



ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
SCUOLA SUPERIORE DI STUDI SULLA CITTÀ E IL TERRITORIO

LA REPLICA DELL’AFFRESCO DELLA «MADONNA DEI TUMORI» NELLA CHIESA DI SANTA MARIA MAGGIORE IN RAVENNA



Laboratorio sulla Città e il Territorio
coordinatori Massimiliano Casavecchia e Luca Cipriani

La replica dell'affresco della “Madonna dei Tumori” nella chiesa di Santa Maria Maggiore a Ravenna

Massimiliano Casavecchia: ideazione e coordinamento generale

Luca Cipriani: coordinamento scientifico delle operazioni di rilevamento e modellazione

Luca Cipriani, Filippo Fantini: operazioni di rilevamento laser scanner e topografico

Silvia Bertacchi: rilevamento fotogrammetrico

Filippo Fantini: modellazione per la stampa 3D

Introduzione: le tecnologie di documentazione e di replica attraverso modelli 3D

La replica dell'affresco che ritrae la Madonna con Bambino custodita all'interno della Chiesa di Santa Maria Maggiore a Ravenna è stata eseguita impiegando le più aggiornate ed accurate tecnologie di rilevamento e di restituzione. L'articolato flusso di lavoro che ha permesso di replicare l'esatta forma dell'affresco ed i suoi colori è il prodotto di anni di ricerche eseguiti dall'Università di Bologna (Gruppo di Rappresentazione Architettonica e Computer Grafica) in collaborazione con le più importanti aziende del settore della “stampa 3D”. L'eccezionalità di questa sperimentazione risiede nell'aver affrontato in modo completo ed esaustivo una serie di metodologie che mai erano state impiegate in sinergia, al fine di garantire l'esatta replica di un oggetto di questo genere in scala reale: inquadramento mediante strumento topografico dell'affresco, campagna di rilevamento fotogrammetrico, riproduzione esatta del colore, rilevamento della superficie dell'affresco con campionamento di 4 decimi di millimetro, mappatura ad alta risoluzione del colore sul modello 3D, suddivisione dell'affresco in 12 pezzi per la replica mediante tecnologia 3D Print.

Metodologia

Le tecnologie adottate per eseguire il rilevamento accurato dell'affresco prendo il nome di sensori attivi e passivi: i primi servono per “catturare” la geometria di un oggetto attraverso una serie di scansioni ad alta densità che riproducono la forma mediante una fitta maglia di poligoni triangolari; i sensori passivi sono invece degli apparecchi fotografici opportunamente calibrati e preposti al rilevamento sia della forma dell'oggetto che del suo colore.



Figura 1 – Apparecchi impiegati per eseguire il rilevamento dell'affresco: Stazione totale Topcon DS, NextEngine 3D Laser Scanner, Fotocamera Nikon D5100.

Entrambe le tecnologie, se impiegate congiuntamente, possono beneficiare l'una dell'altra fornendo risultati estremamente più accurati rispetto ad un loro uso indipendente. In particolare questa ultima affermazione è ancor più vera nel caso di un affresco, poiché la forma apparentemente semplice (piana) è il classico caso di studio che presenta numerosi problemi quando si intende documentare ad alta risoluzione tale tipologia di oggetti con tecnologia laser scanner.

