

Tecnologie digitali innovative integrate finalizzate al progetto di schedatura dei palazzi bresciani del secondo Cinquecento*

1. Introduzione

Il continuo e rapido sviluppo tecnologico propone tecniche innovative di rilevamento digitale tridimensionale, che perfettamente si adattano alle esigenze di documentazione del patrimonio storico e culturale. In questo contributo si evidenzia come, per ottenere una documentazione tridimensionale esaustiva di un bene architettonico, si possa ricorrere all'uso integrato di tecniche di rilevamento classiche, tecniche di fotogrammetria digitale, combinate con tecnologie laser scanner e una appropriata gestione delle immagini fotografiche.

Il progetto di schedatura dei palazzi bresciani del secondo Cinquecento edito in questo volume vede l'integrazione di competenze storiche, artistiche e architettoniche – proprie delle ricerche classiche – ed è al contempo l'occasione per la presentazione delle tecnologie innovative digitali impiegate nella fase preliminare del progetto stesso.

L'organizzazione di una schedatura di palazzi cinquecenteschi non può prescindere dalla identificazione delle geometrie degli edifici e dei particolari architettonici, utile ad integrare i rilievi storici già esistenti e a monitorare eventuali variazioni (in particolar modo lo stato di degrado) e dunque a fungere come supporto per gli interventi conservativi (Vassena, 2012).

Scopo del presente intervento è la descrizione di questo approccio innovativo, in cui le tecniche di rilievo fotogrammetriche digitali e laser scanner (arricchite da fotografie in alta risoluzione), opportunamente adattate in funzione dell'edificio oggetto del rilevamento, hanno permesso di fornire le informazioni indispensabili per la creazione dei database a supporto delle schede e per la comunicazione intuitiva delle architetture.

* I processi di acquisizione e alcune elaborazioni rientrano all'interno di un'attività di tesi dell'ing. Roberto Panchieri, coordinato da Irene Giustina, supportata da Elisa Sala, dai presenti autori e dai tecnici dell'Università degli Studi di Brescia (Fulvio Gentilin e Salvatore Mangiapane). Si ringraziano inoltre i proprietari degli edifici oggetto dei rilevamenti per la disponibilità dimostrata.

2. *La geomatica applicata al rilievo architettonico*

In tempi recenti si è assistito, nell'ambito della geomatica, allo sviluppo di tecnologie avanzate che permettono l'acquisizione di informazioni geometriche, tridimensionali e cromatiche degli oggetti rilevati. La tecnologia laser scanner ha raggiunto un livello riconosciuto di maturità, tanto da essere oramai diffusamente impiegata nei rilevamenti tridimensionali di beni architettonici e ambientali. Non ugualmente accade che il rilevamento tridimensionale con laser scanner sia arricchito da un dato fotografico in alta risoluzione in grado di documentare non solo geometricamente ma anche con una adeguata (in qualità e risoluzione) tessitura fotografica. Parallelamente, l'introduzione di metodologie di fotogrammetria digitale automatiche, per cui da immagini fotografiche viene estratta l'informazione tridimensionale, ha permesso di accrescere in modo sensibile il ventaglio degli utilizzatori di tali tecnologie di rilevamento.

2.1. *Tecnologia laser scanner*

Come è ben noto la tecnologia laser scanner è caratterizzata da una misurazione tridimensionale non distruttiva e non a contatto. Tramite una scansione di un segnale elettromagnetico dell'oggetto o dell'ambiente da rilevare, è possibile ottenere una descrizione tridimensionale di tali elementi tramite una "nuvola di punti". Le superfici rilevate vengono cioè descritte attraverso una nuvola di punti tridimensionale, che rappresenta in modo discreto l'oggetto rilevato, con accuratezze dell'ordine di qualche millimetro, variabile in funzione delle distanze in gioco, delle caratteristiche degli strumenti impiegati e delle condizioni ambientali in cui si opera (Vassena - Sgrenzaroli, 2007).

