogenee attraverso un sistema semantico di suddivisione e organizzazione degli elementi che li compongono e dei dati ad essi collegati.

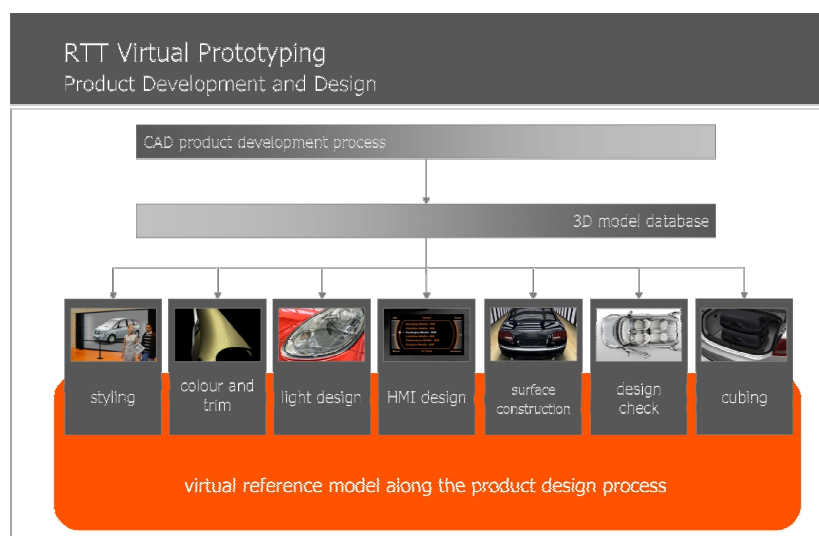
### 1. Introduzione

La generazione del sistema 'prodotto' - inteso nella più ampia accezione possibile - e la sua gestione durante tutto il suo *lyfecycle*, dalla concezione alla sua messa in obsolescenza e smaltimento sono guidati, nella società odierna, da due importanti concetti: 'informazione' e 'comunicazione'.

Sistema e processo comunicativo e informativo costituiscono, ormai, un elemento nodale imprescindibile al punto tale che l'intero sistema economico, gestionale e produttivo tende sempre più ad aumentarne il peso a scapito di altri fattori che da sempre hanno caratterizzato la progettazione e la vita di ogni sistema 'prodotto'.

Significativo è il fatto che le grandi case automobilistiche stiano progressivamente smantellando aree della progettazione da sempre fulcro del processo creativo del veicolo, come l'ufficio calcoli, a favore di assetti in cui il progettista è obbligato a comunicare il suo lavoro (agli altri membri del team di progetto, ai responsabili del marketing, alla direzione aziendale, spesso a potenziali acquirenti, ecc.) in forma continuativa e per tutta la durata del processo progettuale fino alla messa in strada della prima vettura e alla sua immissione sul mercato e, più tardi, a chi dovrà occuparsi della sua manutenzione.

Oggi, in ogni campo della vita quotidiana e quindi anche in quelli più vicini a noi dei Beni Culturali e in particolare dell'archeologia vi è un incredibile fiorire di sistemi informativi che raccolgono e rendono disponibili, anche su Internet, le più svariate informazioni sui più disparati aspetti. Le applicazioni odierne, inoltre, permettono di combinare grandi quantità di dati e analizzarle in modo relazionale ed in combinazione con altre sorgenti di informazioni<sup>1</sup>.



**Figura 1:** Utilizzo di visualizzazione di modelli 3D come sistema comunicativo lungo tutto il processo di progetto di una autovettura (Fonte: [www.rtt.ag](http://www.rtt.ag))

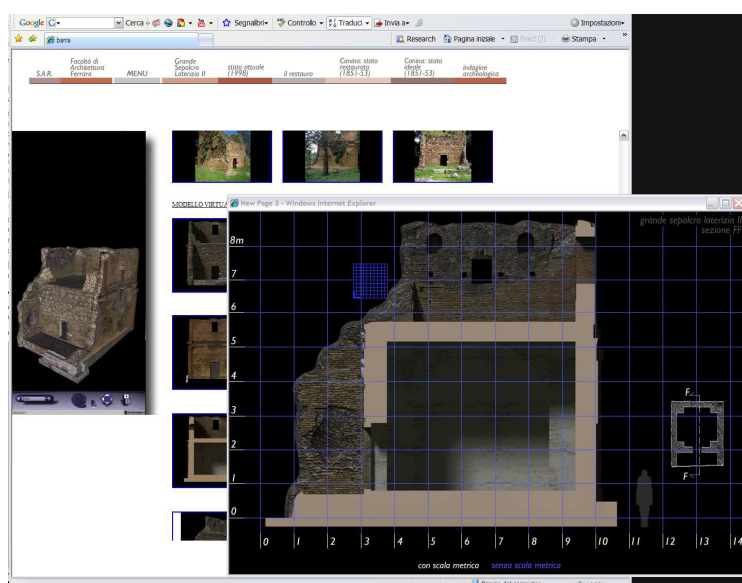
Tuttavia, in tale settore non vi sono oggi – a dispetto di una serie di sforzi certamente fatti negli ultimi anni - chiari standard relativi ai dati, mentre vi sono, in maniera abbastanza frequente, problemi di incompatibilità di formati quando i record sono già digitalizzati. Tutto questo rende difficile o impossibile analizzare database di origine differente, anche se i contenuti sono simili, quando potrebbe essere assai vantaggioso compararli fra loro. A ciò si aggiungano frequenti problemi di obsolescenza del software che spesso rendono i dati non

riutilizzabili e problemi legati alla necessità d'uso della base dati per finalità differenti rispetto a quelle originali per capire che i dati devono essere sufficientemente dettagliati per rispondere alla domanda degli utenti più avanzati, ma anche in formati tali da poter essere adattati ai differenti utenti e poter essere interrogati in modo semplice<sup>ii</sup>.

Sempre con riferimento al nostro campo d'interesse, il crescente numero e la varietà di informazioni complesse rende poi l'approccio visuale una necessità per la creazione dei sistemi informativi e per la loro comunicazione.

Le tecniche di visualizzazione possono essere classificate a seconda che i dati utilizzati siano basati su sistemi 2D o 3D. Oggigiorno sono di solito impiegate tecniche di visualizzazione bidimensionali, ma quando una grande quantità di dati deve essere presentata in uno spazio limitato, la visualizzazione in 2D introduce un sovraccarico cognitivo tale da ridurne fortemente l'usabilità.

E poiché - come ha chiaramente spiegato Abraham Moles ancor prima della nascita dell'informatica della seconda generazione - “la quantità delle informazioni relativa aumenta a dismisura facendo ricorso a forme descrittive di livello d'iconicità più basso rispetto all'originale; per tutto ciò che è intrinsecamente tridimensionale come una vettura, una casa, ma anche una città, un territorio o un sito archeologico, la rappresentazione per modelli 3D aiuta a migliorare non solo la visualizzazione, o la conservazione delle informazioni, ma soprattutto la loro definizione, semplificando l'organizzazione e integrando la restituzione con un sistema di dati conoscitivi”<sup>iii</sup>.



**Figura 2:** Sistema Informativo 3D: La via Appia Antica: Archeologia/Restauro (Fonte: OFF-Officina Infografica, Facoltà di Architettura di Ferrara,1998-99)

Uno specifico indirizzo di ricerca, condotto negli ultimi anni, ha focalizzato l'attenzione sull'impiego di modelli 3D digitali come matrice e nucleo aggregativo del sistema informativo, attraverso esperienze che non si limitano a sostituire la tradizionale visualizzazione proiettiva con quella iconica, bensì scardinando lo schema concettuale che ha sempre considerato la figurazione come un semplice attributo e/o parte del sistema conoscitivo<sup>iv</sup>.

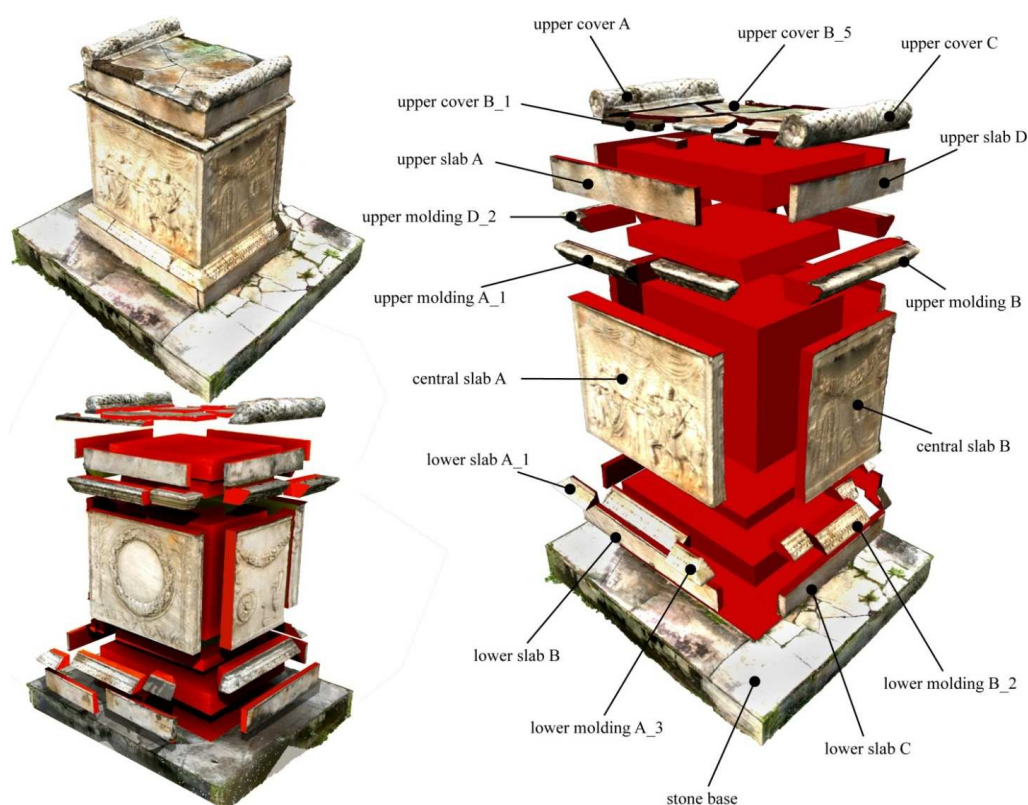
Il modello digitale tridimensionale di un qualsivoglia oggetto non è, infatti, più un corpo unico osservabile da più punti di vista, ma un organismo composto di varie parti, ciascuna delle quali rappresentabile in vari modi e dotata di vari attributi (geometrici, materici, compositivi, costruttivi), a seconda di ciò che si debba 'vedere' e di che cosa dobbiamo leggere e interpretare.

L'impiego di tecniche di modellazione ha così permesso di introdurre nuovi concetti rappresentativi per i sistemi informativi dalla scala dell'oggetto (PLM - *Product Lifecycle Management*), alla scala del territorio (GIS - *Geographic Information System*), passando per quella architettonica (BIM - *Building Information Model*). Nati per fornire una soluzione esaustiva al problema della documentazione del progetto e alla sua gestione nel tempo, l'idea guida che ne è alla base è quella dell'utilizzo del concetto di 3D database come strumento operativo e si fonda sul fatto che un modello digitale può essere visto come un vasto, ordinato sistema conoscitivo di informazioni spaziali, modificabile e implementabile nel tempo.

Un modello 3D è, per propria natura, un'interfaccia altamente intuitiva di un sistema informativo che lo descriva con altri mezzi (testi, immagini, disegni 2D, suoni, filmati), cosicché un'ampia gamma di strumenti permette una navigazione attraverso cui realizzare un facile accesso a strutture di dati estremamente complesse e una costante guida dell'utente attraverso informazioni tipologicamente eterogenee, dalla scala del singolo edificio fino a quella geografica. Il metodo di indicizzazione può variare da semplici mappe con *hyperlink* fino a complessi sistemi di navigazione 3D *real-time* come Google Earth.

È possibile notare, infine, come una delle ragioni per cui l'archiviazione dei dati è oggi divenuta argomento centrale nel campo dei Beni Culturali è che lo scopo del digitale in questo settore ha continuato ad espandersi. Negli anni Settanta del secolo scorso, gli sforzi iniziali sono stati rivolti all'accesso remoto a intestazioni bibliografiche di artefatti appartenenti ai Beni Culturali, soprattutto tramite cataloghi di biblioteche e musei. Tra il 1980 e il 1990, la ricerca si è ampliata per includere immagini dei contenuti, come versioni

digitali dei dipinti, interi testi di manoscritti e libri, monumenti, siti e, in alcuni casi, anche intere città.



**Figura 3:** Pompei: Reperto Altare con rilievo in marmo nel Santuario del Genio di Augusto. Modellazione semantica ed elementi compositivi

L'enfasi iniziale era posta sulla digitalizzazione di manifestazioni della cultura intese come artefatti isolati, ma presto, al pari di quanto è avvenuto in altri ambiti disciplinari, la domanda è divenuta quella di ricontestualizzare questi oggetti, di relazionarli tra loro come risultato di diverse teorie estetiche, filosofiche, sociologiche e psicologiche. Per tale motivo attualmente, un punto nodale è quello delle modalità di connessione delle informazioni. Strettamente connesse a queste ricerche vi è inoltre la ricontestualizzazione delle espressioni culturali con le informazioni spaziali ed architettoniche, nel frattempo cresciuta in padronanza e in qualità visiva.

Complessivamente si può affermare che non si tratta più semplicemente della disponibilità di mezzi in grado di velocizzare processi già codificati (come inteso dall'ipotesi della prima informatizzazione ad esempio mediante la rappresentazione del progetto con i sistemi CAD), ma di una vera e propria rivoluzione che consente di valutare quantitativamente ciò che prima

era valutato solo qualitativamente nonché di rendere visivo e continuo ciò che prima era campionato e numerico.

In tale contesto un'opportuna considerazione sta nel fatto che i computer – intesi in un'accezione ampia - introducono la possibilità di *media* intercambiabili. I computer offrono nodi plurimi di accesso ad un dato termine od oggetto, abilitando un approccio multidimensionale alla conoscenza su più livelli. A questo proposito, Kim Veltman ha ricostruito nel 1993 una scala di dieci livelli e tipi di conoscenza con nomi non-letterali. Nel rappresentativo digitale, questa scala è speculare a quella che Abraham Moles propose quasi vent'anni prima per l'analogico, con 13 gradi d'iconicità (a partire dall'oggetto in sé fino al grado zero rappresentato da una descrizione verbale)<sup>v</sup>. In entrambe, l'identità è la massima espressione dell'iconicità, e l'illusione della somiglianza percettiva, tipicamente prodotta in diversi modi dal modello in scala e dal segno pittorico, è altrettanto vicina ad una situazione in cui l'iconicità è priva d'identità.

