

Esperienze didattiche e approfondimenti sui temi dell'HBIM e della realtà virtuale

Original

Esperienze didattiche e approfondimenti sui temi dell'HBIM e della realtà virtuale / Antonia, S., Borriello, C., Stano, R., Chiabrando, F., Lingua, A.M.. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - STAMPA. - LXXIII:3(2019), pp. 230-237.

Availability:

This version is available at: 11583/2844158 since: 2020-09-06T23:21:24Z

Publisher:

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Esperienze didattiche e approfondimenti sui temi dell'HBIM e della realtà virtuale

Didactic experiences and insights on the topics of HBIM and Virtual Reality

CARLA BORRIELLO, RAFFAELLA STANO, NANNINA SPANÒ, FILIBERTO CHIABRANDO, ANDREA LINGUA

Abstract

Questo contributo ha il ruolo di riferire di una interessante esperienza didattica e di altre due attività di studio svolte nell'ambito di tesi di laurea, ciascuna originata dallo stage didattico realizzato dal team studentesco DIRECT del Politecnico di Torino a Tolentino, finalizzato al rilievo 3D del complesso conventuale.

La prima esperienza è legata al workshop di "Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo di beni culturali" (a.a. 2016-17), coordinato da Nannina Spanò e Filiberto Chiabrando. Gli approfondimenti legati alle tesi di laurea riguardano nel primo caso le relazioni tra la modellazione 3D dai metodi *reality based* per sviluppare applicazioni di *virtual reality* (Carla Borriello), mentre il secondo la strutturazione di un HBIM (*Heritage Building Information Modelling*) che per definizione si origina anch'esso da nuvole di punti di natura fotogrammetrica o laser scanning (Raffaella Stano).

This manuscript has the role of reporting an interesting teaching experience and two other study activities carried out within the master thesis, each originating from the didactic internship carried out by the DIRECT student team of the Politecnico di Torino in Tolentino, aimed at the 3D survey of the convent complex. The first experience is linked to the workshop of "Digital photogrammetry and 3D scans for the survey of cultural heritage" (a.y. 2016-17), coordinated by Nannina Spanò and Filiberto Chiabrando. The in-depth studies related to the degree thesis concern in the first case the relationships between 3D modelling from reality based methods to develop virtual reality applications (Carla Borriello), while the second the structuring of a HBIM (Heritage Building Information Modeling) which by definition is it also originates from photogrammetric or laser scanning point clouds (Raffaella Stano).

1. Esperienze di estrazione di elaborati 2D e modellazione 3D da nuvole di punti

Lo stage didattico del team DIRECT del Politecnico di Torino tenutosi nell'area del terremoto del Centro Italia (San Severino Marche e Tolentino) nel febbraio 2017 incontrò con grande rapidità il favore degli studenti. Sia nell'area dell'ingegneria che nell'area dell'architettura, fu semplicissimo ottenere numerose adesioni nonostante la sessione di esami, e lo stage si svolse con una elevatissima raccolta di dati, accompagnata da un coinvolgimento anche emotivo da parte degli studenti e dei tutors, per i contatti con la popolazione e il realizzare tangibilmente quanto le ferite incombessero sul territorio, sul patrimonio costruito e sugli animi delle persone.

Carla Borriello, laureata magistrale in in Restauro e valorizzazione del patrimonio, Politecnico di Torino, DAD
carlaborry@gmail.com

Raffaella Stano, laureata magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, DIATI
raffaellastano@gmail.com

Nannina Spanò, professore associato di Geomatica, Politecnico di Torino, DAD
antoniaspano@polito.it

Filiberto Chiabrando, professore associato di Geomatica, Politecnico di Torino, DAD
filiberto.chiabrando@polito.it

Andrea Lingua, professore ordinario di Geomatica, Politecnico di Torino, DIATI
andrea.lingua@polito.it

I risultati dello stage spinsero gli autori a proporre il tema del complesso di San Nicola a Tolentino come caso studio del workshop “Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo di beni culturali” offerto nelle lauree magistrali dell’area dell’architettura nel secondo semestre, cioè appena rientrati dallo stage. Fu una decisione ponderata, non semplice poiché era scontato che gli studenti iscritti al workshop non corrispondevano ai partecipanti allo stage e non si sarebbe potuto tornare nei luoghi colpiti nell’immediato; ben più importante era la considerazione che uno dei fondamenti indispensabili per svolgere un rilievo, strumentale o meno tecnico, è la visione e analisi diretta dell’oggetto di studio, la possibilità di entrare in contatto diretto per comprenderne i caratteri profondi.

Una considerazione importante che spinse nella direzione di adottare tale scelta consisteva proprio nella possibilità di valutare quanto la gestione di nuvole di punti, dense e accurate, estremamente ricche di informazioni metriche e radiometriche, potesse costituire una buona base conoscitiva anche senza la visione diretta dell’oggetto di studio, o quanto invece i modelli non offrissero che una pallida e non significativa replica.

I risultati che gli studenti furono in grado di elaborare, con un entusiasmo e interesse che non era distante da quello che aveva distinto chi aveva partecipato direttamente, ci convinsero dell’efficacia dell’esperienza.