Due tematiche sono ancora parzialmente "aperte" e necessitano di essere risolte per impiegare più efficacemente il sistema:

a) le singole acquisizioni (scansioni) per essere unite (registrate) tra di loro a formare il rilievo dell'intero oggetto/edificio, richiedono l'impiego di mire o *target* che permettono l'unione delle nuvole di punti. Tale attività richiede il posizionamento delle mire in fase di rilevamento e il loro riconoscimento/identificazione in fase di elaborazione dati. Tutto ciò comporta un notevole allungamento delle tempistiche di rilevamento e di elaborazione dati. Nei test di seguito descritti si sono dunque testate delle soluzioni algoritmiche innovative, inserite nel software JRC 3D Reconstructor® impiegato nella elaborazione dati, che hanno permesso di registrare tra di loro le nuvole di punti senza impiegare mire e target;

b) i sensori laser scanner sono frequentemente dotati di un sensore fotografico digitale all'interno dello strumento. È dunque entrato nell'uso comune avere a disposizione un dato colorimetrico contestuale all'acqui-

sizione dell'informazione tridimensionale del laser scanner. Purtroppo la qualità di tale informazione fotografica è al momento di media qualità e la risoluzione che si ottiene è uguale a quella della nuvola di punti, dunque assai scarsa. Nei test eseguiti nel progetto, si è invece utilizzato un approccio che prevede di impiegare, per la colorazione del modello, fotografie digitali in alta risoluzione acquisite con strumentazione fotografica professionale, differente da quella presente nel sensore laser scanner.

2.2. Tecnologia fotogrammetria digitale

Come precedentemente descritto, ha preso sempre più piede l'utilizzo della tecnologia fotogrammetrica digitale che, sfruttando l'utilizzo di camere digitali, permette una ricostruzione delle geometrie tridimensionali degli oggetti fotografati tramite procedure in gran parte automatiche.

Tali tecnologie, che impiegano algoritmi della *computer vision*, generano nuvole di punti tridimensionali a partire da immagini. Tramite tali approcci è possibile ricavare posizione e orientamento delle fotocamere utilizzate. Gli algoritmi alla base di questa metodologia sfruttano l'informazione di ogni singolo pixel appartenente alle immagini utilizzate per generare la superficie tridimensionale (Fusiello, 2009).

Va sottolineato che i modelli tridimensionali estratti non sono correttamente scalati geometricamente, come invece avviene in modo diretto mediante rilevamento laser scanner, ma necessitano di un processo di ridimensionamento in fase di post-processamento, supportato dalla misurazione in campo delle coordinate di alcuni punti appartenenti all'oggetto o semplicemente delle loro distanze.

L'efficienza raggiunta da questi processi assicura un'ottima fruibilità e diffusione della tecnologia. D'altro canto il risultato ottenuto è fortemente funzionale all'approccio metodologico e alle caratteristiche delle camere digitali impiegate, nonché del software impiegato.

Dunque, poichè è abbastanza semplice ottenere un'informazione tridimensionale da immagini di diverso tipo, è necessario definire con chiarezza modalità e strumentazione da utilizzare per ottenere risultati affidabili. Il rischio di semplificare eccessivamente l'approccio è quello di diffondere il messaggio che anche attraverso fotografie amatoriali e senza seguire chiari protocolli di rilevamento si possano estrarre informazioni di qualità e dell'accuratezza desiderata.

2.3. Tecnologie laser scanning e fotogrammetria digitale a confronto

La scelta su quale tecnologia impiegare per l'esecuzione dei rilevamenti tridimensionali è strettamente in funzione delle caratteristiche dell'approccio laser scanner e fotogrammetrico.

Le nuvole di punti ottenute da acquisizioni laser scanner sono caratterizzate da un'accuratezza più facilmente monitorabile ed uniforme. Il processo fotogrammetrico, al contrario, è caratterizzato solitamente da accuratezze meno spinte e in particolare meno stabili e verificabili. Il risultato del processo di estrazione del dato tridimensionale da immagini è influenzato anche dalla qualità e dall'ottimizzazione degli algoritmi automatici di correlazione del dato fotografico.

Sebbene entrambe le tecnologie siano influenzate dalle condizioni meteorologiche, la seconda è certamente più penalizzata, perlomeno per quello che riguarda la sola componente geometrica, dai requisiti d'illuminazione ambientale. Per quanto concerne le tempistiche, l'acquisizione fotografica è sicuramente apparentemente più speditiva. In realtà una corretta ed efficace acquisizione fotografica può richiedere, in alcuni casi, anche un discreto impegno per la gestione di una corretta illuminazione. L'elaborazione delle informazioni è ugualmente onerosa, anche se in modo diverso, per entrambe le procedure.