Un'ulteriore considerazione: i computer consentono una visualizzazione modificabile in tempo reale dietro sollecitazioni dell'osservatore. 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 al fine di percepirne il movimento. Fino a poco tempo fa, le animazioni (analogiche o digitali) potevano essere solo registrate *a-priori* e poi visualizzate in *playback* tramite qualche dispositivo d'archiviazione audio/video. Le attuali potenze computazionali e grafiche consentono, viceversa, di animare un modello 3D renderizzato in tempo reale. Ciò permette 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, dunque, il trasferimento dell'intera possibilità di restituzione non più ad una forma codificata e ai 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.

In questa direzione, qualche anno addietro, un gruppo di ricerca coordinato da uno degli autori ha ricostruito una scala di iconicità che tiene conto anche delle tecniche digitali che permettono di interagire con modelli e ambienti visualizzabili in tre dimensioni e di

rappresentazione in tempo reale, modificando proprietà dell'oggetto e posizione dell'osservatore nello spazio e nel tempo secondo non modalità pre-definite (le tradizionali tecniche di rappresentazione e quelle pre-calcolate della prima e seconda generazione del digitale), ma richieste *on-demand* dall'utente<sup>vi</sup>.

In definitiva, potenzialmente, la visualizzazione digitale rappresenta un cambiamento fondamentale nel nostro modello conoscitivo dei Beni Culturali: nel modo di acquisire e visualizzare le immagini di libri, dipinti, oggetti museali; nel modo di archiviare questi artefatti; nel modo di illustrare la conoscenza<sup>vii</sup>. Essa cambia radicalmente il modo con cui navigare attraverso il nostro *corpus* conoscitivo, insegnandoci non solo a riesaminare i fatti ma anche a riconoscere e creare nuove relazioni tra essi. Inoltre, apre una serie di questioni che costituiscono altrettante possibilità di temi da sviluppare e da investigare.

Complessivamente si può affermare che non si tratta semplicemente della disponibilità di mezzi in grado di velocizzare processi già codificati, ma di una vera e propria rivoluzione che consente di valutare quantitativamente ciò che prima era valutato solo in maniera qualitativa, nonché di rendere visivo e continuo ciò che prima era campionato e numerico.

Più in generale, la visualizzazione digitale rende attivabili tipi di indagini finora assolutamente impensabili nei campi dell'archiviazione e consultazione dati (disegni, fotografie, testi, dati quantitativi), dell'analisi spaziale, della verifica di progetti non realizzati, ecc.; fornisce la capacità di lettura integrata dei vari tipi di dati e, tramite Internet, la consultazione in tempo reale di differenti archivi a partire da un unico desktop sostituendo al movimento dello studioso quello dell'informazione; infine rende banali operazioni solitamente macchinose e/o che richiedono ampio spazio fisico, come il tipico strumento dell'esperto in arti visive, cioè l'analisi comparativa.

In definitiva la visualizzazione digitale propone, da più punti di vista, una ridefinizione del concetto stesso di rappresentazione così come è venuto definendosi attraverso due millenni e che, già presente nella schematizzazione proposta da Vitruvio per l'architettura, troviamo compiutamente enunciato dal nucleo della teoria di Leon Battista Alberti, per essere ripreso dalla Rivoluzione illuminista e, in questa rielaborazione, applicato al campo della progettazione industriale e allo studio delle rovine antiche.

**Tabella 1:** Relazione tra strumenti, software, e modalità di visualizzazione in funzione dei livelli di percektività (Fonte: Ceconello, 2003)

INTERAZIONE	SOFTWARE	VISUALIZZAZIONE	DIMENSIONE	IMMERSIVITA'	PERCETTIVITA'	PRODOTTO - APPLICABILITA'	
MOUSE + TASTIERA	VIDEOSCRITTURA	MONITOR	2-D	0	0	TESTO	
	STRUM. OFFICE				1	SCHEMI, GRAFICI, DIAGRAMMI	
	PAINT - FOTORITOCOCO				2	IMMAGINI	
3					DISEGNI		
TABLET + PENNA	CAD		4		PICCOLI OGGETTI IN SCALA, STUDIO E VERIFICA INDIVIDUALE		
	MODELLATORI		5				
MOUSE 3 TASTI + TASTIERA	SOFTWARE VR	MONO	3-D	1	6	MODELLI DI MEDIA GRANDEZZA, POSSIBILITA' DI INTERAZIONE COLLABORATIVA	
MOUSE 4D JOYSTICK				TAVOLI DA PROIEZIONE	2		
				SCHERMI PORTATILI	3		
WAND		CADWALL		4	7	8	GRANDI MODELLI IN SCALA 1:1, TERRITORIO, BENI CULTURALI
		CAVE		5	9	9	RICOSTRUZIONI AMBIENTI, INTERNI
		HMD		6	10	10	AMBIENTI, AUGMENTED REALITY SENZA INTERAZIONE CON ALTRI UTENTI

2. *Un framework per l'utilizzo di modelli 3D come sistema informativo e comunicativo*

I modi convenzionali per conservare e restituire i dati formali e di qualità superficiale del costruito 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, giacché in esso il perduto e l'interpretato sono sempre preponderanti sul dato oggettivo. Il reale, infatti, viene trasmesso per episodi discontinui atti a ricostituire, sempre in modo discreto e solitamente in forma astratta, l'intero complesso. Per cui la ricostruzione del mancante si serve di processi mentali interpolativi, che, oltre ad essere certamente almeno in qualche modo soggettivi e legati alla singola esperienza, cercano di ripristinare in forma continua una discontinuità che tuttavia si porta con sé l'eliminazione di quanto esiste tra due fotografie consecutive, come sarebbe quando si procedesse all'eliminazione in modo casuale della maggior parte dei fotogrammi in un film di animazione<sup>viii</sup>. E ciò è tipico anche di tutta l'informatica precedente l'era del *visual computing*. Nel caso dei sistemi digitali, infatti, sono sempre stati impiegati motori di ricerca testuali per ricercare contenuti architettonici in Internet. Tuttavia, sebbene essi risultino molto efficaci per sistemi ancora testuali, le loro capacità degradano rapidamente con i dati 3D e multimediali. E poiché ricercare parole è una



funzionalità assai più semplice che ricercare immagini, modelli 3D o suoni, la maggior parte dei sistemi di ricerca è ancora a base testuale.



**Figura 4:** Il progressivo arricchimento del livello di complessità dell'informazione

Va ad acuire la problematica, infine, il fatto che ogni intervento classificatorio realizzato finora ha portato di solito alla frammentazione del 'corpus' originario in più parti separate, così che è assai difficile ricostruire l'intero. Ne è tipico caso la separazione dei disegni dalla pratica edilizia. È per questo motivo che, spesso, ci risulta difficile la lettura dell'accaduto e la sua ricostruzione a fini propositivi.

All'interno di questo quadro appare un avanzamento fondamentale la possibilità di accedere a metodi di lettura-scrittura capaci di evitare la perdita del continuo e di creare sistemi di aggregazione dei dati capaci di renderli quanto più possibili accorpabili e facilmente trasferibili.

In tempi recenti il campo dei Beni Culturali ha cercato di fornire una prima risposta a questo problema facendo largo uso di metodi computazionali e di "metadati". Questo termine significa letteralmente "dati sui dati" o, con un'accezione più ampia, "la somma totale di ciò che si può sapere in merito ad ogni oggetto informativo, ad ogni livello di aggregazione". I metadati descrittivi, in particolare, forniscono la descrizione di categorie semantiche a partire da dati eterogenei: un tentativo di descrivere le proprietà essenziali di altri dati digitali discreti di specifica di un oggetto<sup>ix</sup>. Tuttavia, il termine "metadati" è utilizzato ubiquamente e interpretato in modo diverso dalle varie comunità professionali che progettano, creano, descrivono, preservano, ed utilizzano sistemi informativi. Negli ultimi anni vi è stata una proliferazione di vari tipi di metadati, che ha comportato il problema dell'assenza di standard e dell'interoperabilità tra sistemi con schemi di metadati diversi. Un noto esperto di sistemi

bibliotecari è arrivato a predire come, tra non molto, il concetto di record di metadati verrà sostituito da “borderless network of related entities”<sup>x</sup>.

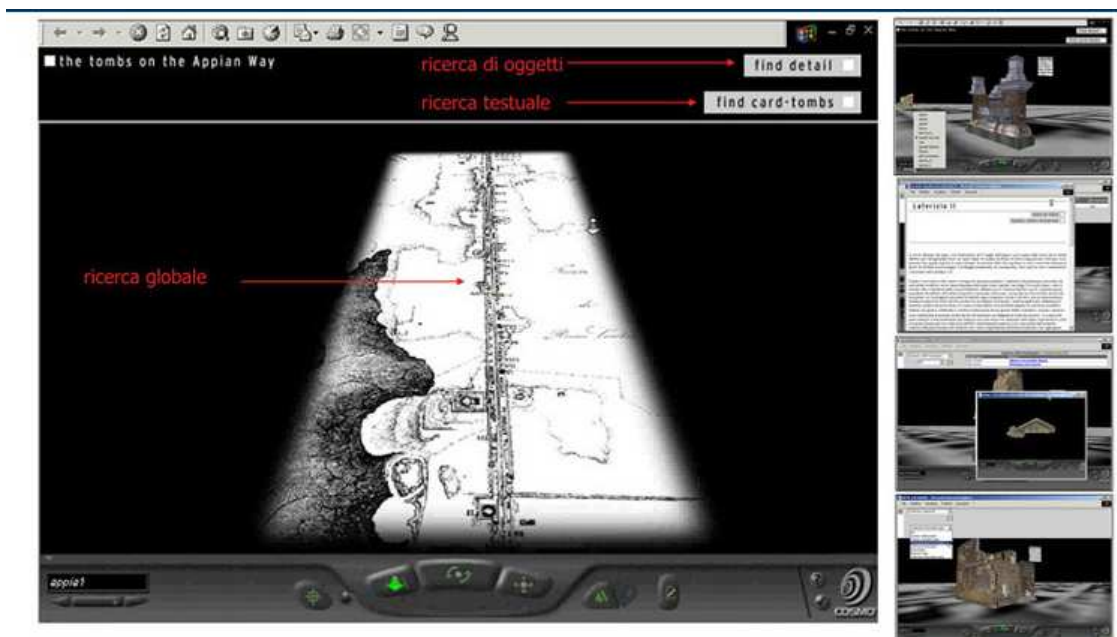
Oltre alle note possibilità offerte dai sistemi di visualizzazione di mondi virtuali, un potente strumento che offre il paradigma digitale in questo campo è il concetto di 3D database. Per l’architetto – un operatore abituato a ragionare innanzitutto in termini spaziali –, ma anche per l’archeologo, questo rappresenta un grande balzo in avanti: il passaggio dalla formazione di database testuali a quello di database visuali, con possibilità ipermediali e multimediali, permette di avere a disposizione strumenti capaci di riunire ed integrare una grande quantità di dati eterogenei e di renderli disponibili in forma intuitiva, oltretutto logica<sup>xi</sup>.

Un potente strumento che offre il paradigma digitale in questo campo è il già citato concetto di 3D database. La costruzione di un 3D database per la conservazione del patrimonio architettonico è un problema veramente complesso, che richiede competenze sia nel campo della formazione dei GIS, sia dei metodi di acquisizione archivistica, sia di rilievo e modellazione 3D di manufatti appartenenti al patrimonio culturale e architettonico, che nello sviluppo di database visuali, che del restauro dei monumenti.

Come è noto, GIS è l’acronimo di Geographical Information System, cioè di applicazione per gestire dati geografici. Un’efficace definizione è quella data da Burrough e McDonnell, che descrivono un Geographical Information System come un sistema digitale formato da hardware, software, dati e applicazioni<sup>xii</sup>. Il sistema serve per acquisire e modificare dati spaziali, per archiviare, mantenere, analizzare e presentare questi dati in una forma alfanumerica e/o grafica. Sebbene il nostro mondo e gli oggetti situati in esso siano tridimensionali, i GIS commerciali solitamente riducono i dati spaziali a una proiezione in due dimensioni. Una delle ragioni principali di questa riduzione è la complessità di un’implementazione di GIS completamente tridimensionale.

Ogni GIS dovrebbe essere, infatti, in grado di fornire informazioni in merito a fenomeni geo-spaziali. Le funzionalità che ogni GIS dovrebbe fornire sono, infatti<sup>xiii</sup>:

- acquisizione
- strutturazione
- manipolazione
- selezione e analisi
- presentazione e navigazione.



