

RILIEVO DEI BENI CULTURALI E RAPPRESENTAZIONE INCLUSIVA PER L'ACCESSIBILITÀ MUSEALE

a cura di

Mario Centofanti
Alberto Sdegno
Paola Cochelli
Veronica Riavis



FrancoAngeli OPEN  ACCESS

diségno

direttore Francesca Fatta
director Francesca Fatta

La Collana accoglie i volumi degli atti dei convegni annuali della Società Scientifica UID - Unione Italiana per il Disegno e gli esiti di incontri, ricerche e simposi di carattere internazionale organizzati nell'ambito delle attività promosse o patrocinate dalla UID. I temi riguardano il Settore Scientifico Disciplinare ICAR/17 Disegno con ambiti di ricerca anche interdisciplinari. I volumi degli atti sono redatti a valle di una call aperta a tutti e con un forte taglio internazionale.

I testi sono in italiano o nella lingua madre dell'autore (francese, inglese, portoghese, spagnolo, tedesco) con traduzione integrale in lingua inglese. Il Comitato Scientifico internazionale comprende i membri del Comitato Tecnico Scientifico della UID e numerosi altri docenti stranieri esperti nel campo della Rappresentazione.

I volumi della collana possono essere pubblicati sia a stampa che in open access e tutti i contributi degli autori sono sottoposti a double blind peer review secondo i criteri di valutazione scientifica attualmente normati.

The Series contains the proceedings volumes of the annual conferences of the UID Scientific Society - Unione Italiana per il Disegno and the results of international meetings, researches and symposia organized as part of the activities promoted or sponsored by the UID. The themes concern the Scientific Disciplinary Sector ICAR/17 Disegno including also interdisciplinary research fields. The volumes of the proceedings are drawn up following an open call and with a strong international focus. The texts are in Italian or in the author's mother tongue (English, French, German, Portuguese, Spanish) with full translation into English. The International Scientific Committee includes the members of the Scientific Technical Committee of the UID and numerous other foreign teachers who are experts in the field of graphic representation.

The volumes of the series can be published both in print and in open access and all the contributions of the authors are evaluated by a double blind peer review according to the current scientific evaluation criteria.

Comitato Scientifico / Scientific Committee

Marcello Balzani *Università degli Studi di Ferrara*
Paolo Belardi *Università degli Studi di Perugia*
Stefano Bertocci *Università degli Studi di Firenze*
Carlo Bianchini *Sapienza Università di Roma*
Massimiliano Ciammaichella *Università IUAV di Venezia*
Enrico Cicalò *Università degli Studi di Sassari*
Mario Docci *Sapienza Università di Roma*
Edoardo Dotto *Università degli Studi di Catania*
Maria Linda Falcidieno *Università degli Studi di Genova*
Francesca Fatta *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria*
Andrea Giordano *Università degli Studi di Padova*
Elena Ippoliti *Sapienza Università di Roma*
Alessandro Luigni *Libera Università di Bolzano*
Francesco Maggio *Università degli Studi di Palermo*
Caterina Palestini *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara*
Rossella Salerno *Politecnico di Milano*
Alberto Sdegno *Università degli Studi di Udine*
Roberta Spallone *Politecnico di Torino*
Graziano Mario Valenti *Sapienza Università di Roma*
Chiara Vernizzi *Università degli Studi di Parma*
Ornella Zerlenga *Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"*

Componenti di strutture straniere / Foreign institution components

Marta Alonso *Universidad de Valladolid - Spagna*
Atxu Amann y Alcocer *ETSAM Universidad de Madrid (UPM) - Spagna*
Matthew Butcher *UCL Bartlett School of Architecture - Inghilterra*
Eduardo Carazo *Universidad de Valladolid - Spagna*
João Cabelreira *Universidade do Minho Escola de Arquitectura - Portogallo*
Alexandra Castro *Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto - Portogallo*
Angela Garcia Codoner *Universidad Politécnica de Valencia - Spagna*
Pilar Chías *Universidad de Alcalá - Spagna*
Noelia Galván Desvaux *Universidad de Valladolid - Spagna*
Pedro Antonio Janeiro *Universidade de Lisboa - Portogallo*
Gabriele Pierluisi *Ecole nationale supérieure d'architecture de Versailles - Francia*
Jörg Schröder *Leibniz Universität Hannover - Germania*
Carlos Montes Serrano *Universidad de Valladolid - Spagna*
Jousé Antonio Franco Taboada *Universidade da Coruña - Spagna*
Annalisa Viati Navone *Ecole nationale supérieure d'architecture de Versailles - Francia*

FrancoAngeli

OPEN ACCESS

Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma FrancoAngeli Open Access (<http://bit.ly/francoangeli-oa>). FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli ne massimizza la visibilità e favorisce la facilità di ricerca per l'utente e la possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

This volume is published in open access, i.e. the entire work file can be freely downloaded from the FrancoAngeli Open Access platform (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access is the platform for publishing articles and monographs, respecting ethical and qualitative standards and the provision of open access content. In addition to guarantee its storage in the major international OA archives and repositories and its integration with the entire catalog of FA, magazines and series maximizes its visibility and promotes accessibility of search for the user and the possibility of impact for the author.