La vera differenza viene dunque dettata principalmente da problematiche logistiche e sulle accuratezze che si intendono ottenere. Il laser scanner è logisticamente più impegnativo, ma fornisce un dato geometrico assai solido, in termini di accuratezza. L'approccio fotogrammetrico è solitamente e logisticamente più agile, ma fornisce accuratezze meno certe e meno uniformi (come d'altro canto la densità della nuvola di punti estratta da immagini non ha le caratteristiche di regolarità e uniformità dell'approccio laser scanner).

I casi test realizzati all'interno del progetto di schedatura dei palazzi bresciani del secondo Cinquecento hanno voluto rappresentare una sorta di laboratorio in cui applicare le nuove tecnologie descritte, con l'intenzione di mostrare un esempio di "buone pratiche" da seguire e applicare per tali attività di ricerca.

Non è ovviamente scopo del presente contributo offrire una descrizione esaustiva o dettagliare approcci metodologici nella forma delle specifiche operative. Piuttosto vengono descritte le problematiche incontrate nel rilevamento e come le medesime, con gli strumenti e le risorse a nostra disposizione, sono state risolte nel modo che ci è risultato più efficace.

2.4. La strumentazione e le metodologie di rilievo

Per il rilevamento con laser scanner si è impiegato uno strumento alla fase in grado di acquisire fino a un milione di punti al secondo (FARO Focus^{3D}), con un'accuratezza millimetrica; lo strumento impiegato è inoltre in grado di acquisire l'informazione di colore mediante l'utilizzo di una camera digitale interna.

Per le acquisizioni fotografiche si sono impiegate camere reflex con focale fissa, in condizione di autofocus disinserito e con risoluzioni dell'array di pixel superiore a 3400 x 4500 pixel.

3. *I casi studio*

Dal complesso delle architetture selezionate nel panorama cinquecentesco bresciano in merito a questo progetto sono state estratti quattro casi studio, di seguito riportati. Tra gli edifici a disposizione si è in primo luogo scelto un edificio da impiegare per il confronto comparativo tra rilevamenti laser scanner e fotogrammetrici, in modo da comparare i risultati del modello tridimensionale ottenuto con i due approcci. Tale edificio, il casino Avogrado-Buffoli in via Barricate, di proprietà privata, è stato il primo soggetto della campagna di rilevamenti nell'ambito del progetto di schedatura. Su tale edificio è stato realizzato un primo rilevamento laser scanner, con 13 scansioni che interessano la parte esterna dell'edificio che si affaccia sul giardino posizionato a nord (comprensivo di porticato), il loggiato rivolto a sud e un salone affrescato interno.

I successivi rilevamenti, presso la palazzina Lana (via A. Gallo), palazzo Maggi di Gradella (via dei Musei) e palazzo Biondelli già Uggeri (vicolo San Zanino-via dei Musei) hanno visto applicare unicamente l'approccio fotogrammetrico digitale. Il rilevamento è stato limitato alle facciate degli edifici. Nel caso di palazzo Maggi di Gradella, particolare attenzione è stata rivolta al rilevamento del portale.

3.1. *Elaborazione dati ed estrazione delle informazioni*

Le fasi di rilevamento si suddividono in:

- a) progettazione della fase di acquisizione delle prese fotografiche e/o delle scansioni laser scanner;
- b) attività di rilevamento sul campo;
- c) trattamento dei dati acquisiti sul campo (prese fotografiche e nuvole di punti da sensori laser scanner con le immagini associate) per l'estrazione di un modello tridimensionale a nuvola di punti e/o delle mesh 3D;
- d) estrazione dei risultati finali del rilevamento, quali ortofoto, tavole di rappresentazione in CAD, etc.

L'aspetto innovativo della elaborazione dei dati è stato costituito in particolare dal fatto che sia le nuvole di punti provienti provenienti da fotogrammetria digitale sia quelle provenienti da scansioni laser scanner, sono stati trattati in una unica piattaforma software, JRC 3D Reconstructor®.

