



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος εργασίας

Αντιγράφοντας το αντίγραφο



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΖΩΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΚΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF APPLIED ARTS AND CULTURE

DEPARTMENT CONSERVATION OF ANTIQUITIES AND WORKS OF ART

Diploma Thesis

Title

Replicating the replica



STUDENT: ZOI GEORGIA

SUPERVISOR: MAKRIS DIMITRIOS

UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ATHENS 2023

ΣΧΟΛΗ: ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ



Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος εργασίας

Αντιγράφοντας το αντίγραφο

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου του Εισηγητή

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή

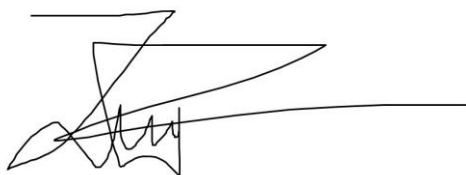
A/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Μακρής Δ.	Αναπληρωτής Καθηγητής	
2	Καραμπίνης Λ.	Αναπληρωτής Καθηγητής	
3	Χλουβεράκη Σ.	Επίκουρη Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Ζώη Γεωργία του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 52017045 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού, του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και έργων τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



ATHENS, SEPTEMBER 2023

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καίριο ρόλο διαδραμάτισε η αρωγή του επιβλέποντα καθηγητή μου, Δημήτρη Μακρή, καθηγητή στο τμήμα συντήρησης αρχαιοτήτων και έργων τέχνης του ΠΑΔΑ, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, καθώς η συνεχή καθοδήγηση του, οι συμβουλές του και η αδιάλειπτη βοήθεια του, τόσο η επιστημονική, όσο και η ψυχολογική, υπήρξαν καταλυτικές και σημαντικές για την ολοκλήρωση της έρευνας μου.

Επιπλέον, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην Δρ. Ελένη - Βερόνικα Φαρμακαλίδου από το Τμήμα Συντήρησης του Μουσείου Μπενάκη όχι μόνο για τη συμβολή της στην εύρεση βιβλιογραφικού και αδημοσίευτου φωτογραφικού υλικού του Μουσείου, αλλά και για το λόγο ότι το ερευνητικό θέμα αποτέλεσε και δικό της όραμα προς υλοποίηση, καθώς και στην κα Μάρα Βερούκοκου, επιμελήτρια της Βυζαντινής και Μεταβυζαντινής Συλλογής του ίδιου μουσείου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Στεφανία Χλουβεράκη, για την παρότρυνση της να ασχοληθώ με το επιστημονικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας, καθώς και τον κ. Λεωνίδα Καραμπίνη, για την τιμή που μου έκαναν να αποτελέσουν μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Παράλειψη θα ήταν να μην ευχαριστήσω βαθύτατα και τους καθηγητές Α. Τσάτσαρη και Λ. Γεωργακόπουλο, οι οποίοι συνέβαλαν στο δανεισμό του σαρωτή Artec Leo.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τόσο το Μουσείο Μπενάκη, αλλά ιδιαίτερα και τον επιστημονικό διευθυντή του, τον Δρ. Γιώργη Μαγγίνη, για την τιμή που μου έγινε να διεξάγω έρευνα σε έργο των συλλογών του, καθώς και επιτόπια έρευνα και φωτογράφιση στους χώρους του μουσείου, όσο και το Μητροπολιτικό Μουσείο Τέχνης της Νέας Υόρκης (The Metropolitan Museum of Art), στο οποίο ανήκει αρχικά το υπό εξέταση έργο για την παραχώρηση της απαραίτητης άδειας για την πραγματοποίηση της έρευνας.

Επιπρόσθετα, θερμές ευχαριστίες οφείλονται και στον κ. Αλέκο Παππά, ο οποίος υπήρξε σημαντικός αρωγός για τις απαραίτητες επαφές με το Μητροπολιτικό Μουσείο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη, την αγάπη τους και την παρότρυνσή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	11
2.1. Ιστορία του ναού της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη.....	11
2.1.1 Η περίοδος της εικονομαχίας.....	12
2.2. ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ Η ΠΑΝΑΓΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΒΡΕΦΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΨΙΔΑ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ	13
2.2.1 Η αξία του Ψηφιδωτού μετά το τέλος της εικονομαχίας κατά τον Άγιο Φώτιο, Πατριάρχη Κωνσταντινουπόλεως.....	13
2.2.2. Περιγραφή ψηφιδωτού η Παναγιά και το Βρέφος.	16
2.2.3 Το ψηφιδωτό Θεοτόκος και Παιδί κατά την διάρκεια της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας.....	23
2.3.1 Διαδικασίες Συντήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί από το Βυζαντινό Ινστιτούτο.	30
2.3.2 Διαδικασία παραγωγής αντίγραφων έργων τέχνης των ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΖΩΗ ΤΟΥ ΜΑΚΡΑΙΩΝΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΑΓΑΘΟ	46
3.1. Ο ρόλος των αντίγραφων έργων τέχνης σε σύγκριση με το αυθεντικό.....	46
3.2. Έννοια και αύρα που έχουν τα ψηφιακά αντίγραφα	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΜΟΥΣΕΙΑ	54
4.1. Η ψηφιακή διάσταση των μουσείων.....	54
4.2. Προβλήματα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης σε μουσειακούς χώρους	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ	69
5.1. Τρισδιάστατα Μοντέλα.....	69
5.2. Στάδια Δημιουργίας Τρισδιάστατων Μοντέλων	70
5.3. Μέθοδοι Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης	71
5.4. Παθητικές και Ενεργητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης	74
5.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσει παθητικής σάρωσης μέσω φωτογραμμετρίας ..	76
5.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσει ενεργητικής σάρωσης μέσω σαρωτή.....	77
5.7. Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση μέσω σαρωτή laser	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Διαδικασίες Τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του αντίγραφου βυζαντινού ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.	81
6.1. Προβλήματα Τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.....	81

6.2. Πειραματική διαδικασία παθητικής μεθόδου ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.	84
6.3. Πειραματική διαδικασία ενεργητικής μεθόδου ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.	87
6.4. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από φωτογραμμετρία με την αρωγή υπολογιστή.	93
6.6. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από τον σαρωτή με την αρωγή υπολογιστή.	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ	119
7.1.Κατάσταση διατήρησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί.	119
7.3.Τεκμηρίωση κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολης κατά την περίοδο του 1964	128
7.4.Σύγκρισή κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολης την περίοδο του 1964 με το σημερινό αντίγραφό ψηφιδωτό του που στεγάζεται στο Μουσείο Μπενάκη	136
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	139
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	146
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	149

Περίληψη

Αντικείμενο της μελέτης είναι το αντίγραφο του βυζαντινού ψηφιδωτού « Θεοτόκος και παιδί » από την Αψίδα του ναού της Αγίας Σοφίας, δάνειο του Μητροπολιτικού Μουσείου Νέας Υόρκης στο Μουσείο Μπενάκη από το 2000. Η μη επεμβατική τρισδιάστατη ψηφιοποίηση περιεχομένου για την δημιουργία υψηλής ανάλυσης ψηφιακού περιεχομένου θα βασιστεί σε μεθόδους τρισδιάστατης ενεργητικής και παθητικής σάρωσης με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου.

Πρωτογενώς, η ψηφιακή καταγραφή της τοπογραφίας και του χρώματος της επιφάνειας θα επιτρέψει την τεκμηρίωση/χαρτογράφηση της υφιστάμενης κατάστασης διατήρησης του φυσικού αντιγράφου.

Δευτερογενώς, η βιβλιογραφική διερεύνηση του μακραίωνου ρόλου των αντιγράφων θα μελετήσει την διακριτή ζωή τους σε σχέση με το αυθεντικό πολιτιστικό αγαθό.

Λέξεις Κλειδιά: αντίγραφο βυζαντινού ψηφιδωτού, ενεργητική και παθητική σάρωσης, τρισδιάστατη ψηφιοποίηση, ψηφιακό αντίγραφο.

Summary

The object of the study is the replica of the Byzantine mosaic "Virgin and Child" from the Arch of Hagia Sophia, on loan from the Metropolitan Museum of New York to the Benaki Museum since 2000. The non-invasive 3D digitization of content to create high-resolution digital content will be based on 3D active and passive range scanning methods resulting in the creation of a digital replica.

Primarily, digital recording of surface topography and color will allow documentation/mapping of the existing state of conservation of the physical replica.

Secondly, the bibliographic investigation of the centuries-old role of replicas will study their distinct life in relation to the authentic cultural property.

Keywords: Byzantine mosaic replica, active and passive range scanning, 3D digitization, digital replica.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η ψηφιακή αποτύπωση του αντίγραφου βυζαντινού ψηφιδωτού « Θεοτόκος και παιδί », ώστε να πραγματοποιηθεί η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης διατήρησης, διότι στο συγκεκριμένο αντίγραφο αποτυπώνεται η κατάσταση διατήρησης του αυθεντικού ψηφιδωτού κατά τη περίοδο που παράχθηκε το εκμαγείο, καθώς και των διεργασιών που διεξάχθηκαν, αλλά και των δυσκολιών που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου εγχειρήματος. Από το συγκεκριμένο παράδειγμα, καθίσταται σαφές ότι η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση όλων των αντικειμένων της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι δίνεται η δυνατότητα της περαιτέρω παρακολούθησης, μελέτης και διάδοσης των ιστορικών αντικειμένων. Επιπλέον, η ύπαρξη τρισδιάστατων μοντέλων δρα ως ένα δίκτυο ασφαλείας σε περίπτωση καταστροφής του αυθεντικού, καθώς αρχειοθετείται ψηφιακά το πιστό αντίγραφο του πρωτοτύπου

Αρχικά, έγινε έρευνα για την προέλευση του αντικειμένου και πραγματοποιήθηκε μια ιστορική αναδρομή στο πρωτότυπο ψηφιδωτό. Στην συνέχεια, έγινε αναφορά στον ρόλο και την αξία που έχουν τα αντίγραφα έργα τέχνης σε σύγκριση με τα αυθεντικά. Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται οι λόγοι και τα προβλήματα της ψηφιοποίησης της πολιτισμικής κληρονομιάς, αλλά και οι αρχές λειτουργίας των ενεργητικών και παθητικών μεθόδων τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Έπειτα, περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια που εκτελέστηκαν μέσω της παθητικής και ενεργητικής μέθοδου τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού και επιπλέον έγινε αναφορά στα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν κατά την διάρκεια της ψηφιοποίησης του. Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία που περιγράφηκε διεξοδικά σε τέσσερις φάσεις: την προετοιμασία, την αποτύπωση δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων και την μετεπεξεργασία δεδομένων.

Τέλος, παρουσιάζεται η τεκμηρίωση της κατάστασης διατήρησης του αντικειμένου αλλά και τα συμπεράσματα που βασίζονται πάνω στη σύγκριση και στην αξιολόγηση των δύο μεθόδων ψηφιοποίησης.

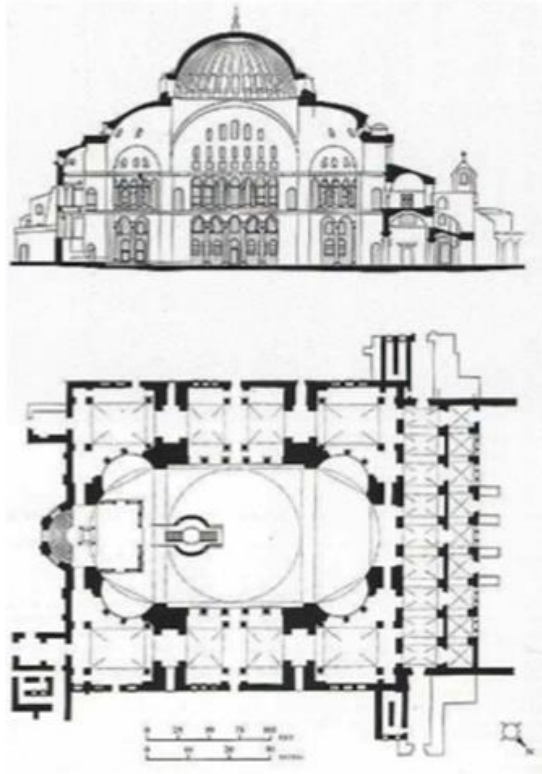
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1. Ιστορία του ναού της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη.

Η ιστορία της Αγίας Σοφίας ξεκίνησε πολύ πριν από τη βασιλεία του Ιουστινιανού και είναι αλληλένδετη με εκείνη της Νέας Ρώμης. Αφού μετέφερε ο Μέγας Κωνσταντίνος την πρωτεύουσα της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας στην πόλη του Βυζαντίου και τη μετονόμασε σε Κωνσταντινούπολη, διεύρυνε την υπάρχουσα πόλη κατά τρεις φορές από το αρχικό της μέγεθος (Σωτηρίου, 1917). Καθώς ένας μεγάλος πληθυσμός μετακινούνταν στην πόλη, απαιτούνταν περισσότερος χώρος για νέους πιστούς. Αυτό οδήγησε σε επιτακτική ανάγκη για την κατασκευή ενός μεγάλου καθεδρικού ναού, αφιερωμένου στη Σοφία του Θεού κοντά στο Αυτοκρατορικό παλάτι, το λεγόμενο Μέγα Παλάτιο, που ολοκληρώθηκε υπό τον Κωνσταντίνο Β' το 360 μ.Χ. (Taraz,2014).

Οι πληροφορίες σχετικά με το πώς έμοιαζε αυτή η εκκλησία ή τη σημασία της είναι ελάχιστες. Αναφέρεται ως η Μεγάλη Εκκλησία, υπονοώντας τις μνημειακές διαστάσεις και τη σημασία που είχε (Özer & Nur, 2017). Ήταν πιθανώς μια ξύλινη βασιλική σε σχήμα U, τυπικός αρχιτεκτονικός τύπος για τις εκκλησίες του 4ου αιώνα στη Ρώμη και στους Αγίους Τόπους. Η εκκλησία αυτή καταστράφηκε στις ταραχές μετά την εξορία του πατριάρχη Ιωάννη του Χρυσοστόμου από την πόλη το 404 μ.Χ. (Dorffner, 2000). Σχεδόν αμέσως ξεκίνησε η κατασκευή της νέας εκκλησίας σύμφωνα με την εντολή του αυτοκράτορα Θεοδοσίου Β' και τα εγκαίνια έγιναν στις 10 Οκτωβρίου το 415 μ.Χ. Η ονομασία Αγία Σοφία άρχισε να χρησιμοποιείται γύρω στο 430 μ.Χ.. Αυτή η νέα εκκλησία ήταν πιθανώς μια βασιλική με πέντε κλίτη, στοές και ένα αίθριο στη δυτική πλευρά. Η Θεοδοσιανή Αγία Σοφία κήκε ολοσχερώς το 532 κατά τη διάρκεια της εξέγερσης του Νίκα κατά του Αυτοκράτορα Ιουστινιανού Α' (Mygdalis, 2021).

Αφού κατέστειλε την εξέγερση, ο Ιουστινιανός αποφάσισε να ξαναχτίσει τη Μεγάλη Εκκλησία (Σκουλούδης, 2021). Κατά την προετοιμασία, μεταφέρθηκαν μάρμαρα από όλα τα εδάφη του Αιγαίου, συγκεντρώθηκαν χιλιάδες εργάτες και η επιμελητεία και η παρακολούθηση του κτιρίου παραδόθηκαν στους αρχιτέκτονες Ανθέμιο από τις Τράλλεις και Ισίδωρο από την Μίλητο. Μετά από μόλις πέντε χρόνια, έγινε ο αγιασμός της νέας Αγίας Σοφίας στις 27 Δεκεμβρίου του 537 μ.Χ. (C. Bayet, 2009).



Εικόνα 1: Τομή και κάτοψη του ναού της Αγίας Σοφίας.

Πηγή: <https://www.rodiki.gr/article/441754/h-agia-sofia-kai-ta-pshfidwta-ths>

2.1.1 Η περίοδος της εικονομαχίας

Κατά το 726 μ.Χ. υπήρχαν πολλές δεισιδαιμονίες για τα ψηφιδωτά και τις εικόνες της Αγίας Σοφίας (Σκουλούδης, 2021). Έτσι, μια περίοδος εικονομαχίας ξεκίνησε με την απαγόρευση της λατρείας των εικόνων κατά την βασιλεία του Λέοντα Γ' του Ισαύρου (Ρίζου, 2015). Ο Λέων Γ' απαγόρευσε τις εικόνες και τα ψηφιδωτά στις εκκλησίες (Shedlock, 1968). Στη συνέχεια, ο Κωνσταντίνος Ε' κατέστρεψε πολλές εικόνες και ψηφιδωτά από όλες τις εκκλησίες της πόλης (Morgan, 2007). Το τέλος της βασιλείας του Θεοφίλου ήταν το τέλος για αυτήν την περίοδο (Steady, 1978). Η Ιερατική Σύνοδος που συγκλήθηκε στην Κωνσταντινούπολη τον Φεβρουάριο του 843 μ.Χ. υπό την αιγίδα της Θεοδώρας, ένα χρόνο μετά τον θάνατο του Θεοφίλου, αποκατέστησε οριστικά τη λατρεία των εικόνων (Drandaki, Papanikola-Bakirtzi & Tourta, 2013). Αυτή η τελική νίκη των Αγίων Εικόνων το 843 εορτάζεται ακόμη ως ο «Θρίαμβος της Ορθοδοξίας» την πρώτη Κυριακή της Μεγάλης Τεσσαρακοστής. Η

αποκατάσταση της λατρείας των εικόνων έδωσε την ευκαιρία για ένα νέο πρόγραμμα διακόσμησης του ναού βασισμένο σε μια νέα θεολογία των εικόνων. Νέα ψηφιδωτά τοποθετήθηκαν στην εκκλησία επί Βασιλείου Α' και Λέοντος ΣΤ' (Morgan, 2007).

2.2. ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ Η ΠΑΝΑΓΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΒΡΕΦΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΨΙΔΑ ΤΗΣ ΑΓΙΑΣ ΣΟΦΙΑΣ.

2.2.1 Η αξία του Ψηφιδωτού μετά το τέλος της εικονομαχίας κατά τον Άγιο Φώτιο, Πατριάρχη Κωνσταντινουπόλεως.

Οι εργασίες διακόσμησης του εσωτερικού της Αγίας Σοφίας πραγματοποιήθηκαν κυρίως κατά τη διάρκεια του ένατου αιώνα, όπου οι θόλοι επαναδιακοσμήθηκαν για πρώτη φορά με εικαστικές συνθέσεις. Ο Πατριάρχης Φώτιος, ένας από τους σπουδαίους διανοούμενους της βυζαντινής ιστορίας, φαίνεται να αποτέλεσε τη βασική προσωπικότητα στην αναβίωση της τέχνης μετά την εικονομαχία, ενώ στην Ομιλία του με αριθμό 17 σχετικά με τα εγκαίνια της πρώτης νέας εικόνας στην εκκλησία καθίσταται σαφές ότι η χρηματοδότηση προερχόταν από τους βασιλεύοντες αυτοκράτορες (Erismann, 2020). Έχει αποδειχθεί από αρχαιολογικές μελέτες ότι το σημερινό ψηφιδωτό στη ασίδα με την ενθρονισμένη Παναγία και το Βρέφος μεταξύ των αρχαγγέλων είναι κατά πάσα πιθανότητα η εικόνα που εγκαινιάστηκε στις 29 Μαρτίου 867 μ.Χ. και περιγράφεται σε αυτή του την ομιλία. Συνακόλουθα, το ψηφιδωτό η Παναγία και το Βρέφος είναι το πρώτο της περιόδου μετά την εικονομαχία (Simons, 2011). Ως Πατριάρχης, ο Φώτιος πρέπει να ήταν ο καθοδηγητής στο νέο σχέδιο διακόσμησης του ναού που υλοποιήθηκε επί σειρά ετών και πιθανώς ολοκληρώθηκε στα τέλη του ένατου αιώνα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η επιλογή της Θεοτόκου για αναπαράσταση στην ασίδα υποδηλώνει ήδη μια απόφαση να τοποθετηθεί μια μορφή του Χριστού στην κορυφή του κύριου τρούλου, κάτω από τον οποίο επεξεργάστηκε ένα ιεραρχικό σχέδιο εκπροσώπων της χριστιανικής κοινότητας στον Ουρανό (Cormack, 2000).

Η στιχομυθία που τοποθετήθηκε σε ψηφιδωτό γύρω από τον ημιτρούλο είναι ένα βοήθημα για την κατανόηση της εικονογραφίας και το οποίο έγραφε: *«Τις εικόνες που είχαν ρίξει από εδώ οι αιρετικοί, ευσεβείς αυτοκράτορες έστησαν ξανά.»*

Οι αιρετικοί του επιγράμματος (που υποτίθεται ότι συνέθεσε ο Φώτιος) πρέπει να είναι οι εικονομάχοι, ενώ οι ευσεβείς αυτοκράτορες, στους οποίους αποδίδεται η αποστολή, πρέπει να είναι ο Μιχαήλ Γ' και ο Βασίλειος Α' (Cormack, 2000).

Το κείμενο φαίνεται να είναι ιστορικά αναληθές στον ισχυρισμό της αφαίρεσης εικόνων από την ασίδα από τους εικονομάχους. Ακόμα κι αν ο Φώτιος φαίνεται υπερβολικός με τον ισχυρισμό του ότι οι Εικονομάχοι αλλοίωσαν την ασίδα, ωστόσο το επίγραμμα δείχνει μια αντιεικονομαχική στάση για το ψηφιδωτό. Η υποκείμενη αναφορά του ψηφιδωτού δεν είναι δύσκολο να υποδηλωθεί. Ήταν ένα σημαντικό επιχείρημα του εικονόφιλου κινήματος ότι η ενσάρκωση του Ιησού σε ανθρώπινη μορφή ήταν η δικαιολογία για την εικονογραφική αναπαράσταση του χριστιανικού Θεού σε ανθρώπινη μορφή, ωστόσο ήταν σωστό για αυτόν να εμφανιστεί ως άνθρωπος, αφού πήρε αυτή τη μορφή στην γη. Μπορεί λοιπόν να υποστηριχθεί ότι η επιλογή της Παναγίας και του Βρέφους για το πρώτο ψηφιδωτό στην Αγία Σοφία μετά την Εικονομαχία έχει συνειδητά εικονοφιλικό σκοπό. Αξίζει να στραφούμε στην Ομιλία που εκφώνησε ο Φώτιος στα εγκαίνια της εικόνας για να δούμε αν υπάρχει επιβεβαίωση για αυτή την εικονόφιλη ερμηνεία. Ο Φώτιος επιτίθεται στους εικονομάχους, κατηγορώντας τους ως αιρετικούς και κάνει λόγο για την ευπρόσδεκτη θέα της Παναγίας. Συγκεκριμένα, λέει: *«Και στην εικόνα της η χάρη της Παναγίας μας ευφραίνει, παρηγορεί και μας ενισχύει.»*, ενώ στη συνέχεια αναφέρεται και στις ρεαλιστικές ιδιότητες της συγκεκριμένης εικόνας. Αργότερα ο Φώτιος δίνει περαιτέρω στοιχεία για τη σημασία της εικονογραφίας. Κάνει αναφορές για την ικανοποίηση και τη χαρά της ημέρας και λέει: *«Η εικόνα της Μητέρας υψώνεται από τα βάθη της λήθης και αναδεικνύει μαζί με τον εαυτό της τις ομοιότητες των Αγίων. Ο Χριστός ήρθε σε μας εν σαρκί και γεννήθηκε στην αγκαλιά της Μητέρας του»*. Αυτό επιβεβαιώνεται και διακηρύσσεται σε εικόνες, δηλαδή η διδασκαλία που εκδηλώνεται μέσω προσωπικών αυτόπτων μαρτύρων και ωθώντας τους θεατές σε αδιάσειστη συναίνεση (Cormack, 2000).

Επιπλέον, ο Φώτιος συνεχίζει να υποστηρίζει την εξής γραμμή: ότι αν και η μνήμη των μαρτύρων περιέχεται σε βιβλία, οι πίνακες αυτών των μαρτύρων παρουσιάζουν τα έργα τους πιο ζωντανά. Απαντώντας στο ερώτημα εάν η ανάμνηση αυτών των πράξεων μεταφέρεται καλύτερα μέσω ιστοριών ή μέσω εικόνων, οι θεατές και όχι οι ακροατές είναι αυτοί που έλκονται από την μίμηση. Η επίδραση στον θεατή είναι επίσης ψυχολογική και ηθική, καθώς η εικόνα του/της θυμίζει γεγονότα της ιερής ιστορίας και προκαλεί πολλά συναισθήματα: συμπόνια, οίκτο, στοργή και επιθυμία να μιμηθεί αυτούς που εκπροσωπούνται. Η απάντηση του θεατή είναι τελικά η πνευματική του ανάβαση. Δεν είναι μόνο η αισθητική απόλαυση που παράγεται

κοιτάζοντας τις εικόνες. Πέρα από την ομορφιά και την αρμονία αυτό που μετράει είναι η διασταύρωση των βλεμμάτων, του ιερού εικονιζόμενου και του πιστού θεατή. Αυτή είναι η υπέρτατη λειτουργία ενός έργου ιερής τέχνης (Lagerlund, 2011).

Στο σημαντικό αυτό κείμενο ο Φώτιος αναφέρεται ρητά στο εικονόφιλο επιχείρημα ότι η Ενσάρκωση ήταν δικαίωση των εικόνων. Αναπτύσσει ύστερα μια θεωρία ότι μια εικόνα είναι μια πραγματική καταγραφή ενός χριστιανικού γεγονότος και είναι πιο ζωντανή από μια γραπτή αφήγηση. Η ανάλυση αυτής της ομιλίας βοηθά στο ότι η επιλογή της Παναγίας και του Βρέφους για παράσταση στην ασίδα της ναού της Σοφίας προοριζόταν να έχει θεολογική, αλλά και πολιτική αναφορά. (James, 2017).

Ωστόσο, ήταν ο βυζαντινός τρόπος να μην γίνει η εικονογραφία πολύ σαφής, αλλά να επιλεγεί μια εικόνα που θα κρατούσε πάντα μια γενικότερη αναφορά. Ο Φώτιος θα μπορούσε επίσης να αναμένει ότι ο βυζαντινός θεατής θα θυμόταν ένα κείμενο που αποδίδεται στον πατριάρχη Γερμανό του 8ου αιώνα σχετικά με τον συμβολισμό των διαφόρων τμημάτων της εκκλησίας. Συγκεκριμένα, η κόγχη συμβολίζει το σπήλαιο της Βηθλεέμ όπου γεννήθηκε ο Χριστός και το σπήλαιο όπου θάφτηκε.

Συμπερασματικά, το συγκεκριμένο ψηφιδωτό στην ασίδα αντικατοπτρίζει την ανάγκη επιλογής, το 867 μ.Χ., μίας παράστασης, η οποία απεικονίζει επίκαιρες πολιτικές και θεολογικές ανησυχίες, αλλά σε τέτοια γενικευμένη μορφή που η εικόνα θα μπορούσε να παραμείνει αντικείμενο λατρείας τους επόμενους αιώνες, όταν οι συνθήκες θα είχαν αλλάξει (Cormack, 1989).

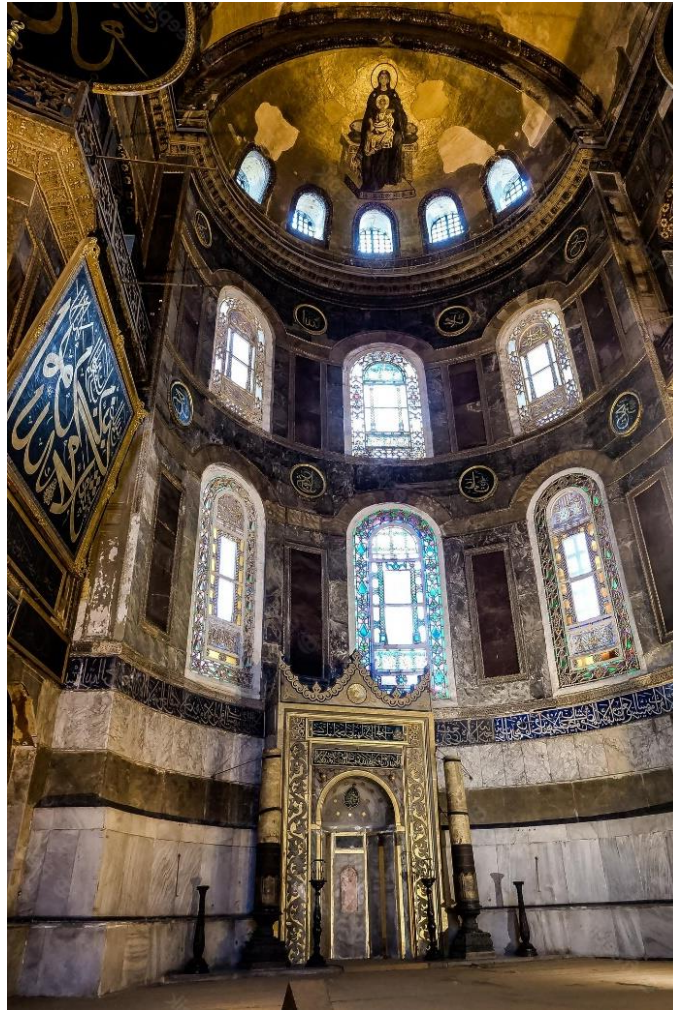


Εικόνα 2: Από το βιβλίο του 1891 Leopardon N. «Περί της σημασίας του Πατριάρχη Κωνσταντινουπόλεως Φωτίου για τη Ρωσία», από τις τοιχογραφίες του Καθεδρικού Ναού Κιέβου-Σόφιας.

Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki>

2.2.2. Περιγραφή ψηφιδωτού η Παναγία και το Βρέφος.

Το ψηφιδωτό της Παναγίας και του Βρέφους στην αψίδα του ναού της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη βρίσκεται περίπου 30 μέτρα πάνω από το δάπεδο, το ύψος της Παναγίας ξεπερνά τα 4 μέτρα, ενώ το ύψος του παιδιού Χριστού είναι λίγο λιγότερο από 2 μέτρα (Todorovic, 2015).

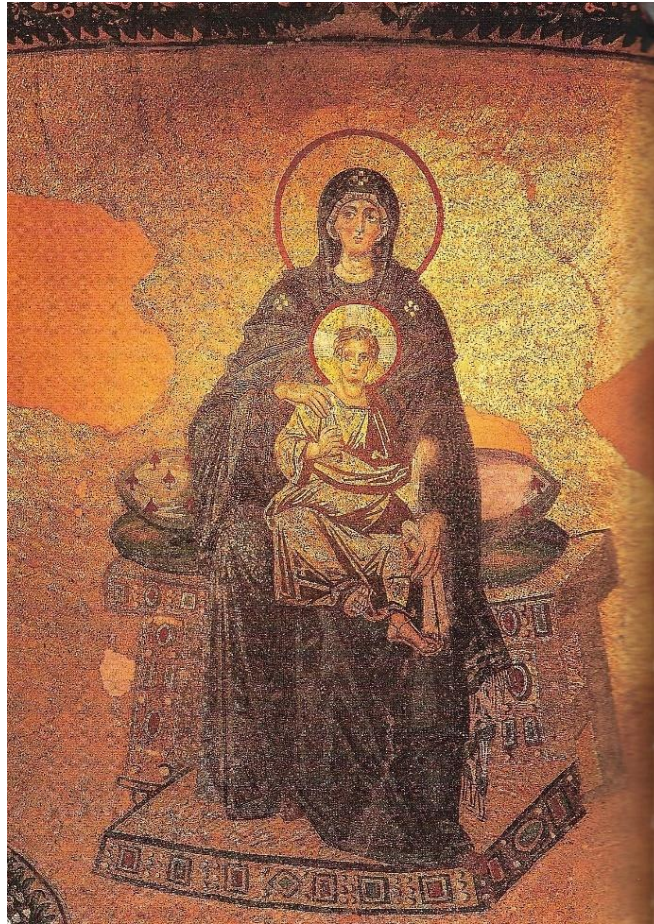


*Εικόνα 3: Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, εσωτερικό κοιτάζοντας ανατολικά προς την αψίδα.
Πηγή: <https://www.freepik.com/free-photos-vectors/ayasofya/6>*

Η Παναγία, η οποία καταλαμβάνει το κέντρο του ημιτρούλου της αψίδας παριστάνεται ενθρονισμένη με το Παιδί να κάθεται στην αγκαλιά της (Taraz, 2014). Ακουμπάει το δεξί της χέρι στον δεξιό ώμο του Παιδιού και το αριστερό, που κρατά ένα μαντήλι, στο αριστερό γόνατο του Παιδιού (Mango & Hawkins, 1968). Η Θεοτόκος κάθεται σε έναν θρόνο χωρίς ράχη κρατώντας τον Ιησού βρέφος στα γόνατα της (Χατζηδάκη, 1994). Είναι ενδεδυμένη με ένα χιτώνα χρώματος μπλε, γεμάτο ιεροπρέπεια και ένα μαφόριο, ή πέπλο που τυλίγεται γύρω από το κεφάλι και τους ώμους της (Χιωτέλλη, 2020). Και τα δύο ρούχα αποτελούνται από σκούρες μπλε γυάλινες ψηφίδες. Συγκεκριμένα, μια διαβάθμιση από μπλε σε μαύρες γυάλινες ψηφίδες, όπου αποδίδουν τις σκιές των πτυχώσεων στο ένδυμα της Θεοτόκου.

Το προκοννήσιο μάρμαρο και το κρεμ και το ροζ μάρμαρο συνθέτουν τη μοναδική ορατή σάρκα των χεριών και του προσώπου της Θεοτόκου (Simmons, 2011). Το ωραίο νεανικό της πρόσωπο με το ζωγραφικό τρόπο απόδοσης, τα μικρά χείλη και τις πλατιές παρειές, αποδίδουν το ήθος Ρωμαίας πατρικίας (Χιωτέλλη, 2020). Μια ομόκεντρη γραμμή κόκκινου γυαλιού, πλάτους τεσσάρων ψηφίδων, σχηματίζει το φωτοστέφανο της Θεοτόκου (Simmons, 2011). Στη μαντήλα της, όπως και στους δύο ώμους, φέρει 3 αστέρια. Αυτά έχουν συμβολική σημασία. Πιο αναλυτικά, συμβολίζουν την άσπορο σύλληψη και την αγνεία της Παναγίας (Παρθένος προ του Τόκου – κατά τον Τόκο – μετά τον Τόκο).

Το Παιδί παρουσιάζεται να κάθεται στο κέντρο της αγκαλιάς της Θεοτόκου και τα πόδια του λυγίζουν στα μητρικά γόνατα, έτσι ώστε το προφίλ του να εκτείνεται προς τα δεξιά σε μια στάση πολύ συχνή σε υστεροβυζαντινές μορφές (Galassi, 1953). Το δεξί του χέρι βρίσκεται σε στάση ευλογίας, ενώ στο αριστερό χέρι απεικονίζεται να κρατά ένα ειλητάριο. (Simmons, 2011). Τα ενδύματα του Χριστού είναι στο χρώμα του χρυσού κάτι που συνηθίζεται στην βυζαντινή τέχνη, καθώς το συγκεκριμένο χρώμα συμβολίζει την δόξα του Τριαδικού Θεού (Todorovic, 2015). Τα πόδια του ακουμπούν σε ένα υποπόδιο το οποίο, όπως και ο θρόνος, είναι στολισμένο με πολυτίμους λίθους. Η σάρκα του Χριστού Παιδιού αποτελείται από το ίδιο λευκό, κρεμ και ροζ μάρμαρο όπως στο δέρμα της Παναγίας. Ένας δακτύλιος από κόκκινο γυαλί, πλάτος τριών ψηφίδων, σκιαγραφεί το σταυρόμορφο του Χριστού φωτοστέφανο και ο σταυρός αποτελείται από προκοννησιακό μάρμαρο. Ο χώρος μέσα στο φωτοστέφανο είναι γεμάτος με χρυσές ψηφίδες. Ο χιτώνας του Παιδιού είναι και εκείνος κατασκευασμένος από χρυσές ψηφίδες, σε αντίθεση με τις σκούρες μπλε ψηφίδες των ρούχων της μητέρας του. Για την απεικόνιση των πτυχών του χιτώνα χρησιμοποιούνται ασημένιες ψηφίδες και καφέ γυαλί (Simmons, 2011). Από χρυσές αψίδες αποτελείται και όλος ο φόντος του ψηφιδωτού (Muzj, 1988).

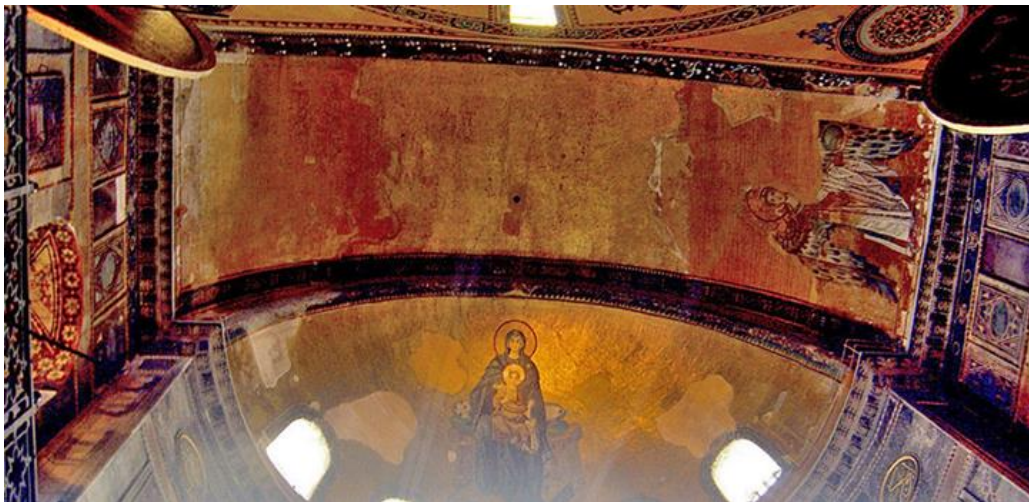


Εικόνα 4: Ψηφιδωτή παράσταση της ένθρονης βρεφοκρατούσας Παναγίας της Αγίας Σοφίας, Κωνσταντινούπολη. Πηγή: Kleinbauer, W.E. 2004, Hagia Sofia, Scala Publishers Ltd and Archeology and Art Publications, pp. 65.

Οι μορφές του ψηφιδωτού απεικονίζονται πλήρεις, εκτός από μια περιοχή απώλειας (περίπου 0,80 μ. ύψος και 0,70 μ.) στην αριστερή πλευρά της Παναγίας που αντιστοιχεί στον αριστερό αντιβράχιο και τον αγκώνα της, το αριστερό χέρι του Παιδιού και μέρος του άνω μαξιλαριού τοποθετημένου στο θρόνο. Υπάρχει, επιπλέον, μια ρωγμή, που προκαλείται από μια δομική ρωγμή στο κέλυφος του ημιτρούλου, η οποία διατρέχει το μέσο της μορφής μέχρι την κορυφή του κεντρικού παραθύρου. Είναι σαφές ότι το ψηφιδωτό κατασκευάστηκε σε μια εποχή που ο ημιτρούλος είχε ήδη υποστεί τις παραμορφώσεις που παρουσιάζει σήμερα. Το ψηφιδωτό της Παναγίας σχεδιάστηκε από μια εξέδρα σε παρόμοιο επίπεδο με τα παράθυρα του ημιθόλου της αψίδας, διότι ο καλλιτέχνης δεν σκέφτηκε την εμφάνιση

του ψηφιδωτού από το έδαφος, αλλά σχεδίασε τη σύνθεση με ελεύθερο χέρι και της έδωσε τις αναλογίες που φαινόταν σωστές από το ικρίωμα του. Φυσικά, δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει καμία μορφή τετραγωνισμένου σκίτσου για να μεταφέρει το σχέδιο στον τοίχο (Mango & Hawkins, 1968).

Η σύνθεση συνοδεύεται εκατέρωθεν από δύο αρχαγγέλους, που παραπέμπουν στην ουράνια αυλή και βρίσκονται στο κάτω μέρος της καμάρας του ιερού (James, 2017). Συγκεκριμένα, οι αρχάγγελοι είναι τοποθετημένοι στη νότια και βόρεια βάση της εσοχής του τόξου στήριξης που προηγείται της κόγχης της αψίδας και προσδιορίζονται συνήθως ως οι Αρχάγγελοι Γαβριήλ και Μιχαήλ (Mygdalis, 2021).



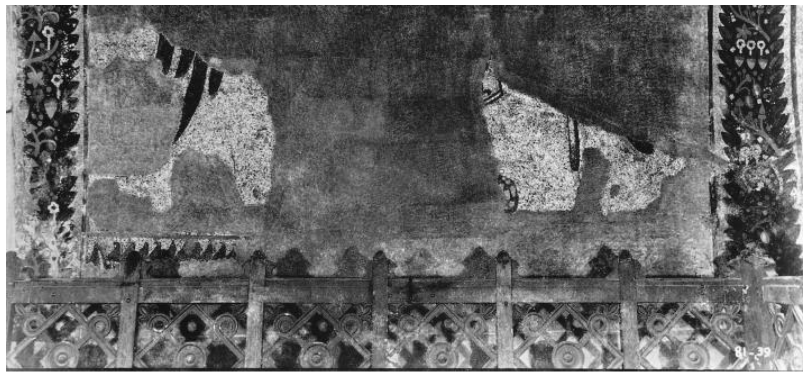
Εικόνα 5: Στην αψίδα του βήματος υπήρχαν τα ψηφιδωτά των αρχαγγέλων Μιχαήλ & Γαβριήλ. Το μωσαϊκό του Michael δεν υπάρχει τώρα, αλλά ο Gabriel επιβιώνει σήμερα.

Πηγή: <https://hagiasophiaturkey.com/bema/>

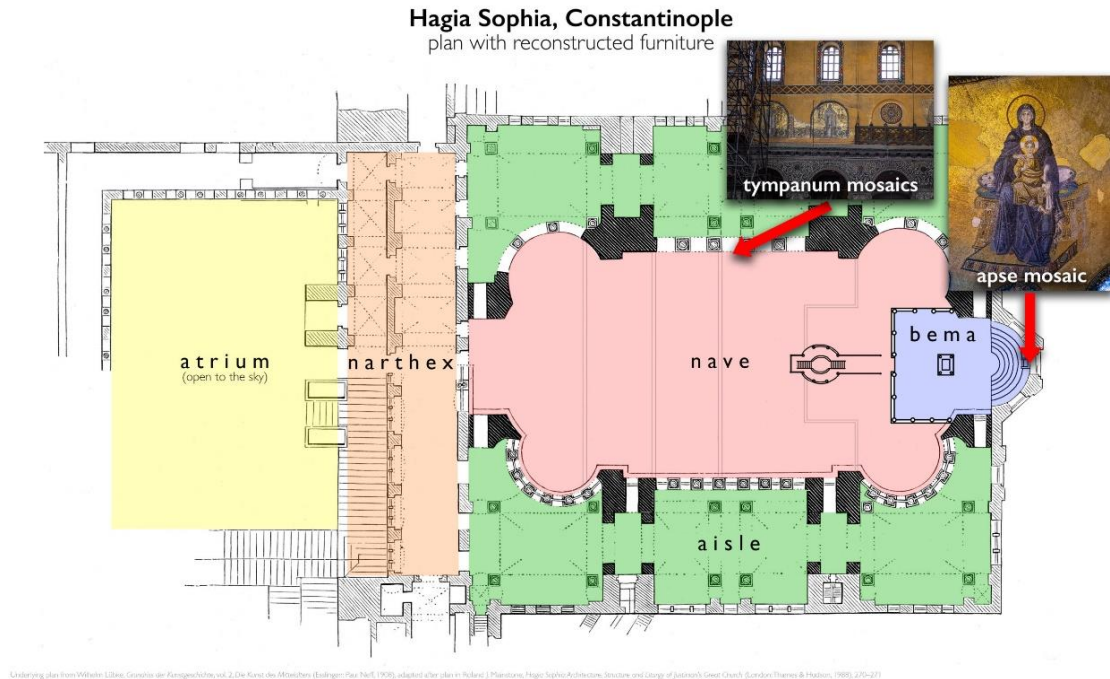
Ο άγγελος στα αριστερά του θεατή, ο Γαβριήλ, στέκεται μετωπικά και κρατά μια σφαίρα στο αριστερό του χέρι και μια ράβδο στο δεξί του. Η μορφή του Μιχαήλ, στα δεξιά, είναι πολύ κατεστραμμένη και έχουν απομείνει μόνο οι άκρες των φτερών και του ραβδιού (Mango & Hawkins, 1965).



*Εικόνα 6: Ο Νοτιος Αρχαγγελος, Γαβριήλ, 9ος Αιώνας, Ψηφιδωτό, Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, Τουρκία. Πηγή: Πηγή: Mango and Hawkins, 1965, *The Apse Mosaic of St. Sophia at Istanbul*, pp. 42.*

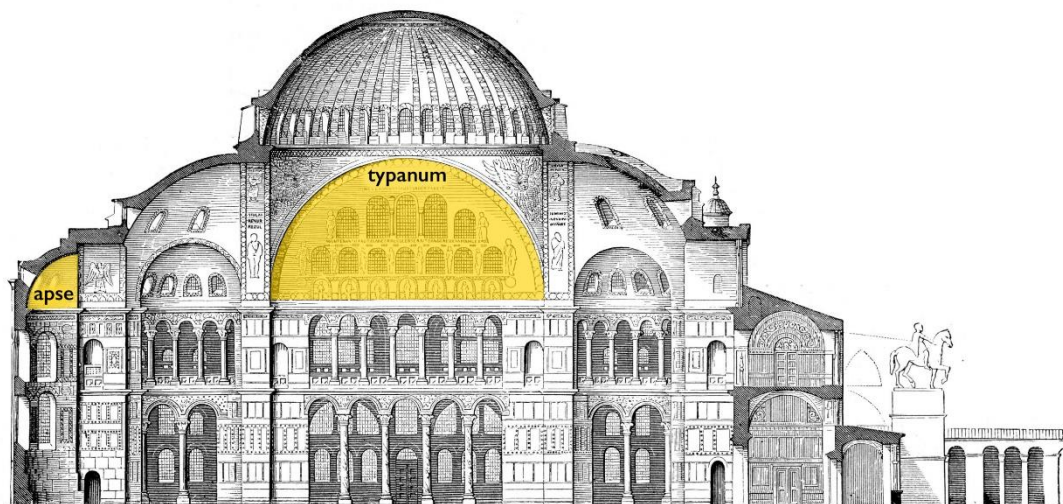


*Εικόνα 7: Μιχαήλ 9ος αιώνας, μωσαϊκό, Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη, Τουρκία Πηγή: Mango and Hawkins, 1965. «*The Apse Mosaic of St. Sophia at Istanbul*», pp. 50.*



Εικόνα 8: Κάτοψη της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολης όπου δείχνει την θέση που τοποθετήθηκε το ψηφιδωτό της αψίδας.

Πηγή: <https://smarthistory.org/wp-content/uploads/2021/02/Plan-HS-apse-and-tympanum-mosaics-scaled.jpg>



Εικόνα 9: Τομή που δείχνει την θέση που τοποθετήθηκε τα ψηφιδωτά της αψίδας της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολεως.

