



Procedimenti Scan to CAD e rielaborazione critica dei dati per l'analisi dello stato conservativo

Scan to CAD processes and data's critical approach for the conservation status analysis

Giulia Ursino

Centro DIAPReM, Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara
giulia.ursino@edu.unife.it

Chiara Marcantonio

Centro DIAPReM, Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara
chiara.marcantonio@edu.unife.it

La tutela e la conservazione del patrimonio costruito esistente sono processi legati alla conoscenza, gestione e valorizzazione finalizzati a documentare, preservare e valorizzare il sistema storico-architettonico consolidato. Le procedure di interrogazione e interpretazione del dato da rilevamento digitale costituiscono un supporto per l'analisi dello stato conservativo e relativa restituzione.

The preservation and conservation of the existing built heritage are processes linked to knowledge, management and exploitation for the purpose of documenting, preserving and enhancing the established historical-architectural system. Procedures for the investigation and interpretation of digital survey data, provide support for the analysis of the state of conservation and its restitution.

Lo sviluppo delle tecnologie di rilievo laser scanner 3D e di modellazione sono attualmente punto di partenza per le azioni volte alla conservazione e valorizzazione del patrimonio storico architettonico. Gli "archivi digitali" di modelli 3D si configurano come strumenti di ricerca nel settore dei beni culturali, in quanto permettono di documentare la "memoria geometrica" costituita dai dati metrici, morfologici e di caratterizzazione superficiale di un manufatto architettonico. [Maietti & Ferrari, 2018]. Dunque i modelli digitali hanno la capacità di raccogliere in sé molteplici dati e numerosi dettagli

The development of 3D laser scanner survey and modeling technologies are currently the starting point for actions for the conservation and exploitation of historical architectural heritage. The "digital archives" of 3D models are configured as research tools in the cultural heritage sector, as they allow documenting the "geometric memory" consisting of metric, morphological and surface characterisation data of an architectural building. [Maietti & Ferrari, 2018]. Therefore, digital models have the capacity to collect multiple data and numerous details that favor multidisciplinary diagnostic investigations of the

00.

Dettaglio.
Vista della nuvola di punti con dato RGB dell'esterno del museo di Verucchio, tema applicativo del corso di Tecniche della Rappresentazione (secondo anno del Corso di Studi in Architettura, Università di Ferrara) | Detail.
View of the RGB point cloud with data of the exterior of the Verucchio museum, case study in the Integrated course of Techniques of Representation II (partition a University of Ferrara, Architecture Department)

che favoriscono le indagini diagnostiche multidisciplinari del bene architettonico riducendo la necessità di continue analisi in situ e una più efficiente condivisione di informazioni. Documentare, rilevare e rappresentare edifici del tessuto storico-consolidato utilizzando la metodologia integrata multi-livello e multi-criterio consente di classificare e decodificare i significati storici, artistici, architettonici e conservativi al fine di garantire il monitoraggio pianificato, la conservazione e la gestione proattiva dei beni oggetto dell'indagine. Un progetto di rilievo - in particolare applicato su beni storico-architettonici caratterizzati da unicità e complessità in termini di stratificazione - deve tenere conto delle necessità dell'oggetto d'indagine e, nonostante oggi esistano linee guida e workflow nel rilevamento digitale, seppur non standardizzati, la metodologia più efficiente è rappresentata dall'integrazione di diversi approcci e strumenti tenendo presente lo scopo ultimo del rilievo e la scala di restituzione degli elaborati richiesti.

Nel caso specifico di applicazione oggetto del presente contributo, i sistemi di acquisizione digitale utilizzati, ovvero Time-Of-Flight (TOF) e Fotogrammetria terrestre digitale (o Structure-from-Motion), hanno consentito di disporre sia di una nuvola di punti (e quindi di un database composto da un sistema di coordinate spaziali), che di un modello caratterizzato anche dal dato cromatico (RGB). La finalizzazione di analisi dello stato conservativo ha quindi previsto l'integrazione di tali metodologie e della campagna fotografica di supporto mirata alla documentazione delle morfologie di degrado. (fig. 01)

La procedura Scan to CAD per la rappresentazione tematica degli aspetti conservativi è stata realizzata secondo gli standard codificati dalla normativa UNI 11182. Una importante riflessione è relativa alla necessità di restituire i rilievi digitali e rappresentare le caratteristiche di superficie in forma vettoriale (rappresentazioni da AutoCad), ancora oggi prevalentemente richiesta al fine di disporre di elaborati facilmente utilizzabili anche a fini computazionali.