È risultata convincente quindi anche l’enorme potenzialità che le nuvole dense possono offrire, seppur maneggiate da studenti non certo abituati quanto chi utilizza i metodi della geomatica e la modellazione con frequenza molto più elevata. Ovviamente gli studenti poterono avvalersi di una prima fase didattica ricca di esercitazioni strumentali in grado di fornir loro una consapevolezza delle operazioni da svolgere durante le fasi di acquisizione dei dati: da quelli topografici, alle scansioni laser e dati fotogrammetrici.

Questa esperienza positiva si aggiungeva a un’altra, che aveva condotto a rinforzare l’idea che disporre di nuvole 3D può non solo mettere nelle condizioni di svolgere applicazioni di modellazione 3D, ma anche di poter sviluppare una conoscenza piuttosto approfondita dell’oggetto di studio,

potendo entrare in contatto diretto con un modello digitale che lo rappresenta sotto forma di nuvola di punti. Nel settembre e ottobre 2017 persistenti anomalie termiche avevano contribuito a provocare gravi ed estesi incendi boschivi nell’arco alpino (e anche in altre zone italiane), impedendo di fatto lo svolgersi dei tradizionali sopralluoghi in un’area di studio prescelta da un altro corso; la disponibilità di dati a grandissima scala derivati da rilievi metrici 3D, sempre acquisiti dal team DIRECT, anche in quel caso consentì lo svolgersi consueto dell’Atelier “Riabitare le Alpi”¹.

Ritornando al caso di Tolentino, agli studenti furono riferite in dettaglio le modalità della fase di raccolta dati, furono forniti loro i dati acquisiti e furono messi nelle condizioni di sperimentare i versanti operativi della registrazione di scansioni terrestri, così come ottenere nuvole di punti fotogrammetriche grazie all’impiego della tecnica *Structure from Motion* (SfM).

Gli obiettivi principali del corso², oltre a sperimentare le tecniche in applicazioni che sfidino le capacità dei metodi geomatici nel fornire svariate risposte alle esigenze di documentazione 3D, spesso declinate in domande anche molto più specifiche, consistono nell’acquisire una sensibilità nel considerare la qualità dei risultati, in termini sia puramente metrici, sia in termini di ricchezza di informazioni geometriche e radiometriche. Inoltre nei corsi di geomatica viene sempre richiesta la capacità di comunicare i risultati tramite elaborati 2D (che integrano ortofoto ad alta risoluzione nei disegni vettoriali) o modelli 3D, nelle diverse configurazioni di modelli digitali di elevazione (DEM *Digital Elevation Model*), di superficie (DSM *Digital Surface Model*), modelli triangolati continui (*mesh*) con *textures* costituite da immagini orientate dal punto di vista fotogrammetrico oppure privi di immagini che enfatizzano la sola geometria.

Benché alcuni risultati di riflessione sui modelli della basilica di San Nicola di Tolentino siano stati già in parte riferiti³, la sequenza prossima di immagini è una breve selezione di analisi ed elaborati eseguiti da diversi gruppi di lavoro che pensiamo possano rendere conto dell’attenzione con la quale sono stati eseguiti.

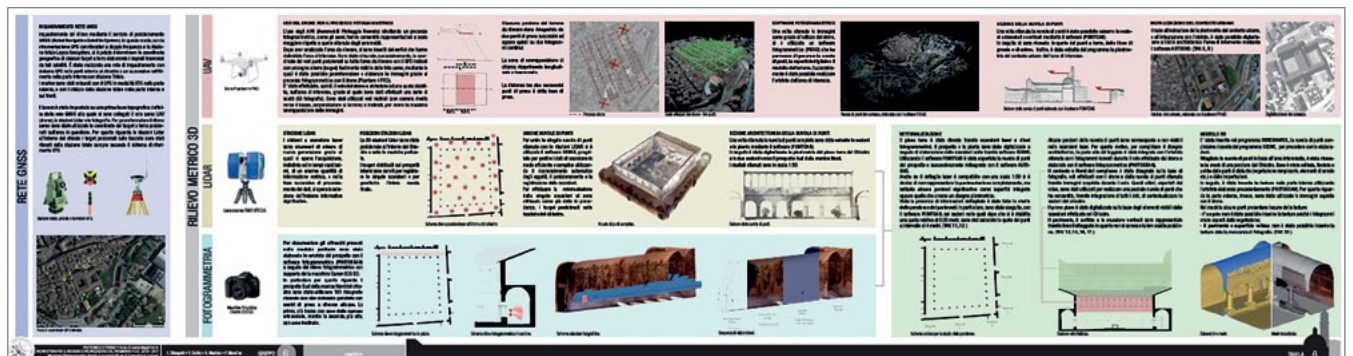


Figura 1. Comparazione di metodi laser scanning e fotogrammetrici in relazione agli obiettivi di descrizione delle diverse componenti della fabbrica che ciascun metodo consente di perseguire (allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).