To know more:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Readers wishing to find out about the books and magazines we publish can consult our website: www.francoangeli.it and register on the home page to the "Newsletter" service to receive news via e-mail.

RILIEVO DEI BENI CULTURALI E RAPPRESENTAZIONE INCLUSIVA PER L'ACCESSIBILITÀ MUSEALE

a cura di

Mario Centofanti

Alberto Sdegno

Paola Cochelli

Veronica Riavis

RELIEVO DEI BENI CULTURALI E RAPPRESENTAZIONE INCLUSIVA PER L'ACCESSIBILITÀ MUSEALE



Relazioni e contributi della PHD *Summer School* svoltasi presso il Museo Archeologico Nazionale di Aquileia e il laboratorio 3DLab del polo goriziano dell'Università degli Studi di Trieste da 24 al 28 settembre 2018.

Iniziativa promossa dall'Unione Italiana per il Disegno nell'ambito delle attività "UID Survey and Representation Days. Seminari specialistici nelle discipline del Disegno per Dottorandi" con il contributo del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Trieste, l'organizzazione del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile-Ambientale e Architettura dell'Università degli Studi di Trieste interateneo con l'Università degli Studi di Udine.

Museo Archeologico Nazionale di Aquileia

Ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia di Udine.

Comitato Scientifico della *Summer School*

Piero Albinin
Fabrizio I. Apollonio
Paolo Belardi
Stefano Bertocci
Carlo Bianchini
Vito Cardone
Mario Centofanti
Emanuela Chiavoni
Michela Cigola
Antonio Conte
Antonella di Luggo
Mario Docci
Francesca Fatta
Paolo Giandebiaggi
Andrea Giordano
Elena Ippoliti
Francesco Maggio
Anna Marotta
Livio Sacchi
Rossella Salerno
Alberto Sdegno
Ornella Zerlenga

Comitato di coordinamento

Mario Centofanti
Elena Ippoliti
Francesca Fatta
Emanuela Chiavoni
Alberto Sdegno

Referente per la PHD *Summer School* Aquila-Gorizia

Alberto Sdegno

Impaginazione

Paola Cochelli
Veronica Riavis

Copertina

Veronica Riavis

ISBN (online): 9788835154860
<https://doi.org/10.3280/OA-1040>

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Publicato con licenza Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate
4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0)

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla Legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Indice

Prefazione	9
<i>Francesca Fatta</i>	
Presentazione	13
<i>Mario Centofanti</i>	
Introduzione	17
<i>Alberto Sdegno</i>	
Il ruolo dei modelli virtuali 3D nella conservazione del patrimonio architettonico e archeologico	25
<i>Mario Dacci</i>	
Il progetto per un'accessibilità ampliata del Museo Archeologico Nazionale di Aquileia	39
<i>Marta Novello, Elena Braidotti</i>	
Accessibilità e patrimonio culturale: alcuni spunti di riflessione per nuovi approcci progettuali	51
<i>Ilaria Garofolo</i>	
Rilievo e ricostruzione dell'anfiteatro romano di Milano	63
<i>Giuseppe Amoroso</i>	
Il ruolo della traduzione audiovisiva nel percorso verso la fruibilità dell'opera d'arte	77
<i>Elisa Perego</i>	
Toccare con mano. Dalla comunicazione ottica alla comunicazione aptica	91
<i>Ivana Passamani</i>	