Πηγή: <https://smarthistory.org/wp-content/uploads/2021/02/Plan-HS-apse-and-tympanum-mosaics-scaled.jpg>

2.2.3 Το ψηφιδωτό Θεοτόκος και Παιδί κατά την διάρκεια της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας.

Μετά την κατάκτηση της πόλης από τον Μωάμεθ Β΄ (Mehmed II) το 1453, η Αγία Σοφία μετατράπηκε σε τζαμί, καθεστώς που κράτησε μέχρι την πτώση της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας στις αρχές του εικοστού αιώνα (Arslan, 2021). Την περίοδο αυτή κατασκευάστηκαν μιναρέδες περιμετρικά του κτιριακού συγκροτήματος και προστέθηκαν εξωτερικά στηρίγματα για δομική στήριξη (Herbst, 2021). Τα χριστιανικά ψηφιδωτά καλύφθηκαν με ασβέστη, αλλά μόνο όσα βρισκόντουσαν στα κάτω επίπεδα. Το ψηφιδωτό «Θεοτόκος και Παιδί» κατάφερε να διασωθεί, καθώς βρισκόταν στην κόγχη του ναού. Η Αγία Σοφία έγινε προσωπική ιδιοκτησία του Οθωμανού σουλτάνου και είχε ιδιαίτερη θέση ανάμεσα στα τζαμιά της Κωνσταντινούπολης. Καμία αλλαγή δεν θα μπορούσε να γίνει χωρίς την έγκριση του Σουλτάνου, και ακόμη και οι Ισλαμιστές ζηλωτές δεν μπορούσαν να καταστρέψουν τα ψηφιδωτά αφού ανήκαν στον πρώτο (Villano, 2012).

Το 1609, ο σουλτάνος Αχμέτ Α΄ έκανε μερικές από τις πιο σημαντικές αλλαγές στα ψηφιδωτά της Αγίας Σοφίας. Τα περισσότερα από αυτά ήταν ασβεστομένα για να καλύπτουν τις χριστιανικές απεικονίσεις. Επίσης, διέταξε επιλεκτικά να ζωγραφιστούν τα εικονιστικά ψηφιδωτά της Αγίας Σοφίας με βάση την αποδοχή της εικονογραφίας τους από ισλαμική άποψη (Cohen, 2011). Ωστόσο, φαίνεται ότι τα ψηφιδωτά σε ορισμένα σημεία του κτηρίου αποφασίστηκε να παραμείνουν ακάλυπτα. Για τον Αχμέτ Α΄, κάποια επιλεγμένα ψηφιδωτά θα μπορούσαν να παραμείνουν ορατά υπό την προϋπόθεση ότι τηρούσαν αυτό που εκείνη την εποχή θεωρούνταν αποδεκτό στο Ισλάμ. Το ψηφιδωτό η «Παναγία και το Βρέφος» από την αψίδα, το οποίο πλαισιώνεται από τους αρχαγγέλους Γαβριήλ και Μιχαήλ είναι ένα από τα ψηφιδωτά που διατηρήθηκαν ακέραια (Goodyear, 2021).

Εντούτοις, τεκμηριώθηκε το 1611 ότι είχε τοποθετηθεί πέπλο πάνω από το ψηφιδωτό της Παναγίας και του Βρέφους που θα επέτρεπε στο ψηφιδωτό να είναι ορατό από το ύψος της στοάς, αλλά όχι από τη θέα των πιστών στον χώρο της προσευχής (Cohen, 2011).

Το 1680, ο Guillaume-Joseph Grelot, ένας καλλιτέχνης-ταξιδιώτης, έχοντας περάσει αρκετό καιρό στην Κωνσταντινούπολη, δημοσίευσε ένα βιβλίο με τα σχέδιά του, στα οποία περιλαμβάνει σχέδια και απόψεις του για την Αγία Σοφία (Grelot, 1680). Τα σχέδιά του αποτελούν σημαντικό ιστορικό αρχείο, καθώς δίνουν σημαντικές

πληροφορίες για τον ναό, αλλά και για την κατάσταση του ψηφιδωτού «Θεοτόκος και παιδί» από την αψίδα εκείνη την εποχή. Το σχέδιο του σηκού με άμεση όψη της αψίδας μας φανερώνει ότι το ψηφιδωτό εξακολουθούσε να φαίνεται.



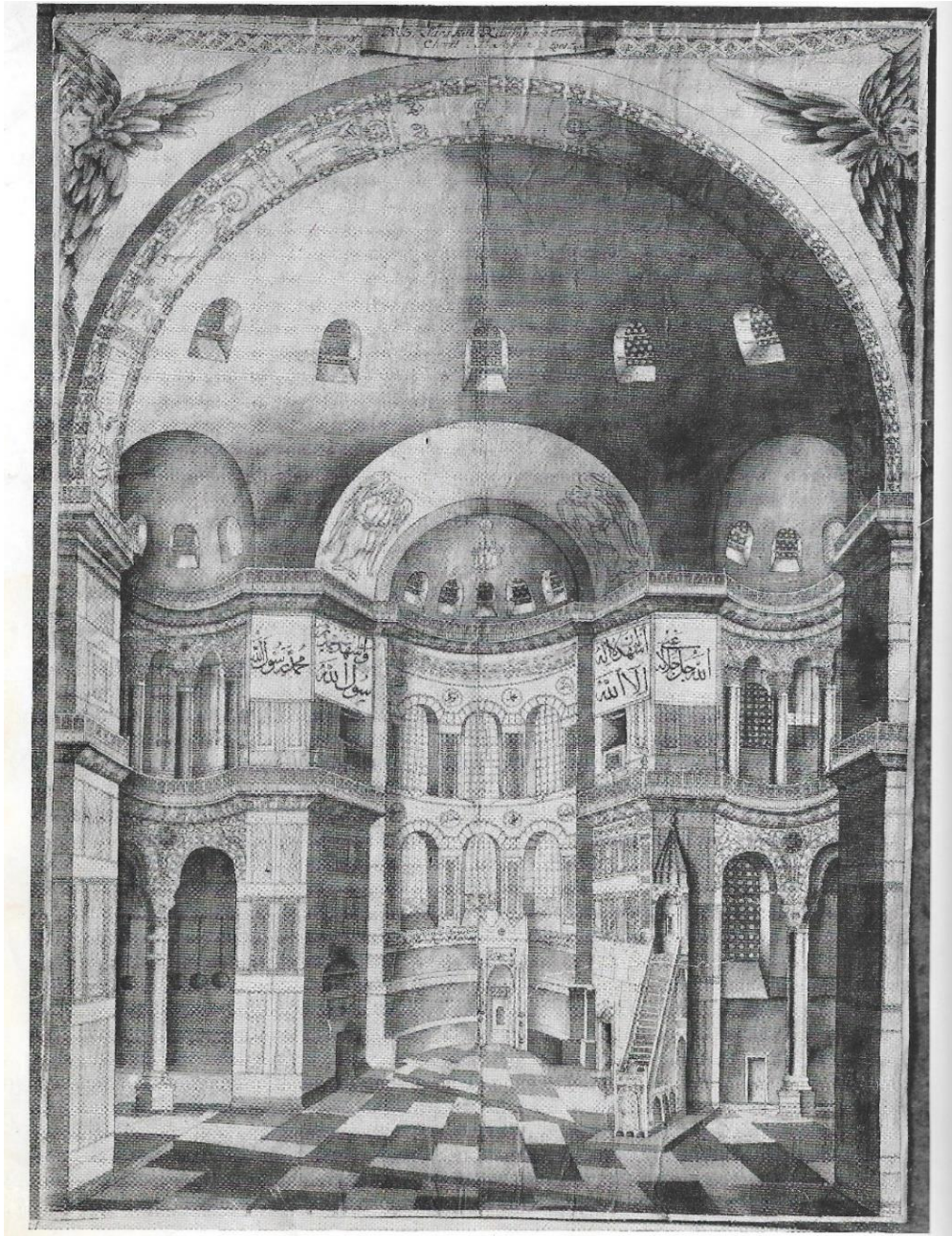
Εικόνα 10: Το σχέδιο του σηκού με άμεση όψη της αψίδας με το ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί, από τον Grelot το 1672, Αγία Σοφία, Κωνσταντινούπολη. Πηγή: Guillaume-Joseph Grelot, «Relation nouvelle d'un voyage de Constantinople, enrichie de plans levez par l'auteur sur les lieux, et des figures de tout ce qu'il y a de plus remarquable dans cette ville», pp.179.



Εικόνα 11: Σχέδιο του Grelot όπου αποτυπώνει τον σήκο με άμεση όψη το ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί από την αψίδα της Αγίας Σοφίας το 1672, Κωνσταντινούπολη. Πηγή: Bibliotheque Nationale de France, συλλογές εικόνων και αρχεία.

Γύρω στο 1710, ο Σουλτάνος Αχμέτ Γ' επέτρεψε σε έναν Ευρωπαίο μηχανικό ονόματι Cornelius Loos, να μπει στο τζαμί για να δημιουργήσει λεπτομερή σχέδια. Ο Cornelius Loos εστίασε στην ζωγραφική αποτύπωση των ψηφιδωτών προσπαθώντας να αποτυπώσει με ευαισθησία και ακρίβεια τις λεπτομέρειες των μορφών και γι' αυτό άφησε ένα ανεκτίμητο αρχείο σχεδίων. Στο ψηφιδωτό Θεοτόκος και Παιδί

διακρίνονται οι Αρχάγγελοι να πλαισιώνουν την ενθρονισμένη Παναγία και το Παιδί. Το σχέδιο του Loos δείχνει σχεδόν την ίδια άποψη με το σχέδιο του Grelot παραπάνω. Το πιο σημαντικό με αυτά τα σχέδια του Loos είναι ότι τα έκανε σχεδόν 300 χρόνια μετά την άλωση της πόλης και τη μετατροπή της Αγίας Σοφίας σε τζαμί.



Εικόνα 12: Σχέδιο του Κορνήλιος Λος το 1710 όπου αποτυπώνει το εσωτερικό της Αγίας Σοφίας με άμεση όψη το ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί από την αψίδα. Πηγή: Mango, 1962, *The Mosaics Of ST. Sophia At Istanbul*, pp. 90.

Το διάστημα μεταξύ 1710 και 1750 μ.Χ. τα ψηφιδωτά της αψίδας καλύφθηκαν με επίστρωση γύψου ή ασβέστη (Mango & Hawkins, 1968).

Το 1839, ο Σουλτάνος Αμπντούλ Μετζίτ Α΄ (Τουρκ. Abdülmecid I) αποφάσισε να διενεργηθούν εργασίες αποκατάστασης της Αγίας Σοφίας την περίοδο 1847-1849. Τα έργα συντήρησης και αποκατάστασης στην Αγία Σοφία τα ανέθεσε στους αδελφούς Fossati (Gaspare και Giuseppe Fossati) (Μυγδάλης, 2021).

Τα έργα, τα οποία διήρκεσαν δύο χρόνια, περιλάμβαναν μεταξύ άλλων ενίσχυση του θόλου και των παράπλευρων ημιθολίων, καθαρισμό των ψηφιδωτών, αντικατάσταση των πολυελαίων κ.ά. (Fossati,1852). Οι εργασίες επικεντρώθηκαν αρχικά σε ενίσχυση, αποκατάσταση και συντήρηση του κτίσματος εσωτερικά και εξωτερικά (Mango, 1962). Στα πλαίσια αυτών των στόχων καθαιρέθηκαν τα επιφανειακά κονιάματα των τοίχων και έτσι αποκαλύφθηκαν τα σχεδόν ξεχασμένα βυζαντινά ψηφιδωτά (Rigo, Babuine & Trizio, 2009). Εντυπωσιασμένοι οι αδελφοί Fossati από τον πολιτιστικό θησαυρό, ζήτησαν την άδεια του Σουλτάνου να τα συντηρήσουν και να τα αποτυπώσουν σε σχέδια. Ο Σουλτάνος ενέκρινε να καθαριστούν τα ψηφιδωτά από τα επιχρίσματα (Fossati, 1852). Ωστόσο, διέταξε να επικαλυφθούν εκ νέου με επίχρισμα, έτσι ώστε να καλυφθούν εντελώς και να μην εξοργίζονται με τη θέα τους οι προσευχόμενοι πιστοί του Αλλάχ. Όλοι οι εσωτερικοί χώροι θα έπρεπε να ασβεστωθούν εξ αρχής και θα ζωγραφίζονταν με νέες διακοσμητικές ανεικονικές συνθέσεις (Goodyear, 2021).

Συγκεκριμένα, στο ψηφιδωτό η Παναγία ένθρονη με το Χριστό παιδί στον κεντρικό χώρο της κόγχης της αψίδας, οι αδερφοί Fossati έβαλαν επίχρισμα (Mango, 1962). Τα ανώτερα τμήματα της αψίδας καλύφθηκαν με λεπτό στρώμα γύψου και διακοσμητικές ταινίες, ενώ το φόντο μεταξύ των ζωνών είναι ζωγραφισμένο με σχέδια των Fossati που μιμούνται χρυσές ψηφίδες, παρόμοια με τις αποκαταστάσεις τους σε άλλους χώρους του κτηρίου (Teteriatnikov,1998).

Ο Gaspare Fossati πριν από την έναρξη και κατά τη διάρκεια της διετούς αποκατάστασης έκανε σχέδια του μνημείου, αλλά και διαφόρων ψηφιδωτών, συμπεριλαμβανομένου και εκείνου της Θεοτόκου με το Παιδί από την αψίδα. Τα έργα της αποκατάστασης αποτυπώθηκαν σε έγχρωμες υδατογραφίες και δημοσιεύτηκαν το 1852 στο Λονδίνο, σ ένα λεύκωμα με τίτλο « Aya Sophia of

Constantinople as Recently Restored by Order of H.M. The Sultan Abdulmedji»
(Mango, 1962).



Εικόνα 13: Θεοτόκος και Παιδί από την αψίδα της Αγίας Σοφίας. Σχέδιο Fossati, 1852
Πηγή: Mango, 1962, *The Mosaics Of ST. Sophia At Istanbul*, pp. 104.



Εικόνα 14: Θεοτόκος και Παιδί από την αψίδα της Αγίας Σοφίας. Fossati Water Colour, 1852
Πηγή: Mango, 1962, *The Mosaics Of ST. Sophia At Istanbul*, pp. 92.



Εικόνα 15: Το ψηφιδωτό Θεοτόκος και Παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας με τις επεμβάσεις των αδερφών Φοσσάτι. Πηγή: Φωτογραφημένο από το προσωπικό του Βυζαντινού Ινστιτούτου, 1934-1940, μέσω της βιβλιοθήκης εικόνων Harvard Hollis, Cambridge.

2.3.1 Διαδικασίες Συντήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί από το Βυζαντινό Ινστιτούτο.

Το 1931, υπό την ηγεσία του Thomas Whittemore, το Βυζαντινό Ινστιτούτο της Αμερικής ανέλαβε την ευθύνη της ανάκτησης των ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας, αφού ήρθε σε επαφή με τον ιδρυτή της Τουρκικής Δημοκρατίας Μουσταφά Κεμάλ Ατατούρκ, ο οποίος μετέτρεψε επίσης την Αγία Σοφία σε μουσείο. Το 1932 ξεκίνησαν οι επίπονες εργασίες για την αποκατάσταση των ψηφιδωτών (Ozlu, 2010).



Εικόνα 16: Φωτογραφία του Thomas Whittemore με τον Mustafa Kemal Pasha Atatürk από απόκομμα εφημερίδας.

Πηγή: *The Byzantine Institute and Dumbarton Oaks Fieldwork Records and Papers.*



Εικόνα17 : Thomas Whittemore σε πρώτο πλάνο βορειοανατολικά της Αγίας Σοφίας, Πηγή: Δημοσίευτη φωτογραφία LIFE από τον Dimitri Kessel, περ. δεκαετία του 1940.

Οι συντηρητές αντιμετώπισαν δύο μεγάλα προβλήματα: την εμπέδωση των αυθεντικών ψηφιδωτών και ασβεστοκονιάματος και την αφαίρεση ή συντήρηση των επισκευών και της ζωγραφικής των Fossati. Αν και μεγάλο μέρος των ψηφιδωτών είχε διασωθεί, ωστόσο ήταν προφανές ότι πολλά από τα ψηφιδωτά ήταν σε εύθραυστη κατάσταση. Σε αρκετά σημεία είχαν πέσει τμήματα γύψου και ψηφιδωτού (Niewöhner & Teteriatnikov, 2014).

Σχετικά με το ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα, οι συντηρητές χρησιμοποίησαν μεταλλικούς συνδέσμους Delta για την ενίσχυση περιοχών του ψηφιδωτού που κινδύνευαν να πέσουν (Teteriatnikov, 1998).



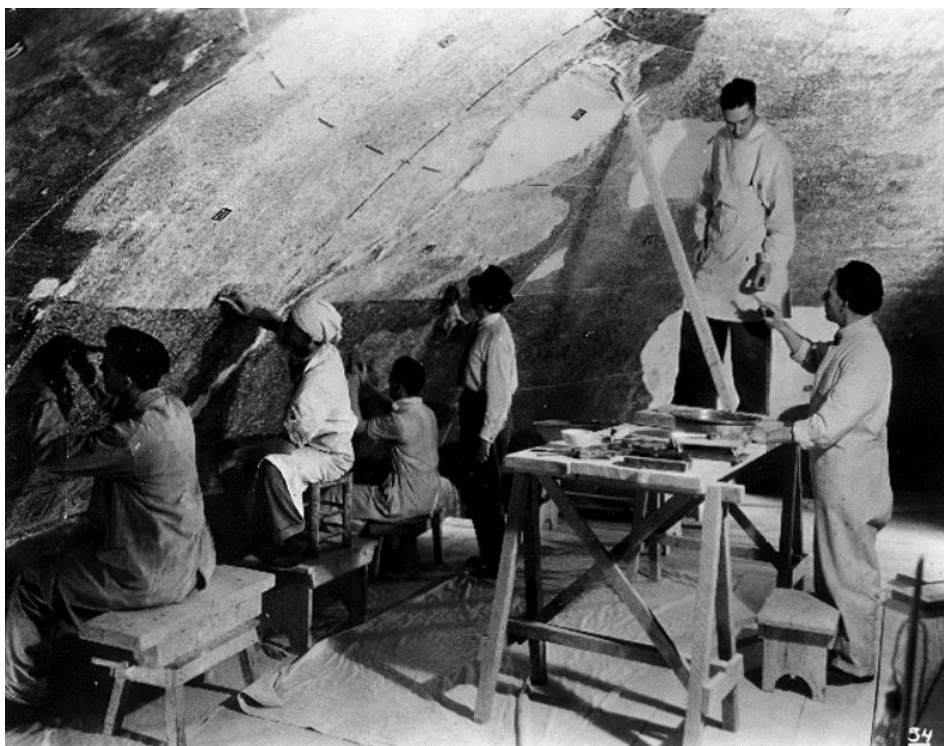
Εικόνα 18: Μεταλλικοί σύνδεσμοι Delta. Ο νέος τύπος συνδέσμων που χρησιμοποιεί το Βυζαντινό Ινστιτούτο για την τοποθέτηση κονιάματος στους τοίχους της Αγίας Σοφίας.

Πηγή: P. Iskender, Βυζαντινό Ινστιτούτο, 1933.

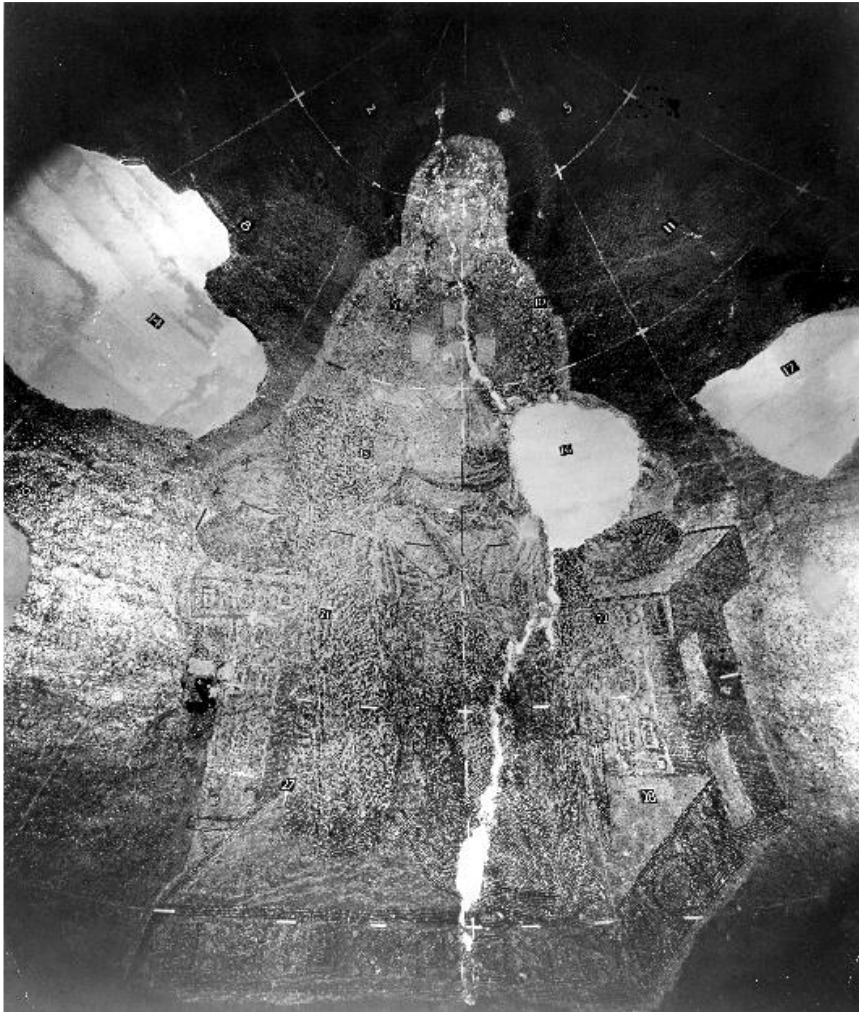
Η διαδικασία απαιτούσε πολλά βήματα. Πρώτον, εάν το κονίαμα του ψηφιδωτού ήταν αδύναμο, οι ψηφίδες θα απομακρύνονταν και το υπόστρωμα θα αφαιρούνταν σε σημείο, ώστε οι πλίνθοι να επιτρέψουν στους εργάτες να ανοίξουν μια τρύπα. Στη συνέχεια, η τρύπα θα πλυθεί με πολυβινυλικό και θα τοποθετηθεί ένας μεταλλικός σύνδεσμος σε βάθος 12 εκατοστών. Οι αποκολλημένες ψηφίδες επανατοποθετήθηκαν κολλώντας τις σε ένα ύφασμα και μετά την ενοποίηση με το κονίαμα το ψηφιδωτό επανατοποθετήθηκε. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε σύστημα αντιστήριξης στην επιφάνεια για στήριξη του κονιάματος. Αυτή η νέα διαδικασία διατήρησε το αρχικό ψηφιδωτό ενισχύοντας τη σύνδεσή του με το κονίαμα και τη λιθοδομή με πλίνθους. Οι συντηρητές ανησυχούσαν ιδιαίτερα για την κατάσταση των πλίνθων ακριβώς πίσω από το κονίαμα κάτω από το ψηφιδωτό. Η σύγκριση των πλίνθων εκεί με άλλους πλίνθους του 6^{ου} αιώνα του κτιρίου αποκάλυψε ότι η πλινθοδομή της κόγχης της αψίδας είναι εκείνης της εποχής και επομένως προηγείται των ψηφιδωτών εκεί, που είναι του 9ου αιώνα (Teteriatnikov, 1998).



Εικόνα 19: Στο ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί τοποθετήθηκε σύστημα αντιστήριξης στην επιφάνεια για στήριξη του κονιάματος. Πηγή: Βυζαντινό Ινστιτούτο.



Εικόνα 20: Εργασίες συντήρησης στο ψηφιδωτό Θεοτόκος και Παιδί στην αψίδα από μία ομάδα συντηρητών που εργάζονται πάνω από τη σκαλωσιά. Πηγή: P. Iskender, Βυζαντινός Ινστιτούτο, περ. 1936.



Εικόνα 21: Μηχανικός καθαρισμός του ψηφιδωτού της αψίδας. Κατά την απομάκρυνση του επιχρίσματος οι συντηρητές ζωγράρισαν ένα πλέγμα 36 τμημάτων στην επιφάνεια της αψίδας για να τους βοηθήσουν να καταγράψουν την πρόοδο της προσπάθειας διατήρησης. Πηγή: P. Iskender, Βυζαντινό Ινστιτούτο, 1935.

Τα αρχαία επιτόπια εργασίας των συντηρητών υποδεικνύουν σημαντικό πειραματισμό με νέα εργαλεία για τον καθαρισμό του ψηφιδωτού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οδοντιατρικά εργαλεία, τα οποία είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα στον καθαρισμό. Η μέθοδος μηχανικού καθαρισμού των ψηφιδωτών απαιτούσε το ξύσιμο της επιφάνειας με ένα αιχμηρό καλέμι και για το γυάλισμα της χρησιμοποιήθηκαν βούρτσες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη διαδικασία ήταν πολύ χρονοβόρα και επίπονη, καθώς κάθε ψηφίδα έπρεπε να καθαριστεί ξεχωριστά (Teteriatnikov, 1998).



Εικόνα 22: Τετράδιο εργασιών πεδίου «Ημερολόγιο Εργασίας II» του A.T. White, Μάρτιος 1935. Πηγή: The Byzantine Institute and Dumbarton Oaks, Fieldwork Records and Papers, ca. τέλη δεκαετίας 1920-2000. Συλλογές εικόνων και Αρχεία Εργασιών πεδίου.



Εικόνα 23: Η Παναγία ενθρονισμένη με το Χριστό παιδί από την κόγχη της Αγίας Σοφίας μετά τις επεμβάσεις συντήρησης του Βυζαντινού Ινστιτούτου. Πηγή: Dumbarton Oaks, συλλογές εικόνων και αρχεία Fieldwork, Washington, D.c.

2.3.2 Διαδικασία παραγωγής αντιγράφων έργων τέχνης των ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας .

Παράλληλα με τη συντήρηση των ψηφιδωτών, το Βυζαντινό Ινστιτούτο διοργάνωσε την παραγωγή αντιγράφων στα τέλη τις δεκαετίας του 30, αλλά και στις αρχές και στα μέσα της δεκαετίας του 1940. Ο λόγος της παραγωγής αντιγράφων ήταν ο φόβος που είχε Whittemore, καθώς ελλόχευε ο κίνδυνος καταστροφής των αυθεντικών ψηφιδωτών εξαιτίας του Β' Παγκοσμίου πολέμου (Nelson, 2004).

Σε μια αχρονολόγητη επιστολή προς τους Robert Woods και Mildred Bliss, τους ιδρυτές του Dumbarton Oaks, συλλέκτες βυζαντινής τέχνης και σταθερούς υποστηρικτές του Βυζαντινού Ινστιτούτου, εξέφρασε την πρόθεσή του να βοηθήσει στη διαφύλαξη αυτών των μνημείων που ανακαλύφθηκαν ξανά για τους επόμενους:

Οι πιο αξιοσημείωτες ψηφιδωτές ζωγραφίες χιλίων χρόνων του Χριστιανισμού στην Τρουλαία Βασιλική της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη, όπως γνωρίζετε, επί του παρόντος έχουν ανατεθεί στη φροντίδα μας. Αυτές οι ζωγραφικές απεικονίσεις, όπως όλες οι μορφές διακόσμησης που ονομάζουμε βυζαντινές, αποτελούν υποχρεωτικά οργανικό μέρος του κτιρίου. Σε αντίθεση με πίνακες ζωγραφικής ή αντικείμενα σε μουσεία, δεν μπορούν να μεταφερθούν σε ασφαλή μέρη. Όπως τα ψηφιδωτά στο χοροστάσιο του Saint Paul's στο Λονδίνο, είναι απροστάτευτα στο μονοπάτι του πολέμου.

Το ενδιαφέρον για αυτόν τον θησαυρό ενυπάρχει τόσο στους Χριστιανούς όσο και στους Μωαμεθανούς. Υπάρχει μόνο ένα πράγμα που μπορούμε να κάνουμε για να τα προστατέψουμε τα ζωγραφικά αυτά έργα για το μέλλον. Αυτό είναι πως πρέπει να αντιγραφτούν χρωματιστά και να μεταφερθούν τα αντίγραφα στην Αμερική. Αυτό το έχουμε αναλάβει. Μοναδικά αντίγραφα από πολλά ζωγραφικά έργα έχουν φτάσει στην Αμερική και ήδη κοσμούν τα μουσεία μας. Αλλά πολλά έργα απομένουν να αντιγραφούν (Delouis, Piatarakis, 2022).

Η μέθοδος παραγωγής εκμαγείων αναπτύχθηκε το 1937-38 στο Fogg Art Museum, με πρωτοβουλία του Whittemore και του διευθυντή του μουσείου, Edward W. Forbes. Ένα από τα αντίγραφα που έκαναν ήταν και το ψηφιδωτό από την κόγχη του ναού

Θεοτόκος και Παιδί. Τα ζωγραφισμένα στο χέρι εκμαγεία κατασκευάστηκαν από τον G. Holt (Εικ. 24). Η ιδέα ήταν να αναπαραχθούν οι διατηρημένες επιφάνειες των ψηφιδωτών και η υφή των ψηφίδων. Ένα καλούπι φτιάχτηκε με την εφαρμογή ενός υφάσματος από cellucotton σε μια βρεγμένη επιφάνεια ψηφιδωτού. Αφού αφαιρέθηκε, το επίθεμα καλύφθηκε με (γομαλάκα) σέλακ (Teteriatnikov, 1998). Όταν στέγνωσε, αυτό το νέο καλούπι (μήτρα) καλύφθηκε με μια λεπτή μεμβράνη λαδιού και από αυτό κατασκευάστηκε ένα εκμαγείο από γύψο που περιείχε ενισχυμένο ύφασμα. Μετά το στέγνωμα, το εκμαγείο ζωγραφίστηκε (Teteriatnikov, 1998)



*Εικόνα 24: Διαδικασία δημιουργίας εκμαγείων του ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί .
Πηγή: Dumbarton Oaks, Αρχείο εικόνας, συλλογής και εργασιών πεδίου, Ουάσιγκτον, D.C. περ.1938.*

Το Μητροπολιτικό Μουσείο της Νέας Υόρκης αγόρασε πολλά από αντίγραφα και ένα από αυτά ήταν της Παναγίας και του Βρέφος από την αγίδα της Αγίας Σοφίας. Το κόστος πέντε εκμαγείων ανήλθε στα 10.000 δολάρια κατά την περίοδο του 1939.

Στις 29 Φεβρουαρίου το 1944 το Μητροπολιτικό Μουσείο της Νέας Υόρκης πραγματοποίησε μια έκθεση αντιγράφων των ψηφιδωτών της Αγίας Σοφίας. Παρών στην εναρκτήρια εκδήλωση για να τιμήσει το συνεχιζόμενο έργο του Βυζαντινού Ινστιτούτου για την αποκάλυψη και τη συντήρηση των ψηφιδωτών ήταν ο Υφυπουργός Εξωτερικών Gardiner Howland Shaw και ο γενικός πρόξενος της Δημοκρατίας της Τουρκίας (Delouis & Pitarakis, 2022).



Εικόνα 25: Γκαλερί Άποψη της Έκθεσης. Αναπαραγωγές Ψηφιδωτών από την Αγία Σοφία, Μητροπολιτικό Μουσείο Τέχνης, Νέα Υόρκη, 1944. Πηγή: The Metropolitan Museum of Art.

Τον Οκτώβριο του 2000 το Μουσείο Μπενάκη με αφορμή την συμπλήρωση των 2000 χρόνων από την γέννηση του Χριστού διοργάνωσε μία έκθεση με τίτλο «Μήτηρ Θεού» με απεικονίσεις της Παναγίας στη Βυζαντινή τέχνη απ' όλο τον κόσμο.

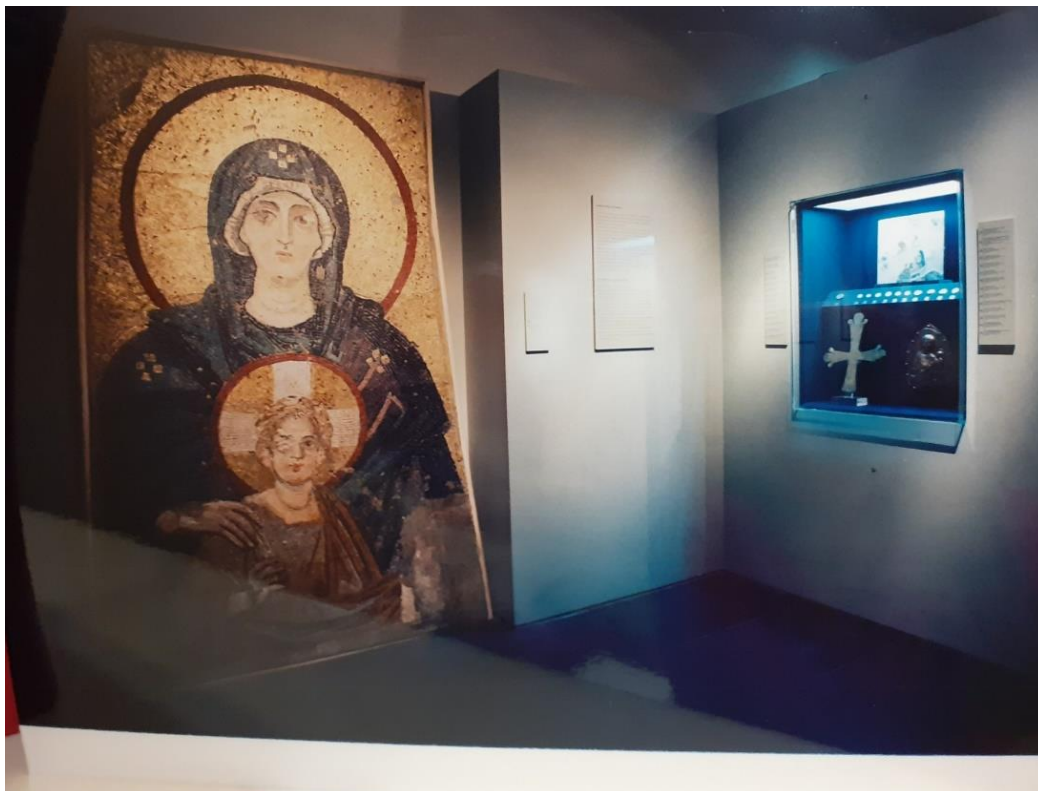
Ανάμεσα σ'αυτά τα έργα ήταν και το αντίγραφο του ψηφιδωτού με την Παναγία Βρεφοκρατούσα, το οποίο τότε άνηκε, ύστερα από αγορά, στο Μητροπολιτικό Μουσείο της Νέας Υόρκης με αρ. ευρ. 43.48.1 (Κληροδότημα Harris Brisbane Dick 1943) ως δάνειο μέχρι τον Ιανουάριο του 2001 για την περιοδική αυτή έκθεση (Βασιλάκη, 2000).



Εικόνα 26: Το κτήριο που στεγάστηκε η έκθεση Μήτηρ Θεού το 2000. Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.



Εικόνα 27: Ο διάδρομος προς την είσοδο της έκθεσης Μήτηρ Θεού το 2000. Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.



Εικόνα 28: Το αντίγραφο ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί στην Έκθεσης Μήτηρ Θεού το 2000 σε έγχρωμη φωτογραφία. Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.



Εικόνα 29: Γκαλερί Αποψη της Έκθεσης Μήτηρ Θεού το 2000 με το αντίγραφο ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί. Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.



Εικόνα 30: Το αντίγραφο ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί στην Έκθεσης Μήτηρ Θεού το 2000. Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.



*Εικόνα 31: Το αντίγραφο ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί στην Έκθεσης Μήτηρ Θεού το 2000 σε έγχρωμη φωτογραφία.
Πηγή: Μουσείο Μπενάκη, συλλογές εικόνων και αρχεία.*

Το αντικείμενο εξακολουθεί να είναι μέχρι και σήμερα παρακαταθήκη του Μητροπολιτικού Μουσείου της Νέας Υόρκης στο Μουσείο Μπενάκη και αποτελεί μέρος της μόνιμης έκθεσης του μουσείου, όπου εκτίθεται στην αίθουσα 10 του εκθεσιακού χώρου των βυζαντινών έργων.



Εικόνα 32: Το αντίγραφο ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί στην μόνιμη έκθεση του Μουσείου Μπενάκη το 2023. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο

Το συγκεκριμένο αντίγραφο ψηφιδωτό (Θεοτόκος και Παιδί) έχει διαστάσεις 226 x 148.6 x 23.5 cm. Είναι κατασκευασμένο από γύψο και η τεχνική ζωγραφικής είναι με τέμπερα. Επίσης, περιμετρικά του αντικειμένου υπάρχει ένα ξύλινο πλαίσιο. Σχετικά με την χρωματική απεικόνιση των ψηφίδων διαπιστώνεται ότι έχουν αποδοθεί σχεδόν πιστά τα χρώματα σε σύγκριση με το αυθεντικό ψηφιδωτό.

Αναλυτικότερα, τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στην σάρκα της Παναγιάς είναι το λευκό, το εκρού (χρησιμοποιείται στη δεξιά άκρη του προσώπου), το κρεμ και το ροζ. Στην άκρη της κάτω γνάθου (του πηγουνιού), καθώς και της αριστερής παρειάς (μάγουλο) υπάρχει μια πινελιά από βερμιγιόν (vermilion). Τα σκιασμένα μέρη του

προσώπου αποτελούνται από μωβ, καφέ, χακί, ανοιχτό πράσινο και κιτρινοπράσινο χρώμα. Επίσης, χρώματα των ψηφίδων των ενδυμάτων της Παναγιάς είναι τρκουάζ, μπλε του κοβαλτίου, σκούρο μπλε και μαύρο. Το φωτοστέφανο της Παναγιάς είναι σε χρυσό και κόκκινο χρώμα.

Παράλληλα, το παιδί παρουσιάζεται με ξανθά μαλλιά. Συγκεκριμένα, οι πιο ανοιχτόχρωμες τρίχες είναι σε κίτρινο-πράσινο χρώμα και οι πιο σκούρες τρίχες είναι σε καφέ χρώμα. Οι αποχρώσεις της σάρκας του προσώπου είναι σε λευκό χρώμα. Χρησιμοποιούνται τρεις τόνοι ροζ χρώματος, οι πιο χλωμοί κυρίως στο μέτωπο και οι δύο πιο έντονοι στις παρειές και το πηγούνι. Στην μύτη και τα ρουθούνια υπάρχει κρέμ χρώμα. Επίσης, υπάρχουν τρεις τόνοι πράσινου χρώματος, δηλαδή, ανοιχτό κίτρινο-πράσινο, κιτρινοπράσινο (κάτω από τα μάτια, στη δεξιά πλευρά του λαιμού και στη δεξιά πλευρά του μετώπου) και ανοιχτό πράσινο (περίγραμμα του δεξιού σαγονιού). Το χακί χρώμα χρησιμοποιείται σε δύο τόνους για να περιγράψει ολόκληρη την αριστερή πλευρά του κεφαλιού και σε συνδυασμό με μωβ-καφέ χρώμα στις σκιές γύρω από τα μάτια και κάτω από το στόμα. Ακόμη, μωβ-καφέ χρώμα χρησιμοποιείται για τη μύτη και τα μάτια. Τα φρύδια, τα βλέφαρα, τα ρουθούνια και οι γωνίες του στόματος είναι μωβ και μαύρου χρώματος. Το περίγραμμα των χειλιών είναι σε βαθύ κόκκινο χρώμα, ενώ το (βερμιγιόν) vermilion χρώμα χρησιμοποιείται στα χείλη, σε μικρές κηλίδες στα μάγουλα, σ'ένα σημείο στο κάτω μέρος του πηγουνιού και μερικές κηλίδες παρατηρούνται στο δεξί αυτί. Τα ενδύματα του Παιδιού είναι σε χρυσό, καφέ και λευκό χρώμα, ενώ το φωτοστέφανο του είναι σε λευκό, χρυσό και κόκκινο χρώμα. Τέλος, το φόντο είναι σε χρώμα χρυσό.

Όσον αφορά, τις διαστάσεις των ψηφίδων, στο φωτοστέφανο του παιδιού οι λευκές ψηφίδες έχουν διαστάσεις 7 χιλ., οι κόκκινες ψηφίδες 8 χιλ. και οι χρυσές 6 χιλ. Στα μαλλιά του παιδιού οι ψηφίδες είναι διαστάσεων 5 χιλ., ενώ στο πρόσωπό του είναι 3 χιλ. Παράλληλα, στα ενδύματα του Παιδιού οι διαστάσεις στο χρυσό είναι 6 χιλ., στο καφέ 5 χιλ. και στο λευκό χρώμα είναι 6 χιλ. Στα ενδύματα της Παναγιάς οι διαστάσεις των ψηφίδων είναι 8χιλ. στο τρκουάζ, 7 χιλ. στο μπλε του κοβαλτίου, 7 χιλ. σκούρο μπλε και 8 χιλ. στο μαύρο. Τέλος, στο φωτοστέφανο της Παναγιάς οι κόκκινες ψηφίδες έχουν διαστάσεις 6 χιλ., και οι χρυσές 5 χιλ., ενώ στο πρόσωπο της οι ψηφίδες είναι ανάμεσα στα 2-3 χιλ.

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, το συγκεκριμένο έργο πωλήθηκε από το Βυζαντινό Ινστιτούτο στο Μητροπολιτικό Μουσείο το 1943 και από το 2000 είναι δάνειο στο Μουσείο Μπενάκη. Καθίσταται απαραίτητο να αναφερθεί ότι το 2000, κατά την μεταφορά του από το αεροπλάνο προς Αθήνα, καταπονήθηκε αρκετά στην κάτω δεξιά γωνία με αποτέλεσμα την αποκόλληση της γωνίας αυτής. Ωστόσο, το έργο συντηρήθηκε και πιο συγκεκριμένα έγινε συγκόλληση στο τμήμα του γύψου της κάτω δεξιάς γωνίας και επιπλέον, πραγματοποιήθηκε στοκάρισμα και αισθητική αποκατάσταση της ρωγμής (από προσωπική επικοινωνία με Β. Φαρμακαλίδου, Δελτία Συντήρησης Μουσείου Μπενάκη 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Η ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΖΩΗ ΤΟΥ ΜΑΚΡΑΙΩΝΟΥ ΡΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΝΤΙΓΡΑΦΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΑΓΑΘΟ

3.1. Ο ρόλος των αντίγραφων έργων τέχνης σε σύγκριση με το αυθεντικό

Τα αντίγραφα έργων τέχνης γίνονται για να αναπαράγουν όσο το δυνατόν καλύτερα το πρωτότυπο έργο. Τα αντίγραφα αποτίνουν φόρο τιμής στο πρωτότυπο, αναγνωρίζουν την αξία του και παράλληλα αντλούν τη δική τους αξία από αυτό. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι στο δοκίμιό του με θέμα τη μίμηση στις τέχνες, ο Adam Smith θεωρεί ότι το ακριβές αντίγραφο ενός έργου τέχνης αξίζει πάντα λιγότερη αξία από το πρωτότυπο έργο. Από την άλλη, αρκετοί ιστορικοί τέχνης πιστεύουν ότι τα αντίγραφα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της μνήμης των χαμένων έργων τέχνης και στην εκπαίδευση νέων καλλιτεχνών (Benhamou & Ginsburgh, 2005).

Ο Walter Benjamin θεωρεί την αναπαραγωγή ως μια μηχανική διαδικασία που δεν περιλαμβάνει δημιουργική ευαισθησία (Kaptan, 2020). Ο στόχος των αναπαραγόμενων έργων είναι να δώσουν με κάθε πιθανό τεχνικό μέσο, συμπεριλαμβανομένης της ψηφιοποίησης, την ίδια την αίσθηση και την ψευδαίσθηση του πρωτοτύπου με ελάχιστη ή καθόλου καλλιτεχνική πρόθεση (Benhamou & Ginsburgh, 2005).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά τη δέσμευση σε μια ρεαλιστική θέση, οι αντικειμενιστές κάνουν συνήθως μια έντονη διάκριση μεταξύ των πρωτοτύπων και των αντιγράφων τους. Οι κονστρουκτιβιστές, ωστόσο, δεν κάνουν τέτοια διάκριση. Η αντίληψή τους για την αυθεντικότητα είναι μάλλον πιο ρευστή. Για αυτούς, η αυθεντικότητα δεν είναι μια αντικειμενική ιδιότητα του αντικειμένου, αλλά κάτι που είναι κοινωνικά κατασκευασμένο. Τα αυθεντικά αντικείμενα είναι προϊόν της οπτικής, του πλαισίου ή των προσδοκιών κάποιου και επομένως δεν θεωρείται ότι είναι καθολικά προσβάσιμα. Έτσι, οι κονστρουκτιβιστές εστιάζουν στην αντιληπτή αυθεντικότητα ενός αντικειμένου. Για αυτούς, δεν υπάρχει «πραγματικότητα ή αλήθεια» στην αυθεντικότητα που να μπορεί να ανακαλυφθεί μέσω της έρευνας, επειδή η αυθεντικότητα είναι ένα διαπραγματεύσιμο χαρακτηριστικό (Cohen, 1988).

Επίσης, η αυθεντικότητα δεν συνδέεται αποκλειστικά με το υλικό του αντικειμένου, αλλά υπόκειται σε ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις με το αντικείμενο, δηλαδή η αυθεντικότητα κατασκευάζεται τουλάχιστον εν μέρει από τον αντιληπτή (va Gerven, Zandstra & Damsma, 2019).

3.2. Έννοια και αύρα που έχουν τα ψηφιακά αντίγραφα

Είτε προκαλείται από έναν πίνακα, ένα γλυπτό, ένα μνημείο ή ένα φυσικό φαινόμενο, μερικές φορές κάποιος βιώνει ένα σχεδόν ανεξήγητο θαυμάσιο συναίσθημα και η λέξη «αύρα» φαίνεται να το αποτυπώνει. Αλλά η αύρα είναι πολύ περισσότερο από μια απλή ταμπέλα για κάποια μυστικιστική ή ψευδομυστική εμπειρία (Battani, 2011).

Το λεξικό Merriam Webster ορίζει την αύρα ως «μια ειδική ποιότητα ή συναίσθημα που φαίνεται να προέρχεται από ένα άτομο, ένα μέρος ή ένα πράγμα». Ωστόσο, έχει μια ιδιαίτερη σημασία κατά την άποψη του Benjamin. Πρώτον, η αύρα σχετίζεται με την ίδια την αυθεντικότητα, επειδή η κατάσταση της αδυναμίας της αύρας βασίζεται στην υποκατάσταση των πολλαπλών στοιχείων της μοναδικότητας. Δεύτερον, η αύρα πρέπει να έχει απόσταση, μια ιδιότητα που εντυπωσιάζει κάποιον για την παρουσία της. Τέλος, είναι σημαντικό να υπογραμμίσουμε την ατομικότητα ως ποιότητα αύρας, καθώς δεν μπορεί να αφαιρεθεί από το κέλυφός της (Budianta, Budiman, Kusno & Moriyama, 2018).