Figura 2. Repertorio dei beni di interesse storico-architettonico e artistico sotteso dal complesso monumentale della basilica di San Nicola a Tolentino visualizzato tramite la nuvola del volo fotogrammetrico, con quadro storico delle trasformazioni della fabbrica (tavole a, b, allieve: M.C. Polacco, B. Quaglio, A. Rabbia, J. Ravagli; tavola c, allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).

Per fondare l'esperienza, i metodi laser scanning e quelli basati su immagini (fotogrammetria digitale terrestre ed aerea, da UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) sono confrontati e integrati, in quanto l'esperienza diretta pone nelle condizioni di acquisire consapevolezza su quanto ciascun metodo possa contribuire agli obiettivi finali (Figura 1). Il percorso di studio sui metodi strumentali di rilievo 3D e la loro applicazione, viene accompagnato da una ricerca bibliografica che fornisca un quadro storico opportuno per poter conoscere i fondamenti della storia della fabbrica; la Figura 2 riporta un campione ristretto delle ricognizioni eseguite. Gli obiettivi di documentazione e modellazione 3D di ciascun gruppo, dopo l'elaborazione del volo fotogrammetrico complessivo (Figura 3), furono ripartiti tra la basilica e il chiostro, secondo libera scelta dei gruppi di allievi. Gli obiettivi descrittivi del complesso architettonico sono organizzati secondo differenti scale di analisi, da quella urbana ambientale raggiunta tramite la fotogrammetria UAV, a quella architettonica principalmente legata alle scansioni laser e integrate da fotogrammetria terrestre, fino alla scala degli elementi architettonici e del loro dettaglio. Proseguendo con il campione di elaborati scelti, si può osservare in

Figura 4 a, b il mapping a partire da ortofoto e nuvola di punti a scala urbana con le sezioni ambientali dei volumi edificati, nel denso tessuto urbano del centro di Tolentino. In Figura 5 si può osservare una rivisitazione dei tradizionali



Figura 3. Nuvola di punti generata dall'elaborazione SfM di immagini del volo UAV, con riprese nadirali e inclinate (allieve: M.C. Polacco, B. Quaglio, A. Rabbia, J. Ravagli).

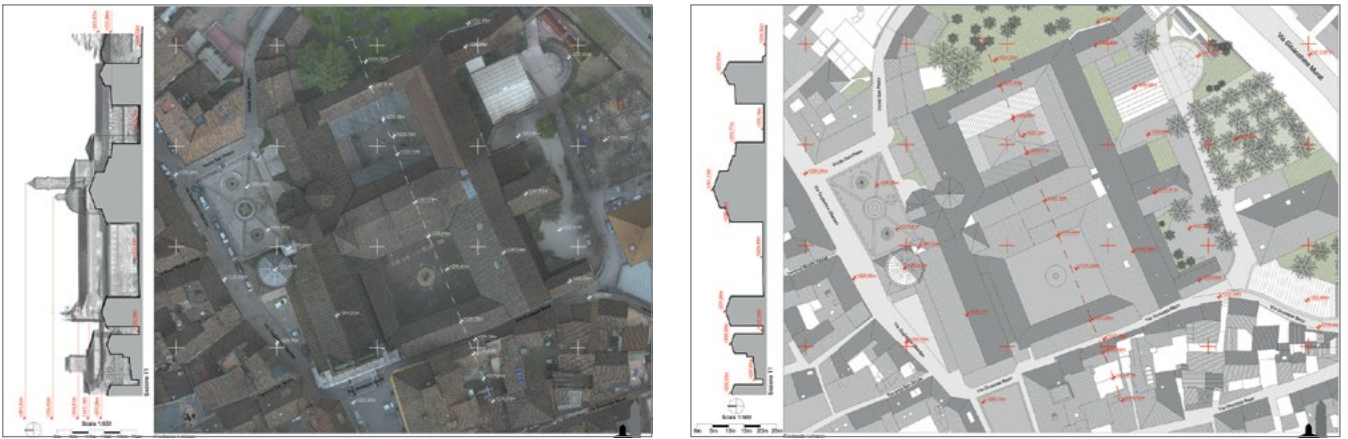


Figura 4. Realizzazione di elaborati che integrano l'ortofoto da UAV (a) e la relativa restituzione vettoriale (b) con esame della nuvola di punti che consente la sezione a scala urbana dei volumi edificati e la distribuzione delle quote in mappa (allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).