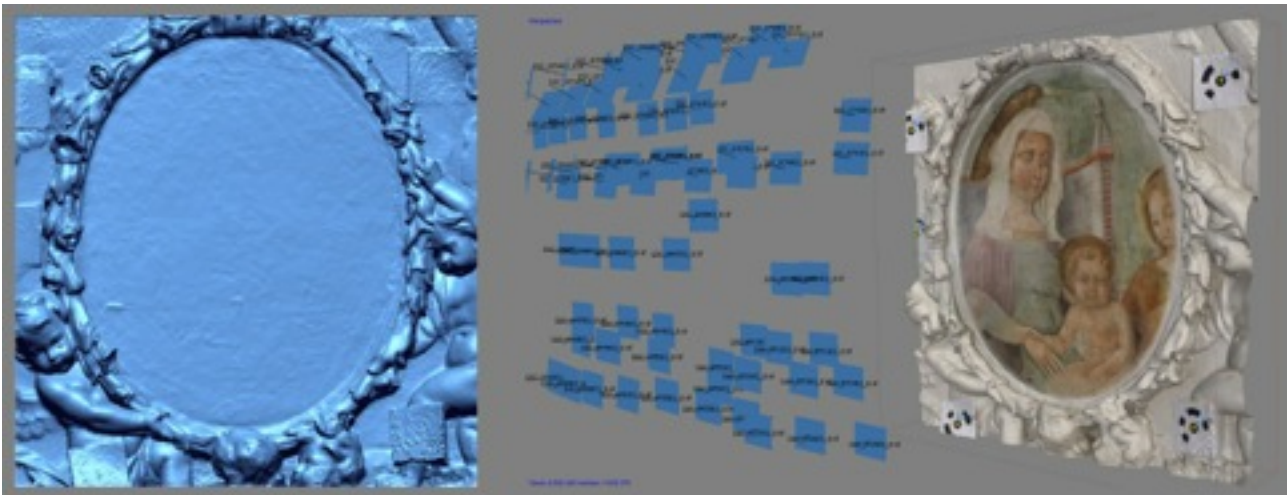


Figura 2 - Modello ottenuto mediante rilevamento topografico e fotogrammetrico.

Solo attraverso l'uso congiunto di rilievo topografico e rilievo fotogrammetrico è possibile fornire alle singole scansioni ad alta densità un riferimento certo rispetto al quale referenziare e successivamente integrare le varie scansioni. In assenza di una combinazione di entrambe le tecnologie esiste il rischio di introdurre significative deformazioni nella superficie dell'affresco: per questo motivo il rilevamento ha interessato anche l'intorno della superficie dipinta in modo da introdurre ulteriori elementi di ausilio alla ricostruzione esatta della forma. Ciascuna delle 82 scansioni effettuate mediante l'apparecchio NextEngine 3D Laser Scanner basato su tecnologia *multiple laser stripes*, è stata allineata rispetto al modello 3D ottenuto da fotogrammetria: quest'ultimo sebbene abbia una risoluzione geometrica inferiore alle singole scansioni laser, presenta il vantaggio di garantire una maggiore affidabilità complessiva al rilevamento.

