

# Il restauro dei beni architettonici: problematiche del rilievo ed innovazioni tecnologiche per la rappresentazione tridimensionale

Giancarlo CARRAI (SVALTEC s.r.l.), Paolo CENDERELLI (ARCHIMEDIA),  
Fiorella FACCHINETTI (Soprintendenza B.A.A. - Firenze), Gianni PINUCCI (SVALTEC s.r.l.)

## RIASSUNTO

L'esposizione si propone, attraverso i case-study del Palazzo Mozzi-Bardini, della Badia Fiorentina a Firenze e del teatro degli Impavidi a Sarzana di offrire una serie di valutazioni sulle tecniche di rilievo e di rappresentazione di beni architettonici di grandi dimensioni e di una notevole complessità artistico-volumetrica. Le tavole grafiche forniscono una documentazione sia sulle tecniche di rilievo attraverso la discretizzazione di un insieme di punti nello spazio, sia sulle più innovative tecniche di ricostruzione Cad mettendo in evidenza la necessità di sfruttare tutte le risorse di più pacchetti software commerciali per ottenere risultati apprezzabili nella rappresentazione tridimensionale e nella gestione di informazioni sia dimensionali che qualitative dell'oggetto rappresentato.

## ABSTRACT

The experience gained with some case-study such Mozzi-Bardini Palace, the Religious Complex of Badia Fiorentina in Florence and the Degli Impavidi Theatre in Sarzana and other masterpieces offered the chance to set up and test new methodologies for 3D survey and modelling of historical buildings through their artistic and architectonic complexity. The posters show the advanced techniques applied to the 3D survey as well as the last generation Cad capabilities to represent and record information concerning geometrical and qualitative data.

Poter disporre di uno strumento in grado di acquisire, immagazzinare e gestire in modo "intelligente" le informazioni necessarie a descrivere in modo completo un Bene Architettonico, anche complesso, utilizzando la potenza e la dinamicità degli strumenti informatici oggi disponibili, è probabilmente il sogno di ogni tecnico impegnato in progetti di restauro, conservazione e gestione nel patrimonio architettonico.

La nostra sfida, nata dal lavoro eseguito su di un grande complesso architettonico, quale il Palazzo Mozzi-Bardini di Firenze e successivamente applicata al Complesso Monumentale della Badia Fiorentina ed al rilievo del Teatro degli Impavidi di Sarzana, è consistita nella messa a punto di una metodologia di lavoro costituita da tecniche appartenenti ad ambiti professionali diversi.

Sono state infatti impiegate tecniche e strumentazioni normalmente adottate in topografia, architettura, trattamento di immagini, grafica, Cad, informatica, gestione di banche dati ed attraverso queste è stato eseguito il rilievo, la restituzione, la raccolta e l'organizzazione dei dati. Ne è risultata una struttura complessa, ma "*intelligente*", in grado di acquisire, immagazzinare, gestire, aggiornare e restituire informazioni grafiche, tabulari e descrittive relative ad un sistema complesso, tridimensionale, quale un edificio storico.

L'obiettivo finale di tali attività è consistito nella creazione di un sistema complesso, strutturato come una banca dati in ambiente relazionale dei singoli "oggetti" che costituiscono il complesso architettonico, contenente le informazioni relative alla geometria, ai materiali, allo stato conservativo, ecc.ecc dell'edificio in oggetto dalla quale poter ricavare elaborati grafici bi- e