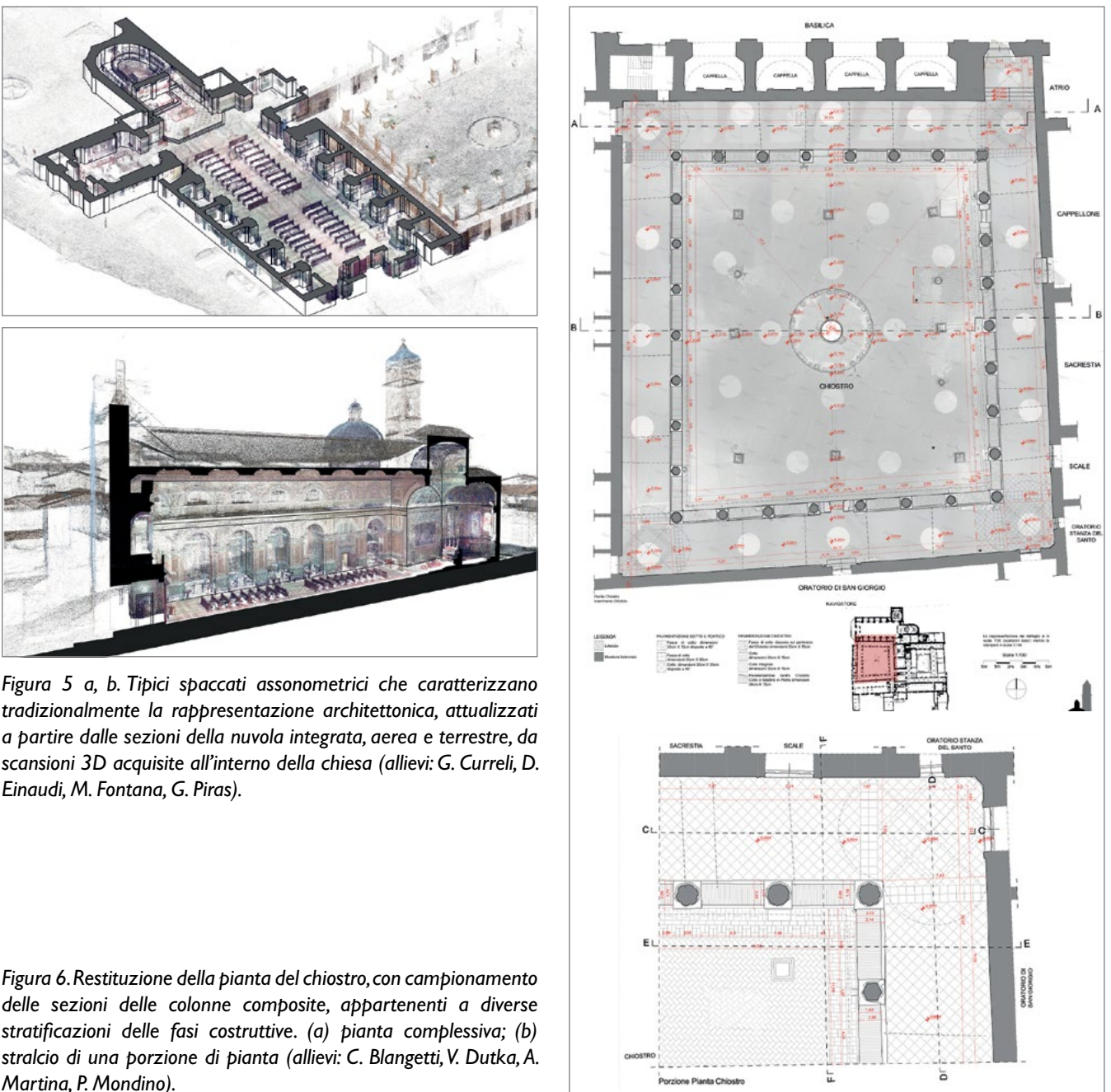


Figura 5 a, b. Tipici spaccati assonometrici che caratterizzano tradizionalmente la rappresentazione architettonica, attualizzati a partire dalle sezioni della nuvola integrata, aerea e terrestre, da scansioni 3D acquisite all'interno della chiesa (allievi: G. Curreli, D. Einaudi, M. Fontana, G. Piras).

Figura 6. Restituzione della pianta del chiostro, con campionamento delle sezioni delle colonne composite, appartenenti a diverse stratificazioni delle fasi costruttive. (a) pianta complessiva; (b) stralcio di una porzione di pianta (allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).

spaccati assonometrici tipici della rappresentazione architettonica, attualizzati e prodotti a partire da sezioni della nuvola punti LiDAR (interna alla chiesa) integrata alla nuvola esterna (generata da fotogrammetria UAV). La restituzione delle nuvole alla scala architettonica, principalmente derivate da tecnica laser scanning, origina i disegni architettonici tradizionali in pianta e sezione verticale

