

# GIS 3D PER LA GESTIONE DELLE ARCHITETTURE NEI CENTRI STORICI: IL PORTICO DELLA CHIESA DI SAN FRANCESCO A URBINO E IL QUARTIERE MEDIEVALE DI LAVAGINE

## 3D GIS FOR THE MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL ELEMENTS IN HISTORICAL CITIES: THE PORCH OF THE ST FRANCISCO CHURCH AND THE MEDIEVAL AREA "LAVAGINE" IN URBINO, ITALY

S. Bertozzi<sup>a</sup>, L. Baratin<sup>a</sup>, E. Moretti<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo", DISPEA, Dipartimento di Scienze di Pure e Applicate, - [sara.bertozzi@uniurb.it](mailto:sara.bertozzi@uniurb.it) - [laura.baratin@uniurb.it](mailto:laura.baratin@uniurb.it) - [elvio.moretti@uniurb.it](mailto:elvio.moretti@uniurb.it)

**PAROLE CHIAVE:** 3D GIS, modellazione, rilievo, beni culturali

**KEY WORDS:** 3D GIS, modelling, survey, cultural heritage

### RIASSUNTO

Il progetto mira alla rappresentazione del centro storico di Urbino, definendone la morfologia, la trasformazione storica, con strumenti GIS 3D e, in particolare, analizzando alcuni manufatti nel loro stato di conservazione e nei possibili interventi di restauro, come nel caso del Portico della Chiesa di San Francesco nel quartiere medievale di Lavagine. Tramite l'integrazione di diverse metodologie di rilievo, topografiche, fotogrammetriche e laser scanner si è arrivati alla rappresentazione tridimensionale del manufatto attraverso raddrizzamenti, ortofoto, mappe plano-altimetriche e disegni di dettaglio. Con il GIS, utilizzando un approccio innovativo, si propone un sistema di gestione tridimensionale dei dati. Tutte le informazioni alfanumeriche e geometriche si associano a un corretto posizionamento e georeferenziazione di piante e prospetti che vanno a integrarsi, in ambiente 3D Geodatabase, agli elementi poligonali modellati degli edifici e a tutte le carte tematiche che descrivono la conformazione e le caratteristiche del territorio in cui sono inseriti per giungere a una rapida fruizione e interrogazione, oltre ad analisi quantitative e statistiche e ad altri diversi tipi di elaborazioni.

### ABSTRACT

The project aims at representing the historical center of Urbino, defining its morphology and historical transformation, using GIS and 3D and especially analyzing the state of conservation and possible restoration of some monuments, such as the Portico of the Church of San Francesco in the medieval quarter of Lavagine. By integrating different surveying methods - topographic, photogrammetric and laser scanner - a three-dimensional representation of the building has been achieved through rectifications, orthophotos, plano-altimetric maps and detailed drawings. GIS is used in an innovative manner to provide three-dimensional data management. All alphanumeric and geometric data are associated with proper positioning and geo-referencing of plans and elevations and together they integrate, in 3D Geodatabase, the polygonal shaped elements of the buildings and all the thematic maps that describe the shape and characteristics of the territory in which they are inserted, to achieve quick availability and query, in addition to quantitative analyses and statistics and other different types of processing.

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Information Technology e patrimonio culturale

Le nuove tecnologie e l'intero campo dell'Information Technology forniscono oggi strumenti di grande utilità nella realizzazione di qualsiasi operazione di pianificazione e progettazione di interventi di salvaguardia, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

L'utilizzo di tecnologie digitali nei beni culturali è sempre in continua evoluzione e coinvolge, sempre più, tutto l'iter dalla conoscenza, alla tutela e all'intervento sul patrimonio culturale. A questo proposito, diventa fondamentale definire degli obiettivi strategici che consentano di sfruttare appieno le potenzialità degli strumenti e dei software presenti, oltre alla definizione di metodologie in grado di integrare i diversi apporti. La documentazione e l'archiviazione dei dati sullo stato

di fatto di un bene sono fondamentali soprattutto nel caso in cui ci sia la necessità di un intervento di restauro. La possibilità di rilevare con notevole accuratezza geometrie molto complesse permette lo studio approfondito delle tecniche costruttive, consentendo la percezione e l'analisi di particolari geometrici difficilmente rilevabili con le tecniche tradizionali.

In questi ultimi anni, si impone sempre più l'utilizzo della terza dimensione che porta ad una più completa e intuitiva percezione dello spazio; le finalità legate ad un modello tridimensionale, che ricostruisca virtualmente l'oggetto reale, possono essere da un lato funzionali ad una rappresentazione scenica, con funzione divulgativa e di valorizzazione, dall'altro predisposte per documentare il patrimonio artistico come supporto alla conoscenza, alla tutela e alla conservazione.

Ne deriva la necessità di operare a scale di rappresentazione molto diverse tra loro, estese dall'ambito territoriale a quello architettonico-edilizio, integrando l'acquisizione di

informazioni metriche, accurate e dettagliate dal punto di vista geometrico con una loro corretta rappresentazione che tenga conto non solo di problemi quantitativi, ma anche qualitativi. Per molti anni, i sistemi GIS sono stati utilizzati con successo per archiviare, trattare, gestire, analizzare e riportare dati grafici e alfanumerici in diversi campi, come la pianificazione urbana, la cartografia, la logistica, la gestione di network, ed altro. In questi ultimi decenni anche i beni culturali sono rientrati tra i settori di applicazione, tanto da indurre le principali software house a sviluppare degli applicativi dedicati. L'utilizzo dei sistemi GIS, a integrazione e completamento di modelli di rappresentazione CAD/BIM a scala edilizia (Mingucci, 2013), consente di sviluppare progetti di gestione integrata della struttura fisica e logica dei dati, coniugando funzioni di indicizzazione, analisi e ricerca dei DBMS (Database Management System), all'universo delle proprietà geometriche, costituite da rapporti metrici e topologici, per giungere a cartografie dinamiche per la catalogazione, gestione e interrogazione di grandi quantità di dati. La modellazione tridimensionale dell'ambiente urbano, utile per una immediata comprensione geometrica dell'edificato, può così andare a integrarsi alla gestione di tutte le restituzioni grafiche e planimetriche ottenute da processi fotogrammetrici e rilievi laser scanner, seguendo il loro corretto posizionamento geografico-spaziale.

Le potenzialità dei GIS permettono una fruizione sempre più "smart" delle città, consentendo una rapida gestione dei dati attraverso analisi ed elaborazioni delle proprie caratteristiche, monitorando, ad esempio, lo stato di conservazione e la manutenzione dei manufatti architettonici presenti, fino a giungere a una vera e propria pianificazione degli interventi. Ogni caratteristica visualizzabile e valutabile in una parte di territorio, dai resti di edifici, a pietre sparse, ad elementi decorativi, fino a macchie di colore o lacune ed elementi di degrado, può essere rilevata e trattata come elemento vettoriale, quindi nella sua dimensione reale, superando il concetto di scala e mantenendo solo quello di accuratezza del rilievo (Baratin, 2012).

Tramite l'integrazione di diverse metodologie di rilievo, topografiche, fotogrammetriche e laser scanner si è arrivati alla rappresentazione tridimensionale del manufatto attraverso raddrizzamenti, ortofoto, mappe plano-altimetriche e disegni di dettaglio. Con il GIS, utilizzando un approccio innovativo, si propone un sistema di gestione tridimensionale dei dati. Tutte le informazioni alfanumeriche e geometriche si associano a un corretto posizionamento e georeferenziazione di piante e prospetti che vanno a integrarsi, in ambiente 3D Geodatabase, agli elementi poligonali modellati degli edifici e a tutte le carte tematiche che descrivono la conformazione e le caratteristiche del territorio in cui sono inseriti per giungere a una rapida fruizione e interrogazione, oltre ad analisi quantitative e statistiche e ad altri diversi tipi di elaborazioni.