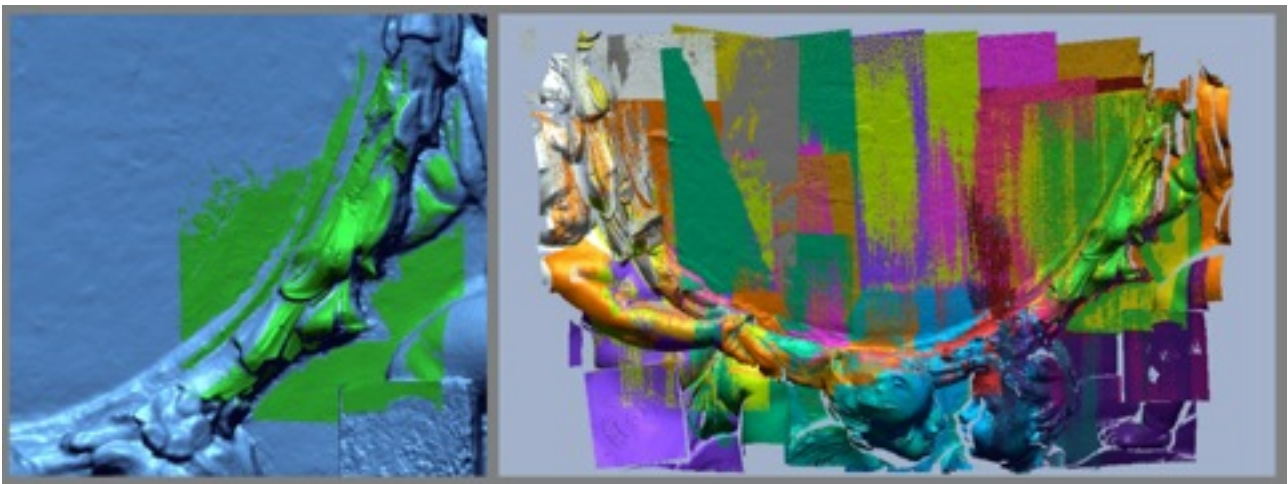


Figura 3 – fasi di lavorazione: ogni scansione laser ad alte risoluzioni viene referenziata sul modello ottenuto mediante fotogrammetria per ottenere una restituzione 3D più affidabile.

In altre parole è possibile affermare che i due rilevamenti si completano a vicenda: uno, quello laser scanner, ha maggiore risoluzione ma risulta meno affidabile su grandi superfici; l'altro è meno dettagliato, ma più attendibile nel rilevamento di superfici di dimensioni più estese, anche grazie all'integrazione dei dati topografici. Il rilievo topografico d'insieme ha avuto come obiettivo quello di individuare le coordinate di 5 *coded target* distribuiti intorno all'affresco senza interessarne la superficie, da introdurre all'interno del modello fotogrammetrico per eseguirne l'allineamento complessivo e la messa in scala. La verifica eseguita

su questi punti di controllo ha portato ad un errore complessivo del modello di 0,000903 m rispetto al rilevamento topografico. Le singole scansioni ad alta risoluzione sono state quindi convertite in un unico modello costituito da 14.924.098 poligoni nel quale la media della lunghezza dei bordi di poligoni è pari a 0,4887 mm.

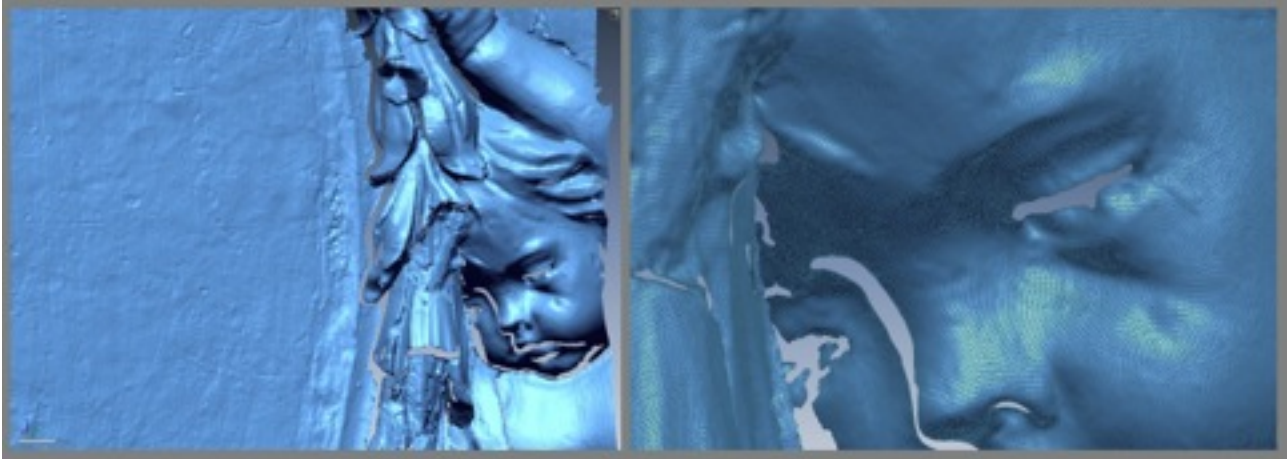


Figura 4 – Particolare del modello ad alta risoluzione e dettaglio del volto del cherubino: la lunghezza dei bordi di ciascun triangolo che forma il modello è inferiore a mezzo millimetro.