Le tavole finali sono state trattate e gestite su piattaforma AutoCAD® di Autodesk.

Scansioni laser scanner

Le scansioni laser scanner (colorate con il dato proveniente dalla camera fotografica interna al laser scanner) sono state importate direttamente, nel formato nativo, nella piattaforma JRC 3D Reconstructor®. L'allineamento delle nuvole di punti è stato eseguito sfruttando il potente algoritmo di allineamento automatico delle scansioni, presente nel modulo LineUp® Pro di JRC 3D Reconstructor®. Si è verificato che il software è in grado di allineare relativamente le nuvole di punti senza ricorrere a target o a mire previa garanzia di una sovrapposizione delle scansioni di circa il 30-40%.

Per le attività di rilevamento con laser scanner si è inoltre proceduto all'acquisizione di prese fotografiche in alta risoluzione, supplementari rispetto alle immagini fotografiche acquisite dalla camera coassiale con il sensore laser scanner. Una volta completata l'elaborazione del dato tridimensionale, sulla mesh del modello tridimensionale è stato possibile associare una tessitura fotografica RGB ad alta risoluzione. Tale procedura ha permesso di associare al modello tridimensionale una risoluzione del dato colorato assai superiore a quella della scansione laser scanner, fornendo un risultato in termini di risoluzione e di qualità fotografica che soddisfa gli elevati standard di rappresentazione delle ortofoto richieste in campo architettonico.

Software di fotogrammetria digitale

Il software PixR³, integrato con piattaforma JRC 3D Reconstructor®, è stato sfruttato per la fotogrammetria digitale automatica. Al di là della marca e tipologia dei software impiegati, in linea generale si consiglia dunque di impiegare software di trattamento delle nuvole di punti perfettamente compatibili e integrati con il software di fotogrammetria digitale.

Il processamento fotogrammetrico digitale ha richiesto un'attenta cura nella scelta della posizione e orientamento da cui effettuare le acquisizioni delle prese fotografiche, nonché la definizione di una procedura di acquisizione fotografica che non andasse a variare i parametri di orientamento interno delle camere.

Il trattamento dati, che vede a livello preliminare il calcolo dei parametri di orientamento esterno e interno delle camere, fornisce come elaborato finale una nuvola di punti densificata, trasformabile anche in forma di superfici (mesh 3D) sulla quale è possibile adagiare una tessitura fotografica in alta risoluzione del soggetto fotografato.

Di seguito verranno mostrati alcuni esempi presi tra i risultati degli edifici rilevati; si allegano anche esempi dei risultati grafici (ortofoto, modelli tridimensionali, rappresentazioni CAD) estratti a conclusione delle attività di rilevamento.

Casino Avogadro

Come illustrato in precedenza, questo edificio è stato sottoposto a rilevamenti sia con tecnica laser scanner che fotogrammetrica-digitale, permettendo di svolgere qualche analisi comparativa tra i diversi metodi di rilevamento.

In fig. 1 viene mostrato il risultato del rilevamento laser scanner della palazzina, utilizzando il dato fotografico proveniente dalla camera fotografica montata all'interno del laser scanner stesso.



Fig. 1 – Modello a nuvola di punti colorato da laser scanner del portico nord del casino Avogadro

La nuvola di punti del medesimo soggetto è stata dunque ricavata tramite approccio fotogrammetrico digitale. Il risultato visualizzato (fig. 2) mostra il risultato ottenuto da 194 prese fotografiche.

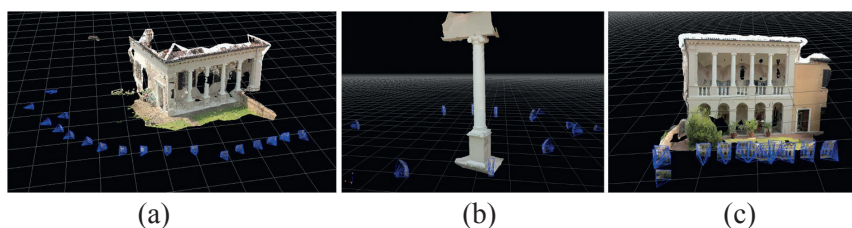


Fig. 2 – Ricostruzione del casino Avogadro da fotogrammetria digitale: (a) portico nord; (b) colonna; (c) loggiato e portico sud (PixR³)

Concluse le due attività di rilevamento e trattamento dati, si è potuto procedere ad un confronto tra le due nuvole di punti tridimensionali, e dunque, in particolare, tra la nuvola di punti ottenuta da misure laser scanner e quella ottenuta tramite ricostruzione da fotogrammetria digitale.