Il progetto GIS utilizza due carte topografiche di base alla scala 1:1000, fornite dal Comune di Urbino, riferite alla medesima area. La prima restituisce la planimetria di tutti gli elementi che compongono il tessuto urbano e la morfologia al piano campagna ed ha consentito di generare un TIN utilizzando le isoipse con equidistanza 1 metro e tutti i punti quotati disponibili. La CTR alla scala 1:10000 ed equidistanza 10 metri è stata utilizzata come cartografia di controllo e per avere una visione più ampia del contesto territoriale. La seconda carta alla scala 1:1000 ci fornisce il rilievo e le quote al tetto degli edifici e viene utilizzata per integrare i dati dell'edificato con la morfologia del terreno. Una ulteriore integrazione dei dati si ottiene, ad un maggior livello di dettaglio, utilizzando i

prospetti derivanti dalla rappresentazione del piano del colore alla scala 1:100 e, in particolare per il Portico di San Francesco, con i rilievi laser scanner restituiti alla scala 1:50.

I dati sono gestiti separatamente nelle varie fasi e riuniti in ambiente tridimensionale, ArcScene, solo per una loro visualizzazione e gestione finale. Arcmap consente di organizzare tutte le planimetrie in un progetto georeferenziato (Monte\_Mario\_Italy\_2 - WKID: 3004; Authority: EPS; Projection: Transverse\_Mercator; False\_Easting: 2520000,0; False\_Northing: 0,0; Central\_Meridian: 15,0; Scale\_Factor: 0,9996; Latitude\_Of\_Origin: 0,0; Linear Unit: Meter (1,0)) e tutti i prospetti in un altro progetto non georeferenziato in cui vengono solo stabilite le unità di misura in metri, senza generare deformazioni. L'unica variante tra i due progetti risiede nel fatto che ArcMap pone i prospetti su un piano XY e non nel reale piano XZ, ma questo non comporta nessun problema nel loro utilizzo spaziale né per le eventuali interrogazioni SQL, quando gli viene associato un database relazionale per gestire i vari attributi di interesse, quali ad esempio materiali costitutivi oppure cause o tipologie del degrado. Tutte le analisi spaziali e le valutazioni statistiche vengono effettuate sugli elementi rilevati, cioè sulle elaborazioni laser scanner originali. Si passa poi a una loro georeferenziazione solo per consentire una integrazione finale in ambiente 3D e un loro posizionamento corretto secondo il sistema di riferimento scelto, dove potranno essere interrogati e gestiti assieme agli elementi in pianta. Questi ultimi vengono invece organizzati e visualizzati come volumetrie utilizzando però delle estrusioni di volumi che partano dalle altezze dei tetti, non dai modelli veri e propri. Lo scopo di questo progetto è proprio quello di cercare di capire le potenzialità di un sistema GIS nel giungere a una modellazione semplificata degli elementi urbani di un centro storico, senza necessariamente dover utilizzare software specifici (BIM o CAD3D), che possano servire come basi sia per la gestione delle caratteristiche proprie degli edifici, sia come supporto per la loro posizione spaziale e per l'integrazione nel contesto, pur derivando da rilievi di natura diversa. Nell'ottica di una manutenzione programmata e di un eventuale restauro l'utilizzo di un GIS consente di riunire in un unico rilievo vettoriale tutte le caratteristiche di documentazione sullo stesso oggetto, fornendo nel contempo informazioni spaziali e analisi metriche. Arrivando a posizionare infine questi elementi nella loro corretta posizione geografica in ambiente 3D si giunge ad avere un quadro completo delle caratteristiche dell'area in esame.

Il progetto mira alla rappresentazione del centro storico di Urbino, patrimonio dell'UNESCO, definendone la morfologia e la trasformazione storica, con strumenti GIS 3D e analizzando, in particolare, alcuni edifici nel loro stato di conservazione per futuri interventi di restauro, come nel caso del Portico della Chiesa di San Francesco nel quartiere medievale di Lavagine.

Per il Portico della Chiesa di San Francesco è stata svolta una completa campagna di rilievo topografico, fotogrammetrico e laser scanner integrata alle cartografie aerofotogrammetriche fornite dal Comune per quanto riguarda tutta l'area urbana e per il centro storico ai dati raccolti per il piano del colore.

## 1.2 Il Convento e la Chiesa di S. Francesco ad Urbino

Ubicato vicino alla centrale Piazza della Repubblica il Convento di San Francesco, è uno dei principali edifici religiosi della città di Urbino. Originariamente occupava l'intero isolato, compreso tra le vie Raffaello, Cesare Battisti, Sant'Andrea e Bramante. I Padri Francescani sono presenti ad Urbino fin da quando era ancora in vita San Francesco d'Assisi (1182 - 1226).

Nel 1228 è documentata la presenza di un piccolo monastero vicino all'attuale chiesa di Santo Spirito, già nell'area dell'odierna struttura. Fu il Vescovo Egidio nel 1286 che cedette ai frati l'area in cui venne eretto il convento, in stile romanico - gotico, di notevoli dimensioni, tant'è che aveva tre chiostri e un grande orto (Ligi B., 1968).

Grazie ai pontefici, alla curia romana e alla casata dei Montefeltro, dalla seconda metà del XV secolo il convento di S. Francesco dei minori conventuali di Urbino ebbe grande risonanza per i suoi studi. Aspiranti studiosi di filosofia e di teologia affluivano da ogni parte d'Italia presso il convento, la cui fama gli meritò ben presto il titolo di *Gymnasium publicum*. La bolla di Giulio II "Leggia sacram Beati Petri Sedem" del 19 febbraio 1500, è anche riconosciuta come il primo atto di fondazione dell'ateneo urbinato.

Nel XVII secolo venne demolito il primo chiostro, in quanto pericolante. Il convento subì, come la chiesa, tra il 1748 e il 1790, una radicale ristrutturazione promossa e sostenuta finanziariamente dal cardinal Annibale Albani (Ligi B., 1968). Pochi anni dopo durante l'occupazione francese, nel 1807, si ha la soppressione del convento con la conversione dell'edificio in caserma e tale resterà fino al 1816 quando tornò alla sua originaria funzione di struttura religiosa. Ma l'occupazione francese lascerà anche un altro importante segno: la trasformazione dell'orto del convento in coltura botanica, l'attuale Orto Botanico gestito prima dai frati e dal 1844 dall'Università (Mazzini F., 1982).

Il convento tornerà ad essere presidio militare tra il 1860 e il 1866 in seguito all'annessione della città al Regno d'Italia, quando i beni fondiari del convento vennero messi all'asta. Due anni dopo, nel 1868, il demanio consegnò l'edificio al Comune di Urbino. I padri francescani poterono tornare a risiedere nell'edificio nel 1877, ma solo nella parte adiacente alla chiesa, che sarà definitivamente acquistata dall'Ente Provinciale dell'Ordine dei frati minori conventuali nel 1902 (Mazzini F., 1982). Subirono molte trasformazioni invece le parti confiscate, in alcuni casi anche demolizioni che ne modificarono l'aspetto. Attualmente nella struttura sono presenti attività commerciali, residenze, la sede dell'Ufficio Postale e del Liceo Artistico Scuola del Libro. Nel 1894 anche il chiostro che aveva funzione di cimitero, sul lato sinistro della chiesa, verrà demolito per creare la piazzetta del Mercato delle Erbe, quindi dei tre chiostri originari, è sopravvissuto solo un lato di quello più grande, al centro del convento. La struttura originaria della chiesa del XIV secolo, lunga 45 metri e larga 20, era divisa in due navate, una grande a croce latina e una più piccola sulla destra, composta da sette cappelle gentilizie delle più importanti famiglie della nobiltà cittadina, affrescate tra gli altri da Antonio Alberti da Ferrara. In tutta la chiesa vi erano diciotto altari e nel mezzo della navata centrale era presente un coro ligneo intagliato e intarsiato a figure, databile intorno al 1498, con cento seggi, che purtroppo è andato perduto.

