



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND LASER SCANNING IN CULTURAL HERITAGE SURVEY**

**Fotogrametria cyfrowa i skaning laserowy w dokumentacji  
i archiwizacji obiektów dziedzictwa kulturowego**

**Autorzy artykułu: A. Guarnieria, A. Vettorea, S. El-Hakimb, L. Gonzoc**

**Opracowanie: Monika Michalik, Małgorzata Rychel  
Kraków, 18.05.2010 r.**

## Cel prezentacji :

- Omówienie metody fotogrametrycznej oraz skaningu laserowego w inwentaryzacji obiektów zabytkowych.
- Porównanie obu metod w tworzeniu dokumentacji 3D na podstawie modelu komnaty pokrytej freskami w zamku Buonconsiglio w Trydencie.

# Wstęp

Fotogrametria cyfrowa bliskiego zasięgu  
oraz skanowanie laserowe jako główne metody  
do celów kompleksowej inwentaryzacji  
i tworzenia dokumentacji obiektów  
zabytkowych.

# Metody fotogrametrii cyfrowej

# Fotogrametryczne metody pomiaru obiektów zabytkowych.

## Metoda jednoobrazowa

- Opracowanie na podstawie pojedynczych zdjęć
- Stosowana dla obiektów płaskich np. malowidła na płaskich ścianach, płaskie elewacje budynków



# Fotogrametryczne metody pomiaru obiektów zabytkowych.

## Metoda dwuobrazowa

- Opracowanie na podstawie par zdjęć stereoskopowych ( stereogramów)
- Stosowana dla obiektów niepłaskich, rozbudowanych przestrzennie, rozwinięć malowideł umieszczonych na powierzchniach rozwijalnych oraz odwzorowań malowideł z powierzchni nierozwijalnych



## Proces inwentaryzacji fotogrametrycznej obiektu zabytkowego

- założenie i pomiar osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej
- wykonanie zdjęć pomiarowych
- wstępne prace kameralne
- opracowanie dokumentacji cyfrowej
- wydruki i archiwizacja dokumentacji cyfrowej

# Produkty inwentaryzacji fotogrametrycznej

## Dokumentacja 2D

- w formie wektorowej: rzuty, przekroje, widoki
- w formie rastrowej:

fotoplany

ortofotoplany



## Dokumentacja 3D - model 3D obiektu



# Tworzenie modelu 3D

- Zestrojenie modelu ( orientacja wewnętrzna, wzajemna i bezwzględna)
- Wektoryzacja celem utworzenia modelu szkieletowego
- Wygenerowanie modelu powierzchniowego
- Tekstutowanie

# Skaning laserowy

## Metoda skaningu laserowego

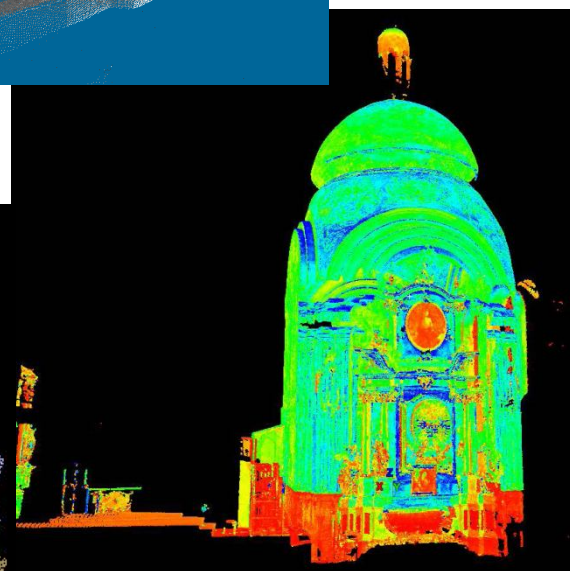
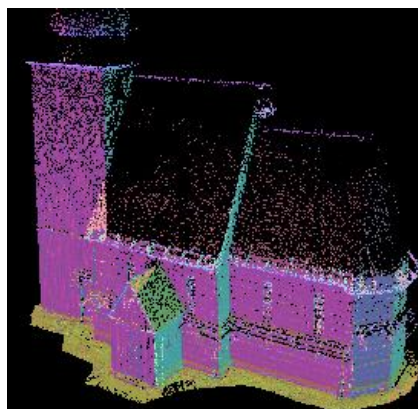
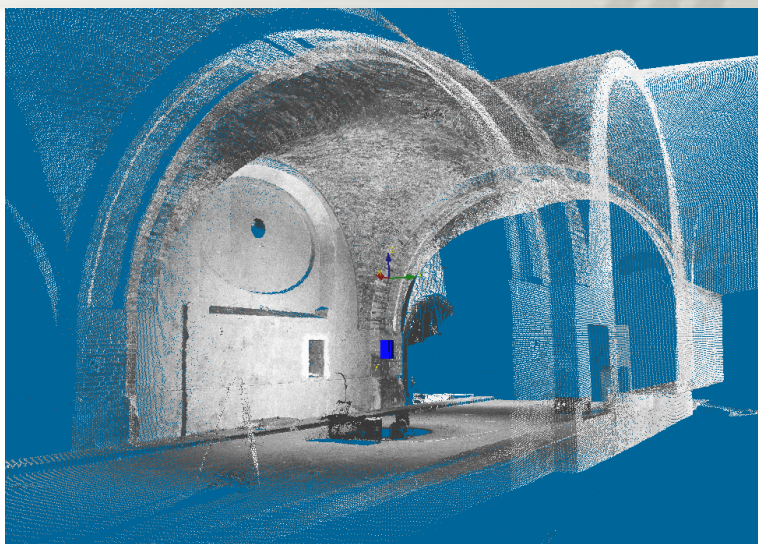
Pozyskiwanie danych w technice skanowania laserowego (laser skaning) polega na wyznaczeniu przestrzennego położenia elementów wektorowych opisujących geometrię mierzonego obiektu i ewentualnym przypisaniu im wartości radiometrycznych w skali szarości, sztucznej palety barwnej lub barw naturalnych w postaci składowych RGB.