Il confronto è stato effettuato su modello tridimensionale di una colonna (fig. 2b). Tale colonna è stata ottenuta tramite 45 prese fotografiche (risoluzione 3456 x 5184 pixel) e una focale pari a 35 mm.

In fig. 3, sfruttando gli strumenti denominati di “Inspection” presenti nella piattaforma JRC 3D Reconstructor[®], è stato possibile confrontare le geometrie tridimensionali del modello fotogrammetrico con quello ottenuto tramite scansioni laser scanner. Sullo sfondo, in grigio, il modello da scansione laser.

Il confronto tra i due modelli (un modello trasformato in mesh e il secondo a nuvola di punti), mostra uno scostamento massimo (lungo la normale alla mesh creata) dell’ordine di 1 cm.

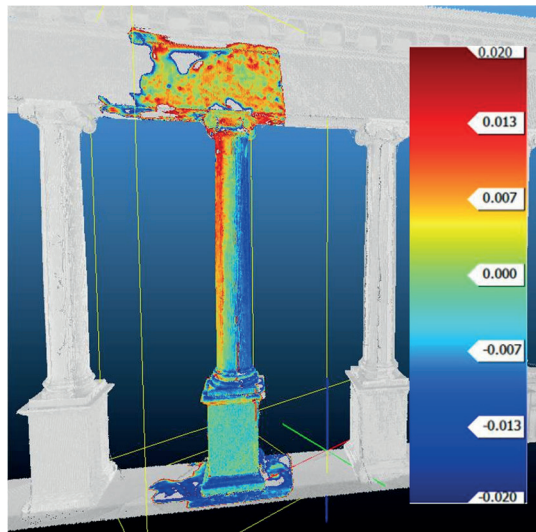


Fig. 3 – Confronto tra modello da fotogrammetria e modello da scansione laser scanner

In fig. 4 vengono mostrati, a titolo di esempio, alcuni profili del modello tridimensionale ottenuti selezionando la nuvola di punti. Mentre l’estrazione dei profili e delle sezioni, con i metodi di rilevamento classici, devono essere definiti in fase di rilievo sul campo, realizzando un modello tridimensionale del bene è possibile scegliere successivamente dove e con quale densità estrarre profili e sezioni dal modello digitale.

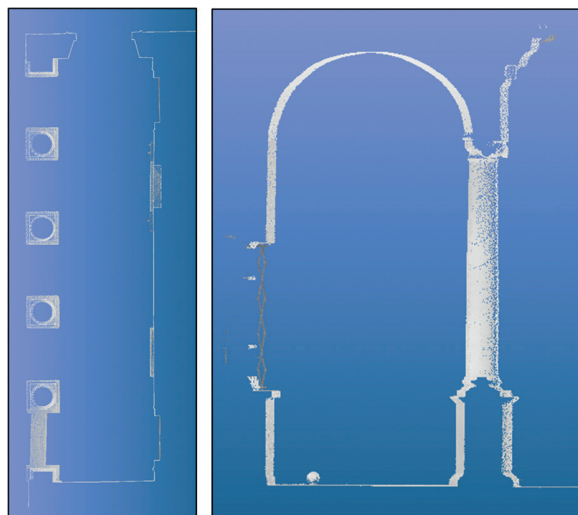


Fig. 4 – Pianta orizzontale (a sinistra) e profilo verticale (a destra) ottenuti dalla nuvola di punti

La fig. 5 mostra l'importazione in ambiente CAD di una ortofoto (immagine scalata e ortorettificata) della facciata del porticato nord, sulla quale possono essere effettuate misure e quotature bidimensionali. Di notevole interesse la possibilità di produrre ortofoto nella forma di immagini solide, in cui l'immagine a ortofoto viene estratta con associato il valore di profondità ad ogni pixel di immagine. In questo modo è possibile quotare facilmente le tavole architettoniche.