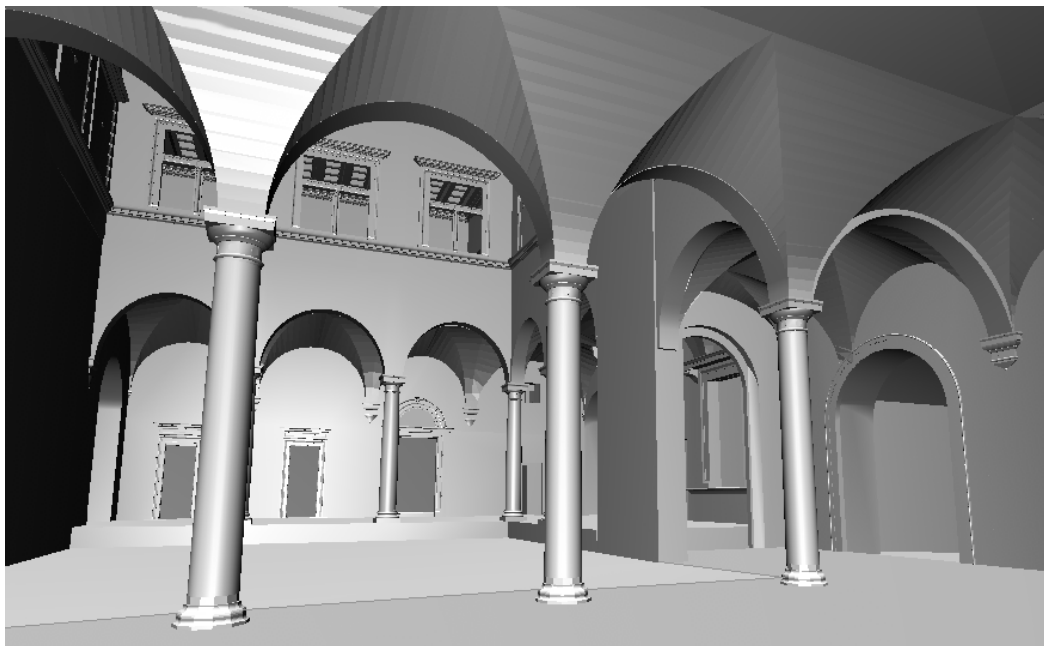
tridimensionali, tabelle, computi delle superfici, dei volumi ecc., note descrittive e dati tecnici utili sia per attività di progettazione che di conservazione e successiva gestione.

Le diverse metodologie impiegate per la realizzazione delle varie fasi di attività, tutte improntate al massimo rigore e controllo del singolo dato, sono basate sull'uso di pacchetti software commerciali, attraverso i quali è stato possibile il trasferimento dei dati da un sistema all'altro, mantenendo elevato il grado di affidabilità e precisione.

### **Il rilievo**

L'attività di rilievo è consistita nella realizzazione di una poligonale principale chiusa e compensata, esterna al complesso monumentale, dai cui vertici sono state derivate le poligonali vincolate necessarie per servire tutti i piani dell'edificio ed i locali oggetto del rilievo. Il rilievo è stato riferito al Sistema ED-50 in modo tale da renderlo coerente ed in correlazione con il territorio circostante.

Da ogni vertice di poligonale sono state eseguite una serie di misure celerimetriche atte a creare una maglia di punti topografici di appoggio, opportunamente codificati, tali da identificare gli elementi strutturali e architettonici principali, come gli spigoli delle stanze ai vari piani, l'andamento e lo spessore dei muri portanti, le quote dei vari locali, il tutto inquadrato in un unico sistema di coordinate.



*Figura 1 – Stralcio del modello 3D di Palazzo Mozzi-Bardini*

In tal modo è stato creato uno scheletro topografico dell'edificio costituito da punti fissi di determinazione certa che, oltre a definire la geometria e la volumetria del corpo da rilevare, fungono da appoggio per il successivo rilievo metrico, limitando in modo considerevole le misure metriche dirette e le operazioni di trilaterazione. Tale procedura garantisce inoltre che l'errore rimanga confinato all'interno della maglia dei punti topografici, eliminando il rischio che possa influenzare le misure al di fuori di questa.

Con l'utilizzo di una stazione totale con distanziometro laser è stato inoltre possibile rilevare con alta precisione volte, archi, soffitti, mensole, coperture, lesioni e tutti quegli elementi architettonici e strutturali di difficile accesso, ai fini della creazione di un modello tridimensionale completo.

Questa metodologia di lavoro applicata al rilievo architettonico di edifici monumentali è sicuramente una delle più precise e celeri, garantisce il posizionamento degli elementi rilevati per coordinate spaziali e di conseguenza permette di verificare in modo numerico la sovrapposizione delle piante, la disposizione di volumi contigui e di effettuare verifiche anche di eventuali anomalie quali situazioni di cedimento strutturali o di altro tipo. Per il rilievo e la rappresentazione di solai o pareti verticali particolarmente articolate o sconnesse sono stati realizzati DEM (Digital Elevation Model) costituiti da una maglia molto fitta di punti la cui interdistanza è stata di volta in volta calcolata in base al dettaglio richiesto.