Non si vive di sola visione! Il tatto e la sfida per un futuro “accessibile” <i>Aldo Grassini</i>	109
Toccare con gli occhi e vedere con le mani. Funzioni cognitive e conoscitive dell'educazione estetica <i>Loretta Secchi</i>	119
La sensorialità nei musei: appunti sull'accessibilità delle informazioni per la percezione degli ambienti espositivi <i>Christina Conti</i>	133
Técnicas de musealización virtual mediante fotogrametría automatizada <i>SfM</i> <i>Pedro Manuel Cabezas Bernal</i>	141
“Gorizia contatto”: per un patrimonio culturale più accessibile a non vedenti e ipovedenti <i>Silvia Grion</i>	153
Rilievo e percezione tattile di sculture con le nuove tecnologie <i>Alberto Sdegno</i>	167
Note sull'attività laboratoriale <i>Alberto Sdegno</i>	183
Dal rilievo fotogrammetrico, al modello teorico, alla stampa 3D. Il caso di una pigna scolpita tra il I e il II secolo d.C. <i>Antonio Camassa</i>	189
Dall'acquisizione digitale alla stampa 3D per la comprensione tattile. <i>L'applique con testa di vento</i> <i>Paola Cochelli</i>	197
Patrimonio culturale tra narrazione e nuove tecnologie nella ridefinizione del ruolo del museo <i>Sara Eliche</i>	203
Artefatti comunicativi 3D per l'accesso al patrimonio culturale. Il <i>Sulcus primigenius</i> e l' <i>Edicola con ritratto di defunto</i> <i>Francesca Guadagnoli</i>	211
Modellazione fotografica con Photoscan. Realizzazione del modello 3D dell' <i>Opera maschile con cingulum</i> <i>Andrea Improta</i>	221

Fotomodellazione con Photoscan. Realizzazione del modello 3D del <i>Medaglione della dea Roma</i> <i>Gianluca Manna</i>	227
Applicazioni museali di rilievo massivo e sperimentazioni sulla illuminazione in ambito fotogrammetrico <i>Sofia Menconero</i>	233
Metodologie di rilievo speditivo per la documentazione e la prototipazione di due reperti archeologici del Museo Archeologico Nazionale di Aquileia <i>Sandra Mikolajewska</i>	241
Un'esperienza di rilievo non invasiva. Fotomodellazione del <i>Plinto di Giove Ammone</i> <i>Carla Mottola</i>	249
Digitalizzazione del patrimonio archeologico attraverso acquisizioni <i>image-based</i> . <i>Urna con banchetto</i> e <i>Bassorilievo</i> del Museo Archeologico Nazionale di Aquileia <i>Margherita Pulcrano</i>	257
Acquisizione e prototipazione per la rappresentazione aptica inclusiva. Sperimentazioni al Museo Archeologico Nazionale di Aquileia <i>Veronica Riavis</i>	265
Fotomodellazione per l'ottenimento del <i>digital twin</i> di un manufatto archeologico <i>Pablo Angel Ruffino</i>	273

Técnicas de musealización virtual mediante fotogrametría automatizada SfM

Pedro Manuel Cabezos Bernal

New photogrammetric survey techniques such as SfM photo-modeling allow us to document the cultural heritage through textured digital models that can be visualized via the Internet through the recent repositories of 3D models, allowing suitable interactive viewing from any computer or mobile device. It is also feasible to reach a totally immersive visualization mode, when using a virtual reality viewer, such as the economic Google Cardboard, which implies a great advance for the enhancement and dissemination of cultural heritage.

Latest automated photogrammetric techniques have acquired an important maturity in recent years, which has allowed a resurgence of photogrammetry compared to laser scanners, reaching a noticeable accuracy level [Rodríguez Navarro 2012]. This fact is mainly due to several advantages, such as the economy of the instruments and the versatility of photo-modelling software, that provide us with a three-dimensional textured model in a simple and straightforward way.

SfM automated photogrammetry is especially efficient when it is applied to models or fragments, preferably of moderate entity, with a well-defined texture and free of specular reflections.

The procedure requires taking several photographs of the model, from different viewpoints, until the entire surface of the model is covered. In order to obtain a successful result, it is crucial to guarantee a minimum overlap of 50% between adjacent shots, since the software needs to determine enough matching points between image pairs to accurately establish the spatial orientation of each photograph and to compute the point cloud.

Image quality is also an important factor for the photogrammetry software to succeed, so parameters such as image sharpness and depth of field becomes critical. Given the importance of the photographic capture, some guidelines will be set out in this chapter that will be extremely useful in order to carry out this process properly.

Introducción

Las nuevas técnicas de captura panorámica inmersiva y de levantamiento fotogramétrico, como la foto modelación *SfM* (*Structure from Motion*), nos permiten documentar el patrimonio mediante modelos tridimensionales texturizados que pueden ser divulgados a través de Internet gracias a los recientes repositorios de modelos 3D que permiten su visualización interactiva de manera muy ágil desde cualquier ordenador o dispositivo móvil, incluso de forma totalmente inmersiva, si se dispone de un visor de realidad virtual como el económico Google Cardboard, lo que supone un gran avance para la puesta en valor y divulgación del patrimonio.

Las últimas técnicas fotogramétricas automatizadas han adquirido una madurez importante en los últimos años lo que ha permitido un resurgimiento de la fotogrametría frente a los escáneres láseres a los que prácticamente iguala en precisión, véase Rodríguez [Rodríguez 2012]. Esto se debe principalmente a una serie de ventajas como la economía de los instrumentos y la versatilidad de los programas de foto modelado, que nos proporcionan un modelo tridimensional con la textura real aplicada de forma más sencilla y directa.