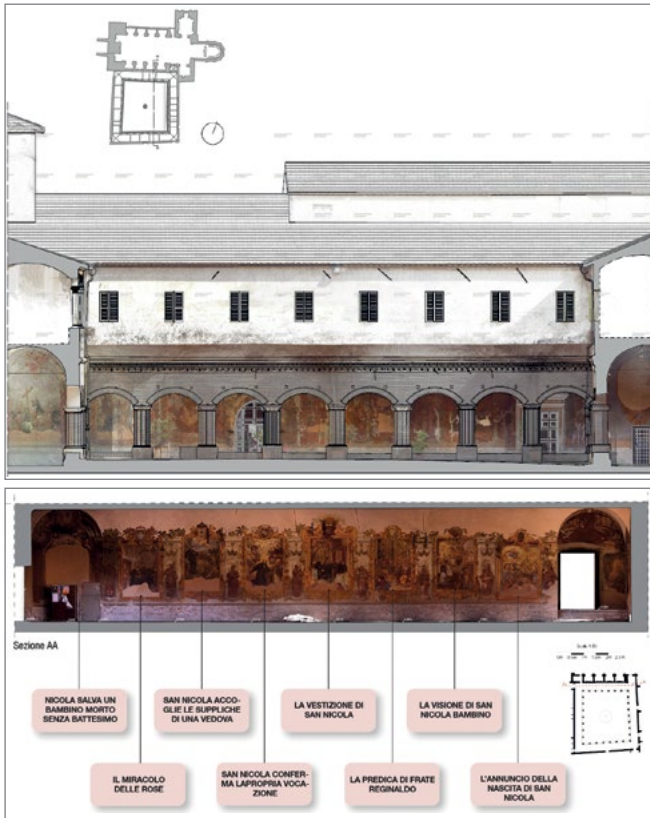


Figura 7. Prospetti architettonici con ortofoto derivate da applicazioni di fotogrammetria terrestre (close range) integrati. (a) sezione nord sud del chiostro con restituzione del fronte orientale (allieve: M.C. Polacco, B. Quaglio, A. Rabbia, J. Ravagli); (b) ortofoto della manica porticata nord (allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).

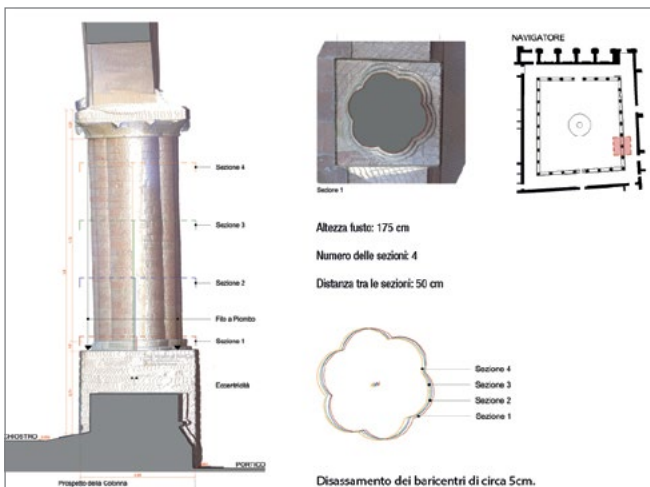


Figura 8. Studio del fuori piombo di una delle colonne composite del chiostro (allievi: C. Blangetti, V. Dutka, A. Martina, P. Mondino).

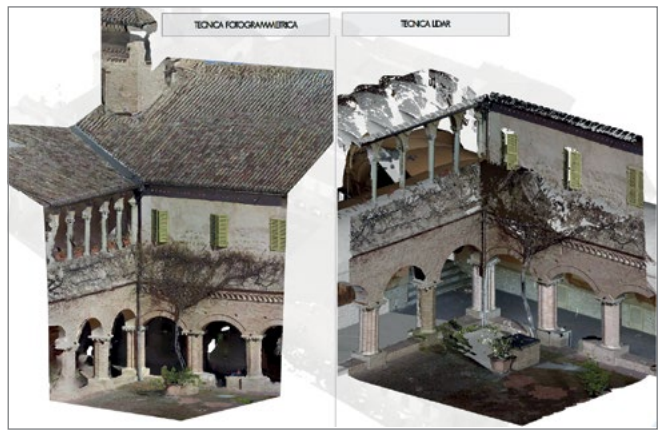


Figura 9. Comparazione finale tra modello fotogrammetrico derivato da immagini UAV e terrestri, con modello laser scanning che evidenzia una superiorità delle informazioni radiometriche nel primo caso e delle capacità descrittive 3D del secondo (allieve: M.C. Polacco, B. Quaglio, A. Rabbia, J. Ravagli).

(Figura 6), quando opportuno o necessario integrati con le ortofoto derivate da applicazioni di fotogrammetria terrestre (Figura 7 a, b).

L'elevato dettaglio delle acquisizioni consente di analizzare criticità costruttive o danni di varia natura, tra i quali lo studio del fuori piombo delle colonne composite del colonnato del chiostro (Figura 8).

In ultimo uno studio comparativo tra le capacità descrittive della tecnica fotogrammetrica e quella laser scanning, realizzate in una porzione sud-orientale del chiostro consentono di valutare la superiore qualità delle textures fotogrammetriche e alternativamente la generale capacità di descrivere gli elementi nello spazio e con caratteri 3D completi della tecnica laser scanning (Figura 9).

2. Un'applicazione di realtà virtuale per comunicare le criticità strutturali della basilica di Tolentino

Un nuovo esito degli studi svolti sulla basilica di San Nicola fu la tesi che a partire dal rilievo metrico 3D della basilica adottò l'obiettivo di realizzare un'applicazione di realtà virtuale per comunicare i problemi strutturali delle componenti architettoniche della chiesa⁴.

Considerando la vulnerabilità del patrimonio costruito, la tesi mira a evidenziare la funzione rilevante dei metodi geomatici di rappresentazione dei beni architettonici e dei fenomeni connessi a partire dall'impiego di sistemi LiDAR e di fotogrammetria UAV, definendo un ruolo significativo che questo tipo di documentazione può fornire nel supporto ai progetti di conservazione dell'esistente.