Oltre ai target per la verifica dell'affidabilità complessiva della replica 3D è stata eseguita una fase di correzione cromatica dei singoli fotogrammi al fine di eliminare dominanti cromatiche presenti nella scena al momento dello scatto mediante X-Rite ColorChecker Classic a 24 tasselli. Mediante l'uso del programma CameraRaw di Adobe è stato eseguito l'equilibrio del grigio 20% su fotogrammi scattati in formato .NEF per ottenere il massimo dell'affidabilità cromatica in vista della prossima fase di elaborazione del modello 3D che consiste nella sua mappatura attraverso un'immagine ad alta risoluzione.

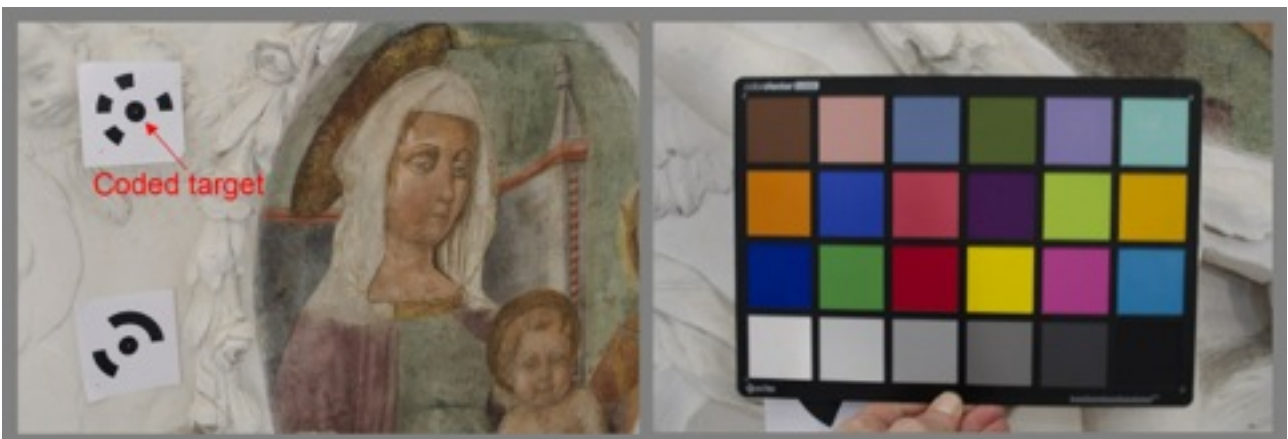


Figura 5 – Target impiegati per la verifica dell'affidabilità del modello e ColorChecker per l'equilibrio del bianco.

Dal modello finale sono state eliminate tutte le parti accessorie che non erano pertinenti alla replica dopodiché si è provveduto a reimportare quest'ultima versione del modello nel programma di fotomodellazione Agisoft Photoscan per eseguirne il texturing mediante i fotogrammi corretti da dominanti cromatiche.