PROCEDURA DI ACQUISIZIONE DEI DATI

Il rilievo e la sua conseguente rappresentazione grafica fanno parte di un processo conoscitivo più ampio capace di approfondire i diversi aspetti propri dell'oggetto di studio che si articola in diverse fasi.

La prima tra tutte riguarda lo studio preliminare che si sviluppa a partire dalla raccolta di documentazione storica inerente, da una conoscenza generale del contesto, progressivamente arricchita con documentazione storica specifica e archivistica. La raccolta di informazioni storiche e il rilievo geometrico sono la base per un'analisi critica dello stato di fatto finalizzato alla redazione di elaborati bidimensionali [Picchio, 2017]. Il rilievo geometrico deve essere programmato utilizzando eidotipi che permettono di studiare

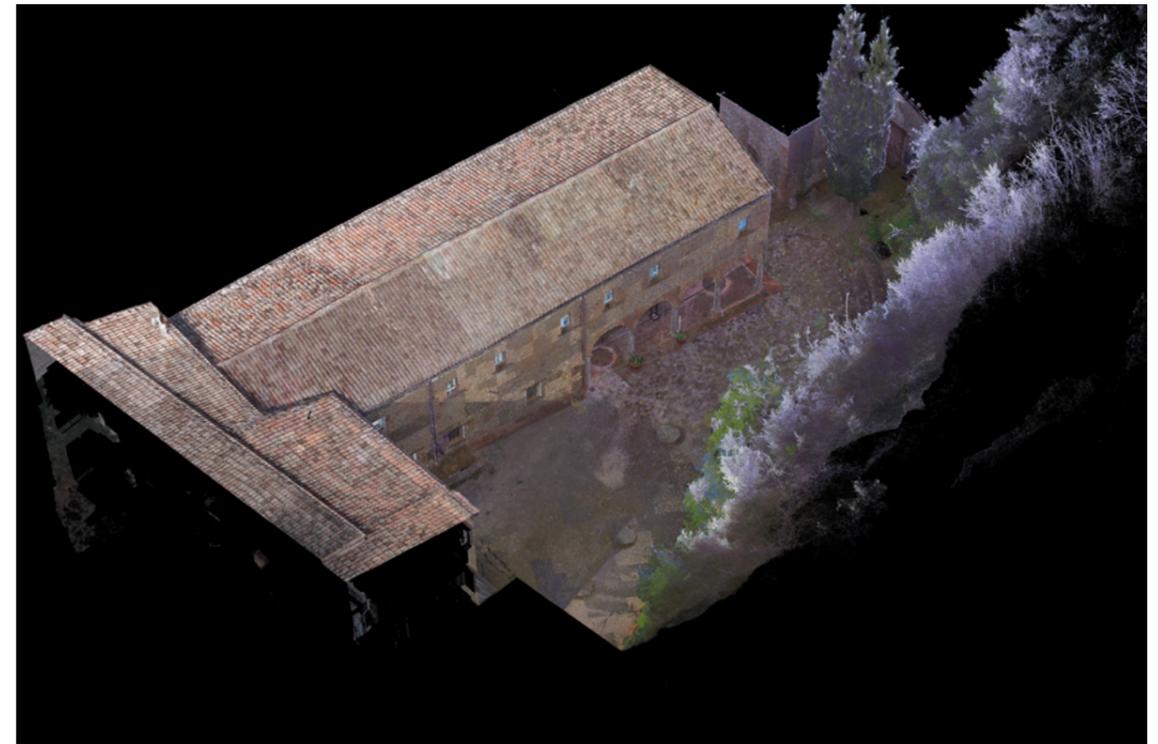
architectural asset, reducing the need for continuous on-site analysis and efficient information sharing. Documenting, surveying and representing buildings in the historic-architectural fabric using the integrated multi-level and multi-criteria methodology makes it possible to classify and decode the historical, artistic, architectural and conservation values in order to ensure the planned monitoring, conservation and proactive management of the surveyed assets.

