

Structure-from-Motion (SfM) technique in the Catacombs of Priscilla in Rome

Improvements in the conservation,
the safety and the fruition

KERMES

107

Presentazione di Chiara Catallo



INTRODUZIONE

- ❖ Le **catacombe romane** sono i monumenti paleocristiani più importanti di Roma e sono visitate ogni anno da migliaia di pellegrini. La loro **natura sotterranea** influisce sul loro **stato di conservazione** e queste specifiche condizioni non possono essere modificate senza comprometterne l'integrità.
- ❖ Dal 2015, l'**ENEA** è coinvolta in un progetto, denominato "**COBRA**" ("Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la conservazione dei Beni Culturali). L'articolo illustra l'impiego della tecnica **Structure-from-Motion (SfM)** nel complesso archeologico delle **Catacombe di Priscilla**, su diversi casi di studio e per diverse applicazioni, al fine di promuovere la valorizzazione, la fruizione e la conservazione dei reperti archeologici indagati.
- ❖ Il **team ICT** dell'**ENEA** ha recentemente sviluppato un innovativo **sistema di cloud storage e condivisione dei dati**, denominato "**ENEA Staging Storage Sharing (E3S)**". Esso si basa sulla tecnologia **open source OwnCloud 2**, che garantisce l'archiviazione e la condivisione sicure dei risultati delle misure in situ e dei modelli fotogrammetrici pesanti.

THE CATACOMBS OF PRISCILLA



Le **Catacombe di Priscilla** si trovano sulla **Via Salaria** e sono state scavate in una vasta cava utilizzata per le **sepulture cristiane** dalla **fine del II secolo** fino al **IV secolo**. La zona centrale, la più antica, si snoda in una **serie di gallerie** e le pareti sono piene di **loculi** (il tipo di tomba più comune), chiusi da mattoni con iscrizioni semplicemente dipinte.

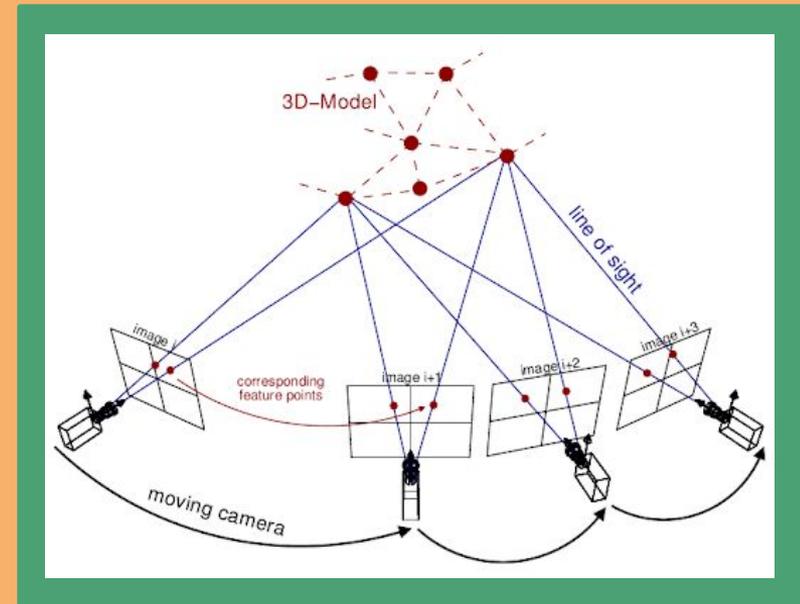
Il **Criptoportico** con la **Cappella Greca** è una grande area sotterranea in muratura, in origine riservata alla sepoltura di **famiglie nobili**. Grazie al numero di **martiri** qui sepolti e alle sue dimensioni, il cimitero sotterraneo fu un importante luogo di **pellegrinaggio** durante tutto il Medioevo.



THE SfM TECHNIQUE: GENERAL PRINCIPLES

La tecnica **Structure-from-Motion** consente di ottenere un **modello 3D** di un oggetto sotto forma di **“points cloud”** o **“polygonal model”** (mesh), partendo dall’acquisizione di immagini 2D, che possono essere post-elaborate utilizzando specifici software fotogrammetrici, basati su metodi di computer vision.

- La cosiddetta **“close-range photogrammetry”** viene generalmente applicata per la ricostruzione di elementi architettonici, reperti archeologici o strutture con lo scopo di effettuare, in modo rapido, senza contatto e con semplicità, indagini strutturali e monitoraggio non invasivo.
- Il software **Agisoft PhotoScan Pro** è stato utilizzato per ottenere i modelli 3D e si tratta di un software autonomo che esegue l’elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali e genera dati spaziali 3D.