Le relazioni tra le tematiche della modellazione 3D a partire dalle cosiddette tecniche *reality based* della geomatica, la realtà virtuale che da esse può essere facilmente ottenibile e le conseguenze sociali e culturali dell'uso nell'ambito del patrimonio e dei musei sono da alcuni anni fortemente dibattute e i continui sviluppi possono essere seguiti nella letteratura di settore⁵.



Figura 10. Modello 3D accurato derivato da scansioni laser e integrato con textures fotogrammetriche ad alta definizione della porzione del coro della chiesa e muratura di controfacciata, che rappresenta uno dei punti più critici dal punto di vista strutturale dell'intera basilica.

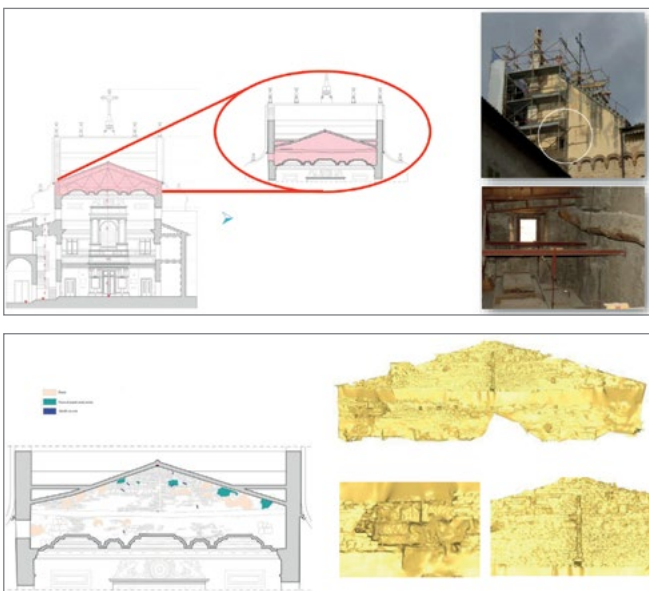


Figura 11. Studio delle lesioni del muro di controfacciata nel sottotetto della basilica di San Nicola. Restituzione della porzione di controfacciata del sottotetto nella sezione complessiva della chiesa (a) e analisi a scala maggiore a partire dalla modello continuo ricavato dalla nuvola LiDAR; con l'identificazione di murature di diverse tessiture, di rifazzi cementizi e identificazione di catene e altri apparati tecnologici metallici (b).

L'applicazione alla basilica di San Nicola a Tolentino ha rappresentato una simulazione per valutare e dimostrare l'opportunità di realizzare esperienze immersive relative anche a ricognizioni tecniche digitali, utili non solo per rappresentare e diffondere la consapevolezza della vulnerabilità del patrimonio a un pubblico allargato, ma, considerando anche che le visite virtuali nel futuro si stratificheranno nel tempo, esse possono supportare il monitoraggio della fabbrica anche da parte di attori preposti alla tutela e conservazione. La tesi, oltre a occuparsi delle fasi preliminari di gestione del rilievo integrato laser scanning e fotogrammetrico da UAV della basilica, approfondendo la conoscenza delle fasi costruttive della fabbrica per meglio interpretare i complessi problemi strutturali evidenziati e acuiti dagli eventi sismici, fu direzionata a presentare in dettaglio e tramite l'applicazione di realtà virtuale i problemi connessi al ribaltamento della facciata⁶ e le importanti lesioni visibili nel sottotetto, rilevati dal team DIRECT contestualmente al rilievo dell'intera basilica.

3. I modelli metrici 3D multiscala e multisensore per fondare un HBIM del chiostro di Tolentino

Per rispondere all'elevato grado di complessità della documentazione del patrimonio costruito, e per basare i progetti di conservazione, i metodi di acquisizione della geomatica già da svariati anni si sono attestati sui metodi di rilievo metrico 3D in grado di fornire grandi moli di informazioni rappresentati da nuvole dense e accurate. Ciò avviene sfruttando le tecnologie LiDAR e quelle che impiegano sensori passivi, oltre che la fotogrammetria digitale, che ha potuto avvalersi delle innovazioni tecnologiche occorse alle camere, alla loro calibrazione, e anche al punto di vista, che si giova ormai facilmente dei mezzi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) potendo sfruttare l'integrazione delle tecniche di *image matching* e degli algoritmi *Structure From Motion* (SfM) derivati dalla *Computer Vision*.