**Figura 5:** 3D GIS. La via Appia Antica: Archeologia/Restauro

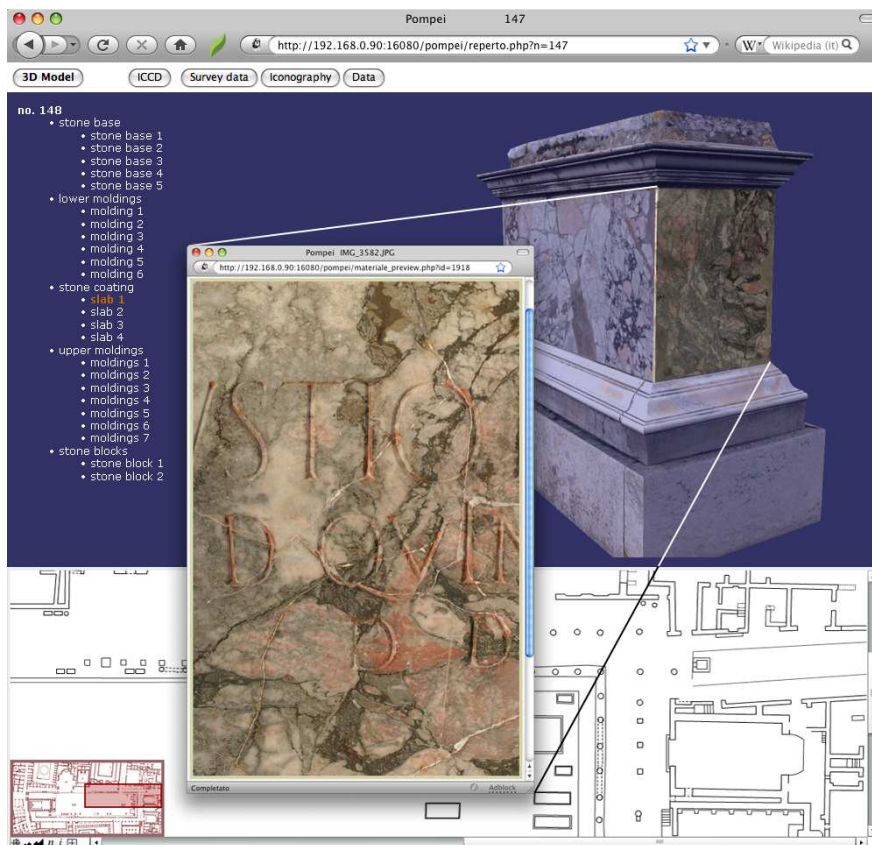
Idealmente, un sistema GIS 3D dovrebbe avere le stesse funzionalità di un GIS 2D. Tuttavia, molte funzionalità non sono disponibili a causa di vari impedimenti causati da problemi associati con strutture dati spaziali, modelli di dati spaziali, e relazioni di dati spaziali, ad esempio la topologia<sup>xiv</sup>. L'aggiunta della terza dimensione non è una semplice estensione di una dimensione su un sistema GIS 2D, ma implica problemi che riguardano vari aspetti del GIS, compreso un differente concetto di modellazione, rappresentazione e aspetti di strutturazione dei dati.

Comparato con un GIS 2D, le caratteristiche più rimarchevoli sono certamente la possibilità di visualizzazione fotorealistica, un'interfaccia dotata di livello di iconicità più elevato, una migliore informazione spaziale. Inoltre, utilizzando un GIS 3D è possibile ridurre la quantità di informazioni testuali già contenute nella visualizzazione 3D-interfaccia. Per questo, i software GIS in grado di gestire dati 3D reali sono assai rari (i DTM sono, infatti, in realtà nient'altro che sistemi 2.5), e nessun sistema commerciale è in realtà un vero ed efficiente GIS tridimensionale. Tutti i sistemi rivelano scarsa dotazione di funzionalità GIS 3D in termini di strutturazione, manipolazione e analisi. Sebbene il problema sia stato affrontato da vari ricercatori<sup>xv</sup>, altri aspetti necessitano ulteriori studi, per la sostanziale immaturità e macchinosità dei risultati. Lavori successivi hanno affrontato il problema e proposto alcune soluzioni<sup>xvi</sup>.

Le difficoltà nella realizzazione di un 3D GIS possono essere riassunte in cinque punti:

- *Formazione del modello concettuale*: generalmente le strutture dati 2D e 3D esistenti presentano carenze nella rappresentazione spaziale degli oggetti. I dati spaziali possono essere modellati in modi differenti. Il modello concettuale 3D integra informazioni sulla semantica, la geometria 3D e le relazioni spaziali 3D (topologia) e fornisce i metodi per descrivere oggetti reali e le relazioni spaziali tra essi<sup>xvii</sup>.
- *Acquisizione dei dati*: un punto focale nello sviluppo di sistemi GIS 3D è la definizione delle tecniche per archiviare, manipolare e visualizzare dati 3D. Tecniche più appropriate consistono nella ricostruzione di geometria e texture a partire da immagini fotografiche e/o immagini tridimensionali ottenute con tecniche di scansione laser<sup>xviii</sup> ed infine la gestione del database e la visualizzazione dei dati 3D. Nonostante alcuni tentativi interessanti di rilevamento automatico degli oggetti e ricostruzione 3D<sup>xix</sup>, il lavoro manuale rimane predominante<sup>xx</sup>.
- *Analisi spaziale*: le relazioni spaziali sono il fondamento di un vasto gruppo di operazioni proprie dei sistemi GIS, come inclusione, adiacenza, direzione, intersezione, connettività, e la loro descrizione appropriata, nonché il mantenimento sono inevitabili. Similmente alle varianti 2D, i sistemi GIS 3D dovrebbero essere capaci di realizzare misure (distanza, lunghezza, area, volume, ecc.), operazioni logiche (intersezione, unione, differenza), generalizzazione, *buffering*, e operazioni di *merging*. Eccetto che per operazioni metriche, la maggior parte di esse richiede una conoscenza delle relazioni spaziali basata su un insieme di nozioni di carattere topologico<sup>xxi</sup>.
- *Visualizzazione, navigazione, interfaccia utente*: la visualizzazione 3D richiede di affrontare specifiche tematiche, come l'appropriatezza dei mezzi per visualizzare i risultati di analisi spaziali 3D, l'individuazione degli strumenti che permettono di navigare ed esplorare grandi modelli in *real-time*. Inoltre risulta importante l'individuazione di specifiche funzioni degli oggetti, cioè del loro comportamento, inteso come strumento per passeggiare entro il modello, esplorare particolari fenomeni, e migliorare la percezione cognitiva<sup>xxii</sup>.
- *Accesso Internet*: il Web presenta una notevole capacità di migliorare l'accessibilità a informazioni spaziali 2D (mappe raster o vettoriali) collocate in differenti computer in Internet. Studi su metodi di ricerca spaziale e visualizzazione 3D hanno portato alla costruzione di vari prototipi<sup>xxiii</sup>. I criteri di progettazione, tuttavia, riguardano più la visualizzazione che l'analisi spaziale. I lavori di ricerca di Pilouk, Zlatanova e Abdul-Rahmans, viceversa, tentano di concentrarsi sui possibili usi di varie strutture dati e la

costruzione di queste strutture dati, lo sviluppo di un database a partire da dati spaziali e la loro implementazione in forma di un software con componenti 3D GIS.



**Figura 6:** 3D GIS. Pompei. Reperto 148

Relativamente a questi 5 punti ci interesseremo qui solo della fase di acquisizione dati, condotta tuttavia nell'ottica di un pre-determinato *framework* che porta alla realizzazione dell'intero sistema.

I modelli geometrici costituiscono una parte rilevante di un GIS 3D. Sebbene le tecniche di generazione di modelli tridimensionali siano largamente e ampiamente conosciute per le applicazioni tipo CAD, esse sono state implementate solo recentemente e in modo parziale nei sistemi GIS. Peraltro, per tenere conto delle condizioni speciali dei GIS, i modelli dei dati devono essere adattati. Un geo-oggetto (vale a dire un modello 3D GIS-*friendly*) consiste in un insieme di dati tematici, geometria, topologia e *texture*. Attributi grafici, *texture* e dati geometrici sono visualizzati in ogni vista; mentre le interrogazioni geometriche fanno uso solo della geometria. Un problema fondamentale in questo ambito sta nella necessità di una struttura topologica sufficientemente robusta da permettere la possibilità di analisi spaziali.

L'informazione topologica è importante poiché descrive le relazioni spaziali come inclusione, adiacenza, e connettività tra i geo-oggetti.

Obiettivo primario è quindi sviluppare una struttura dati topologica adeguata. In questo intento, l'operazione di base al fine di conservare congruenza tra dati visualizzati e dati contenuti nel database, è stata quella di ottenere i geo-oggetti impiegando i modelli CAD realizzati come rilievo dell'oggetto.

La seconda problematica è quella della messa a punto di una metodologia per la generazione di modelli 3D restituzione d'oggetti o architetture esistenti dotati di accuratezza non solo visiva, ma anche metrica e di fedeltà del colore.

### 3. *Il modello critico Sistema Informativo Unificato della Soprintendenza Archeologica Pompei*

ARCUS s.p.a., Scuola Normale Superiore di Pisa e Soprintendenza Speciale per Beni Archeologici di Napoli e Pompei hanno avviato un percorso a partire dal 2005 regolato da due successive convenzioni destinato a portare a un nuovo livello il sistema informativo e comunicativo che soprasiedono al sito archeologico di Pompei.

Una prima convenzione ha prodotto il *Sistema Informativo Unificato* (SIU) per la Soprintendenza, un sistema *web-based* per la catalogazione e l'archiviazione che gestisce schede di catalogo, documentazione in vari formati: immagini, testi, audio-video; oltre a dati geografici. Il sistema è stato realizzato da SNS in collaborazione con Sistemi Informativi Liberologico S.r.l.<sup>xxiv</sup>.

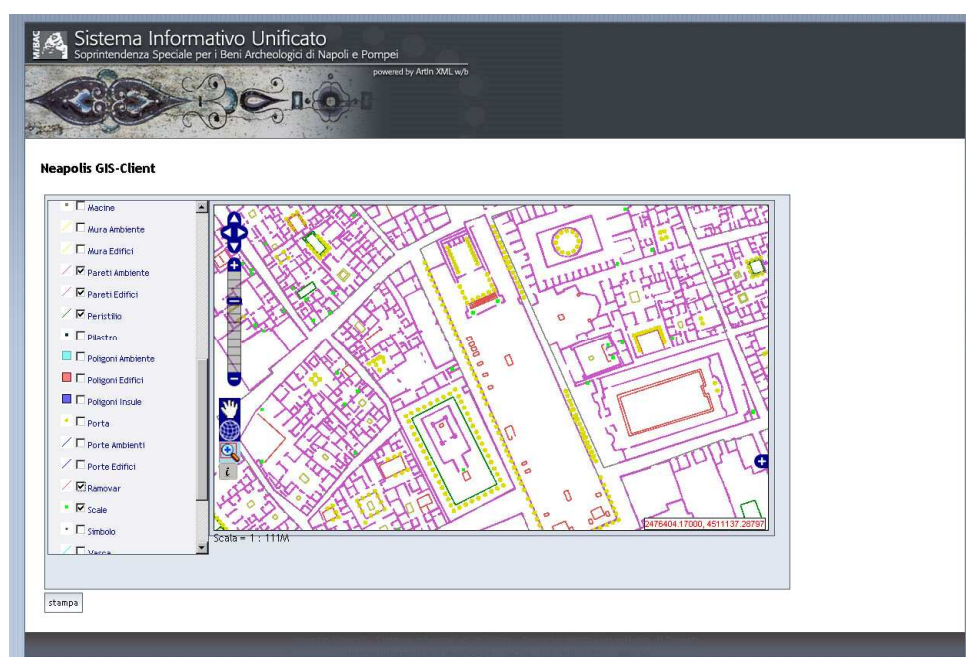
Una seconda convenzione sta producendo un sito web sull'archeologia vesuviana e la definizione di buone pratiche per acquisizione dei dati e realizzazione di prodotti 3D su cui basare la prossima versione del SIU.

Il nostro contributo è riferito proprio a quest'ultima parte e mira a definire i caratteri metodologici che compongono la soluzione adottata al fine di rendere il Sistema Informativo Unificato della Soprintendenza Archeologica Pompei un vero e proprio sistema a carattere 3D in grado di fornire un *framework* uniforme per la visualizzazione scientifica, l'integrazione effettiva, la presentazione *web-based* di insiemi di dati eterogenei spazio-temporali capace di facilitare interpretazione, esplorazione e analisi di grandi volumi di dati con significative caratteristiche geo-spaziali, temporali e semantiche.

Questo lavoro si propone come un segnale: i percorsi dell'accumulo e della restituzione resi possibili dal digitale sulle nostre basi dati, e la capacità di introspezione al loro interno, stanno 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.

D'altra parte le differenti attività di ricerca, scavo, conservazione e manutenzione, ma anche di risistemazione per i visitatori hanno generalmente prodotto per le aree archeologiche dell'area vesuviana una grande quantità di dati e di informazioni, scientifiche, tecniche ma anche concernenti la manutenzione ordinaria e straordinaria. Viceversa uno sviluppo assai più limitato vi è stato nel campo nella gestione generale dei siti archeologici e dei complessi monumentali e quindi degli archivi storici 'pertinenti', scientifici, tecnici, organizzativi in cui organizzare *in progress* tutte le precedenti e le nuove informazioni e dati. In altre parole vi è una carenza di interesse scientifico ed analisi sullo sviluppo storico e culturale di un sito archeologico che focalizzi sulla sua evoluzione<sup>xxv</sup>.



**Figura 7:** Pompei: Sistema Informativo Unificato. Finestra di dialogo (Fonte: Soprintendenza Archeologica Pompei, Scuola Normale Superiore, Sistemi Informativi Liberologico S.r.l)

Pertanto il progetto si propone di documentare e ricostruire questa evoluzione storica attraverso una serie di archivi digitali dedicati di documenti testuali e visivi, ma soprattutto di sistemi georeferenziati e modelli 3D per offrire un supporto alla massa delle informazioni disponibili.

In questo contesto i requisiti fondamentali del sistema sono stati identificati come segue:

- scalabilità e modularità dell'architettura di sistema: garantisce la durabilità del sistema;
- possibilità di supportare vari formati e uso di formati standardizzati: garantisce la capacità del sistema di integrare vari tipi di risorse;
- abilità nel rappresentare relazioni complesse tra le risorse: garantisce la possibilità di creare connessioni tra differenti dati archiviati;
- adozione di standard internazionali e nazionali: garantisce l'interoperabilità delle risorse all'interno del sistema e con sistemi esterni;
- uso di software di visualizzazione *OpenSource*: garantisce la gestione e la manutenzione del sistema nel tempo;
- uso di tecniche di acquisizione 3D differenti e complementari: garantisce la possibilità di arricchire il sistema informativo da parte di differenti soggetti.

I concetti alla base del lavoro sono essenzialmente quattro:

- a. uso di modelli 3D digitali come restituzione del reale e come metafora dell'oggetto rilevato per la navigazione attraverso i dati;
- b. uso di modelli come sistema conoscitivo architettonico, descrivibile come una collezione di oggetti strutturati, identificati attraverso un preciso vocabolario architettonico che permette di estendere facilmente il concetto di 2D GIS a quello di 3D GIS;
- c. impiego di un sistema in grado di funzionare sia come *stand-alone* che *web-based*;
- d. impiego di un'applicazione scalabile in modo da poter utilizzare una medesima base dati per ogni tipo di utenza (gestione del patrimonio, studio scientifico, turismo, ecc.) semplicemente filtrata secondo i requisiti richiesti.



