

Tecniche di imaging 3D ad alta risoluzione

La tecnologia, e in particolare le tecniche di imaging 3D come la fotogrammetria e l'uso di sistemi laser scanner, può essere estremamente utile per la tutela, fruizione, catalogazione, divulgazione e valorizzazione dei beni culturali, favorendone l'accessibilità e la conoscenza [1]. Un esempio sono gli studi eseguiti dall'ENEA presso l'antica Spezieria di Santa Maria della Scala a Roma, la 'Farmacia dei Papi', dove queste tecnologie sono state applicate con successo nell'ambito del Progetto 'Roma Hispana'.

DOI 10.12910/EAI2022-037

di Massimo Francucci¹, Massimiliano Guarneri¹, Roberta Fantoni¹, Massimiliano Ciaffi¹, Marco Pistilli¹, *Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute - ENEA*, Marialuisa Mongelli², Samuele Pierattini², Marco Puccini², *Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA*

Beni Culturali (BC) sono una ricchezza di inestimabile valore e il nostro Paese vanta il patrimonio culturale più consistente al mondo, con opere d'arte uniche e preziosissime. Tuttavia, questi tesori non sono sempre preservati dal degrado in modo ottimale e talvolta neanche facilmente accessibili e di agevole fruizione a causa della distanza di osservazione cui è costretto il visitatore, della scarsa/inadeguata illuminazione, dell'eccessivo affollamento del sito che le ospita. **La tecnologia, e in particolare le tecniche di imaging 3D come la fotogrammetria e quelle basate sull'uso di luce laser (sistemi laser scanner), può essere uno strumento estremamente utile a servizio dell'arte per la tutela, fruizione, catalogazione, divulgazione e valorizzazione dei BC, favorendone l'accessibilità e la conoscenza [1].** A tale scopo nella Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute dell'ENEA sono stati realizzati dei laser scanner denominati **Imaging Topological Radar (ITR)** tra

i quali il **Red Green Blue-ITR (RGB-ITR)** che ricopre un ruolo importante nel campo della tutela e fruizione dei beni culturali per le sue interessanti caratteristiche e applicazioni [2, 3]. Questi strumenti sono stati utilizzati presso uno dei luoghi più affascinanti di Roma, la 'Farmacia dei Papi', ovvero la Spezieria di Santa Maria della Scala a Roma, la più antica d'Europa istituita nella seconda metà del XVI secolo e attiva fino alla metà del secolo scorso. **Le campagne di misura sono state eseguite nell'ambito del progetto "Roma Hispana. Nuevas tecnologías aplicadas al estudio histórico, la musealización y la puesta en valor de Patrimonio Cultural español en Roma: la Spezieria di Santa Maria della Scala"** coordinato dall'Università di Valencia (Spagna). Nella spezieria, gestita dall'Ordine dei Carmelitani Scalzi, sono state applicate con successo tecnologie laser scanner (RGB-ITR) e fotogrammetriche per la digitalizzazione 3D degli ambienti di interesse.

In parallelo alla scansione sul campo effettuata con l'RGB-ITR, la Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT dell'ENEA ha contribuito al progetto mediante **l'uso della tecnica fotogrammetrica**, in una campagna di misure *in situ* nel maggio 2021, per realizzare il **modello 3D** di un antico armadio situato nella Sala delle Vendite (sala principale) della spezieria, formato da quattro parti: tre delle quali contenenti cassetti per le spezie e la quarta una vetrina con manufatti di sale cristallizzato. **L'obiettivo è volto alla valorizzazione dell'opera investigata per consentirne la fruizione da remoto e arricchire la documentazione digitale del museo della Spezieria [4].** La ricostruzione 3D fotogrammetrica è stata realizzata con **accesso remoto, via ENEAGRID, mediante la piattaforma virtuale ENEA ICT per i BC denominata IT@CHA.** In supporto/integrazione, qualora necessario, del rilievo laser RGB-ITR è stata anche



Fig. 1 Dettaglio del modello 3D a colori della Sala delle Vendite ottenuto con RGB-ITR. L'alta risoluzione raggiunta permette di leggere sia le scritte presenti nella sala come quelle della targa situata sopra la porta di ingresso e sia di rilevare la presenza di crepe sulle pareti e sul soffitto della sala come mostrato in figura dove sono ben visibili le crepe su uno stemma presente sul soffitto.

eseguita una scansione fotogrammetrica del soffitto della sala principale dell'antica Spezieria.