Grazie alle ingenti donazioni del cardinal Annibale Albani la chiesa è stata ristrutturata tra il 1732 e il 1751 (Cucco G., 2001). Il progetto del nuovo edificio, anche se generalmente attribuito a Luigi Vanvitelli, è più probabilmente da ritenersi opera del Barigioni. La chiesa attuale, che venne consacrata nel 1751, presenta una croce latina a tre navate. L'opera più pregevole che vi è conservata è il "Perdono d'Assisi" di Federico Barocci, posto sull'altare maggiore. Sono conservate, sopra gli altari del transetto, anche due grandi tele, servite per i mosaici della basilica vaticana a Roma, "San Pietro che battezza i santi Processo e Martiniano" di Giuseppe Passeri e "San Pietro che battezza il centurione Cornelio" di Ercole Procaccini. In origine nella chiesa erano conservate altre due tele del Barocci,

la "Vergine Immacolata" e la "Madonna dei Santi Simone e Giuda", che si trovano ora nella Galleria Nazionale delle Marche a Palazzo Ducale.

Dell'antica chiesa gotica sono sopravvissute solo poche testimonianze, un frammento dell'affresco raffigurante un Cristo crocifisso, dei fratelli Salimbeni, il narcece (il portico sulla facciata), il campanile e la sottostante cappella appartenuta anticamente alla famiglia Paltroni, fu dedicata, nel 1929, ai soldati caduti in guerra. La chiesa è anche considerata il Pantheon urbinato, perché vi sono sepolti alcuni dei personaggi più illustri di Urbino.

Tra le particolarità del Monastero di San Francesco bisogna anche ricordare la Cappella Albani a cui si accede dall'attuale Piazza delle Erbe (l'antico chiostro-cimitero della chiesa): è ad aula unica, di forma rettangolare, con l'ingresso e il solo altare posti sui lati lunghi, in origine era la sala del Capitolo del Convento, fu trasformata in cappella gentilizia della famiglia Albani nel 1731 (Cucco G., 2001). Le decorazioni a stucco delle pareti e delle finestre sono attribuite a Luigi Vanvitelli. L'altare è formato da un sarcofago paleocristiano, risalente al III secolo d.C. proveniente dalla chiesa di Sant'Eustacchio a Roma. Nell'altare sono conservate le reliquie dei quattro Santi Martiri (Eustacchio, la moglie Teopista, i figli Agapito e Teofilo). Sulla parete destra vi è un busto di Clemente XI, sotto di esso un vaso in alabastro contenente i precordi del papa. Nella cappella vi sono sepolti Orazio Albani e Elena Mosca, rispettivamente nonno e madre di Clemente XI.

## 2. IL PORTICO DI SAN FRANCESCO E LE FASI DI RILEVAMENTO

### 2.1 Il Portico di San Francesco

La chiesa francescana, diversamente da come si presenta oggi, si componeva di sole due navate: una grande, per le celebrazioni, affiancata da una minore, rialzata di alcuni gradini, deputata ad accogliere alcune cappelle patrizie e posta sul fianco dell'attuale via Battisti. Sul lato opposto, in aderenza al muro dell'edificio sacro correva il lato del chiostro destinato a cimitero. Lo stile interno dell'edificio originario doveva assomigliare a quello del portico, essendo entrambe le parti ricondotte ad una medesima fase edificatoria. La presenza, fino all'epoca delle demolizioni ottocentesche, del lato del chiostro lungo il fianco della chiesa fa ipotizzare che la mancata corrispondenza tra i portali di ingresso e le arcate del portico sia dovuta alla continuità spaziale tra chiostro e portico, che i rifacimenti settecenteschi non hanno voluto alterare.

La data di edificazione del portico non può essere definita con certezza, vista la mancanza di documenti circa la sua origine, ma gli studiosi la riconducono al XIV secolo, sulla base di analisi del linguaggio figurativo, ipotizzando che anche il portico appartenga alla fase edilizia svoltasi tra la fine del XIII e il XIV secolo, durante la quale i frati posero mano alla trasformazione dell'edificio preesistente erigendo tutto il nuovo complesso conventuale.

Certo è che le trasformazioni settecentesche non apportarono modifiche alla struttura muraria del portico, se non per la significativa demolizione di parte dell'arcata terminale verso il convento e la costruzione di un muro di chiusura in continuità con la parete della chiesa, conformazione con la quale la loggia si presentò fino agli interventi degli anni Settanta del Novecento. Le modifiche settecentesche, che comportarono una nuova conformazione all'assetto planimetrico della chiesa, determinarono con tutta probabilità l'evidente mancata corrispondenza tra gli assi delle arcate e quelli dei portali di

ingresso. Durante la fase ottocentesca il portico subì una trasformazione nell'uso dello spazio sottostante l'arcata verso l'attuale via Battisti che venne chiusa da un muretto facendo spazio all'ingresso della bottega, presente ancora oggi, arrivando infine a una serie di interventi sull'area del terzo chiostro, che termineranno con l'apertura dell'attuale piazzetta San Francesco, sulla quale il portico della chiesa trova il suo naturale sbocco. Le demolizioni di fine ottocento e la sopraelevazione della piazza del mercato adiacente la Chiesa portarono diversi danni alla struttura, che i Frati Minori conventuali si offrirono di restaurare nel 1939, effettuando la ripulitura della Chiesa. Da lì, si susseguirono diversi lavori di ristrutturazione, compresa la demolizione e rifacimento del pavimento del portico, in laterizio su letto di malta cementizia, il rifacimento della copertura a tetto, sostituzione dell'architrave del portico e rafforzamento delle strutture murarie adiacenti. Durante i lavori vennero alla luce anche una parte dei muri di fondazione e del pavimento in mattoni originari che vennero integrati nei nuovi lavori di restauro finiti nel 1973. Ulteriori fasi di restauro e consolidamento si ebbero nel 1998 e dal 2009 è iniziato un progetto, in collaborazione con l'Università di Urbino, che mira al recupero di questa parte del complesso architettonico (AA. VV., 2015)

Un'opera di restauro non può prescindere da un'accurata analisi materica dell'oggetto architettonico su cui va ad agire. Il portico di San Francesco è sicuramente caratterizzato dall'impiego preponderante di determinati materiali da costruzione: calcare massiccio, scaglia rossa e laterizi. Il calcare massiccio si ritrova soprattutto negli elementi portanti e nelle basi di colonne, la scaglia Rossa, la cui colorazione può andare dal rosato al biancastro, caratterizza i rocchi delle colonne, i capitelli e gli elementi ornamentali, mentre i laterizi sono rinvenibili in particolar modo nei basamenti delle colonne, con differenti varietà cromatiche dal giallo al rosso al bruno, dovute essenzialmente alle diverse quantità di inclusi ferrosi e a condizioni di temperatura di cottura più o meno elevate. Le dimensioni oscillano tra i 32 ed i 19 cm circa di lunghezza e i 6 cm di larghezza.