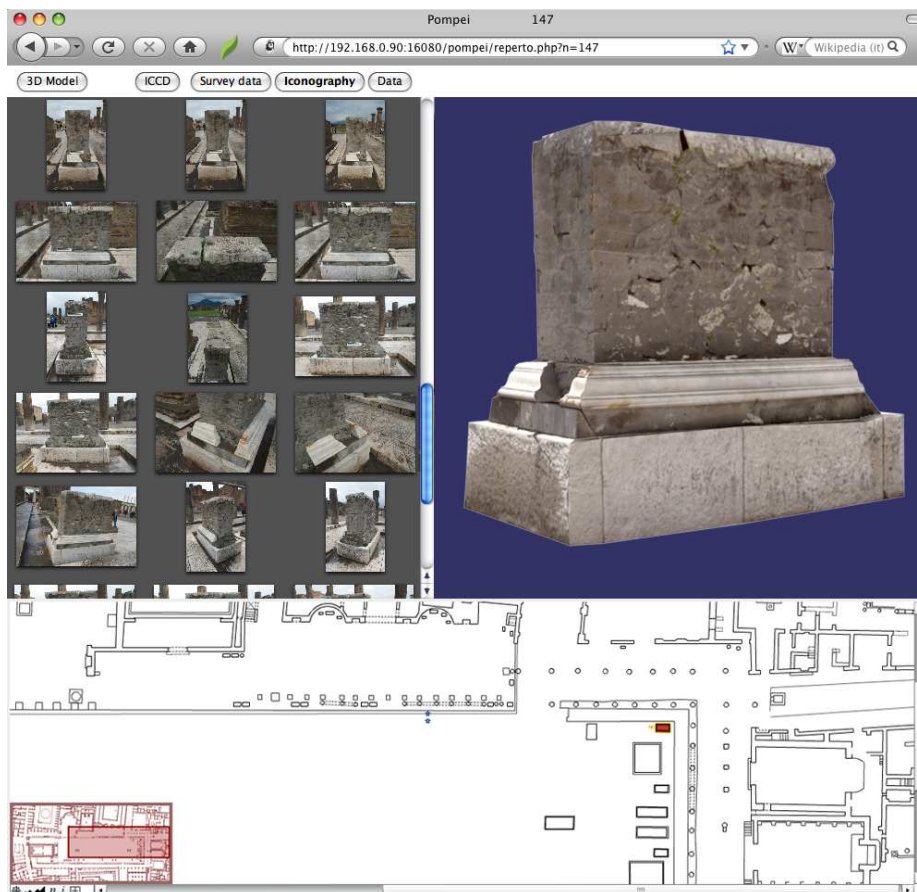
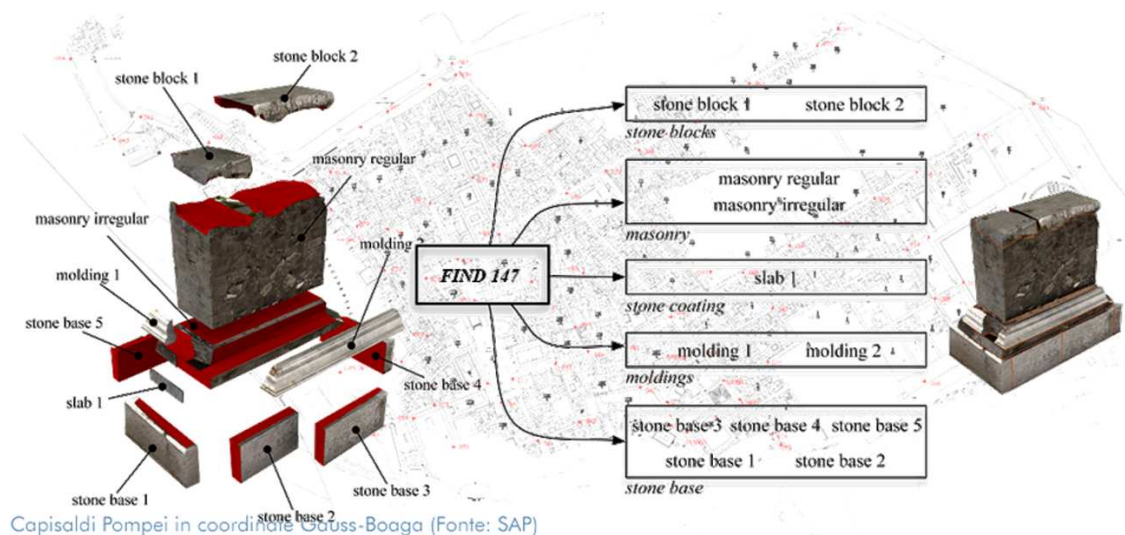


Figura 8: 3D GIS. Pompei. Reperto 147. La base dati iconografica



Capisaldi Pompei in coordinate Gauss-Boaga (Fonte: SAP)

Figura 9: 3D GIS. Pompei : Reperto 147. Struttura semantica del modello 3D e contenuti informativi

Sebbene innumerevoli esperienze siano state compiute negli ultimi anni anche su Pompei, queste presentano, tuttavia, un carattere di estrema frammentarietà, completa disomogeneità

nelle metodologie e nelle caratteristiche dei dati acquisiti e totale assenza di standardizzazione nei modelli restituiti, cosicché entro breve non solo sarà impossibile il loro riutilizzo in qualsiasi contesto, ma anche la loro stessa fruibilità.

Per questo si ritiene che un obiettivo prioritario da raggiungere in tempi rapidi consista nel condurre uno studio approfondito che porti alla definizione di uno standard di documentazione sull'acquisizione e sulla formazione dei modelli per le realizzazioni 3D.

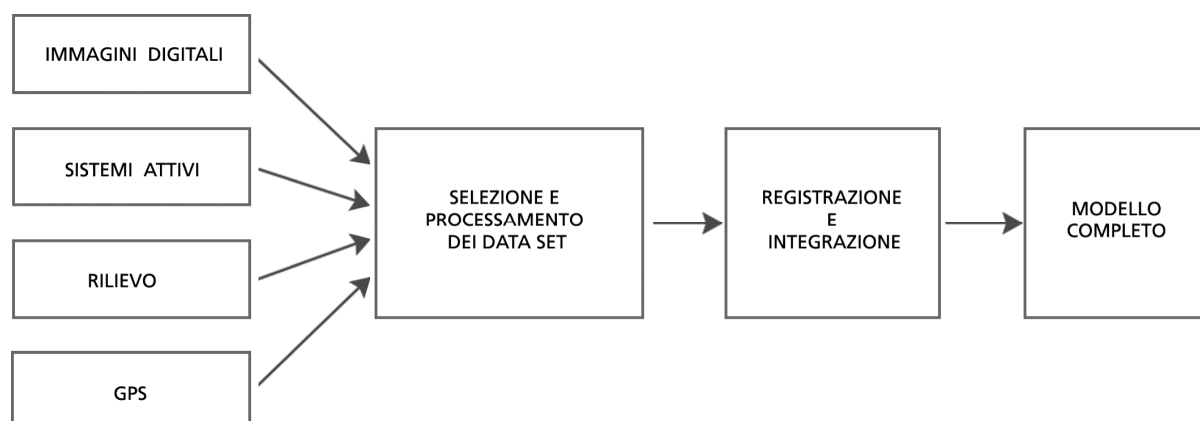
#### *4. Strategie per costruire e fruire modelli 3D di siti archeologici complessi*

Un passo fondamentale nella realizzazione di modelli 3D da impiegare all'interno di un sistema GIS 3D nel campo del patrimonio architettonico e archeologico è l'acquisizione della forma 3D e delle proprietà di riflettanza della superficie dello stato di fatto e la sua successiva visualizzazione<sup>xxvi</sup>.

Si tratta, oramai, di una filiera procedurale ben definita che ha determinato:

- l'incremento delle tecniche di modellazione 3D quale pratica consolidata di lavoro sugli edifici storici e sui reperti archeologici;
- un miglioramento della qualità di ricostruzione delle scene a partire da una serie di immagini di campo;
- un veloce sviluppo delle tecniche di realizzazione dei database 3D con metodi più semplici e più rapidi.

Tuttavia, vi è stato un lento progresso metodologico nei processi di costruzione di modelli efficaci se comparato con l'incredibilmente veloce progresso tecnologico, perché lo stesso modello costruito da differenti operatori presenta, generalmente, caratteristiche differenti e standard non definiti. Il numero di operatori esperti è inoltre molto limitato, e – infine – la comunità scientifica dei Beni Culturali considera, di solito, tali metodi come l'ultimo gadget tecnologico, piuttosto che cogliere le loro potenzialità quali sistemi di lavoro realmente efficaci<sup>xxvii</sup>. Mentre nel caso dei disegni 2D le scale di rappresentazione e le tecniche di restituzione convenute restituiscono ancora possibilità di confronto e di omogeneità degli standard grafici (e nei casi in cui non vi riescano è dovuto ai loro limiti intrinseci), nel caso dei modelli 3D, non esistendo più le scale di rappresentazione, il problema è stato amplificato esponenzialmente senza alcuna soluzione. Per tali ragioni vi sono, attualmente, tre principali problematiche alle quali noi siamo chiamati a dare una risposta:



**Figura 10:** Procedura per la realizzazione di modelli 3D da dati rilevati.

- come costruire modelli 3D ottenuti da operazioni di rilievo: per il momento la filiera è chiara e ben consolidata dal punto di vista degli sviluppatori, ma essa presenta numerose lacune dal punto di vista degli operatori;
- come strutturare il database 3D per illustrare pienamente il sistema informativo: allo stato attuale non vi è alcuna unificazione, e tale situazione limita enormemente l'integrazione dei dati tra differenti database;
- come passare da una singola esperienza ad un sistema in cui tutti gli operatori lavorano nella stessa direzione ed usando tecnologie confrontabili/comparabili (ad esempio: definizione degli standard appropriati).

In tale scenario metodologico e operativo vi sono - in sostanza - cinque questioni fondamentali nell'acquisizione, archiviazione, organizzazione e accesso dei modelli 3D con metodi digitali in un ambiente di lavoro comune:

- qualità della trasposizione dell'artefatto dalla condizione reale a quella digitale (generalmente rappresentata da parametri come risoluzione, colore, fedeltà, precisione del dettaglio, consistenza della procedura attraverso tutte le fasi dall'acquisizione alla visualizzazione sul display);
- definizione degli standard dei modelli 3D in un sistema informativo integrato;
- disposizione degli standard tecnici per la conservazione e la interoperabilità a lungo termine;
- accesso e sicurezza dei dati nei sistemi di network;
- conservazione dell'informazione contro l'obsolescenza tecnologica.

L'ipotesi di lavoro formulata è stata quella della ricomposizione in forma digitale in quanto trascrizione, calco, copia fedele, piuttosto che interpretazione o simbolizzazione: approccio

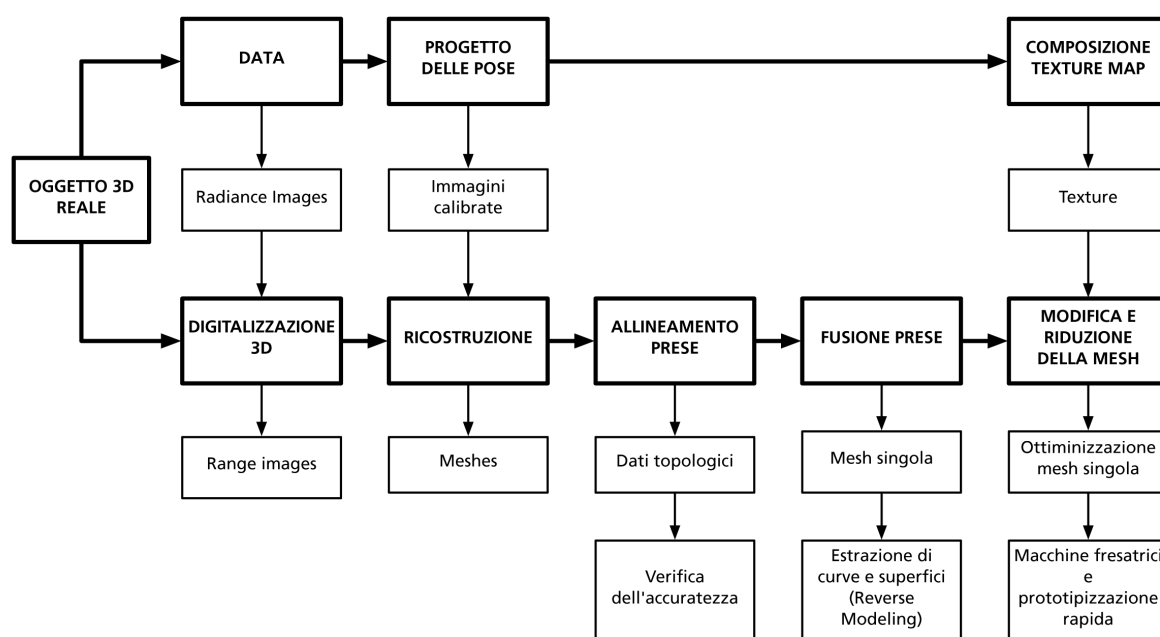
che offre la possibilità di fruizione del digitale con tutti gli attributi cromatici, formali, dimensionali del reale.

Si tratta di un problema concettualmente semplice - la replica di un oggetto fedelmente a se stesso - che fruisce di una tecnologia ormai in equilibrio maturo saturo per la tipologia di lavoro in oggetto, ad un livello ormai definibile come semi-professionale o professionale e non più di laboratorio di ricerca, con conseguente semplificazione delle procedure e loro ripetizione.

Esistono, infatti, soluzioni *hardware* e *software* in grado di replicare le caratteristiche formali e di risoluzione di ogni artefatto, con differenze rispetto al reale non solo impercettibili, ma valutabili nell'ordine appartenente a quello della micro materia, come nel caso del bellissimo lavoro sul Partenone condotto qualche anno or sono da Paul Debevec et al.<sup>xxviii</sup>.



**Figura 11:** Pompei. Reperto 243-252. Struttura semantica del modello 3D



**Figura 12:** Diagramma di flusso: dall'oggetto reale al modello 3D con texture

Tuttavia questo metodo, se rapportato esemplificativamente al caso di Pompei, presenta costi di acquisizione eccessivamente elevati, la presenza costante di maestranze altamente qualificate e tempi di acquisizione troppo lunghi.