La fotogrametría automatizada *SfM* resulta especialmente eficiente cuando se trata de modelos o fragmentos, preferentemente de poca entidad, con una textura bien definida y exenta de reflejos especulares. El procedimiento requiere la toma de una serie de fotografías desde diversos puntos de vista hasta cubrir toda la superficie del modelo que quiere ser restituído, garantizando siempre un solape suficiente entre pares de fotografías que permita al software determinar la orientación espacial de cada fotografía con respecto al modelo. Este proceso de

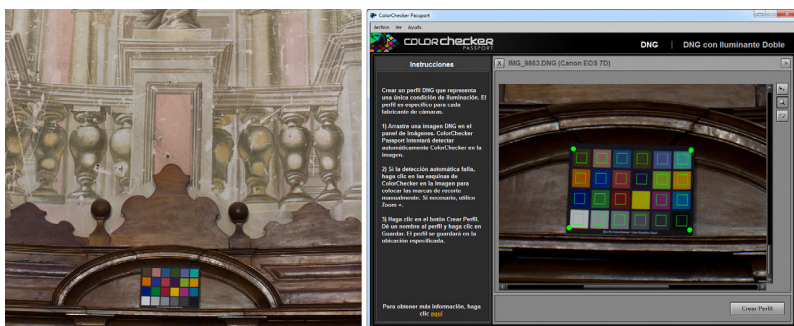


Fig. 1. Fotografía de una carta de color X-Rite Color Checker para el calibrado del balance de blancos y la creación del perfil de color de la cámara para las condiciones de la escena.

captura resulta crucial, pues de ello depende en gran medida el resultado final obtenido por el software de restitución. Dada la importancia de este proceso, se exponen a continuación unas pautas que resultarán de suma utilidad para acometer una correcta captura fotográfica.

La captura fotográfica

Uno de los aspectos más importantes para obtener una buena restitución es proporcionar fotografías con una buena calidad de imagen. Ello no sólo depende de la calidad del material fotográfico empleado, sino que depende, en gran medida, del conocimiento técnico y la destreza del fotógrafo.

Por ello, es necesario que cualquiera que quiera abordar con seriedad un proyecto de restitución fotogramétrica tenga unos conocimientos mínimos acerca de la técnica fotográfica y tome una serie de medidas orientadas a facilitar al software su labor reconstitutiva.

Resulta de vital importancia que las imágenes tengan la mayor nitidez posible, por lo que es conveniente utilizar lentes de buena calidad y evitar que las fotos salgan movidas o desenfocadas. Para ello es aconsejable utilizar una velocidad de obturación alta.

En caso de no utilizar un trípode, es seguro utilizar una velocidad de 1/125s puede llegarse a 1/60s, si se tiene buen pulso o si la cámara cuenta con estabilizador de imagen, pero utilizar velocidades inferiores es muy arriesgado, salvo que se utilice un trípode.

En casos de fotografía en condiciones de escasa iluminación, puede resultar tentador subir el ajuste ISO de la cámara para compensar la falta

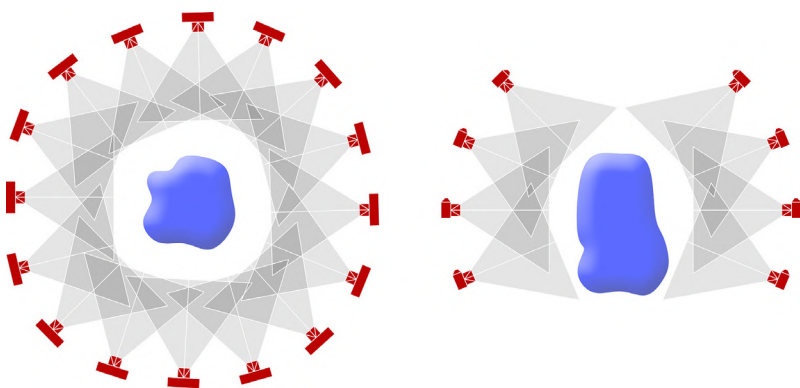


Fig. 2. Estrategia convergente en el caso de objetos aislados.

de luz, pero siempre es preferible utilizar un trípode, pues un valor alto de ISO generará un mayor nivel de ruido en la imagen y reducirá por tanto la calidad resolutive. En este sentido, utilizar un sensor digital de gran tamaño, normalmente ofrecerá menos ruido que un sensor pequeño, como el de una cámara compacta o un teléfono móvil. Por ello es aconsejable el uso de cámaras digitales con sensores *full-frame* o APS-C, como el que montan las cámaras réflex o las actuales mirrorless de gama media-alta.