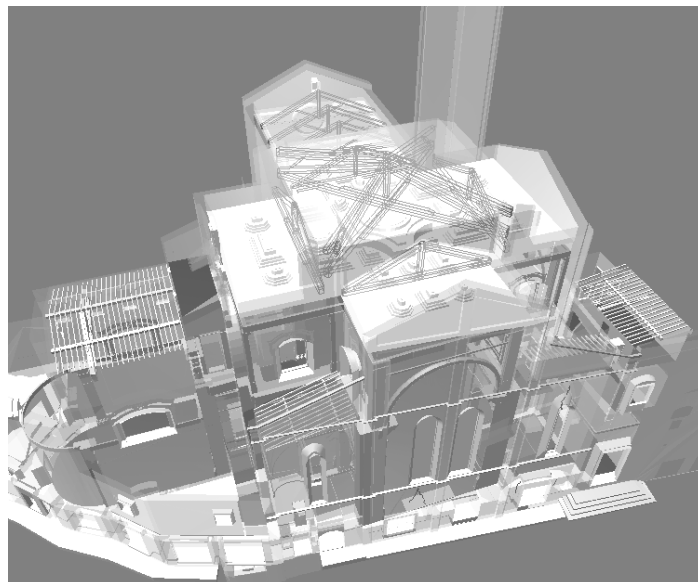
Il rilievo degli elementi di dettaglio e degli elementi decorativi è stato realizzato con misure dirette, per trilaterazione utilizzando come punti di riferimento la maglia dei punti determinati con il rilievo topografico. Ciascuna misura è stata effettuata garantendo almeno una misura incrociata di controllo.

Per la rappresentazione di elementi decorativi bidimensionali, ove non rilevabili con misure topografiche o dirette, si è proceduto con riprese fotografiche digitali ad alta risoluzione, successivamente elaborate con specifici software per il raddrizzamento, utilizzando punti topografici rilevati con strumentazione laser. Per tali operazioni ci si è avvalsi d'immagini riprese con camera digitale od ottenute con scansione ad alta risoluzione di immagini fotografiche ingrandite.

### **Costruzione del modello 3D**

I dati provenienti dal rilievo sono stati quindi strutturati in modo da poter essere utilizzati su sistemi informatici CAD, per costruire il modello tridimensionale dell'edificio.

La maggior parte dei programmi Cad commerciali con funzionalità 3D permette la modellazione tridimensionale con tecnologia "wireframe", cioè a "filo di ferro", tramite il tracciamento tridimensionale delle sole linee guida degli elementi che compongono lo spazio-edificio. Da questo sono successivamente ricavati gli elaborati bidimensionali quali piante, prospetti e sezioni.



*Figura 2 – Stralcio del modello 3D del Complesso della Badia Fiorentina*

Sulla base delle nostre esperienze questo tipo di rappresentazione presenta molti limiti e principalmente la difficoltà di gestire le molte e variegata informazioni provenienti dai dati di rilievo, con un evidente limite alla possibilità di utilizzare questa tecnologia applicata a strutture molto vaste e articolate, come gli edifici storici di considerevoli dimensioni e complessità.

Per tali motivi abbiamo scelto di costruire un modello digitale “solido”, una sorta di “plastico” virtuale dell’edificio, dove ogni elemento che lo compone è stato rilevato nel suo sviluppo tridimensionale e riprodotto fedelmente utilizzando tecniche di modellazione solida e composizione 3D, proprie di strumenti software evoluti appartenenti sia al mondo del CAD che a quello della computer grafica.

In particolare sono stati utilizzati software CAD in grado di costruire modelli 3D in “Object oriented technology”, tecnologia che ci consente di gestire gli oggetti architettonici, (strutturali, compositivi e decorativi), singolarmente o raggruppandoli in insiemi, in funzione delle richieste e delle necessità delle diverse figure professionali coinvolte nell’intervento.