## 2.2 Le diverse fasi del rilievo

Il progetto di rilievo passa attraverso l'integrazione di diverse tecniche organicamente collegate, procedendo dal generale al particolare, quindi dal rilievo topografico, che funge da impalcatura geometrica di riferimento per i rilievi di dettaglio, longimetrici, fotogrammetrici e laser scanner. Tutto questo processo deve però essere inserito in un quadro più ampio di analisi e studio approfondito dell'opera da rilevare, progettando con attenzione tutte le fasi che si andranno ad eseguire, focalizzando sugli aspetti di interesse. Il rilievo metrico e la misurazione del manufatto devono necessariamente integrarsi all'individuazione e archiviazione di una serie di informazioni, quali dissesti, degradi, impianti tecnologici, materiali, ecc., valutandone una serie di parametri: origini, modificazioni, trasformazioni, efficienza, ecc. Occorre pianificare tutto l'iter del rilievo dagli scopi dell'indagine, ai tipi di misure e tecniche utilizzate, fino alle elaborazioni dei dati metrici e delle rappresentazioni grafiche, tenendo in debito conto gli aspetti organizzativi e di controllo sui cantieri.

Nell'analisi di un organismo edilizio inserito in un contesto urbano ci si muove da un concetto di modellazione tridimensionale dell'ambiente urbano, 3D City Model, a uno più specifico di rappresentazione e restituzione grafica, che diventi una "carta digitale del monumento" inserito nel suo contesto, in grado di essere una base su cui sviluppare tutte le

problematiche relative alla conservazione e al restauro dell'opera stessa. Nel rilievo topografico è necessario, in primo luogo, realizzare l'inquadramento geometrico generale di tutta l'area interessata al rilievo, e solo in seguito considerare i particolari topografici del territorio da rappresentare in mappa. Il rilievo topografico delle tre facciate del Portico è avvenuto tramite stazione totale. Sono state materializzate tre stazioni (S1, S2, S3), rilevando in totale 62 punti d'appoggio utili a tutte le altre fasi di rilevamento (Fig.1).

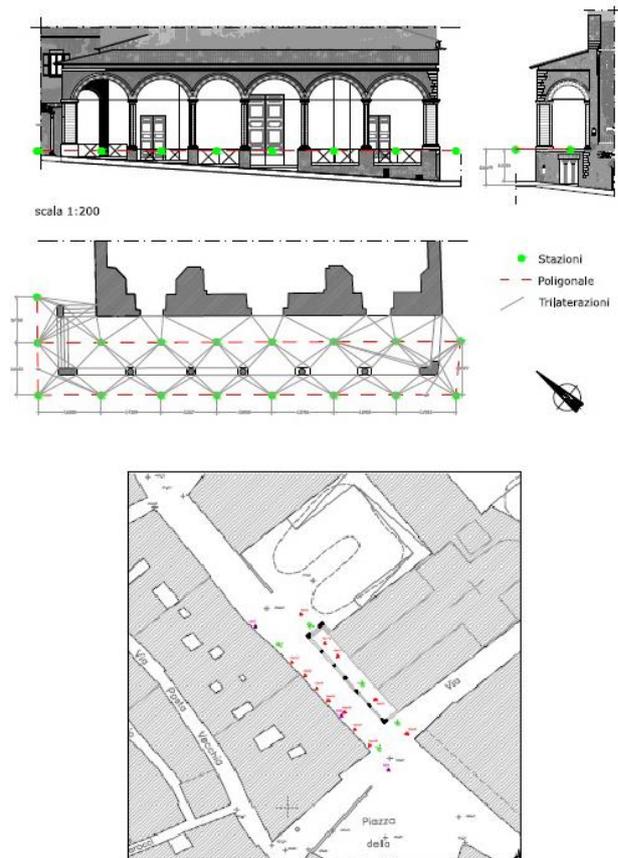


Figura 1. Schemi di rilevamento

In particolare 34 di questi punti sono stati utilizzati per ancorare le prese fotografiche per il rilievo fotogrammetrico, avvalendosi quindi di punti naturali senza il posizionamento di mire artificiali. Le prese sono state rispettivamente una per le facciate nord-ovest e sud-est e sei per la facciata sud-ovest. Sono stati inoltre, in questa fase, scattati fotogrammi dei particolari (capitelli, archi, basi di colonne, ecc.) per una rappresentazione di maggiore dettaglio. La tecnologia laser scanner 3D consente infine di acquisire informazioni sulla geometria di determinate regioni dello spazio o di uno specifico oggetto, in modo accurato, veloce e non invasivo. Il rilievo laser scanner del Portico è avvenuto tramite un laser a tempo di volo con una velocità di scansione di 30.000 punti al secondo ed è stato eseguito a partire da cinque stazioni, basando il rilevamento su dettagli fisici dell'oggetto per consentire tutte le operazioni di allineamento e di registrazione delle nuvole (Fig.2).

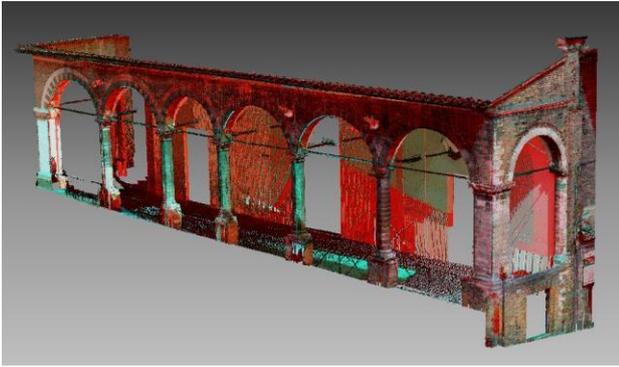


Figura 2. Rilievo laser scanner restituito tramite nuvola di punti

A completamento dei passaggi di rilievo si profila anche un dettagliato rilievo fotografico, tramite fotocamere professionali ad alta risoluzione con cui si effettuano un numero di prese che coprano l'intera superficie dell'edificio, ad una scala generale e di dettaglio. Il rilievo sarà utile sia per la documentazione generale, sia per l'esecuzione di fotopiani digitali ottenuti con software dedicati, con l'ausilio dei punti topografici e/o di quelli derivati dalle scansioni laser 3D.

La fase finale di trattamento dei dati e di rappresentazione grafica prevede una serie di operazioni di calcolo al fine di minimizzare gli errori di acquisizione, di omogeneizzare i dati rilevati (rototraslazioni), di convertirli, se necessario, in formato numerico (digitale) per poi restituirli graficamente con la definizione necessaria alle scale di rappresentazione prescelte nei modi e negli elaborati previsti (Baratin, 2015). Sono state applicate diverse procedure di raddrizzamento fotografico, analitiche oppure geometriche dove si è riscontrata una certa difficoltà di identificazione dei punti topografici per effettuare la trasformazione omografica, come nella facciata sud-est, procedendo poi a mosaicatura per la produzione di ortofotopiani, gestiti infine in ambiente CAD. Le nuvole di punti sono state georeferite su punti topografici noti ed elaborate procedendo alla loro pulizia e alla definizione di mesh, unite e mappate in un modello 3D.