Si tratta del retroscena comune a quasi tutte queste metodologie (e più in generale una tipica problematica del cosiddetto *high-tech* odierno, praticamente in tutti i campi), e della spiegazione del perché in pratica in Italia si avviano con difficoltà progetti di digitalizzazione accurata su vasta scala. Mediamente questi sistemi costano, infatti, troppo, con il risultato che quando - raramente - sono avviate iniziative di questo tipo, di solito non presentano alcun progetto-programma *a-priori*. Sebbene si osservi il corretto punto di partenza di seguire uno *standard* di acquisizione, esso viene tuttavia adottato come soluzione pre-confezionata, dimenticando come gli *standard* di acquisizione sono estremamente labili.

Un secondo fondamentale elemento in questo *framework* è il concetto di 'master model' come replica digitale dell'artefatto originario con i propri attributi.

La tecnologia necessaria per realizzare un'operazione di digitalizzazione su vasta scala consiste principalmente in hardware, software e reti, ma anche nella definizione di protocolli e standard, politiche e procedure (come *workflow*, manutenzione, sicurezza, *upgrade*).



**Figura 13:** Pompei. Reperto Altare con rilievo in marmo nel Santuario del Genio di Augusto.  
Modello 3D con texture

Figura 14 – Pipeline dell’acquisizione dei dati 3D mediante fotogrammetria e scansione laser  
Azioni correlate e considerazioni che influenzano le infrastrutture tecniche includono la determinazione dei requisiti di qualità basati sugli attributi dei documenti (*digital benchmarking* tramite definizione dei requisiti, misurazione, valori di tolleranza, verifica); la definizione di tempi e budget (*management*); l’individuazione delle necessità degli utenti (presentazione); la valutazione dei piani a lungo termine (conservazione).

La generazione di un modello 3D di alta qualità, frutto di rilievo di un oggetto o di un’architettura, comprende una serie di passi differenti e parzialmente indipendenti. I principali passi della filiera per la costruzione di un oggetto 3D sono:

- acquisizione della forma e della riflettanza
- forme della rappresentazione
- sistematizzazione del LOD.

Inizialmente vengono acquisite la geometria e la *texture* di un oggetto spesso utilizzando differenti tecniche e strumenti di rilievo che richiedono l’allineamento di entrambi gli insiemi di dati in una fase specifica di registrazione. È comunque possibile ricavare le informazioni di carattere geometrico dai dati della texture e viceversa. Una volta che esiste un modello completo, esso può essere ricampionato, convertito in differenti formati di dati, o compresso per permetterne la trasmissione attraverso Internet. Alla fine, un’applicazione che gira su un *computer client* può rendere visibile il modello in una maniera interattiva ed intuitiva senza perdere alcuna informazione. Dall’altro lato, dal punto di vista di un’applicazione GIS, un

geo-oggetto è composto da dati tematici, geometria, topologia e diverse viste dell'oggetto. Al fine di mantenere le proprietà tra dati visualizzati e dati all'interno del database, geo-oggetti saranno ottenuti da modelli CAD, assunti come rilievi degli oggetti.

Una condizione cruciale di partenza è stato il concetto che è impossibile per un solo gruppo rilevare un sito archeologico vasto come Pompei o che vi sia un progetto con tale finalità completamente finanziato.

Invece, è molto più realistico pensare che tutti gli archeologi che vengono a Pompei, per studiare un singolo pezzo o porzione del sito, possano contribuire a costruire un ben determinato e standardizzato modello completo del sito. Tale approccio è stato possibile grazie all'impiego di un gruppo di lavoro di esperti, che prima di tutto hanno definito non solo tecniche specifiche ma anche strumenti, metodologie e tecniche operative di base per ogni tipologia di artefatto digitalizzato. Questi dati saranno trascritti in alcune linee guida che saranno utilizzate come base di lavoro dai differenti operatori. Alla fine, lo stesso gruppo di lavoro ha definito le specifiche del progetto ed effettuerà le verifiche di qualità.

Una seconda condizione è stata la definizione degli standard per gli artefatti originali, per esempio per non essere auto-referenziali al sistema digitale o con un output visivo che segua lo *ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites*, che al punto 2,4 definisce “la ricostruzione visiva effettuata sia dagli artisti o architetti, sia dai modellatori al computer, dovrebbe essere basata su un’analisi dettagliata e sistematica dei dati ambientali, archeologici, architettonici e storici, inclusa l’analisi di fonti scritte, orali e iconografiche e fotografiche. Le fonti informative su cui tali restituzioni visive sono basate dovrebbero essere chiaramente documentate e ricostruzioni alternative basate sulle stesse evidenze, quando disponibili, dovrebbero essere realizzate per confronto”<sup>xxix</sup>.

Con questo approccio indipendente dall'uso, ogni oggetto sarà digitalizzato solo una volta con il livello di qualità più alto possibile, ponendo attenzione a standard come le proprietà di riflettanza, al fine di riutilizzarlo per molteplici applicazioni.

L'uso di standard basati sulla tecnologia e non sull'oggetto da acquisire è un errore grave perché non permette di risolvere il problema dell'integrità dei dati originali e presenta una serie di inconvenienti nella conservazione dei dati a lungo termine.

La definizione degli standard ha comportato due passaggi chiave:

- la definizione delle proprietà intrinseche per ogni artefatto classificato dal tipo di artefatto;

- la definizione di un sistema di metadati che potrebbero qualificare un modello 3D. I nostri metadati ricadono all'interno di tre categorie: (a) catalogo dei metadati, strumento di aiuto (che include campi come: nome del modello; nome del/i modellatore/i; software usato per creare il modello, versione del software; detentore del copyright; ecc.); (b) note di commento dei metadati che aiutano a fornire informazioni di background all'utente circa la natura dell'evidenza usata per creare il modello, così come su ogni differenza tra il modello e le ricostruzioni precedenti; e(c) bibliografia.

Chiaramente la base oggettiva deve essere quella utilizzata per costruire un modello master dal quale estrarre modelli derivati in successione, a differente livello di risoluzione, in base al loro uso. In questo il punto chiave è rappresentato dalla definizione delle qualità di un modello per relazionarle a quelle dell'oggetto da rappresentare.

Una terza condizione riguarda l'uso di tecnologie completamente commerciali: è stata effettuata una minima personalizzazione, ma è da preferire la qualità di base di ogni strumento adottato, scegliendo, generalmente, la qualità più alta all'interno di una predefinita selezione ottenuta attraverso un benchmarking dei prodotti in quel momento disponibili sul mercato (e a costi non eccessivi). Un *digital benchmarking* è stato, inoltre, adottato per definire i requisiti, gli standard e le metodologie di lavoro. Ampio spazio, infine, è stato dato allo studio e alla prova dei sistemi di visualizzazione più appropriati per essere utilizzati immediatamente dopo l'acquisizione e la memoria necessaria per visualizzare l'oggetto, dato che questi rappresentano, sicuramente, un fattore fondamentale nella definizione del programma di lavoro.

Sono stati impiegati, per questo, protocolli OpenSource e strumenti per l'organizzazione dei dati sia stand-alone sia interni al GIS 3D di visualizzazione, al fine di condividere e comunicare l'informazione. La scelta è caduta sull'uso di *open tools*, progetti e protocolli che soddisfacessero tali requisiti di carattere sociali ed economico.

L'uso di software OpenSource ha consentito, inoltre, la realizzazione di un progetto sostenibile e i fondi (insufficienti come lo sono nel campo culturale) sono stati utilizzati per impegnare giovani ricercatori e focalizzati sulla diffusione dei contenuti attraverso le applicazioni sviluppate.



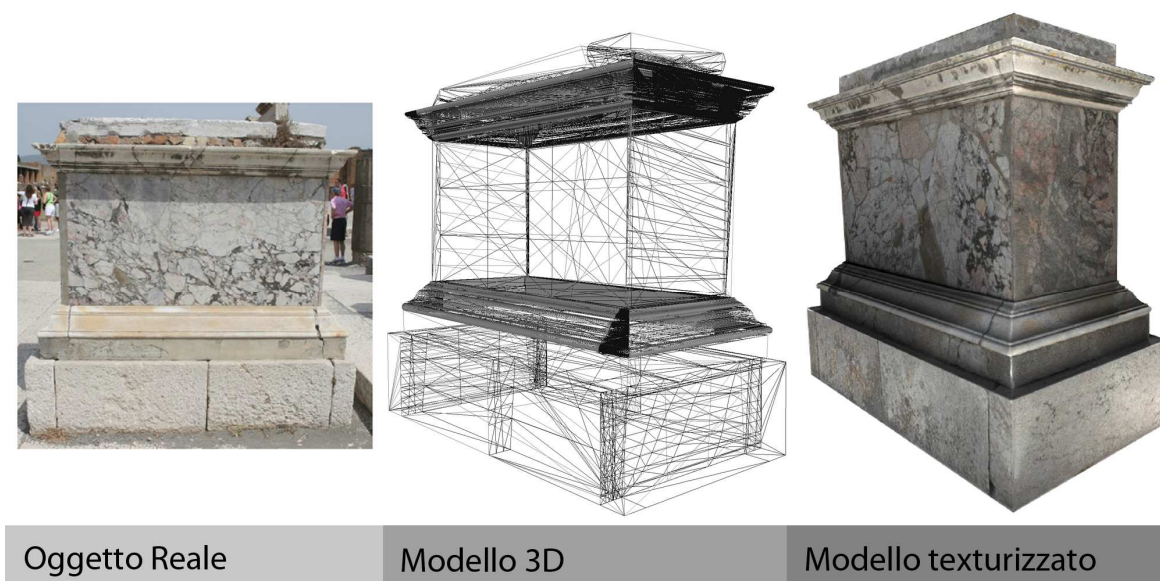


Figura 15: Pompeii. Reperto 148. L'oggetto reale e i modelli digitali 3D

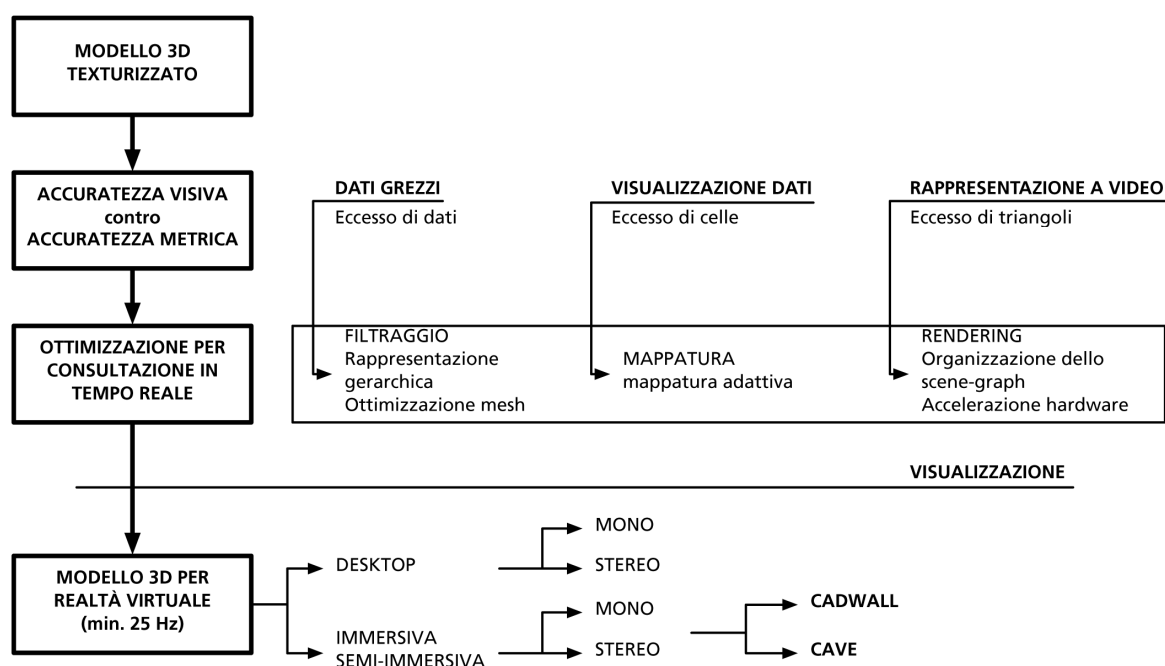


Figura 16: Procedura di visualizzazione del modello 3D con sistemi a differente livello di iconicità.

Alla fine, l'approccio intenzionalmente e costantemente adottato è stato quello di affrontare ogni problema con un'attitudine progettuale. Il nostro obiettivo è stato quello di provare a costruire un archivio digitale in grado di offrire almeno le stesse qualità sedimentate, capacità di integrare materiali differenti e dispersi e di rappresentare informazioni del miglior esempio

dell'archivio analogo, ma anche in grado di presentare tutti i plusvalori del tipico sistema digitale.