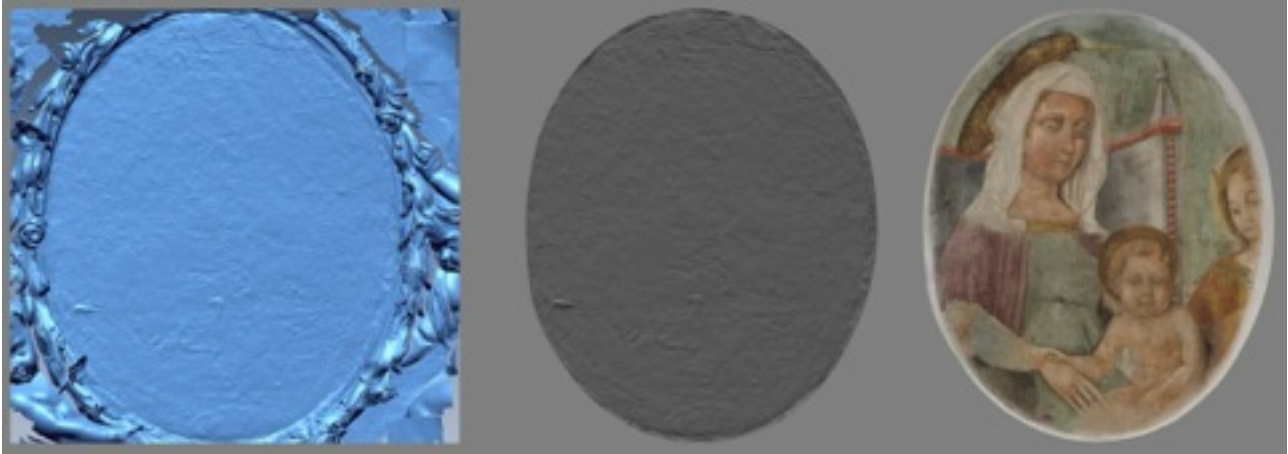


Figura 6 – Modello ad alto dettaglio, modello pronto per il texturing e modello finale con mappa del colore applicata.

Al fine di rendere il modello compatibile con gli apparecchi in grado di riprodurre la replica è necessario eseguire alcune ultime e delicate operazioni finalizzate a conferire spessore al modello 3D, nonché a suddividerlo sulla base dell'ingombro massimo stampabile dalla macchina per la stampa 3D. I tagli sono stati eseguiti in modo tale da preservare le figure dei volti dei protagonisti principali dell'affresco: la Madonna ed il Bambino.

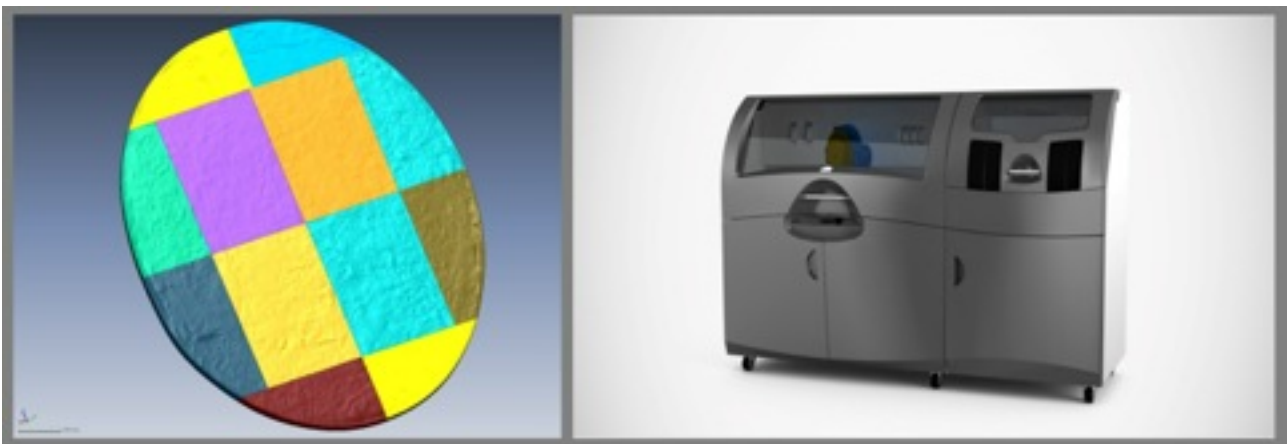


Figura 7 – Modello suddiviso in 12 parti per la fase di stampa eseguita mediante apparecchio ProJet 660Plus.

La stampa eseguita in collaborazione con l'azienda CMF Marelli s.r.l. di Cinisello Balsamo (Milano) è stata eseguita con una stampante 3D modello ProJet 660Plus dotata delle seguenti caratteristiche tecniche:

- Modello fino a 390.000 colori (top della gamma)
- Risoluzione: 600 x 540 dpi
- Dimensione minima del dettaglio: 0,1 mm
- Velocità di stampa verticale: 22 mm/ora
- Dimensioni tavola di lavoro: 254 x 381 x 203 mm
- Spessore dello strato: 0,089 - 0,1 mm

Un ringraziamento particolare a Gianluca Pieri e Vittorio Nespoli della CMF Marelli di Cinisello Balsamo per la professionalità con la quale è stata eseguita la stampa e l'infiltrazione dei modelli da 3D Print.