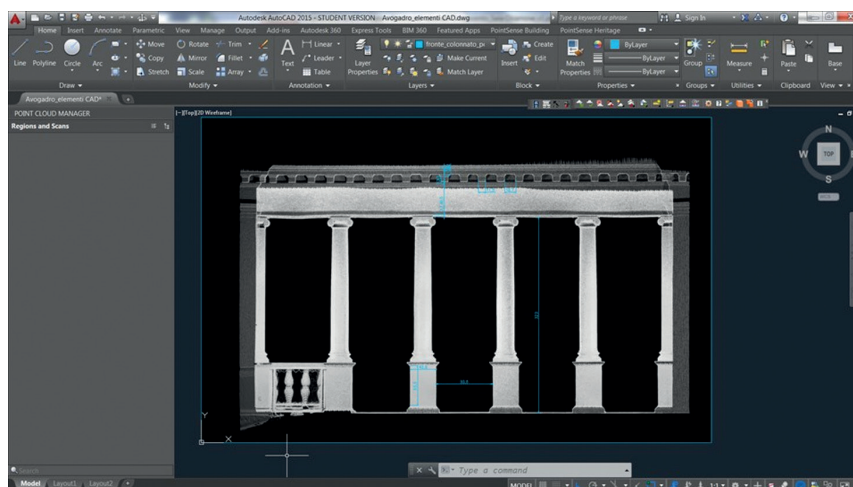


Fig. 5 – Ortofoto del porticato nord in ambiente CAD

Palazzina Lana, palazzo Maggi di Gradella e palazzo Uggeri

La palazzina Lana, palazzo Maggi e palazzo Uggeri, come già descritto, sono stati rilevati unicamente tramite fotogrammetria digitale.

Le problematiche di rilevamento di tali edifici sono abbastanza analoghe. Le strutture sono tutte affacciate su stretti vicoli del centro storico cittadino, il che ovviamente ha ostacolato le operazioni di presa delle immagini fotografiche (che andrebbero effettuate con visuali sia perpendicolari sia inclinate al fronte dell'edificio). Purtroppo, in alcune occasioni, non è stato possibile accedere ai piani superiori degli edifici antistanti per poter acquisire le prese con buone visuali. In aggiunta a ciò, l'oggetto di alcune balconate e la presenza di ostacoli visivi ha fatto sì che in alcuni casi la ricostruzione tridimensionale abbia avuto un esito positivo solo per la parte inferiore delle facciate.

Le operazioni di scalatura dei modelli finali sono state realizzate grazie a misure dirette di distanza acquisite sugli elementi architettonici delle facciate.

Il rilievo di palazzo Maggi è stato eseguito con 270 prese fotografiche, 80 delle quali relative al solo portale lapideo. La possibilità di accedere ad alcuni balconi prospicienti la facciata del palazzo ha permesso di conseguire una buona geometria nelle prese fotografiche e dunque di poter estrarre un modello tridimensionale particolarmente completo. Come si osserva infatti nelle immagini allegate (figg. 6-7), il risultato finale è privo di zone mancanti.

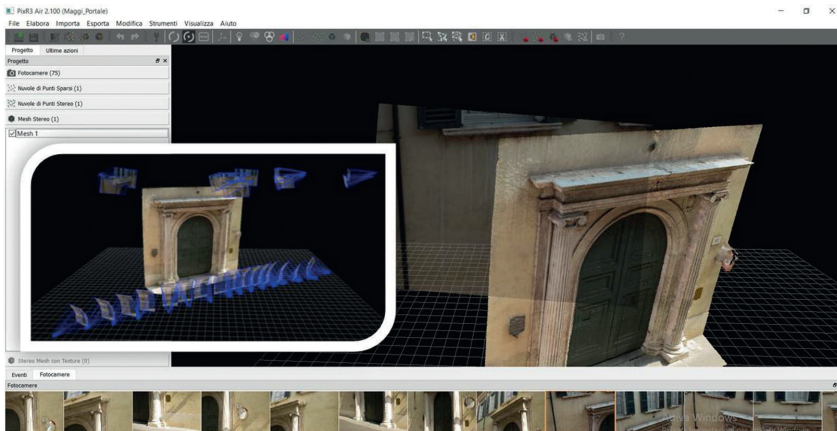


Fig. 6 – Ricostruzione del modello tridimensionale portale di palazzo Maggi di Gradella