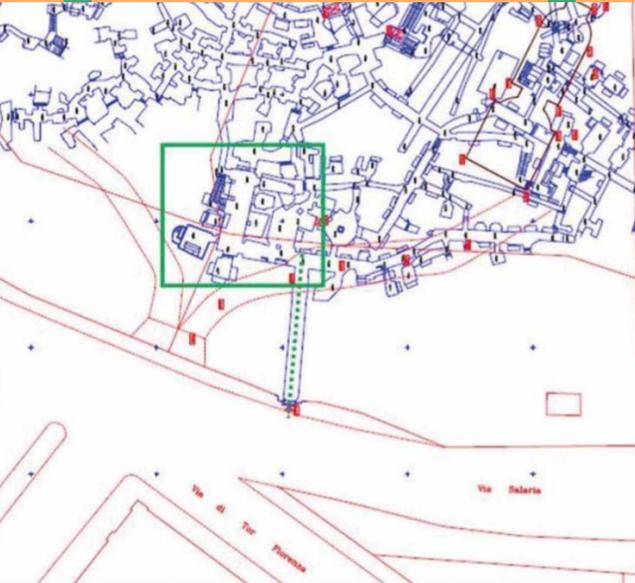


I passaggi del processo di elaborazione di PhotoScan

1. Creare un “**image alignment**”, tramite l'algoritmo SIFT e il processo di multi-stereo matching vengono rilevate la **posizione** e l'**orientamento** degli scatti della fotocamera e viene creata una “**sparse cloud**” dell'oggetto.
2. Un algoritmo di “**dense image matching**” consente di estrarre il modello della “**dense cloud**”, grazie a un confronto di profondità tra tutte le immagini.
3. **PhotoScan** consente di ricostruire il **modello poligonale**, costituito da facce e vertici e quindi, viene eseguito un processo di **texture**, per ottenere il modello finale “texturizzato”.
4. Il codice fornisce un modo rapido e automatico per **scalare i modelli**, partendo dall'assegnazione di una singola misura di riferimento delle strutture reali.
5. Il **modello 3D** finale può essere utilizzato per rilevare i **dati geometrici** della struttura in termini di **forma e dimensione**.



THE SfM TECHNIQUE AT THE CATACOMBS OF PRISCILLA: CASE STUDIES



Secondo la Pontificia Commissione per l'Archeologia Sacra, la tecnica SfM è stata applicata a 3 casi diversi e per 3 scopi diversi:

- Il primo è stato il monitoraggio nel tempo di un **attacco biologico** che ha interessato una superficie della “**Cappella Greca**”, riccamente decorata con affreschi.
- Il secondo scopo è stato l'utilizzo della ricostruzione fotogrammetrica per la fruizione virtuale del “**Sarcofago delle Muse**”.
- L'ultimo caso di studio mira a proporre l'utilizzo della tecnica SfM per il monitoraggio strutturale di un **elemento murario danneggiato**.

La Cappella Greca e il Sarcofago delle Muse sono situati nell'area del **Criptoportico** del sito archeologico, mentre il muro in muratura è situato lungo l'itinerario che conduce a tale area.

SfM for a virtual fruition: Sarcofago delle Muse

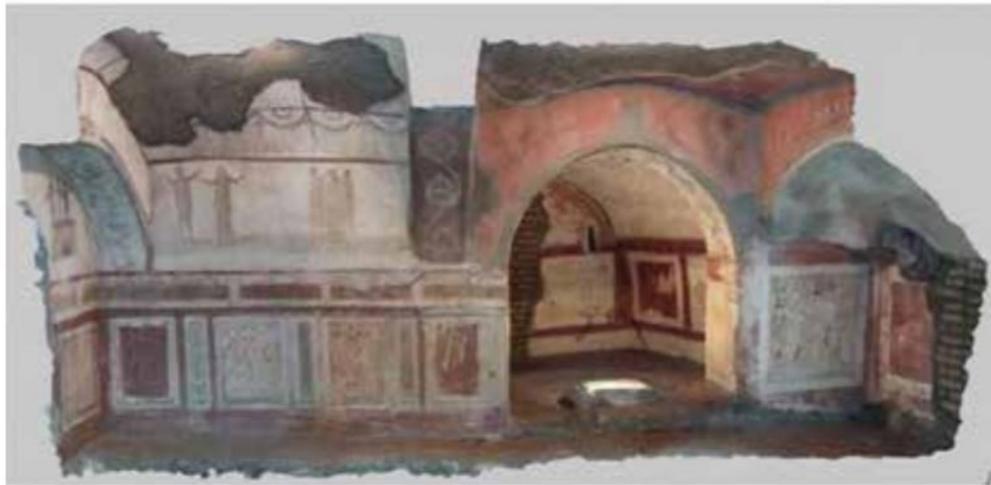


E' uno dei più importanti ritrovamenti di sarcofagi nelle Catacombe di Priscilla, databile all'**inizio del IV sec.** e **ricostruito** da molti frammenti di marmo all'**inizio del XX sec.**