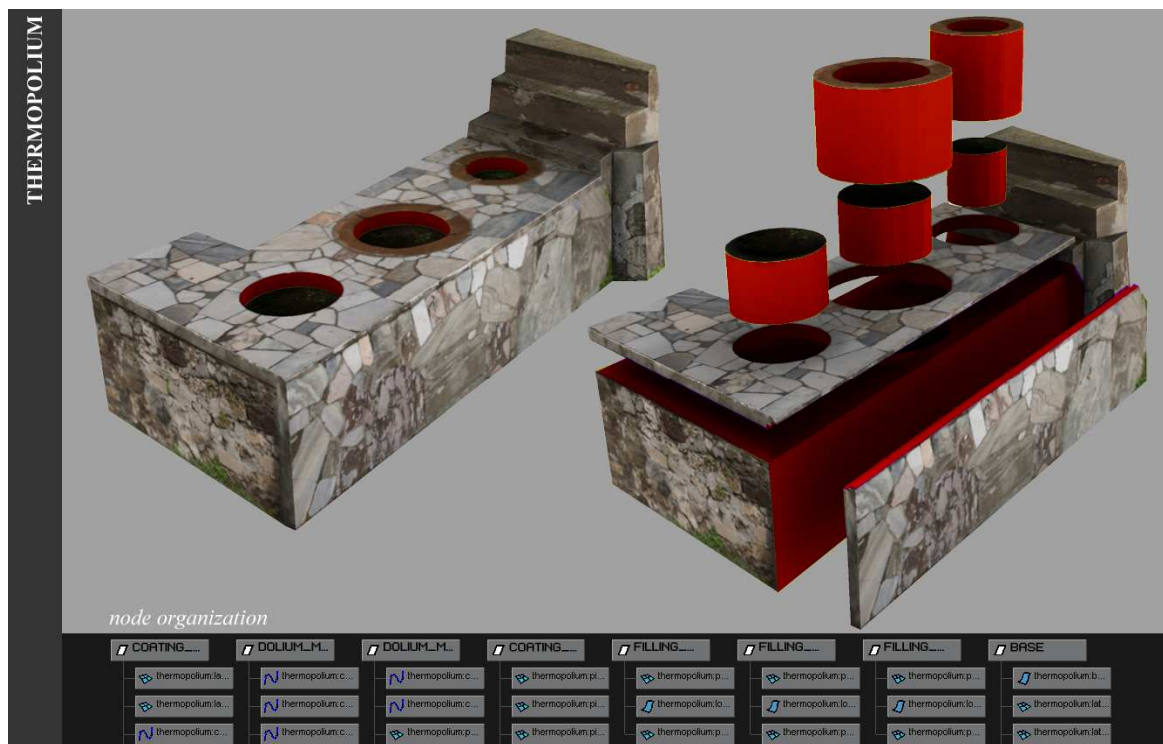
In questo quadro è chiaro come un nodo fondamentale sia la determinazione di standard chiari e di semplice mantenimento, un obiettivo che comporta un lungo cammino, non risolvibile semplicemente impostando una procedura unificata *a-priori*, ma chiarendo a mano a mano che il lavoro procede attraverso singoli e specifici aspetti nell'ambito di un quadro unificante i cui contorni generali, per fortuna, si fanno sempre più chiari.

I lavori di riferimento esistenti, peraltro, non consistono tanto in una revisione critica della filiera di “misura, disegna e visualizza”, capaci di inscrivere un tipo in un certo contesto, quanto di una serie di modelli *a-critici* e *dogmatici* che definiscono una serie di requisiti definiti “*a-priori*” certo commensurabili tra loro, ma difficilmente applicabili a differenti contesti, come il *Metric survey specifications for english heritage* e i suoi addenda<sup>xxx</sup>. Inoltre di solito essi non sono riferiti alle qualità dell'oggetto reale, quanto alle capacità di un certo strumento o di una certa tecnologia.

Per evitare una banale replica di queste situazioni la messa a punto dello standard è stata realizzata una serie di prototipi esemplificativi sufficientemente estesi sia geograficamente, sia nelle problematiche affrontate a livello tecnico e scientifico. Si è realizzata quindi la restituzione di una serie di casi-tipo di artefatti che hanno consentito di verificare la più grande quantità di situazioni operative esistenti per chi si accinge a rilevare una parte degli scavi, semplice apparato decorativo o intero corpo di fabbrica. La linea guida è stata quella di realizzare modelli tali da potersi inserire in un rilievo complessivo che si qualifichi come porzione urbana, ma dai caratteri propri del rilievo di architettura e non alla scala della città.

Si tratta di un'esperienza sostanzialmente innovativa giacché non esistono esempi di questo genere (le già note esperienze servendosi di laser scanner a tempo di volo si fermano solitamente alla scala del singolo manufatto architettonico oppure peccano nella definizione del livello di dettaglio al punto da non poter essere definiti come rilievi di architettura e/o archeologia).

L'output è costituito da una serie di modelli navigabili e capaci di supportare metadati e modalità di lettura/restituzione di specifiche analisi fruibile sia in realtà virtuale semi-immersiva, sia sul Web in grado di funzionare come sistema conoscitivo, capace di fungere quale riferimento per i futuri modelli di Pompei ottenuti da dati di rilievo.



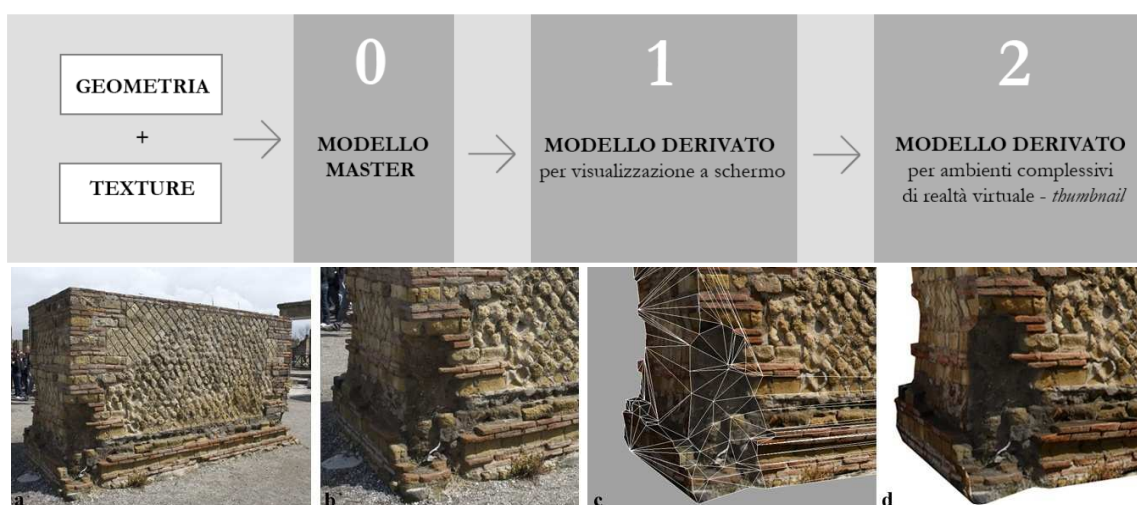
**Figura 17:** Pompei. Thermopolium. Modello 3D digitale a singoli elementi compositivi

Sulla base di questo quadro – come si è detto – il gruppo di lavoro ha definito non solo specifiche tecniche, ma anche strumenti, metodologie e tecniche operative di base per ogni singola tipologia di materiale digitalizzato e standard riferiti alla natura intrinseca degli oggetti e alle necessità di uso degli elaborati grafici. Questi dati sono stati trascritti in una sorta di manuale d’uso che si compone di una serie di rapporti relativi a specifiche tematiche:

- Mappatura della casistica di tipologie di oggetti da rilevare. Individuazione dei casi di studio. Individuazione degli strumenti da utilizzare
- Restituzione della microscala di manufatti archeologici in modelli 3D per sistemi tipo 3D GIS
- Modellazione semantica
- Qualificazione dello scanner
- Gestione del colore
- Problemi di rilievo del marmo con lo scanner a triangolazione
- Pianificazione delle operazioni di rilievo
- Predisposizione di dispositivi per il rilievo
- Formati grafici utilizzati, metodi a multirisoluzione, standard di conservazione delle immagini e tecniche di interazione col data base

- Metodi di *texture mapping* di reperti archeologici rilevati tramite laser scanner
- Calibrazione delle camere
- Immagini ad alta risoluzione da foto

A questi si aggiunge una relazione riassuntiva che spiega “di che cosa” sia fatta Pompei da un punto di vista morfologico e riflettometrico, la *pipeline* di acquisizione, costruzione, georeferenziazione e visualizzazione dei modelli 3D, una serie di problematiche e soluzioni possibili a problemi di modellazione, infine gli standard metrici e colorimetrici da adottare.



**Figura 18:** Il sistema informativo: dal modello master ai modelli derivati

Passaggi rilevanti riguardano le problematiche di acquisizione dati, il modo della loro produzione in modo uniforme per un sito archeologico su vasta scala come è Pompei e il modo di costruire i modelli ai fini di una loro utilizzazione scalabile sia in termini di dispositivo di visualizzazione che di tipologia del fruitore.

Le attività facenti capo a questa porzione del progetto hanno fornito quindi tre *deliverables* principali:

- Una serie di modelli 3D a elevata risoluzione, relativi a casi emblematici che si possono presentare al rilevatore estratti dalla porzione urbana significativa della città di Pompei nello stato attuale di conservazione. La risoluzione è riferita alla complessità geometrica dei manufatti coinvolti, con l'integrazione delle tecniche più adatte a produrre i diversi livelli di risoluzione di volta in volta richiesti (fotogrammetria aerea, fotogrammetria *close range*, scansione laser). I modelli sono

dotati di *texture* realistica e collegamenti a schede informative testuali, relative ad elementi di interesse in esso contenuti;

- un manuale di definizione degli standard per la trasposizione digitale di un bene artistico tramite modelli 3D, relativo agli aspetti metrologici, colorimetrici, informatici e di documentazione da utilizzare come riferimento per tutti i successivi studi che saranno condotti a Pompei, in grado di sostituire in tutti i suoi aspetti un rilievo tradizionale e inseribili in un sistema tipo GIS 3D;
- un database per il data-entry dei modelli capace di guidare l'utente attraverso tutti i passaggi necessari e fare il *check* della rispondenza agli standard richiesti. La banca dati realizzata si prefigge lo scopo di identificare univocamente i reperti e le strutture murarie presenti nel foro di Pompei e i relativi materiali (scansioni, fotografie, modelli 3D, ...) ad essi associati. Il database è strutturato in cinque aree distinte: 1. reperti/strutture murarie; 2. materiali; 3. calibrazioni; 4. aree; 5. utenti.

##### 5. *Caso di studio: Una costruzione semantica dei modelli*

Una delle esigenze alla base del lavoro di archeologi e di studiosi che dovranno interpretare i reperti e ipotizzare una ricostruzione virtuale del sito, è quella di avere a disposizione una sorta di abaco di elementi architettonici che, sebbene attualmente inseriti in un contesto e interrelati fra loro, possano essere analizzati anche come elementi isolati, considerati indipendentemente dalle loro attuali connessioni spaziali, ai fini di una ri-lettura e interpretazione dell'esistente e di ciò che non esiste più.

Per assistere gli scavi archeologici e la gestione dei siti archeologici nella classificazione, gestione, e visualizzazione di reperti entro un sistema GIS 3D è necessario possedere modelli 3D segmentati e classificati che possono essere interfacciati e collegati a database archeologici e GIS.

Creare modelli digitali di manufatti archeologici significa quindi dare forma ad un 'sistema conoscitivo' in grado di estendere il concetto di GIS 2D a quello di GIS 3D, e quindi organizzare un modello semantico al quale può essere riferito il sistema di gestione e richiamo delle informazioni GIS.

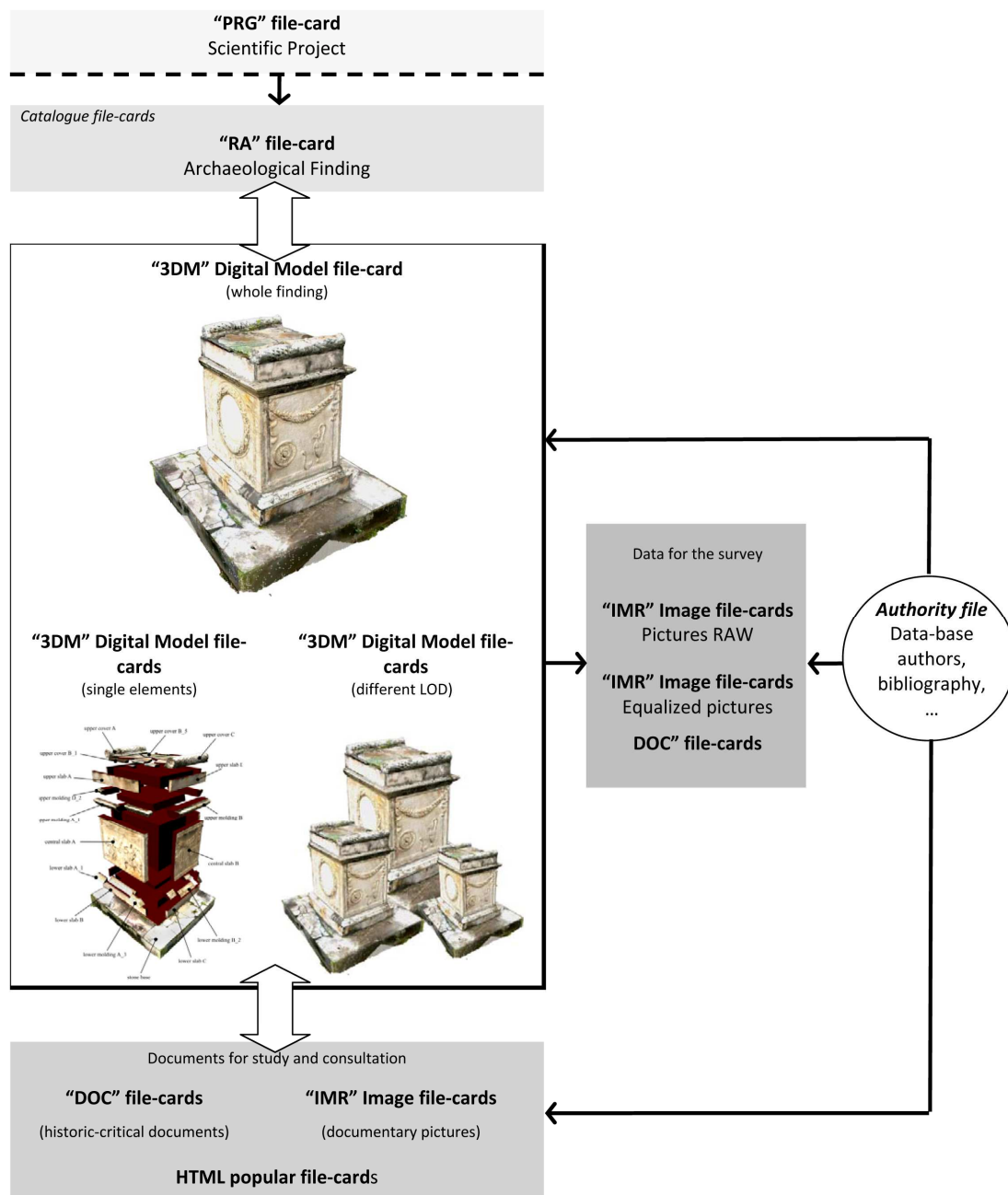


Figura 19: Le schede del catalogo del database 3D

Un ‘sistema conoscitivo architettonico’ può essere descritto come una collezione di oggetti gerarchicamente organizzati, che vengono identificati attraverso un preciso vocabolario architettonico. La scomposizione del modello in sub-elementi può avvenire a partire dall’analisi e dalla composizione formale e strutturale degli oggetti architettonici, organizzati in livelli gerarchici e classificazioni di aggregazione. L’organizzazione gerarchica degli elementi presuppone una particolare attenzione verso le modalità con cui gli oggetti sono assemblati da punti di vista tipologici e morfologici.