A survey project - particularly applied on historical-architectural assets characterized by uniqueness and complexity in terms of stratification - must take into account the needs of the object of investigation. Although guidelines and workflows in digital surveying exist today, albeit not standardized, the most efficient methodology is represented by the integration of different approaches and tools, keeping in mind the purpose of the survey and the scale of return required. In the specific case of the application discussed in this contribution, the digital acquisition systems used, that is Time-Of-Flight (TOF) and digital terrestrial photogrammetry (or Structure-from-Motion), have allowed for the availability of both a point cloud (and therefore a database composed of a system of spatial coordinates) and a model characterized by the chromatic data (RGB). The finalization of the conservation status analysis therefore required the integration of these methodologies and the support of photographic campaigns for the documentation of degradation morphologies. The Scan to CAD procedure for the thematic representation of conservation aspects was carried out according to the standards encoded by the UNI 11182. An important consideration relates to the need to provide digital surveys and represent surface characteristics in vector form (representations from AutoCad), still predominantly required in order to have outputs that are easily usable also for computational purposes.

PROCEDURE OF DATA ACQUISITION

The survey and its consequent graphic representation are part of a broader cognitive process capable of delving into the various aspects of the object of study, which is divided into various phases.

The first of all concerns the preliminary study that develops from the collection of inherent historical documentation, from a general knowledge of the context, progressively enriched with specific historical and archival documentation. The collection of historical information and the geometric survey is the basis for a critical analysis of the state of affairs aimed at the drafting of two-dimensional drawings [Picchio, 2017]. The geometric survey must be planned using sketches that allow the positioning of the laser for each survey station to be studied, in order to obtain an accurate and complete survey. Depending on the size of the environment or the morphology or morphological-decorative articulation, the number of scans and the density of the cloud is evaluated, so as to obtain a level of detail appropriate to the documentation and representation needs. (IMAGE 2) The data obtained from the scans alone, however, are insufficient if the purpose of the survey is the



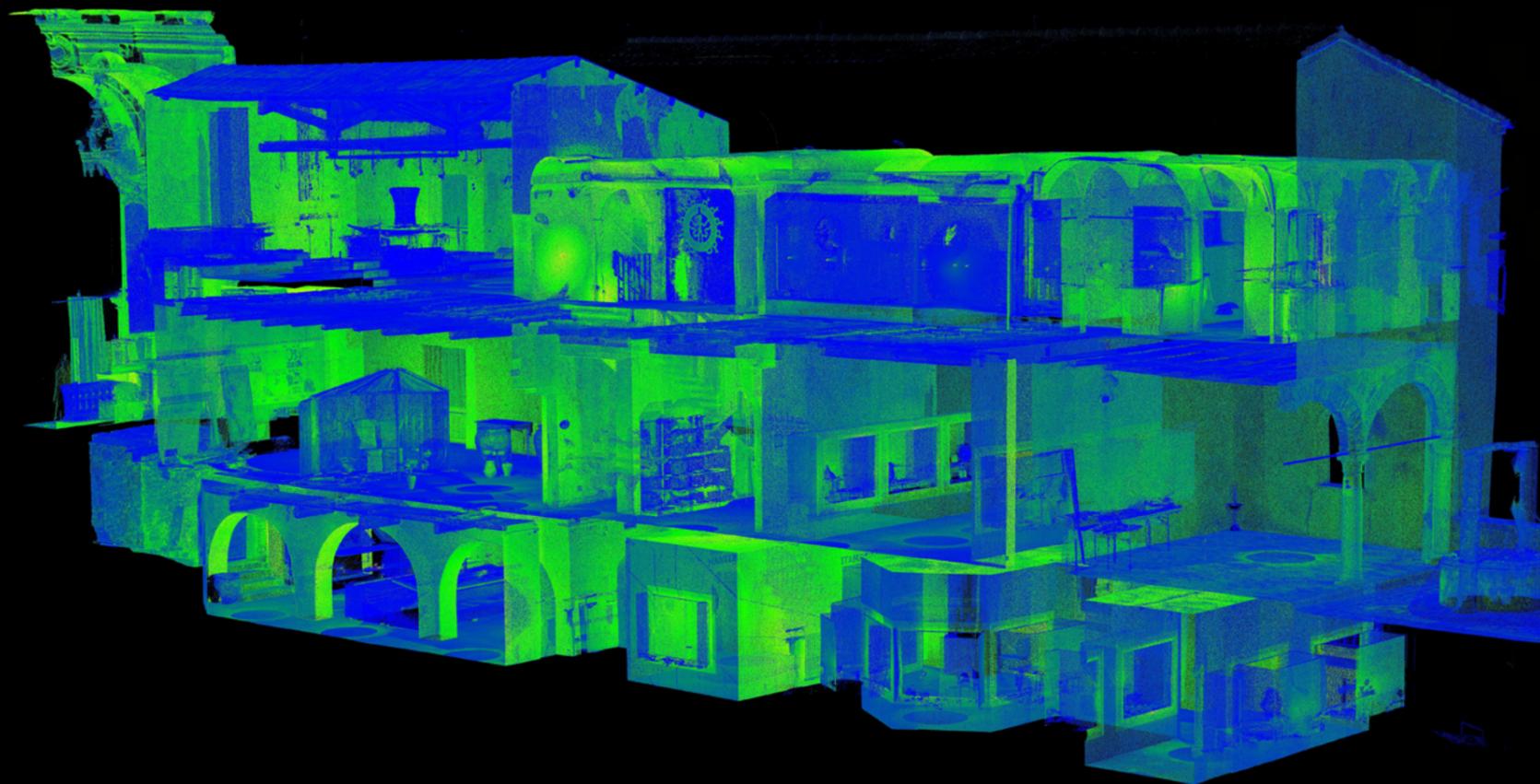
01.