Per realizzare dei **video multimediali** del sarcofago che il turista possa osservare nel museo, è stata eseguita una ricostruzione **SfM 3D**. La ricostruzione fotogrammetrica è stata effettuata partendo dall'acquisizione di immagini digitali del sarcofago: sono state catturate 80 immagini, ma ne sono state elaborate solo 67. A causa della **scarsa illuminazione** dell'area in cui è situato il sarcofago, sono state utilizzate delle **luci LED** per catturare immagini nitide, illuminando uniformemente le superfici ed evitando distorsioni ottiche.

SfM monitoring of a biological attack: Greek Chapel

- ❖ La Cappella Greca deve la sua importanza agli antichissimi **cicli pittorici** che la decorano (**seconda metà del III secolo**), tuttavia la **fragilità** delle sue decorazioni pittoriche richiede un **sistema di monitoraggio continuo** per preservare l'integrità degli affreschi.
- ❖ L'obiettivo di questo studio è stato quello di dimostrare l'efficacia della tecnica SfM, di produrre un modello 3D metrico corretto per monitorare lo stato di conservazione degli **attacchi biologici** in modo molto **rapido**, a **basso costo** e anche con **personale non molto specializzato**, semplicemente utilizzando le capacità hardware e software dell'infrastruttura IT dell'ENEA.
- ❖ A differenza di altre tecniche di diagnosi e monitoraggio con componenti elettronici, la ricostruzione fotogrammetrica **non è influenzata** dalle **condizioni ambientali di basse temperature e alta umidità**. Per questo motivo, è stata l'unica tecnica in grado di produrre l'acquisizione completa della Cappella Greca e di restituire un **modello 3D in scala reale**. Sono state acquisite più di **400 immagini** e **364** di queste sono state **post-elaborate**.



4

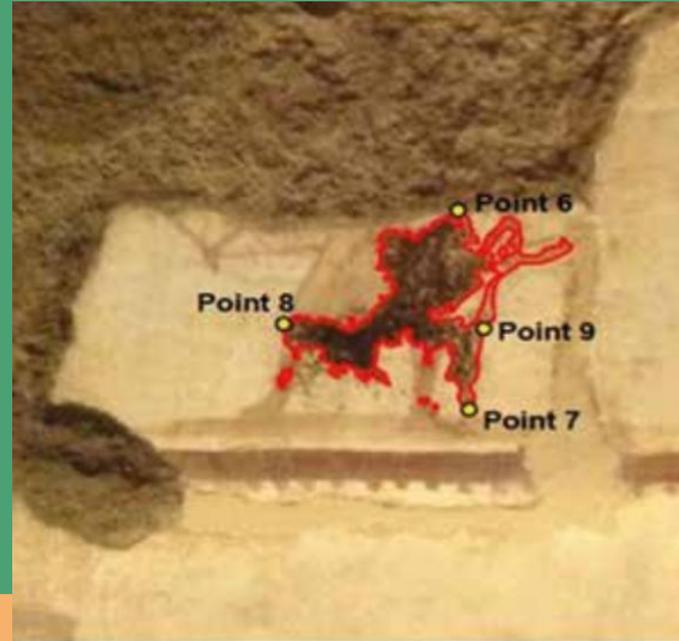


5

La ricostruzione di SfM è stata utilizzata anche per verificare l'evoluzione nel tempo dell'attacco biologico e per questo sono state eseguite due ricostruzioni fotogrammetriche. Per rilevarne le **dimensioni** e la **superficie totale**, i due modelli dell'attacco biologico sono stati **scalati geometricamente** in PhotoScan.