Uno dei più evidenti vantaggi di un meccanismo di modellazione semantica, oltre ad un migliore controllo topologico, è la possibilità della generazione di un meccanismo a multiresoluzione basato su caratteristiche semantiche architettoniche, e quindi la possibilità di creare modelli a differente risoluzione, mantenendone chiara la leggibilità come elementi tipologicamente codificati.

Appare dunque chiaro come oggi risulti fondamentale non soltanto la conoscenza di una tecnica rappresentativa o di una modalità esecutiva, quanto più la capacità di inserire le stesse all'interno dell'intero processo produttivo e realizzativo, come parte integrante e non separabile.

Il nostro approccio, diviso in tre passaggi, mutuamente connessi tra di loro (modellazione, segmentazione e visualizzazione), è stato realizzato come il più generale possibile e testato su differenti oggetti archeologici, in grado di comprendere l'intera gamma tipologica dei reperti archeologici di Pompei.

Il metodo (a) produce modelli 3D fotorealistici *reality-based*, (b) li classifica in livelli e (c) assegna ad ogni elemento archeologico e architettonico informazioni ulteriori rispetto le proprietà geometriche e di qualità superficiale. Quindi le strutture 3D sono suddivise nelle loro parti componenti (ad esempio capitello, fusto, base, etc.) seguendo librerie base di primitive geometriche e quindi associando informazioni estratte dai database esistenti. Ogni parte del reperto è quindi connessa a una serie di informazioni create per facilitare il processo di recupero (su un'interfaccia *web-based*) in un contesto basato sulla semantica. Il nostro scopo è altresì quello di migliorare il rinvenimento degli oggetti 3D e il recupero delle informazioni correlate in un *repository* annotando ogni forma non solo come intera, ma altresì in termini delle sue parti costitutive significative, dei loro attributi e delle loro relazioni. Peraltro la possibilità di annotare semanticamente parti dell'oggetto presenta un'importanza fondamentale nel campo archeologico.

La metodologia sviluppata è basata sul concetto di organizzazione dell'informazione 3D tramite semantica e segue i concetti di grammatica della forma introdotti da Stiny e Mitchell<sup>xxxii</sup> e Stiny<sup>xxxiii</sup>. La formulazione originale del concetto di grammatica della forma opera direttamente sull'organizzazione di linee e punti etichettati. Le teorie sulla 'grammatica della forma' di Stiny e Gips oltre che Stiny e William J. Mitchell<sup>xxxiii</sup>, che attingono a piene mani dagli studi sulle strutture vegetali di Aristid Lindenmayer<sup>xxxiv</sup>, hanno una corrispondenza con i metodi di analisi dell'architettura classica come sistema formale proposto da Alexander Tzonis e Liane Lefaivre<sup>xxxv</sup>.

In questa ottica, la modellazione geometrica è stata realizzata con una metodologia fondata sull'elemento architettonico, con la sua geometria come sistema primitivo. La base del sistema strutturale è stata posta a partire dalla nozione di struttura teorizzata da Claude Lévi-Strauss<sup>xxxvi</sup>, che prevede quattro condizioni:

1. “una struttura presenta il carattere di un sistema. Essa consiste in elementi tali che una qualsiasi modificazione di uno di essi comporti una modificazione di tutti gli altri”;
2. “ogni modello appartiene a un gruppo di trasformazioni, ognuna delle quali corrisponde a un modello della stessa famiglia, in modo che l'insieme di tali trasformazioni costituiscano un gruppo di modelli”;
3. “le proprietà indicate qui sopra permettono di prevedere come reagirà il modello, in caso di modificazione di uno dei suoi elementi”;
4. “il modello deve essere costruito in modo tale che il suo funzionamento possa spiegare tutti i fatti osservati”.

Questa impostazione ha profondamente influenzato i metodi di strutturazione ed articolazione degli elementi architettonici, che possono essere sintetizzati in due livelli:

1. un primo livello di costituzione di singoli elementi, componibili seguendo una serie di logiche univoche. Le procedure con cui viene generata una figura, infatti, non sono sempre univocamente determinate, ma riflettono una particolare interpretazione. Da un punto di vista semantico, poi, la modalità d'aggregazione di una composizione grafica in elementi e sottosistemi determina il significato della composizione;
2. un secondo livello di composizione di parti complesse dell'organismo architettonico, non necessariamente ricostituibili in modo univoco, però identificabili unitariamente. Per questi sistemi di elementi è essenziale definire un sistema gerarchico in grado di indicare quali parametri siano variabili o meno rispetto ad una certa procedura.

La trasposizione di questi livelli interpretativi sul piano informatico può essere realizzata definendo una struttura organizzativa dei singoli elementi architettonici elementari, e connettendoli a altre informazioni contenute all'interno della base dati.

La modellazione tridimensionale legata alla semantica costituisce quindi uno strumento utile al fine di:

- ottenere una scomposizione del reperto in singoli elementi costitutivi, riconoscibili attraverso l'analisi della loro geometria, aggregati fra di loro secondo precise regole compositive;



- aggiungere alla ricostruzione geometrica dei modelli informazioni linguistiche legate al riconoscimento dei segni e di un linguaggio architettonico condiviso;
- individuare un ulteriore collegamento fra il modello tridimensionale restituito e le informazioni contenute nel *data-base* ad esso collegato, ai fini di una documentazione completa relativa a quel particolare elemento architettonico.

Lavori di riferimento al nostro sono certamente il primo esempio di modellazione 3D e classificazione semantica di Quintrand e al.<sup>xxxvii</sup>, in cui l'autore spiega come l'associazione di una semantica da una forma architettonica richieda di guardare ad un edificio come ad un sistema conoscitivo, quindi di estrarre un modello dalla sua descrizione e quindi di definire la sua rappresentazione secondo gli obiettivi dell'analisi. In seguito varie ricerche si sono concentrate sullo sviluppo delle classificazioni di elementi architettonici in un *framework* teorico o in applicazioni di modellazione geometrica<sup>xxxviii</sup>. Il contributo più esaustivo in questa direzione è comunque ad oggi quello di De Luca e al.<sup>xxxix</sup> che ha presentato un approccio metodologico alla descrizione semantica degli elementi architettonici basato sia su riflessioni teoriche che esperienze di ricerca. Attene e al.<sup>xl</sup> hanno sviluppato lo ShapeAnnotator, un sistema modulare per caricare una *mesh* triangolare 3D (e il suo dominio ontologico), definire le sue parti formali significative, annotarle appropriatamente e salvare il risultato in un database. Per la definizione delle singole parti formali, essi hanno usato un approccio capace di selezionare automaticamente la primitiva più appropriata per approssimare un insieme di triangoli in un cluster. Classificazione e modellazione semantica sono stati altresì utilizzati in applicazioni di modellazione urbana<sup>xli</sup>.

La qualificazione del problema presenta i seguenti aspetti:

1. denominazione del reperto oggetto di analisi;
2. definizione del numero di scomposizioni dei singoli reperti;
3. definizione della denominazione dei singoli elementi e classi di elementi;
4. definizione della volumetria sottesa dalle superfici restituite mediante fotogrammetria digitale tridimensionale.

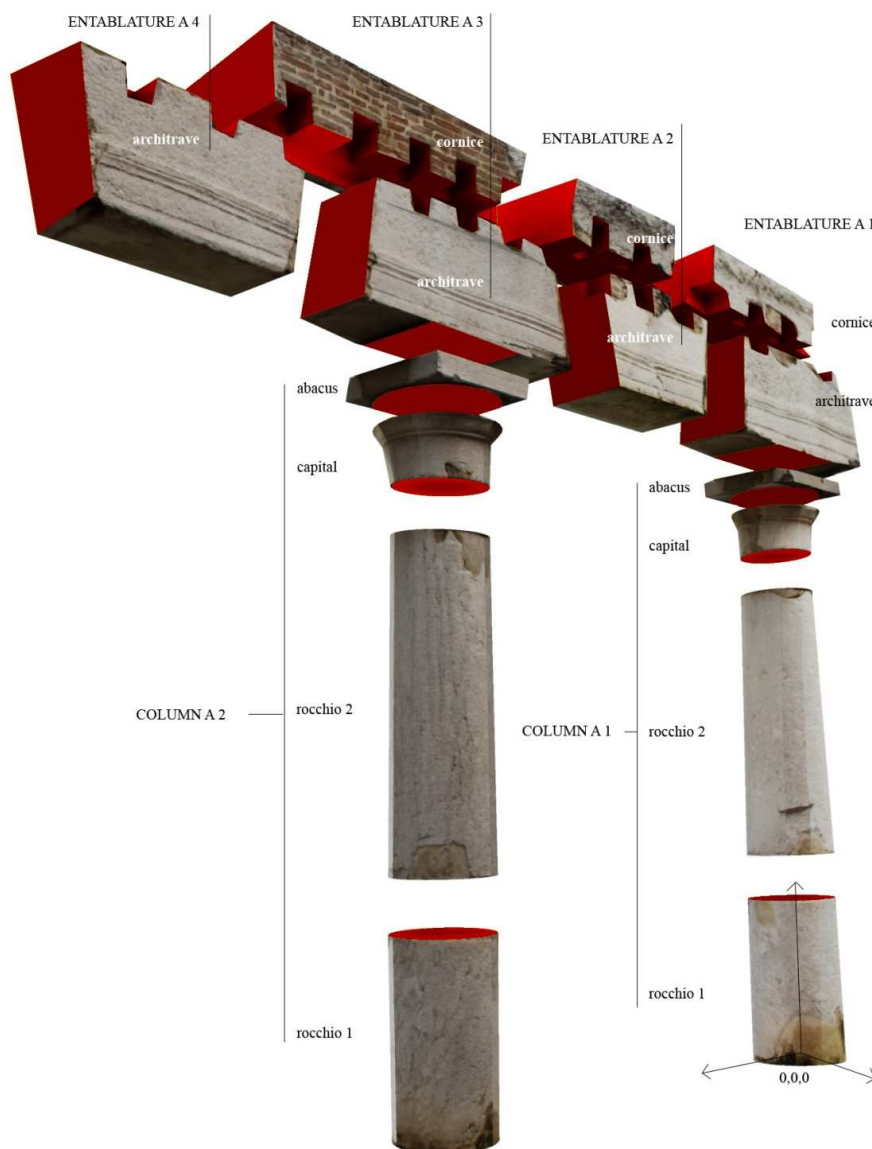


Figura 20: Pompei. Reperto 243-252. Struttura semantica del modello 3D

## 5. Conclusioni

Questo scritto illustra un nuovo *framework* digitale che ha lo scopo di connettere strettamente le attività di scavo, ricerche scientifiche e progetti, la documentazione storica delle sistemazioni, dei restauri e delle attività di manutenzione in un importante sito archeologico, quale è Pompei. Il *framework* è completamente geo-referenziato e basato sui modelli 3D.

I modelli 3D sono completamente generati a partire da dati acquisiti da rilievi. Il nuovo sistema informativo è interamente basato su standard metrici e qualitativi riferiti all'oggetto reale o a documentazione usando il concetto di '*master model*' come fedele copia dell'originale entro una predefinita tolleranza. Il modello e la sua rappresentazione in questo modo possono essere considerati come calchi dell'oggetto originale con tutti i suoi attributi.

Il *framework* è stato progettato per essere scalabile, per tenere conto di differenti tipi di utenti e della necessaria adeguatezza al sistema computazionale in uso.

Accurate linee guida rendono il *framework* robusto e facile da implementare in modo omogeneo da parte di differenti utenti.

Limiti legati alle potenze computazionali o alla capacità di archiviazione dei dati sono stati considerati solo al fine di oltrepassare possibili colli di bottiglia nell'attuale sistema hardware o software, ma il *framework* permette di migliorare facilmente le aree in cui i limiti appaiono e le risorse computazionali aumentano nel tempo (ad esempio qualità della visualizzazione).

Infine il sistema è basato completamente su formati di file di interscambio ampiamente diffusi e l'applicazione finale è completamente basata su software *OpenSource*. In questo modo la qualità delle implementazioni attuale e futura sono garantite anche in caso di differenti utenti e cambiamenti futuri di software e piattaforme.

### *Ringraziamenti*

La ricerca qui presentata è stata condotta con il seguente gruppo di lavoro: Marco Gaiani, Benedetto Benedetti, Fabio Remondino, Fabrizio Ivan Apollonio, Giuseppe Amoruso, Simone Baldissini, Anna Maria Manferdini, Maria Emilia Masci, Giovanni Bacci, Massimiliano Roberto; e con la collaborazione di Leica Geosystem, Laboratorio multimodale Vis.I.T. del CINECA e Visual Computing Lab del CNR di Pisa.