Vista della nuvola di punti con dato RGB dell'esterno del museo di Verucchio, tema applicativo del corso di Tecniche della Rappresentazione (secondo anno del Corso di Studi in Architettura, Università di Ferrara) | View of the RGB point cloud with data of the exterior of the Verucchio museum, case study in the Integrated course of Techniques of Representation II (partition a University of Ferrara, Architecture Department)

il posizionamento del laser per ogni stazione di rilevamento, in modo da ottenere un rilievo accurato e completo. In base alla dimensione dell'ambiente o alla morfologia o articolazione morfologico-decorativa, si valuta il numero di scansioni e la densità della nuvola, così da ottenere un livello di dettaglio appropriato alle necessità di documentazione e rappresentazione. (fig. 02)

I soli dati ottenuti dalle scansioni però risultano insufficienti se la finalità del rilievo è la mappatura generale del degrado in quanto "i sensori attivi sono in grado di fornire direttamente in poco tempo grandi moli di dati 3D, [...]. Uno svantaggio è anche il fatto di dover sempre predisporre delle acquisizioni fotografiche separate in quanto le fotocamere normalmente montate sugli strumenti attivi sono di bassa qualità" [Remondino, 2011]. Per ovviare a questa problematica i rilievi scanner possono essere integrati con il contributo offerto dalle fotogrammetrie così da ottenere informazioni esaustive circa lo stato di conservazione generale dell'edificio o del singolo elemento architettonico, in quanto il rilievo fotografico consente di ottenere informazioni specifiche legate all'aspetto qualitativo delle superfici e l'ottimizzazione delle scale colorimetriche dei materiali. Il rilievo fotogrammetrico si acquisisce tramite campagne fotografiche con cavalletto e asta metrica, o, più frequentemente, tramite la procedura

general mapping of degradation as "active sensors are able to provide large volumes of 3D data directly in a short time, [...]. A disadvantage is also the fact of always having to prepare separate photographic acquisitions as the cameras normally mounted on active instruments are of low quality" [Remondino, 2011]. To solve this problem, scanner surveys can be integrated with the contribution offered by photogrammetry in order to obtain exhaustive information about the general state of conservation of the building or individual architectural element, as the photographic survey allows obtaining specific information related to the qualitative aspect of the surfaces and the optimization of the colorimetric scales of the materials. The photogrammetric survey is acquired by means of photographic campaigns with a tripod and metric rod, or, more frequently, by means of the Structure-from-Motion procedure, which allows 'free' shots following a specific procedure depending on the object to be surveyed, or with the use of drones. Software that allows the generation of photogrammetric models requires an organized photographic campaign, with parallel shots at 45° angles to the surface. To facilitate the assembly phase of the photos in the software environment, it is necessary to ensure that the shots have an overlap of 60%-80%. The photos are automatically aligned by the software's own algorithm that generates a point cloud. However, this may have geometric inaccuracies



02.