Cuando se utiliza el trípode en combinación con una cámara réflex, es conveniente utilizar el bloqueo del espejo al disparar, para evitar la trepidación producida por éste al subir. En la mayoría de cámaras réflex, es tan sencillo como utilizar el modo *live view*.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es la profundidad de campo de la escena, es decir, la nitidez con la que se perciben las zonas que quedan por delante y por detrás del motivo enfocado. En el caso de la fotogrametría automatizada, resulta obligado maximizar la profundidad de campo para lograr una mayor nitidez en todos los puntos de la imagen.

La profundidad de campo depende de varios factores, siendo el más determinante la apertura del diafragma de la cámara, de modo que

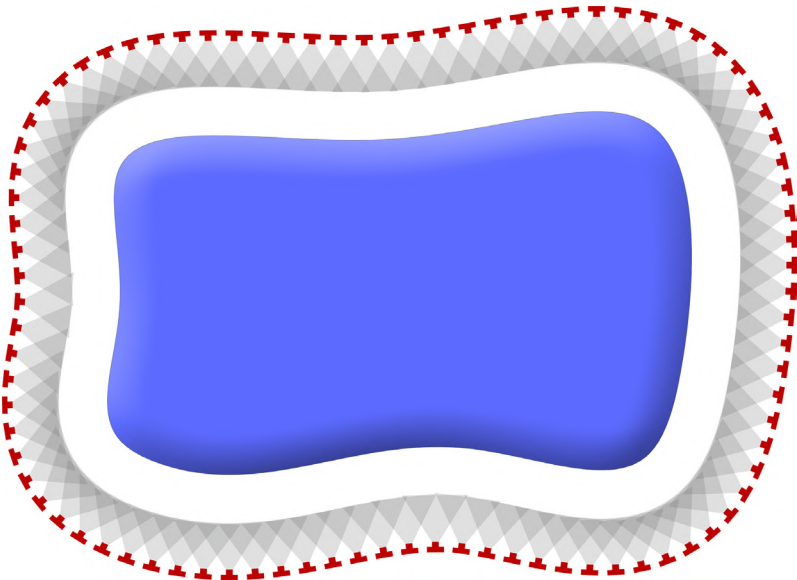


Fig. 3. Estrategia de captura con ejes ópticos sensiblemente paralelos en caso de entidades de gran tamaño tomadas desde su exterior.

con aperturas cerradas se consigue una mayor profundidad de campo, que es lo deseable para mejorar el proceso de restitución. Esto no quiere decir que debamos cerrar siempre el diafragma al máximo para conseguir una mayor profundidad de campo, pues seleccionar un diafragma muy cerrado tiene, por el contrario, un efecto negativo en la calidad general de la imagen debido al fenómeno físico de la difracción de la luz, que produce una alteración del haz luminoso que atraviesa el diafragma al chocar contra sus bordes. Por ello, se debe encontrar una solución de compromiso para lograr una buena profundidad de campo evitando la difracción. La clave es utilizar un diafragma intermedio, preferiblemente f8 en el caso de cámaras con formato APS-C y f11, en cámaras con sensor *full-frame*.

Los algoritmos de restitución funcionan mejor con fotografías realizadas utilizando un objetivo gran angular, puesto que la triangulación que determina los puntos en el espacio resulta más precisa. Sin embargo, los objetivos de gran angular suelen producir distorsiones radiales notorias, por lo que conviene elegir un objetivo que no produzca distorsiones excesivas para lograr una mayor precisión. Al margen de ello, el software de fotogrametría automatizada hallará los parámetros de calibración de la distorsión radial automáticamente durante el proceso

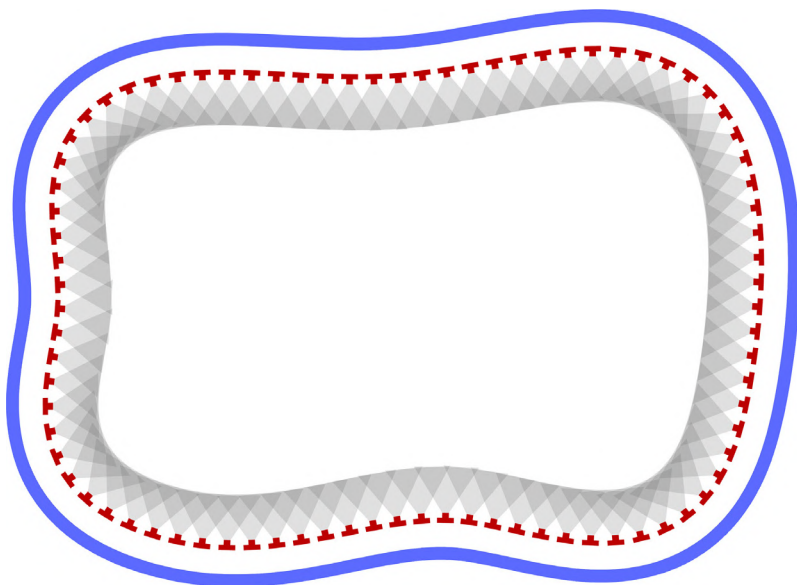


Fig. 4. Estrategia de captura con ejes ópticos sensiblemente paralelos en caso de entidades de gran tamaño tomadas desde su interior.