Mentre l'informazione spaziale si è sempre avvalsa dei sistemi informativi geografici (GIS) per la gestione di dati georiferiti, all'estrema centralità della componente 3D alla base della modellazione degli ambienti costruiti, e all'esigenza di sempre maggiore specializzazione è corrisposto negli ultimi anni un uso sempre più diffuso dei sistemi BIM (*Building Information Modelling*) – soprattutto nella loro accezione

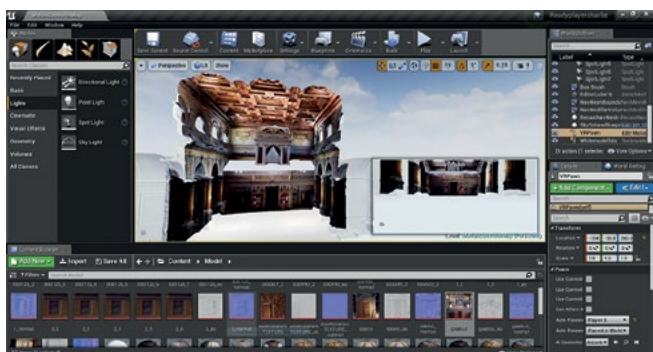


Figura 12. Importazione del modello 3D texturizzato nel software Unreal (a), e fasi dell'organizzazione di contenuti informativi da offrire nella visita virtuale (b).

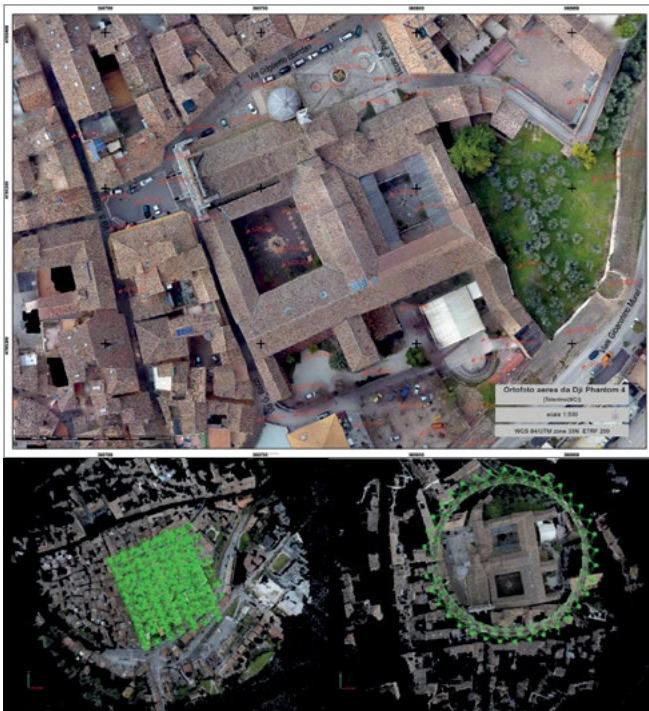


Figura 13. Ortofoto georiferita del complesso monumentale (sopra) e fasi dell'elaborazione del blocco di immagini da UAV quadrimotore, costituito da immagini nadirali e oblique (sotto).



Figura 14. Esempio di analisi di unione di fotogrammi consecutivi estratti da video acquisiti da mini UAV.

HBIM (*Heritage Building Information Modelling*) – per la prerogativa di essere generati da nuvole di punti e di essere orientati al patrimonio costruito⁷.

La tesi in oggetto⁸ ha individuato come fine ultimo della modellazione multi-scala e multi-sensore del chiostro del complesso monumentale di Tolentino proprio la strutturazione di un HBIM, organizzando il database a oggetti delle entità geometriche derivate dal rilievo 3D in modo da soddisfare le esigenze di archiviazione di insiemi eterogenei di dati volti alla conservazione del bene.

Malgrado questo assunto di base e lo sfondo siano legati ai propositi dello stage e dalle attività della task force del Politecnico di Torino di indagare le tecniche di *rapid mapping*, aereo e terrestre, in condizioni di emergenza o per monitorare le strutture architettoniche colpite dal sisma, la tesi è anche ricca di diversi obiettivi intermedi. I risultati del processo fotogrammetrico con tecnica SfM applicato alla

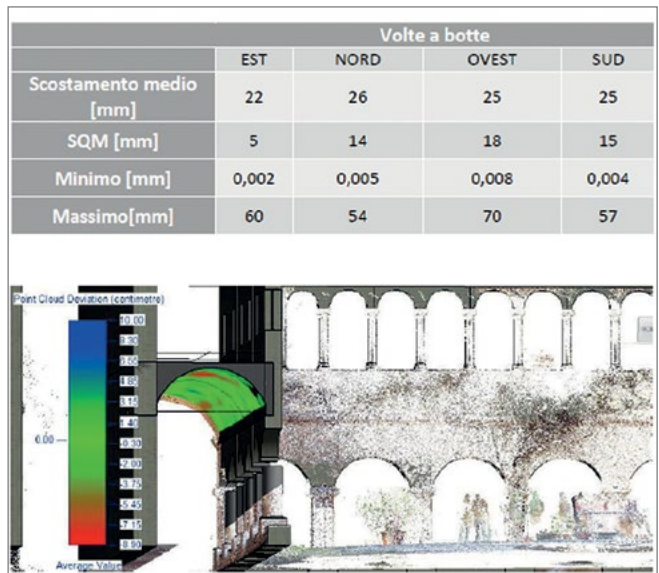


Figura 15. Analisi degli scostamenti tra il modello BIM e la nuvola di punti.