Fig. 7 – Ortofoto del portale di palazzo Maggi di Gradella

Anche il risultato della ricostruzione della trabeazione (fig. 8), dove i particolari dei fregi risultano ben evidenziati, mostra la buona qualità del risultato, per quanto non siano state eseguite misurazioni geometriche di verifica e controllo.

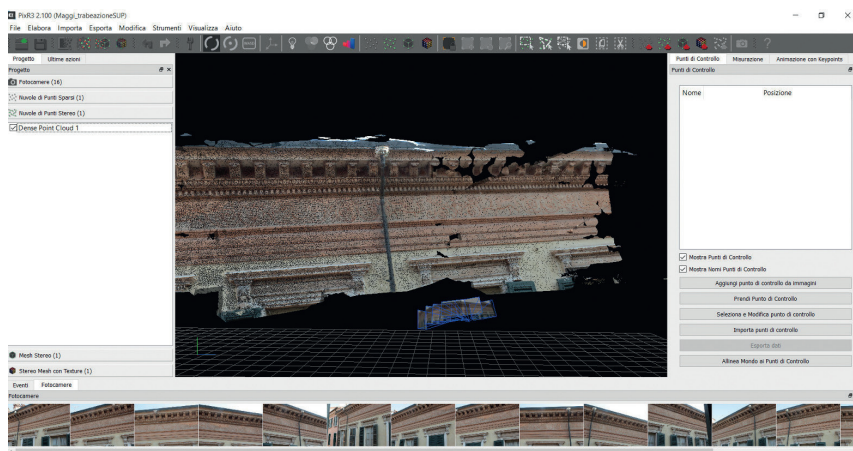


Fig. 8 – Ricostruzione della trabeazione di palazzo Maggi di Gradella

Come si è accennato precedentemente, nel caso della palazzina Lana (170 fotografie acquisite) e di palazzo Biondelli già Uggeri (40 fotografie), si è riusciti nella ricostruzione delle sole parti basse delle facciate.

Il caso del rilevamento di palazzo Uggeri (fig. 10) ha inoltre evidenziato un'inaspettata difficoltà, consistente nella presenza di inferriate e di ringhiere. Questa criticità ha comportato l'insorgere di numerose aree dove è mancata la ricostruzione tridimensionale del modello.



Fig. 9 – Ortofoto della facciata della palazzina Lana



Fig. 10 – Ortofoto della facciata di palazzo Uggeri (Panchieri, 2015)

A titolo dimostrativo, in fig. 11 viene illustrato l'esito di estrazione, in questo caso manuale e in ambiente CAD, dei contorni dei particolari architettonici degli ordini costituenti uno dei quattro edifici oggetti di studio.

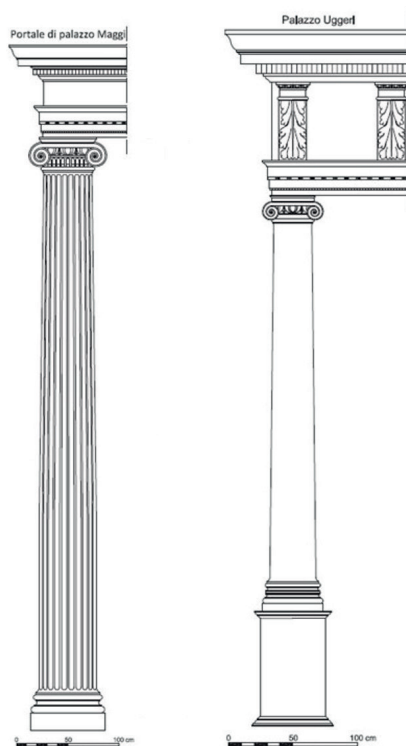


Fig. 11 – Ricostruzioni grafiche degli ordini dei palazzi Maggi di Gradella e Uggeri (Panchieri, 2015)

4. *Integrazione al processo di schedatura*

I modelli tridimensionali rilevati con i diversi approcci descritti hanno permesso l'estrazione di un gran numero di elaborati finali, rispetto a quanto si può ottenere dagli approcci consolidati di rilevamento diretto o fotogrammetrico classico.