de análisis y optimización de los puntos homólogos entre fotografías, al igual que sucede en los programas de cosido de imágenes o *stitching*, véase [Cabezos, Cisneros 2012].

La iluminación de la escena es otra cuestión esencial para una correcta restitución, por ello resulta conveniente evitar los altos contrastes entre luces y sombras, pues en el caso de que haya zonas quemadas o demasiado oscuras, se perderá gran parte de la información necesaria para la restitución. Lo ideal es tener una iluminación constante y difusa del objeto. En el caso de fotografía al aire libre conviene realizar la captura en un día nublado, o bien, al amanecer o al atardecer, con el fin de minimizar los contrastes excesivos. En el caso de necesitar una iluminación artificial, ésta puede llevarse a cabo utilizando proyectores tipo *soft-box*, que proporcionan una iluminación difusa con sombras muy suaves.

Si se quiere obtener un modelo 3D texturizado, es conveniente que las fotografías tengan una exposición continua a lo largo de la captura. Si la escena está uniformemente iluminada convendría bloquear la exposición y el balance de blancos. No obstante, la mayoría de los programas de restitución fotogramétrica automatizada cuentan con algoritmos de optimización fotométrica para corregir las diferencias luminosas entre tomas, siempre que éstas no sean demasiado grandes. Para garantizar una correcta reproducción de los colores es conveniente utilizar una carta de color de referencia, como la X-Rite Color Checker, que permite crear un perfil de color y ajustar de manera precisa el balance de blancos (fig. 1).

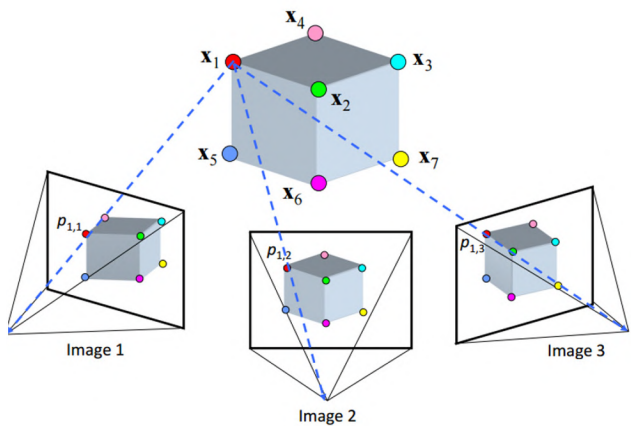


Fig. 5. Proceso de triangulación para la restitución espacial de la nube de puntos.
Source: <https://cs.nyu/~fergus/teaching/vision/11_12_multiview.pdf>

En este sentido, resulta muy conveniente utilizar el formato de captura .raw o en bruto, disponible en todas las cámaras de cierto nivel, pues ello nos permite ajustar el balance de blancos a posteriori y aplicar el perfil de color obtenido con la carta de referencia durante el proceso de revelado .raw, de modo que todas las tomas tengan el mismo ajuste. Además de ello, otra ventaja del usar el formato .raw frente al .jpg es que se obtiene una mayor profundidad de color y calidad global.

En resumen, podemos decir que una configuración óptima para la captura fotogramétrica, debería utilizar una cámara con un sensor digital de gran tamaño, preferiblemente *full-frame* o APS-C y una óptica de entre 24 y 50 mm de distancia focal equivalente, que ofrezca buena nitidez y baja distorsión radial. Para la captura convendrá utilizar un diafragma intermedio entre f8 y f11 y un valor de ISO todo lo bajo posible.

Técnicas de disparo

En el caso de fotogrametría automatizada terrestre nos podemos encontrar ante diversas situaciones, por un lado, el caso más sencillo sería la restitución de un elemento aislado de dimensiones reducidas, que podemos rodear con la cámara. Por otro lado, tenemos la posibilidad de restituir casos más complejos que, por su tamaño y configuración, a veces es necesario acometer en varias etapas, como el caso de edificios. En el caso de elementos aislados la estrategia de disparo debe ser convergente, es decir, se debe girar alrededor del motivo realizando fotografías progresivamente apuntando hacia el sujeto, de modo que todos los puntos del modelo aparezcan al menos en tres fotografías diversas, siendo conveniente realizar un mayor número de fotografías que el mínimo requerido (fig. 2).