Ωστόσο, αυτό που είναι σαφές από τις διάφορες περιγραφές του για το φαινόμενο είναι ότι η αύρα βιώνεται ως κατάρρευση της διάκρισης μεταξύ εγγύτητας και απόστασης (Battani, 2011).

Για παράδειγμα, στεκόμενος μπροστά από έναν πίνακα όπως η «Μόνα Λίζα», ένας θεατής αισθάνεται την αύρα του έργου, παρά την αυρατική «απόσταση» που δημιουργεί η μοναδικότητά του. Για τον Battani, η «απόσταση» συμβολίζει «το απρόσιτο...το ακατανόητο...το άγνωστο» και η αύρα ενός έργου τέχνης κάνει όλα αυτά να είναι γνωστά. Η εκτίμηση του Battani για τη φύση της αύρας προχωρά προς την υποκειμενική «κατανόηση της αισθητικής εμπειρίας» (Battani, 2011).

Η έννοια της απόστασης είναι κεντρική στην ανάπτυξη της έννοιας της αύρας και της χρησιμότητάς. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο Benjamin πιστώνει την αύρα με την κατάρρευση της διάκρισης μεταξύ εγγύτητας και απόστασης. Η απόσταση είναι αυτό που περιγράφει κάτι ως ξένο και χωρισμένο ίσως και σε πραγματική φυσική απόσταση από ένα κοινό, ενώ η εγγύτητα περιγράφει μια κατάσταση όπου κάτι είναι κοντά και ελεγχόμενο και «ανήκει» σε ένα κοινό, ίσως με έναν καθημερινό περιστασιακό τρόπο. Η «Αύρα», λοιπόν, είναι εκείνος ο χαρακτήρας που προσθέτει μια εγγύτητα, μια οικειότητα, σε κάτι που διαφορετικά θα φαινόταν απίθανο ή μοναδικό και χωρισμένο από το κοινό «καταρρέει» την εγγύτητα και την απόσταση σε μια συνθήκη ιδιαίτερης, ουσιαστικής, κατανόησης (Tsitsos & Breckenridge, 2023).

Ο Walter Benjamin στην θεώρησή του για την αύρα τονίζει ότι τα αυθεντικά έργα τέχνης διευκολύνουν την εμφάνιση της αύρας, ενώ αντίθετα η τελευταία μειώνεται και ‘μαραίνεται’ στην εποχή της μηχανικής αναπαραγωγής (Benjamin, 1936). Έτσι, τα αντίγραφα κατά κάποιο τρόπο σπάνε την αλυσίδα της εγγύτητας (Jeffrey, 2015). Ο Benjamin πιστεύει ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο η ιστορία του ίδιου του αντικειμένου: «Ακόμη και στην πιο τέλεια αναπαραγωγή ενός έργου τέχνης λείπει ένα στοιχείο: η παρουσία του στο χρόνο και τον χώρο, η μοναδική του ύπαρξη στον τόπο όπου συμβαίνει. Αυτή η θεωρητική μοναδική ύπαρξη του έργου τέχνης καθόρισε την ιστορία στην οποία υπαγόταν καθ’ όλη τη διάρκεια της ύπαρξής του. Αυτό περιλαμβάνει τις αλλαγές που μπορεί να έχει υποστεί στη φυσική του κατάσταση όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και τις διάφορες αλλαγές στην ιδιοκτησία του» (Benjamin, 1936). Εδώ είναι που ο Benjamin αρχίζει να μετακινείται από μια μετρήσιμη τεχνητή εννοιολόγηση της αυθεντικότητας σε μια συσχετισμένη υπαρξιακή σχέση. Η ιστορία που έχει βιώσει το αντικείμενο εμφανίζεται τόσο στο συλλογικό, όσο και στο προσωπικό πεδίο. Αυτό παρέχει την «ιστορική του μαρτυρία», η οποία με τη σειρά της καθιερώνει «την εξουσία του αντικειμένου» (Benjamin, 1936). Επομένως, για τον Benjamin η αυθεντικότητα εξαρτάται από δύο προϋποθέσεις: πρώτον την αρχική παραγωγή και δεύτερον την ιστορική μαρτυρία. Στην ιστορική μαρτυρία ο στόχος είναι η αυθεντικότητα, μέσα από την οποία διευκολύνεται η εμφάνιση της αύρας. Έτσι, ένα αντικείμενο αποπνέει αύρα, επειδή διακατέχεται από υπαρξιακή αυθεντικότητα. (Alexander & Dohery, 2022). Ενώ η αυθεντικότητα είναι αντικειμενική, το αντικείμενο είναι μοναδικό και η ιστορική μαρτυρία είναι απόδειξη αυτού, η αύρα πλαισιώνεται από τον παρατηρητή: «Η

μοναδικότητα ενός έργου τέχνης είναι αλληλένδετη με την ενσωμάτωση του στο πλαίσιο της παράδοσης. Αυτή η παράδοση είναι απόλυτα ζωντανή και εξαιρετικά μεταβλητή. Ένα αρχαίο άγαλμα της Αφροδίτης, για παράδειγμα, υπάρχει σε ένα διαφορετικό παραδοσιακό πλαίσιο για τους Έλληνες που το έκαναν αντικείμενο λατρείας, σε σύγκριση με τους κληρικούς του Μεσαίωνα, οι οποίοι το θεώρησαν ως ένα δυσοίωνα είδωλο. Και οι δύο, όμως, ήρθαν εξίσου αντιμέτωποι με τη μοναδικότητά του, δηλαδή την αύρα του». (Benjamin, 1936).



Εικόνα 33: Τα αρχεία του Walter Benjamin: «Τι είναι η Αύρα;», «Το έργο τέχνης στην εποχή της τεχνικής του αναπαραγωγιμότητας»,

Πηγή :Griffin, 2022, *Aura in the post-digital: a diffraction of the curatorial archive.* pp.798.

Ενώ πολλοί μελετητές διατηρούν μια παραδοσιακή άποψη και υποστηρίζουν ότι ένα ψηφιακό αντίγραφο δεν θα μπορέσει ποτέ να προσφέρει μία παρόμοια εμπειρία με αυτή του πρωτοτύπου λόγω της διαμεσολαβημένης και προκατειλημμένης αναπαραστάσης του πρώτου, ο σημερινός ψηφιακός κόσμος εισάγει νέες σκέψεις για την αυθεντικότητα και την αύρα.

Αν θεωρήσουμε ότι το πρόβλημα της αυθεντικότητας δεν βασίζεται στην αύρα, αλλά στη μέθοδο παραγωγής, κάθε νέα μορφή τεχνικής ή τεχνολογίας για την έκφραση της τέχνης μπορεί να έχει την πρωτοτυπία της. Άλλωστε η ψηφιακή τέχνη έχει τη μοναδικότητά της ακόμα και χωρίς αύρα, καθώς ο χαρακτήρας της είναι άυλος. Με αυτή την άυλη φύση, η ψηφιακή τέχνη μπορεί να απορροφήσει κάθε παραδοσιακή μορφή τέχνης στην περιοχή της με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης. Η ψηφιακή τέχνη έχει ασκήσει μια «ουσιώδη κυριαρχία», όπως αποδεικνύεται από την

ψηφιοποίηση. Είναι επίσης ενδιαφέρον να επισημανθεί ότι η ψηφιακή τέχνη δεν χαρακτηρίζεται από έναν μειωμένο χαρακτήρα της «αντανακλαστικότητας». Μπορεί να βοηθήσει τους ανθρώπους να προβούν σε αντιθέσεις και να αναμειγνύουν κάτι εξωπραγματικό με κάτι πραγματικό εντός ενός τομέα (Budianta, Budiman, Kusno & Moriyama, 2018).

Επιπλέον, ο Oliver Grau στο βιβλίο του *Virtual Art*, αναφέρει ότι στον ψηφιακό κόσμο δεν υπάρχει η έννοια του πρωτότυπου ή του αντιγράφου. Στην ψηφιακή τέχνη, η αύρα προέρχεται από την τεχνητή απροσπέλαση ή τη βαθιά, εμπυθιστική επαφή με το έργο (Marković, 2018). Τα ψηφιακά αντίγραφα έχουν πολύπλοκες και δυναμικές σχέσεις με τα αυθεντικά έργα κληρονομιάς που αντιπροσωπεύουν. Αυτά περιλαμβάνουν μορφές μερικής «μετανάστευσης» της αύρας και τη δημιουργία νέων τύπων αξίας και αυθεντικότητας (Di Franco, Galeazzi & Vassallo, 2005).

Ο Laric ενδιαφέρεται για την ιδέα ότι, αντίθετα με τον Benjamin, η αύρα ενός έργου τέχνης μπορεί να μην διασκορπίζεται από την τεχνολογική αναπαραγωγή, αλλά πιθανώς να επαυξάνεται από αυτήν. Το έργο του Laric επισημαίνει τις δυνατότητες της ψηφιακής, κατανεμημένης αύρας ως σύνολο δεδομένων. Μια ανασκόπηση του έργου του προτείνει πως: «Έχει χαθεί ο ρομαντισμός της αύρας σε αυτά τα αντικείμενα. Στη θέση του είναι ένα ειδύλλιο με την πληροφορία ως περιεχόμενο, τα φαντάσματα στη μηχανή – υλικά παρόντα ή όχι. Θα έλεγα μάλλον ότι στα έργα του το αυρικό μεταναστεύει στην πληροφορία, στα δεδομένα. Αυτό εναρμονίζεται με την ιδέα του Groys ότι εάν τα δεδομένα πραγματοποιούνται εκ νέου σε κάθε οθόνη, μέσω κάθε 3D εκτυπωτή ή σε κάθε έκθεση (όπως μια παράσταση μιας μουσικής), είναι πρωτότυπο κάθε φορά και μπορεί να υποστηριχθεί ότι κάθε ψηφιακό αντίγραφο έχει επομένως μια αύρα που δεν έχει ένα μηχανικό αντίγραφο. Ή όπως το θέτει ο Steyerl: «Αυτή η αύρα δεν βασίζεται πλέον στη μονιμότητα του «πρωτότυπου», αλλά στην παροδικότητα του αντιγράφου». (Griffin, 2022)

Το 2011 ο Bruno Latour και ο Adam Lowe δημοσίευσαν μια εργασία με τίτλο 'Η μετανάστευση της αύρας ή πώς να εξερευνήσετε το πρωτότυπο μέσω των τηλεομοιοτυπιών της', η οποία ανταποκρίνεται άμεσα στην εργασία του Walter Benjamin του 1937 'The Aura in the Age of Mechanical Reproduction'. Σε αυτό το άρθρο, οι Latour και Lowe κάνουν μια σειρά από σημαντικά σημεία σχετικά με την έννοια της αύρας όσον αφορά τα αντίγραφα και τις αναπαραγωγές έργων τέχνης. Το πιο σημαντικό από αυτά τα επιχειρήματα σε σχέση με αυτό το έγγραφο είναι η

πεποίθησή τους ότι, σε αντίθεση με τη θέση του Benjamin, είναι ότι κάποιο μέρος της αύρας ενός αρχικού αντικειμένου μπορεί πράγματι να μεταναστεύσει στα αντίγραφα του, σε αντίθεση με τα αντίγραφα που απλώς συγκεντρώνουν τη δική τους αύρα μέσα στο χρόνο. Αυτό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την ποιότητα της παραγωγής αντιγράφων, όπως η τεχνογνωσία, η πρόθεση και η δαπάνη πόρων. Ο Stuart Jeffrey υποστηρίζει το επιχειρήμα των Latour και Lowe σχετικά με τα φυσικά αντίγραφα ή τις αναπαραγωγές και αναφέρει πως αυτό μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε ψηφιακά αντίγραφα, δηλαδή στις ψηφιακές αναπαραστάσεις των έργων τέχνης. Ειδικότερα, θεωρεί ότι η αύρα μπορεί να μεταναστεύσει από ένα πρωτότυπο στις αναπαραγωγές του, στην περίπτωση όπως για παράδειγμα μια ψηφιακή απεικόνιση ενός γλυπτού ή μνημείου. Αυτές οι αναπαραστάσεις μπορούν να προσθέσουν ή να αλλάξουν την αύρα ή την αυθεντικότητα του πρωτοτύπου, καθιστώντας μέρος της συνεχιζόμενης βιογραφίας του πρωτοτύπου στη διαδικασία (Jeffrey, 2015).

Στις αρχές του 1998, ο Henderson (1998) πιστεύει ότι η υψηλή τεχνολογία μπορεί επίσης να έχει αύρα. Συμπτωματικά, ο Hazan (2001) αναλύει τρεις διαφορετικούς τύπους ιστοσελίδων μουσείων και προβάλλει την έννοια της «εικονικής αύρας». Αυτοί οι δύο μελετητές παραδέχονται ότι η αύρα του πραγματικού έργου τέχνης χάνεται σε ένα τέτοιο περιβάλλον ψηφιοποίησης. Ο Hazan θεωρεί ότι η σπανιότητα και η πρωτοτυπία του έργου τέχνης δίνουν στο έργο την αύρα του. Όπως και ο Benjamin, ο Hazan επαινεί τα εικονικά μουσεία που διαδίδουν πληροφορίες και γνώσεις στο κοινό και θεωρεί τη χαμένη αύρα ως την «ανάδυση της εικονικής αύρας», η οποία ασχολείται δημιουργικά και θετικά με τη σχέση της αναπαραγωγής και του πρωτοτύπου έργου τέχνης. Διαπιστώνει ότι τα μουσεία διαμορφώνουν τις δικές τους ταυτότητες, οι οποίες, κατά τη γνώμη του, ανασυνθέτουν τη χαμένη αύρα και σχηματίζουν ένα άλλο είδος νέων πολιτιστικών φαινομένων: την εικονική αύρα. Πιστεύει ότι η άποψη του Benjamin για την αύρα «μπορεί να αμφισβητηθεί από την τεχνολογία, η αναπαραγωγή της οποίας δημιουργεί νέους κώδικες πρόσβασης, αντίληψης και παρουσίασης» (Parry, 2010).

Ο Walsh, επίσης, επικρίνει ακόμη και την παρανόηση του Benjamin για την αναπαραγωγή και υποστηρίζει: Ο Benjamin θεωρεί την αύρα της τέχνης ακριβώς με τον λάθος τρόπο. Είναι η [...] αναπαραγωγή που δημιούργησε την αύρα του πρωτοτύπου. (Walsh, 2007). Οι Bruno και Adam (2001), αντί να επικρίνουν ριζικά

τον Benjamin ,όπως ως Walsh, επισημαίνουν ότι η αναπαραγωγή επιβεβαιώνει «τη δύναμη του πραγματικού έργου τέχνης» (Ding, 2017).

Επιπλέον, ο Betancourt πιστεύει ότι η αναπαραγωγή «αντί να μειώνει την «αύρα» της τέχνης, βοηθά στην επέκταση της αύρας των έργων που αναπαράγονται... όσο ευρύτερα προωθείται ένα έργο τέχνης μέσω της αναπαραγωγής, αύρα του θα αναπαράγεται και εκείνη. Ανάλογα με τη μεταβλητή που βλέπουμε την ψηφιακή ως επέκταση, η εφαρμογή της ίδιας αρχής (προώθηση ως επέκταση) στο ψηφιακή φαίνεται απολύτως λογικό. Αυτή η σχέση επιστρέφει στην ιδέα ότι η αύρα αποτελείται από (τουλάχιστον) δύο συστατικά: τη γνώση και την πεποίθηση για το κοινωνικό πλαίσιο και την προέλευση του αντικειμένου και τη φυσιολογική (αισθητηριακή παρουσία) επίδραση του πραγματικού τεχνουργήματος (Baker, 2018).

Ο Andrew Benjamin προτείνει ότι το κλειδί για την εμπειρία της αύρας ενός αντικειμένου είναι η ιδέα μιας μετά θάνατον ζωής. Όταν κοιτάμε τη φωτογραφία, ανοίγουμε ξανά έναν συγκεκριμένο χώρο εμπειρίας, υπάρχει μια σχέση που υπάρχει μέσα από το χρόνο και το χώρο με τη στιγμή που περικλείεται. Αυτή η στιγμή είναι ταυτόχρονα αιώνια, και συνάμα εφήμερη, πέρασε κι όμως συνεχίζει να υπάρχει στο παρόν. Ενώ τα αναμνηστικά και οι φωτογραφίες αποκτώνται σε τοποθεσίες κοινωνικής σημασίας, είναι η ενσάρκωση των εμπειριών που τους δίνει τη δυνατότητα να επιστρέψουν το βλέμμα μας στην αύρα και την αυθεντικότητα. Επειδή αυτά τα αντικείμενα συνεχίζουν να χτίζουν νόημα στη ζωή μας, έχουν μια μεταθανάτια ζωή, η οποία περαιτέρω χτίζει την αύρα και άρα την αυθεντικότητά τους (Rickly,Boyd, 2012). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι μια αυρατική εμπειρία μπορεί να επικαλεστεί όχι μόνο στην περίπτωση που ένα άτομο έχει προηγουμένως αλληλεπιδράσει φυσικά με ένα αντικείμενο ή τοποθεσία, αλλά και μέσω προηγούμενης αποκτηθείσας γνώσης της ιστορίας αυτού του αντικειμένου. Αυτή η ιδέα μπορεί να γίνει ξεκάθαρα κατανοητή μέσα από το παράδειγμα παλιών φωτογραφιών, καρτ ποστάλ ή γραμματοσήμων, όπου ένα άτομο μπορεί να μην τις έχει δημιουργήσει, αλλά εξακολουθεί να έχει έναν αυρισμό. Εάν η φωτογραφία μπορεί να προσφέρει αυρικές εμπειρίες, μπορεί να υποθέσουμε ότι και ένα ψηφιακό υποκατάστατο που βασίζεται σε ακριβείς μετρήσεις και λεπτομερείς τοπολογικές αναπαραστάσεις και υφές είναι σε θέση να προσφέρει μια εμπειρία παρόμοια με αυτή που προσφέρει η φωτογραφία. Η άμεση φύση της διαφανούς φωτογραφίας, είτε είναι αναλογική είτε ψηφιακή, όπου το φως δημιουργεί μια ευρητηριακή σχέση μεταξύ του

αντικειμένου και της φωτογραφίας, είναι κατά κάποιο τρόπο παρόμοια με τις τεχνικές ψηφιοποίησης της κληρονομιάς, όπως η τρισδιάστατη σάρωση και η φωτογραμμετρία, όπου υπάρχει επίσης ευρητηριακή σχέση με τη μορφή των συντεταγμένων σε έναν ψηφιακό χώρο. Τα ψηφιακά υποκατάστατα συνεπάγονται διαφάνεια κατά τη ροή εργασιών παραγωγής τους, διαφάνεια στον ψηφιακό κόσμο που προκαλεί την αύρα και μπορεί να την ενισχύσει παρέχοντας μια αίσθηση εγγύτητας από απόσταση (Markovic, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΜΟΥΣΕΙΑ

4.1. Η ψηφιακή διάσταση των μουσείων

Ο κεντρικός άξονας της εκπαιδευτικής δραστηριότητας των μουσείων υπήρξε από τα πρώιμα χρόνια της εμφάνισής τους η ιδέα της μάθησης, όπως δηλώνει ο Heip και η ανάγκη να μεταλαμπαδεύσει τη γνώση βοηθώντας τους ανθρώπους που εμπλέκονται στη μουσειακή εμπειρία να αναπτύξουν τις απαραίτητες δεξιότητες που απαιτούνται σε κάθε κοινωνική συνθήκη της κάθε εποχής. Το άλλοτε ξεπερασμένο επιχείρημα ενάντια στην καινοτομία, της αύρας του «αυθεντικού» αντικειμένου, όπως διατυπώθηκε από τον Benjamin Walter στο δοκίμιο του «The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction», έδωσε τη θέση του σε νέες ιδέες ενός «ολιστικού» μουσείου κατά τον Tomislav Sola, έναν χώρο- εργαλείο για τη διάχυση της γνώσης που δεν αποτελεί πλέον «αποθήκη» αντικειμένων και όπου οι ιδέες και οι αξίες έχουν μεγαλύτερη σημασία από τα ίδια τα εκθέματα. Άλλωστε, η κάθε εποχή επιτάσσει καινούρια πρότυπα και δημιουργεί νέες ανάγκες, στις οποίες τα μουσεία καλούνται να προσαρμοστούν, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εκπαιδευτικής πολιτικής της εκάστοτε κοινωνίας και δε δρουν ανεξάρτητα από τις συστημικές αλλαγές (Κουτινα, 2022).

Η αυτοτελής αναπτυξιακή δυναμική του πολιτισμού συνδέεται αναπόφευκτα και με τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κλάδου. Η ψηφιακή διάσταση του πολιτισμού είναι πλέον ένα αναγκαίο εργαλείο πρόσβασης των πολιτών στον πολιτισμό και ένα εργαλείο μετεξέλιξης του μοντέλου και του τρόπου λειτουργίας των φορέων πολιτισμού. Οι νέες τεχνολογίες έχουν δημιουργήσει μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου, όπως είναι η πρόσβαση στις μόνιμες και περιοδικές εικονικές εκθέσεις με δυνατότητα συμμετοχής σε εκπαιδευτικά προγράμματα, εικονικές περιηγήσεις σε σύγχρονες και παλαιότερες εκθέσεις, πρόσβαση σε συλλογές και εκθέσεις σε απευθείας σύνδεση, βάσεις δεδομένων με σημειώσεις που σχετίζονται θεματικά με το αντικείμενο του οργανισμού. Άλλες υπηρεσίες που έχουν να κάνουν με την ταυτότητα του μουσείου περιλαμβάνουν τη στρατηγική του, την πολιτική του σε διάφορα θέματα, τις δράσεις, τις δραστηριότητες και τις λειτουργίες των χώρων του, τα ηλεκτρονικά ενημερωτικά δελτία, αλλά και παροχές του μουσείου όπως η αγορά αναμνηστικών και αντιγράφων έργων τέχνης (Ζμπήτα, 2021).

Έτσι, η τεχνολογία των υπολογιστών εξελίχθηκε σε ένα εργαλείο δουλειάς και προσανατολίστηκε στην επίλυση προβλημάτων διαχείρισης δεδομένων, άρχισε να μετατρέπεται και σε ένα μέσο ερμηνείας και καθορισμού του περιεχομένου και της γλώσσας της μελέτης του παρελθόντος. Ήταν η απαρχή της προσέγγισης αρχαιολογικών προβλημάτων μέσω της επιστήμης των υπολογιστών. Το πεδίο αυτό της επιστήμης, το οποίο ονομάστηκε Εικονική Αρχαιολογία (Virtual Archaeology) αφορά στην ανάλυση των διαδικασιών διαχείρισης και παρουσίασης αρχαιολογικών στοιχείων μέσω τεχνικών τρισδιάστατης απεικόνισης σε υπολογιστή και στοχεύει στην ψηφιακή ανακατασκευή αρχαιολογικών και μη έργων τέχνης και μνημείων, τόσο για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς, όσο και για τη συμβολή στη διατήρηση και προστασία της πολιτισμικής κληρονομιάς. Από τότε και μέχρι σήμερα, η επιστήμη αυτή εξελίχθηκε, και η πιο ολοκληρωμένη μορφή της, είναι η δημιουργία των Εικονικών Μουσείων (Virtual Museums) (Ραβανή, 2018).



Εικόνα 34: Εικονικό Μουσείο Βατικανού.

Πηγή: <https://www.theguardian.com/travel/2020/mar/23/10-of-the-worlds-best-virtual-museum-and-art-gallery-tours>

Επιπλέον, ο τρόπος που χρησιμοποιεί ένα μουσείο το διαδίκτυο μπορεί να αποτελέσει κίνητρο ώστε να επισκεφτεί ο πολίτης το φυσικό χώρο του μουσείου. Η επίδραση της ψηφιακής τεχνολογίας έχει συμβάλει σε πολλούς τομείς των λειτουργιών ενός μουσείου και έχει διευκολύνει την επικοινωνία του με το κοινό τόσο δια ζώσης όσο και εξ αποστάσεως (Ζμπήτα, 2021).

Σύμφωνα με τον Schweibenz, η συνεχώς αυξανόμενη τάση για ψηφιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, ώστε αυτή να μπορεί να είναι προσβάσιμη σε ένα μεγάλο εύρος κοινού, θα οδηγήσει μακροπρόθεσμα σε μια συγχώνευση όλων των θεσμών

που είναι υπεύθυνοι για θέματα πολιτιστικής κληρονομιάς σε παγκόσμια κλίμακα, δημιουργώντας έναν ενιαίο «θεσμό μνήμης» που θα συγκεντρώνει όλες τις ψηφιακές συλλογές σε ένα πλούσιο διαδραστικό περιβάλλον, στο οποίο ο καθένας θα έχει ελεύθερη πρόσβαση, διασφαλίζοντας, έτσι τη διατήρηση τους μέσα στο χρόνο και τη δυνατότητα χρήσης τους για τις επόμενες γενιές. (Κουτινα,2022).

4.2. Προβλήματα τρισδιάστατης ψηφιοποίησης σε μουσειακούς χώρους

Ωστόσο, η ψηφιοποίηση δεν είναι μια διαδικασία ιδιαίτερα εύκολη και οικονομική και οι εργαζόμενοι διαφόρων μουσείων, αλλά και οι εξωτερικοί τους συνεργάτες, έρχονται αντιμέτωποι με πολλά εμπόδια για την δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου. Για παράδειγμα, το Εθνικό Μουσείο στο Σζκζετσίν αποφάσισε να δημιουργήσει ψηφιακά αντίγραφα πέντε κιονόκρανων στηλών για να τα κάνει διαθέσιμα στο εικονικό του μουσείο. Για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων κιονόκρανων, ήταν απαραίτητο να ληφθούν δεδομένα σχήματος και χρώματος από όλες τις πλευρές των αντικειμένων.

Το εξειδικευμένο προσωπικό του μουσείου αντιμετώπισε τα εξής προβλήματα: Καθώς οι πέτρινες κολώνες είναι πολύ βαριές, δεν μπορούσαν να μετακινηθούν από το σημείο έκθεσής τους. Η θέση τους δεν βοηθούσε, διότι βρίσκονταν σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, αλλά και από τους τοίχους του δωματίου που δεν επέτρεπαν την ελεύθερη πρόσβαση από κάθε πλευρά.

Ως λύση αποτέλεσε ο σαρωτής SMARTTECH όπου ήταν εξοπλισμένος με τρίποδα που περιέχουν φορητή βάση και ρυθμιζόμενο ύψος. Αυτό επέτρεψε τη λήψη πλήρους σαρώσεων για κάθε κιονόκρανο, ακόμη και σε πολύ δυσπρόσιτες περιοχές.



Εικόνα 35:Ενεργητική σάρωση του κιονόκρανου μέσω του σαρωτή SMARTTECH στο Εθνικό Μουσείο στο Σζκζετσίν.

Πηγή:<https://www.smarttech3d.com/single-post/3d-scanning-of-medieval-columns-for-digital-museum-collection>

Η απόκτηση τρισδιάστατων δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την προβολή λευκού φωτός πάνω στο αντικείμενο από τον προβολέα σαρωτή. Ο ανιχνευτής της συσκευής διάβασε την καμπυλότητα των ακτίνων φωτός σε σχέση με το σχήμα του αντικειμένου και τις πληροφορίες για το χρώμα του. Στη συνέχεια τα μετέδωσε στον συνδεδεμένο υπολογιστή με εγκατεστημένη την εφαρμογή SMARTTECH3Dmeasure.

Η επεξεργασία των ληφθέντων δεδομένων σ' ένα αποκλειστικό λογισμικό SMARTTECH3D measure δεν απαιτεί πολλές ώρες περίπλοκης εργασίας για να επιτευχθούν τέλεια αποτελέσματα ενός ακριβούς, λεπτομερούς, ευκρινούς μοντέλου.



Εικόνα 36: Ενεργητική σάρωση των κιονόκρανων μέσω του σαρωτή SMARTTECH και του εξοπλισμού του στο Εθνικό Μουσείο στο Σζκζετσίν.

Πηγή: <https://www.smarttech3d.com/single-post/3d-scanning-of-medieval-columns-for-digital-museum-collection>

Όμως, αρκετά μουσεία δεν έχουν την δυνατότητα να προμηθευτούν τους καλύτερους εξοπλισμούς για την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση των αντικειμένων τους λόγω έλλειψης πόρων.

Ωστόσο, η Γκαλερία Ουφίτσι ανέπτυξε μια μεθοδολογία για αποτελεσματική τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αρχαίων γλυπτών με χαμηλό κόστος. Κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης των αντικειμένων, μια ποικιλία διαφορετικών ζητημάτων αντιμετωπίστηκαν στο μουσείο, όπως η εργασία με διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, η τοποθέτηση γλυπτών σε δύσκολα σημεία για λήψη εικόνων, δυσπρόσιτα ύψη και διαφορετικοί τρόποι τοποθέτησης κάμερας σε περιβάλλον όπου απαγορεύεται η χρήση drones. Για την επίλυση τέτοιων ζητημάτων, έγιναν συγκεκριμένες τεχνικές επιλογές για τη μείωση του χρόνου και του κόστους ψηφιοποίησης, διατηρώντας παράλληλα υψηλή συνοχή μεταξύ του φυσικού τεχνουργήματος και του ψηφιακού του.

Ειδικότερα, η ψηφιοποίηση των αντικειμένων σε ένα μουσείο χωρίς η διαδικασία να αποκρύπτεται από το κοινό σημαίνει υιοθέτηση των τεχνολογικών επιλογών, όσο το

δυνατόν περισσότερο, ανάλογα με την κατάσταση. Η θέση των αντικειμένων στο εκθεσιακό περιβάλλον, σε πολλές περιπτώσεις, μπορεί να είναι πολύ ακατάλληλη για τη λήψη εικόνων γύρω από αυτά για φωτογραμμετρία. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για ένα μουσείο όπως η Πινακοθήκη Ουφίτσι, όπου ο αριθμός των έργων που εκτίθενται εκεί είναι τεράστιος και ο διαθέσιμος χώρος για την έκθεση είναι σχετικά περιορισμένος. Ως αποτέλεσμα, πολλά σημαντικά αντικείμενα βρίσκονται κοντά στους τοίχους ή σε ψηλά σημεία (Malik, 2022).



*Εικόνα 37: Ένα γλυπτό κοντά στον τοίχο στην γκαλερί Ουφίτσι.
Πηγή: Malik, 2022. Enhanced Cultural Experience Based On Smart
Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts. pp.57.*



Εικόνα 38: Μεγάλα γλυπτά τοποθετημένα σε ύψος στη «Loggia dei Lanzi» στη Φλωρεντία.
Πηγή: Malik, 2022. *Enhanced Cultural Experience Based On SmartUse Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts*. pp.57.

Στις περιπτώσεις που τα προς φωτογράφιση αντικείμενα βρίσκονται κοντά στον τοίχο, μια πιθανή λύση θα μπορούσε να είναι η φυσική μετακίνηση του αντικειμένου στη μέση του δωματίου για να επιτραπεί η σωστή φωτογραφική λήψη τριγύρω του. Αλλά η μετεγκατάσταση τέτοιων αντικειμένων δεν είναι εύκολη υπόθεση, τόσο για το βάρος τους, που κυμαίνεται από εκατοντάδες έως χιλιάδες κιλά, όσο και για την εγγενή τους αξία, που καθιστά υποχρεωτική τη χρήση των εξαιρετικά δαπανηρών και χρονοβόρων διαδικασιών και προφυλάξεων.

Αναλύοντας την τρέχουσα κατάσταση των αντικειμένων στη Γκαλερία Ουφίτσι, τα οποία βρίσκονται κοντά στον τοίχο, διαπιστώθηκε ότι το 90% από αυτά ήταν σε απόσταση περίπου 20 εκατοστά από τον τοίχο. Αυτός ο χώρος επιτρέπει την είσοδο πίσω από το γλυπτό με μια μικρή κάμερα, ακόμη και αν ο φακός βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση από την επιφάνεια του γλυπτού. Αυτό συνεπάγεται περιορισμένο οπτικό πεδίο και κατά συνέπεια την ανάγκη κάλυψης της επιφάνειας με χιλιάδες εικόνες. Επίσης, η ζώνη πίσω από ένα αντικείμενο είναι συνήθως πολύ σκοτεινή και η λειτουργία χωρίς πρόσθετο φωτισμό θα απαιτούσε αύξηση της ρύθμισης ISO και άνοιγμα του διαφράγματος. Αλλά αυτό θα είχε μεγαλώσει τον κόκκο της εικόνας (the

image grain) και θα μειώνει το βάθος πεδίου, το οποίο είναι ακριβώς το αντίθετο από ό,τι μια λήψη που θα χρειαζόταν από μια μικρή απόσταση (Malik, 2022).



*Εικόνα 39: Δαχτυλίδι LED HVL-RL1 με προσαρτήματα για διαφορετικά μεγέθη φακών.
Πηγή: Malik, 2022. Enhanced Cultural Experience Based On Smart Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts. pp.58.*



*Εικόνα 40: Διαμόρφωση της κάμερας που δοκιμάστηκε στο εργαστήριο πριν από τη χρήση της στο μουσείο.
Πηγή: Malik, 2022. Enhanced Cultural Experience Based On Smart Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts. pp.58.*



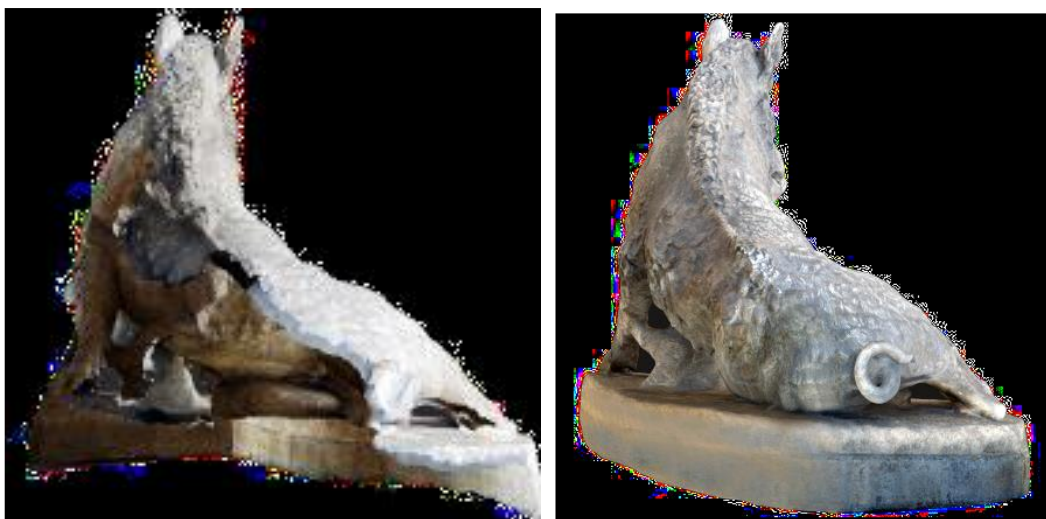
Εικόνα 41: Φωτογραφίζοντας το πίσω μέρος ενός γλυπτού στο μουσείο με εξάρτημα δακτυλιδιού φωτός.

Πηγή: Malik, 2022. Enhanced Cultural Experience Based On Smart Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts. pp.58.

Η λύση που υιοθετήθηκε ήταν η χρήση ενός ευρυγώνιου φακού κατάλληλου για εστίαση σε πολύ μικρή απόσταση από την επιφάνεια (18 cm), σε συνδυασμό με έναν δακτυλιοειδή φωτισμό με συνεχές φως. Αυτό το φως έχει σχεδιαστεί για εγγραφή βίντεο, επομένως, παρέχει συνεχή φωτισμό σε αντίθεση με ένα φλας. Η λειτουργία συνεχούς φωτισμού διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία της αυτόματης εστίασης κατά τη συλλογή του σετ εικόνας ακόμη και από τις πιο σκοτεινές περιοχές του αντικειμένου και εξομαλύνει τις συνθήκες φωτισμού σε κάθε λήψη. Αν και η χρήση ενός φωτός συνδεδεμένου με την κάμερα μπορεί να είναι αμφισβητήσιμη στη φωτογραμμετρία λόγω της πραγματικής αλλαγής του αμοιβαίου προσανατολισμού αντικειμένου-φωτός για κάθε λήψη, η οποία μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση κάθε χαρακτηριστικού στην επιφάνεια του υπό έρευνα αντικειμένου, προηγούμενες πειραματικές εργασίες έδειξαν ότι για μικρές μετατοπίσεις της οπτικής γωνίας, τέτοια επιρροή είναι αμελητέα.

Αυτή η διαμόρφωση δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στο εργαστήριο σε ένα αντικείμενο δοκιμής για να βρεθεί η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της έντασης φωτός, του χρόνου λήψης και του διαφράγματος και η κατάλληλη λήψη σε αυτή την απόσταση με το όσο δυνατόν πιο περιορισμένο θάμπωμα. Χρησιμοποιώντας αυτόν

τον συνδυασμό ευρυγώνιου φακού και φωτισμού, ήταν δυνατό να αποτυπωθούν οι πίσω επιφάνειες των γλυπτών κοντά στον τοίχο και σε πολύ σκοτεινές περιοχές, κάτι που δεν ήταν δυνατό διαφορετικά (Malik, 2022).



(α)

(β)

Εικόνα 42: 3D ψηφιοποιημένο μοντέλο ενός γλυπτού κοντά στον τοίχο: (α) μοντέλο που λαμβάνεται με φακό 24 mm, όπου υπάρχει ένα τεράστιο τμήμα που λείπει. (β) μοντέλο που λαμβάνεται με τον φακό 12 mm και το φωτιστικό δακτυλίου, συμπληρωμένο σε όλες τις περιοχές κοντά στον τοίχο.

Πηγή: Malik, 2022. Enhanced Cultural Experience Based On Smart Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts. pp.59..

Η εκτέλεση ενός φωτογραμμετρικού έργου σε μεγάλα αντικείμενα, όπως αυτά που ανήκουν στη Γκαλερία Uffizi (ύψος έως 3 μέτρα), απαιτεί την κίνηση της κάμερας γύρω από το αντικείμενο και επομένως και σε θέσεις που δεν είναι εύκολα προσβάσιμες. Δύο διαφορετικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται συνήθως για να υπάρξει πρόσβαση σε υψηλότερα σημεία για μια φωτογραμμετρική έρευνα: αναρρίχηση στις σκαλωσιές γύρω από το τεχνούργημα που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί ή χρησιμοποιώντας drone. Η πρώτη προσέγγιση, που χρησιμοποιείται γενικά για την αποκατάσταση των αγαλμάτων, περιλαμβάνει πολλή πρόσθετη εργασία για την τοποθέτηση της δομής της σκαλωσιάς και τη μετακίνησή της γύρω από το αντικείμενο, με αποτέλεσμα να είναι μια λύση πολύ αργή και δαπανηρή, ειδικά για μια συστηματική διαδικασία ψηφιοποίησης που περιλαμβάνει πολλά κομμάτια. Το drone είναι αντίθετα προβληματικό όσον αφορά τις σχετικές άδειες πτήσεων στο κέντρο αρκετών πόλεων. Οι αυστηροί κανονισμοί για τα μη

επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα στις ιταλικές πόλεις, όπου τις περιοχές που φιλοξενούν τα γλυπτά επισκέπτονται εκατοντάδες τουρίστες καθημερινά, εμποδίζουν τις αρχές να επιτρέψουν οποιαδήποτε πτήση, εκτός εάν η περιοχή είναι κλειστή για το κοινό. Και αυτή η προϋπόθεση δεν ήταν πρακτικό να επιτευχθεί, εκτός και αν είχε δαπανηθεί τεράστιος χρόνος για την αντιμετώπιση των συναφών γραφειοκρατικών ζητημάτων. Επομένως, για το έργο της Γκαλερία Uffizi, καμία από τις δύο προσεγγίσεις δεν ακολουθήθηκε. Η απλούστερη λύση ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα ψηλό μονόποδο πάνω στο οποίο η κάμερα ήταν τοποθετημένη. Η κάμερα που χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό έχει τη δυνατότητα να ελέγχεται εξ αποστάσεως με μια φορητή συσκευή όπως ένα smartphone ή ένα tablet. Τόσο το εικονοσκόπιο, όσο και όλα τα φωτογραφικά χειριστήρια μπορούν να μεταφερθούν σε μια φορητή συσκευή και ένας χειριστής μπορεί να αποφασίσει εξ αποστάσεως να εκθέσει, να εστιάσει και να τραβήξει τις λήψεις. Αυτό το συγκεκριμένο μονόποδο είναι ένας στύλος αλουμινίου μήκους 8 μέτρων, κατασκευασμένος από 4 τμήματα των 2 μέτρων το καθένα, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αρθρωτά για να φτάσει τα 2, 4, 6 ή 8 μέτρα ύψος. Ήταν εντυπωσιακά κατάλληλο για τα γιγάντια γλυπτά στη "Loggia dei Lanzi", μπροστά από την Galleria Uffizi και για ένα μέρος της συλλογής της. Τέτοια αγάλματα έχουν ύψος από 2 έως 3 μέτρα φτάνοντας εύκολα τα 4 έως 5 μέτρα απόλυτο ύψος από το πάτωμα. Απεικόνιση αυτών των αντικειμένων από 8 μέτρα επιτρέπει την αποτύπωση όλων των λεπτομερειών των επάνω επιφανειών που διαφορετικά θα χάνονταν. Επιπλέον, η μείωση του ύψους σε βήματα των 2 μέτρων επιτρέπει τη λήψη εικόνων γύρω από το γλυπτό από διαφορετικά ύψη. Παρόλο που αυτή η μέθοδος απαιτεί επιπλέον προσωπικό, τουλάχιστον ένα άτομο για το κράτημα του στύλου και ένα για τη λήψη εικόνων από απόσταση, ο συνολικός χρόνος της έρευνας είναι πολύς λιγότερο από τη χρήση άλλων μεθόδων (Malik, 2022).



(α)



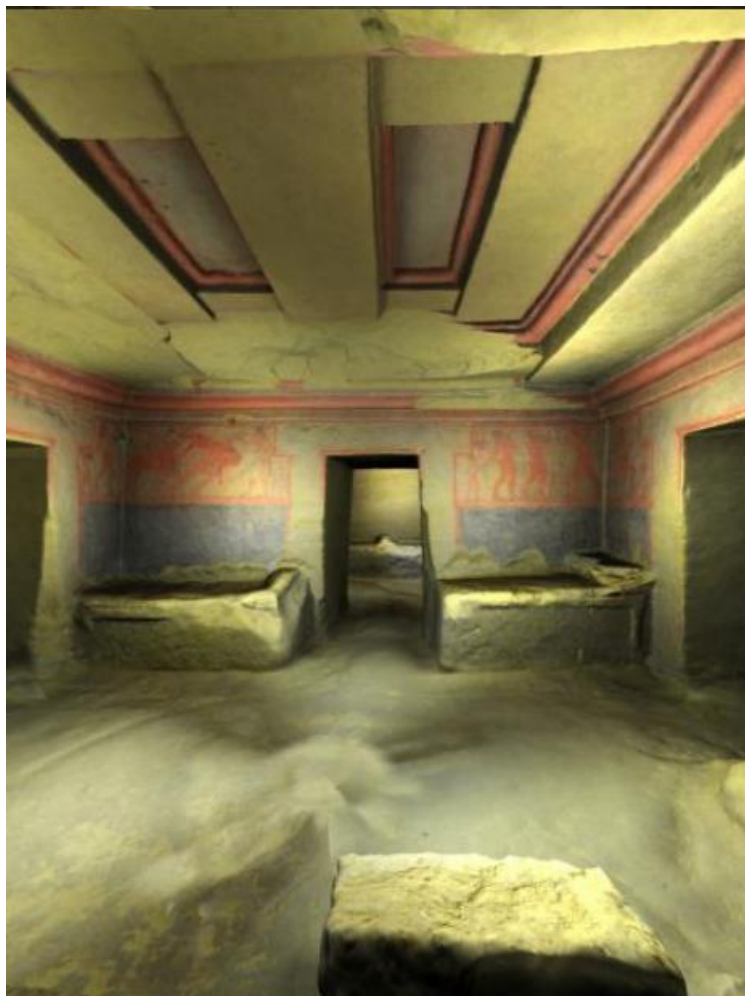
(β)

Εικόνα 43: Μονόποδο για τη λήψη ψηλών γλυπτών στο έργο IU-Uffizi: (α) δομή τεσσάρων τμημάτων του μονόποδου. β) συνθήκες λειτουργίας με δύο άτομα να κρατούν σταθερά τον στύλο και έναν χειριστή να δείχνει τις κινήσεις που πρέπει να γίνουν για να επιτευχθεί το βέλτιστο πλαίσιο.

Πηγή: Malik, 2022. *Enhanced Cultural Experience Based on Smart Use Of 3d Digitized Cultural Heritage Artifacts*. pp.58.

Εκτός από τους μουσειακούς χώρους οι επιστήμονες χρησιμοποιούν την μέθοδο της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης και σε αρχαιολογικούς χώρους, όπως λόγου χάρι σε υπόγειους τάφους τοιχογραφημένους με τη μέθοδο του fresco (νωπογραφία). Ένας από τους λόγους της ψηφιοποίησης των αρχαιολογικών αυτών χώρων είναι διότι οι περισσότεροι από αυτούς τους τάφους είναι μη προσβάσιμοι για τους επισκέπτες. Επομένως τα καταγεγραμμένα και επεξεργασμένα τρισδιάστατα δεδομένα χρησιμοποιούνται κυρίως για τη δημιουργία ψηφιακού περιεχομένου για εικονικές επισκέψεις και μουσειακές εκθέσεις. Παράλληλα, τα παραγόμενα τρισδιάστατα μοντέλα χρησιμοποιούνται επίσης, για αναλύσεις και έρευνες στις γεωμετρίες των τάφων, για αρχαιολογική τεκμηρίωση και ψηφιακή διατήρηση.

Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι ο λεγόμενος Tomb of the Monk που χρονολογείται από τον 5ο αιώνα π.Χ. και βρίσκεται στο Chiusi (Τοσκάνη, Ιταλία). Ο τάφος, σκαμμένος στη σκληρή άμμο, έχει τέσσερα δωμάτια. Το κυρίως δωμάτιο, βρίσκεται σε κεντρική θέση και έχει διαστάσεις 5 x 4 μέτρα σε επιπεδομετρία. Τα άλλα δωμάτια είναι μικρότερα, διαστάσεων περίπου 3 x 3 μέτρα και συνδέονται με το κύριο δωμάτιο μέσω διαδρόμων που έχουν επιπεδομετρία περίπου 0,8 x 2 m. Το ύψος των ταφικών αιθουσών δεν ξεπερνά τα 3 μέτρα και οι περισσότερες σφραγίσεις διαθέτουν ανάγλυφα. Μέσα στα δωμάτια βρίσκονται κάποια ταφικά κρεβάτια και οι τοίχοι είναι βαμμένοι με κοκκινωπό χρώμα.



Εικόνα 44: Tomb of the Monk (Chiusi, Ιταλία). Πηγή: (Koutsoudis, Vidmar, Arnaoutoglou, Remondino, 2012).