Estrazione da rilievo 3D a nuvola di punti della sezione del museo di Verucchio, tema applicativo del corso di Tecniche della Rappresentazione (secondo anno del Corsi di Studi in Architettura, Università di Ferrara) | Extraction from 3D point cloud survey of the Verucchio museum section, case study in the Integrated course of Techniques of Representation II (partition a University of Ferrara, Architecture Department)

Structure-from-Motion, che consente di effettuare riprese "libere" seguendo una procedura specifica a seconda dell'oggetto da rilevare, oppure con l'utilizzo dei droni. I software che permettono di generare modelli fotogrammetrici necessitano di una campagna fotografica organizzata, con scatti paralleli e con angoli di rotazione di 45° alla superficie. Per favorire la fase di assemblaggio delle foto in ambiente software è necessario assicurarsi che gli scatti abbiano una sovrapposizione del 60%-80%. Le foto sono allineate automaticamente dall'algoritmo del software stesso che genera una nuvola di punti. Questa però può presentare imprecisione geometriche che possono essere limare attraverso l'importazione delle coordinate della nuvola di punti. Per ottenere elaborati bidimensionali attraverso programmi di disegno assistito in cui tematizzare in particolare le patologie di degrado, la metodologia di documentazione integrata prevede la realizzazione di campagne fotografiche (calibrate e codificate) predisposte appositamente per il loro riconoscimento e la mappatura.

that can be corrected by importing the coordinates of the point cloud. In order to obtain two-dimensional drawings by means of assisted drawing programmes in which degradation pathologies in particular can be mapped, the integrated documentation methodology involves the realization of (calibrated and coded) photographic campaigns specifically prepared for their recognition and mapping. These are generally carried out following the same order for each surface to be analyzed:

- the first photo must be a general overview in order to immediately understand what part of the monument/surface we are working on;
- a shot order is chosen that will be repeated for all the surfaces, which can be from bottom to top and vice versa or from right to left and vice versa;
- detail photos are taken that will be zooms of the first shot for the recognition of degradation.

This ordered method allows the subsequent cataloging of the photographic material to support the representation. Each folder will therefore be named after the area or object framed in the first photo, which will be followed by the various detail

Queste generalmente vengono effettuata seguendo sempre lo stesso ordine per ogni superficie da analizzare:

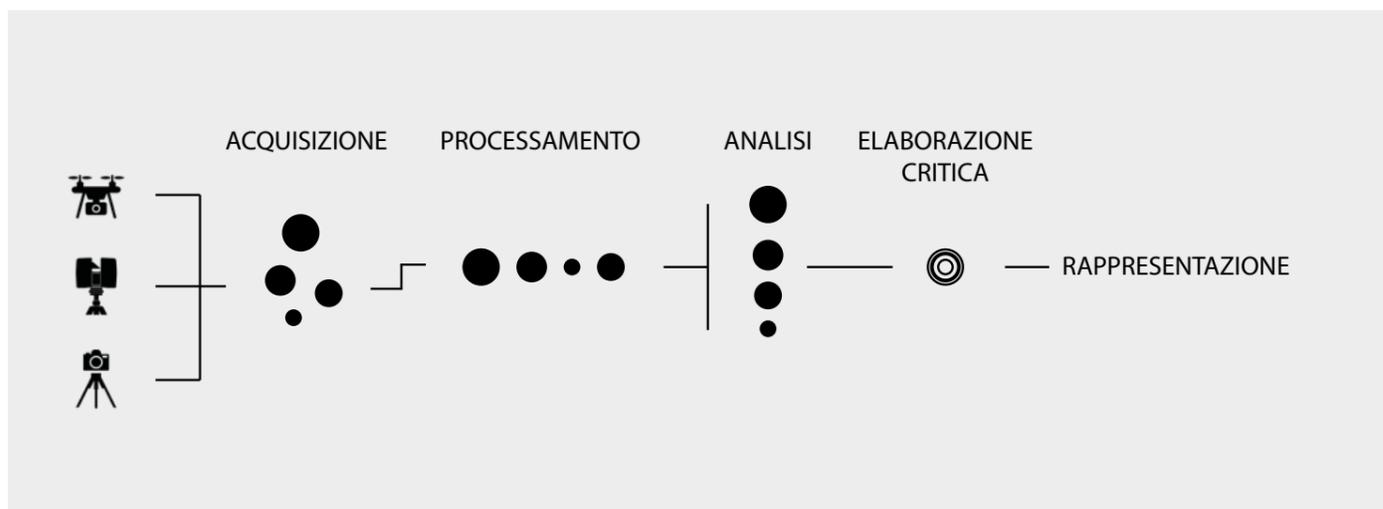
- la prima foto deve essere un inquadramento generale per riuscire a capire subito in che parte del monumento/ superficie stiamo lavorando;
- si sceglie un ordine di scatto che verrà ripetuto per tutte le superfici che può essere dal basso verso l'alto e viceversa o da destra verso sinistra e viceversa;
- vengono scattate foto di dettaglio che saranno degli zoom del primo scatto per il riconoscimento del degrado.