En el caso de restitución de elementos de mayores dimensiones, es conveniente utilizar una estrategia de ejes sensiblemente paralelos, en la que deberemos fotografiar siguiendo los contornos del modelo y garantizando un solape entre fotografías adyacentes de un 70%. Los cambios de dirección deberán hacerse progresivamente con ángulos de giro pequeños (figg. 3-4).

En el caso de tener que restituir elementos exteriores de gran altura, se hace imprescindible el uso de drones, si bien, la legislación actual impide sobrevolar núcleos urbanos con este tipo de aparatos, lo que suele ser un obstáculo importante. En ocasiones, podemos utilizar pértigas, si la altura no es muy grande o realizar las fotografías desde edificios adyacentes de mayor altura en el caso de que los haya.

El proceso de reconstrucción tridimensional

Actualmente tenemos disponibles una gran variedad de programas de fotogrametría automatizada como, por ejemplo, Agisoft Metashape (antes Photoscan), Recap Photo, Reality Capture, 3DF Zephyr, Visual SfM, entre otros. Conviene señalar que algunos de estos programas son gratuitos como Visual SfM.

También 3DF Zephyr cuenta con una versión gratuita para uso personal que permite restituir proyectos de hasta 50 fotografías, siendo una excelente opción para fines educacionales.

Todos los programas de fotogrametría funcionan de una manera bastante similar; el flujo de trabajo se divide en una serie de etapas, en donde la primera fase consiste básicamente en la orientación de las fotografías en el espacio y la generación de una nube de puntos sencilla. Este proceso se produce de forma totalmente automatizada a través del análisis de los puntos homólogos que el programa encuentra entre las fotografías. La intersección de los haces provenientes de cada fotografía proporciona la configuración espacial de los puntos del modelo (fig. 5). Este primer paso determina una nube de puntos muy simple, que constituye la primera aproximación al objeto. La segunda etapa consiste en una búsqueda más detallada de puntos homólogos para conseguir una nube de puntos más densa. En una tercera etapa, la nube de puntos densa se triangula, con el grado de detalle requerido, para configurar una malla poligonal tridimensional. En la última etapa, la malla poligonal puede ser texturizada utilizando las propias fotografías. El resultado final es un modelo tridimensional con la textura real aplicada que puede ser exportado a un formato compatible con la mayoría de programas de diseño 3D, como el formato .obj o .stl (fig. 6).

En ocasiones, el modelo necesita algún tipo de edición, para cerrar pequeños agujeros o delimitar un volumen mediante operaciones de



Fig. 6. Fases de la restitución fotogramétrica. Nube de puntos, malla poligonal y modelo texturizado.

corte. Muchos de los programas de fotogrametría cuentan con operaciones básicas de edición, pero normalmente se puede recurrir a programas de modelado 3D más potentes para realizar este tipo de operaciones. Al margen de programas de pago como, por ejemplo, 3DSMax, Geomagic o Modo, existen potentes alternativas gratuitas como Meshlab, Cloud Compare, Meshmixer o Blender.

La divulgación a través de repositorios 3D

Recientemente han aparecido varias plataformas gratuitas para visualizar modelos tridimensionales como p3d.in, Blend4web y Sketchfab, todas ellas con funcionalidades excelentes. Sketchfab es una de las plataformas pioneras y destaca por su sencillez y versatilidad a la hora de utilizar visores de realidad virtual como el económico Google Cardboard, que en combinación con un smartphone permite una experiencia de visionado totalmente inmersiva y estereoscópica (fig. 7).

El proceso de subida de los modelos es muy sencillo pues la plataforma admite una gran variedad de formatos de intercambio. Es aconsejable utilizar el formato de intercambio .obj, que irá acompañado normalmente de uno o varios archivos bitmap, en formato .jpg o .png, que contendrán las texturas aplicadas al modelo 3D.

Además, se incluirá un archivo .mtl, que establece las propiedades de los materiales aplicados y la ruta de los archivos bitmap. Este conjunto de archivos se sube a la plataforma empaquetado en un único archivo .zip comprimido.

Una vez subido el archivo se permite elegir el aspecto que rodea al modelo entre colores planos o entornos esféricos predefinidos. También permite elegir el algoritmo de renderizado y las opciones de iluminación, además de tener la posibilidad de añadir animaciones e incluir



Fig. 7. Visor personal de cartón Google Cardboard.