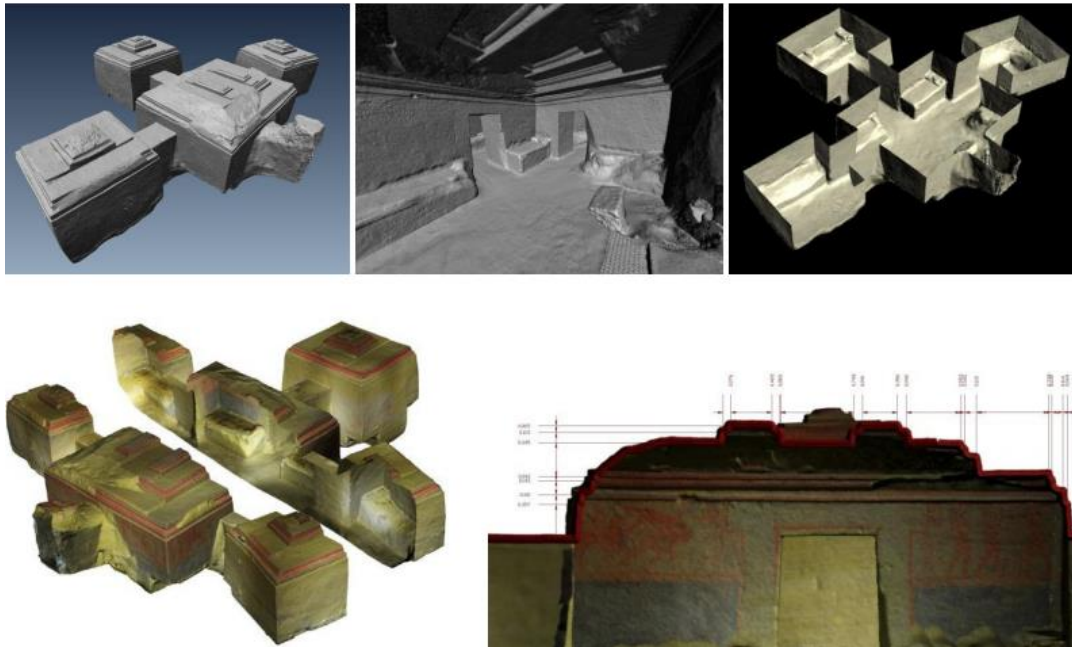
Η ψηφιακή καταγραφή του ετρουσκικού τάφου είναι ένα πολύπλοκο έργο και είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις του. Για παράδειγμα, οι τοιχογραφίες

μέσα στον ετρουσκικό τάφο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε οποιαδήποτε μεταβολή του μικροκλίματος (υγρασία, θερμοκρασία, δονήσεις). Αυτή η προδιαγραφή περιλαμβάνει ειδικούς περιορισμούς, όπως συγκεκριμένος αριθμός ατόμων μέσα στον τάφο, η χρήση απαλού φωτισμού κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης και τεχνικές τοπογραφίας χωρίς επαφή.

Τεχνικές ψηφιοποίησης, όπως η φωτογραμμετρία (με βάση την αρχή του τριγωνισμού και η απαίτηση επικαλυπτόμενων εικόνων, επομένως πολλαπλών θέσεων για τη μέτρηση ενός σημείου 3D), δεν προτείνεται λόγω των πολλαπλών αποφράξεων, των στενών χώρων, της ομαλοποιημένης γεωμετρίας, της συχνά έλλειψης υψούς, καθώς και των κακών συνθηκών φωτισμού. Η φωτογραμμετρία μπορεί να συνδυαστεί με μια τοπογραφική αποτύπωση προκειμένου να παρέχει τις συντεταγμένες ορισμένων σημείων αναφοράς/ελέγχου για τον προσανατολισμό της εικόνας. Ωστόσο, αυτό θα απαιτούσε αρκετή ώρα παραμονής στον τάφο και επίσης τη σήμανση των φυσικών χαρακτηριστικών. Για όλους αυτούς τους λόγους, εκτός από ορισμένες ειδικές αναλύσεις, οι οποίες απαιτούν αποκλειστικούς αισθητήρες, όπως πολυφασματικές κάμερες, η προτεινόμενη τεχνική τρισδιάστατης ψηφιοποίησης για αυτού του είδους τις υπόγειες κατασκευές είναι ένας 3D σάρωτης λέιζερ. Οι σαρωτές TOF είναι ενεργοί αισθητήρες ικανοί να μετρήσουν 360 μοίρες νέφος σημείου από έναν μόνο σταθμό (μονοσκοπική τεχνική) ακόμη και σε περίπτωση σκοτεινού περιβάλλοντος. Οι ψηφιακές εικόνες ανάλυσης αποκτήθηκαν ξεχωριστά με μια βαθμονομημένη κάμερα για χαρτογράφηση υψούς και τεκμηρίωση τοιχογραφιών (Koutsoudis, Vidmar, Arnaoutoglou, Remondino, 2012).



Εικόνα 45: Οι εργασίες ψηφιοποίησης, Tomb of the Monk (Chiusi, Ιταλία). Πηγή: (Koutsoudis, Vidmar, Arnaoutoglou, Remondino, 2012).



Εικόνα 46: Το τρισδιάστατο μοντέλο του Tomb of the Monk (Chiusi, Ιταλία). Πηγή: (Koutsoudis, Vidmar, Arnaoutoglou, Remondino, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ

5.1. Τρισδιάστατα Μοντέλα

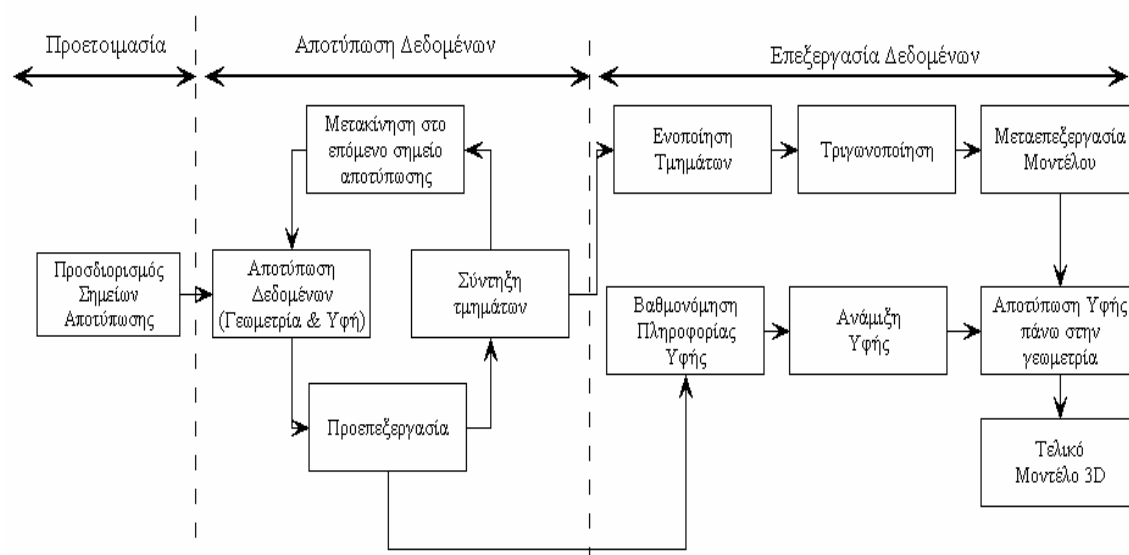
Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή μπορεί να επιτύχει ένα πολύ υψηλό επίπεδο ρεαλιστικής αναπαράστασης, απεικονίζοντας χώρο, φόρμες και χρώματα με τρόπο που προσομοιώνει και δίνει έμφαση στην οπτική εμπειρία. Αυτή η ρεαλιστική αναπαράσταση ωστόσο, δεν είναι αυθεντική, αλλά ένα αντίγραφο του αντικειμένου και συγκεκριμένα ένα ψηφιακό αντίγραφο (Di Franco, Galeazzi, Vassallo, 2005). Στην επιστήμη των υπολογιστών, με τον όρο τρισδιάστατο μοντέλο, εννοούμε τη μαθηματική αναπαράσταση ενός πραγματικού ή φανταστικού τρισδιάστατου αντικειμένου (Δαβερώνα, 2018).

Τις τελευταίες δεκαετίες, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας εξελίχθηκε και η τρισδιάστατη καταγραφή. Η ψηφιακή καταγραφή μας παρέχει αναρίθμητες ευκολίες και επιλογές επεξεργασίας. Οι απεριόριστες δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης της ψηφιοποιημένης πληροφορίας, αλλά και η χαμηλού κόστους μαζική διάθεση και αναπαραγωγή της, αποτελούν ίσως από τα πιο τρανταχτά επιχειρήματα για την υπεροχή της ψηφιακής καταγραφής έναντι κάθε μορφής αναλογικής καταγραφής (Παπαϊωάννου, 2018).

Με την καταγραφή τρισδιάστατων συντεταγμένων, δημιουργούνται τρισδιάστατα μοντέλα, η χρήση των οποίων έχει εφαρμογή σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Η έρευνα στην φωτογραμμετρία μαζί με την ευρεία διαθεσιμότητα προσιτών υπολογιστικών πόρων, έχουν οδηγήσει στην παραγωγή ολοκληρωμένων εφαρμογών σε τομείς όπως για παράδειγμα τη μοντελοποίηση του εδάφους και την ανακατασκευή αρχαιολογικών μνημείων. Η καταγραφή αυτή γίνεται με συσκευές σάρωσης, οι οποίες μπορούν να καταγράψουν εκατοντάδες, ακόμη και χιλιάδες, τρισδιάστατα σημεία ανά δευτερόλεπτο. Ο υπολογισμός των τρισδιάστατων συντεταγμένων ενός αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να γίνει με ποικιλία διαφορετικών μεθόδων και οργάνων. Έτσι, η αποτύπωση του αντικειμένου μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας φωτογραφική μηχανή, αλλά και σαρωτή Laser (Δαβερώνα, 2018).

5.2. Στάδια Δημιουργίας Τρισδιάστατων Μοντέλων

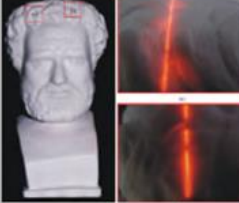


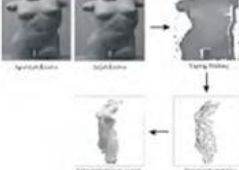

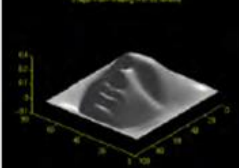
Η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση ενός αντικειμένου είναι μία πολύπλοκη διαδικασία, η οποία αποτελείται από τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιείται η προετοιμασία. Στην φάση αυτή λαμβάνονται ορισμένες αποφάσεις, όπως η τεχνική και η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την ψηφιοποίηση, δηλαδή ο προγραμματισμός των ενεργειών, η επιλογή εξοπλισμού, η λύση στα θέματα ασφάλειας προσωπικού και αντικειμένων κτλ. (Δαβερώνα, 2018). Στο δεύτερο στάδιο, συντελείται η ψηφιακή καταγραφή, όπως για παράδειγμα η σύλληψη των γεωμετρικών δεδομένων. Τέλος, στο τρίτο στάδιο γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση του ψηφιοποιημένου αντικειμένου. Ειδικότερα, πραγματοποιείται το φιλτράρισμα του θορύβου στο νέφος σημείων, την ομαδοποίηση και οργάνωση των δεδομένων, την ευθυγράμμιση και ενοποίηση των τμηματικών σαρώσεων, τη δημιουργία πολυγωνικού πλέγματος και την αξιοποίηση του, την απαλοιφή γεωμετρικών ασυνεχειών και τη δημιουργία υφής (Μαρκόπουλος & Τσάγαρη, 2021). Ένα γενικευμένο διάγραμμα των διαδικασιών που εμπλέκονται σε μια τρισδιάστατη ψηφιοποίηση αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα:

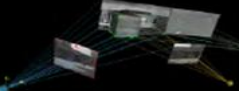



Εικόνα 47: Διάγραμμα Της Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης. Πηγή: Αναγνώστου, 2005 ,Μελέτη Και Μεθοδολογία Ανάδειξης καλών πρακτικών για την Ψηφιοποίηση Πολιτιστικού Περιεχομένου. pp.83

5.3. Μέθοδοι Τρισδιάστατης Ψηφιοποίησης

Το γενικό αυτό πλαίσιο, που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, δεν είναι αναγκαίο να ισχύει πάντοτε. Οι ιδιαιτερότητες των αντικειμένων και των χώρων που συντελείται η ψηφιοποίηση είναι αυτές που καθορίζουν, τις περισσότερες φορές, το τελικό πλαίσιο εφαρμογής των διαδικασιών ψηφιοποίησης. Επιπλέον, πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι ιδιαιτερότητες αυτές μπορεί να συμβάλλουν σημαντικότερα ή, ακόμη, και να καθορίζουν την επιλογή της τεχνικής που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Ο κανόνας είναι ότι δεν υπάρχει μία γενικής χρήσης άριστη μέθοδος τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Για την ακρίβεια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου καμία από τις διαθέσιμες μεθόδους δεν μπορεί να οδηγήσει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα τρισδιάστατης αποτύπωσης. Η παρακάτω εικόνα (εικ. 48) συγκεντρώνει όλες τις διαθέσιμες τεχνικές τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Συγκεκριμένα, δίνεται ο τίτλος της μεθόδου, μια συνοπτική περιγραφή της, καθώς και μια χαρακτηριστική εικόνα που αναπαριστά τη διαδικασία (Παυλίδης, Σεβελίδης & Χαραλαμπίδου, 2014).

Απεικόνιση	Περιγραφή μεθόδου
	<p>Σάρωση με ακτίνες λέιζερ (laser triangulation) Προβολή δέσμης ή μοτίβου ακτίνων λέιζερ, ανίχνευσή τους και εφαρμογή γεωμετρικών σχέσεων τριγωνισμού για την αναγνώριση γεωμετρίας</p>
	<p>Σχήμα από δομημένο φωτισμό (shape from structured light) Προβολή χρωματικού (ή όχι) μοτίβου, δισδιάστατη φωτογράφιση και αναγνώριση γεωμετρίας από τις παραμορφώσεις στο μοτίβο</p>
	<p>Σχήμα από σιλουέτες (shape from silhouette) Πολλαπλή δισδιάστατη φωτογράφιση και ανακατασκευή γεωμετρίας από τις πολλαπλές σιλουέτες</p>
	<p>Σχήμα από στερεοφωτογράφιση (shape from stereo) Αναγνώριση γεωμετρίας από ζεύγος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης</p>
	<p>Σχήμα από κίνηση (shape/structure from motion) Αναγνώριση γεωμετρίας από πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση αλγορίθμων αναγνώρισης της τρίτης διάστασης παρόμοιους με τη μέθοδο Σχήμα από στερεοφωτογράφιση</p>
	<p>Σχήμα από φωτοσκίαση (shape from shading) Μέθοδος δημιουργίας τεχνητής, μεταβλητής και ελεγχόμενης φωτοσκίασης για την εξαγωγή τρισδιάστατης γεωμετρίας με εφαρμογή κανόνων οπτικής σε πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών</p>

	<p>Φωτογραμμετρία Μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας μέσω καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας</p>
	<p>Σάρωση με λέιζερ πεδίου Ανάκτηση γεωμετρίας χώρου από μέτρηση του χρόνου πτήσης (διαφορά χρόνου αποστολής από το χρόνο επιστροφής λόγω ανάκλασης) δέσμης λέιζερ (είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο φάσμα)</p>

 <p>Αρχική φωτογραφία Τεχνητά κειμήλια Ελάχιστη γεωμετρία Τρισδιάστατη ανακατασκευή</p>	<p>Σχήμα από υφή (<i>shape from texture</i>) Ανάκτηση πληροφορίας τρίτης διάστασης σε δισδιάστατες φωτογραφίες με την εκμετάλλευση πληροφορίας προσανατολισμού και διάχυσης δομικών στοιχείων επιφανειακής υφής</p>
 <p>Σχισμοειδής φωτομετρία</p>	<p>Σχήμα από φωτομετρία (<i>shape from photometry</i>) Μέθοδος λήψης δισδιάστατων φωτογραφιών υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και ανάκτηση τρισδιάστατης γεωμετρίας μέσω αλγορίθμων οπτικής</p>
	<p>Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση (<i>shape from focus</i>) Ανάκτηση τρίτης διάστασης σε επιφάνειες μέσω σειράς δισδιάστατων φωτογραφιών με ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη εστίαση</p>
	<p>Σχήμα από σκιά (<i>shape from shadow</i>) Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω παρακολούθησης της σκιάς σε διαδοχική δισδιάστατη φωτογράφιση σε συνθήκες όπου υπάρχει μετακινούμενη πηγή φωτός</p>
	<p>Σάρωση με συστήματα αφής (<i>measuring systems</i>) Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω συνεχούς επαφής ειδικού αισθητηρίου αφής με το αντικείμενο που ψηφιοποιείται</p>
	<p>Εμπειρικές ή τοπομετρικές μέθοδοι Ανάκτηση γεωμετρίας με μηκομετρήσεις τριγώνων (τριπλευρισμούς), διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία</p>
	<p>Τοπογραφικές μέθοδοι Τυπικές μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας με χρήση τοπογραφικών οργάνων, όπως ο θεοδόλιχος, τα αποστασιόμετρα, οι γεωδαιτικοί σταθμοί</p>

Εικόνα 48: Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης. Πηγή: Παυλίδης, Σεβελίδης & Χαραλαμπίδου, 2014. Τεχνική αναφορά. Βελτίωση τεχνικών ψηφιοποίησης και μοντελοποίησης. pp.7,8.

5.4. Παθητικές και Ενεργητικές μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης

Ο βασικότερος διαχωρισμός της μεθοδολογίας ψηφιοποίησης είναι σε ενεργητικές και παθητικές μεθόδους. Στις ενεργητικές μεθόδους το σύστημα σάρωσης εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου, ενώ στις παθητικές μεθόδους γίνεται κατά κύριο λόγο χρήση του περιβαλλοντικού φωτισμού και τα στοιχεία που αποτυπώνονται είναι αυτά που είναι εμφανής στις ψηφιακές εικόνες (Μαρκόπουλος & Τσάγαρη, 2021).

Αναλυτικότερα, στην ενεργητική μέθοδο, τα μέσα και τα όργανα που χρησιμοποιούνται παράγουν μια μορφή ενέργειας ή φωτός και στη συνέχεια ανιχνεύουν την αντανάκλασή της προκειμένου να εξετάσουν ένα αντικείμενο ή ένα περιβάλλον. Πιθανοί τύποι ενέργειας είναι το φως, οι υπέρηχοι ή οι ακτίνες X (Αδαμόπουλος, 2021).

Στη μέθοδο αυτή δύναται να χρησιμοποιηθούν οι εξής σαρωτές:

1. Οι σαρωτές τύπου Laser, οι οποίοι μετρούν το χρόνο που κάνει η δέσμη να φτάσει στο αντικείμενο και να επιστρέψει στη συσκευή ή τη διαφορά φάσης (Time of flight, PhaseShift).

2. Με σαρωτές δομημένου φωτός, οι οποίοι καταγράφουν την παραμόρφωση των δεσμών πάνω στο αντικείμενο με τη χρήση μίας κάμερας, και ανάλογα της πυκνότητας των δεσμών, προβαίνουν σε προσδιορισμό της γεωμετρίας του αντικειμένου. Όσο πιο πυκνές είναι οι δέσμες, τόσο πιο ακριβής είναι η αποτύπωση, καθώς γίνονται αντιληπτές περισσότερες λεπτομέρειες του υπό εξέταση αντικειμένου.

3. Single image split

Αντίθετα στην παθητική μέθοδο, τα μέσα και τα όργανα δεν παράγουν κάποια μορφή ενέργειας, αλλά ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ακτινοβολίας του περιβάλλοντος. Η ανίχνευση μπορεί να αφορά τόσο το ορατό φως, καθώς είναι ένα εύκολα ανιχνεύσιμο είδος ακτινοβολίας περιβάλλοντος, όσο και το υπέρυθρο (Αδαμόπουλος, 2021).

Μέσα αυτής της μεθόδου είναι:

1. Χρήση φωτογραφικών μηχανών και στερεοσκοπική παρατήρηση με φωτογραμμετρικές μεθόδους.
2. Shape from Silhouettes
3. Shape from Shading
4. Stereo vision

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο αυτών μεθόδων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.

Ενεργητική μέθοδος	Παθητική μέθοδος
<p>Παράγουν δική τους ενέργεια και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μέτρηση επιφανειών σε πολλά είδη περιβάλλοντος. Είναι δηλαδή μία μέθοδος που ανεξαρτητοποιείται από το εξωγενές περιβάλλον.</p> <p>Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι σαρωτές που έχουν καλώδια, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εφαρμογή τους σε περιβάλλον χωρίς ρεύμα και πρίζες.</p>	<p>Δύσκολη η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων σε περιβάλλον με έλλειψη φωτισμού, καθώς επηρεάζονται άμεσα από αυτό.</p>
<p>Απαιτεί ακριβό εξοπλισμό.</p>	<p>Είναι οικονομική μέθοδος, καθώς δεν απαιτεί ακριβό εξοπλισμό.</p>
<p>Οι συντεταγμένες του υπό ψηφιοποίηση αντικειμένου αποκτούνται από εξωτερικές πληροφορίες, όπως τη γωνία σάρωσης, την ώρα σάρωσης ή το σχήμα των προβαλλόμενων μοτίβων.</p>	<p>Αποτελεί μία χρονοβόρα διαδικασία.</p>
<p>Είναι δύσκολη η αποτύπωση όταν οι άκρες των επιφανειών είναι</p>	<p>Εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια σε γνωστές επιφάνειες, όπως είναι οι</p>

ποικιλόμορφες ή όταν υπάρχουν απότομες ασυνέχειες και ακμές.	ακμές.
Λεπτομερής αποτύπωση αντικειμένου.	

5.5. Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσει παθητικής σάρωσης μέσω φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία είναι μία έννοια γενικευμένη, η οποία ορίζεται ως η επιστήμη, η τέχνη και η τεχνολογία που χρησιμοποιεί εικόνες για να αντλήσει από αυτές αξιόπιστη μετρική πληροφορία. Ο όρος φωτογραμμετρία (photogrammetry και photogrammetrie στην ξένη βιβλιογραφία) είναι ελληνική λέξη και προέρχεται από τη σύνθεση των λέξεων φως, γραμμή και μέτρηση. Η φωτογραμμετρία είναι η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου μέσω πολλαπλών φωτογραφικών λήψεων. Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας δεν απαιτεί τη φυσική επαφή με τα αντικείμενα, ώστε να πάρει τις απαραίτητες πληροφορίες (Λειβαδιώτη, 2022). Οι φωτογραφίες αυτές πρέπει να περιλαμβάνουν όλες τις απόψεις του αντικειμένου. Τα λογισμικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω επεξεργασία των φωτογραφιών, έχουν την δυνατότητα να αντιστοιχούν αυτόματα σημεία από την εκάστοτε φωτογραφία, την προοπτική της και την κλίμακα της. Με αυτή την σύζευξη των φωτογραφιών καταφέρνουν να αναπαράγουν το τρισδιάστατο μοντέλο. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται και με τον όρο "παθητική τρισδιάστατη απεικόνιση". Είναι ένας μη καταστρεπτικός τρόπος αναπαραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων, ο οποίος δίνει ένα πολύ καλό τρισδιάστατο αποτέλεσμα (Μπάκου, Λεούση, Σταμακολιού, 2021).

5.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση βάσει ενεργητικής σάρωσης μέσω σαρωτή

Ο σαρωτής δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο μέσα από ένα σύννεφο σημείων-στόχων που εντοπίζει πάνω στο αντικείμενο. Τα σημεία αυτά, μοιράζονται το ίδιο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε ένα φέρει πληροφορία που το τοποθετεί σε μία συγκεκριμένη θέση μέσα στον τρισδιάστατο χώρο και αντιστοιχεί σε μια θέση πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου που ψηφιοποιήθηκε. Υπάρχει πλήθος κριτηρίων με τα οποία κατηγοριοποιούνται οι σαρωτές, σαρωτές επαφής (contact 3D scanners) και σαρωτές μη επαφής (non contact 3D scanners). Οι δύο αυτές βασικές κατηγορίες αποδίδονται στην μέθοδο λήψης σημείων της επιφάνειας του αντικειμένου, ανάλογα με το αν έρχονται ή όχι σε φυσική επαφή με το αντικείμενο. Οι σαρωτές μη επαφής μπορούν να χωριστούν σε ενεργητικούς και παθητικούς (Μπάκου, Λεούση, Σταμακολιού, 2021).

Οι σαρωτές επαφής έρχονται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο και ακουμπάνε σε μια επίπεδη επιφάνεια. Γι'αυτό το λόγο, αυτού του είδους οι σαρωτές ενδείκνυται για σάρωση κυρίως σε επίπεδη επιφάνεια. Μάλιστα, αν η επιφάνεια έχει καμπυλότητα τότε πραγματοποιεί αλλοίωση της γεωμετρικής επιφάνειας του αντικειμένου.

Αντίθετα, οι σαρωτές μη επαφής σαρώνουν καμπύλες επιφάνειες χωρίς όμως να τους αλλοιώνουν την γεωμετρικότητα τους. Οι σαρωτές μη επαφής κατηγοριοποιούνται σε ενεργητικής και παθητικής τεχνικής. Η πλειονότητα των ενεργητικών σαρωτών εκπέμπουν ένα είδος φωτός με την μορφή λέιζερ. Μάλιστα, ενώ οι ενεργητικοί σαρωτές εκπέμπουν οι ίδιοι το φως για τη σάρωση, οι παθητικές τεχνικές μη επαφής βασίζονται στην ανακλώμενη ακτινοβολία του περιβάλλοντος και έτσι ανιχνεύουν το ορατό φως, το οποίο είναι άμεσα διαθέσιμο. Οι σαρωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούν παθητικές τεχνικές είναι χαμηλότερου κόστους σε σύγκριση με αυτούς που χρησιμοποιούν ενεργητικές τεχνικές, διότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτούν συγκεκριμένο υλικό, αλλά απλές του εμπορίου ψηφιακές κάμερες (Μπάκου, Λεούση, Σταμακολιού, 2021).

5.7. Τρισδιάστατη ψηφιοποίηση μέσω σαρωτή laser

Οι σαρωτές laser είναι όργανα τα οποία μπορούν να συλλέξουν από τον περιβάλλοντα χώρο στοιχεία για την θέση διακεκριμένων σημείων, αλλά και στοιχεία που σχετίζονται με την εμφάνισή τους. Τα δεδομένα αυτά μπορούν, ύστερα από την κατάλληλη επεξεργασία να μας δώσουν τρισδιάστατα μοντέλα. Ο σκοπός του σαρωτή λέιζερ (laser scanner) είναι να δημιουργήσει ένα «νέφος σημείων» αποτυπώνοντας με λεπτομέρεια τα διακριτά σημεία της επιφάνειας του αντικειμένου. Αυτά τα σημεία μετά την επεξεργασία τους δύναται να σχηματίσουν μία πιστή εικόνα του αντικειμένου (Συμεωνίδης, 2007).

Οι πιο δημοφιλείς σαρωτές είναι οι σαρωτές χειρός (handheld scanners), οι οποίοι είναι φορητοί και μικροί στο μέγεθος συσκευής.

Οι σαρωτές της εταιρίας Artec και συγκεκριμένα ο σαρωτής Artec Leo είναι ένας ασύρματος και πλήρως αυτόνομος επαγγελματικός σαρωτής 3D, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για να κάνει τη σάρωση όσο το δυνατόν πιο εύκολη. Με τον νέο ενσωματωμένο επεξεργαστή NVIDIA Jetson TX2, με ενσωματωμένη οθόνη HD 5" και μπαταρία, είναι η απόλυτη λύση σάρωσης 3D για γρήγορη, ακριβή και υψηλής ποιότητας λήψη δεδομένων.



Εικόνα 49: Ο σαρωτής Artec Leo. Πηγή: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>

Ο συγκεκριμένος σαρωτής είναι πολύ διαφορετικός από τους παλιότερους τύπους φορητών scanner, καθώς η προηγμένη υβριδική παρακολούθηση γεωμετρίας και υφής του Artec Leo απαλλάσσει από τη χρήση οποιουδήποτε πρόσθετου εξοπλισμού, όπως στόχους ή δείκτες για σταθερή σάρωση. Ξεκινάει απευθείας την σάρωση δείχνοντας το αντικείμενο που χρειάζεται να ψηφιοποιηθεί (εικ.50).



Εικόνα 50: Ο σαρωτής Artec Leo κατά την διάρκεια της σάρωσης. Πηγή: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>

Η ύπαρξη στην οθόνη του σαρωτή ενός έγχρωμου χάρτη απόστασης είναι σημαντικός αρωγός για την διατήρηση της απόστασης από το αντικείμενο κατά τη σάρωση, με αποτέλεσμα την απόκτηση περισσότερων δεδομένων σε λιγότερο χρόνο. Η επιφάνεια που σαρώνεται θα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στην οθόνη του Artec Leo εάν κρατείτε ο σαρωτής σε πολύ κοντά στο αντικείμενο ή με μπλε χρώμα εάν η απόσταση είναι πολύ μεγάλη (εικ.51).



*Εικόνα 51: Ο σαρωτής Artec Leo βρίσκεται πολύ κοντά στο αντικείμενο και γι' αυτό στην οθόνη του εμφανίζει το αντικείμενο με κόκκινο χρώμα.
Πηγή: <https://www.rubixdesign.com.au/artec-leo-laser-scanner>*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Διαδικασίες Τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του αντίγραφου βυζαντινού ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.

6.1. Προβλήματα Τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.

Κατά την διάρκεια της μελέτης του αντίγραφου ψηφιδωτού «Θεοτόκος και Παιδί» (αρ. ευρ. 43.48.1), το οποίο στεγάζεται μέχρι σήμερα στο Μουσείο Μπενάκη αποφασίσθηκε να γίνει στο αντικείμενο μη επεμβατική τρισδιάστατη ψηφιοποίηση για τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης ψηφιακού περιεχομένου, η οποία θα βασιστεί σε μεθόδους τρισδιάστατης ενεργητικής και παθητικής σάρωσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η εξοικείωση με τον χώρο και το αντικείμενο και διαπιστώθηκε πως η μεταφορά του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί στο εργαστήριο του μουσείου καθίσταται αδύνατη λόγω του μεγάλου του όγκου. Άρα, η τοποθέτηση του σε οριζόντια θέση, ώστε να γίνει ευκολότερα η ψηφιοποίηση δεν κατέστη εφικτή.

Ως λύση προτάθηκε η τοποθέτηση σκαλωσιάς κοντά στο αντικείμενο με την αρωγή δύο φωτιστικών πηγών για την ψηφιοποίηση του. Η σκαλωσιά που χρησιμοποιήθηκε ήταν αλουμινίου και φορητή και είχε ύψος περίπου 3 μέτρα, με δυνατότητα πολλών συνδυασμών, ώστε να αλλάζει το ύψος της σκαλωσιάς ανά πάσα στιγμή.



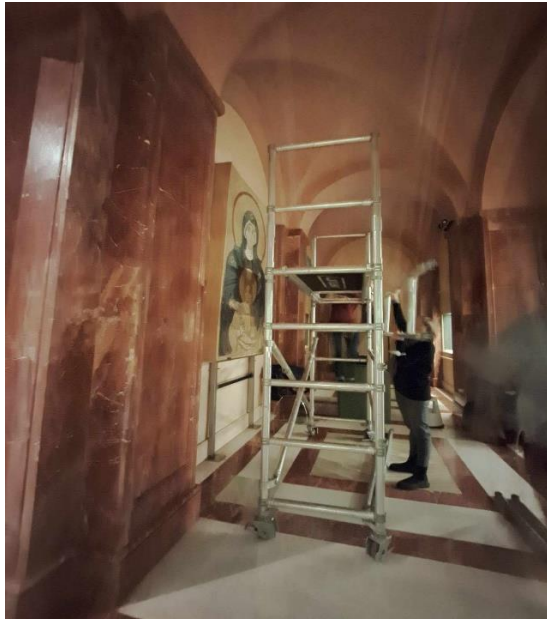
Εικόνα 52: Τοποθέτηση σκαλωσιάς και φωτιστικών πηγών κοντά στο αντίγραφο ψηφιδωτό «Θεοτόκος και Παιδί». Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

Η τοποθέτηση των φωτιστικών (σταθερών) πηγών έγινε σε απόσταση περίπου δύο μέτρων από το αντικείμενο με την βοήθεια τρίποδων. Οι φωτιστικές πηγές αποφασίστηκε να μην εστιάζουν προς το αντίγραφο, επειδή του δημιουργούσε αντανακλάσεις, αλλά να εστιάζουν προς το πάνω μέρος της οροφής του κτηρίου (βλέπε εικ.53).

Η διαδικασία της τρισδιάστατης ψηφιοποίησης έγινε εν ώρα λειτουργίας του μουσείου με στόχο να γίνεται και ενημέρωση του κοινού για τη δράση η οποία ανακοινώθηκε και στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης του μουσείου.



Εικόνα 53: Τοποθέτηση φωτιστικών πηγών κοντά στο αντίγραφο ψηφιδωτό «Θεοτόκος και Παιδί». Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνες 54,55: Τοποθέτηση σκαλωσιάς κοντά στο αντίγραφο ψηφιδωτό «Θεοτόκος και Παιδί». Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνα 56: Συναρμολόγηση σκαλωσιάς για την διαδικασία ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού «Θεοτόκος και Παιδί». Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνα 57: Συναρμολόγηση σκαλωσιάς για την διαδικασία της φωτογραμμετρίας και της σάρωσης του αντίγραφου ψηφιδωτού «Θεοτόκος και Παιδί». Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

6.2. Πειραματική διαδικασία παθητικής μεθόδου ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.

Ο τεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την παθητική μέθοδο ήταν η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Nikon Z 7II με δύο επεξεργαστές EXPEED στο κέντρο της. Για την καλύτερη ανάλυση των εικόνων η φωτογραφική μηχανή ήταν τοποθετημένη πάνω σε τρίποδο και η λήψη πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του Remote Control.

Αναλυτικότερα, αναφορικά με την φωτογραφική μηχανή, η Nikon Z 7II ανταποκρίνεται εύκολα στη διαδικασία της δημιουργίας εικόνων πλήρους κάδρου σε υψηλή ανάλυση. Εστιάζει με απόλυτη σταθερότητα ακόμη και κατά τις λήψεις με εξαιρετικά χαμηλό φωτισμό. Παράλληλα, παρέχει γρήγορη φωτογράφιση και αθόρυβη με ταχύτητες λήψης έως και 10 καρέ ανά δευτερόλεπτο (fps) που εξασφαλίζουν κορυφαία ευελιξία. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα της φωτογραφικής αποτύπωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ – ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ

<i>ΚΑΜΕΡΑ</i>	<i>Nikon Z 7II</i>
<i>ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΚΑΜΕΡΑΣ</i>	<i>Τιμή Διαφράγματος: F9 Τιμή ISO: 250 Χρόνος έκθεσης: 1/2 δευτ.</i>
<i>ΤΥΠΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ</i>	<i>FX, CMOS, 35,9 mm x 23,9 mm</i>
<i>ΑΝΑΛΥΣΗ (PIXELS)</i>	<i>46,89 εκατομμύρια pixel</i>
<i>ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ</i>	<i>ΚΑΛΗ</i>
<i>ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ</i>	<i>Φυσικό φως και 2 φωτιστικές πηγές σε τρίποδο</i>
<i>ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ</i>	<i>1229</i>
<i>ΗΜΕΡΕΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗΣ</i>	<i>19/12, 20/12</i>

Η παθητική μέθοδος ψηφιοποίησης που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο αντίγραφο ψηφιδωτό ήταν η φωτογραμμετρία. Στο αντικείμενο η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας με την φωτογραφική μηχανή διαδοχικές λήψεις περιμετρικά του ψηφιδωτού και από όλες τις πιθανές οπτικές του γωνίες, ώστε να περιλαμβάνουν όλες τις απόψεις του αντικειμένου.

Ειδικότερα, μια φωτογραφία που λήφθηκε συνέπιπτε σε πολλά σημεία με τις φωτογραφίες που απεικόνιζαν ένα διπλανό σημείο του αντικειμένου (overlap). Έτσι, σε όσα περισσότερα σημεία συμπίπτει μια φωτογραφία με την ακριβώς προηγούμενη ή επόμενη της, τόσο περισσότερο λεπτομερές θα είναι το τρισδιάστατο μοντέλο.

Δεν υπάρχει ακριβής απαιτούμενος αριθμός λήψεων που χρειάζεται για να παραχθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο, ωστόσο λόγω των μεγάλων διαστάσεων του συγκεκριμένου αντικειμένου λήφθηκαν όσο το δυνατόν περισσότερες φωτογραφίες που να το καλύπτουν ολόκληρο.



Εικόνα 58: Η διαδικασία της φωτογράφισης. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνα 59: Η διαδικασία της φωτογράφισης. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.



Εικόνα 60: Η διαδικασία της φωτογράφισης. Πηγή: Προσωπικό αρχείο.

6.3. Πειραματική διαδικασία ενεργητικής μεθόδου ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί.

Ο τεχνικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την ενεργητική μέθοδο ήταν ο σαρωτής χειρός Artec Leo. Ο σαρωτής Artec Leo περιέχει τεχνολογίες αιχμής, συμπεριλαμβανομένης της πλατφόρμας NVIDIA Jetson, η οποία είναι ο εσωτερικός υπολογιστής του σαρωτή, με τετραπύρηνο ARM Cortex-A57 MPCore CPU και NVIDIA Maxwell 1 TFLOPS GPU με 256 πυρήνες NVIDIA CUDA. Επίσης, περιέχει ένα ενσωματωμένο αδρανειακό σύστημα 9 DoF — επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και πυξίδα που επιτρέπει στον σαρωτή να κατανοήσει τη θέση και το περιβάλλον του και ένα οπτικό σύστημα δύο σε ένα σχεδιασμένο για να προσδιορίζει την πιο ακριβή χαρτογράφηση υφής σε γεωμετρία.

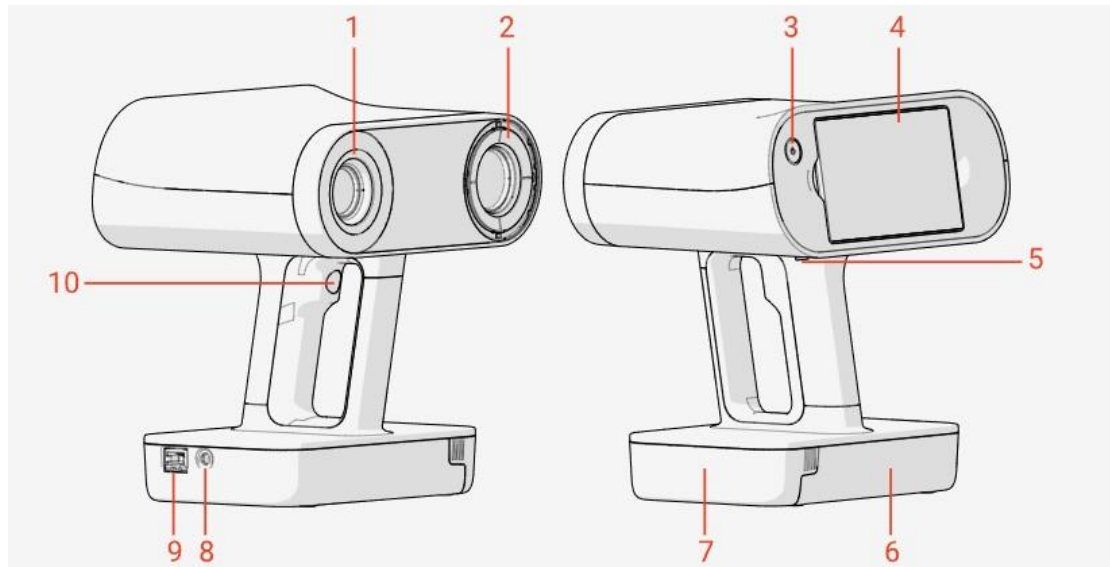
Ακόμη, χάρη στον ισχυρό ενσωματωμένο επεξεργαστή και την ενσωματωμένη μπαταρία, ο σαρωτής Artec Leo προσφέρει πραγματική ελευθερία στη σάρωση 3D, χωρίς να χρειάζεται σύνδεση στον υπολογιστή ή σε κάποια πηγή ρεύματος.



Εικόνα 61: Το Artec Leo διατίθεται σε προστατευτική θήκη που περιλαμβάνει καλώδια τροφοδοσίας, μπαταρία και οδηγίες χρήσης. Πηγή : <https://www.3dnatives.com/en/3dnatives-lab-testing-the-artec-leo-3d-scanner-150320214/#!>



Εικόνα 62: Ο σαρωτής Artec Leo. Πηγή: <https://www.primeanalyzerstore.com/product/artec-leo-plus-wireless-3d-scanner/>



Εικόνα 63: Βασικά μέρη του σαρωτή Artec Leo. Πηγή: <http://docs.artec-group.com/leo/index.html>

1. Camera with flash-bulb ring
2. Projector
3. Power button
4. Tilttable display
5. MicroSD card
6. Battery housing
7. Battery compartment lid
8. Power port
9. Ethernet port
10. Start/Stop button redbut on the handle

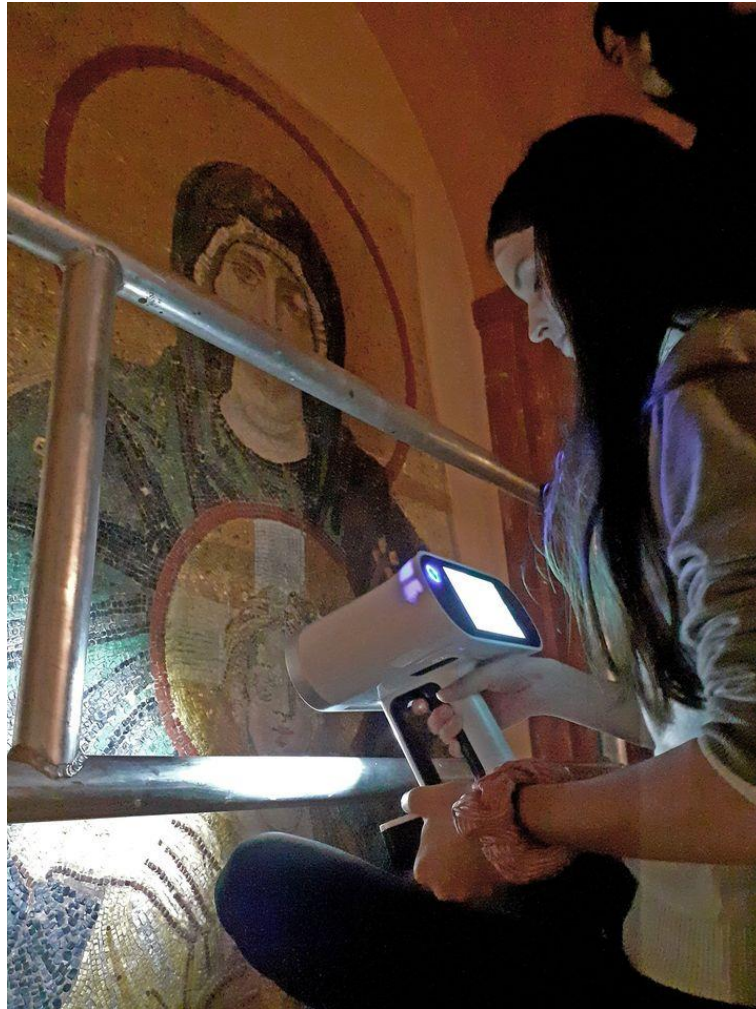
Η ενεργητική μέθοδος ψηφιοποίησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και Παιδί πραγματοποιήθηκε στις 13 και 14 Δεκεμβρίου του 2022 και ο χρόνος εκτέλεσης των εργασιών ήταν από τις 10:00 μέχρι τις 14:00 την πρώτη ημέρα και την δεύτερη ημέρα από τις 10:00 μέχρι τις 15:00 η ώρα.

Δεν έγινε χρήση καμίας εξωτερικής φωτιστικής πηγής και τα φώτα στην αίθουσα που βρισκόταν το εκθέμα έκλεισαν, καθώς ο σαρωτής Artec Leo, ο οποίος είναι τεχνολογίας φωτός VCSEL, παράγαγε δικό του φως. Ειδικότερα, το VCSEL είναι συντομογραφία των λέξεων « λέιζερ εκπομπής κάθετης κοιλότητας » (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) και είναι ένα είδος λέιζερ ημιαγωγών που εκπέμπει μια υψηλής απόδοσης οπτική δέσμη, κάθετα από την επάνω επιφάνειά του, ενώ τα συμβατικά λέιζερ ημιαγωγών (λέιζερ εκπομπής άκρων) εκπέμπουν φως οριζόντια στο υπόστρωμα.

Η σάρωση ξεκίνησε από το πάνω μέρος του αντικειμένου με κατεύθυνση του σαρωτή από δεξιά προς τα αριστερά. Συγκεκριμένα, με αργές και απαλές κινήσεις του καρπού δεξιά και αριστερά κρατώντας τον σαρωτή κατά προτίμηση με τα δύο χέρια και σε απόσταση από το αντικείμενο 10-15 εκατοστών πραγματοποιήθηκε η καταγραφή της σάρωσης στην οθόνη του σαρωτή.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως εξαιτίας της σκαλωσιάς ήταν δύσκολο να καταγράψει ο σάρωτης κάποια σημεία του αντίγραφου ψηφιδωτού και γι'αυτό αποθηκεύτηκαν οι εργασίες του σαρωτή μέχρι εκείνη τη στιγμή. Στη συνέχεια, κατέβηκε κατά ένα επίπεδο το ύψος της σκαλωσιάς και έπειτα η σάρωση συνεχίστηκε με αυτά τα σημεία. Επιπλέον, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στις αντανάκλασεις που μπορεί να δημιουργούνταν πάνω στο αντικείμενο λόγω της σκαλωσιάς ή των ανθρώπινων μορφών που βρισκότουσαν κοντά στο αντικείμενο. Όσον αφορά, τις αντανάκλασεις που δημιουργούσε η σκαλωσιά πάνω στο αντικείμενο, η καταγραφή των συγκεκριμένων σημείων έγινε ύστερα από την αφαίρεση του επιπέδου της σκαλωσιάς που αντανάκλούνταν για να μην καταγραφούν οι αντανάκλασεις στον σαρωτή. Επίσης, σχετικά με τις αντανάκλασεις που δημιουργούσαν οι ανθρώπινες μορφές, με προσεκτικές κινήσεις τόσο του σαρωτή, όσο και των ανθρώπινων σωμάτων, επιτεύχθηκε η αποφυγή της καταγραφής των αντανάκλασεων. Η χρήση και των δύο χεριών στον σαρωτή πάνω στην σκαλωσιά φάνηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς η διαδικασία έγινε ασφαλέστερα και γρηγορότερα, ενώ η χρήση ενός χεριού μετά από μικρό χρονικό διάστημα είναι για τον χειριστή, μια

διαδικασία πιο χρονοβόρα και πιο επίπονη, διότι η αίσθηση του βάρους γίνεται μεγαλύτερη. Επιπρόσθετα, αρκετές φορές χρειάστηκε ο σαρωτής να βρίσκεται σε πλάγια θέση ή ανυψωμένος με αποτέλεσμα να μην φαίνεται το περιεχόμενο της οθόνης. Ωστόσο, υπήρχε δυνατότητα κλίσης της οθόνης για να παρατηρείται η σάρωση του αντικειμένου πράγμα που διευκόλυνε την διαδικασία.