### 3. GIS 3D

#### 3.1 GIS: problemi di modellazione e gestione

Il progetto GIS prevede la restituzione in ambiente 3D delle geometrie urbane della città per coniugare le esigenze di pianificazione-gestionali riguardanti l'intero apparato urbano, arrivando alla scala di dettaglio dei singoli organismi architettonici. Lo scopo del metodo utilizzato è stato trovare un punto di incontro ottimale tra l'utilizzo di modelli geometrici tridimensionali, sufficientemente rappresentativi ma non troppo dettagliati, in un processo di valutazione costi/tempi/benefici, e la reale potenzialità GIS di gestione e analisi degli elementi. La modellazione 3D ha avuto un enorme sviluppo nell'ultimo decennio, producendo rappresentazioni dei centri urbani estremamente realistiche e anche i GIS si sono evoluti in tal senso, arrivando ad utilizzare appositi software, quali CityEngine, o ArcScene per modellazioni più semplici (Brusaporci, 2012), per rendere città attuali o ricostruzioni storiche, fino a giungere al loro utilizzo per filmati e videogiochi (Ferdani, 2012). Spesso viene utilizzata una modellazione automatica o semiautomatica, che impiega procedure di modellazione assistite dal software, basate su algoritmi per ottenere una generazione automatica di realtà urbane anche molto complesse (Parish, 2001). Nel campo

architettonico sono utilizzati anche i BIM (Building Information Model): tramite software cosiddetti building information modeling oriented (tipo Autodesk Revit, Archicad/Allplan, Bentley Systems, Digital Project) vengono realizzati modelli 3D non attraverso oggetti base generali – linee, spline, superfici, volumi creati con operazioni booleane, etc. – ma con componenti predefiniti attraverso librerie, cioè tipizzati. A livello di rappresentazione urbana i modelli 3D City si evolvono in un quadro multiscalare e multiuso, basati su CityGML, uno standard GML3 dell'Open Geospatial Consortium che definisce gli aspetti geometrici, topologici e semantici degli elementi urbani (Kolbe, 2005), riconoscendo cinque differenti LOD, livelli di dettaglio, a seconda del grado di definizione delle caratteristiche modellate, da una rappresentazione di massima al LOD0 fino a una spinta al LOD4, che comprenda gli interni degli edifici con la costruzione di feature quali stanze, porte, balconi e finestre.

Durante le fasi progettuali di un lavoro di analisi di un centro storico o parte di esso, diventa fondamentale stabilire lo scopo del lavoro, quanto quindi la modellazione stessa debba essere elaborata per essere sufficientemente di ausilio agli interventi di pianificazione senza dispendio di tempi ed energie. Nel caso di Urbino è stato effettuato un lavoro di modellazione che può essere associato a un LOD2 con metodo "contour" secondo lo schema definito da Köninger (1998), come indicato in Figura 3.

LOD combination	method	description
1	stock-taking	very detailed object registration and analysis, scale 1:500, assignment to street and house number
2 (1)	outline	analysis of ground plan, with outdoor steps; 2D-plan
2	contour	simple object geometry, no facade details, form of roof with few characteristic elements; strong contrast to background; information about height
2	proportion	analysis of ratio facade diagonals to object width; simple object geometry, no facade details, form of roof with few characteristic elements
2 (3)	sculptural structure and ornamental	more detailed object geometry, overdrawn of sculptural facade details, no material and color information
2	ratio openings to mass	strong contrast between openings and mass, simple object geometry with simple facade openings, form of roof with few characteristic elements
1 (2)	structure of facade openings	bounding box with simple facade openings
2 (1)	material and colour	simple object geometry, form of roof with characteristic elements, no facade details; detailed description of color and material properties

Figura 3. Schema delle diverse tipologie di LOD applicate da Köninger (1998)

Il livello di dettaglio viene però aumentato, non tanto dalla modellazione, ma dai prospetti, quindi dai rilievi delle reali componenti architettoniche dell'edificio, che vengono correttamente posizionati e georeferenziati in ambiente 3D andando ad integrarsi e sovrapporsi ai modelli esistenti. In questo modo si sfruttano le potenzialità di GIS management più interessanti, arrivando ad organizzare le proprietà geometriche di architetture a diverse scale di dettaglio unite a estesi ed esaurienti database informativi che consentono interrogazioni, analisi e geostatistiche. I prospetti sono elaborati in ambiente bidimensionale, trasformati in feature 3D e georeferenziati, per colloquiare con il resto della cartografia in un ambiente 3D.

#### 3.2 Il progetto del Portico di San Francesco e il quartiere Lavagine: aspetti planimetrici

Il progetto del quartiere medievale di Lavagine e del Portico della Chiesa di San Francesco in particolare, si inserisce all'interno di un più vasto lavoro di ricerca sull'intero centro storico di Urbino, che prevede anche una ricostruzione

geomorfologica del territorio relativo alla città storica nelle sue diverse trasformazioni temporali, a partire anche da alcuni ritrovamenti archeologici di epoca romana.

L'intero progetto è stato sviluppato in Geodatabase, un modello dati che consente di memorizzare anche regole e relazioni (sulle features o sugli attributi) che intervengono tra gli oggetti del mondo reale rappresentato al suo interno. In sintesi si strutturano tutte le informazioni in un unico "contenitore", che presenta notevoli potenzialità rispetto al più semplice shapefile, tra cui la possibilità di creare delle regole per l'inserimento guidato degli attributi (domini e sottotipi), regole di validazione topologica per quanto riguarda l'editing delle features e la possibilità di avere un oggetto scalabile, che può essere sia Personal (file ACCESS .mdb) che Enterprise o multiutente se gira su SQL Server, Oracle, Informix, con l'ausilio di ArcSDE. Un ulteriore apporto è l'inserimento in tabella degli attributi di un campo in formato "Raster" che consente di associare immagini ad ogni record presente.

L'intero progetto è stato georeferenziato secondo il Sistema di Riferimento Monte Mario Italy 2 (EPSG 3004), sistema già utilizzato dall'Amministrazione comunale in tutta la sua produzione cartografica. All'interno di un Personal Geodatabase sono state organizzate tutte le cartografie a disposizione tematiche e tecniche, in modo da avere un quadro completo della conformazione del centro storico e del contesto ambientale in cui si trova inserito. Per strutturare i modelli dell'edificato si è partiti da cartografie aerofotogrammetriche fornite dal Comune correlate di informazioni riguardanti l'altimetria alle gronde e alla base degli edifici. I file, in formato DWG, sono stati trasformati in shapefile poi in feature 3D tramite l'attributo "elevation", indicante l'altezza degli edifici (altimetria alle gronde). La gestione degli stessi però, per essere efficace, deve avvenire per poligoni, sia per effettuare analisi areali sia per la creazione di modelli 3D. La trasformazione da elementi lineari a poligonali crea, solitamente, dei problemi di riconoscimento automatico degli attributi tra edifici adiacenti definiti da un'unica linea, la cui altezza si riferisce all'elemento più alto. Se ci si trova quindi con una casa affiancata a una chiesa, la linea che delimita il confine tra le due avrà l'altezza della chiesa, ammesso che questa sia più alta, ma in questo modo, quando il sistema va a creare elementi poligonali in automatico, leggerà quell'informazione come altezza anche della casa riferita allo stesso lato. E' possibile correggere queste deformazioni indicando le quote corrette come attributo Z nelle sketch properties della feature class punto per punto. Questo passaggio viene effettuato per arrivare alla creazione di un modello 3D che non abbia tetti piatti come classicamente avviene con una semplice operazione di estrusione, ma che sfrutti le caratteristiche 3D delle linee di separazione dei tetti per restituire la visione tridimensionale corretta dell'edificio. Oltre agli attributi altimetrici è stato creato un database informativo della feature class sulla base delle caratteristiche dell'edificato riportate nel PRG (Piano Regolatore Generale comunale), trasposizione su base catastale numerica e aggiornamento P.R.G., variante del 2012. Gli attributi indicati riguardano:

- classificazione tipologica degli edifici (con indicazione del periodo storico, tipologia e classificazione);
- destinazione d'uso degli edifici, modalità di intervento;
- trasformazioni morfologiche del centro storico.