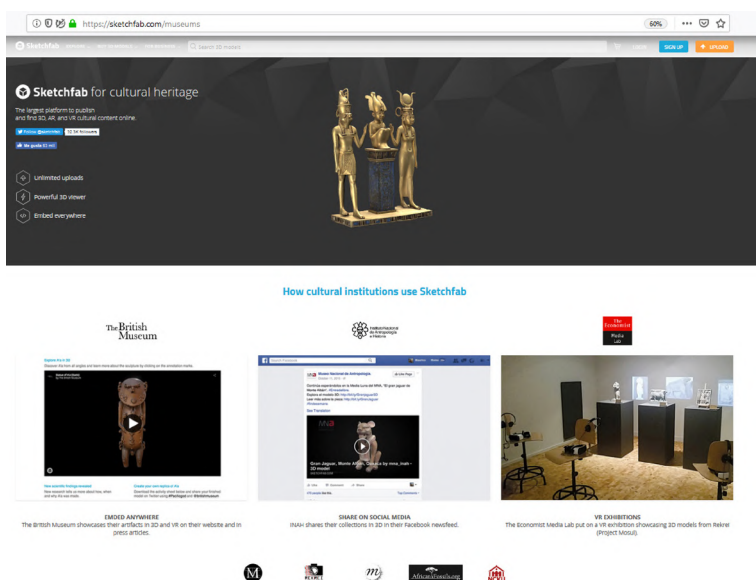


Fig. 8. Museos virtuales dentro de la plataforma Sketchfab. Véase: <<https://sketchfab.com/museums>>

nodos de anotación alrededor del modelo que servirán para incluir un cuadro de texto descriptivo con información adicional relativa a la pieza que el visitante podrá desplegar al pulsar sobre el nodo mientras realiza la visualización interactiva.

Los diferentes modelos pueden agruparse formando colecciones, lo que da origen a un museo virtual. Muchos museos importantes exhiben sus piezas a través de la plataforma Sketchfab (fig. 8).

A título de ejemplo, en la figura 9 se muestra un fragmento de cornisa de la Catedral de Valencia, perteneciente a la Puerta Románica conocida como Puerta del Palau. El modelo se puede visualizar de forma interactiva, mediante el código QR que aparece en la propia figura oa través link [1].

Conclusiones

Las posibilidades que nos ofrecen las nuevas plataformas para compartir contenido 3D resultan especialmente útiles en el campo de la divulgación científica y del patrimonio cultural, pero también en otros campos como la educación. El análisis del proceso de creación de este tipo de museos virtuales ha permitido mostrar un flujo de trabajo efi-



Fig. 9. Visualización interactiva de un fragmento de cornisa de la Catedral de Valencia a través de la plataforma Sketchfab [Cordero 2018]. Véase: <<https://skfb.ly/6LFou>>

caz para llevar a cabo estas tareas con minuciosidad y rigor científico, empezando desde la planificación y el control de la toma fotográfica hasta la publicación definitiva de los modelos restituidos en la plataforma de visionado.

Hoy en día resulta bastante sencillo acometer un proyecto de restitución fotogramétrica incluso para personas sin experiencia que utilizan sus teléfonos móviles. Sin embargo, la precisión y la rigurosidad de los resultados dependerá fundamentalmente de la calidad de imagen obtenida y de una correcta estrategia de disparo que permita cubrir adecuadamente el modelo para lograr una restitución precisa y sin lagunas. Por ello, es necesario prestar especial atención a los parámetros de la captura fotográfica y a la iluminación del modelo.

Si la captura se realiza en las condiciones óptimas, la mayoría de los programas de restitución fotogramétrica proporcionarán resultados satisfactorios y los modelos generados podrán ser divulgados de manera muy sencilla utilizando las actuales plataformas gratuitas de visualización, cuyos visores pueden embeberse en páginas personales propias.

Notas

[1] Para visualizar este modelo de forma interactiva puede utilizarse el código QR que aparece en la propia figura o acceder al siguiente link: <<https://skfb.ly/6LFou>>

Referencias

Cabezos Bernal, P.M., Cisneros Vivó, J. (2012). Fotogrametría con cámaras digitales convencionales y software libre. In *EGA*, n. 20, pp. 88-99.

Cabezos Bernal, P. M., Rossi, A. (2017). Técnicas de musealización virtual. Los capiteles del Monasterio de San Cugat. In *EGA*, n. 22, pp. 48-57.

Cordero Carmona, N. (2018). *Técnicas de Musealización Virtual aplicadas a la divulgación del Patrimonio arquitectónico. La portada románica de la Catedral de Valencia*. <<http://hdl.handle.net/10251/116119>>

Rodríguez Navarro, P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. In *EGA*, n. 20, pp. 100-111.

Autor

Pedro Manuel Cabezos Bernal

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Universitat Politècnica de València
pcabezos@ega.upv.es