Εικόνα 63: Κατά την διάρκεια της σάρωσης με τον σαρωτή Artec Leo. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο



Εικόνα 64: Η διαδικασία της σάρωσης. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο



Εικόνα 65: Η καταγραφή ενός μέρος της επιφάνειας του αντίγραφου ψηφιδωτού προβάλλεται στην οθόνη του σαρωτή. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

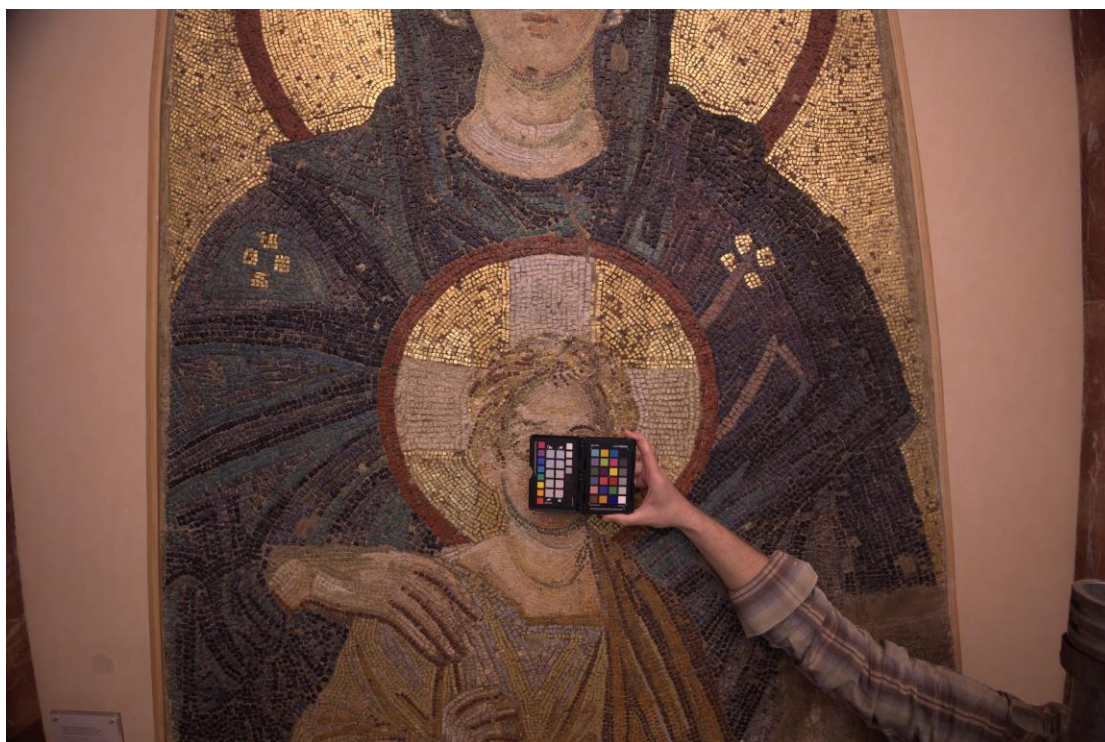
6.4. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από φωτογραμμετρία με την αρωγή υπολογιστή.

Για την δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου μέσω της φωτογραμμετρίας απαιτείται η χρήση εξειδικευμένου υπολογιστή και διαφόρων λογισμικών. Αναλυτικότερα, ο υπολογιστής ήταν εταιρίας Dell φορητός εργασίας και τα χαρακτηριστικά του ήταν: Επεξεργαστής: Intel® Xeon W-11955M, μνήμη cache 16 MB, οκταπύρηνος, 2,40 GHz έως 5,30 GHz, 45 W, vPro, Κάρτα γραφικών: NVIDIA® Quadro® RTX A4000, 8 GB,GDDR6 και Μνήμη: 32 GB, 2 x 16 GB, DDR4 non ECC, 2933 MHz.

Στα λογισμικά εισάγονται οι φωτογραφίες της φωτογραμμετρίας και στη συνέχεια αυτά εξάγουν μετά από σειρά ενεργειών το τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου.

Παρακάτω, περιγράφεται αναλυτικότερα η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου με την βοήθεια του υπολογιστή.

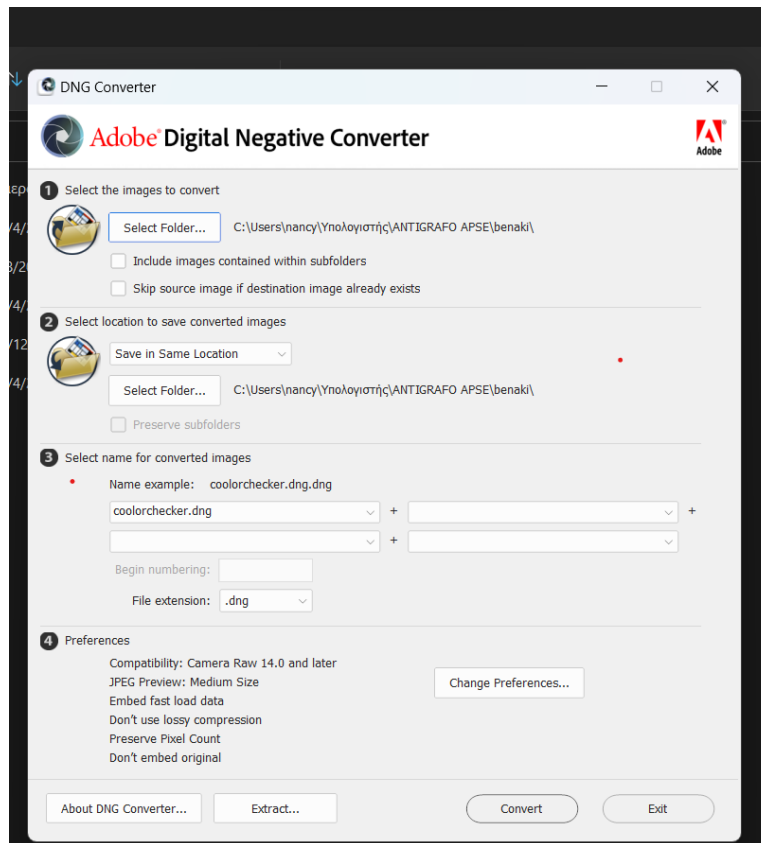
Στο τέλος, της φωτογραμμετρίας, μπροστά στο αντικείμενο τοποθετήθηκε ένα Color checker. Το Color checker (ελεγκτής χρωμάτων) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία «αληθινής αναπαραγωγής χρωμάτων». Λύνει το πρόβλημα της «αναληθούς» αναπαραγωγής χρωμάτων που συμβαίνει λόγω των καμερών, των φακών και του φωτισμού.



Εικόνα 66: Η φωτογραφία του αντίγραφου ψηφιδωτού μαζί με το Color checker κατά την φωτογραμμετρία. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

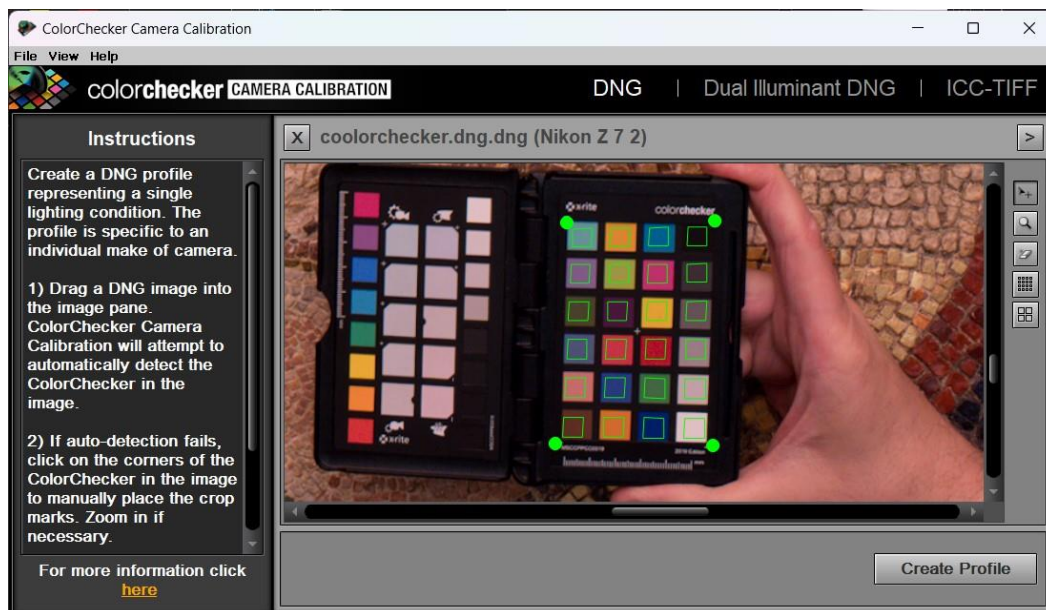
Αρχικά, συλλέχθηκαν όλες οι φωτογραφίες από την φωτογραμμετρία, αποθηκεύτηκαν στον υπολογιστή και μετατράπηκαν σε μορφότυπο tiff.

Το πρώτο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Adobe DNG Converter, το οποίο δημιουργεί ένα dng αρχείο της φωτογραφίας του αντίγραφου ψηφιδωτού με το color checker (βλέπε εικ. 66), προκειμένου να μπορέσει χρησιμοποιηθεί στο λογισμικό color checker camera calibration.



Εικόνα 67: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Adobe DNG Converter. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Μόλις δημιουργηθεί το αρχείο DNG της φωτογραφίας του color checker πραγματοποιείται επεξεργασία της στο λογισμικό color checker camera calibration. Ειδικότερα, αφού τοποθετηθεί το πράσινο πλέγμα (βλέπε εικόνα 68) κατάλληλα στις περιοχές του color checker γίνεται αποθήκευση του αρχείου σε μορφή DCP, ώστε να χρησιμοποιηθεί αργότερα στο λογισμικό Raw Therapee.



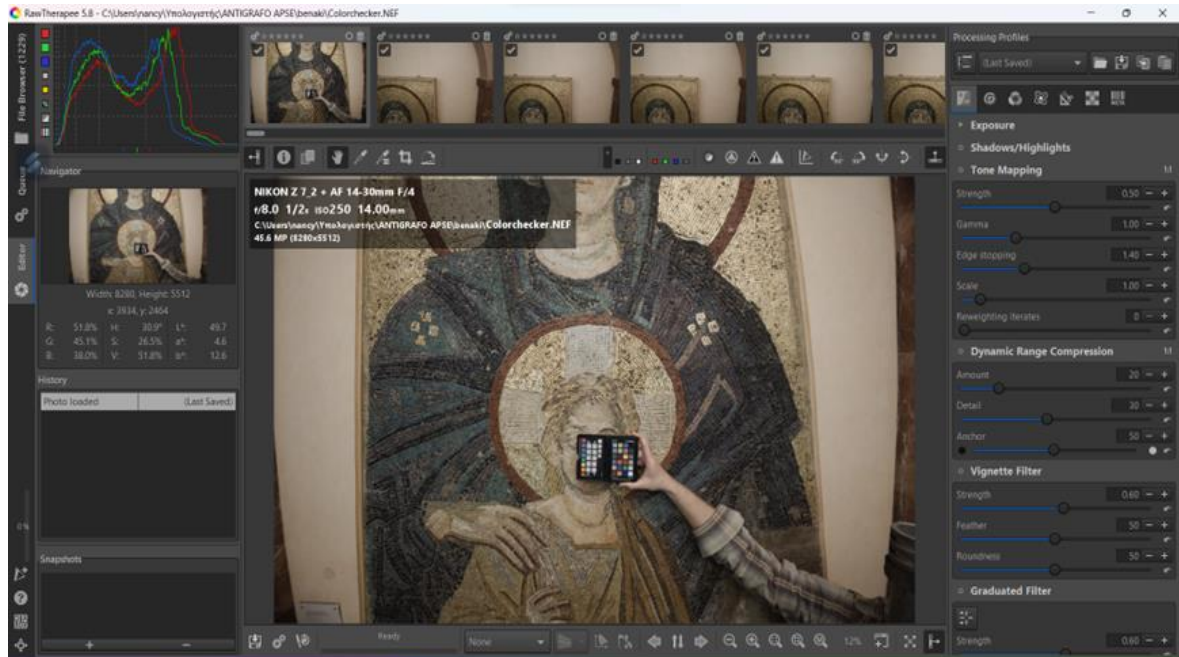
Εικόνα 68: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού color checker camera calibration.

Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Στην συνέχεια, γίνεται χρήση του λογισμικού Raw Therapee το οποίο είναι ένα ισχυρό, πολλαπλών πλατφόρμων σύστημα επεξεργασίας ακατέργαστων φωτογραφιών που έχει την δυνατότητα να προσφέρει την χρήση δύο αλγορίθμων demosaicing (ανακατασκευή χρώματος) στην ίδια εικόνα. Το συγκεκριμένο λογισμικό δίνει τα πραγματικά χρώματα του αντικειμένου με απόλυτη ακρίβεια χρώματος, σωστά και σταθερά χρώματα και ισορροπία λευκού σε όλες τις φωτογραφίες.

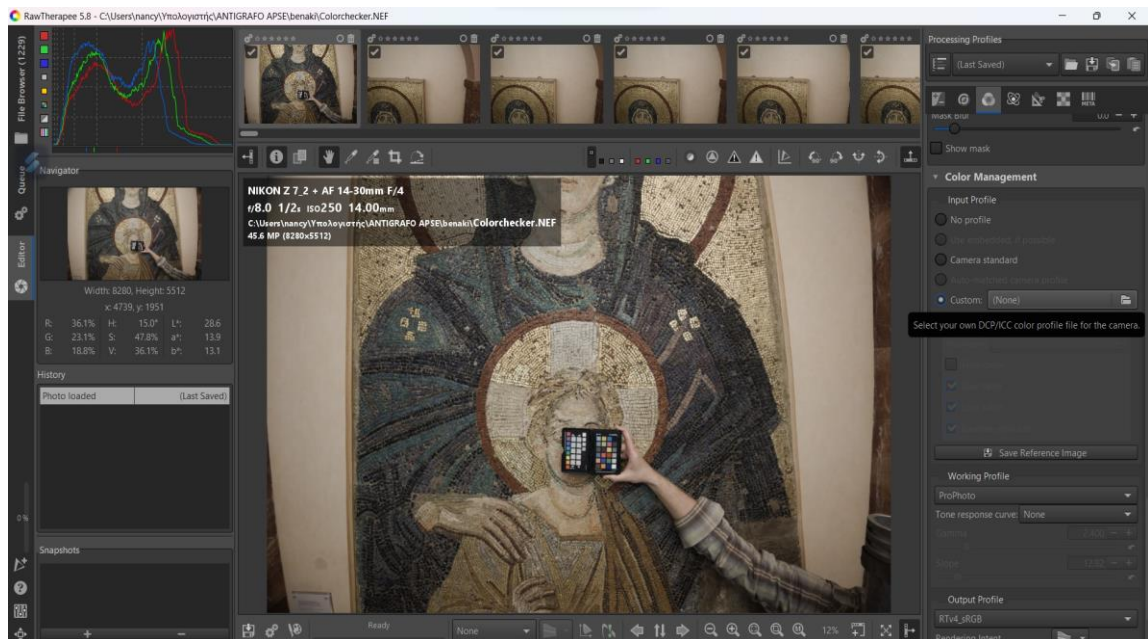
Παρακάτω δίνονται τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για τη λειτουργία του λογισμικού:

- Πραγματοποιείται εισαγωγή του φακέλου της φωτογραμμετρίας και του αρχείο DNG της φωτογραφίας του color checker στο λογισμικό RawTherapee.
- Γίνεται επιλογή της κατηγορίας Editor και διαλέγεται η φωτογραφία με το color checker.

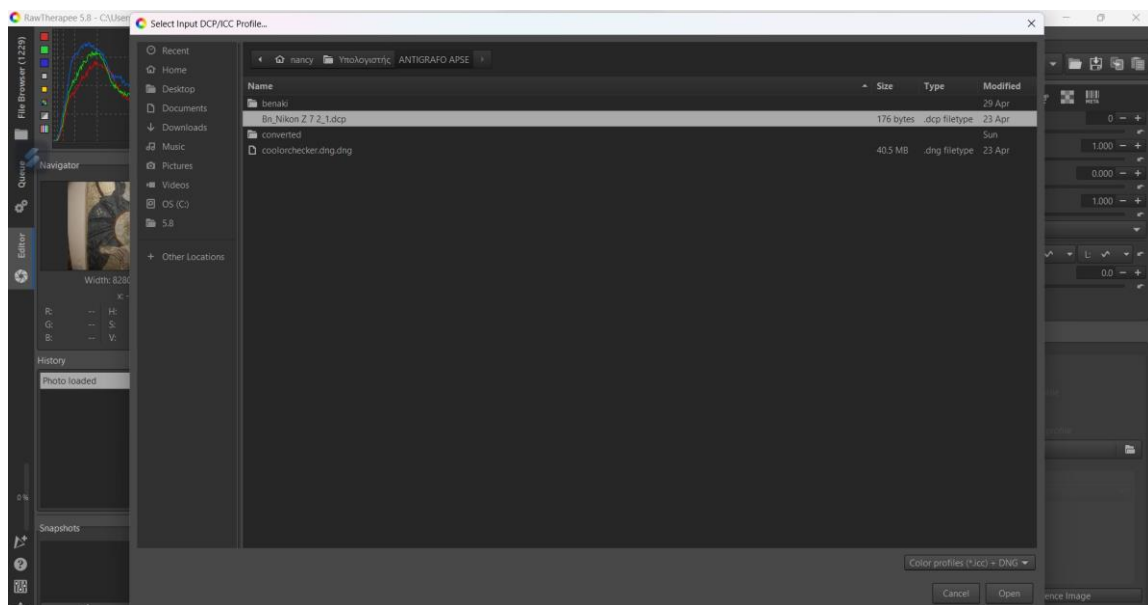


Εικόνα 69: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της φωτογραφίας με το color checker. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Γίνεται έλεγχος των διάφορων ρυθμίσεων του λογισμικού.
- Επιλέγεται το τρίτο εικονίδιο που ονομάζεται color, και αμέσως επιλέγεται η υποκατηγορία με το όνομα Color management. Το χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου προφίλ πρέπει να είναι το custom και θα πρέπει να γίνει εισαγωγή του αρχείου DCP του color checker. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα, να επέλθουν κάποιες αλλαγές στο color checker της φωτογραφίας που προβάλλει το Editor.



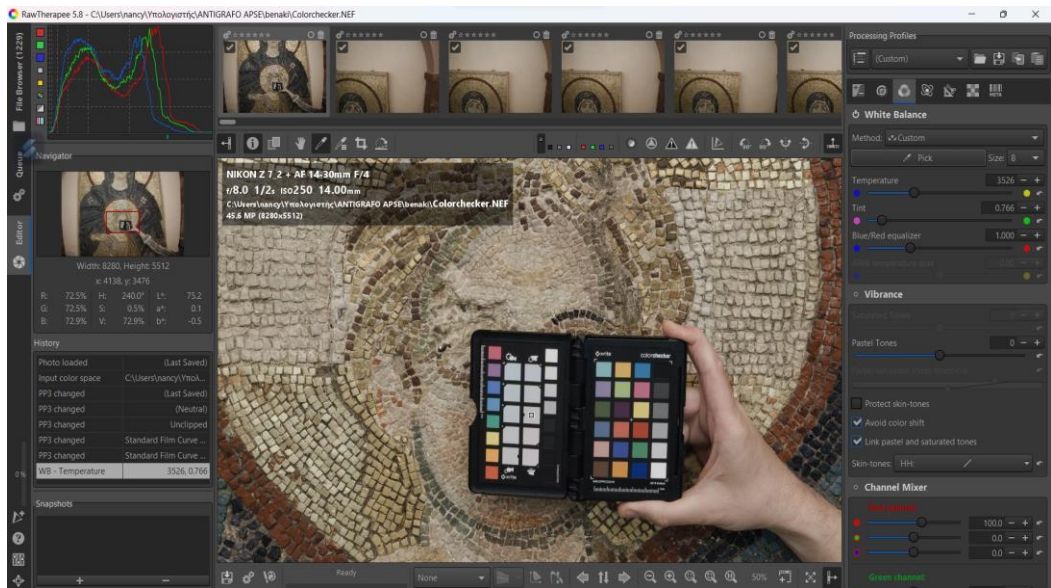
Εικόνα 70: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της ιδιότητας custom. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 71: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή του αρχείου DCP του color checker. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

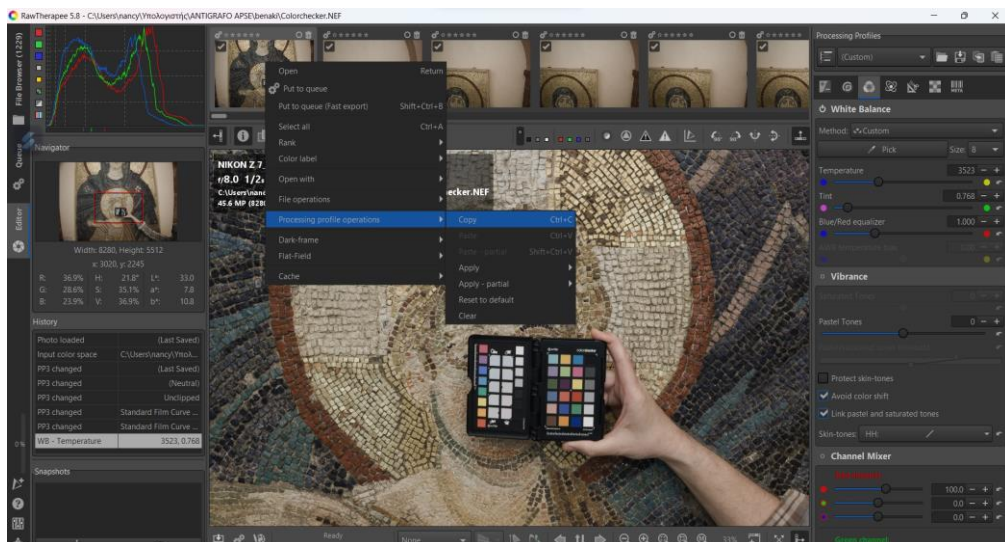
- Στην συνέχεια, στο ίδιο εικονίδιο επιλέγεται το white balance και συγκεκριμένα το pick (ένα πινέλο μορφοποίησης), ώστε να επιλεγεί από το

color checker το τρίτο εικονίδιο της αριστερής πλευράς, της δεξιάς λωρίδας, με αποτέλεσμα να δοθεί το πραγματικό temperature της φωτογραφίας.



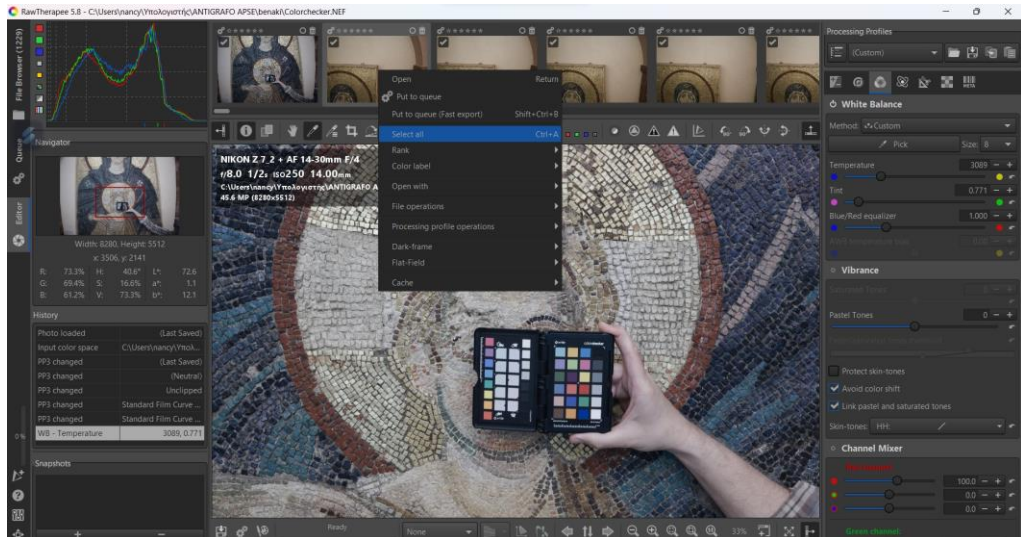
Εικόνα 72: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Χρήση του pick στο color checker. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Έπειτα, γίνεται επιλογή της φωτογραφίας της οριζόντιας λωρίδας, στην οποία έχουν εφαρμοστεί μέχρι στιγμής οι παραπάνω ενέργειες και επιλέγεται η ιδιότητα processing profile operations → copy.



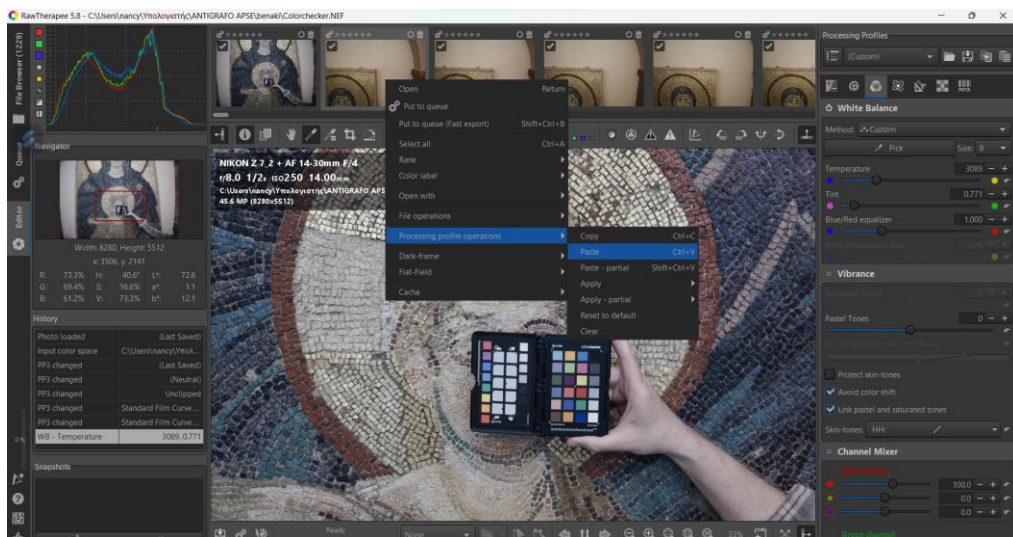
Εικόνα 73: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της ιδιότητας processing profile operations → copy. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Ακολουθεί η διαδικασία της επιλογής της δεύτερης φωτογραφίας της οριζόντιας λωρίδας για να επιλεγεί η ιδιότητα select all.



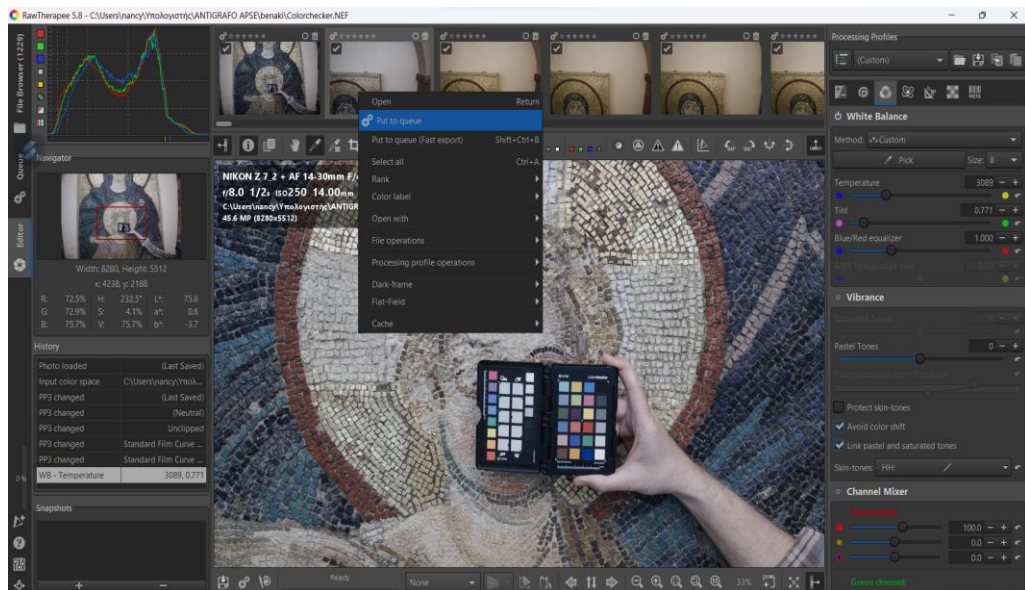
Εικόνα 74: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της δεύτερης φωτογραφίας της οριζόντιας λωρίδας για να επιλεγθεί η ιδιότητα *select all*
 Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Αφού όλες οι φωτογραφίες γίνουν αυτόματα γκρι από το λογισμικό, στην ίδια φωτογραφία επιλέγεται η ρύθμιση *processing profile operations* → *paste*. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εφαρμοστούν οι ρυθμίσεις, οι οποίες αφορούν το αρχείο *der* που φορτώθηκε σε προηγούμενο βήμα και του *white balance* που διαμορφώθηκε στην πρώτη φωτογραφία με το *color checker*.



Εικόνα 75: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της δεύτερης φωτογραφίας της οριζόντιας λωρίδας για να επιλεγθεί η ρύθμιση *processing profile operations* → *paste*. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Ξανά στην δεύτερη φωτογραφία επιλέγεται η ρύθμιση put to queue, ώστε να τοποθετηθούν οι φωτογραφίες σε ουρά εξόδου.



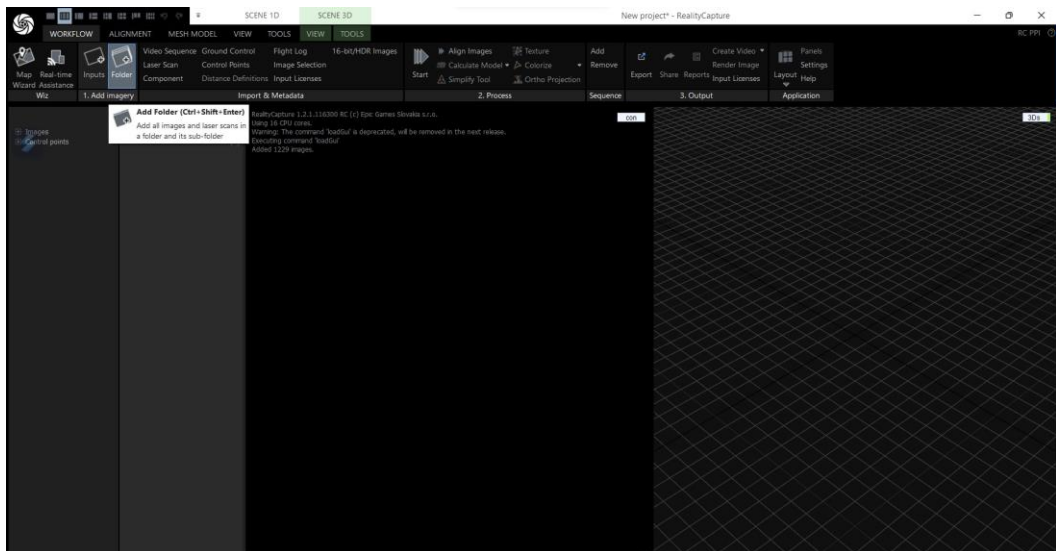
Εικόνα 76: Κατά την διάρκεια της χρήσης του λογισμικού Raw Therapee. Επιλογή της δεύτερης φωτογραφίας της οριζόντιας λωρίδας για να επιλεγθεί η ρύθμιση put to queue. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Τέλος, γίνεται επιλογής της κατηγορίας Queue για να γίνει η φόρτωση των εικόνων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι λόγω του μεγάλου εύρους των φωτογραφιών (1229) η επεξεργασία των φωτογραφιών ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα.

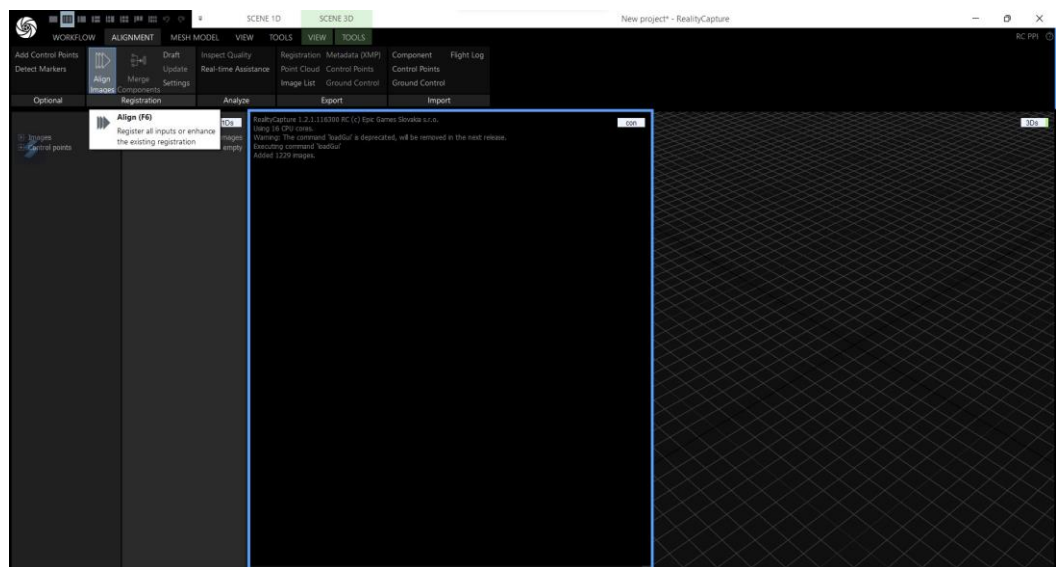
Στο επόμενο στάδιο παρουσιάζεται αναλυτικά το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου μέσω της φωτογραμμετρίας, το οποίο είναι το Reality Capture. Το συγκεκριμένο λογισμικό προτιμήθηκε διότι δημιουργεί μοντέλα υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας.

- Ως πρώτο βήμα, γίνεται εισαγωγή των (converted) μετατρεπόμενων φωτογραφιών του Raw Therapee στο λογισμικό Reality Capture.

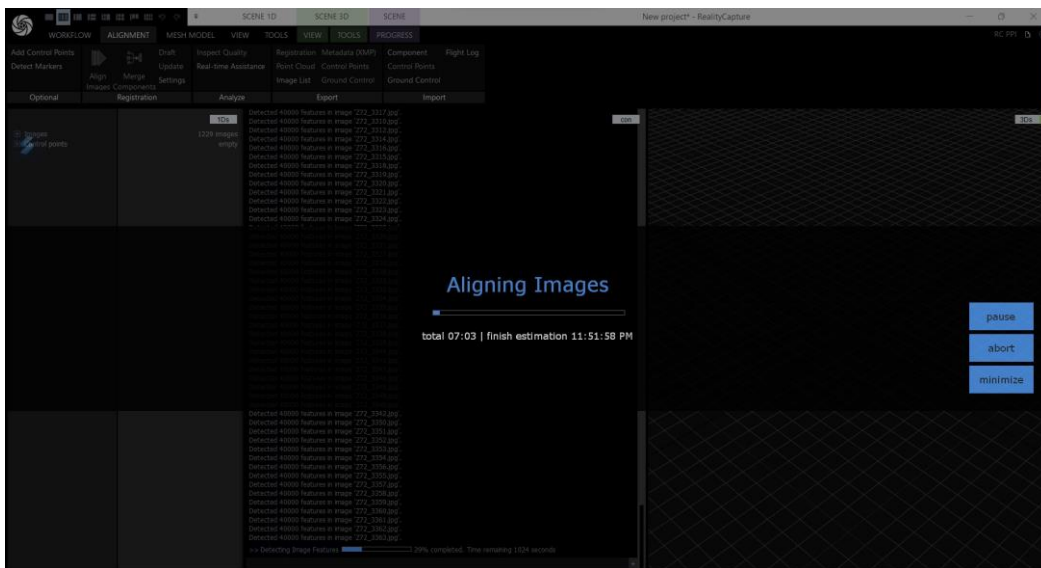


Εικόνα 77: Η διαδικασία εισαγωγής των φωτογραφιών στο λογισμικό Reality Capture. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Στην συνέχεια, πραγματοποιείται επιλογή της ρύθμισης align images, δηλαδή η διαδικασία ευθυγράμμισης των φωτογραφιών. Η συνένωση (alignment ή cloud registration) είναι μια συνόρθωση μεταξύ των ανεξάρτητων νεφών σημείων, η οποία πραγματοποιείται με τουλάχιστον 3 ομόλογα σημεία μεταξύ των νεφών. Η συγκεκριμένη ιδιότητα δημιουργεί ένα αραιό νέφος σημείων που περιλαμβάνει τις λήψεις από όλες τις διαφορετικές ζώνες του αντικειμένου με αποτέλεσμα να προκύπτει ένα ενιαίο απαλό πλέγμα (component).

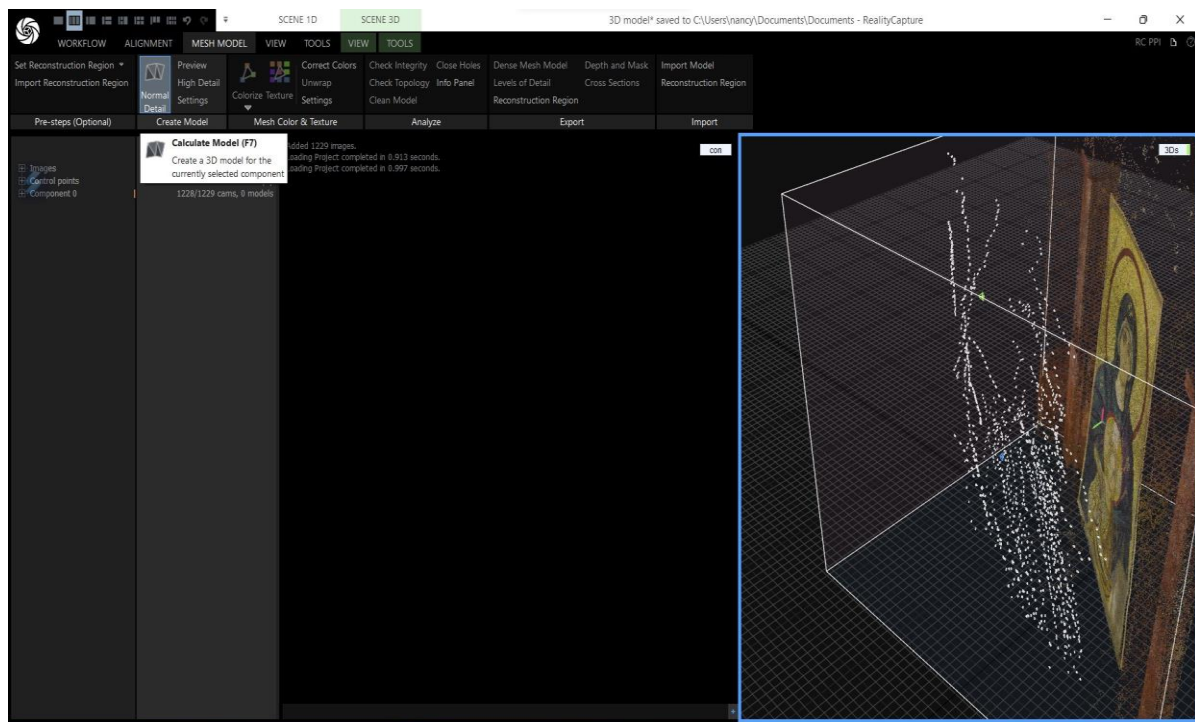


Εικόνα 78: Επιλογή της ρύθμισης align images στο λογισμικό Reality Capture. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο



Εικόνα 79: Η διαδικασία της ευθυγράμμισης (align images) στο λογισμικό Reality Capture. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Για τη δημιουργία του τελικού μοντέλου, δηλαδή ενός πιο δυνατού πλέγματος κοινών σημείων επιλέχθηκε η ρύθμιση Mesh Model → Normal Detail .



*Εικόνα 80: Επιλογή της ρύθμισης Normal Detail στο λογισμικό Reality Capture.
Πηγή: Προσωπικό Αρχείο*

Μετά το πέρας των παραπάνω διαδικασιών γίνεται εξαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου και πραγματοποιείται αποθήκευση του τελικού αρχείου σε ένα μορφότυπο που είναι συμβατός με τη χρήση του μοντέλου για την μετεπεξεργασία του στην συνέχεια. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο μορφότυπος Wavefront OBJ, και πραγματοποιήθηκε αποθήκευση 3 διαφορετικών αρχείων, 1 αρχείο OBJ με τη γεωμετρία του μοντέλου, 1 αρχείο σε μορφή dng με την υφή του μοντέλου και 1 βοηθητικό αρχείο σε μορφή MTL το οποίο κάνει αναφορά στο αρχείο OBJ και στα χαρακτηριστικά των υλικών (material) του μοντέλου.



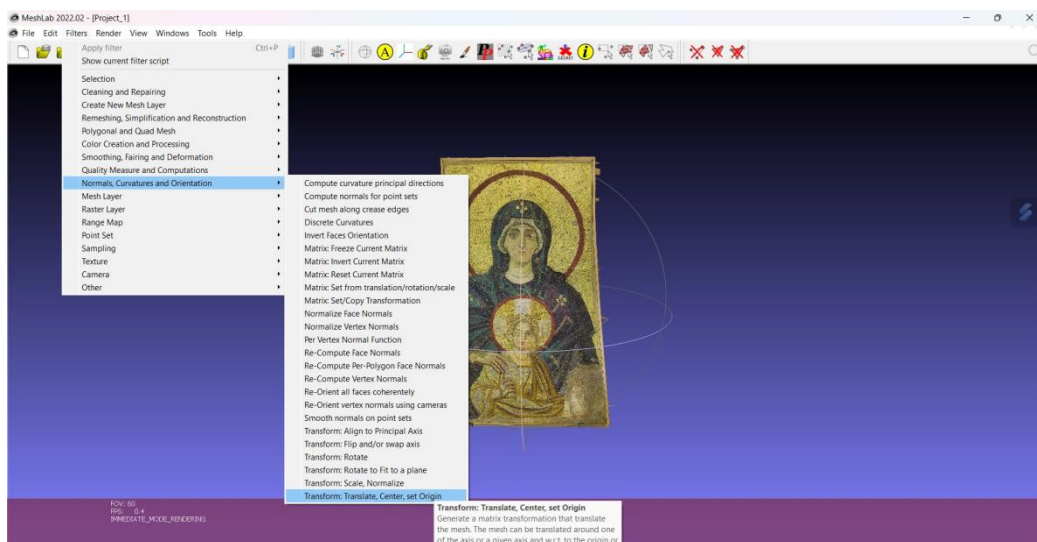
Εικόνα 81: Το τρισδιάστατο μοντέλο που δημιουργήθηκε μέσω της φωτογραμμετρίας σε αρχείο png. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο

Η μετεπεξεργασία του μοντέλου έγινε με το λογισμικό Meshlab.

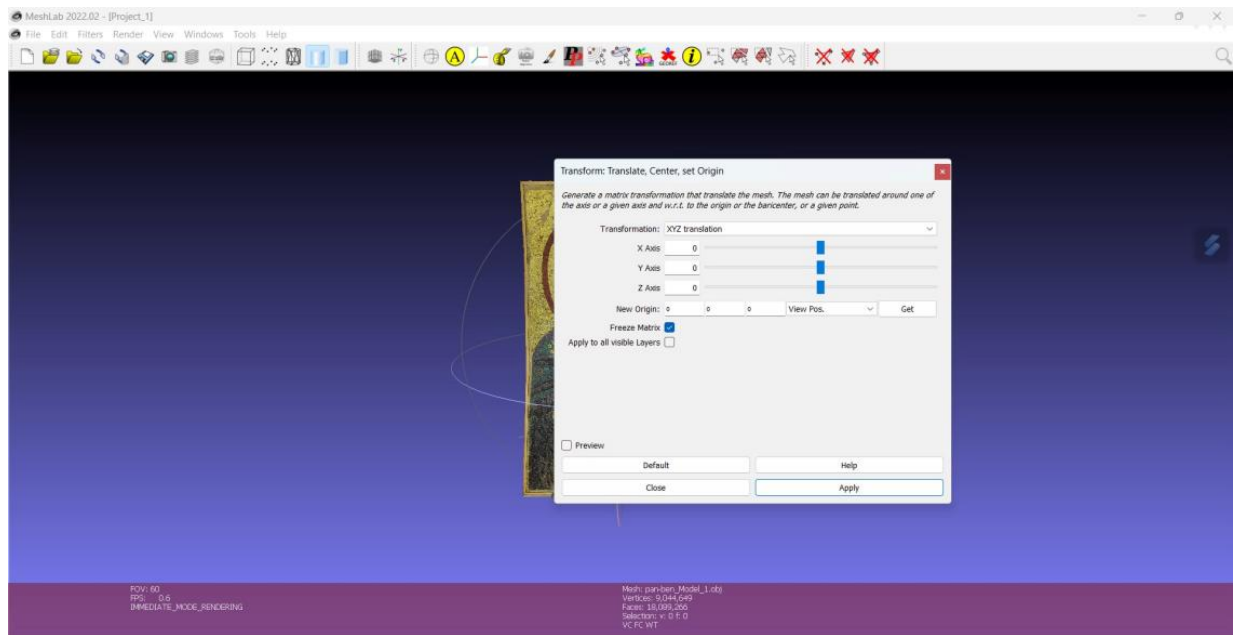
Το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε και για την καταμέτρηση των αποστάσεων. Θεωρείται πολύ σημαντική λειτουργία, διότι μέσω αυτής της μεθόδου, δύναται να μετρηθεί οτιδήποτε πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο.

- Ως πρώτο βήμα είναι να μετρηθεί χειροκίνητα κάποια απόσταση πάνω στο αντικείμενο που εκτίθεται στο μουσείο.