Grazie alle possibilità offerte dalla struttura Geodatabase, essendo riportate nelle legende diciture piuttosto articolate, si è

deciso di inserire dei domini, quindi dei menu a tendina, che consentono di evitare errori di immissione in fase di editing da parte dell'operatore. Il campo "Name" riporta la nomenclatura attribuita ai principali monumenti ed edifici a partire dalla pianta prodotta dall'Assessorato al Turismo del Comune di Urbino. A completamento delle informazioni sulle singole componenti è stata aggiunta in tabella un'immagine, presa da Google Earth Street View, in modo da avere, nel database, un'immagine complessiva della città, o del quartiere di interesse, suddiviso per singole rappresentazioni nell'analisi edificio per edificio (Fig.4).

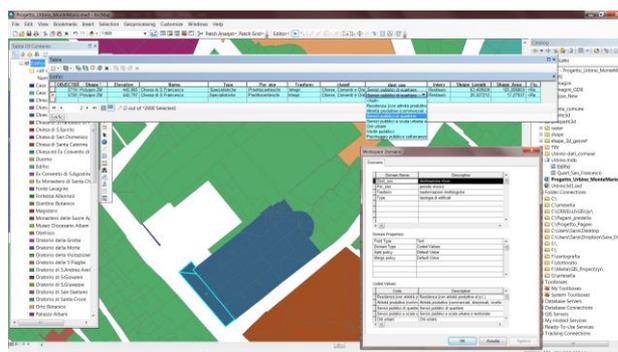


Figura 4. L'inserimento di domini nella struttura Geodatabase consente di creare dei menu a tendina per l'inserimento delle informazioni in tabella degli attributi, evitando possibili errori di digitazione.

La visualizzazione e gestione tridimensionale delle feature class avviene poi in ArcScene, visualizzatore 3D della release di ArcGIS. La feature class degli edifici viene modellata estrudendo le volumetrie in base alle caratteristiche tridimensionali interne attribuite precedentemente. Sfruttando le caratteristiche 3D delle linee di separazione dei tetti vengono restituite anche le coperture degli edifici. In questo modo ogni componente dell'agglomerato urbano mantiene le sue caratteristiche geometriche, morfologiche e informative e il sistema può essere gestito e interrogato (Fig.5).

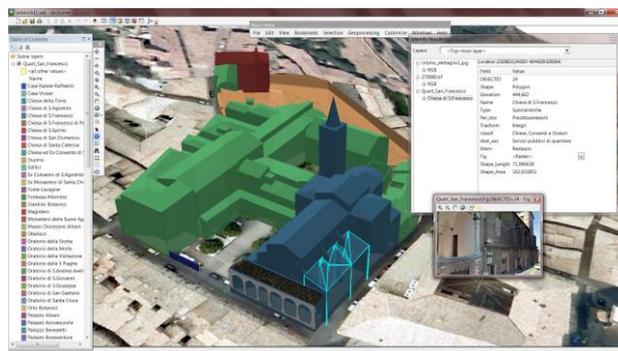


Figura 5. ArcScene consente di gestire le planimetrie modellate tridimensionalmente che possono essere organizzate e interrogate in tutte le loro caratteristiche riportate in tabella degli attributi.

Le planimetrie vengono quindi riunite in ambiente 3D, assieme al modello tridimensionale del terreno (TIN), creato sulla base delle isoipse attuali e sulla ricostruzione geomorfologica, che funge da Base Height per le ortofoto e le carte storiche in formato raster e per ogni feature class senza caratteristica 3D interna. ArcScene consente di gestire anche modelli 3D

derivanti da nuvole di punti. Le estensioni di file supportati sono: COLLADA (.dae), OpenFlight 15.8 (.flt), SketchUp 6.0 (.skp), 3ds max (.3ds), VRML 2.0 models (.wrl), or Billboards (PNG, JPEG, BMP, TIFF, GIF). Questi file vengono importati e trasformati in multipatch, per poter sfruttare le potenzialità GIS. Unica condizione necessaria è una loro corretta georeferenziazione per essere gestiti unitamente al resto del progetto.

### 3.3 Elaborazione e gestione dei prospetti

I prodotti di tutta la fase di rilievo del Portico di San Francesco e ulteriori prospetti in formato DWG del piano del colore su diversi edifici di Via C. Battisti, adiacenti alla Chiesa, sono stati gestiti tramite una nuova metodologia sperimentata in altri contesti eterogenei (Baratin, 2014 e Bertozzi, 2014). Il focus del procedimento sta nel riuscire a organizzare e gestire gli alzati delle facciate degli edifici di interesse e dei tetti sovrastanti prima in ambiente bidimensionale, arrivando a una loro trasformazione in feature 3D e a una corretta georeferenziazione. Innanzitutto i DWG degli alzati vengono trasformati in shapefile, di più semplice manipolazione, esportandoli in seguito come feature class. Sono sistemate le geometrie, creando e organizzando topologicamente gli elementi da lineari in poligonali, e viene creato l'intero database con tutte le informazioni circa i materiali costitutivi, il degrado, e le proposte di intervento di restauro ecc. È importante strutturare informazioni sufficienti per una completa lettura e interpretazione dell'oggetto, individuando le criticità presenti, in modo da renderle interrogabili e da poterle sottoporre ad analisi statistiche di frequenza e dimensione, in previsione di futuri interventi. Analisi dimensionali delle patch e valutazioni statistiche sulla distribuzione delle diverse componenti possono essere sviluppate attraverso i tools di analisi geostatistiche oppure applicando l'estensione Patch Analyst che consente di ottenere anche indici di forma e spaziali di pattern recognition (Fig. 6).

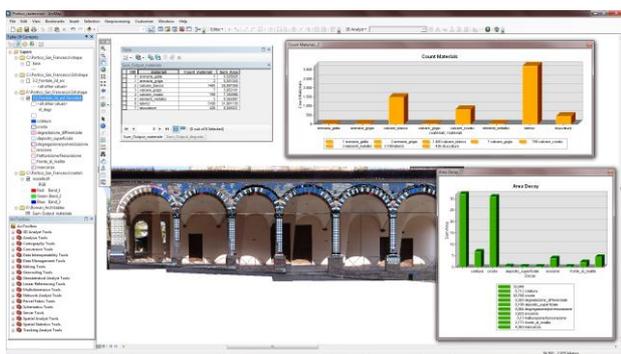


Figura 6. Gli strumenti di ArcGIS consentono di effettuare una serie di analisi statistiche sui dati riportati nel database

ArcMap, ovvero l'ambiente bidimensionale di elaborazione ArcGIS, si adatta perfettamente anche a processi di elaborazioni spaziali non geografiche. I prospetti vengono infatti gestiti in un progetto non georeferenziato, in cui il workspace viene utilizzato come fosse un semplice piano XY e in cui viene solo impostata l'unità di misura in metri. I prospetti vengono traslati su una linea creata ad hoc, uno shapefile, posto ad una quota definita del Portico. Avendo identificato l'altezza alla base dell'edificio a 435 m, la linea creata avrà coordinate iniziali X = 0 m, Y = 435 m e finali X = 1000 m, Y = 435 m. Si crea così

una linea arbitrariamente lunga 1 Km che servirà come linea orientativa di appoggio per gli alzati. Le tre facciate del Portico vengono quindi traslate in editor sulla linea di definizione della base. Si effettua questo passaggio per poter poi riuscire a definire le altezze relative di ogni singolo elemento, rispetto alla base a cui sono riferite. In pratica si utilizza l'asse Y come fosse l'asse Z. I passaggi successivi sono stati standardizzati tramite l'utilizzo del Model Builder, un'applicazione che permette di creare, editare e gestire modelli. I modelli sono flussi di lavoro che riuniscono una serie di strumenti di geoprocessing, giungendo alla creazione di un unico tool che li esegua tutti in automatico. In questo modo è stato creato un tool apposito, chiamato "Construct 3D Polygon", che effettua operazioni di split ai vertici di ogni linea per avere una maggiore precisione, l'aggiunta di nuovi campi in tabella in cui vengono calcolate automaticamente le coordinate geometriche Y d'inizio e fine di ogni spezzata, utilizzate poi in realtà come coordinate Z per la trasformazione dello shape in feature 3D. Si passa infine alla trasformazione da polyline in polygon e alla riorganizzazione degli attributi.