Ciascun prodotto può essere utilizzato come costituente un archivio storico dello stato dell'edificio e del suo contesto, in aggiunta alla possibilità di monitorare nel tempo e con ridotte risorse i mutamenti o il degrado dei materiali e delle superfici. Le implicazioni di ciò appaiono evidenti nel caso di degrado superficiale o strutturale (quest'ultimo meglio

individuabile dal rilevamento laser scanner), nell'ottica di una corretta ed efficace gestione degli interventi conservativi.

5. Conclusioni

L'esperienza qui descritta mostra come l'utilizzo delle nuove tecnologie di documentazione tridimensionale del costruito rappresenti un risultato perseguibile ed estendibile come metodologia in modo estensivo a tutti i beni architettonici urbani.

Il modello tridimensionale acquisito ad esempio con approccio fotogrammetrico digitale è effettivamente alla portata di tecnici e conservatori, e rappresenta una soluzione tecnologicamente ed economicamente sostenibile. Parallelamente la ricchezza di contenuti estraibili da tali modelli tridimensionali è assai più rilevante di quanto sia possibile ottenere tramite le tecniche consolidate di rilevamento diretto.

Per ultimo, si deve sottolineare come tali approcci di rilevamento siano assai più facilmente sfruttabili in sede di divulgazione scientifica destinata a un più ampio pubblico (anche tramite i moderni strumenti di diffusione digitale delle informazioni). Ovviamente come strutturare e divulgare tali informazioni è un tema di grande interesse, che deve essere affrontato e gestito nelle forme opportune. Fonte di ulteriori spunti di approfondimento e di studio.

6. Bibliografia

- Lorenzo Cavallari - Tiziana Chiamone - Massimo Dierna - Cristian Mantelli - Roberto Paderni - Giorgio Vassena, *La condivisione in streaming via web di un sito archeologico rilevato con laser scanner*, Atti della 16ª conferenza nazionale ASITA (Vicenza, 6-9 novembre 2012), a cura di Federazione Italiana ASITA, ASITA, Vicenza 2012, pp. 397-404.
- Michela Farenzena - Andrea Fusiello - Riccardo Gherardi, *Structure-and-Motion Pipeline on a Hierarchical Cluster Tree*, Proceedings of the IEEE 12th International Workshop on 3-D Digital Imaging and Modeling (Kyoto, 27th September-4th October 2009), IEEE, Kyoto 2009, pp. 1489-1496.
- Roberto Panchieri, *Percorsi del linguaggio architettonico a Brescia nel pieno Cinquecento e metodologie di ricostruzione di modelli 3D. Analisi di quattro architetture esemplari*, tesi di laurea specialistica in Ingegneria Edile-Architettura, rel. Irene Giustina - Giorgio Vassena, Università di Brescia, a.a. 2014-2015.
- Roberto Toldo, *Towards automatic acquisition of high-level 3D models from images*, tesi di dottorato in Informatica, Università di Verona, ciclo XXIV, tutor Andrea Fusiello, Verona 2013.

Roberto Toldo - Filippo Fantini - Luca Giona - Simone Fantoni - Andrea Fusiello, *Accurate multiview stereo reconstruction with fast visibility integration and tight disparity bounding*, Proceedings of the ISPRS Workshop 3D-ARCH 2013: 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures (Trento, 25th-26th February 2013), ed. by Diego González-Aguilera - Fabio Remondino - Jan Boehm - Thomas Kersten - Takashi Fuse, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL/5-W1 (2013), pp. 243-249.

Giorgio Vassena, *Heritage e governance territoriale: esperienze di rilievo 3D nei processi di tutela e valorizzazione dei beni culturali*, «Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia. Supplemento», CXLIV-CXLVI (2012), pp. 11-31.

Giorgio Vassena - Matteo Sgrenzaroli, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*, Starrylink Editrice, Brescia 2007.