Laser scanner RGB-ITR e fotogrammetria

Con l'RGB-ITR¹ si ottiene la digitalizzazione 3D a colori ad alta risoluzione (minimo dettaglio apprezzabile inferiore al mm fino a 15m di distanza) e ad alta fedeltà di

scene reali e di opere d'arte anche di grandi dimensioni. L'RGB-ITR non necessita di costose e ingombranti impalcature/ponteggi per scansionare l'opera d'arte investigata fornendone un modello 3D a colori ad alta definizione e accuratezza completamente navigabile in cui si raggiungono livelli di zoom molto spinti per ammirare l'opera in tutta la sua bellezza. In tale modello, che è privo di ombre, l'informazione

colorimetrica non risente delle condizioni di illuminazione ambientale fornendo così un efficiente *rendering* del colore. Per ogni punto campionato (pixel) l'RGB-ITR acquisisce simultaneamente le informazioni di distanza (struttura/*mesh*) e colore (riflettività/*texture*) del target.

Il processo di ricostruzione fotogrammetrica è suddiviso in fasi successive, di seguito descritte. Il primo passo del flusso di lavoro è stato quello di ottenere un'acquisizione veloce delle immagini con una fotocamera Fuji X-T20 a specchio e compatta dotata di un sensore APS-C con 24 Megapixel. Per ottenere una serie completa di immagini, anche della parte superiore dell'armadio, la fotocamera è stata montata su una barra estensibile. Con questa semplice configurazione è stato possibile realizzare una scansione completa sia della parte interna che esterna dell'armadio (con ante aperte/chiuse) in circa mezz'ora. Il secondo passo è stato quello di caricare le immagini sulla piattaforma IT@CHA, un ambiente software ospitato dalla infrastruttura HPC ENEA Cresco², che permette di lavorare con software di calcolo grafico in remoto grazie ad una semplice connessione web [6]. Una volta caricate, le immagini sono state elaborate con il software Agisoft Metashape per ottenere una ricostruzione 3D grazie all'algoritmo SfM (Structure from Motion).

Le risorse hardware che ospitano la piattaforma (Tabella 1) hanno permesso di ottenere un modello dettagliato dell'armadio interno ed esterno in meno di sei ore, partendo da 473 immagini della parte esterna e 152 della parte interna.

I risultati

In accordo con la Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Roma dal 10 al 14 maggio e dal 25 al 29 ottobre 2021 sono state effettuate due campagne di misure

Tab. 1 Caratteristiche hardware della macchina utilizzata sia per la ricostruzione fotogrammetrica che per la costruzione del modello 3D.

OS	Linux 64bit Centos 7.3
CPU	2x Intel(R) Xeon(R) Platinum 8160 2.10 GHz
Memory	188GB
GPU	Tesla V100m
Photogrammetry software	Agisoft Metashape v1.7.2
3D model software	Blender v2.82