Skanery laserowe to przyrządy do pomiaru bezpośredniego. O uzyskanym wyniku decydują parametry instrumentu, jego położenie w stosunku do mierzonego obiektu, a także materiał, z którego obiekt jest wykonany. Pomiar musi być prowadzony z takiej ilości stanowisk, która umożliwi zminimalizowanie cieni (martwych pól). Chmury te muszą być zorientowane w układzie współrzędnych.

# Metoda skaningu laserowego

Produkty, które można wytworzyć w oparciu o dane pomiarowe:

- Chmura punktów tworząca wirtualny, trójwymiarowy model obiektu
- True ortofoto
- Wektorowy model obiektu
- Wektorowa mapa trójwymiarowa



Monika Michalik, Małgorzata Rychel

# Analiza przypadku oraz porównanie, na jego podstawie, metody fotogrametrycznej z metodą skaningu laserowego



Zamek Buonconsiglio  
w Trydencie, Włochy



Komnata z gotyckimi  
freskami „Cykl Miesiący”  
(1350-1450 r.), stanowiąca  
przedmiot pomiarów i  
badań

**Monika Michalik, Małgorzata Rychel**

# Metoda fotogrametryczna

- Do wykonania zdjęć cyfrowych wykorzystano aparat cyfrowy Olympus E20P o następujących parametrach:
- Matryca CCD 2560 x 1920 pikseli
- Rozdzielczość ok. 5 Mpix
- Do pokrycia całego obiektu wykonano 31 zdjęć ( 16 - ściany, 2 - wejście, 5 - wieża, 8 – sufit) Średnia rozdzielczość zdjęć wyniosła 2mm.