Giugno 2016

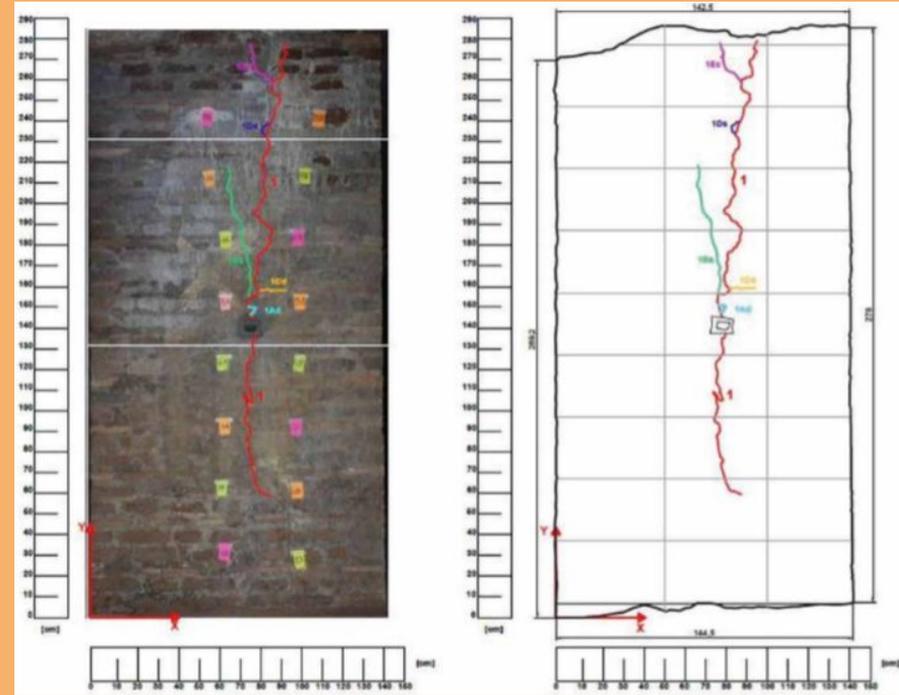


Novembre 2016

SfM for crack patterns definition and monitoring: damaged masonry wall

La superficie di questo elemento murario è caratterizzata da **numeroso fessure** importanti e la tecnica SfM rappresenta uno strumento di facile utilizzo in grado di **ricostruire l'intero elemento murario** e di **mappare le fessure**, rilevandone l'**estensione** e la **tassonomia**. Partendo da questi risultati è stato possibile monitorare l'evoluzione del pattern fessurativo nel tempo.

- Il rilevamento dei pattern di fessurazione, basato su SfM, consente di valutare la **Salute Strutturale** del muro danneggiato, con lo scopo di creare un modello finalizzato a valutare il suo **stato di conservazione**, il suo **comportamento dinamico sotto azioni sismiche** e l'influenza delle fessure sulla sua **resistenza meccanica**.



TECHNOLOGICAL TRANSFER BY E₃S-OWNCLOUD SYSTEM (STORAGE AND SHARING)

Per affrontare un numero elevato di immagini, documentazione, dati scientifici e, in particolare, la grande mole di risultati ottenuti dalla ricostruzione fotogrammetrica, il team ICT di ENEA ha sviluppato una metodologia innovativa che consente di **archiviare** e **condividere** tutti i risultati ottenuti nell'ambito del progetto COBRA.

Il **sistema ENEA Staging Storage Sharing** è un'architettura IT basata sul **framework OwnCloud** e garantisce un **accesso distribuito da remoto** alle cartelle in cui vengono salvati e archiviati i risultati sperimentali della ricostruzione fotogrammetrica. Questa architettura ha dato la possibilità di migliorare la **collaborazione** tra i ricercatori ENEA, gli esperti d'arte e i restauratori delle Catacombe di Priscilla coinvolti nel progetto.

CONCLUSIONS

- ❖ L'impiego della ricostruzione fotogrammetrica mediante tecnica SfM può essere impiegato per **diversi scopi**, legati alla **conservazione**, alla **sicurezza** e al miglioramento della **fruizione** del **patrimonio culturale**.
- ❖ Il suo punto di forza risiede nel fatto che è possibile eseguire un'**indagine rapida, semplice** da utilizzare e a **basso costo** su **diversi reperti archeologici e/o strutture** che presentano specifici problemi di deterioramento e che sono situati in aree non facilmente accessibili.
- ❖ La fotogrammetria è molto utile laddove non è facile introdurre altri strumenti sensibili, ma allo stesso tempo, deve essere applicata integrandola con altre **tecniche di monitoraggio e/o strumenti diagnostici** al fine di restituire i migliori risultati se utilizzati insieme.
- ❖ Grazie alla possibilità di accedere al **repository OwnCloud**, il personale delle catacombe, i restauratori e gli esperti d'arte possono visualizzare in ogni momento tutta la documentazione, le immagini e i risultati delle ricostruzioni per eseguire le proprie **post-processing e/o valutazioni**.