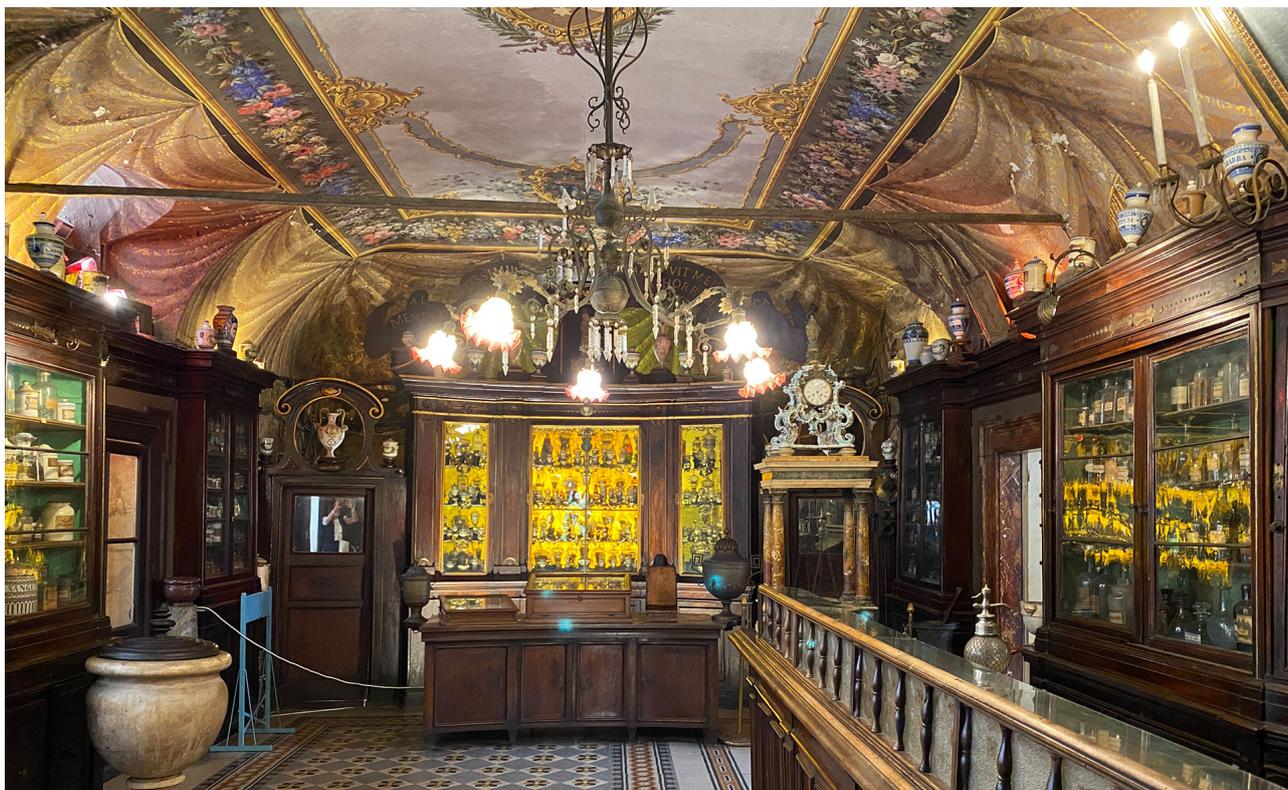


Fig. 2 Immagine fotografica della Sala delle Vendite (Spezieria di Santa Maria della Scala, Roma)

con RGB-ITR presso la Spezieria con l'obiettivo di riprodurre digitalmente in 3D e a colori ad alta risoluzione la Sala delle Vendite per consentire la musealizzazione virtuale, fornendo un modello completamente navigabile che risulti il più completo e fedele possibile. I rilievi laser effettuati nel range 2.5m–7.5m hanno richiesto un tempo totale di acquisizione di 80 ore. Hanno avuto il duplice scopo di consentire l'analisi dello stato di conservazione delle superfici investigate, per una eventuale pianificazione di interventi di restauro o recupero, e la raccolta di documentazione in forma di immagini digitali e modelli 3D a colori ad alta risoluzione per la promozione, valorizzazione e fruizione virtuale della sala rendendola accessibile al pubblico interessato oltre che agli esperti del settore: storici dell'arte,

restauratori, ecc.

Tale sala (7m x 4.5m x 4m) ha rappresentato una sfida intrigante per l'RGB-ITR poiché caratterizzata dalla presenza di numerose vetrine con oggetti in vetro in grado di riflettere la luce laser in varie direzioni alterando così le misure, di un ingombrante lampadario nel centro della sala e di un'asta metallica vicino al soffitto parzialmente affrescato. Essi hanno rappresentato ostacoli significativi alla luce laser in fase di misura. Malgrado ciò interessanti risultati preliminari dell'intera sala sono stati ottenuti con l'RGB-ITR fornendone una riproduzione virtuale 3D a colori di alta qualità. Nella Figura 1 sono invece mostrati dettagli del modello ottenuto con RGB-ITR. Essi consentono di apprezzare l'alta risoluzione raggiunta che è tale da permettere di leggere

le scritte presenti nella sala come quelle di una targa affissa sopra la porta di ingresso e di rilevare la presenza di crepe (Figura 1) le cui dimensioni millimetriche possono essere valutate direttamente dai dati RGB-ITR. Tali informazioni possono essere estremamente utili ai restauratori per studiare lo stato di conservazione della sala mostrata in Figura 2 individuando le eventuali aree soggette a maggior degrado e che necessitano di interventi di recupero/restauro.

Per consentire la fruizione della parte interna dell'armadio, è stato necessario utilizzare il software Open Source Blender, fondendo i modelli sia della parte interna che esterna per ottenere una versione con le persiane aperte che permettesse di rendere visibile l'interno dell'armadio sia con il suo conte-

nuto di scatole di spezie che i suoi preziosi ritratti e dipinti (Figura 3).

Conclusioni

I risultati preliminari presentati sono di notevole interesse per quanto riguarda la produzione di un modello RGB-ITR 3D a colori del locale storico della Sala delle Vendite della Spezieria. Malgrado ciò l'elaborazione della grande mole di dati acquisiti necessita ancora di tempo per ottenere un migliore *rendering* dell'informazione colorimetrica e per una migliore ottimizzazione della *mesh*. I risultati finora ottenuti possono comunque essere utili per permettere la musealizzazione virtuale e la fruizione ad alta qualità della Sala delle Vendite al pubblico interessato e lo studio del suo stato di conservazione per facilitare l'individuazione delle aree dove sono necessari interventi di restauro e per una loro efficiente programmazione.