- Έπειτα γίνεται εισαγωγή του αρχείου που περιλαμβάνει το τρισδιάστατο μοντέλο.
- Αφού πραγματοποιηθεί η εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο λογισμικό, το αμέσως επόμενο βήμα είναι η τοποθέτησή του στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων, διότι είναι σημαντικό το αντικείμενο να βρίσκεται στην αρχή του τρισδιάστατου καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων (Εικόνες 82,83).
- Στην συνέχεια, αφού έχουν οριστεί τα συγκεκριμένα σημεία αναφοράς, μπορεί να οριστεί στο πρόγραμμα η συγκεκριμένη απόσταση (Εικόνες 84-86). Αυτό δίνει την δυνατότητα σε οποιονδήποτε χρήστη να μπορεί να μετρήσει όποια απόσταση επιθυμεί, πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο που επεξεργάζεται, με την προϋπόθεση να έχει ορίσει σημεία αναφοράς στις αποστάσεις που χρειάζεται να μετρήσει.

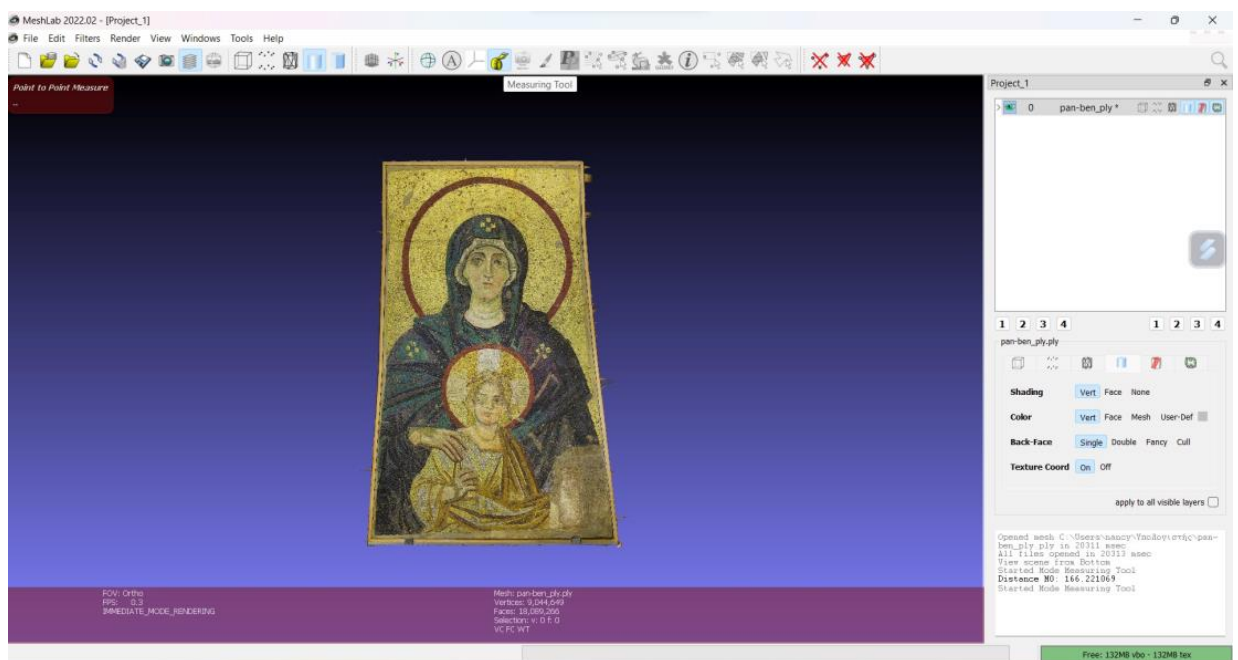


Εικόνα 82: Τοποθέτηση στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

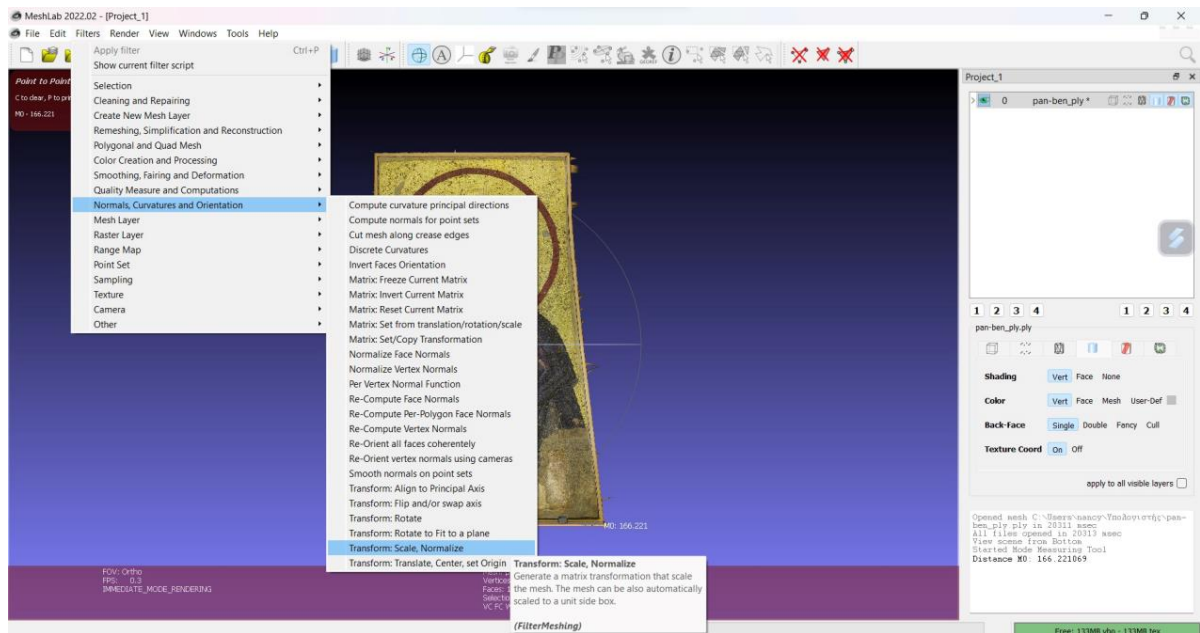


Εικόνα 83: Παράθυρο διαλόγου τοποθέτησης στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων.

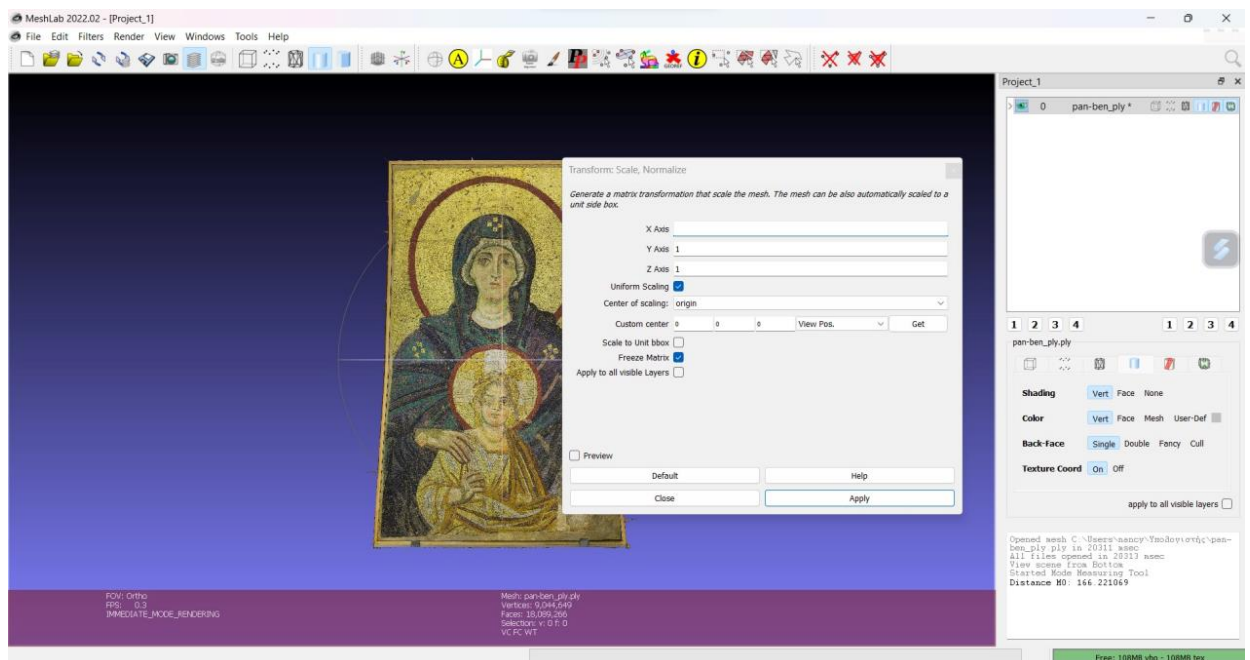
Πηγή :Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 84: Επιλογή του εργαλείου «μεζούρα» για οριστεί στο πρόγραμμα η συγκεκριμένη απόσταση που γνωρίζουμε. Πηγή :Προσωπικό Αρχείο

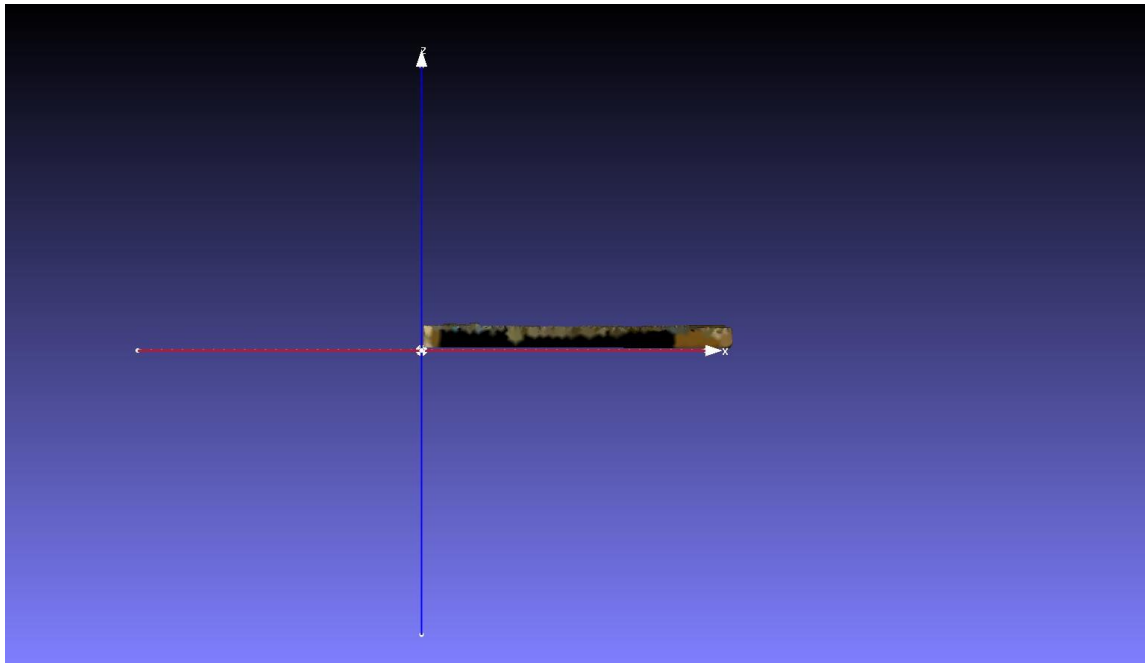


Εικόνα 85: Η διαδικασία που ακολουθείται για την κλιμάκωση του αντικειμένου.Επιλογή της ρύθμισης Filters→Normals, Curvatures and Orientation →Transform Scale, Normalize. Πηγή :Προσωπικό Αρχείο

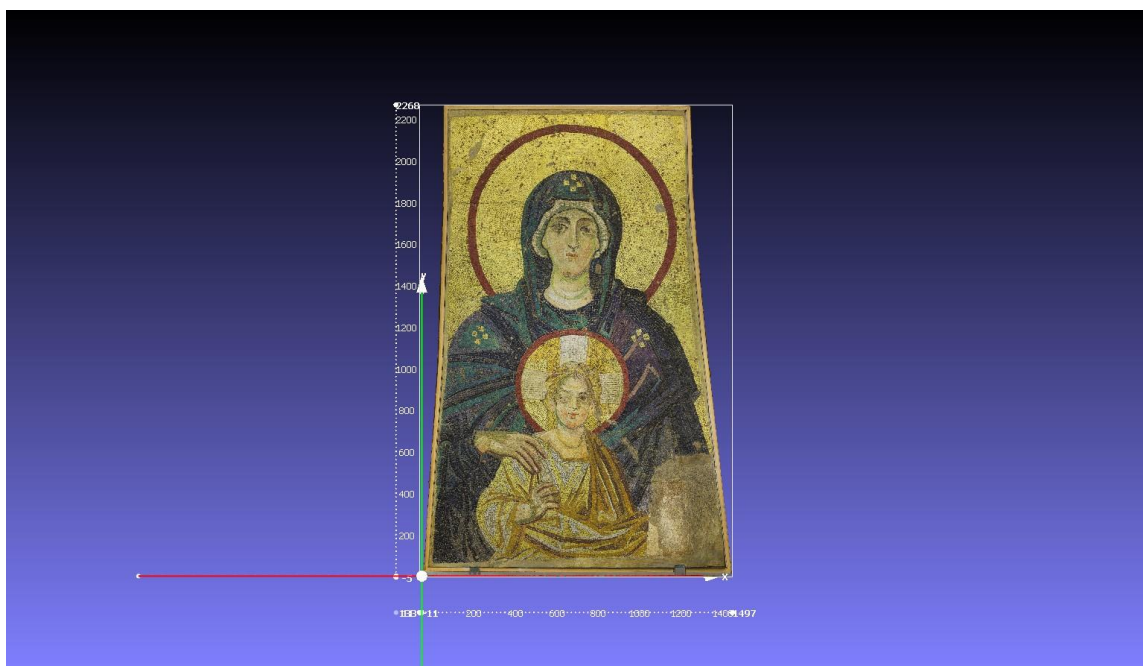


Εικόνα 86: Παράθυρο διαλόγου για την μετατροπή της πραγματικής κλίμακας του αντικειμένου. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Ως επόμενο στάδιο πραγματοποιείται η τοποθέτηση του αντικειμένου στην αρχή των αξόνων και στους τρεις άξονες X,Y και Z σημαντικό βήμα για την ύπαρξη ορθών προβολών, αλλά και για να είναι κλιμακούμενο το μοντέλο (Εικόνες 87,88).

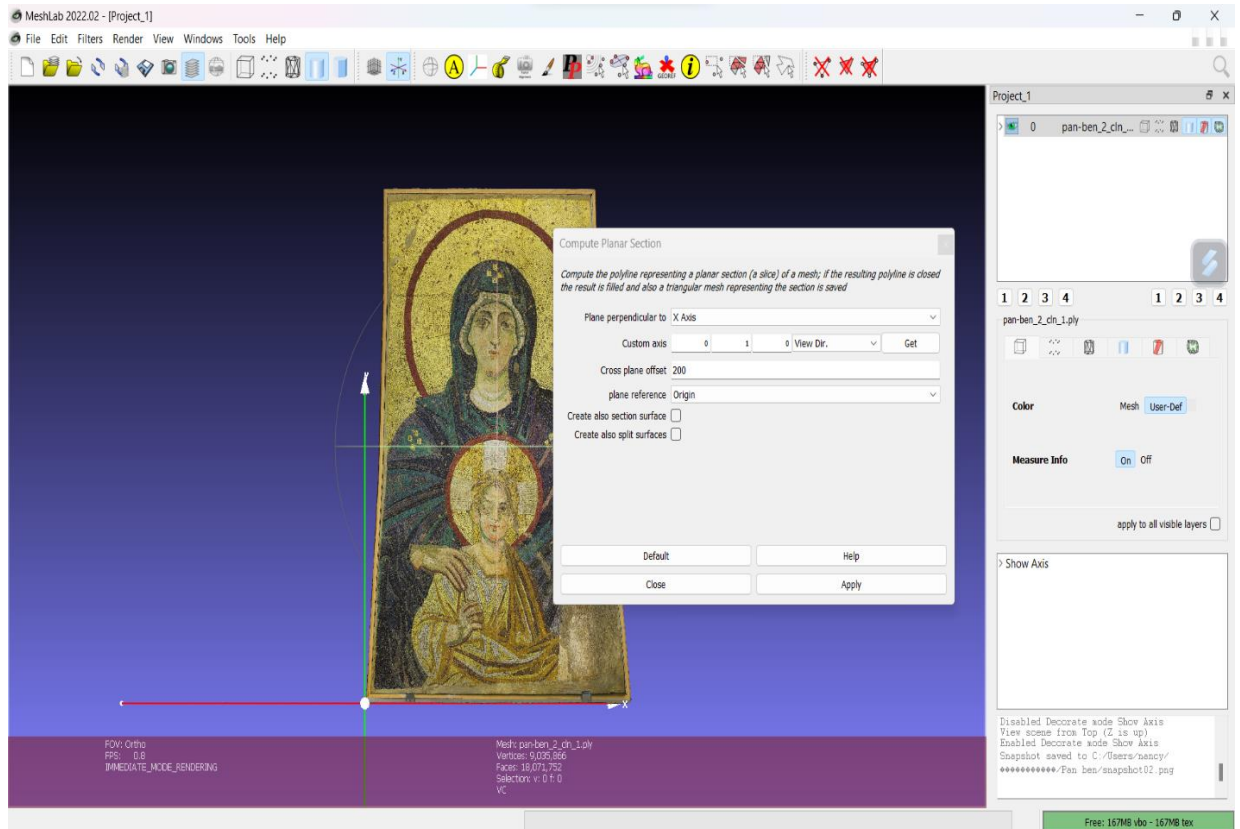


Εικόνα 87: Χρήση των εργαλείων manipulator tools, Draw XYZ axes in world coordinates και Windows → View From → Top (Z is up). Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



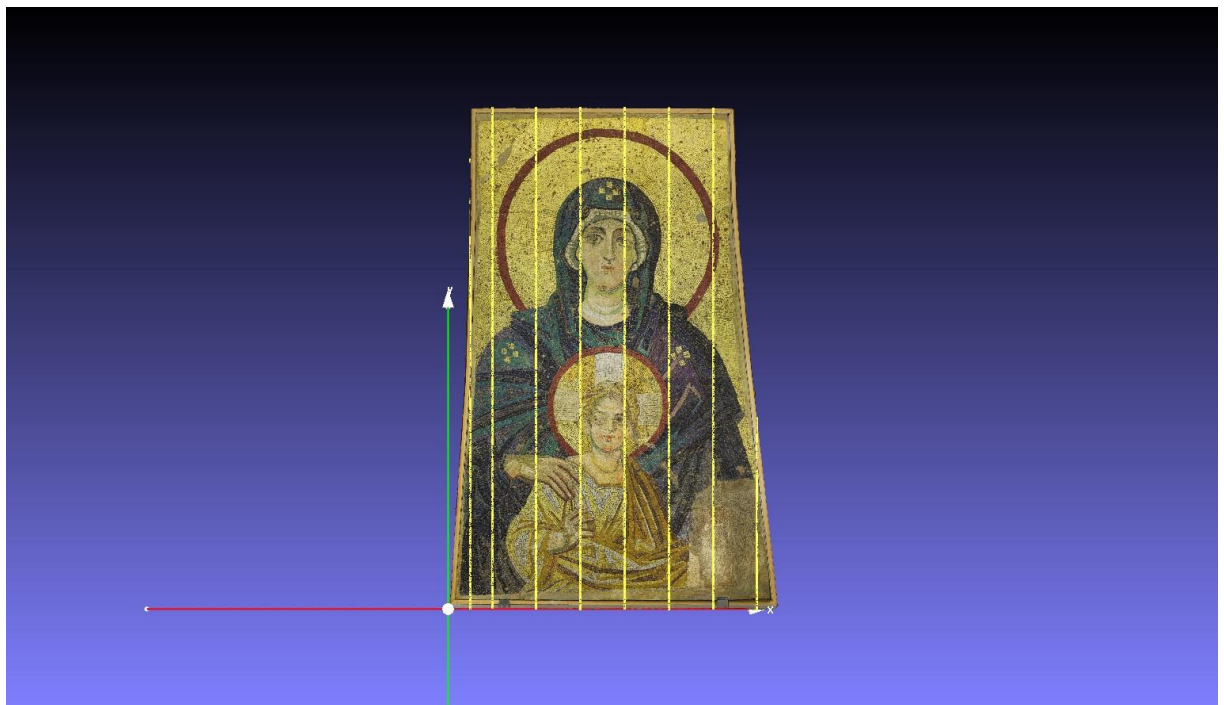
Εικόνα 88: Αριθμημένο, κλιμακούμενο μοντέλο. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

- Στην συνέχεια, το μοντέλο καθαρίστηκε περιμετρικά του από διάφορα περιττά στοιχεία που δεν αποτελούσαν μέρος του αντικειμένου, με τη χρήση της χειροκίνητης επιλογής και αφαίρεσης. Για να κλείσουν οι μικρές οπές που είχε το μοντέλο επιλέχθηκε το εργαλείο Remeshing simplification and reconstruction (πλήρωση οπών). → close holes .
- Οι μεγαλύτερες σχισμές και οπές που εμφανίζονταν στο τρισδιάστατο πλέγμα και δεν υπήρχαν στο πραγματικό αντικείμενο αρχικά αποφασίστηκε να διορθωθούν με την εφαρμογή του φίλτρου Screened Poisson Surface Reconstruction, το οποίο έχει ως ιδιότητα να ανακατασκευάζει την επιφάνεια του τρισδιάστατου μοντέλου με τη χρήση προσανατολισμένων σημείων δημιουργώντας στεγανές επιφάνειες. Επιλέχθηκε ο συνδυασμός surface reconstruction depth 11 και adaptive octree depth 9 με σκοπό να δώσουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, το συγκεκριμένο φίλτρο δημιούργησε διάφορες παραμορφώσεις στο αντικείμενο και γι' αυτό τελικά προτιμήθηκε να μην πραγματοποιηθεί χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου, αλλά να γίνει κλείσιμο των οπών μέσω του λογισμικού meshmixer.
- Έπειτα στο λογισμικό Meshlab πραγματοποιείται η χαρτογράφηση των φθορών του αντικειμένου.
- Δημιουργήθηκαν τομές κατακόρυφα και οριζόντια πάνω στο αντικείμενο με την αρωγή του εργαλείου Computer Planar Section (Εικόνες 89-93).

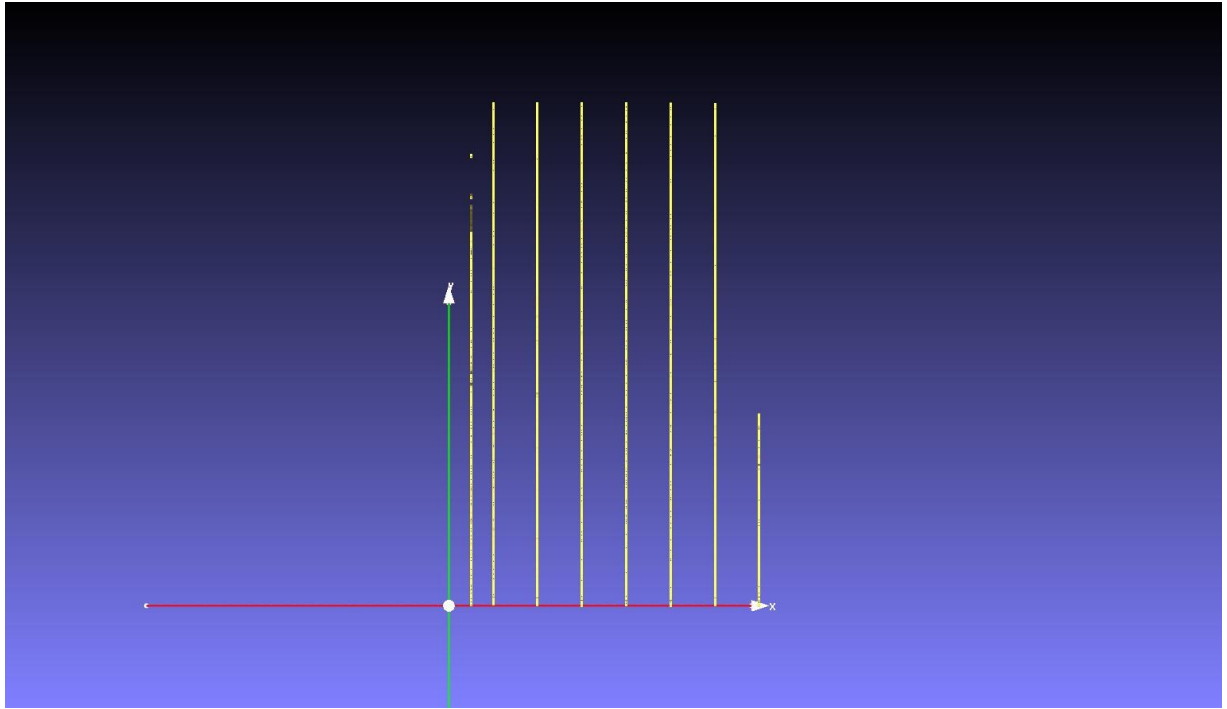


Εικόνα 89: Παράθυρο διαλόγου του Computer Planar Section για την δημιουργία τομών.

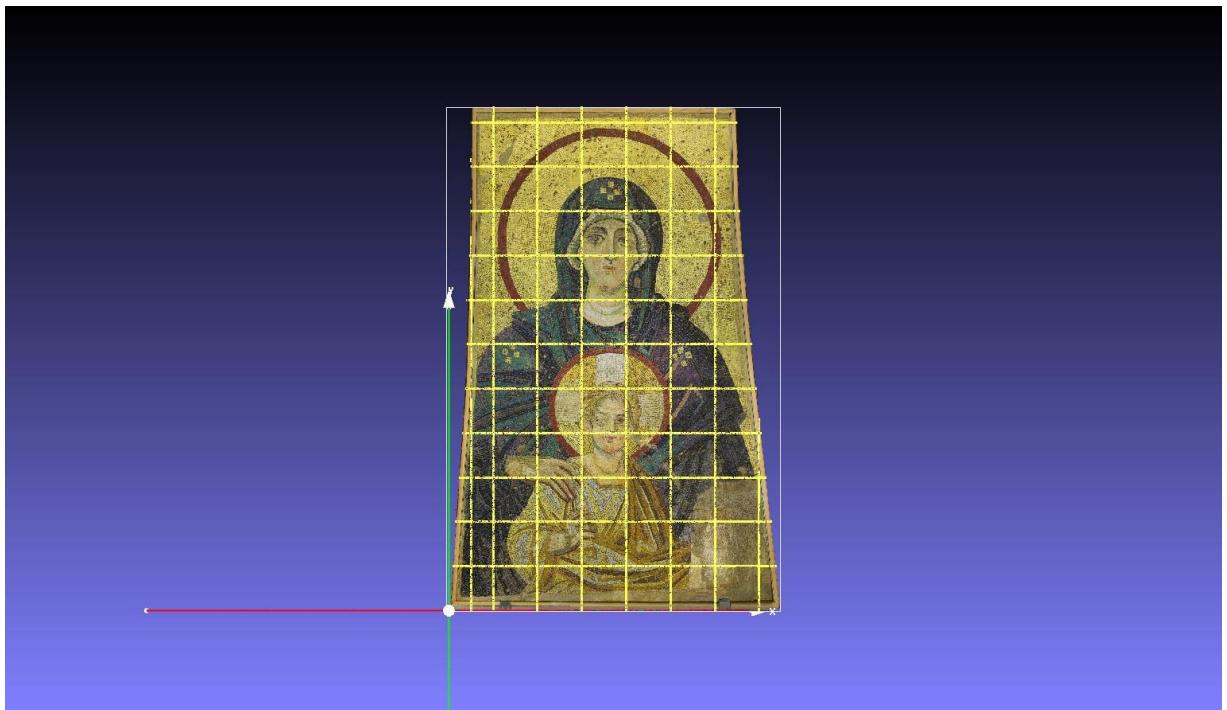
Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



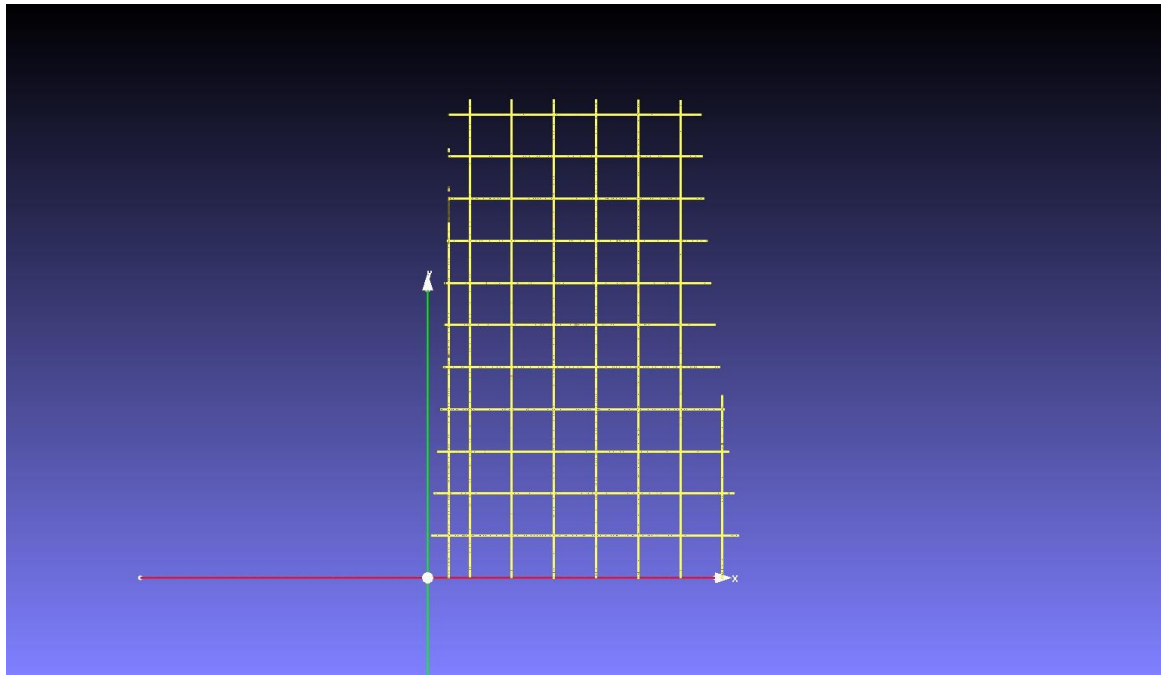
Εικόνα 90: Κατακόρυφες τομές πάνω στο αντικείμενο. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



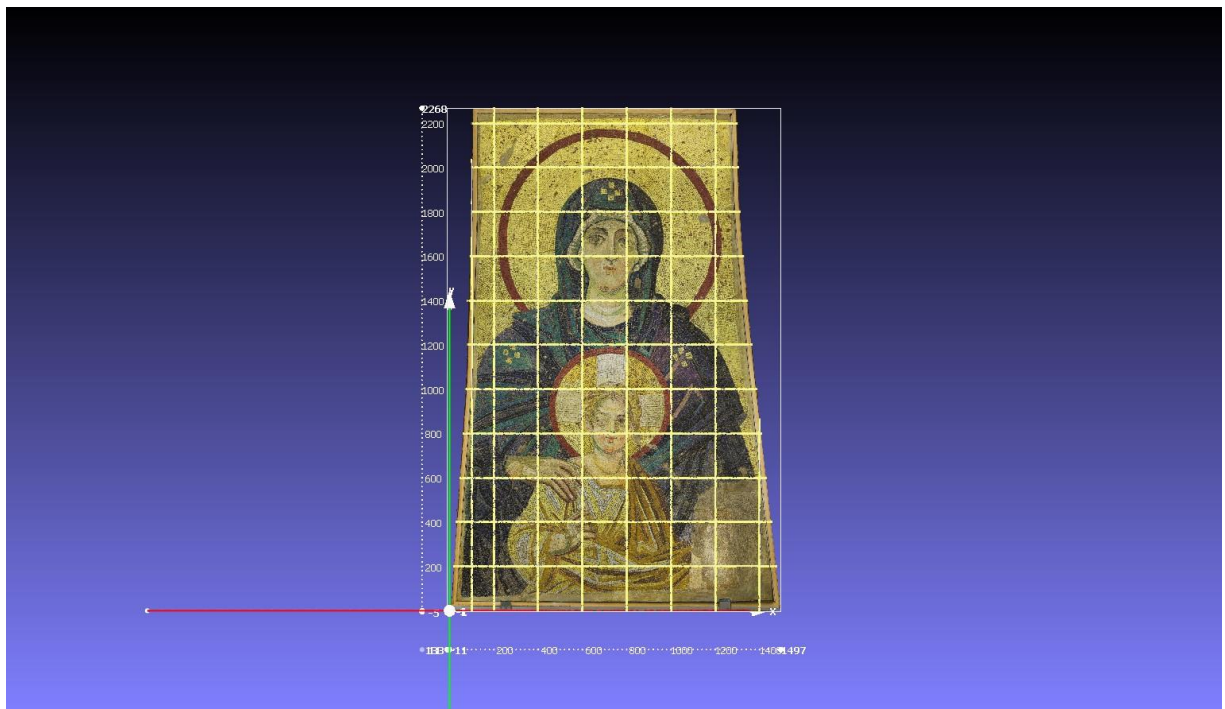
Εικόνα 91: Δημιουργία κατακόρυφων τομών. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



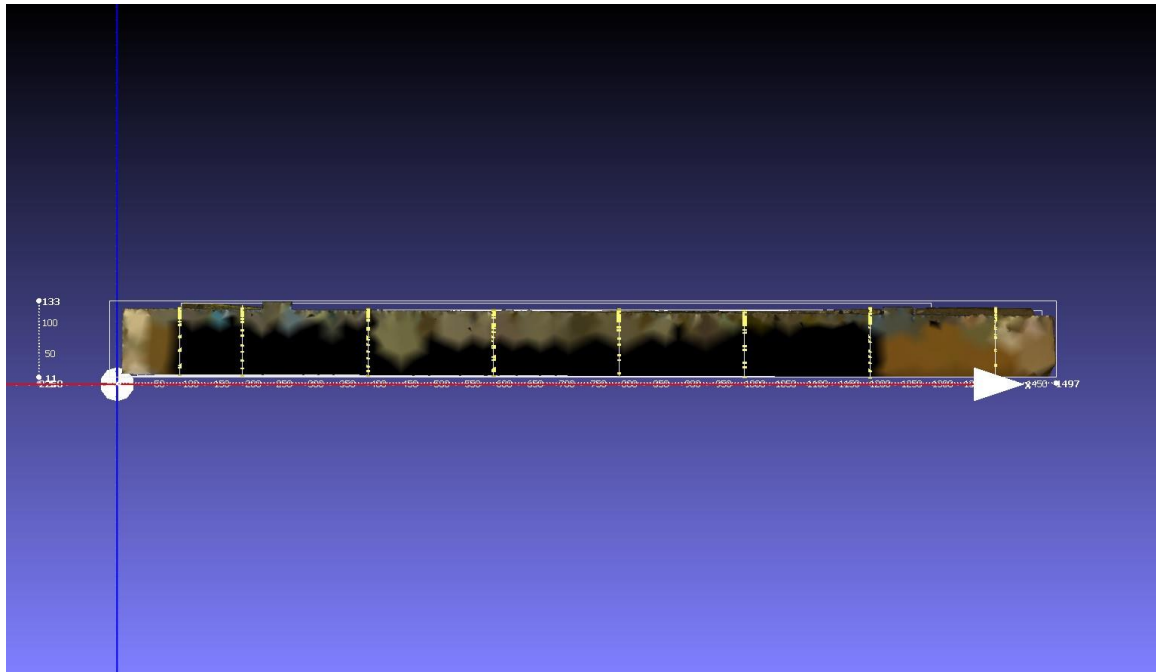
Εικόνα 92: Κατακόρυφες και οριζόντιες τομές του μοντέλου. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 93: Δημιουργία κατακόρυφων και οριζόντιων τομών του τρισδιάστατου μοντέλου.
Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 94: Οι τομές με αρίθμηση. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 95: Οι τομές με αρίθμηση. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Το τελικό μοντέλο της φωτογραμμετρίας είχε Vertices: 9,035,866, και Faces: 18,071,752.

6.6. Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου από τον σαρωτή με την αρωγή υπολογιστή.

- Για να γίνει επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου από τον σαρωτή Artec Leo στον υπολογιστή, χρειάστηκε να τοποθετηθεί πρώτα μια κάρτα microSD στο Artec Leo. Έπειτα, αντιγράφονται τα δεδομένα από τον εσωτερικό χώρο αποθήκευσης της συσκευής στην κάρτα SD . Πραγματοποιείται αφαίρεση της κάρτας microSD από το Leo και τοποθετείτε η κάρτα σε μια συσκευή ανάγνωσης microSD που είναι συνδεδεμένη στον υπολογιστή με το εγκατεστημένο Artec Studio. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν εξειδικευμένος και η διαδικασία ήταν αρκετά χρονοβόρα, διότι το αρχείο του σαρώμενου μοντέλου ήταν αρκετά μεγάλο και συγκεκριμένα 165GB καθώς ήταν στην μέγιστη σάρωση.
- Γίνεται αντιγραφή του αρχείου στον υπολογιστή και επιλέγεται η εφαρμογή Artec Studio. Στην συνέχεια ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Επιλέγονται οι ρυθμίσεις Αρχείο → Εισαγωγή → Έργο Leo .

- Έπειτα, ακολουθεί το Alignment and Registration at a Glance (Ευθυγράμμιση και Εγγραφή με μια Ματιά)

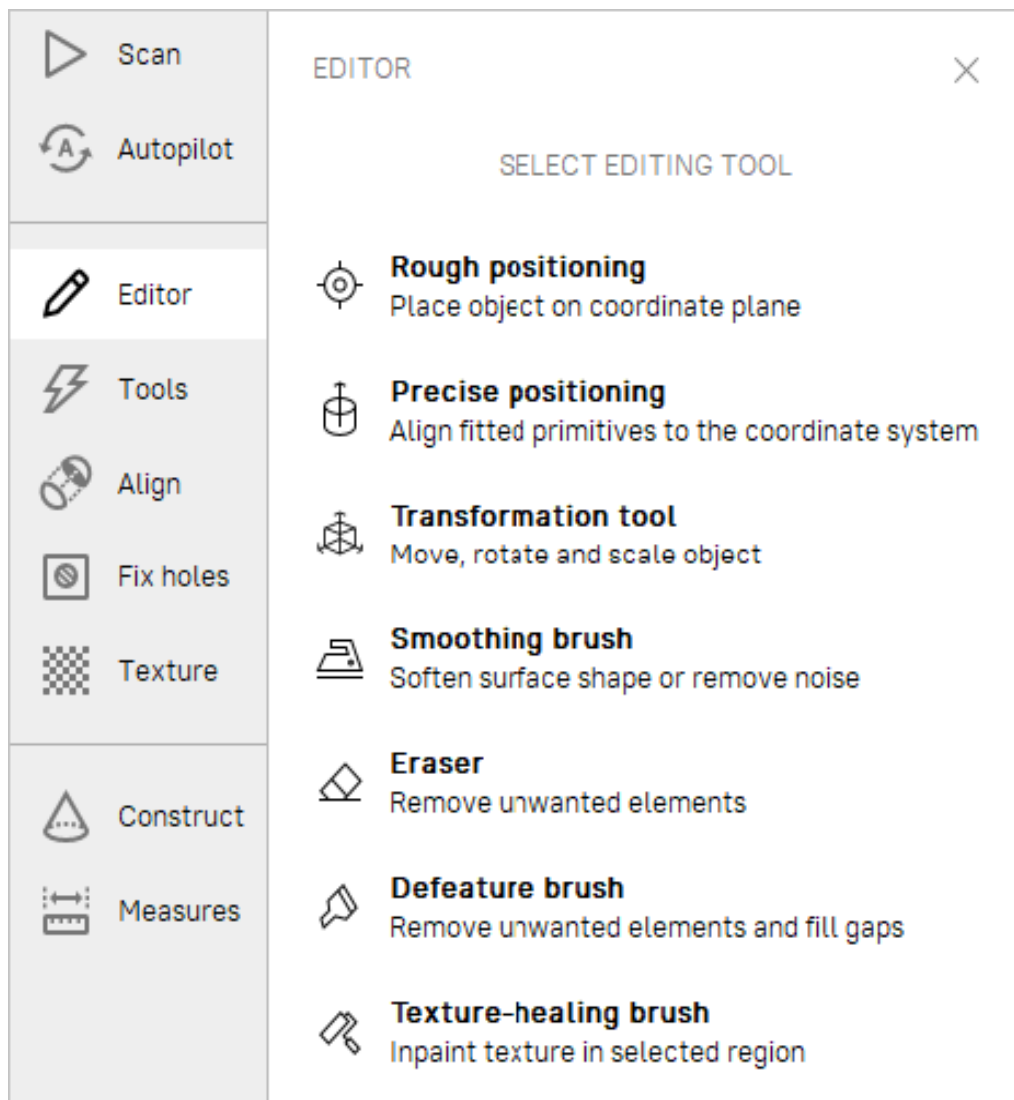
Τα εργαλεία εγγραφής και ευθυγράμμισης μπορεί να εκτελούν παρόμοιες εργασίες, ωστόσο, διαφέρουν σε κάποια σημεία. Ο παρακάτω πίνακας δίνει μια εικόνα για την κατανόηση της λειτουργίας εγγραφής και ευθυγράμμισης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΓΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ.

ΤΥΠΟΣ	ΣΚΟΠΟΣ	ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ
Fine registration (Απλή εγγραφή)	Adjusting frames' positions (Ρύθμιση θέσεων πλαισίων)	Treat scans in batch separately. Starts once you leave Scan panel (Αντιμετωπίστε τις σαρώσεις κατά παρτίδες ξεχωριστά. Ξεκινήστε μόλις αποχωρήσετε από τον πίνακα σάρωσης).
Align (Ευθυγράμμιση)	Assembling scans (Συναρμολόγηση σαρώσεων)	Βλ. Πίνακα 4
Global registration (Παγκόσμια εγγραφή)	Optimizing frames within scans (Βελτιστοποίηση πλαισίων σε σαρώσεις)	Launch it for a pre-aligned batch of scans or for a single scan (Εκκινήστε το για μια προ-ευθυγραμμισμένη παρτίδα σαρώσεων ή για μια μεμονωμένη σάρωση)
Rough registration (Πρόχειρη εγγραφή)	Preliminary registration performed during scanning (Πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική εγγραφή κατά τη σάρωση)	No need to start it manually (Δεν χρειάζεται να ξεκινήσει χειροκίνητα)

- Στην συνέχεια, ένα σημαντικό βήμα είναι η Επεξεργασία σαρώσεων (Editing Scans). Για να πραγματοποιηθεί επεξεργασία της σάρωσης θα πρέπει να εκτελεστεί άνοιγμα του προγράμματος επεξεργασίας από τον πλαινό πίνακα και να γίνει επιλογή του εργαλείου Γόμας. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί

το εργαλείο εντοπισμού θέσης ή το εργαλείο μετασχηματισμού για να προσανατολιστούν τα σαρωμένα δεδομένα.



Εικόνα 96: Πίνακας επεξεργασίας (Editor panel).

Πηγή: <http://docs.artec-group.com/as/15/en/process.html>

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Parameters for alignment modes (Παράμετροι για τρόπους ευθυγράμμισης).

Mode	Object Types	Objects per Operation	Markers in Set	Notes
Rigid (markers)	Any	2	2	Considers only coordinates, not geometry
Rigid (meshes)	Any	2	0 or 2	Considers geometric features
Rigid (texture)	Scans with poor geometry	2	0 or 2	High resource consumption
Rigid (auto)	Any	Any number	—	Works if surface is well textured
“Drag”	Any	2	—	Interactive
Nonrigid	Polygon models	Any number	0 or 2	Deforms surfaces and textures; pre-alignment required
Complex	Any	1 (at least 2 for models)	At least 1	Precise and flexible

- Αφού πραγματοποιηθεί η διαδικασία του Fine Registration (το Fine Register είναι ένας αλγόριθμος που έχει σχεδιαστεί για την ακριβή ευθυγράμμιση των τραβηχθέντων καρτέ) ακολουθεί το βήμα Creating models (Fusion) το οποίο είναι η διαδικασία που δημιουργεί ένα πολυγωνικό τρισδιάστατο μοντέλο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας από τους παρακάτω αλγόριθμους:
 - ❖ Fast fusion για να παράγει γρήγορα αποτελέσματα.
 - ❖ Smooth fusion όπου προτιμείται για τη σάρωση των ανθρώπινων μορφών λόγω της ικανότητάς της να αντισταθμίζει τις ελαφρές κινήσεις του ατόμου που σαρώνετε.

- ❖ Sharp fusion αναδομεί τέλεια τα χαρακτηριστικά και είναι κατάλληλο τόσο για βιομηχανικά αντικείμενα όσο και για τα ανθρώπινα σώματα.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο Sharp fusion, διότι έχει την δυνατότητα να σαρώσει περιοχές με λεπτές λεπτομέρειες και αιχμηρές άκρες. Επιπλέον, η ανάλυση του δεν είναι μικρότερη από 0,6 και μπορεί να κλείσει τρύπες. Έχει υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας και είναι ταχύτερο από το smooth fusion.

- Για την εξαγωγή (export) του μοντέλου επιλέγονται οι ρυθμίσεις: Αρχείο → Εξαγωγή → Μοντέλα.
- Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε καθαρισμός-αφαίρεση περιμετρικά του μοντέλου από διάφορα περιττά στοιχεία της σάρωσης που δεν αποτελούσαν μέρος του αντικειμένου, με τη χρήση της χειροκίνητης επιλογής και αφαίρεσης.
- Έπειτά, δημιουργήθηκε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο μέσω του λογισμικού Cloud Compare σε κλίμακα 1:1.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το τρισδιάστατο μοντέλο του σαρωτή είχε Vertices: 23,565,931 και Faces: 47,097,722 πράγμα που κατέστησε την επεξεργασία του ιδιαίτερα χρονοβόρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

7.1. Κατάσταση διατήρησης του αντίγραφου ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί.

Το συγκεκριμένο γύψινο αντίγραφο ψηφιδωτό έχει διαστάσεις 226 X 148,6 εκ. και βρίσκεται σε μία σχετικά καλή κατάσταση διατήρησης. Οι σημαντικότερες φθορές αναφέρονται στην παθολογία του αυθεντικού όπως αυτή αποτυπώθηκε στη μήτρα κατά τη χρονική περίοδο δημιουργία της μήτρας. Επομένως, δεν αποτυπώθηκαν οι φθορές του αντιγράφου αλλά του αυθεντικού ψηφιδωτού οι οποίες αρχικά εντοπίζονται στο πρόσωπο του Χριστού, καθώς υπάρχει απώλεια υλικού σχεδόν σ'όλο το αριστερό του μάτι όπως το αντικρίζει ο θεατής, μερική απώλεια στο δεξί του μάτι, αλλά και στο δεξί του αυτί. Επίσης, απώλεια υλικού εντοπίζεται και στο πάνω μέρος της κεφαλής του και η οποία επεκτείνεται στη δεξιά πλευρά της κεφαλής και καταλήγει μέχρι το κόκκινο φωτοστέφανο.

Απώλεια υλικού εντοπίζεται και στο πρόσωπο της Παναγίας. Συγκεκριμένα, στα δύο μάτια και ιδιαίτερα στο δεξί (όπως το αντικρίζει ο θεατής), καθώς και στο μέτωπο, αλλά και στην άκρη του πηγουνιού.