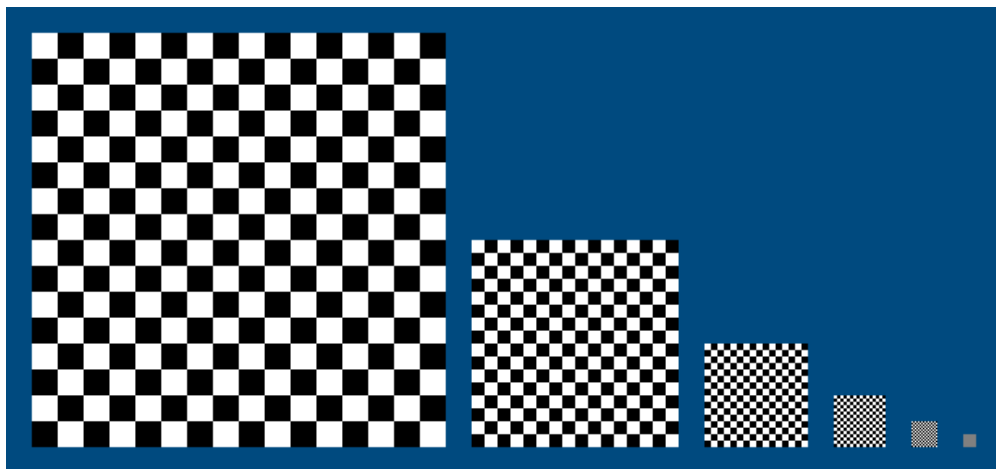


# Metoda fotogrametryczna

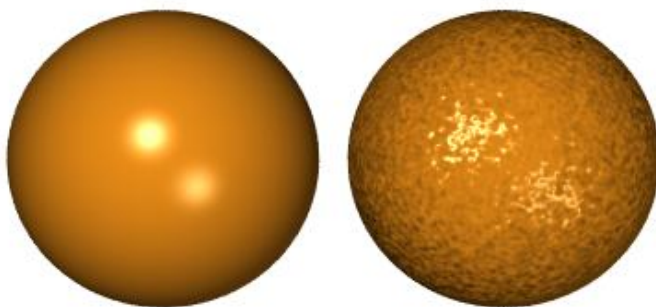
- I etapem opracowania było usunięcie wpływu dystorsji ze zdjęć .
- W kolejnym kroku wykonano orientacje: wewnętrzną oraz wzajemną, w wyniku czego powstał model przestrzenny. Modelowanie wykonano w komercyjnym oprogramowaniu ShapeCapture.
- Po uzyskaniu modelu 3D przystąpiono do mapowania tekstury, która przebiegała w następujących etapach:
  - Podział modelu na grupy trójkątów
  - Wybór najlepszego zdjęcia do przetwarzania
  - Obliczenie współrzędnych tekstury odpowiadających danemu wierzchołkowi modelu
  - Resampling pikseli na podstawie transformacji rzutowej pomiędzy płaszczyzną modelu a zdjęcia.
  - Stworzenie MIP map, czyli sekwencji tekstur, z których każda kolejna ma mniejszą rozdzielczość.
  - Bump mapping ( modelowanie wypukłości)
  - Rendering



# Metoda fotogrametryczna



MIPmapping – technika teksturowania bitmapami. Wykorzystuje serię MIP map czyli tekstur o różnych rozmiarach, które są wynikiem skalowania wyjściowej tekstury



Bump mapping – mapowanie wypukłości, symuluje niewielkie wypukłości bez ingerencji w geometrię obiektu trójwymiarowego