Questo metodo ordinato consente la successiva catalogazione del materiale fotografico di supporto alla rappresentazione. Ogni cartella sarà dunque chiamata con il nome dell'area o oggetto inquadrato nella prima foto a cui seguiranno le varie foto di dettaglio. Quando le superfici da analizzare sono molto ampie è sempre utile servirsi di eidotipi per suddividere in fasce o quadranti l'area di interesse così da suddividere poi in maniera ordinata il materiale fotografico.

photos. When the surfaces to be analyzed are very large, it is always useful to use a sketch to subdivide the area of interest into bands or quadrants so that the photographic material can then be sorted.

CONCLUSIONS

An accurate analysis of the state of conservation requires a comparison between the photographic data and the surveyed data, which requires a careful reading of the surfaces, so the point cloud data must be reprocessed with a critical awareness of the operator and not following mechanical procedures. Using different methodologies and integrated surveys, from three-dimensional scanning of buildings and historical monuments to photographic campaigns and in situ macroscopic analyses, restoration experts can carry out an accurate analysis of the state of conservation and plan the necessary intervention operations for restoration.



03.

Schema esemplificativo dei processi dall'acquisizione del dato alla rappresentazione |
Example diagram of the processes from data acquisition to representation

ELABORAZIONE DATI E RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

Le rappresentazioni grafiche bidimensionali attraverso software CAD consentono di elaborare tavole tematiche con il livello di dettaglio consono alla documentazione puntuale delle morfologie di degrado, e di gestire il livello di dettaglio in funzione della scala di rappresentazione; dunque rappresenta uno step necessario per la mappatura e l'analisi dello stato conservativo.

La nuvola di punti, dopo i vari processi di unione delle scansioni, pulizia e registrazione, può essere sezionata tramite piani al fine di fungere da supporto per la rappresentazione bidimensionale. Prima di passare ai software di disegno automatico assistito è necessario generare un file DEM (Digital Elevation Model) da cui esportare un ortofoto in formato tiff della nuvola di punti. Quest'ultimo diventerà la base per la rappresentazione grafica geometricamente corretta.

I dati forniti dalla nuvola di punti possono essere letti anche per effettuare analisi critiche a supporto dell'individuazione di materiali e degradi. Infatti, i valori di "intensity value" rilevati dallo scanner possono essere visualizzati e analizzati con finalità di indagine delle caratteristiche di superficie basata sui valori di riflettanza, poiché possono mettere in evidenza caratteristiche specifiche come rugosità, fessurazioni, patine o degradi di altro genere, ma anche di individuare materiali diversi tra loro. La lettura del dato di riflettanza deve necessariamente essere adottata a confronto con altre metodologie di indagine, non essendo ancora stato codificato un sistema di corrispondenze specifiche tra riflettanza e materiali o degradi, ed essendo il valore dell'intensity value soggetto a variazioni anche sensibili dipendenti dall'angolo di incidenza del laser sulla superficie e altri valori ambientali [Maietti, 2019].