Queste feature 3D devono essere infine georeferenziate per poter passare in ambiente tridimensionale. Prima di avviare quest'ultimo passaggio in ArcMap vengono definiti i Metadati, tramite ArcCatalog. I Metadati sono un elemento fondamentale in un'ottica di interoperabilità fra sistemi e per uno scambio fluido e organizzato di informazioni. Si tratta di "dati sui dati", informazioni sui file prodotti per una loro fruizione corretta e aggiornamenti. Esistono oggi diversi standard per la definizione dei metadati all'interno dei diversi software. ArcGIS consente di creare, gestire e utilizzare le informazioni attraverso dei format basati sui principali standard, fra i quali il più diffuso è sicuramente INSPIRE. In generale, le infrastrutture basate sul web di dati spaziali (SDI), come INSPIRE sono costituite da strutture istituzionali e tecniche per la creazione, lo scambio e l'utilizzo delle informazioni geospaziali attraverso una comunità di condivisione delle informazioni. Queste strutture possono essere leggermente implementate per consentire la condivisione delle informazioni geospaziali all'interno di un'organizzazione o in generale per consentire la condivisione delle informazioni geospaziali a livello nazionale, regionale o globale. Il processo di elaborazione dei prospetti si conclude con la loro georeferenziazione: viene attribuito loro il corretto sistema di riferimento tramite ArcCatalog, poi si procede alla georeferenziazione vera e propria utilizzando l'estensione Spatial Adjustment. I quattro vertici della facciata in considerazione vengono posti in pianta come fossero visti dall'alto, quindi associati a due a due. I punti alla base e in gronda, a destra e a sinistra, saranno posizionati molto vicini tra loro. Una volta che si procede con l'operazione di "Adjust" la feature apparirà in ambiente 2D come una linea spessa, posizionata nella collocazione geografica corretta (Fig.7).

La feature potrà essere visualizzata correttamente, nella sua conformazione tridimensionale e georeferenziazione, solo in ambiente 3D, quindi in ArcScene. Importandola nel progetto 3D precedentemente sviluppato, gli alzati andranno a porsi in overlay ai modelli e a tutte le feature presenti.

Per il Portico è stata modellata anche la pianta interna con i diversi elementi architettonici, per una resa più realistica e completa (Fig.8).

Ogni edificio sarà quindi definito dalla feature di modellazione, con tutti gli attributi relativi alle proprie caratteristiche tipologiche, storiche ecc., arrivando nel dettaglio ai singoli elementi che possono descrivere le varie facciate, (Fig. 9a e 9b).

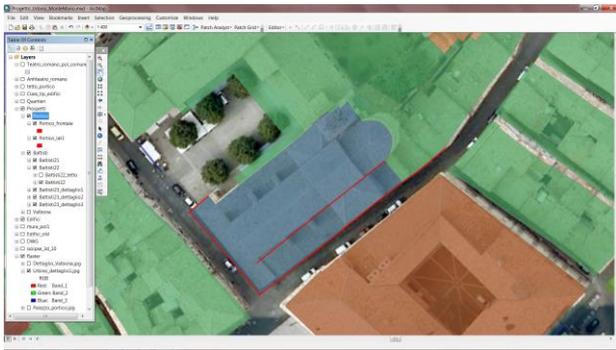


Figura 7. Le feature 3D dei prospetti vengono georeferenziate in ArcMap, quindi in ambiente 2D, venendo visualizzate come linee spesse. Per una loro corretta rappresentazione 3D occorre passare in ambiente ArcScene.

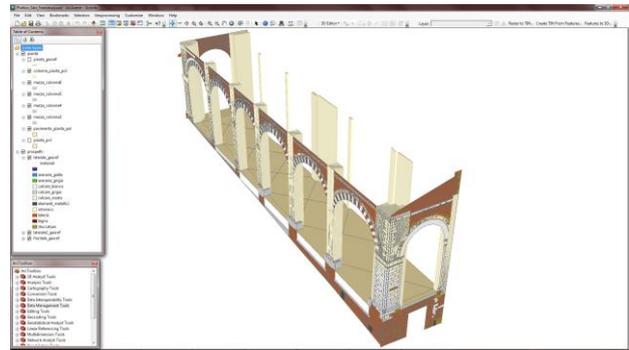


Figura 8. Visualizzazione tridimensionale del Portico della Chiesa di San Francesco, sia come pianta, modellata nei singoli costituenti, sia come prospetti, correttamente georeferenziate.

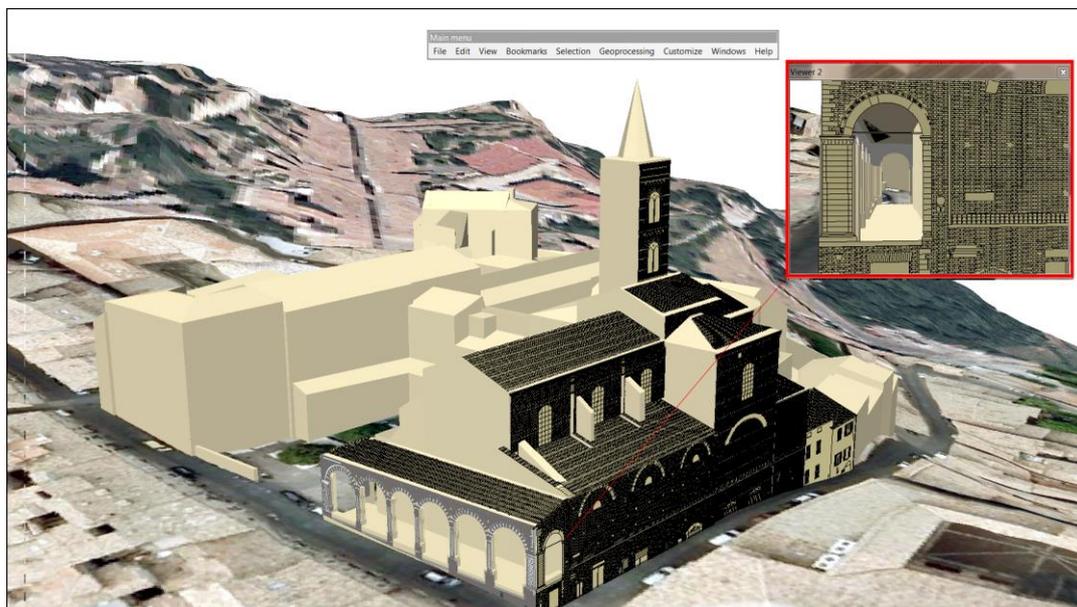
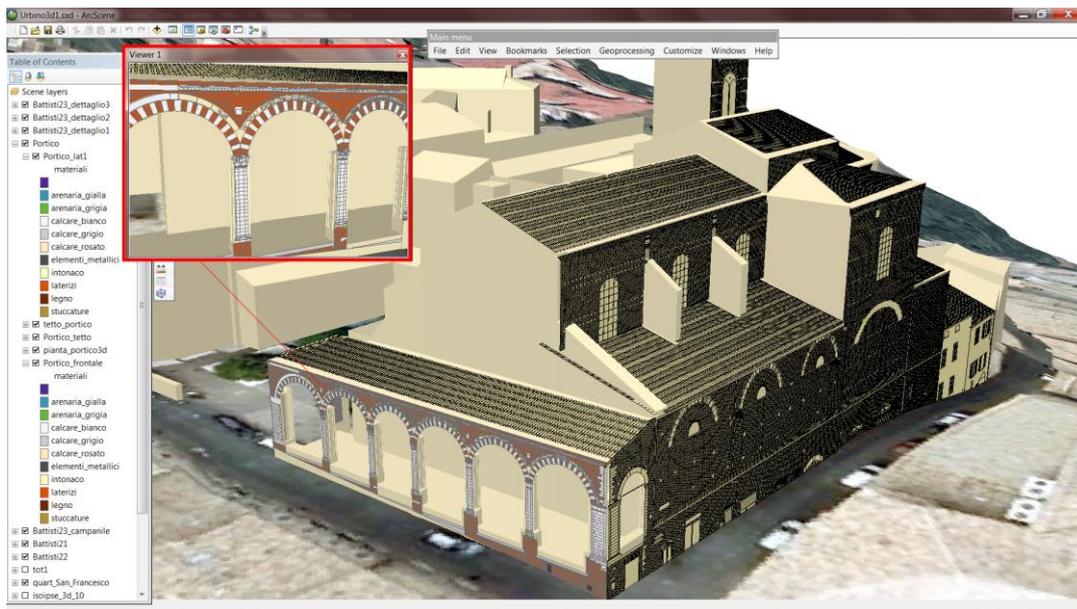