PARETI 3D STANZA D1				PALAZZO MOZZI BARDINI 3D	
Livello di computo: l'al netto dei fori > 10 mq e > 0,25 mq					
Disegno: P 2 3D			Data/Ora: 06/06/2005:34		
PIANO D			Progettista: _____		
Materiale	Spessore	Lunghezza	Elemento	Misure	Quantità
D10/1 Pietra Mattoni	67,5 cm	6,376 m		1*0,5*(0,078+0,023)*6,486	0,008 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(6,845+0,078)*6,499	1,001 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(6,376+6,173)+0,504*6,376	6,892 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(0,100+0,168)*6,484	2,646 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(0,005+0,100)*6,478	0,002 m <sup>2</sup>
				Somma parziale	36,237 m <sup>2</sup>
D10/3 Pietra	71,5 cm	9,339 m		1*0,5*(0,729+0,729)*0,033*9,660	0,232 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(3,572+3,408)*0,093*9,960	1,754 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(0,034+0,003)*9,663	0,000 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(3,408+0,031)*9,198	0,532 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(5,993+5,820)*0,683*7,483	17,4 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(0,043+0,094)*6,630	0,001 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(5,815+0,043)*7,157	0,888 m <sup>2</sup>
				1*0,5*(1,738+0,268)*0,005*8,269	0,045 m <sup>2</sup>

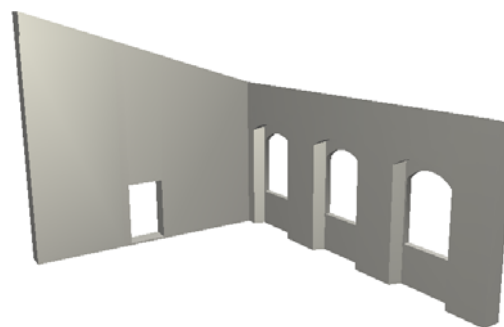


Figura 3 – Esempio di scheda delle misure e rappresentazione 3D di elemento murario

Grazie a questi potenti software dedicati al mondo dell’architettura è stato creato un modello tridimensionale che consente finalmente la “navigabilità” in punta di mouse del Complesso Architettonico, consentendo ad architetti ingegneri e restauratori un’analisi visiva immediata e intuitiva dello sviluppo e della composizione dell’edificio. L’edificio è stato ricostruito fedelmente, oggetto per oggetto, non tralasciando di utilizzare tecnologie DEM o MDT nella ricostruzione di elementi particolarmente complessi o degradati, quali solai caratterizzati da evidenti cedimenti, pareti “fuori piombo”, falde di tetto irregolari ecc.. In tal modo è stato possibile creare uno strumento in grado di soddisfare in “tempo reale” richieste di elaborati quali piante, prospetti, sezioni, particolari architettonici e decorativi, ma anche richieste di dati relativi alla composizione materica o dello stato di degrado dei singoli oggetti oppure volumi, superfici, perimetri.

L’ “intelligenza” di questi strumenti consiste, nella possibilità di attribuire informazioni agli oggetti tridimensionali (per esempio di che materiale è composto un elemento architettonico o che tipo di stratificazione presenta, oppure che sintomatologia di lesione ne minaccia l’integrità) e nella possibilità di interrogare il modello 3D “evoluto” per poter ottenere in maniera veloce e precisa tutte le informazioni sugli elementi che ci interessano, strutturate così come noi le desideriamo.

Gli oggetti ci “restituiscono” i dati che noi stessi forniamo, per esempio sullo stato di degrado di una parete o la presenza e caratteristiche di lesioni, ci aiutano ad averne di nuovi, importanti e precisi circa il volume, la superficie, lo sviluppo lineare e dalla sovrapposizione di più informazioni possiamo ottenere ulteriori indicazioni più complesse.

Calcolare il volume o la superficie di una parete non è certamente una pratica innovativa ma è sicuramente nuovo, comodo e veloce farlo con un semplice “click” del nostro mouse, soprattutto se la “domanda” riguarda, per esempio, tutte le pareti del secondo piano di un edificio con uno sviluppo di alcune migliaia di mq. e per un totale di qualche centinaia di pareti realizzate con tecnologie costruttive diverse.