Επιπρόσθετα, παρατηρούνται μικρές περιοχές απώλειας ψηφιδωτής επιφάνειας σ'όλη την ενδυμασία της Παναγίας, αλλά και σ' ένα μικρό ποσοστό στην ενδυμασία του Χριστού.

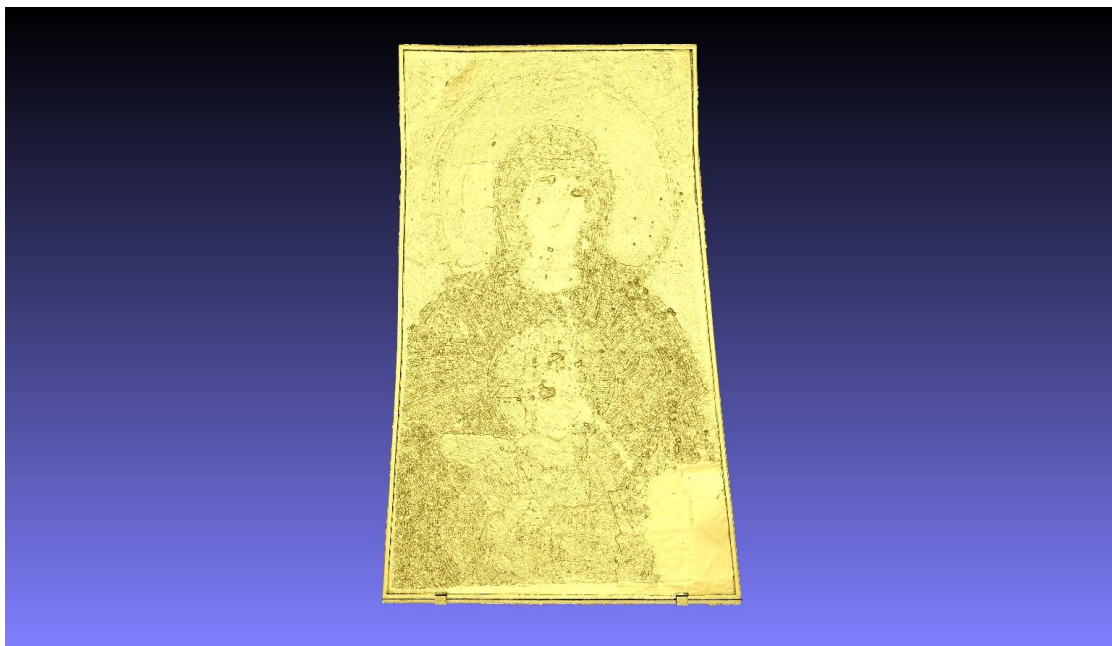
Στην κάτω δεξιά πλευρά του υπάρχει μεγάλη απώλεια ψηφιδωτής επιφάνειας.

Στο φόντο περιμετρικά από το φωτοστέφανο παρατηρήθηκαν μερικές περιοχές απώλειας της ψηφιδωτής επιφάνειας.



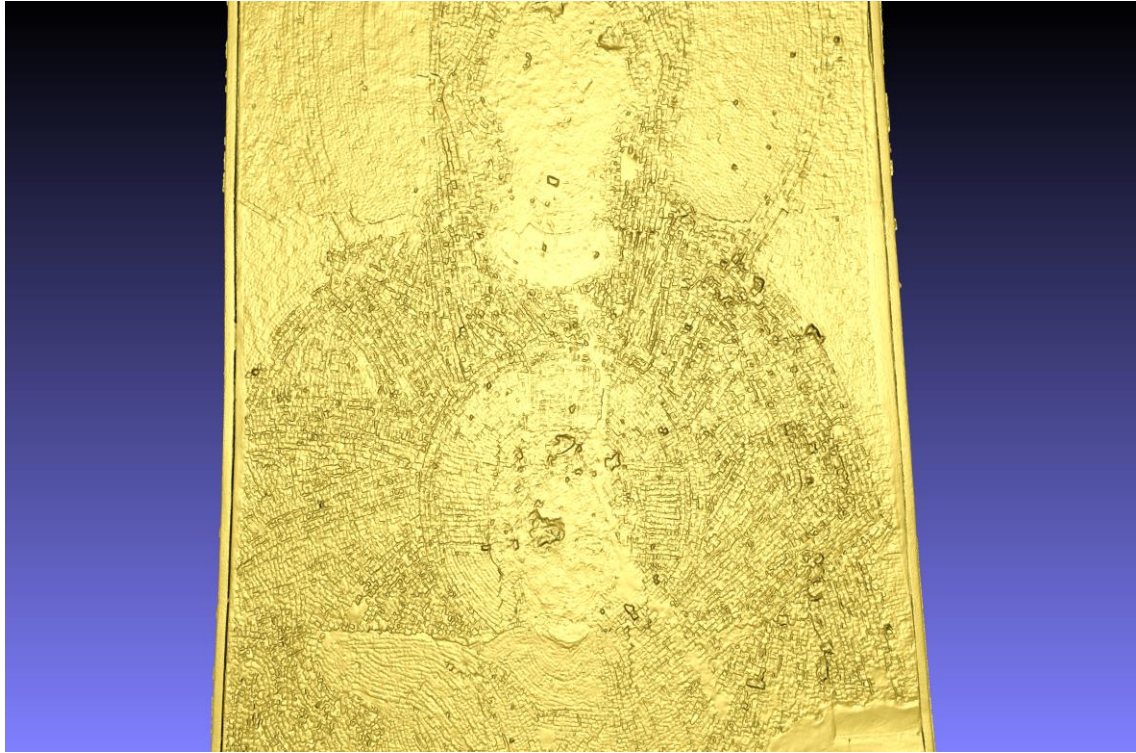
Εικόνα 97: Η χαρτογράφηση της απόλειας ψηφιδωτής επιφάνειας μέσω του λογισμικού Meshlab. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Για αποτελεσματικότερη τεκμηρίωση των φθορών επιλέχθηκε το εργαλείο Dimple.gdp, διότι αλλάζει την κλίση του φωτός και αναδεικνύει καλύτερα την παθολογία του αντικειμένου.

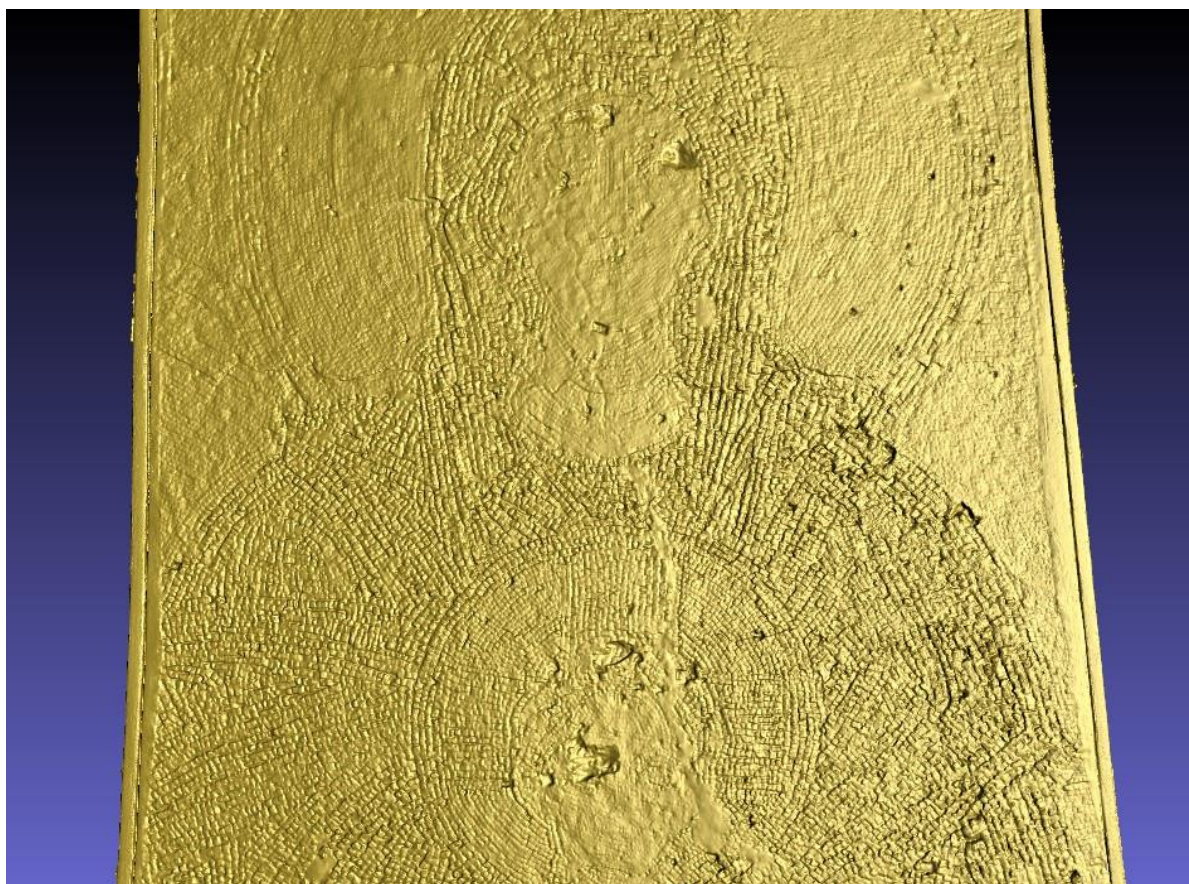


Εικόνα 98: Χρήση του εργαλείου Dimple.gdp μέσω του λογισμικού Meshlab. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

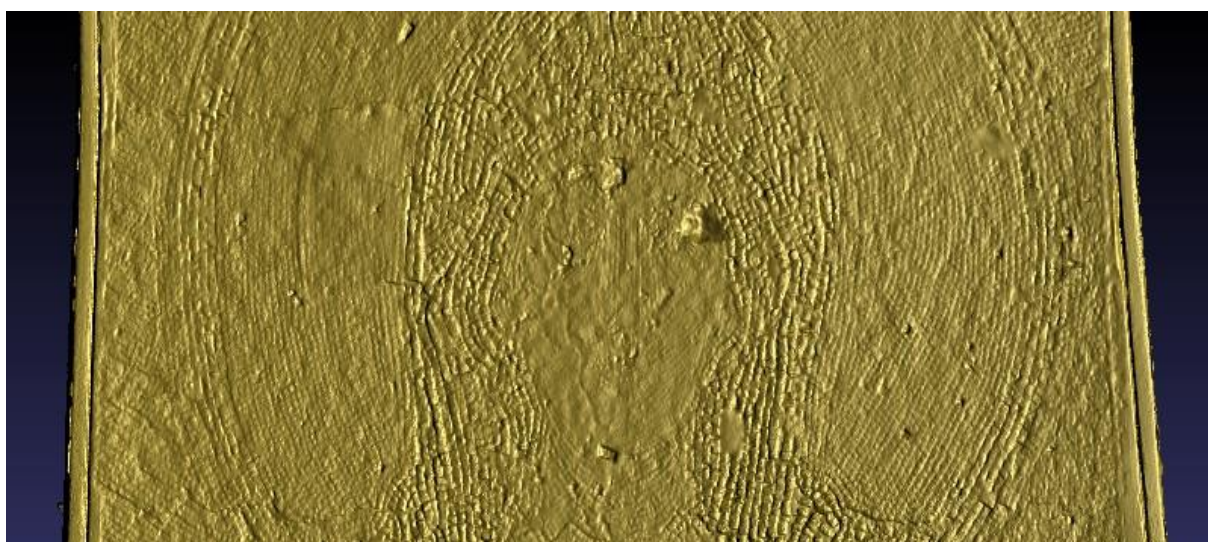
Η συγκεκριμένη ρύθμιση δείχνει ότι το πρόσωπο της Παναγιάς πιθανότατα ήταν ζωγραφισμένο και δεν είχε ψηφίδες σε κάποιες περιοχές του.



Εικόνα 99: Χρήση του εργαλείου Dimple.gdp μέσω του λογισμικού Meshlab. Αλλαγή της κλίσης του φωτός προς τα δεξιά από τον άξονα Z (7). Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

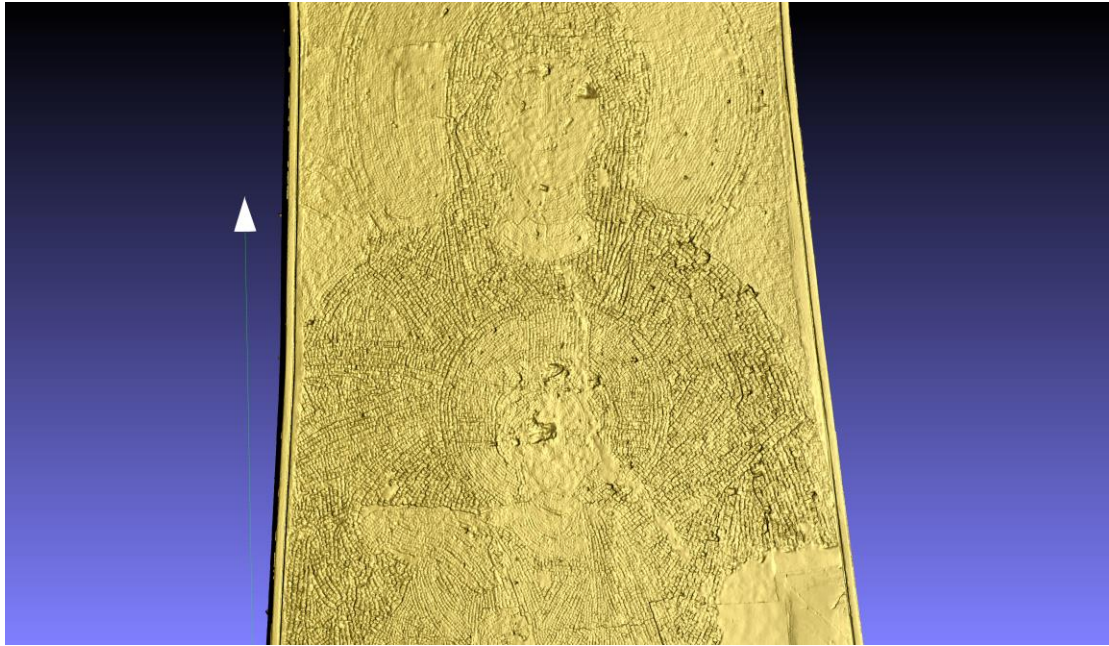


Εικόνα 100: Χρήση του εργαλείου Dimple.gdr μέσω του λογισμικού Meshlab. Αλλαγή της κλίσης του φωτός από τον άξονα X(5) και Z (7). Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



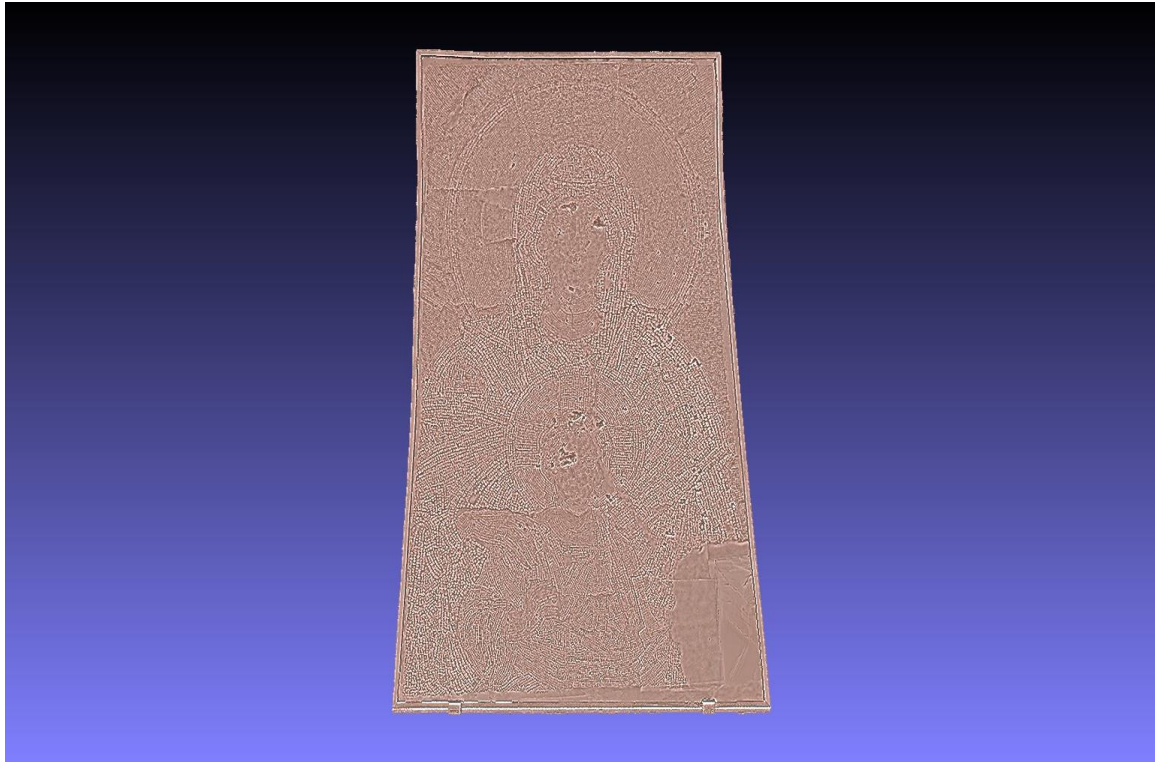
Εικόνα 101: Το πρόσωπο της Παναγιάς από το λογισμικό Meshlab.. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Επιπλέον, το συγκεκριμένο αντικείμενο είχε ρωγματώσεις κυρίως οριζόντιες και προς το κέντρο του. Ειδικότερα, αρκετές ρωγματώσεις διέρχονταν προς το πρόσωπο του Παιδιού και της Παναγιάς και κάποιες άλλες ήταν στο πάνω μέρος του αντικειμένου.



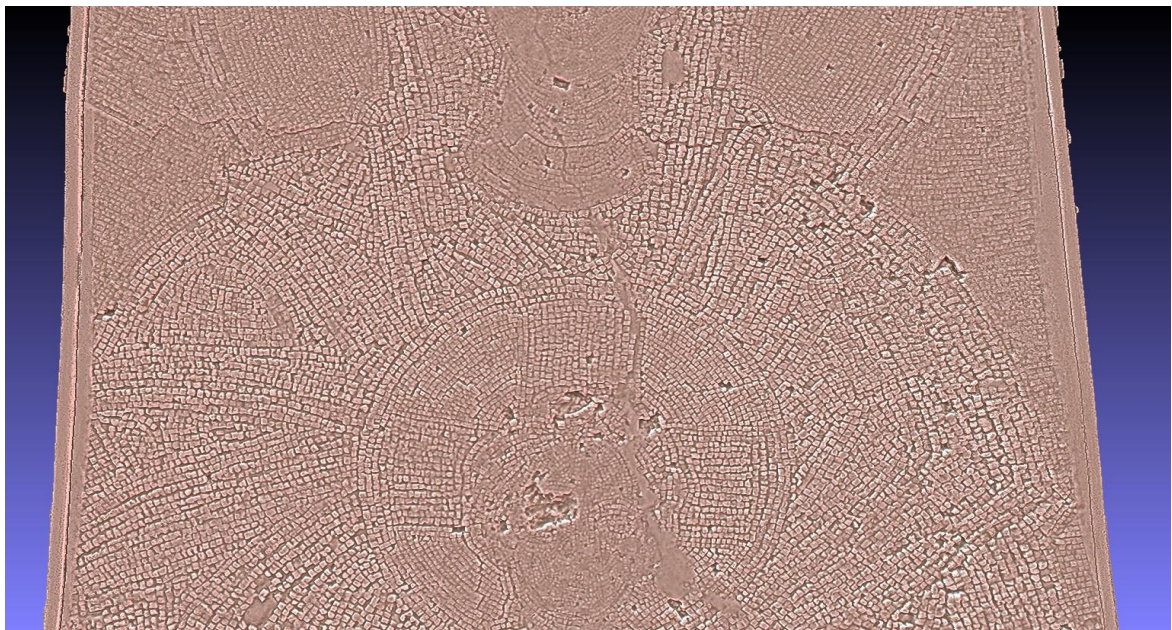
Εικόνα 102: Οι ρωγματώσεων της ψηφιδωτής επιφάνειας διαφαίνονται μέσα από την ρύθμιση Dimple.gdr του λογισμικού Meshlab. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Στην συνέχεια για την ανάδειξη των εσοχών και εξοχών χρησιμοποιήθηκε η ρύθμιση Radiance Scaling Parameters.

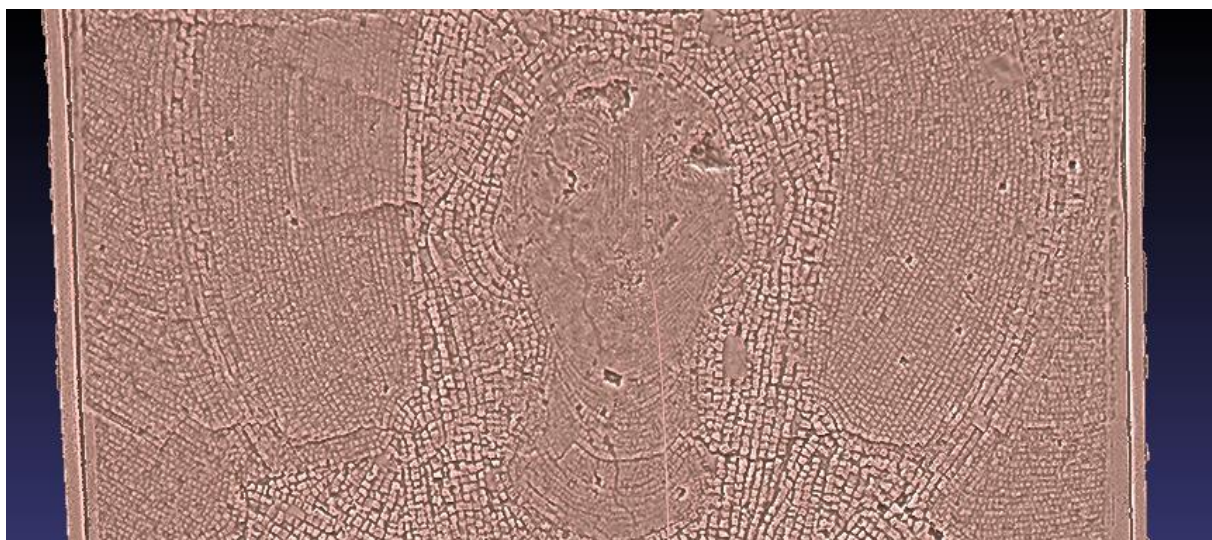


Εικόνα 103: Χρήση του εργαλείου *Radiance Scaling Parameters* μέσα από το λογισμικό *Meshlab*. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Εσοχές παρατηρούνται στο κεφάλι του Παιδιού, αλλά υπάρχουν μερικές εσοχές και στα άκρα του ενδύματος της Παναγίας.



Εικόνα 104: Ύπαρξη εσοχών στο κεφάλι του παιδιού αλλά και στα άκρα του ενδύματος της Παναγίας. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 105: Το πρόσωπο της Παναγίας μέσω της χρήσης του εργαλείου Radiance Scaling Parameters. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Επιπλέον, σε κάποια σημεία της ψηφιδωτής επιφάνειας παρατηρήθηκε απώλεια αρμών.



Εικόνες 106 και 107: Απώλεια αρμών σ'ένα σημείο στο φωτοστέφανο του παιδιού.. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

ΓΕΝΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ



■ ΑΠΩΛΕΙΑ ΨΗΦΙΔΩΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

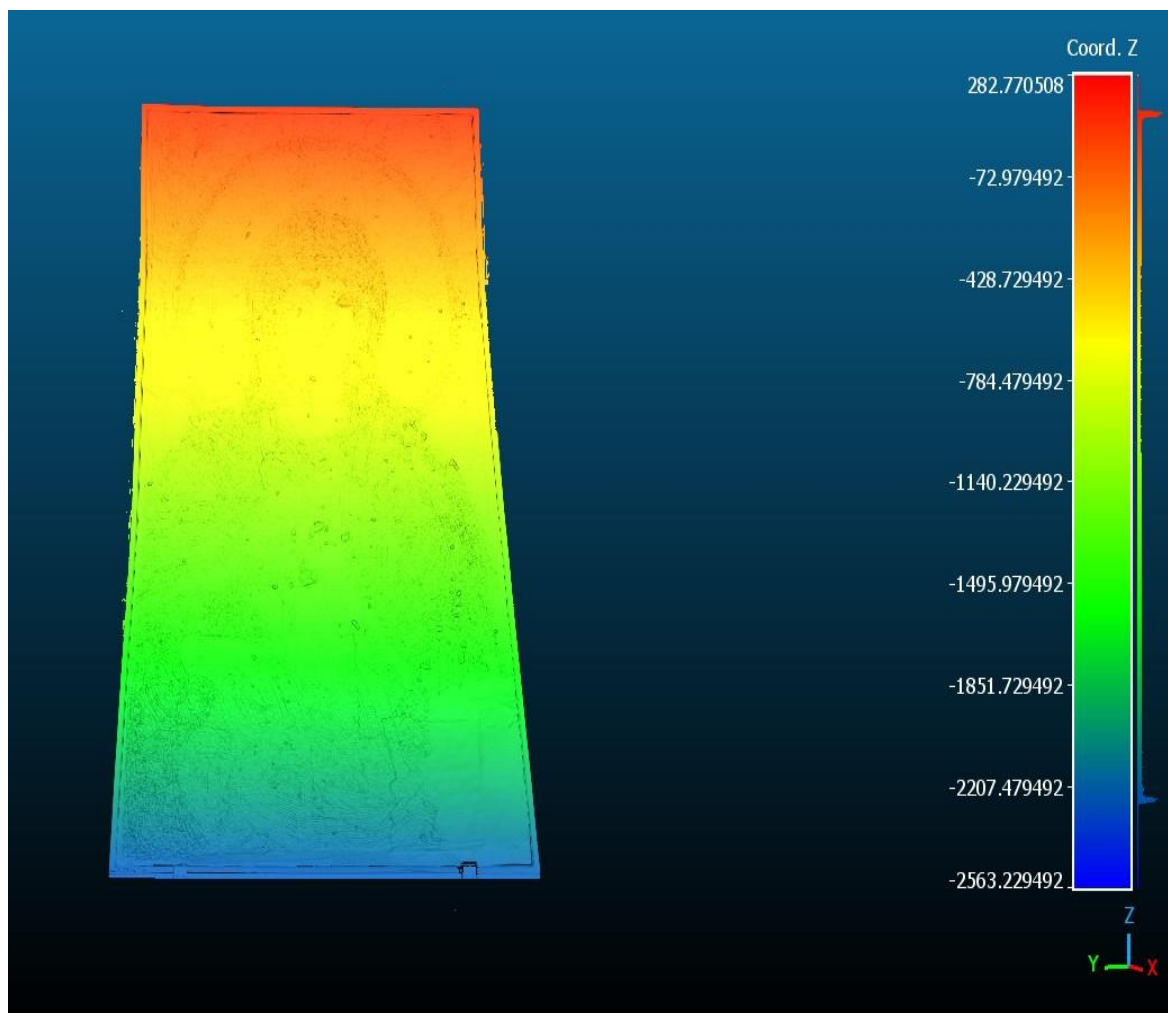
■ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΙΣ

■ ΕΣΟΧΕΣ

■ ΖΩΓΡΑΦΙΣΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣΩΠΩΝ

Εικόνα 108: Γενική χαρτογράφηση του αντικειμένου. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Στο λογισμικό Cloud Compare δημιουργήθηκε ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο του σαρωτή σε κλίμακα 1:1, το οποίο δίνει τις υψομετρικές διαφορές πάνω στο αντίγραφο ψηφιδωτό.



Εικόνα 109: Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο, το οποίο δίνει τις υψομετρικές διαφορές πάνω στο αντίγραφο ψηφιδωτό μέσω του λογισμικού Cloud Compare. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

7.2. Παράγοντες φθοράς

Οι παράγοντες φθοράς χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τους ενδογενείς και τους εξωγενείς. Οι ενδογενείς παράγοντες έχουν σχέση με την δομή αλλά και τις ιδιότητες των υλικών κατασκευής του ψηφιδωτού, ενώ οι εξωγενείς παράγοντες αφορούν τις

περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες αφορούν κατά κάριο λόγο στο κλίμα μίας περιοχής.

Για παράδειγμα, ένας σημαντικός παράγοντας φθοράς είναι επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών. Τα κονιάματα είναι σύνθετα υλικά και στερούνται ελαστικότητας και γι' αυτό είναι αρκετά ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Η ευαισθησία αυτή οφείλεται σε δύο σημαντικούς παράγοντες. Πρώτον, σχετίζεται με το διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής που έχουν τα υλικά ή τα στρώματα που συνθέτουν τα κονιάματα. Δεύτερον, λόγω των χημικών μεταβολών που παθαίνουν τα προϊόντα ενυδάτωσης και ανακρυστάλλωσής τους με αποτέλεσμα να προκαλούν μεταβολές όγκου.

Σημαντικό ρόλο παίζει η συχνότητα και η ταχύτητα των θερμοκρασιακών μεταβολών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ρηγματώσεων σε περιπτώσεις απότομων θερμοκρασιακών αλλαγών. Επιπλέον, οι κύκλοι ύγρανσης – ξήρανσης προξενούν διαστολή-συστολή και η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων προκαλεί ρηγματώσεις και πιθανότατα και αποκόλληση ή υποχώρηση τμημάτων της ψηφιδωτής επιφάνειας του αντικειμένου. Ουσιαστικά, η υγρασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο ως παράγοντας φθοράς. Η υγρασία, αφορά την παρουσία του νερού στο εντοιχίο ψηφιδωτό, κυρίως διεισδύοντας στα τοιχώματα του κτηρίου. Επομένως, το νερό αποτελεί έναν σημαντικό εξωγενή περιβαλλοντικό παράγοντα, που προκαλεί και εντείνει μηχανισμούς διάβρωσης για τις περισσότερες φυσικές και χημικές μεταβολές πάνω στις ψηφιδωτές επιφάνειες.

Επιπλέον, ο ανθρώπινος παράγοντας αποτελεί έναν σημαντικό αρωγός αιτίας φθοράς ενός ψηφιδωτού. Οι αιτίες αυτές προκαλούνται λόγω της έλλειψης ή κακής συντήρησης του αντικειμένου.

7.3.Τεκμηρίωση κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολης κατά την περίοδο του 1964 .

Η αποκάλυψη του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας έγινε από τον Thomas Whittemore και την ομάδα του μεταξύ 1935 και 1939 όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφάλαιο 2. Ο Whittemore δημοσίευσε μερικές φωτογραφίες

από το ψηφιδωτό, αλλά και πληροφορίες σχετικά με την διαδικασία συντήρησης του και παραγωγής εκμαγείων. Ωστόσο, η λεπτομερής αναφορά που ετοίμαζε για την τεκμηρίωση κατάστασης διατήρησης του μετά την αποκατάσταση του έμεινε ημιτελής καθώς πέθανε το 1950 (Mango, Hawkins, 1965)

Η έλλειψη ακριβών πληροφοριών για το ψηφιδωτό της αψίδα κίνησε το ενδιαφέρον του Cyril Mango, Ernest J. W. Hawkins και της επιστημονικής ομάδας τους και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ταξιδέψουν μέχρι την Τουρκία το 1964 για να κάνουν επιτόπια έρευνα πάνω στο ψηφιδωτό (Mango, Hawkins, 1965).

Όσον αφορά την κατάσταση διατήρησης του αντικειμένου εκείνη την χρονική περίοδο διαπιστώθηκε ότι υπάρχει απώλεια ψηφιδωτής επιφάνειας και στα δύο μάτια της Παναγιάς και ίσως έχει προκληθεί από τους εργάτες του Fossati όταν κάνανε επεμβάσεις πάνω στο ψηφιδωτό. Υπάρχουν μικρές περιοχές απώλειας ψηφιδωτής επιφάνειας στο μέτωπο, κάτω από το δεξί μάτι και στην άκρη του πηγουνιού (Mango, Hawkins, 1965).



Εικόνα 110: Το κεφάλι της Παναγιάς του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας έπειτα από την μελέτη των Mango και Hawkins. Πηγή: <http://www.jstor.org/stable/1291228>

Σχετικά με τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν η κορυφογραμμή της μύτης αποτελείται από δύο κατακόρυφες σειρές λευκού μαρμάρου, που ακολουθείται στη δεξιά πλευρά από μια σειρά από προκονησιακό λευκό μάρμαρο και δύο σειρές κρεμ/μπεζ μάρμαρο (cream marble). Στην αριστερή πλευρά αποτελείται από μια σειρά ροζ μάρμαρο, μία σειρά από πορφυρό-καφέ γυαλί, δύο σειρές χακί (olive glass) και δύο σειρές κίτρινου-πράσινου γυαλιού. Η άκρη, όπως η κορυφογραμμή, της μύτης είναι σε λευκό μάρμαρο. Επιπλέον, τα ρουθούνια είναι απόχρωσης μαύρου γυαλιού και το χείλος κάτω από τη μύτη είναι σε πορφυρό-καφέ γυαλί. Η γραμμή χωρισμού του στόματος είναι σε κόκκινο γυαλί. Το άνω χείλος, το ψηλό φως στο κάτω χείλος και οι κορυφογραμμές του στόματος είναι σε βερμιγιόν (vermilion) γυαλί. Η σκιά κάτω από το στόμα είναι σε πορφυρό-καφέ γυαλί. Οι αποχρώσεις της σάρκας της Παναγιάς είναι στα ακόλουθα υλικά: λεπτόκοκκο λευκό μάρμαρο, προκονησιακό λευκό μάρμαρο, γαλακτώδες εκρού γυαλί (χρησιμοποιείται στη δεξιά άκρη του προσώπου), κρεμ μάρμαρο και τρεις αποχρώσεις του ροζ μαρμάρου. Στην άκρη του πηγουνιού υπάρχει μια πινελιά από γυαλί βερμιγιόν (vermilion) όπως και τρεις γραμμές στο αριστερό μάγουλο. Τα σκιασμένα μέρη του προσώπου αποτελούνται από μωβ-καφέ γυαλί, χακί γυαλί, ανοιχτό πράσινο και κιτρινοπράσινο γυαλί. Τα αυτιά δεν είναι οριοθετημένα. Οι ψηφίδες που χρησιμοποιούνται στο πρόσωπο είναι περιστασιακά μικρές έως 3 mm. η κάθε ψηφίδα. Το υλικό των ενδυμάτων της Παναγιάς υποδεικνύεται από μόνο τέσσερις αποχρώσεις γυάλινων ψηφίδων: τρκουάζ, μπλε του κοβαλτίου, σκούρο μπλε και μαύρο (πότε σκέτο μαύρο, άλλοτε μωβ). Το τρκουάζ έχει υποστεί σημαντική φθορά της επιφάνειας με αποτέλεσμα να αποκτά πιο χλωμή απόχρωση (Mango, Hawkins, 1965).

Σχετικά με το κεφάλι του παιδιού υπάρχει περιοχή απώλειας της ψηφιδωτής επιφάνειας στο δεξί μάτι, στο δεξί αυτί, στην κορυφή του κεφαλιού και κάτω από την αριστερή πλευρά των μαλλιών σε ένα σημείο ακριβώς πάνω από το αριστερό αυτί.



Εικόνα 111: Το κεφάλι του παιδιού του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας έπειτα από την μελέτη των Mango και Hawkins. Πηγή: <http://www.jstor.org/stable/1291228>



Εικόνα 112: Το χέρι του παιδιού του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην αγίδα της Αγίας Σοφίας έπειτα από την μελέτη των Mango και Hawkins. Πηγή: <http://www.jstor.org/stable/1291228>

Στο κάθισμα του θρόνου τοποθετούνται δύο μαξιλάρια. Το πάνω μαξιλάρι είναι διακοσμημένο με φύλλα κισσού σε κόκκινες γυάλινες ψηφίδες. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του μαξιλαριού στα δεξιά του θεατή έχει καταστραφεί.

Αναφορικά με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο Παιδί, παρουσιάζεται με ξανθά μαλλιά. Οι πιο ανοιχτόχρωμες τρίχες είναι σε κίτρινο γυαλί και κίτρινο-πράσινο γυαλί, οι πιο σκούρες τρίχες είναι σε καφέ γυαλί και ματ καφέ γυαλί. Οι αποχρώσεις της σάρκας του προσώπου είναι από λεπτόκοκκο λευκό μάρμαρο χρησιμοποιείται στο κέντρο του μετώπου, πάνω από τα φρύδια, μια κάθετη σειρά κάτω από την κορυφογραμμή της μύτης και μια εγκάρσια σειρά στην κορυφή της γέφυρας, την άκρη της μύτης, το πάνω μέρος του πηγουνιού και μερικές γραμμές κάτω από τα μάτια. Η γκριζα φλέβα του προκονησιακού μαρμάρου παρέχει ανοιχτόχρωμες σκιές

στην κορυφογραμμή της μύτης (κάθεται, εκατέρωθεν της λευκής γραμμής), ανάμεσα στα φρύδια, στη δεξιά πλευρά του μετώπου (μέσα στην πράσινη γραμμή σκιάς), κάτω από τα μάτια. Χρησιμοποιούνται τρεις τόνοι ροζ μαρμάρου, οι πιο χλωμοί κυρίως στο μέτωπο, οι δύο πιο έντονοι στα μάγουλα και το πηγούνι. Κρεμ μάρμαρο περιγράφει τη μύτη και τα ρουθούνια. Υπάρχουν τρεις τόνοι πράσινου γυαλιού: ανοιχτό κίτρινο-πράσινο, κιτρινοπράσινο (κάτω από τα μάτια, στη δεξιά πλευρά του λαιμού και στη δεξιά πλευρά του μετώπου) και ανοιχτό πράσινο (περίγραμμα του δεξιού σαγονιού). Το χακί γυαλί χρησιμοποιείται σε δύο τόνους (ο ένας κιτρινωπός) για να περιγράψει ολόκληρη την αριστερή πλευρά του κεφαλιού και σε συνδυασμό με μωβ-καφέ γυαλί στις σκιές γύρω από τα μάτια και κάτω από το στόμα. Επίσης, μωβ-καφέ γυαλί χρησιμοποιείται και για τη μύτη και τα μάτια. Τα φρύδια, τα βλέφαρα, τα ρουθούνια και οι γωνίες του στόματος είναι από μωβ- μαύρο γυαλί. Η χωρίστρα του στόματος είναι σε βαθύ κόκκινο γυαλί. Το (βερμιγιόν) vermilion γυαλί χρησιμοποιείται στα χείλη, σε μικρές κηλίδες στα μάγουλα, σ'ένα σημείο στο κάτω μέρος του πηγουνιού και άλλες στο δεξί αυτί. Τέλος, το άσπρο των ματιών είναι σε λευκό ασβεστόλιθο (Mango, Hawkins, 1965).



Εικόνα 113: Το ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί στην αψίδα της Αγίας Σοφίας με το οριοθετημένο πλαίσιο, έπειτα από την μελέτη των Mango και Hawkins. Πηγή: <http://www.jstor.org/stable/1291228>

ΠΙΝΑΚΑΣ 4:Συνολικό ύψος σύνθεσης από την κορυφή του φωτοστέφανου μέχρι το κάτω μέρος του υποπόδιου 4,89μ.

Total height of composition from top of halo to bottom of footstool	4.89 m.
Maximum width of composition	3.18
The Virgin: Height of figure from top of hood to level of left foot	4.39
Height of head from top of head to chin	0.53
Height of face to lower edge of kerchief	0.33
Maximum width of face excluding ears	0.25
Length of nose	0.13
Length of eyes	0.08
Length of mouth	0.065
Diameter of halo	1.04
Length of middle finger of right hand	0.18
Length of middle finger of left hand	0.25
The Child: Height of figure excluding halo	1.99
Diameter of halo	0.565
Height of head	0.34
Width of face from ear to ear	0.225
Length of index finger of right hand	0.10

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΧΡΩΜΑΤΟΓΡΑΜΜΑ ΨΗΦΙΔΩΝ

	<i>Virgin & Child</i>
<i>Metallic</i>	
1. Gold	yes
2. Silver	yes
	<i>Virgin & Child</i>
<i>Glasses</i>	
3. Deep red	yes
4. Vermilion	yes
5. Yellow	yes
6. Yellow-green	yes
7. Light yellow-green	yes
8. Light green	yes
9. Leaf green	yes
10. Blue-green	yes
11. Turquoise	yes
12. Pale turquoise	yes
13. Cobalt blue	yes
14. Dark blue	yes
15. Black	yes
16. Light olive	yes
17. Olive	yes
18. Purple-brown	yes
19. Clear brown ¹⁹	yes
20. Mat brown ²⁰	yes
21. Milky off-white	yes
<i>Stones</i>	
22. White limestone	yes
23. Proconnesian white marble	yes
24. Proconnesian grey marble	yes
25. Fine-grained white marble	yes
26. Cream marble	yes
27. Pink marble (3 shades)	yes
28. Purple-grey granite ²¹	no
29. Khaki-brown granite	yes
30. Slate-grey (Beykoz) stone	no
31. <i>Terracotta</i>	no
<i>Painted cubes</i>	
32. Red lead (vermilion or pink)	yes
33. Burnt umber	no

7.4.Σύγκρισή κατάστασης διατήρησης του ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην ασίδα της Αγίας Σοφίας Κωνσταντινούπολης την περίοδο του 1964 με το σημερινό αντίγραφο ψηφιδωτό του που στεγάζεται στο Μουσείο Μπενάκη .

Υστερα από ενδελεχή παρατήρηση και εξέταση της τεκμηρίωσης κατάστασης διατήρησης του αυθεντικού ψηφιδωτού Θεοτόκος και παιδί στην ασίδα της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη την περίοδο του 1964 από τους Cyril Mango και Ernest J. W. Hawkins και του υπό εξέταση αντίγραφου ψηφιδωτού στο Μουσείο Μπενάκη μπορεί να εξαχθεί μία συγκριτική ανάλυση της παθολογίας τους. Συγκεκριμένα, είναι αξιοσημείωτο ότι δεν έχει προκληθεί μεγάλη διαφοροποίηση της κατάστασης διατήρησης του αυθεντικού από τότε που δημιουργήθηκε το αντίγραφο έως το 1964.

Φαίνεται να έχει την ίδια σχεδόν απώλεια ψηφιδωτής επιφάνειας με αυτή που αναφέρουν οι Mango και Hawkins για το αυθεντικό. Ωστόσο, αξίζει να επισημανθεί ότι δεν έχει υπάρξει κάποια αναφορά για τις ρωγματώσεις και την απώλεια αρμών στο αυθεντικό ψηφιδωτό. Παρ'όλα αυτά, με βάση το φωτογραφικό αρχείο που είχαν τραβήξει κατά την διάρκεια της μελέτης του αυθεντικού (1964) στην ασίδα παρατηρήθηκε ότι κάποιες ρωγματώσεις ήταν ορατές στις φωτογραφίες, όπως και η απώλεια αρμών. Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται αριστερά το αυθεντικό ψηφιδωτό και δεξιά το αντίγραφο, όπου διαφαίνονται με γυμνό μάτι κάποιες από τις φθορές.



Εικόνες 114, και 115: Απώλεια αρμών σ'ένα σημείο στο φωτοστέφανο του παιδιού κοντά στην αριστερή παρειά του (όπως το βλέπει ο θεατής) φαίνονται και στις δύο φωτογραφίες του 1964 και του 2023. Πηγή: Cyril Mango, Ernest J. W. Hawkins (1964) και προσωπικό αρχείο.



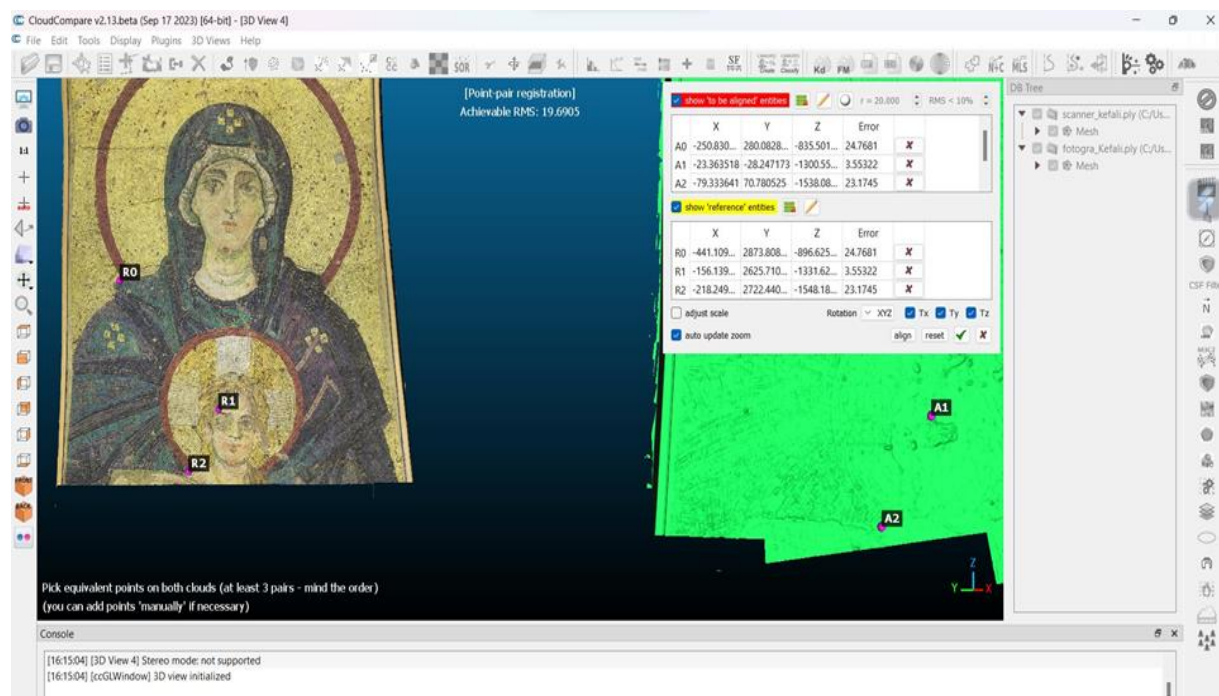
Εικόνες 116 και 117 : Οι ρωγματώσεις της ψηφιδωτής επιφάνειας φαίνονται και στις δύο φωτογραφίες του 1964 και του 2023. Πηγή: Cyril Mango, Ernest J. W. Hawkins (1964) και προσωπικό αρχείο.