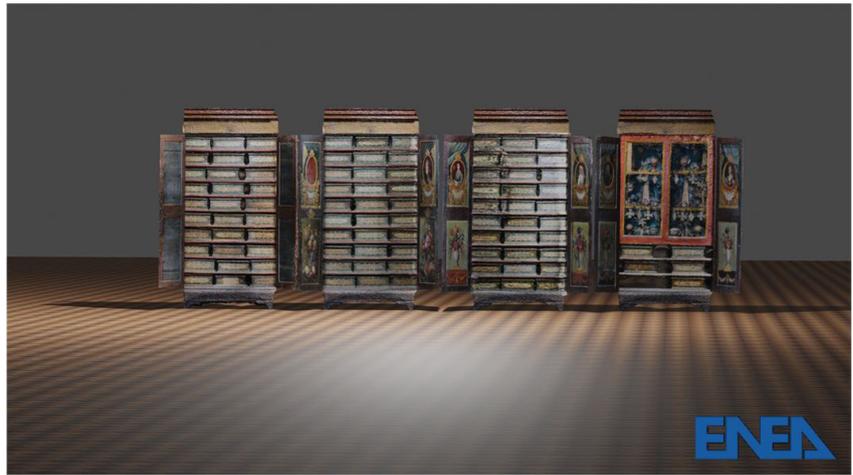


Fig. 3 Il modello 3D dell'armadio ottenuto con Blender.

Il flusso di lavoro della ricostruzione fotogrammetrica ha dimostrato che tali tecnologie e metodologie permettono di ottenere buoni risultati grazie a un'acquisizione ed elaborazione delle immagini veloce ed economica. Questo porta la meto-

dologia ad essere un valido supporto ad altre tecnologie di diagnostica e rilievo, in un'ampia gamma di casi d'uso nel campo dei beni culturali.

Per info: massimo.francucci@enea.it

BIBLIOGRAFIA

1. G. Sansoni, M. Trebeschi, F. Docchio (2009), "State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation", *Sensors* 9, 568-601.
2. M. Guarneri, M. Ferri De Collibus, G. Fornetti, M. Francucci, M. Nuvoli, R. Ricci (2012), "Remote colorimetric and structural diagnosis by RGB-ITR color laser scanner prototype", *Advances in Optical Technologies* 2012, 1-6.
3. S. Ceccarelli, M. Guarneri, M. Romani, L. Giacopini, M. Francucci, M. Ciaffi, M. Ferri De Collibus, A. Puiu, G. Verona-Rinati, F. Colao, R. Fantoni (2021), "Are the blue daemons really blue? Multidisciplinary study for the colours characterization of the mural paintings inside the Blue Daemons Etruscan tomb", *Journal of Cultural Heritage* 47, 257-264.
4. M.L. Vazquez et al., R. Fantoni, M. Francucci, M. Guarneri, M. Mongelli, S. Pierattini, M. Puccini, "3D models acquisition and image processing for virtual fruition of the Spezieria of Santa Maria della Scala in Rome", submitted to *Heritage*.
5. S. Poujoul, B. Journet (2002), "A twofold modulation frequency laser range finder", *Journal of Optics A* 4, S356-S363.
6. M. Mongelli, G. Chiellini, S. Migliori, A. Perozziello, S. Pierattini, M. Puccini, A. Cosma (2019), "Photogrammetry and structured light: comparison and integration of techniques in survey of the Corsini Throne at Corsini Gallery in Rome", In *Proceedings of International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo 2019)*, Florence 4-6 December 2019, Italy, pp 166-171.

1. Usa la tecnica attiva laser range finding a doppia modulazione di ampiezza (Amplitude Modulation, AM) [5] e opera nel visibile tra 2.5m e 35m impiegando tre sorgenti laser che emettono luce secondo i tre colori primari RGB: Red@660nm (frequenza di modulazione $f_m=190\text{MHz}$), Green@517nm ($f_m=3\text{MHz}$) e Blue@440nm ($f_m=1-10\text{MHz}$).
2. Il supercalcolatore CRESCO, "Centro Computazionale di RicErca sui Sistemi Complessi", si trova presso il Centro Ricerche ENEA di Portici ed è la seconda più importante infrastruttura di calcolo ad alte prestazioni ("HPC- High Performance Computing") della ricerca pubblica in Italia.