# Metoda fotogrametryczna



Model 3D z nałożoną teksturą

# Metoda skaningu laserowego

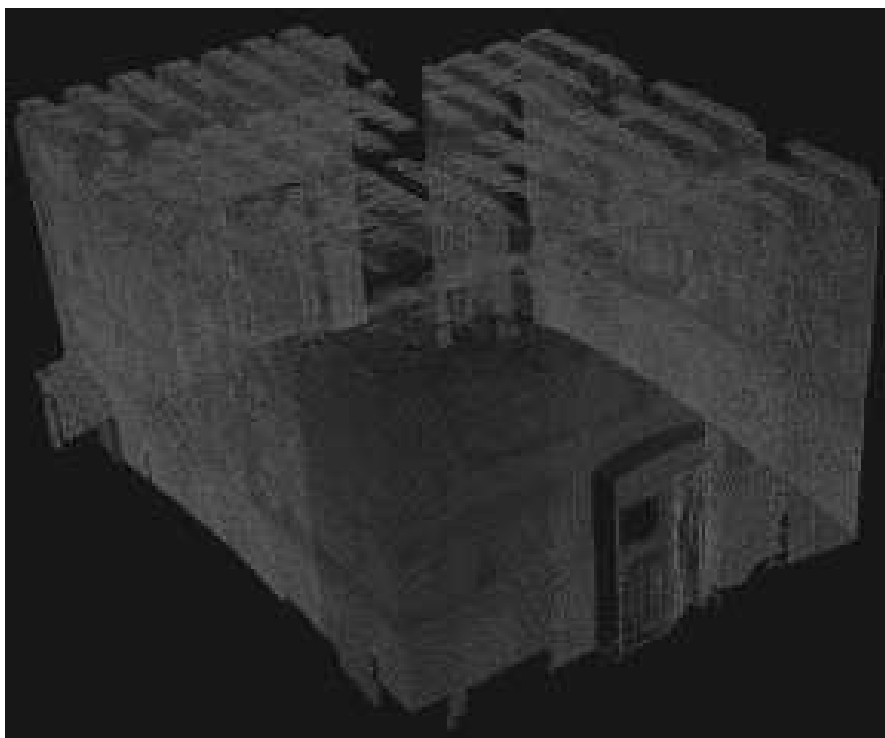
*Skaner laserowy  
Riegl  
LMS-Z360*



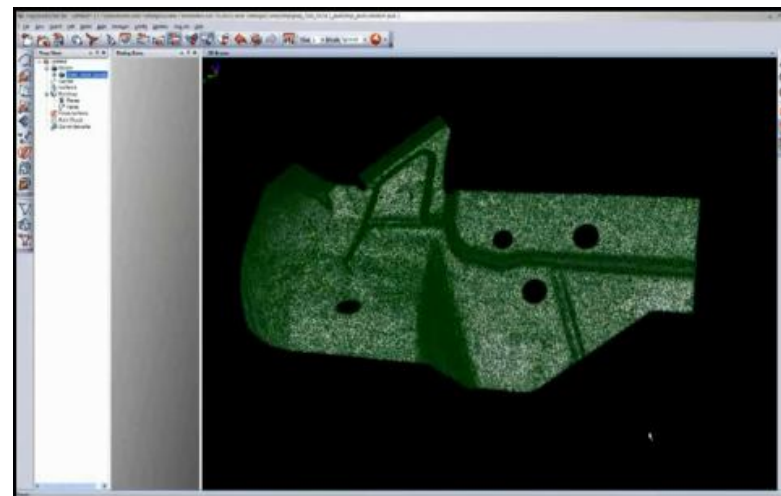
|                                                                        |                  |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>MANUFACTURER</b>                                                    | <b>Riegl USA</b> |
| <b>PRODUCT</b>                                                         | <b>LMS Z360</b>  |
| Laser Wavelength (in nm)                                               | 904              |
| Laser Power (in W, mW)                                                 | 1 mW             |
| FDA Laser Classification (Class)                                       | 1                |
| Beam Diameter at Specified Distance<br>(0.Y ft at X ft/Ymm at X m)     | 20 mm at 50 m    |
| Measurement Technique                                                  | LiDAR            |
| Average Data Acquisition Rate (pps)                                    | 8,000            |
| Maximum Data Acquisition Rate (pps)                                    | 12,000           |
| Distance Accuracy at Specified Distance<br>(0.Y ft at X ft/Ymm at X m) | 6 mm at 200 m    |
| Position Accuracy at Specified Distance<br>(0.Y ft at X ft/Ymm at X m) | 6 mm at 100 m    |
| Angular Accuracy (degrees-min-sec)                                     | 0.002            |
| Minimum Range (feet/m)                                                 | 1 m              |
| Maximum Range (feet/m)                                                 | 300 m            |
| Field of View (vertical angle) (degrees-min-sec)                       | 90               |
| Field of View (horizontal angle) (degrees-min-sec)                     | 360              |
| Minimum Vertical Scan Increment<br>(degrees-min-sec)                   | 0.002            |
| Minimum Horizontal Scan Increment<br>(degrees-min-sec)                 | 0.002            |

# Metoda skaningu laserowego

- Obrano 6 stanowisk skanera i wykonano 4 skany dla ścian 2 dla posadzki
- Chmurę punktów opracowano w programie Polyworks Modeler



Model 3D w postaci chmury punktów



Modelowanie w programie Polyworks Modeler

# Porównanie modeli

- Aby móc porównać oba modele pod względem geometrycznym ich współrzędne musiały być określone w tym samym układzie odniesienia
- Wykorzystano punkty kontrolne, pomierzone geodezyjnie za pomocą tachymetru Leica TCR 705 ( 50 punktów naturalnych i 20 sztucznych )
- Nadano georeferencje obu modelom
- Porównania dokonano w oparciu o pomierzone współrzędne 22 check points, błąd średni kwadratowy wpasowania punktów dla poszczególnych metod wyniósł:

| 3D model                | Liczba punktów | RMS X [m] | RMS Y [m] | RMS Z [m] |
|-------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Metoda Fotogrametryczna | 22             | 0.017     | 0.025     | 0.020     |
| Skaning laserowy        | 22             | 0.056     | 0.063     | 0.044     |

# Podsumowanie

- Wybór metody jest uzależniony od wymagań realizatora projektu
- dla uzyskania uproszczonego modelu najlepiej zastosować metody fotogrametryczne
- jeżeli obiekt jest bardziej złożony a realizatorowi zależy na detalach, wówczas najlepiej zastosować metodę skaningu laserowego
- najlepszym wyjściem jest pozyskanie geometrii z metody skaningu natomiast tekstury ze zdjęć cyfrowych (metoda fotogrametrii)

# Literatura

- A. Guarnieria, A. Vettorea, S. El-Hakimb, L. Gonzoc  
„Digital pfotorammetry and laser scanning in cultural heritage survey”, Commission V,  
Working Group V/2
- A. Boroń, A. Rzonca, A. Wróbel „Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w  
inwentaryzacji zabytków”
- A. Rzonca „Współczesne metody kompleksowej inwentaryzacji zabytków na przykładzie  
parafialnego kościoła w Michalicach”
- Naci Yastikli „Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser  
scanning”, Journal of Cultural Heritage 8 (2007), Received 11 April 2007; accepted 19 June  
2007