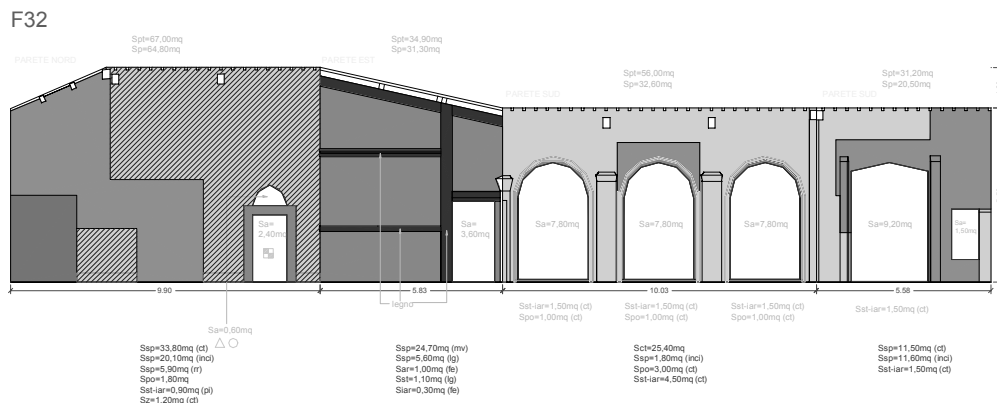


Figura 4 – Sezione contenente informazioni tematiche e dimensionali estratte dal sistema

L’unione degli oggetti così costruiti e qualificati ha determinato il modello generale dell’edificio che, a sua volta, applicando un procedimento di raggruppamento degli “oggetti”, ha permesso di strutturare i “vani”, ovvero le stanze e gli spazi che lo compongono. La costruzione dei “vani” ha dato la possibilità di gestire ulteriori informazioni immediate quali il codice identificativo, il perimetro lineare, la superficie calpestabile, il volume, fino a calcolare automaticamente il rapporto tra il volume e le aperture (superfici aeroilluminanti) di ogni vano dell’edificio.

La disponibilità di dati strutturati in un modello di questo tipo ha permesso di estrarre con facilità ed in maniera semi-automatica i computi metrici dell’intero edificio, i quali, a loro volta, se collegati ad un software di gestione dei prezzi forniscono un calcolo di massima dei costi degli interventi conservativi e progettuali previsti. Ciò ovviamente presuppone che la progettazione degli interventi sia realizzata utilizzando lo stesso sistema ed applicando la stessa tecnologia, con l’innegabile vantaggio di poter “controllare” e calibrare ogni tipo di intervento attraverso il monitoraggio dei dati e la valutazione visiva, anche se virtuale, di ciò che il progetto produce.

La disponibilità del modello virtuale 3D e l’uso degli stessi pacchetti software ha permesso la realizzazione di immagini e filmati virtuali nei vari formato oggi disponibili, quali .TIF, JPEG, AVI e QUICK TIME, ma anche di realizzare viste complesse per valutare l’inserimento di soluzioni progettuali nel contesto urbano circostante l’edificio o per la valutazione del relativo impatto ambientale. Il trasferimento, la diffusione e l’utilizzo da parte dei tecnici di tali informazioni non richiede necessariamente la disponibilità e la conoscenza del software utilizzato per la loro generazione, costoso e complesso da utilizzare. A tal fine possono infatti essere utilizzati formati di scambio definiti “leggeri” quali il formato “WRML”, la trasposizione in “FLASH” del formato “QUICK TIME” e l’utilizzo del “World Wide Web”. Tali soluzioni consentono inoltre di rendere fruibili queste informazioni anche attraverso il Web, con un facile trasferimento e la possibilità di un’ampia diffusione che, nel caso per esempio, di edifici destinati ad uso museale, può rivelarsi utile anche a fini promozionali.

La realizzazione e l’utilizzo di un modello 3D “evoluto” per studiare, analizzare, recuperare e gestire un Bene Architettonico è oggi confortata dalle potenzialità dei moderni software dedicati al mondo dell’architettura. Questi infatti permettono, una volta realizzato il modello tridimensionale, di utilizzarlo non solo per gli aspetti legati alla progettazione, ma anche per fornire un valido strumento di gestione e controllo dell’immobile, della sua funzionalità e del suo contenuto.

L'accesso al modello tramite Internet con strumenti di visualizzazione e navigazione, permette inoltre la facile diffusione delle informazioni sull'oggetto rappresentato e la possibilità di attivare anche strumenti promozionali di grande impatto, ed ampia diffusione.