Figura 9 a e 9 b. Il quartiere Lavagne modellato tridimensionalmente, associato a tutte le caratteristiche descrittive, si integra perfettamente con gli alzati derivati dai rilievi. Ogni singolo elemento è interrogabile, gestibile e aggiornabile.

#### 4. CONCLUSIONI

La metodologia illustrata e applicata nel centro storico di Urbino, si è basata sull'utilizzo integrato di diverse tecniche organicamente collegate.

Le nuove tecnologie offrono oggi enormi potenzialità in tutti i campi, delineando scenari sempre più spettacolari di fruizione e rappresentazione, soprattutto nell'ambito del tridimensionale. Il Portico della Chiesa di San Francesco e il quartiere Lavagine in cui è inserito, si sono dimostrati ottimi campi di applicazione per una serie di operazioni di rilievo e per tutta la fase di restituzione ed elaborazione successiva e di gestione tramite software GIS. La metodologia applicata identifica un livello di modellazione sufficiente a una rappresentazione realistica e intuitiva dell'ambiente urbano a cui fa riferimento, la definizione dei passaggi per la gestione delle cartografie attraverso un database interrogabile, a cui si associano i prospetti, gestiti nelle loro connotazioni tridimensionali, senza perdere l'informazione di dettaglio, il tutto in ambiente Geodatabase considerando tutti gli aspetti di interoperabilità e d'interscambio di dati.

Integrazione fra sistemi e metodologie è il concetto base; l'interoperabilità fra sistemi, se utilizzata con metodo e con una accurata progettazione, può evitare sprechi e permettere di ottimizzare al massimo le risorse.

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la collaborazione gli studenti e i docenti del Master di 1° Livello "Strumenti e metodi per la Conservazione E la Valorizzazione dei Beni Culturali" dell'Università degli studi di Urbino "Carlo Bo" svoltosi nell' a.a. 2012/2013.

La società GEOTOP s.r.l. di Ancona per il supporto nella fase di rilievo laser scanner e il dott. Giovanni Checcucci per la fase di elaborazione dei dati di rilievo del Portico.

L'Amministrazione del Comune di Urbino e in particolare l'arch. Luana Alessandrini per tutto il materiale messo a disposizione della ricerca.

#### BIBLIOGRAFIA

Baratin L., Acierno M., Muratore O., (a cura di) 2015. *Il Portico della Chiesa di San Francesco: cronaca di un'esperienza didattica*, Ancona: IL GABBIANO S.r.l., ISBN: 978-88-905347-7-5.

Baratin L., 2015 Il rilievo dell'architettura. *In: Il Portico della Chiesa di San Francesco: cronaca di un'esperienza didattica*, Ancona: IL GABBIANO S.r.l., ISBN: 978-88-905347-7-5, pp. 17-28

Baratin L., Bertozzi S., Moretti E. 2013. Gis-based archaeological recording in Lebanon. *Proceeding of 6th International Congress "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin"*, Athens, Greece, October 22 – 25, 2013.

Baratin L., Bertozzi S., Moretti E., 2014. 3D Data in the archaeological site of Al Bass (Tyre - LEBANON). *In: Ioannides M., Magnenat-Thalmann N., Fink E., Zarnic R., Yen A.-Y. and Quak E. Ed. EUROMED 2014, Proceedings*, pp 556. ISBN: 978 1 907132 47 6

Bertozzi S., Baratin L., Moretti E., 2014. Cultural Heritage: restituzione reale di prospetti e piante in ArcScene. *Atti della 15 Conferenza Italiana Utenti ESRI. Roma, Auditorium del Massimo, 09-10 Aprile 2014. Supplemento a GEOMEDIA, vol. 2-2014, ISSN: 1128-8132Y.*

Brusaporci S, Centofanti M., 2012. Architectural 3D modeling in historical buildings knowledge and restoration processes. *In: Less More architecture design landscape. Aversa (Italia), Capri (Italia), 21 maggio 2012 - 2 giugno 2012, NAPOLI: La Scuola di Pitagora, ISBN: 9788865421284*

Centofanti M., Continenza R., Brusaporci S. e Trizio I., 2011. The Architectural Information System SIARCH3D-UNIVAQ for analysis and preservation of Architectural Heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W16, 2011. ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy

Cucco G., 2001. *Papa Albani e le arti a Urbino e a Roma 1700-1721*. Marsilio editore, Venezia. ISBN 88-317-7862-5

Ferdani D., Pescarin S., 2012. *Dal GIS alla Ricostruzione 3D del Paesaggio Urbano Antico. Atti della 13 Conferenza Italiana Utenti ESRI. Roma, Auditorium del Massimo, 18-19 Aprile 2012.*

Kolbe T.H., Gröger G., Plümer L., 2005. CityGML – Interoperable Access to 3D City Models. *Oosterom, Zlatanova, Fendel (Eds.): Proceedings of the Int. Symposium on Geo-information for Disaster Management, Delft, Springer Verlag, March 21-23, 2005.*

Königer A., Bartel S., 1998. 3D-GIS for Urban Purposes. *GeoInformatica*, 2:1, pp. 79-103.

Ligi B., 1968. *Le chiese monumentali di Urbino*. S.T.E.U. Urbania.

Mazzini F., 1982. *I mattoni e le pietre di Urbino*. Argalia editore, Urbino.

Mingucci R., Muzzarelli A., Bravo L., Garagnani S., 2013, Modellazione e progetto urbano: applicazioni e prospettive per i GIS. *DISEGNARECON*, 6 (11), pp. 11 - 20. DOI: 10.6092/ISSN.1828-5961/3659

Parish Y., Muller P. 2001. *Procedural Modeling of the Cities*, ACM Siggraph, New York, pp. 301-308.