Figura 16. Proposta di organizzazione in sottolivelli del livello di sviluppo G della normativa I 1337/4 del 2017.

scala urbana e ambientale e con immagini nadirali e oblique sono stati confrontati in seguito all'elaborazione avvenuta mediante tre software diversi (Pix4D Mapper, VisualSfM, PhotoScan) per valutare le diverse potenzialità di ciascun software. A valle della generazione dei modelli di punti inoltre, è stata eseguita un'analisi comparata delle densità delle nuvole, che è un parametro qualitativo importante per stimarne il contenuto informativo (Figura 13).

Per quanto riguarda la scala architettonica, affrontata nel chiostro mediante l'ottimizzazione della nuvola di punti laser scanning integrata a quella derivata dai voli UAV, la tesi ha anche sperimentato l'utilizzo di video registrati da un mini drone multi-rotore a distanza ravvicinata dalle muraure delle maniche porticate del chiostro, per valutarne le accuratèzze e per integrare nel blocco di immagini acquisite da terra anche quelle estratte dai video e per sviluppare quindi un progetto multi-sensore più completo.

La costruzione del modello HBIM è stata seguita da un controllo dell'aderenza tra le entità geometriche parametriche e i modelli densi di partenza (Figura 14), dall'organizzazione del modello HBIM in livelli di sviluppo secondo la normativa vigente (11337/4 del 2017) e infine dall'elaborazione di una proposta di organizzazione di ulteriori sottolivelli del livello G, il più sviluppato nella scala A-G della normativa⁹.

Note

¹ Cristina Cuneo, Daniele Regis, Antonia Spanò, *Living the Alps*, in «ArcHistoR Extra», 7, 2019.

² Un'altra occasione in cui si ebbe l'opportunità di presentare i risultati di questo workshop, che si tiene tutti gli anni, fu in occasione dei rilievi 3D della chiesa di Sant'Uberto a Venaria: Elisabetta Donadio, Giulia Sammastano, Filiberto Chiabrandò, Antonia Spanò, *Reality based modelling training. Photomodelling and LiDAR techniques for the St. Uberto Church in Venaria Reale*, in proceeding del XII congresso UID, 2015.

³ Alcuni elaborati e commenti alle analisi eseguite sono stati riportati nel contributo a p. 206.

⁴ Carla Boriello, *From point cloud based models to VR visualization for Cultural Heritage at risk: St. Nicola Church in Tolentino*, tesi di laurea magistrale in Architettura per il restauro e la valorizzazione del patrimonio, Politecnico di Torino, relatori Filiberto Chiabrandò, Antonia Spanò, luglio 2018.

⁵ A titolo esemplificativo si segnalano: Nada Bates-Brkljac, *Virtual Reality*, Nova Science Publishers, New York 2012; Andrea Martina, *Virtual Heritage: new technologies for edutainment*, tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria informatica e dei sistemi, Politecnico di Torino, XXV ciclo (2014), tutor A. Bottino. Eike Falk Anderson, Leigh McLoughlin, Fotis Liarokapis, Christopher Peters, Panagiotis Petridis, Sara Freitas, *Serious Games in Cultural Heritage*, in M. Ashley, F. Liarokapis (a cura di), *The 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*

- *State of the Art Reports*, 2009; Luca Cipriani, Filippo Fantini, *Digitalization Culture vs Archaeological Visualization: Integration of Pipelines and Open Issues*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», Vol. 42-2(W3), 2017, pp. 195-202.

⁶ Cfr. in questo volume il contributo a p. 102.

⁷ Anche la tematica dell'HBIM è sicuramente amplissima e in rapido sviluppo. Per fornire qualche esempio: Sotiris Logothetis, A. Delinasiou, Efstratios Stylianidis, *Building Information Modelling for Cultural Heritage: A review*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W3, 2015, pp. 177-183. Maurice Murphy, Eugene McGovern, Sara Pavia, *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, in «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», vol. 76, 2013; DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006. Filippo Diara, Fulvio Rinaudo, *Open source HBIM for cultural heritage: a project proposal*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», vol. XLII-2, 2018, pp. 303-309; DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-303-2018.

⁸ Raffaella Stano partecipò in qualità di studente allo stage didattico per il rilievo 3D del complesso di Tolentino che si tenne dal 20 al 24 febbraio del 2017; proseguì poi il suo studio con un'esperienza di tirocinio incentrata sull'uso di tecniche per l'acquisizione e gestione di dati georiferiti, concludendo il percorso con la tesi di laurea magistrale: Raffaella Stano, *Acquisizioni multi-sensore nel chiostro di San Nicola a Tolentino per il modello parametrico*, tesi di laurea magistrale in Ingegneria edile, Politecnico di Torino, relatori Andrea Lingua, Antonia Spanò, ottobre 2017.

⁹ Il presente testo è frutto di ricerche ed elaborazioni comuni, tuttavia, in particolare, il paragrafo 1 è da attribuirsi a Nannina Spanò e Filiberto Chiabrandò, il 2 a Carla Borriello, Filiberto Chiabrandò e Nannina Spanò, e il 3 a Raffaella Stano, Andrea Lingua e Nannina Spanò.