- <sup>i</sup> Schlader R., *Archaeological databases: what are they and what do they mean?*, in Burenhult, G. (ed.), *Proceedings of the 29th CAA conference*, Visby, Sweden, 25-29 April 2001, Archaeopress (BAR International Series 1016), Oxford, 2002.
- <sup>ii</sup> Sugimoto G., *eXtensible Archaeology: an XML application for an Archaeological Aerial Photograph Database*, in "Archaeological Computing Newsletter", n. 60, 2002, <http://www.gla.ac.uk/archaeology/acn/60.html>.
- <sup>iii</sup> Moles A., *Teoria informazionale dello schema*, in "Versus", n.2, gennaio-aprile 1972.
- <sup>iv</sup> Gaiani M., Gamberini E., Tonelli G., *A framework to use virtual worlds generated from real world 3D models as Work Tool for Architectural & Archaeological Restoration on the Web*, in "International Journal of Design Computing", Special Issue on Designing Virtual Worlds, n. 4, 2002. <<http://faculty.arch.usyd.edu.au/kcdc/journal/vol4/>>
- <sup>v</sup> Cfr. Veltman K.H., *Electronic Media and Visual Knowledge*, in *Knowledge Organisation*, Wurzburg, vol. 20 n. 1, 1993, pp. 47-54; Moles A., *L'image – communication fonctionnelle*, Casterman, Bruxelles, 1981. Cfr. anche Lund University, Department of Semiotics, *The Internet Semiotics Encyclopaedia*, [www.arthist.lu.se/kultsem/encyclo/iconicity.html](http://www.arthist.lu.se/kultsem/encyclo/iconicity.html).
- <sup>vi</sup> Ceconello M., *Strumenti e tecniche di visualizzazione*, in Gaiani M. (a cura di), *Metodi di prototipazione digitale e visualizzazione per il disegno industriale, l'architettura degli interni e i beni culturali*, Polidesign, Milano, 2003.
- <sup>vii</sup> Gaiani M., *Elementi per un approccio al disegno a partire dalla sua dimensione temporale. Dalla 'visione' alla grafica in tempo reale attraverso il disegno come modello per la costruzione*, in De Rosa A., *Lo sguardo denigrato - Ruolo dell'osservatore nell'era della rappresentazione digitale*, Il Poligrafo, Padova, 2003, pp. 341-354.
- <sup>viii</sup> Gaiani M., *Strategie di rappresentazione digitale: modelli per la conservazione e il restauro*, in "Quaderni Centro Ricerche Informatiche per i Beni Culturali", Scuola Normale di Pisa, n. X, 2000.
- <sup>ix</sup> Cfr. Gilliland-Swetland A.J., *Defining metadata*, JPGT, Los Angeles, 2000, <<http://www.getty.edu/research/institute/standards/intrometadata/>>; Gill T., *Metadata and the World Wide Web*, JPGT, Los Angeles, 2000, <<http://www.getty.edu/research/institute/standards/intrometadata/>>; Caplan P., *International metadata initiatives: lessons in bibliographic control*, Library of Congress, Washington, January 23, 2001, <[http://www.loc.gov/catdir/bibcontrol/caplan\\_paper.html](http://www.loc.gov/catdir/bibcontrol/caplan_paper.html)>.
- <sup>x</sup> Jorgensen P.H., *Applicazione pratica di FRBR e RDF nella catalogazione, nel controllo di autorità e nella ricerca di relazioni tra le risorse elettroniche*, in *Electronic Resources. Definition, Selection and Cataloguing, International Conference proceedings*, Roma 2001, <<http://www.uniroma1.it/SSAB/ER/htm>>.
- <sup>xi</sup> Gaiani M., Alessandri C., *The atrium of St. Mary Abbey in Pomposa: a hypermedial 3-D network database*, in *Eurographics'99 – Short papers and demo proceedings*, Eurographics Association, Milano, 1999, pp. 96-99.
- <sup>xii</sup> Burrough P.A., McDonnell R.A., *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, London, 1998.
- <sup>xiii</sup> Raper J., Maguire D.J., *Design models and functionality in GIS*, in "Computer & Geosciences", Pergamon Press, vol. 18, n. 4, 1992, pp. 387-394.
- <sup>xiv</sup> Un inquadramento di questi problemi è in: Worboys M. (a cura di), *GIS: a computing perspective*, Taylor & Francis, London, 1995; Raper J., Kelk B., *Three-dimensional GIS*, in *Geographical information systems: principles and applications*, in Maguire D.J., Goodchild M., Rhind D.W. (a cura di), *Longman Geoinformation*, 1991, pp. 299-317; Rongxing Li, *Data structures and application issues in 3-D geographic information systems*, in "Geomatica", vol. 48, n. 3, 1994, pp. 209-224.
- <sup>xv</sup> Cfr. Raper J., Kelk B., *Three-dimensional GIS*, cit.; de Cambay B., *Three-dimensional modeling in a geographical database*, in *Proceedings of 11th. International Symposium on Computer-Assisted Cartography (AutoCarto 11)*, ASPRS/ACSM, Bethesda, Maryland, 1993, pp. 338-347; Fritsch D., *Three-dimensional geographic information systems - status and prospects*, in "International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)", Vienna, vol. 31, n. 4, 1996, pp. 215-221.
- <sup>xvi</sup> Cfr. Pilouk M., *Integrated modelling for 3D GIS*, PhD thesis, ITC, 1996; Abdul-Rahman A., *The design and implementation of two and three-dimensional triangular irregular network (TIN) based GIS*, PhD thesis, University of Glasgow, 2000, 250 p.; Zlatanova S., *3D GIS for urban development*, PhD thesis, ITC, 2000, 222 p.
- <sup>xvii</sup> Cfr.: Molenaar M., *A topology for 3D vector maps*, in "ITC Journal", n. 1, 1992, pp. 25-33.
- <sup>xviii</sup> Vedi Gaiani M., Addison A.C., 'Virtualized' Architectural Heritage - New Tools and Techniques for Capturing Built History, in "IEEE multimedia", vol. 7, n. 2, aprile-giugno 2000, pp. 26-31.
- <sup>xix</sup> Gülch E., Müller H., Labe T., *Integration of automatic processing into semiautomatic building extraction*, in *Proceedings of ISPRS: Automatic extraction of GIS objects from digital imagery*, vol. 32, Part 3-2W5, 8-10 September 1999, München; Lang F., Forstner W., *Surface reconstruction of man-made objects using polymorphic mid-level features and generic scene knowledge*, in *Proceedings of ISPRS*, Vol. XXXI, B3, 1996, pp. 321-330.

<sup>xx</sup> Gaiani M., *Traduzioni dal reale al virtuale in architettura - Un metodo integrato di acquisizione dati e costruzione di modelli digitali tridimensionali*, in *Frontiere del rilievo: dalla matita allo scanner 3D*, Migliari R. (a cura di), Gangemi, Roma, 2001.

<sup>xxi</sup> Studi in questo senso sono stati compiuti da vari autori tra cui Flick S., *An Object-Oriented Framework for the Realization of 3D Geographic Information Systems. Geographical Information*, in *2<sup>nd</sup> Joint European Conference & Exhibition on Geographical Information proceedings*, Barcelona, 1996, pp. 167-176; Molenaar M., *An Introduction to the theory of spatial objects modelling*, Taylor&Francis, London, 1998; Pullar D.V., Egenhofer M.J., *Toward formal definition of topological relations among spatial objects*, in *Proceedings of the Third International symposium on SDH*, Sydney, 1988, pp. 225-241; Pigot S., *Topological Models for 3D Spatial Information Systems*, in *10<sup>th</sup> International Conference on Computer Assisted Cartography Proceedings*, vol. 10, 1991, pp. 368-392; Köninger A., Bartel S., *3D-GIS for urban purposes*, in "GeoInformatica", vol. 2, n.1, 1998, p.79-103; Kofler M., Rehatschek H., Gruber M., *A Database for a 3D GIS for Urban Environments Supporting Photo-Realistic Visualization*, in *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B2, Commission III, Vienna, 1996, pp. 198-202; Kirby S.D., Flint R., Murakami H., Bamford F., *The Changing Role of GIS in Urban Planning: The Adelaide Model Case Study*, in "International Journal for Geomatics", vol. 11, n. 8, 1997, pp. 6-8.

<sup>xxii</sup> Vedi Kraak M.J., *The cartographic visualisation process: from presentation to exploration*, in "Cartographic Journal", vol. 35, n. 1, 1998, pp. 11-16; Raper J.F., McCarthy T., Unwin D., *Multi dimensional Virtual Reality Geographic Information System, (VRGIS): research guidelines*, in *Proceedings GISRUK 98*, Edinburgh, 1998.; Ranzinger M., Gleixner G., *Changing the city: datasets and applications for 3D urban planning*, in "GIS Europe", n. 3/95, 1995, pp. 28-30; Ligett T., Jepson W., *Use of real time visual simulation technology for urban planning/ design decision making*, in *Proceedings of Fourth Int. Conf. Comp. in urban planning and management*, Melbourne, Australia, July 1995.

<sup>xxiii</sup> Cfr. Coors V., Jung V., *Using VRML as an Interface to the 3D data warehouse*, in *Proceedings of VRML'98*, New York, 1998; Lindenbeck Ch., Ulmer H., *Geology meets virtual reality: VRML visualisation server applications*, in *Proceedings of WSCG'98*, Vol. III, 1998, pp. 402-408; Doyle S., Dodge M., Smith A., *The potential of Web-based mapping and virtual reality technologies for modelling urban environments*, in "Computers, Environment and Urban Systems", vol. 22, n. 2, 1998, pp. 137-155; Verbree E., van Maren G., Germs R., Jansen F., Kraak M.J., *Interaction in virtual world views - Linking 3D GIS with VR*, in "International Journal of Geographic Information Science", vol. 13, n. 4, June 1999, pp. 385-396; Orfali R., Harkey D., *Client/Server programming with Java and CORBA*, John Wiley&Sons, Canada, 1998; Web3D Consortium Inc., *The VR repository*, <http://www.web3d.org/vrml/vrml.htm>; Zlatanova S., Gruber M., *3D GIS on the Web*, in *ISPRS Com. IV proceedings*, Stuttgart, 1998, pp. 691-699; Kim K-H., Lee K., Lee H.G., Ha Y.L., *Virtual geographic world: the web-based 3D GIS*, in *GIS technologies and their environmental applications*, pp. 343-352; Abel D.J., Taylor K., Hungerford S., *An exploration of GIS architectures for Internet Environments*, in "Computers, Environment and Urban Systems", vol. 22, n. 1, pp. 7-23, 1998.

<sup>xxiv</sup> Direttore del progetto e responsabile scientifico per la Soprintendenza Speciale per Beni Archeologici di Napoli e Pompei: Pietro Giovanni Guzzo; responsabile operativo per la Soprintendenza Speciale per Beni Archeologici di Napoli e Pompei: Anna Maria Sodo; responsabile scientifico per la SNS: Salvatore Settis; coordinatore scientifico per la SNS: Benedetto Benedetti; project manager: Maria Emilia Masci – SNS.

<sup>xxv</sup> Benedetti B., Gaiani M., Guzzo P.G., *Scientific knowledge and information representations in historical-technical archives of archaeological sites: Pompeii as a case study*, in *CSAAR 2008 conference proceedings*, in corso di stampa.

<sup>xxvi</sup> Gaiani M., Micoli L.L., Russo M., *The Monuments Restoration Yard: a Virtualization Method and the Case of Study of Sala delle Cariatidi in Palazzo Reale, Milan*, in El-Hakim S., Remondino F. (a cura di), *Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures"*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI, 5/17, 2005.

<sup>xxvii</sup> Gaiani M., Micoli L.L., *A framework to build and visualize 3D models from real world data for historical architecture and archaeology as a base for a 3D information system*, in Forte M. (a cura di), *The reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies*, proceedings of the 2nd Italy-United States Workshop, (pp. 103-125) Berkeley, USA. BAR International series, 1379, 2005.

<sup>xxviii</sup> Debevec P., Tchou C., Gardner A., Hawkins T., *Estimating Surface Reflectance Properties of a Complex Scene under Captured Natural Illumination*, USC ICT Technical Report ICT-TR-06.2004; Poullis C., Stumpf J., Jones A., Yun N., Einarsson P., Lundgren T., Fajardo M., Martinez Ph., *Digital Reunification of the Parthenon and its Sculptures*, in *4th International Symposium on Virtual , Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (2003) proceedings*, Eurographics Association, 2003; Tchou C., *Image-Based Models: Geometry and Reflectance Acquisition Systems*, Master's Thesis, UC Berkeley, Fall 2002.

<sup>xxix</sup> ICOMOS International Scientific Committee on Interpretation and Presentation (2007, 10 April), *The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites, proposed final draft*. Retrieved March 2008 from [http://icip.icomos.org/ENG/groups\\_charter.html](http://icip.icomos.org/ENG/groups_charter.html)

<sup>xxx</sup> *Metric Survey Specifications for English Heritage*, English Heritage, 2000.

- 
- <sup>xxx</sup> Stiny G., Mitchell W. J., *The palladian grammar*, in “Environment and Planning B: Planning and Design”, n. 5, 1978, pp. 5-18.
- <sup>xxxii</sup> Stiny G., *Introduction to shape and shape grammars*, in “Environment and Planning B: Planning and Design”, n. 7, 1980, pp. 343-351; Stiny G., *Pictorial and Formal Aspects of Shape and Shape Grammars*, Birkhauser Verlag, Basel, 1975.
- <sup>xxxiii</sup> Stiny G., Gips J., *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*, in *Proceedings of IFIP Congress 71*, C. V. Firedman Ed., Amsterdam, 1972, ripubblicato su *The Best Computer Papers of 1971*, O. R. Petrocelli Ed., Philadelphia, pp. 125-135; Stiny G., Mitchell W. J., *The Grammar of Paradise: on the Generation of Mughal Gardens*, in “Environment and Planning B: Planning and Design”, n. 7, 1980, pp. 209-226.
- <sup>xxxiv</sup> Lindenmayer A., Prusinkiewicz P., Hanan J., *Developmental Models of Herbaceous Plants for Computer Imagery Purposes*, in “Computer Graphics”, vol. 22, n. 4, 1988, pp. 141-150.
- <sup>xxxv</sup> Tzonis A., Lefavre L., *Classical Architecture: the Poetics of Order*, The MIT Press, Cambridge, Londra, 1986.
- <sup>xxxvi</sup> Lévi-Strauss C., *Antropologie structurale*, Parigi, 1958.
- <sup>xxxvii</sup> Quinrand P., Autran J., Florenzano M., Fregier M., Zoller J., *La CAO en architecture*. Hermes, Paris, 1985.
- <sup>xxxviii</sup> Gaiani M., *Translating the architecture of the world into virtual reality and vice-versa: 7 years of experimentation with conservation and representation at OFF*, in *Proceedings of Heritage Applications of 3D Digital Imaging*. Ottawa, Canada, 1999.
- <sup>xxxix</sup> De Luca L., Florenzano M., Veron P., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, in “Visual Computer”, n. 23, 2007, pp. 181–205.
- <sup>xl</sup> Attene M., Robbiano F., Spagnuolo M. and Falcidieno B., *Semantic Annotation of 3D Surface Meshes based on Feature Characterization*, in *Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4816 (SAMT'07 Procs.)*, 2007, pp. 126-139.
- <sup>xli</sup> Emgard KL, Zlatanova S., *Design of an integrated 3D information model*, in Coors, Rumor, Fendel & Zlatanova (a cura di), *Urban and regional data management: UDMS annual 2007*, Taylor & Francis Group, London, UK. pp. 143-156.