I valori di riflettanza possono comunque essere visualizzati secondo diverse scale cromatiche e resi più evidenti tramite impostazione di "scalar field" nei programmi di gestione di nuvola di punti come Cloud Compare, per poi procedere con l'estrazione delle ortoimmagini di base per la rappresentazione 2D.

Alla luce di quanto sopra descritto, la restituzione da nuvola di punti finalizzata a l'analisi dello stato di conservazione generale delle superfici è da considerarsi una metodologia a integrazione di approfondimenti diagnostici specifici; risulta di supporto, a tal proposito, integrare il rilievo geometrico con fotopiano generato da modellazione fotogrammetrica. La nuvola di punti derivata dalle fotografie (tie points) deve essere scalata correttamente per farla corrispondere con la nuvola derivata dalle scansioni. Per questo processo basta posizionare

dei "vertex", ovvero dei punti, su nuvola di punti e riportare le stesse coordinate su nuvola generata da software di fotomodellazione e lanciare un nuovo allineamento delle foto. La nuvola di punti "color-based" può essere quindi processata per diventare una nuvola densa da cui è possibile generare una Mesh che crea una superficie omogenea tridimensionale dell'oggetto. A questo punto è possibile ottenere un texture da cui estrarre in ortomosaico il fotopiano in formato tiff.

I modelli grafici bidimensionali in formato vettoriale richiedono determinate scale di rappresentazione in base alle diverse tipologie di informazioni che devono comunicare, perseguendo una stretta connessione tra il modello digitale e rappresentazione e facendo riferimento alle "incertezze" della nuvola di punti in relazione alla densità e al differente intervallo di scansioni e alla strumentazione utilizzata.

La mappatura generale delle morfologie di degrado richiede una scala di rappresentazione che riesca a descrivere in modo efficace l'analisi svolta per cui si ritiene necessaria una scala di rappresentazione non inferiore a 1/50. A tal fine, è importante avere modelli digitali dai quali si ottengono informazioni più o meno dettagliati per arrivare a queste scale di rappresentazione [Docci, 2011]. Una volta importati su software CAD i tiff della nuvola di punti e del fotopiano che consente la visualizzazione della proiezione ortogonale con dato fotografico, è possibile procedere con la rappresentazione bidimensionale favorita dalla lettura sincronica delle immagini. (fig. 03)

CONCLUSIONI

Per ottenere un'analisi accurata dello stato conservativo è necessario il confronto tra il dato fotografico e il dato rilevato che richiede una lettura attenta delle superfici, per cui occorre rielaborare i dati della nuvola di punti con coscienza critica dell'operatore e non seguendo procedure meccaniche.

In conclusione, l'applicazione delle procedure Scan to CAD può configurarsi come metodologia fondamentale per la documentazione e rappresentazione a supporto della conservazione del patrimonio costruito esistente. Grazie all'utilizzo di diverse metodologie e rilievi integrati, dalla scansione tridimensionale degli edifici e dei monumenti storici alle campagne fotografiche e le analisi macroscopiche in situ, gli esperti di restauro possono effettuare un'analisi accurata dello stato di conservazione e pianificare le operazioni di intervento necessarie per il restauro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- F. Maietti, F. Ferrari (2018). Rilievo, documentazione, modellazione semantica. Nuovi approcci metodologici per il patrimonio culturale. In *Paesaggio Urbano*, 4/2018, pp. 88-97
- F. Picchio (2017). Metodologie di rilievo integrato per indagini diagnostiche non invasive: la documentazione della Moschea Bianca di Al-Jazzar a San Giovanni d'Acri, Israele. In *Restauro Archeologico* 2|2017, pp. 90-105.
- F. Remondino (2011). *Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse. Disegnarecon*, 4(8), 90-98
- F. Maietti (2019). Survey and representation of historical surfaces: the colours of Jodhpur. In Marcello Balzani, Minakshi Jain, Luca Rossato (Eds.), *Between History and Memory, the Blue Jodhpur. Experiences of integrated documentation and survey techniques*, Maggioli Editore, Rimini, pp. 63-70.
- M. Docci (2011). *Tradizione e tecniche innovative nel rilevamento e analisi dell'architettura, della città e dell'archeologia*. In E. Chiavoni, M. Filippa (a cura di) *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*, Roma, Gangemi Editore.