Σ' αυτό το σημείο, είναι αδήριτη ανάγκη να αναφερθεί η σημασία που έχει το υπό εξέταση αντίγραφο ψηφιδωτό για τη διάσωση της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτό διότι το συγκεκριμένο ψηφιδωτό αποτελεί μέχρι και σήμερα ένα από τα ελάχιστα, σχεδόν πιστά, αντίγραφα του πρωτότυπου. Αυτό σημαίνει, ότι σε περίπτωση καταστροφής ή σημαντικής και μη αναστρέψιμης φθοράς του πρωτότυπου, η ύπαρξη του αντίγραφου ψηφιδωτού θα συνεχίσει να αποτελεί ένα έργο που δε θα σβήσει τις αρχαιολογικές και ιστορικές γνώσεις μας για τα βυζαντινά ψηφιδωτά της Αγίας Σοφίας. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ιστορική μαρτυρία της κατάστασης διατήρησης του αυθεντικού ψηφιδωτού έτσι ώστε να σηματοδοτούνται οποιαδήποτε αλλαγές υφίστανται σε αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

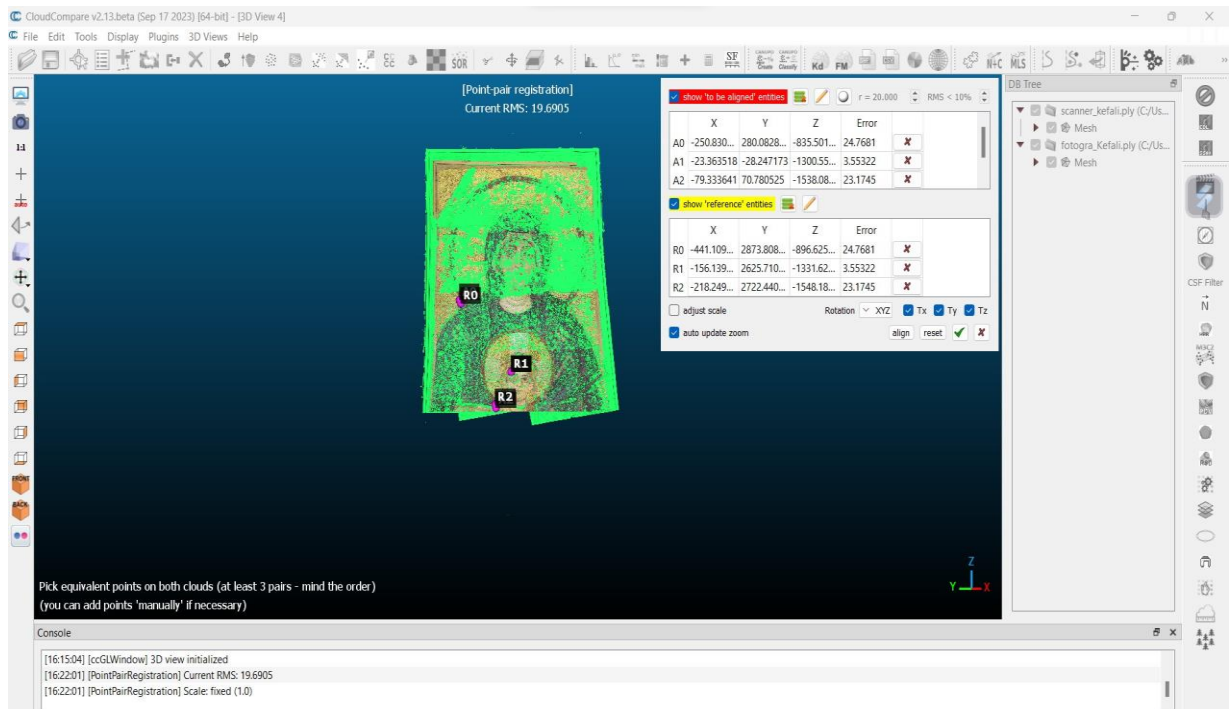
Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον βήμα είναι η διαδικασία για την ενοποίηση των δύο τρισδιάστατων μοντέλων του σαρωτή laser και της φωτογραμμετρίας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cloud Compare. Έγινε εισαγωγή των δυο αρχείων των τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό με σκοπό να βρεθούν κοινά σημεία μεταξύ τους για να ταυτιστούν. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι λόγω του μεγάλου όγκου των αρχείων και των δύο τρισδιάστατων μοντέλων το λογισμικό εκτελούσε πολύ δύσκολα τις εντολές και γι' αυτό αποφασίστηκε να γίνει εισαγωγή ενός συγκεκριμένου μέρους του αντικειμένου και όχι ολόκληρου.

- Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε περικοπή του αντικειμένου από το λαιμό του παιδιού και κάτω στο λογισμικό Meshlab και στα δύο τρισδιάστατα μοντέλα.
- Μετά την εισαγωγή των δύο μοντέλων στο λογισμικό Cloud Compare έγινε επιλογή του εργαλείου "aligns two clouds".
- Στην συνέχεια, επιλέγονται τρία κοινά σημεία και στα δύο τρισδιάστατα μοντέλα.

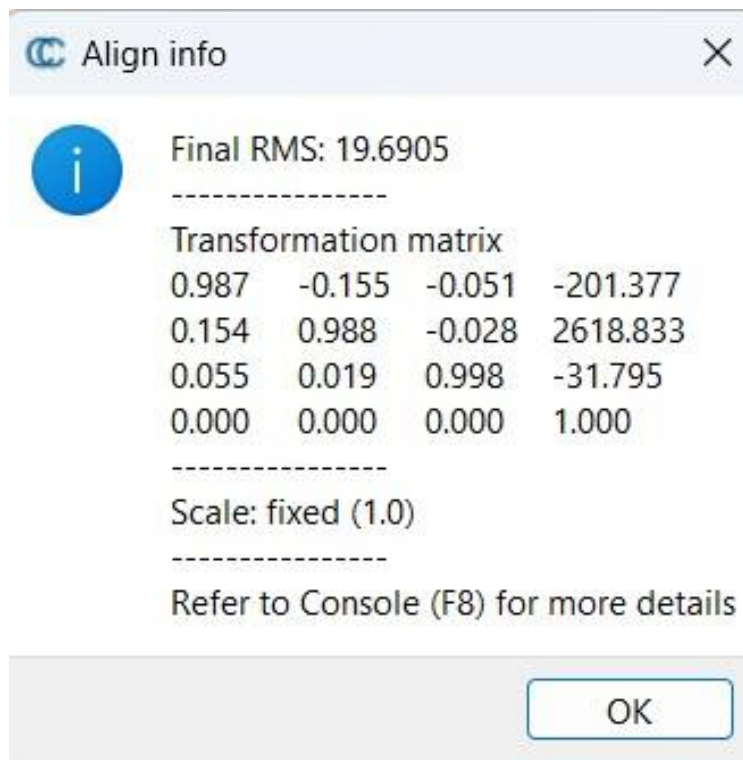


Εικόνα 118: Η τοποθέτηση κοινών σημείων στα δύο τρισδιάστατα μοντέλο μέσα στο λογισμικό Cloud Compare . Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

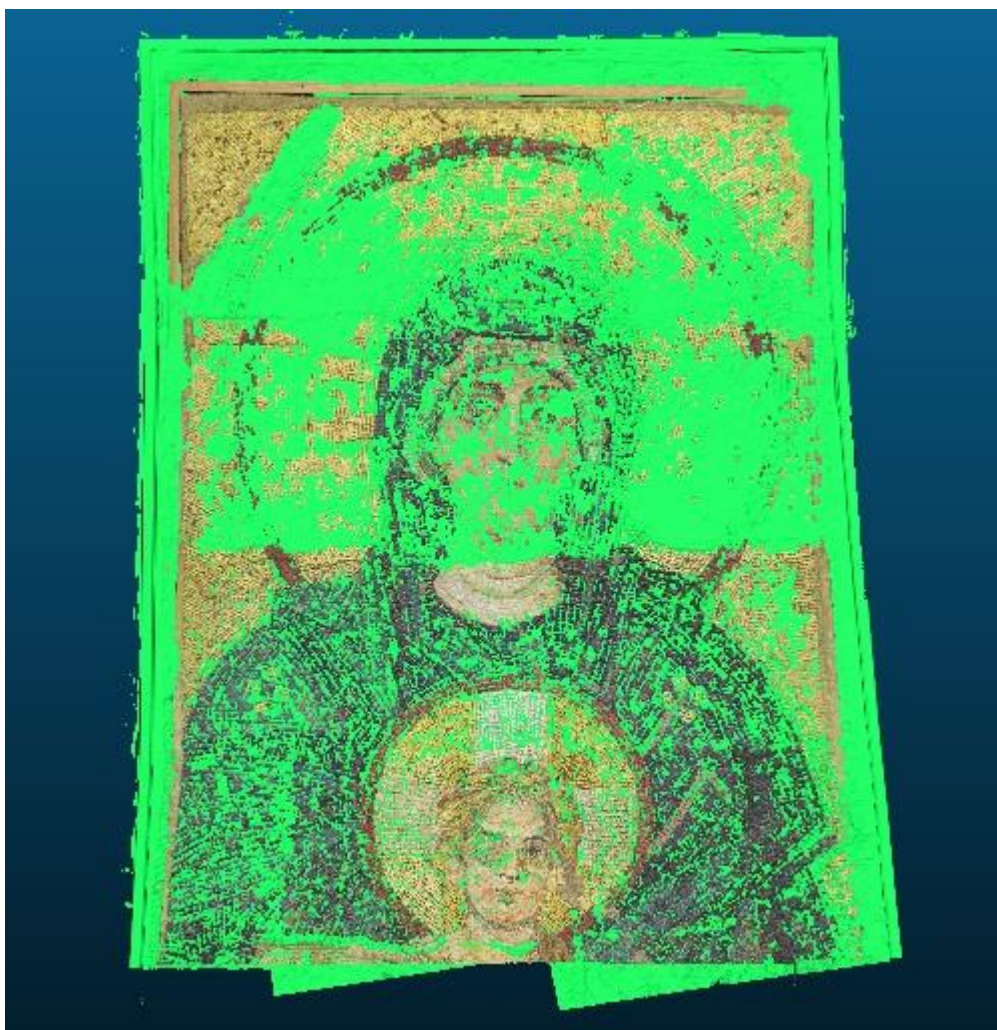
- Έπειτα, επιλέγεται η εντολή "Align", ώστε να γίνει η μεταφορά του τρισδιάστατου μοντέλου της φωτογραμμετρίας πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο του τρισδιάστατου σαρωτή laser.



Εικόνα 119: Η μεταφορά του τρισδιάστατου μοντέλου της φωτογραμμετρίας πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο του τρισδιάστατου σαρωτή laser. Μέσω του λογισμικού Cloud Compare. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



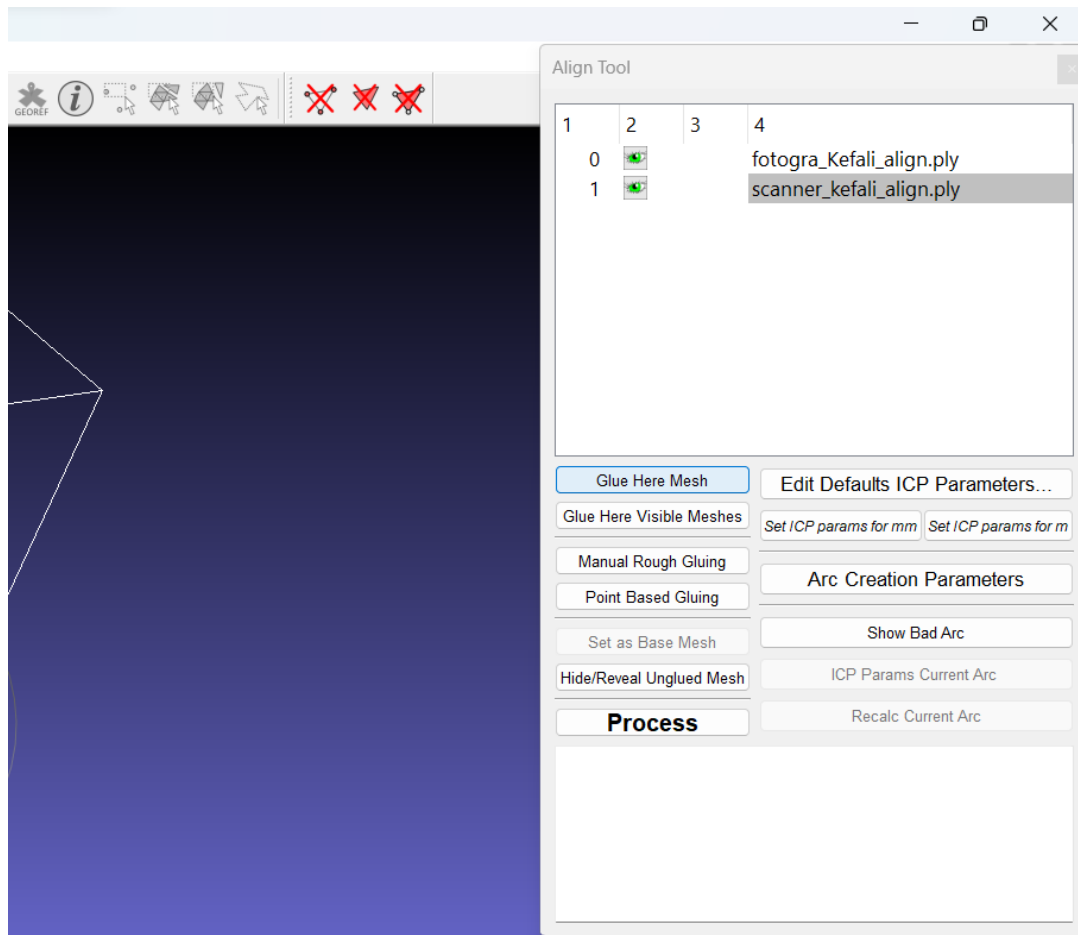
Εικόνα 120: Πληροφορίες του εργαλείου align σχετικά με την συνένωση των μοντέλων που πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Cloud Compare. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



*Εικόνα 121: Συνένωση των δύο τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό Cloud Compare.
Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.*

Ένας άλλος τρόπος συνένωσης των τρισδιάστατων μοντέλων είναι μέσω του λογισμικού Meshlab.

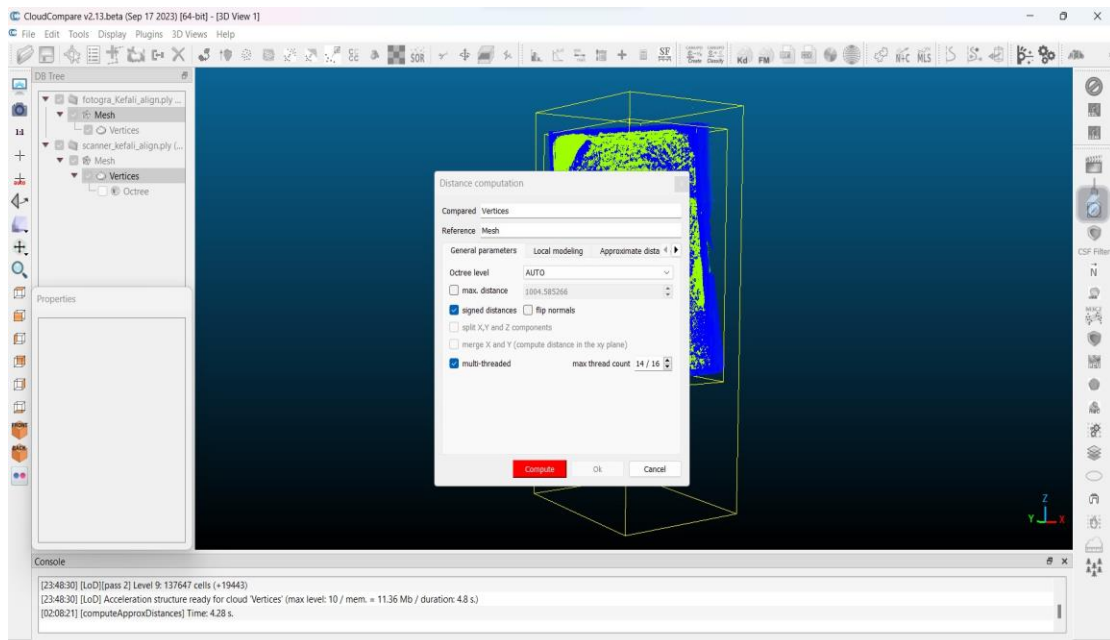
- Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των δύο μοντέλων μέσα στο λογισμικό, ώστε να βρεθούν κοινά σημεία μεταξύ τους για να ταυτιστούν.
- Τα κοινά σημεία που επιλέχθηκαν ήταν τρία και ακολούθησαν οι εντολές "Glue here mesh" και "set as base mesh".
- Μετά την τοποθέτηση των κοινών σημείων επιλέγεται η εντολή "process", για να πραγματοποιηθεί η μεταφορά του τρισδιάστατου μοντέλου της φωτογραμμετρίας πάνω στο τρισδιάστατο μοντέλο του τρισδιάστατου σαρωτή laser.



Εικόνα 122: Συνένωση των δύο τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό Meshlab. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Έπειτα, γίνεται εισαγωγή του τελικού μοντέλου συνένωσης στο λογισμικό Cloud Compare για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση μεταξύ τους.

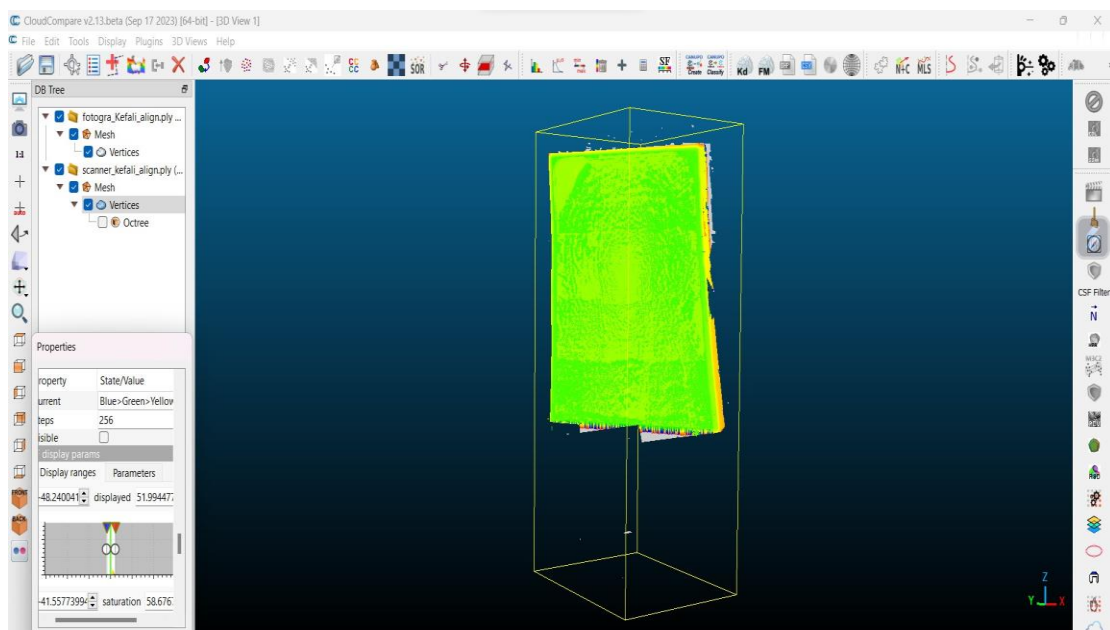
- Αρχικά, επιλέγεται η ρύθμιση Tools → Distances → Cloud Mesh Distance.
- Στην συνέχεια, γίνεται επιλογή της ρύθμισης Compute και τέλος επιλέγεται το Οκ.



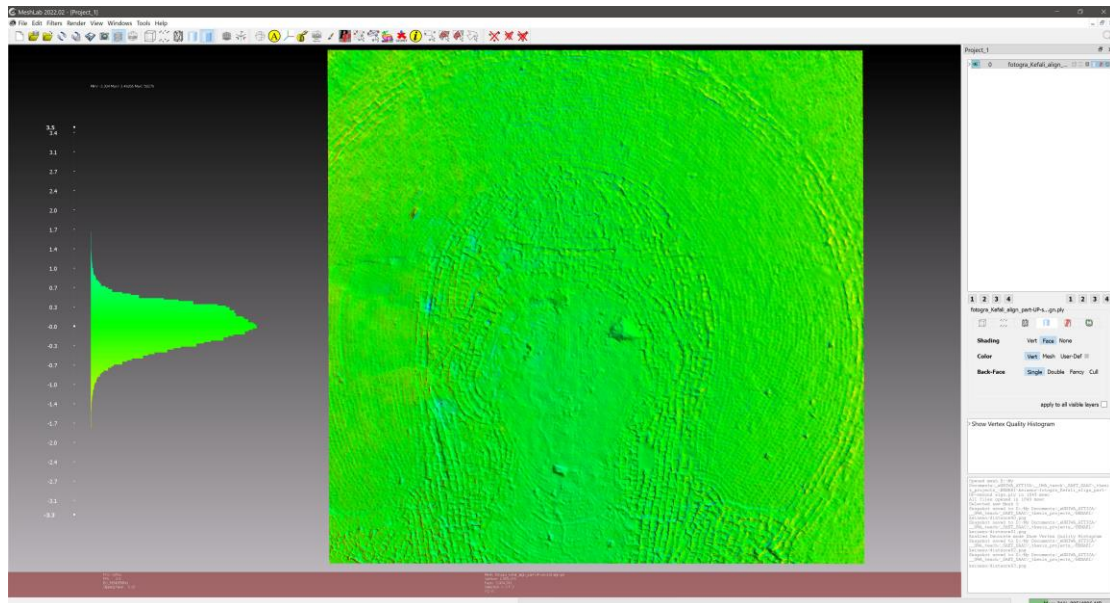
Εικόνα 114: Διαδικασία σύγκρισης των δύο τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό Cloud Compare. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση του μοντέλου της φωτογραμμετρίας με βάση το μοντέλο του σαρωτή.

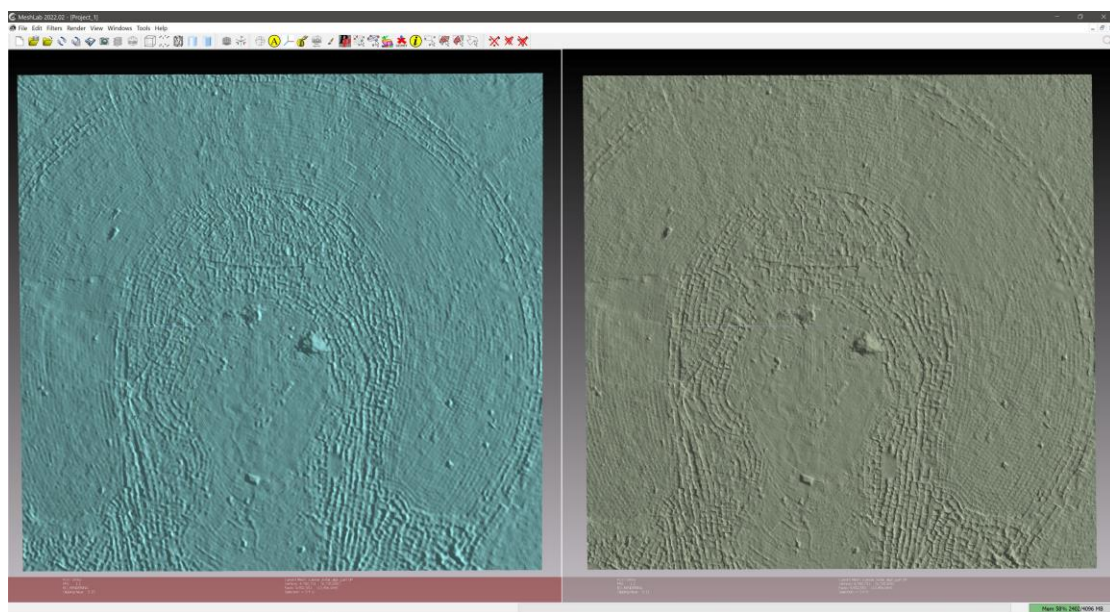
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι αποστάσεις μεταξύ των δυο μοντέλων είναι πολύ κοντινές, συγκεκριμένα είχαν μικρές αποκλίσεις των 0,35χιλ.



Εικόνα 115: Σύγκριση των δύο τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό Cloud Compare. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 116: Οι κορυφές είναι εκεί που είναι η γραφική παράσταση. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.



Εικόνα 115: Σύγκρισης των δύο τρισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό meshlab. Πηγή: Προσωπικό Αρχείο.

Τόσο το μοντέλο της φωτογραμμετρίας όσο και του σαρωτή απέδειξαν ότι αποτελούν σημαντικότερες μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης, και συγκεκριμένα τεκμηρίωσης αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς.

Αναλυτικότερα, και οι δυο μέθοδοι έδειξαν με λεπτομέρεια την απόδοση της υψής και της επιφάνειας. Ωστόσο, το τρισδιάστατο μοντέλο του σαρωτή Artec Leo, κατά την εισαγωγή του στον υπολογιστή λόγω του μεγάλου όγκου που καταλάμβανε (165GB) κατέστησε αδύνατη την απόδοση του χρώματος και γι' αυτό το μοντέλο ήταν ασπρόμαυρο. Ως λύση, για την απόδοση του χρώματος επιλέχθηκε η φωτογραμμετρική μέθοδος γιατί το τρισδιάστατο μοντέλο της παρείχε μεγαλύτερη δυνατότητα διάγνωσης χρωματικών αλλοιώσεων.

Παρ' όλα αυτά το τρισδιάστατο μοντέλο του σαρωτή Artec Leo παρείχε δυνατότητα λεπτομερούς διάγνωσης τύπων και έκτασης φθορών.

Εν κατακλείδι, ο πιο ιδανικός τρόπος ψηφιοποίησης είναι η χρήση και των δύο μεθόδων, καθώς ο συνδυασμός τους δρα αλληλοσυμπληρωματικά παρέχοντας μια αναλυτικότερη και ακριβέστερη δέσμη πληροφοριών για το αντικείμενο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή αντιμετώπισε πολλές προκλήσεις και ιδιαιτερότητες, διότι η τρισδιάστατη ψηφιοποίηση ενός τέτοιου αντικειμένου δεν είναι μια εύκολη διαδικασία. Ειδικότερα, το αντικείμενο της μελέτης, το αντίγραφο ψηφιδωτό Θεοτόκος και παιδί λόγω των μεγάλων διαστάσεων και όγκου του το κατέστησε αδύνατον να μεταφερθεί σε εργαστηριακό περιβάλλον για την ψηφιοποίηση του. Για το λόγο αυτό έπρεπε να βρεθεί άλλος τρόπος ψηφιοποίησης του αντικειμένου μέσα στο χώρο έκθεσης του στο Μουσείο Μπενάκη χωρίς να χρειαστεί η μετακίνηση του. Ως λύση προτάθηκε η τοποθέτηση σκαλωσιάς κοντά στο αντικείμενο με την αρωγή δύο φωτιστικών πηγών για την ψηφιοποίηση του. Καθόλη την διάρκεια της ψηφιοποίησης ο φωτισμός έπρεπε να είναι σταθερά ο ίδιος και ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην αποφυγή των αντανακλάσεων που αποδίδονταν πάνω στο αντικείμενο.

Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιήθηκε κυρίως τις μέρες που το μουσείο ήταν κλειστό για το κοινό και συγκεκριμένες ώρες. Μολονότι, χρειάστηκε μια επιπλέον

μέρα για να γίνει η σάρωση του αντικειμένου , η ψηφιοποίηση έγινε όταν το μουσείο ήταν ανοικτό για το κοινό και η αίθουσα έκθεσης του αντικειμένου ήταν προσβάσιμη για το κόσμο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, οι επισκέπτες να έρθουν σε άμεση επαφή με διαδικασίες που έως τώρα γίνονταν στα απροσπέλαστα εργαστήρια συντήρησης του μουσείου και να προκαλέσει το ενδιαφέρον τους.

Ο σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε (Artec Leo) ήταν προηγμένης τεχνολογίας όπου δεν χρειαζόταν χρήση στόχων για την καταγραφή της επιφάνειας του αντικειμένου, αλλά χρησιμοποιούσε μια διαφορετική μεθοδολογία χρήσης ιδιαίτερα καινοτόμα.

Ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία αποτέλεσε η μεταφορά του σαρώμενου αντικειμένου στον υπολογιστή, καθώς λόγω του μεγάλου όγκου του αρχείου(165GB),καθώς πραγματοποίησε μέγιστη σάρωση, χρειάστηκε πολύ χρόνο για να ολοκληρωθεί η μεταφορά του και η επεξεργασία του. Επιπλέον, αρκετά χρονοβόρα διαδικασία αποτέλεσε και η μετεπεξεργασία των δυο τρισδιάστατων μοντέλων.

Οι μέθοδοι τρισδιάστατης ενεργητικής και παθητικής σάρωσης φάνηκαν ιδιαίτερα αποτελεσματικοί, διότι δημιούργησαν υψηλής ανάλυσης ψηφιακά αντίγραφα που επιτρέπουν την τεκμηρίωση της υφιστάμενης κατάστασης διατήρησης του φυσικού αντιγράφου, κάτι που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να συμβεί στο φυσικό περιβάλλον.

Επομένως, τα ψηφιακά αντίγραφα είναι ιδιαίτερα σημαντικά, επειδή μπορούν καταγράψουν με λεπτομέρεια το αντικείμενο και η τεκμηρίωση του καθίσταται ακριβέστερη. Επιπλέον, το τρισδιάστατο μοντέλο είναι άμεσα διαθέσιμο με αποτέλεσμα ο επιστήμονας να ανατρέξει σε αυτό οποιαδήποτε στιγμή θελήσει.

Μέσω των ψηφιακών αντιγράφων γίνεται και ευκολότερη αναπαραγωγή των φυσικών αντιγράφων. Τα αντίγραφα έργων τέχνης γίνονται για να αναπαράγουν όσο το δυνατόν καλύτερα το πρωτότυπο έργο. Τα αντίγραφα αποτίνουν φόρο τιμής στο πρωτότυπο, αναγνωρίζουν την αξία του και παράλληλα αντλούν τη δική τους αξία από αυτό. Τα ψηφιακά αντίγραφα έχουν πολύπλοκες και δυναμικές σχέσεις με τα αυθεντικά έργα κληρονομιάς που αντιπροσωπεύουν. Αυτά περιλαμβάνουν μορφές μερικής «μετανάστευσης» της αύρας και τη δημιουργία νέων τύπων αξίας και αυθεντικότητας. Ειδικότερα, η αύρα μπορεί να μεταναστεύσει από ένα πρωτότυπο στις αναπαραγωγές του, στην περίπτωσή όπως για παράδειγμα μια ψηφιακή απεικόνιση ενός ψηφιδωτού. Αυτές οι αναπαραστάσεις μπορούν να προσθέσουν ή να

αλλάζουν την αύρα ή την αυθεντικότητα του πρωτοτύπου, καθιστώντας μέρος της συνεχιζόμενης βιογραφίας του πρωτότυπου στη διαδικασία.

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί τα αποτελέσματα της ψηφιοποίησης θα δοθούν και στο MET στα πλαίσια παροχής άδειας για την μελέτη του αντικειμένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενογλώσση

Arslan, C. (2021). Spolia and Textual Reincarnations: A Reassessment of the Hagia Sophia's History, *Convivium: Exchanges and Interactions in the Arts of Medieval Europe, Byzantium, and the Mediterranean*, pp. 64.

Bakker, Th. (2018). *Objects in the Age of Virtual Reproduction: Aura and the Elusive Third Axis*. Masters thesis, OCAD University, pp. 24.

Retrieved April 25, 2023 from:

<https://core.ac.uk/download/pdf/157730468.pdf>

Battani, M. (2011). Aura, Self, and Aesthetic Experience, *Contemporary Aesthetics (Journal Archive)*: Vol. 9 , Article 13, pp. 7.

Retrieved April 20, 2023 from:

https://digitalcommons.risd.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1250&context=liberalarts_contempaesthetics

Benhamou, F. & Ginsburgh, V. (2006). Copies of Artworks: The Case of Paintings and Prints, In V.A. Ginsburgh & D. Throsby (ed.), *Handbook of the Economics of Art and Culture*, Edition 1, Vol. 1, chapter 8, pp. 253-283, Amsterdam: Elsevier BV.

Bolter, J. D., MacIntyre, B., Gandy, M., & Schweitzer, P. (2006). New Media and the Permanent Crisis of Aura. *Convergence*, Vol. 12(1), pp. 21–39.

Budiman, M., Budianta, M., Kusno, A. & Moriyama, M., (2018). Cultural Dynamics in a Globalized World, In *Proceedings of the Asia- Pacific research in Social Sciences and Humanities, Depok, Indonesia, November 7–9, 2016, Topics in arts and humanities*, pp. 89-95.

Cohen A.J., (2011), *Architecture in Religion: The History of the Hagia Sophia and proposals for returning it to worship*, Florida International University, Miami, pp.42-43.

Delouis, O. & Pitarakis, B. (2022). *Discovering Byzantium in Istanbul. Scholars, Institutions, and Challenges, 1800–1955*, Istanbul Research Institute.

Di Giuseppantonio Di Franco, P., Galeazzi, F. & Vassallo, V. (2018), *Authenticity and cultural heritage in the age of 3D digital reproductions*, Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research University of Cambridge. Retrieved April 10, 2023 from:

<https://www.repository.cam.ac.uk/collections/a173de86-a8e7-4b61-8704-91156b04c251> or

<https://api.repository.cam.ac.uk/server/api/core/bitstreams/7a8d8f23-e225-4621-a09a-125b3e4d6a00/content>

Ding, Y. (2017). *The Aura of the Artwork in the Digitalization Age: An experimental study based on Benjamin and Baudrillard*, University of Uppsala, pp. 14-15.

Retrieved April 20, 2023 from:

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1115789/FULLTEXT01.pdf>

Dorffner, L., Kraus, K., Tschannerl, J., Altan, O., Külür, S., & Toz, G. (2000). Hagia sophia - photogrammetric record of a world cultural heritage, in *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam, Vol. XXXIII, Part B5., pp. 173.

Retrieved April 25, 2023 from:

https://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part5/172_XXXIII-part5.pdf

Drandaki, A., Papanikola-Bakirtzi, D. & Tourta. A. (2013). *Heaven and Earth: Art of Byzantium from Greek Collections Exh. cat.* pp. 99, Athens: Benaki Museum, 238-9, 275.

Erismann, C. (2020). John the Grammarian and Photius. A Ninth-Century Byzantine Debate on Depiction, Visual Perception and Verbal Description, *Jahrbuch der Österreichischen Byzantinistik*, Vol. 70, pp. 75-76.

Fossati G., (1852), *Aya Sofia, Constantinople, as recently restored by order of H.M. the sultan Abdul Medjid*, London: Published by Colnaghi & co., , pp.1-2.

Ginsburgh V. A., Throsby D., (2006), Handbook of the Economics of Art and Culture, In Benhamou F., Ginsburgh V., *Copies of Artworks :The Case of Paintings and Prints*, Amsterdam: Elsevier.

Goodyear, Michael, P. (2021). *Heaven or Earth: The Hagia Sophia Re-Conversion, Turkish and International Law, and the Special Case of Universal Religious Sites*, Journal of Islamic & Near Eastern Law, Vol 51, pp. 51-82.

<https://escholarship.org/uc/item/47g3x937>

Grabar A., (1967), *The art of byzantine empire*, Greystone Press, New York, pp. 133.

Grelot G.J., (1680), *Relation nouvelle d'un voyage de Constantinople : enrichie de plans levez par l'auteur sur les lieux, & des figures de tout ce qu'il y a de plus remarquable dans cette ville*, Publisher: En la boutique de Pierre Rocolet, Chez la veuve de D. Foucault, Paris, pp. 127,143,147.

Griffin, J. (2022). *Aura in the post-digital: a diffraction of the curatorial archive*. Doctoral Thesis, Sheffield: Sheffield Hallam University.

<https://shura.shu.ac.uk/30865/>

Herbst, M. (2021). Hagia Sophia: Bridge Across Time, *Anthropology, Cultural Studies, Religion, World History*, Vol. 26:3.

James, L. (2017). Matters of Materiality in Byzantium. The Archangel Gabriel in Hagia Sophia, Constantinople, *Journal of Art History*, Volume 86, Issue 3, pp. 3, 6-7.

Jeffrey, S. (2015). Challenging Heritage Visualisation: Beauty, Aura and Democratisation, *Open Archaeology*, Vol. 1, pp. 144-152. Retrieved April 10, 2023 from:

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opar-2015-0008/html>

Kaptan, Y. (2020). Sensing authenticity, seeing aura: Turkish audiences' reception of Danish drama. In P. M. Jensen, & U. C. Jacobsen (Eds.), *The Global Audiences of Danish Television Drama* (pp. 91-106). Gothenburg: Nordicom, pp. 96.

Retrieved April 20, 2023 from:

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1535686/FULLTEXT01.pdf>

Kostenec J., (2007), *Walking Thru Byzantium: Great Palace Region*, Istanbul: Published by Grafbas, pp.109.

Lagerlund, H. (ed.), (2011). *Encyclopedia of Medieval Philosophy: Philosophy Between 500 and 1500*, New York: Springer, pp.34.

LePree J. F., Djukic L., (2019), *The Byzantine Empire: A Historical Encyclopedia*, Santa Barbara, California: ABC-CLIO, pp. 145-146.

Malik, U. Sh. (2022). *Enhanced cultural experience based on smart Use of 3d digitized cultural heritage artifacts*, pp. 57-61, Dottorato di ricerca, Milan: Politecnico di Milano.

Mango, C & Hawkins, Ernest J. W, (1965). The Apse Mosaics of St. Sophia at Istanbul. Report on Work Carried out in 1964, *Dumbarton Oaks Papers*, Vol. 19, pp. 116-117.

Mango, C. (1962). *The Mosaics of St. Sophia at Istanbul*, Washington: Dumbarton Oaks.

Markovik, K. (2018). *Authenticity in digital surrogates. Workflow development for generating an authentic digital surrogate for heritage conservation*, Auckland , New Zealand: Auckland University of Technology, pp. 21-22.

Retrieved April 10, 2023 from:

<https://openrepository.aut.ac.nz/items/382e4db4-66a0-48e7-a43a-8e29347e531e>

Muzj, M. G. (1988). *L'iconografia della Madre di Dio nell'enciclica «Redemptoris Mater»*, Riparazione mariana, pp. 2. Retrieved April 28, 2023 from: <https://www.iconecristiane.it/wp-content/uploads/2013/05/1988-Iconografia-nella-RM.pdf>

Mygdalis, K. (2021). *Hagia Sophia. The churches of the Wisdom of God around the world*, Interparliamentary Assembly on Orthodoxy, pp. 26-27, 41.

Nelson, R. S. (2004). *Hagia Sophia, 1850-1950: Holy Wisdom Modern Monument*, PP. 182, University of Chicago Press.

Nicholas, A. & Doherty, A. M. (2023) Theorising brand aura. *Journal of Service Management*, Vol. 34 (1). pp. 126-146.

Niewöhner, P. (2014). The South Vestibule of Hagia Sophia at Istanbul. The Ornamental Mosaics and the Private Door of the Patriarchate, *Dumbarton Oaks Papers*, Vol. 68, pp.126-127.

Nur, Y. B. & Say Özer, Y. (2017). Temporality and Memory in Architecture: Hagia Sophia”, in *ICONARP International Journal of Architecture and Planning*, Vol. 5, pp. 60–76. doi: 10.15320/ICONARP.2017.26.

Ozlu, N. (2010). Hagia Sophia and the Demise of the Sacred, *Design Philosophy Papers*, Vol. 8, no. 1, pp, 11–24. Retrieved April 10, 2023 from: https://www.thestudioattheedgeoftheworld.com/uploads/4/7/4/0/47403357/03hagiasophia_and_the_demise_of_the_sacred.pdf

Parry, R. (2005) Digital heritage and the rise of theory in museum computing, *Museum Management and Curatorship*, Vol. 20:4, pp. 333-348.

Rickly, J. (2012). Authenticity & aura: A Benjaminian Approach to Tourism, *Annals of Tourism Research*, Vol. 39, No. 1, pp. 269–289.

Rigo, A., Babuin, A., & Trizio, M., ed. (2013). *Vie per Bisanzio : atti del VII Congresso nazionale dell'Associazione italiana di studi bizantini, Venezia, 25-28 novembre 2009*, Edizioni di Pagina, Bari.

Shedlock, R. J. (1968). *The iconoclastic edict of the Emperor Leo Iii, 726 A.D.*, University of Massachusetts Amherst, pp. 11.

Retrieved April 28, 2023 from:

<https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3094&context=theses>

Simmons, S. C. (2011). *The "God Bearing" Patriarch: Hagia Sophia's Apse Mosaic in Ninth-Century Byzantine Politics*, MA thesis, Florida State University, pp. 3-6.

Stacey, S. C. (1978). *Iconoclasm a christian dilemma a byzantine controversy*, Master's Thesis, Oklahoma State University, pp 201-203.

Taraz, N. (2014). *The hagia sophia in its urban context: An interpretation of the transformations of an architectural monument with its changing physical and cultural environment*, Master's Thesis, İzmir Institute of Technology, pp. 110-111.

Teteriatnikov, N. (1998). *Mosaics of Hagia Sophia, Istanbul : the Fossati restoration and the work of the Byzantine Institute*, Washington, DC: Dumbarton Oaks, Trustees for Harvard University.

Todorovic, U. T. (2015). From Athena to Theotokos: The Classical Origin of the Mosaic in the Conch of the Apse of Hagia Sophia in Constantinople, *The Great Orthodox Christian Encyclopedia*, Volume 12, pp. 17, Stratigikes Ekdoseis.

Tsitsos, W. and Saylor Breckenridge R. (2023). The Work of Reproduction in the Age of Digital Art: The Role of 'Aura' In the Revitalisation of Vinyl Records and Cassettes. *International Journal of Music Business Research*, Vol.12 (Issue 1), pp. 13-23.

Van Gerven, D. J. J., Land-Zandstra, A. M., & Damsma, W. (2019). From Hitler's Sweater to Dinosaur Fossils: An Essentialist Outlook on Authenticity. *Review of General Psychology*, 23(3), pp. 372-373.

Villano M., (2012), *A Spectacle of Great Beauty: The Changing Faces of Hagia Sophia*, Master's Thesis, University of Connecticut, Connecticut, pp. 23-31.

Walsh, P. (2007). Rise and Fall of the Post-Photographic Museum: Technology and the Transformation of Art, in Cameron, F. & Kenderdine, S. (eds), *Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse*, MIT Press.

Ελληνόγλωσση

Αδαμόπουλος, Δ., (2021). *Συγκριτική ανάλυση μεθόδων τρισδιάστατης μοντελοποίησης μικρών αντικειμένων*, σελ. 14-16, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αναγνώστου, Ε. (2005). *Μελέτη και μεθοδολογία ανάδειξης καλών πρακτικών για την ψηφιοποίηση πολιτιστικού περιεχομένου*, σελ. 83-84, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Δαβερώνα, Α. Χρ. (2018). *Ανάπτυξη 3D εικονικού περιβάλλοντος για την περιήγηση και τη σήμανση απτών πολιτιστικών δεδομένων*, σελ. 11, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ζμπήτα, Ε. (2021). *Προσβασιμότητα των μουσείων και ψηφιακή ταυτότητα. Μελέτη περίπτωσης Αθνασάκειο Αρχαιολογικό Μουσείο Βόλου*, σελ. 20-24, Μεταπτυχιακή εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Κούτινα, Π. (2022). *Η ψηφιακή μουσειακή λειτουργία και εκπαίδευση στα χρόνια της πανδημίας*, σελ. 31-32, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Λειβαδιώτη, Κ., (2022). *Κατασκευή τρισδιάστατου ωηφιακού αντιγράφου του μηχανισμού των Αντικυθήρων*, σελ. 23-25, Τμήμα Μουσειολογίας - Μουσειογραφίας και Σχεδιασμού Εκθέσεων, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Μπάκου, Μ., Σταμακογιού, Μ., & Λεούση, Σ. Γ., (2021). *Ψηφιακή τεκμηρίωση και μορφολογική αποκατάσταση μέσω τρισδιάστατης ψηφιοποίησης του κολοσσιαίου μεγέθους γλυπτού «κεφαλής αλόγου», του γλύπτη Γιάννη Παππά*, σελ. 37, Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Μυγδάλης, Κ. (2021). *Αγία Σοφία: Οι Ναοί της του Θεού Σοφίας ανά τον Κόσμο*, Εκδόσεις Πεδίο, σελ. 32. Διαθέσιμο και ηλεκτρονικά: <https://eiao.org/wp-content/uploads/2022/11/HAGIA-SOPHIA-GR.pdf>

Παπαϊωάννου, Γ. (2018). *Μέθοδοι ψηφιοποιήσεις της πολιτιστικής κληρονομιάς, Μελέτη περίπτωσης τάφου Α & Β Κατερίνης*, σελ. 18, Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Παυλίδης, Γ., Σεβελίδης, Β., Χαραλαμπίδου, Μ., (2014). *Τεχνική αναφορά, Βελτίωση τεχνικών ψηφιοποίησης και. Μοντελοποίησης*, σελ. 7, ΙΕΛ – Ινστιτούτο Επεξεργασίας του Λόγου ΑΘΗΝΑ – Ερευνητικό Κέντρο Καινοτομίας στις Τεχνολογίες της Πληροφορικής των Επικοινωνιών και της Γνώσης. Ανακτήθηκε 10 Απριλίου, 2023 από: http://3dcms.ipet.gr/wp-content/uploads/2013/11/3dcms_report_2_2_draft_web.pdf

Ραβανή, Ν. (2018), *Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση γλυπτού με χρήση ψηφιακών Εικόνων*, σελ. 10-11, Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ρίζου, Κ. (2015). *Η έναρξη της εικονομαχικής έριδας και τα αίτιά της*, Μεταπτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Σκουλούδης, Σ. (2021). *Ο βυζαντινός ναός της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη: Ιστορική διαχρονία και. προσωπικές αφηγήσεις*, σελ. 16, 35, *Μεταπτυχιακή εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών*.

Συμεωνίδης, Π., (2007). *Σαρωτές Laser, Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές*, σελ.3, 5, 18, Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας, ΤΕΙ Σερών, Ανακτήθηκε 22 Απριλίου, 2023 από, http://civilgeo.teicm.gr/userfiles/files/geo/sarotes_Laser.pdf

Σωτηρίου Γ., (1917), *Η Αγία Σοφία Κωνσταντινουπόλεως*, Κεντρική Πώλησης Βιβλιοπωλείων Ιωάννου Ν. Σιδέρη, Αθήνα σελ. 9

Τσάγαρη, Α. & Μαρκόπουλος, Χ. (2021), *Πρωτόκολλα τεκμηρίωσης βάσει τρισδιάστατης ψηφιοποίησης διαφορετικών υλικών σε γλυπτά προπλάσματα του Γιάννη Παππά*, σελ. 40, *Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής*.

Χιωτέλλη, Ε. (2020). *Η χορηγία στη Βυζαντινή Ιστορία μέσα από τη μαρτυρία της μνημειακής τέχνης από τον 4ο έως τον 13ο αιώνα*, σελ. 15, *Μεταπτυχιακή εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*.

Διαδικτυακές Πηγές:

<http://docs.artec-group.com/as/15/en/process.html>

Ανακτήθηκε: 10/9/2023

<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo>

Ανακτήθηκε: 6/7/2023

<https://www.smarttech3d.com/single-post/3d-scanning-of-medieval-columns-for-digital-museum-collection>

Ανακτήθηκε: 14/5/2023